KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA

PETA JALAN
HIDROGEN DAN AMONIA NASIONAL

H_2

NH_3



PETA JALAN (*ROADMAP*)
HIDROGEN DAN AMONIA NASIONAL

Imprint

PETA JALAN (*ROADMAP*) HIDROGEN DAN AMONIA NASIONAL

Pengarah:
Bahlil Lahadalia
Yuliot Tanjung

Penasehat:
Eniya Listiani Dewi
Andriah Feby Misna

Tim Penyusun Utama:
Muhamad Alhaqurahman Isa
Tony Susandy
Urip Priyono
Yusak Victory Sitorus
Muhammad Taufiqurrahman Aldi
Irfan Hasymi Kelrey
Ridho Arisyadi
Zulfan Zul
Azizah Ayu Kartika
Diaz Ficry Arfianto
Samdysara Saragih

Ditulis oleh:
Tirto Prakoso
Wibawa Hendra Saputera

Kontributor dari Partner
Satria Wira Tenaya, Ricky Cahya Andrian,
Gitafajar Saptyani, Dessy Nurul Farhany,
Sakhiyatun Kamilah, Rifandina Gilang Zahrawulan,
Rafi Ramadhan Seba, Raditya Daffa Cepika,
Kaylin Maritza Putri Wibowo,
Kadek Pradnyasari Wira Saputri, Emi Fatma Widayani,
Jovan Natalius Marcos,
Muhammad Raihan Dzaky Musyaffa,

Desainer:
Fredy Susanto

Foto: Shutterstock

Didukung oleh:
Kementerian Luar Negeri dan Perdagangan Selandia Baru
Global Green Growth Institute

Terbitan:
2025 Direktorat Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan

Dipublikasikan oleh:
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia,
Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi,
Jl. Pegangsaan Timur No.1, Menteng,
Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta 10320
Tel: +62 21 – 39830077
Fax: +62 21 – 31901097
E-mail: ebtke@esdm.go.id
Website: www.ebtke.esdm.go.id

Diimplementasikan oleh:

Didanai oleh:

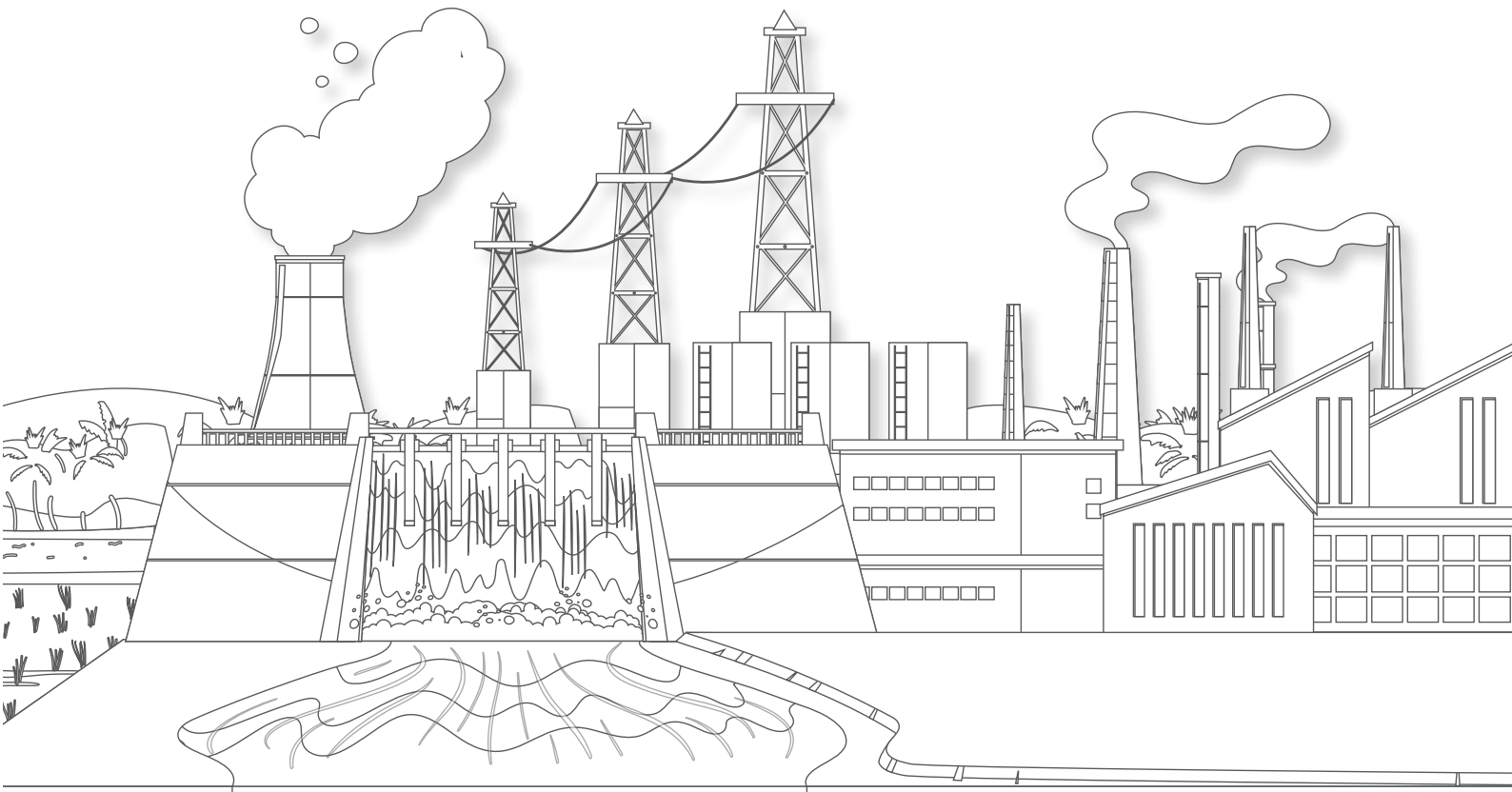
Bekerja sama dengan:

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Ucapan Terima Kasih

Dokumen **Peta Jalan (*Roadmap*) Hidrogen dan Amonia Nasional (RHAN)** ini mencakup perkembangan global dan nasional, analisis produksi (*supply*) dan pemanfaatan (*demand*), strategi implementasi, rencana aksi, serta prospek masa depan dalam pengembangan ekosistem hidrogen dan amonia di Indonesia. Penyusunannya menggunakan pendekatan *demand driven-based method* dan melalui proses konsensus dengan pemangku kepentingan. Dokumen ini diharapkan menjadi pedoman bersama bagi semua pihak terkait dalam mengembangkan ekonomi hidrogen dan amonia, guna mendukung swasembada energi, transisi energi, dan dekarbonisasi sistem energi nasional serta global.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, khususnya Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Luar Negeri dan Perdagangan Selandia Baru atas dukungan pendanaan, serta *Global Green Growth Institute* sebagai mitra implementasi melalui Program *Renewable Energy-Accelerated Transition in Indonesia* (RE-ACT). Apresiasi juga disampaikan kepada Institut Teknologi Bandung yang telah menyediakan tenaga ahli hidrogen, serta seluruh pemangku kepentingan yang berkontribusi dalam penyusunan dokumen ini.





Ilustrasi pembangkit energi bersih terbarukan sebagai salah satu sumber hidrogen dan amonia bersih. —Shutterstock

Daftar Isi

Daftar Singkatan VII
Daftar Gambar XI
Daftar Tabel XII
Sambutan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia XVI
Sambutan Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi XVII
Ringkasan Eksekutif XVIII

1 Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang 2
1.1.1 Strategi Hidrogen Nasional (SHN) 2
1.1.2 Ketahanan Energi, Daya Saing Ekonomi, dan Keberlanjutan Lingkungan 3
1.2 Tujuan *Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional 4
1.3 Metodologi dan Proses Penyusunan 5

2 Perkembangan Hidrogen dan Amonia Global 8
2.1 Perspektif Global 8
2.1.1. Produksi Hidrogen dan Amonia 8
2.1.2. Teknologi Penyimpanan dan Distribusi Hidrogen dan Amonia 15
2.1.3. Pemanfaatan Hidrogen dan Amonia 17
2.1.4. Kecenderungan (Tren) Pengembangan Ekosistem Hidrogen dan Amonia 20
2.2 Perspektif Nasional 24

3 Analisis *Supply* dan *Demand* Hidrogen dan Amonia Nasional 30
3.1 *Roadmap* Hidrogen 30
3.1.1. Proyeksi Pertumbuhan Pemanfaatan Hidrogen 30
3.1.2. Produksi Hidrogen 45
3.1.3. Akumulasi *Supply-Demand* Hidrogen 56
3.1.4. Penyimpanan dan Distribusi Hidrogen 57
3.2. *Roadmap* Amonia 59
3.2.1. Proyeksi Pertumbuhan Pemanfaatan Amonia 59
3.2.2. Produksi Amonia 63
3.2.3. Penyimpanan dan Distribusi Amonia 67

4 Strategi Implementasi dan Rencana Aksi Pengembangan Hidrogen dan Amonia Nasional 71
4.1 Pilar Strategi Hidrogen Nasional 72
4.2 Rencana Aksi Hidrogen dan Amonia Nasional 78
4.2.1 Pengembangan Ekosistem 81
4.2.2 Pengembangan Rantai Pasok 88
4.3 Monitoring & Evaluasi Kegiatan 96

Daftar Isi

LAMPIRAN 99

A. Pemangku Kepentingan **100**

Lampiran A.1. Daftar Peserta Konsensus 100

Lampiran A.2. Pengodean Strategi Hidrogen Nasional 102

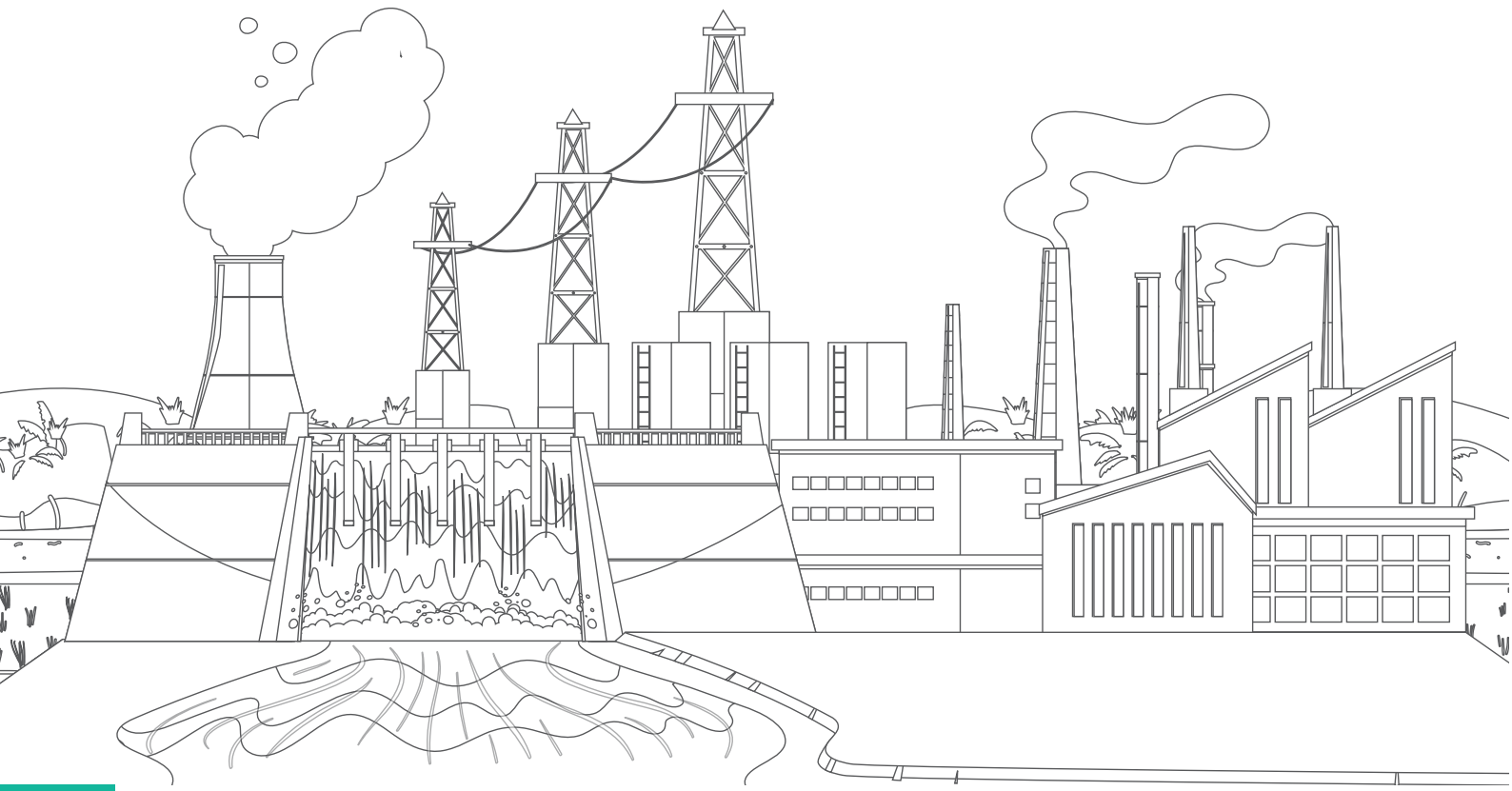
Lampiran A.3. Pengodean Strategi Implementasi 103

Lampiran A.4. Rencana Aksi 104

B. Tabel Kegiatan **105**

Tabel B. Keterkaitan Program dan Kegiatan dari Berbagai Pemangku Kepentingan dengan Pilar Strategi Hidrogen Nasional (SHN), Strategi Implementasi (SI), dan Rencana Aksi (RA) dalam Pengembangan Rantai Pasok Pemanfaatan Amonia 105

C. Kontributor **120**



Daftar Singkatan

AB	Akselerasi & Berkelanjutan
ADB	*Asian Development Bank*
AE	*Alkaline Electrolysis*
ASEAN	*Association of Southeast Asian Nations*
Bappenas	Badan Perencanaan Pembangunan Nasional
BEIS	*Department for Business, Energy & Industrial Strategy* (Inggris)
BRIN	Badan Riset dan Inovasi Nasional
BSN	Badan Standardisasi Nasional
CAGR	*Compound Annual Growth Rate*
CBAM	*Cross Border Adjustment Mechanism*
CCS	*Carbon Capture and Storage*
CCUS	*Carbon Capture, Utilization, and Storage*
CertifHy	*European Union's Green Hydrogen Certification Scheme*
CH_4	Metana
CO_2	Karbon Dioksida
COD	*Commercial operation date*
CO_2-eq	*Carbon Dioxide Equivalent*
DAC	*Direct Air Capture*
DBT	*Dibenzyltoluene*
DoE	*Department of Energy* (Amerika Serikat)
DWT	*Dead Weight Tonnage* (ukuran kapasitas kapal)
EBT	Energi Baru Terbarukan
eNDC	*Enhanced Nationally Determined Contribution*
ERIA	*Economic Research Institute for ASEAN and East Asia*
EU	*European Union*
FCEV	*Fuel Cell Electric Vehicle*
FCV	*Fuel Cell Vehicle*
FFB	*Fresh Fruit Bunches*
FGD	*Focus Group Discussion*
FID	*Final Investment Decision*
GEF	*Global Environment Facility*
GGGI	*Global Green Growth Institute*
GRK	Gas Rumah Kaca
GW	Gigawatt

Daftar Singkatan

GWh	Gigawatt-*hour*
H_2	Hidrogen
HDF Energy	*Hydrogen de France Energy*
HESC	*Hydrogen Energy Supply Chain*
IEA	*International Energy Agency*
IEC	*International Electrotechnical Commission*
IFHE	*Indonesia Fuel Cell and Hydrogen Energy*
IHI	*Ishikawajima-Harima Heavy Industries*
IKN	Ibu Kota Nusantara
IN	Inisiasi
ITB	Institut Teknologi Bandung
IRENA	*International Renewable Energy Agency*
ISO	*International Organization for Standardization*
KEN	Kebijakan Energi Nasional
KESDM	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
kg	Kilogram
KIAT	*Korea Institute for Advancement of Technology*
KLHK	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
KMI	Kaltim Methanol Industri
KPI	Kaltim Parna Industri
KPM	Keluarga Penerima Manfaat
ktpa	*Kilotonnes per annum* (1.000 ton per tahun)
LCOH	*Levelized Cost of Hydrogen*
LNG	*Liquefied Natural Gas*
LOHC	*Liquid Organic Hydrogen Carriers*
LPG	*Liquified Petroleum Gas*
LSM	Lembaga Swadaya Masyarakat
LSP	Lembaga Sertifikasi Profesi
MCH	*Methyl Cyclohexane*
MDO	*Marine Diesel Oil*
MMSCFD	*Million Standard Cubic Feet per Day*
MoU	*Memorandum of Understanding*
MW	Megawatt
MTPY	*Metric tons per year*
NDC	*Nationally Determined Contribution*

Daftar Singkatan

NEDO	*New Energy and Industrial Technology Development Organization* (Jepang)
NEF	*New Energy Finance*
NH_3	Amonia
NO_x	*Nitrogen Oxides*
NRE	*New and Renewable Energy*
NZE	*Net Zero Emissions*
O_2	Oksigen
PAU	Panca Amara Utama
PEC	*Photoelectrochemical*
PEM	*Proton-Exchange Membrane*
Perpres	Peraturan Presiden
PGN	Perusahaan Gas Negara
PI	Pengembangan & Integrasi
PLN	Perusahaan Listrik Negara
PLN NP	PLN Nusantara Power
PLTA	Pembangkit Listrik Tenaga Air
PLTD	Pembangkit Listrik Tenaga Diesel
PLTG	Pembangkit Listrik Tenaga Gas
PLTS	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
PLTU	Pembangkit Listrik Tenaga Uap
POME	*Palm Oil Mill Effluent*
PT	Perseroan Terbatas
PT KAI	PT Kereta Api Indonesia
PT KPI	PT Kilang Pertamina Internasional
PT KS	PT Krakatau Steel
PT PI	PT Pupuk indonesia
PV	*Photovoltaic*
RA	Rencana Aksi
RA-A-P1	Rencana Aksi Amonia - Produksi 1
RA-A-P2	Rencana Aksi Amonia - Produksi 2
RA-A-D1	Rencana Aksi Amonia - Distribusi 1
RA-A-D2	Rencana Aksi Amonia - Distribusi 2
RA-A-D3	Rencana Aksi Amonia - Distribusi 3
RA-A-U1	Rencana Aksi Amonia - Pemanfaatan (*Utilization*) 1
RA-A-U2	Rencana Aksi Amonia - Pemanfaatan (*Utilization*) 2

Daftar Singkatan

RA-A-U3	Rencana Aksi Amonia - Pemanfaatan (*Utilization*) 3
RA-H-P1	Rencana Aksi Hidrogen - Produksi 1
RA-H-P2	Rencana Aksi Hidrogen - Produksi 2
RA-H-D1	Rencana Aksi Hidrogen - Distribusi 1
RA-H-D2	Rencana Aksi Hidrogen - Distribusi 2
RA-H-D3	Rencana Aksi Hidrogen - Distribusi 3
RA-H-U1	Rencana Aksi Hidrogen - Pemanfaatan (*Utilization*) 1
RA-H-U2	Rencana Aksi Hidrogen - Pemanfaatan (*Utilization*) 2
RA-H-U3	Rencana Aksi Hidrogen - Pemanfaatan (*Utilization*) 3
RA-H-U4	Rencana Aksi Hidrogen - Pemanfaatan (*Utilization*) 4
RHAN	*Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional
RPJMN	Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional
RUKN	Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional
RUPTL	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
S&P	*Standard & Poor's*
SDS	*Sustainable Development Scenario*
SHN	Strategi Hidrogen Nasional
SI	Strategi Implementasi
SKKNI	Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia
SMR	*Steam Methane Reforming*
SNI	Standar Nasional Indonesia
SOEC	*Solid Oxide Electrolyzer Cell*
SPBH	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen
SR	Sambungan Rumah Tangga
STCH	*Solar Thermochemical Hydrogen*
Syngas	*Synthetic gas*
TUK	Tempat Uji Kompetensi
TÜV SÜD	*Technischer Überwachungsverein SÜD*
UK-MENTARI	*United Kingdom* - Menuju Transisi Energi Rendah Karbon Indonesia
UNDP	*United Nations Development Programme*
USPTO	*United States Patent and Trademark Office*
UU	Undang-Undang
WGSR	*Water-Gas Shift Reaction*
wt%	*Weight Percentage*
WTI	*West Texas Intermediate*

Daftar Gambar

Gambar 1. *Roadmap Net Zero Emission* (NZE) XVIII

Gambar 2. Tujuan *Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional 4

Gambar 3. Metodologi penyusunan *Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional 5

Gambar 4. Hasil konsensus berdasarkan rantai pasok (produksi, distribusi, dan kebutuhan) dan secara keseluruhan 6

Gambar 5. Pembaruan klasifikasi hidrogen berdasarkan sumber energi dan teknologi (SHN, 2023) 12

Gambar 6. Klasifikasi amonia berdasarkan jenis sumber hidrogennya (Ishaq, 2024). 12

Gambar 7. Proyeksi permintaan hidrogen (a) dan amonia (b) pada tahun 2050 21

Gambar 8. Kecenderungan perkembangan harga hidrogen secara global berdasarkan jenis teknologi produksi pada tahun 2018, 2030, dan 2050 (S&P) 22

Gambar 9. *Levelized cost of hydrogen* dari sumber energi terbarukan di berbagai negara tahun 2023–2050 23

Gambar10. Kecenderungan perkembangan harga amonia berdasarkan jenis teknologi produksi tahun 2020–2050 (IRENA) 23

Gambar 11. Harga produksi amonia pada tahun 2023 (kiri) dan kecenderungan di tahun 2030 di berbagai negara 24

Gambar 12. Sistem rantai pasok hidrogen di Indonesia 25

Gambar 13. Sistem rantai pasok amonia di Indonesia 27

Gambar 14. Perincian tahapan-tahapan Strategi Implementasi 30

Gambar 15. *Roadmap* pemanfaatan hidrogen di Indonesia pada tahun 2025–2060 32

Gambar 16. a. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor transportasi di Indonesia tahun 2030–2060: kereta api, kapal laut, dan *Fuel Cell Electric Vehicles* (FCEV) 34

b. Proyeksi pertumbuhan FCEV , rel kereta, dan muatan kapal di Indonesia tahun 2030-2060 35

Gambar 17. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor industri amonia dan metanol tahun 2030–2060 36

Gambar 18. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor industri baja tahun 2025–2060 37

Gambar 19. a. Pemetaan Kebutuhan hidrogen saat ini untuk PT KPI 38

b.Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk industri kilang pada tahun 2025 dan 2030 38

Gambar 20. Proyeksi kebutuhan hidrogen tahun 2020–2060 untuk industri tekstil, pulp-kertas, mesin-transportasi, makanan-minuman, kayu, dan lainnya 39

Gambar 21 a. Persentase *blending* gas hidrogen dengan gas alam untuk jaringan gas domestik di Indonesia tahun 2028–2060 40

b. Proyeksi kebutuhan hidrogen di IKN dan luar IKN 40

c. Pemanfaatan hidrogen dalam jaringan gas kota 40

Gambar 22. Proyeksi jumlah produksi minyak dan gas alam Indonesia pada tahun 2025–2060 41

Daftar Gambar

Gambar 23. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor pembangkit listrik tenaga uap (*ammonia co-firing*) dan pembangkit listrik tenaga gas (*hydrogen co-firing*) tahun 2055–2060 42

Gambar 24. Peta persebaran daerah target dedieselisasi oleh PLN di Indonesia 43

Gambar 25. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk dedieselisasi PLN tahun 2025–2060 44

Gambar 26. *Roadmap* produksi hidrogen di Indonesia pada tahun 2025–2060 46

Gambar 27 a. Proyeksi suplai hidrogen dari elektrolisis tahun 2025–2060 47

b. Rincian Sumber EBT yang dapat dimanfaatkan untuk teknologi elektrolisis tahun 2060 47

Gambar 28. *Roadmap* pengembangan dan pemanfaatan batu bara melalui teknologi gasifikasi 50

Gambar 29. Proyeksi suplai hidrogen dari integrasi gasifikasi batu bara dan biomassa dengan unit penangkap karbon (CCS) tahun 2025–2060 51

Gambar 30. Jenis limbah biomassa dari perkebunan atau pertanian di Indonesia 52

Gambar 31. Sebaran potensi limbah POME di Indonesia 53

Gambar 32. Proyeksi suplai hidrogen dari biogas pada tahun 2030–2060 54

Gambar 33. Peta sebaran potensi hidrogen natural Indonesia 54

Gambar 34. *Benchmarking* dengan Australia dan Amerika Serikat untuk tahap produksi hidrogen natural 55

Gambar 35. Akumulasi produksi dan permintaan hidrogen di Indonesia dan proyeksi surplus dari tahun 2025 hingga 2060 56

Gambar 36. *Roadmap* distribusi hidrogen di Indonesia tahun 2025–2060 58

Gambar 37. *Roadmap* pemanfaatan amonia di Indonesia tahun 2025–2060 60

Gambar 38. Proyeksi pemanfaatan amonia di Indonesia tahun 2025–2060 61

Gambar 39. *Roadmap* produksi amonia di Indonesia tahun 2025–2060 64

Gambar 40. Proyeksi jumlah suplai amonia di Indonesia pada tahun 2025–2060 65

Gambar 41. Akumulasi produksi dan kebutuhan amonia bersih serta proyeksi surplus di Indonesia tahun 2025–2060 66

Gambar 42. *Roadmap* distribusi amonia di Indonesia pada tahun 2025–2060 68

Gambar 43. a.Garis besar alur SHN dan RHAN 72

b.Alur Hubungan Antara SHN dan RHAN dengan perinciannya 73

Gambar 44. Ringkasan sederhana antara pengembangan ekosistem dan pengembangan rantai pasok dalam mendukung rencana aksi dan strategi implementasi *roadmap* hidrogen dan amonia di Indonesia 78

Gambar 45. Target standardisasi dan sertifikasi hidrogen dan amonia bersih 82

Gambar 46. Standar dan regulasi lainnya mengenai hidrogen dan amonia di Indonesia yang diperlukan 83

Gambar 47. Skema monitoring dokumen RHAN 96

Daftar Tabel

Tabel 1. Klasifikasi hidrogen berdasarkan Sumber Energi Produksi (National Grid Group, 2023) 8

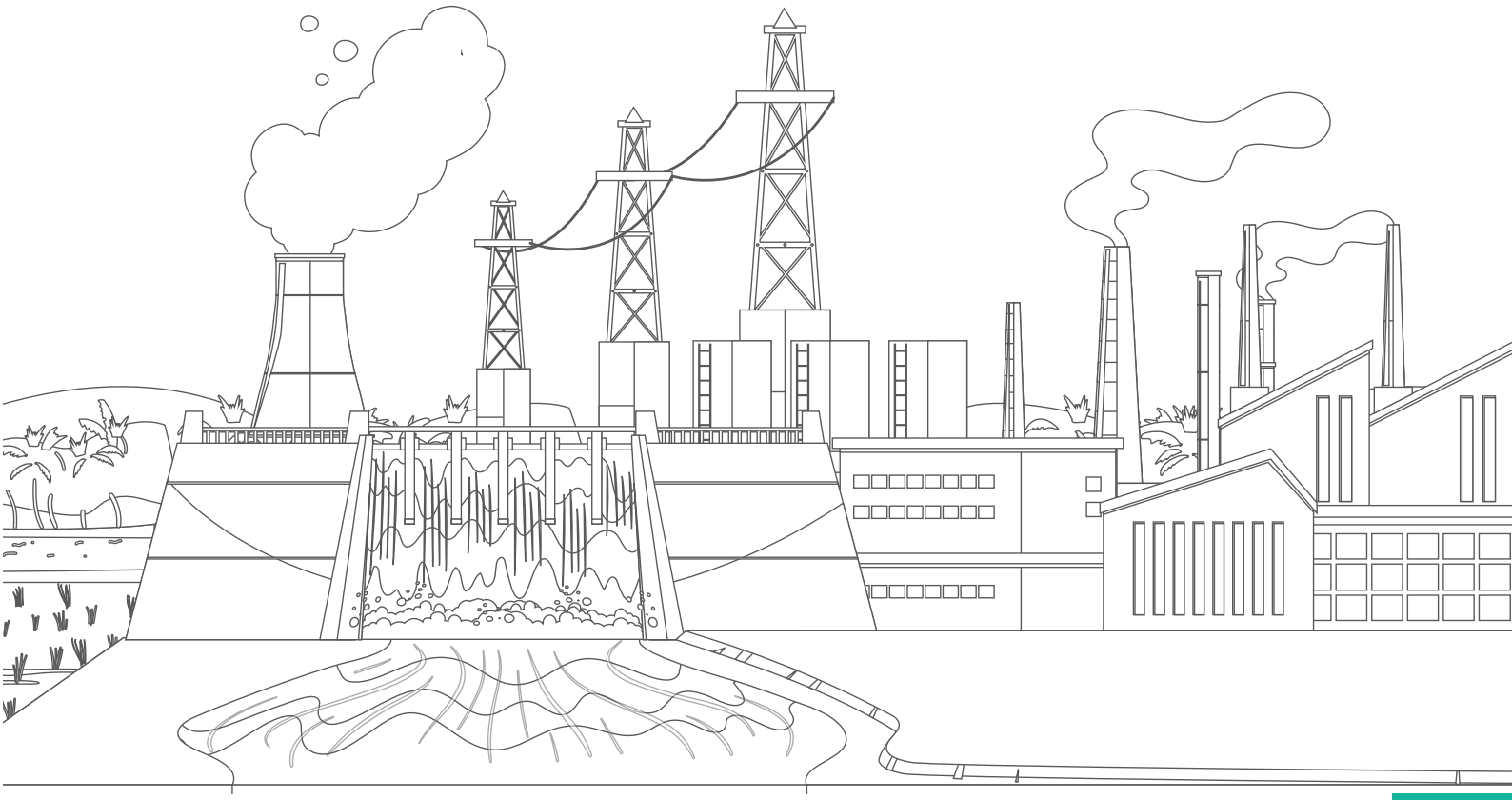
Tabel 2. Klasifikasi hidrogen berdasarkan batas emisi: Skema Wajib (GGGI, 2024) 9

Tabel 3. Klasifikasi hidrogen berdasarkan batas emisi: Skema Sukarela (GGGI, 2024) 10

Tabel 4. Perbandingan opsi penyimpanan hidrogen dalam fase gas terkompresi, cair, dan padatan 15

Tabel 5. Perbandingan opsi penyimpanan amonia dalam fasa gas terkompresi, cair, dan padat 16

Tabel 6. Perbandingan kelebihan dan kekurangan amonia dan beberapa alternatif *hydrogen carrier* lainnya 28





Panel surya di tepi Pantai Maumere
Flores, Indonesia. —gungpri, Shutterstock

Sambutan

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral



Pemerintah Indonesia memiliki visi strategis untuk mencapai swasembada energi sekaligus memperkuat ketahanan energi nasional. Dalam mewujudkan visi tersebut, transisi energi menjadi langkah yang sangat strategis dan prioritas utama. Transisi energi bertujuan untuk mendukung keberlanjutan, ketahanan, dan kemandirian energi melalui pergeseran dari sistem produksi dan konsumsi berbasis bahan bakar fosil menuju pemanfaatan sumber energi baru dan terbarukan. Salah satu langkah penting dalam mendukung transisi tersebut adalah pengembangan dan pemanfaatan energi hidrogen. Energi hidrogen diharapkan dapat memainkan peran penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi rendah karbon yang kompetitif, meningkatkan kesejahteraan masyarakat, serta memperkuat keberlanjutan lingkungan.

Mengacu pada Strategi Hidrogen Nasional (SHN) yang diterbitkan pada Desember 2023, pengembangan hidrogen di Indonesia diarahkan melalui tiga pilar utama, yaitu mendukung pemanfaatan energi terbarukan, mendorong dekarbonisasi, dan menjadikan hidrogen sebagai komoditas strategis. Hidrogen memiliki potensi signifikan sebagai sumber energi bersih yang mampu mengurangi emisi gas rumah kaca, menurunkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, serta mendukung terciptanya pembangunan berkelanjutan, khususnya di sektor industri, transportasi, ketenagalistrikan, dan jaringan gas kota. Dalam mendukung upaya ini, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral berkomitmen untuk menyusun regulasi, standar teknis, dan pedoman keselamatan yang mendukung iklim investasi yang kondusif, serta mendorong pembangunan infrastruktur hidrogen yang andal dan terintegrasi.

Peta Jalan (*Roadmap*) Hidrogen dan Amonia Nasional (RHAN) merupakan kelanjutan dari Strategi Hidrogen Nasional (SHN), yang menjabarkan pilar-pilar strategis ke dalam rencana aksi hingga tahun 2060, sebagai pedoman bersama bagi seluruh pemangku kepentingan dalam pengembangan hidrogen di Indonesia.

RHAN menetapkan tahapan implementasi yang mencakup pengembangan teknologi, pembangunan infrastruktur, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, serta penyusunan kerangka regulasi. Keberhasilan implementasi RHAN hanya dapat tercapai melalui kerja sama yang erat dan sinergi antara pemerintah, sektor bisnis, akademisi, lembaga penelitian, dan masyarakat luas. Kolaborasi lintas sektor menjadi kunci utama dalam mempercepat transisi energi dan terwujudnya ekonomi hidrogen nasional yang tidak hanya mendukung swasembada dan ketahanan energi nasional, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan dalam pengurangan emisi karbon global, peningkatan kesejahteraan masyarakat, serta keberlanjutan lingkungan hidup.

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral



Bahlil Lahadalia



Ilustrasi stasiun pengisian bahan bakar hidrogen di masa depan. —Shutterstock

Sambutan

Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi



Pemerintah terus berupaya melakukan transisi energi untuk mewujudkan swasembada energi dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, meningkatkan pemanfaatan energi baru terbarukan, dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Melalui *Enhanced Nationally Determined Contribution*, pemerintah menargetkan penurunan emisi gas rumah kaca pada tahun 2030 sebesar 358 juta ton CO_2-eq dengan upaya sendiri, dan 446 juta ton CO_2-eq dengan bantuan internasional. Realisasi penurunan emisi karbon pada sektor energi semakin meningkat setiap tahunnya, yakni pada tahun 2024 berhasil menurunkan emisi sebesar 147,61 juta ton CO_2-eq . Upaya ini perlu terus ditingkatkan hingga mencapai target pemerintah yang lebih ambisius, yaitu mencapai *Net Zero Emission* pada tahun 2060 atau lebih cepat.

Saat ini, lanskap energi di Indonesia masih didominasi oleh ekonomi berbasis fosil, sehingga diperlukan pendekatan yang komprehensif untuk mewujudkan ekonomi rendah karbon. Hidrogen, sebagai sumber energi nol karbon, memiliki potensi besar untuk menjadi kunci dalam mendukung upaya dekarbonisasi di Indonesia. Dengan potensi sumber energi terbarukan yang melimpah, komitmen kuat terhadap mitigasi perubahan iklim global, serta posisi strategis sebagai negara kepulauan yang berada di jalur perdagangan internasional, Indonesia memiliki peluang besar untuk mengembangkan ekosistem hidrogen sekaligus menjadi salah satu pusat (*hub*) hidrogen global. Pemanfaatan hidrogen di Indonesia mencakup kendaraan hidrogen berbasis *fuel cell* atau bahan bakar sintetis, pembangkit listrik, penyimpanan energi, serta dekarbonisasi sektor-sektor yang sulit dikurangi emisinya (*hard-to-abate sectors*), seperti pelayaran, penerbangan, alat berat, transportasi jarak jauh, produksi baja, dan manufaktur.

Peta Jalan (*Roadmap*) Hidrogen dan Amonia Nasional (RHAN) yang disusun dengan pendekatan *demand driven-based method*, perlu menjadi acuan bersama dalam pengembangan hidrogen di Indonesia. RHAN membagi tahapan pengembangan menjadi tiga periode utama, yaitu tahap inisiasi (2025–2034), pengembangan dan integrasi (2035–2044), serta akselerasi dan keberlanjutan (2045–2060). Proyeksi total permintaan hidrogen hingga tahun 2060 diperkirakan mencapai 11,8 juta ton per tahun, sementara permintaan amonia mencapai 9,6 juta ton per tahun. Pada tahap inisiasi, pemerintah menetapkan regulasi, standar teknis, pelaksanaan proyek percontohan, serta pengembangan kapasitas sebagai program prioritas. Saat ini, lebih dari 200 kegiatan telah diidentifikasi dari berbagai pemangku kepentingan untuk mendukung implementasi tahap inisiasi pengembangan hidrogen.

Kerja sama dan partisipasi aktif dari seluruh pihak sangat diperlukan guna mempercepat pembangunan ekosistem hidrogen di Indonesia. Langkah ini tidak hanya mendukung transisi energi yang adil, tetapi juga berkontribusi pada tercapainya kemandirian energi nasional yang berkelanjutan.

Direktur Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi

Eniya Listiani Dewi

Ringkasan Eksekutif

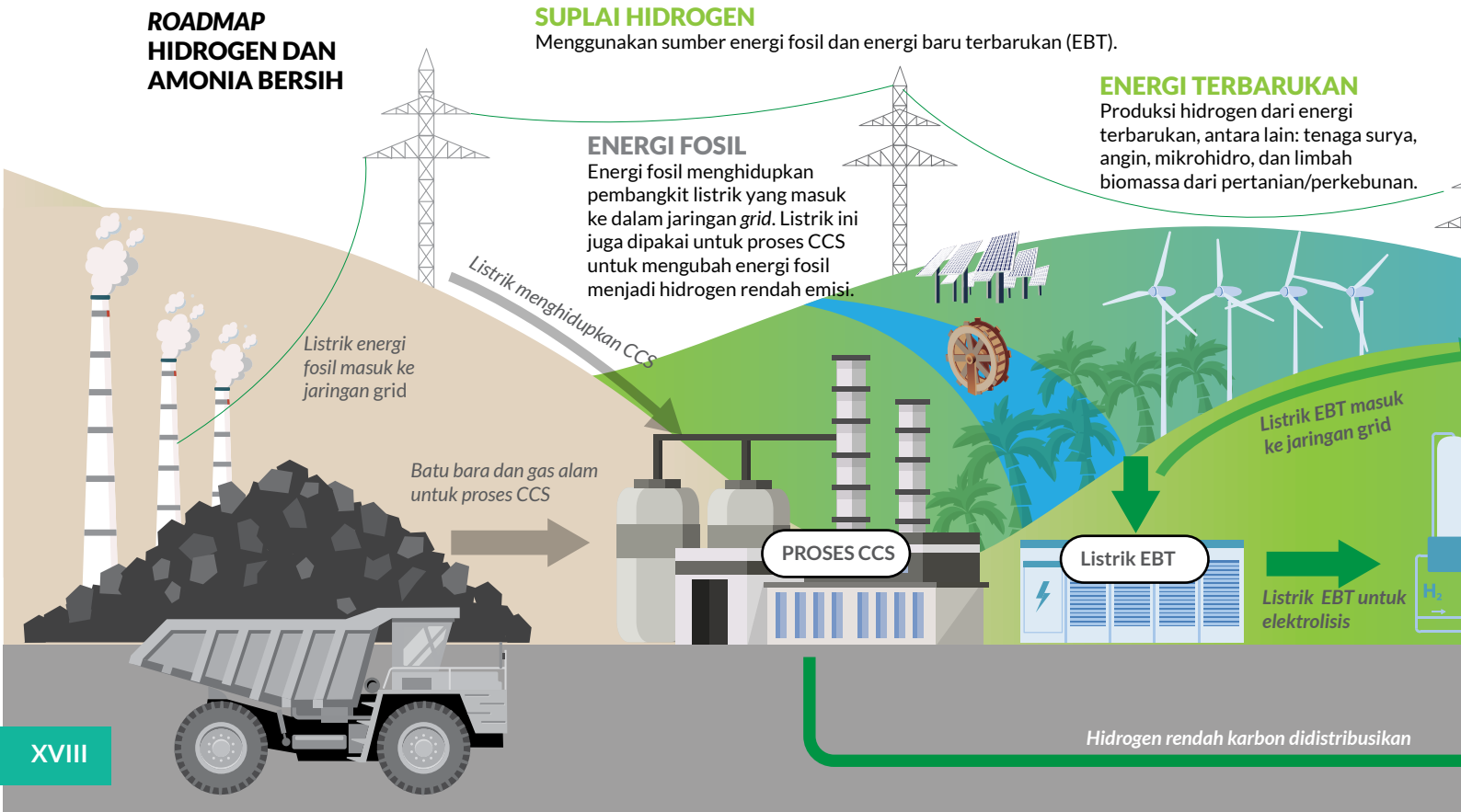
Dokumen Peta Jalan (*Roadmap*) Hidrogen dan Amonia Nasional (RHAN) merupakan tindak lanjut dari Strategi Hidrogen Nasional (SHN). Dokumen ini disusun sebagai panduan komprehensif bagi para pemangku kepentingan dalam membangun dan mengembangkan ekosistem hidrogen dan amonia yang berkelanjutan di Indonesia. RHAN mencakup target yang terukur serta rencana aksi pengembangan hidrogen dan amonia secara bertahap dalam interval lima tahun hingga tahun 2060, dengan berpedoman pada pilar-pilar dalam SHN. Selain itu, RHAN juga menetapkan pendekatan strategis yang terintegrasi untuk mengoptimalkan pemanfaatan hidrogen dan amonia di sektor energi, industri, dan transportasi nasional. Tujuan akhirnya adalah mendukung pencapaian target emisi nol bersih pada tahun 2060 melalui transisi energi dan dekarbonisasi.

Penyusunan dokumen RHAN di Indonesia menggunakan pendekatan berbasis permintaan (*Demand driven-Based Method*) untuk memastikan relevansi dokumen terhadap kebutuhan pasar serta adaptabilitas terhadap dinamika eksternal. Pendekatan ini terdiri dari tiga tahapan utama yang saling terintegrasi.

Tahap pertama adalah analisis data dan interpretasi, yang bertujuan mengidentifikasi kebutuhan pasar dan tren utama berdasarkan data terkini. Hal ini memastikan dokumen RHAN mencerminkan kondisi aktual sekaligus memproyeksikan masa depan secara akurat. Tahap kedua adalah *expert judgement*, yang melibatkan para pakar dari berbagai bidang untuk memberikan wawasan mendalam terkait pengembangan ekosistem hidrogen dan amonia. Pada tahap ini, keterlibatan pemangku kepentingan menjadi elemen kunci, dengan pelaksanaan empat (4) *Focus Group Discussion* (FGD) dan 20 pertemuan individual guna mengumpulkan masukan komprehensif dari pemerintah, industri, akademisi, dan asosiasi.

Tahap ketiga adalah konsensus, yang bertujuan memastikan keselarasan target dan rencana aksi dari seluruh *stake holders*. Tingkat konsensus yang dicapai, sebesar 83,7%, mencerminkan kesepakatan dari seluruh pemangku kepentingan, yang mencakup 40 institusi/lembaga, terhadap rencana dan target yang ditetapkan dalam RHAN. Melalui penerapan metodologi berbasis permintaan,

Gambar 1. Garis besar *Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional

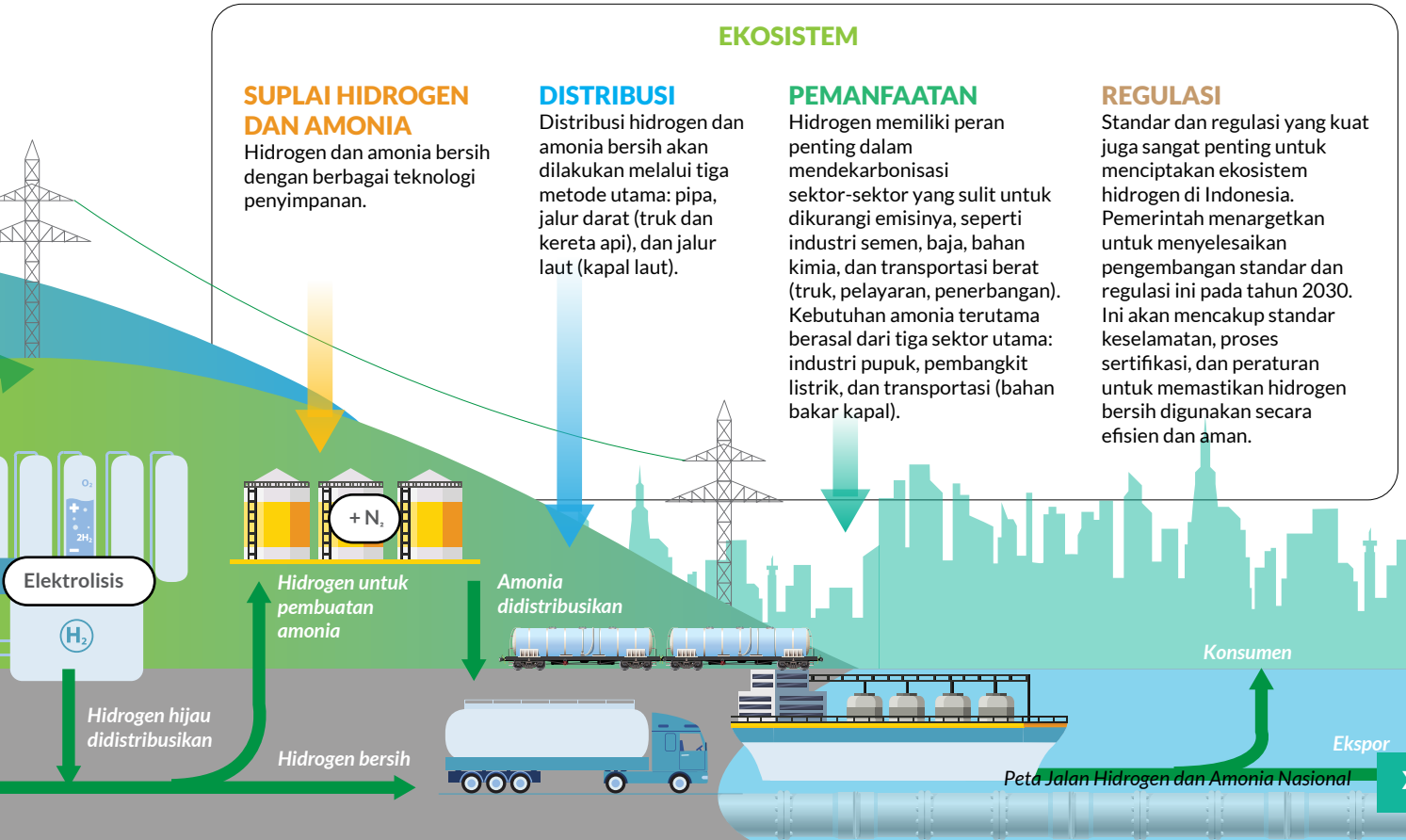


diperoleh proyeksi kebutuhan hidrogen dan amonia di masa depan. Permintaan hidrogen diproyeksikan mencapai 883,8 ribu ton pada 2030, meningkat menjadi 1,9 juta ton pada 2040, lalu 5,7 juta ton pada 2050, dan mencapai 11,8 juta ton pada 2060. Sementara permintaan amonia diperkirakan sebesar 1,3 juta ton pada 2030 dan 4,1 juta ton pada 2040, kemudian meningkat jadi 7,1 juta ton pada 2050, dan mencapai 9,6 juta ton pada 2060.

Secara global, industri hidrogen dan amonia terus menunjukkan perkembangan yang pesat. Negara-negara maju seperti Jepang menargetkan permintaan hidrogen mencapai 12 juta ton per tahun pada 2040 dengan total investasi sebesar US$98,8 miliar. Sementara itu, Uni Eropa menetapkan target produksi hidrogen sebesar 20 juta ton pada 2030. Amonia, sebagai pembawa hidrogen, menawarkan keunggulan untuk transportasi jarak jauh karena memiliki densitas yang lebih tinggi.

Permintaan pasar untuk amonia bersih yang sebesar US$1,48 miliar pada tahun 2024 diperkirakan mengalami peningkatan signifikan menjadi US$61,56 miliar pada 2031. Ini membuka peluang besar bagi Indonesia untuk menguasai pasar di Asia-Pasifik. Saat ini Indonesia merupakan eksportir amonia keempat setelah Trinidad & Tobago, Arab Saudi, dan Kanada dengan nilai ekspor mencapai US$782 juta dengan volume ekspor sekitar 1,79 juta ton pada tahun 2023.

RHAN disusun dengan memperhatikan elemen-elemen strategis yang mencakup Strategi Implementasi (SI), Rencana Aksi (RA), serta Program dan Kegiatan yang relevan. Pengembangan RHAN ini dirancang melalui tiga fase yang bertahap untuk memastikan implementasi yang terencana, terukur, dan berkelanjutan. Fase Inisiasi (2025–2034) berfokus pada pelaksanaan proyek percontohan, regulasi, skema insentif, pembiayaan, dan pengembangan infrastruktur serta SDM. Fokus utamanya adalah membangun ekosistem hidrogen dan amonia rendah karbon melalui kolaborasi nasional dan internasional. Fase ini mencakup pengembangan kapasitas *electrolyzer* sebesar 0-734 MW pada tahun 2030, fasilitas reformasi biogas, dan pembangunan infrastruktur awal hidrogen. Pada akhir fase ini, *blending* hidrogen dalam jaringan gas diproyeksikan mencapai 20%. Untuk mencapai target pembangkit listrik yang sepenuhnya menggunakan bahan bakar amonia dan hidrogen, implementasi *co-firing* akan dimulai secara bertahap. Pengujian *co-firing* amonia pada pembangkit listrik sudah diterapkan dengan proporsi 3% pada tahun 2025 dengan potensi



pengurangan penggunaan batubara sebanyak 4,5 ton/jam yang ekivalen dengan pengurangan emisi CO_2 sebesar 9,45 ton/jam. Sementara itu, pengujian *co-firing* hidrogen pada pembangkit listrik dengan persentase yang sama akan dimulai pada tahun 2030. Langkah ini merupakan bagian dari strategi transisi energi menuju pemanfaatan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Selain itu, kendaraan berbasis sel bahan bakar (FCEV) akan mulai diimplementasikan dalam sektor transportasi umum dan truk logistik. Dengan proyeksi awal sebesar 3.000 unit FCEV ekivalen dengan pemanfaatan hidrogen sebesar 438 ton pada tahun 2030. Hal ini menunjukkan komitmen kuat dalam mendorong adopsi teknologi ramah lingkungan di sektor transportasi.

Fase Pengembangan dan Integrasi (2035–2045) bertujuan untuk meningkatkan kapasitas fasilitas produksi hingga skala komersial, *blending* hidrogen dalam jaringan gas akan ditingkatkan menjadi 40%, dan kapasitas pembangkit listrik berbasis 100% amonia diproyeksikan mencapai 2,0 GW sementara *co-firing* hidrogen akan mencapai 60% pada tahun 2045. Pada fase ini, adopsi hidrogen juga akan diperluas ke sektor seperti baja dan pupuk untuk mendukung diversifikasi penggunaan energi rendah karbon. Untuk sektor transportasi, pada tahun 2045, pemanfaatan hidrogen untuk FCEV sebesar 27 ribu ton, kereta api sebesar 164 ton, dan kapal laut sebesar 46 ribu ton.

Fase Akselerasi dan Berkelanjutan (2045–2060) menargetkan pencapaian *blending* hidrogen 100% dalam jaringan gas nasional. Pada fase ini, kapasitas pembangkit listrik berbasis 100% hidrogen pada turbin gas diproyeksikan mencapai 25,3 GW pada tahun 2060, sementara kapasitas pembangkit listrik berbasis amonia di PLTU diproyeksikan meningkat hingga 8,4 GW pada tahun. Untuk sektor transportasi, pada tahun 2060, pemanfaatan hidrogen untuk FCEV sebesar 530 ribu ton, kereta api sebesar 1,2 ribu ton, dan kapal laut sebesar 453 ribu ton.

Pada rantai pasok pemanfaatan, *roadmap* ini memproyeksikan peran signifikan hidrogen di sektor transportasi, dengan target penggunaan untuk pelayaran kapal dan kendaraan berbasis FCEV, bus, truk, dan forklif. Permintaan industri untuk hidrogen akan tinggi, terutama dalam produksi pupuk, pengilangan, dan baja, dengan proyeksi kebutuhan 850 ribu ton pada 2030, yang meningkat hingga 6,5 juta ton pada 2060. Pemanfaatan di pembangkit listrik untuk proses dedieselisasi akan mencapai 7,9 ribu ton pada tahun 2030, yang meningkat hingga 63 ribu ton pada tahun 2060. Skema pemanfaatan 100% amonia sebagai bahan bakar pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) diproyeksikan mulai diterapkan pada tahun 2045, sementara pemanfaatan 100% hidrogen pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) ditargetkan tercapai pada tahun 2051. Total konsumsi hidrogen nasional untuk sektor pembangkit listrik diperkirakan akan mencapai sekitar 4,2 juta ton pada tahun 2060.

Dengan kerangka kerja yang mencakup strategi hidrogen nasional, strategi implementasi, hingga rencana aksi dan kegiatan terperinci, dokumen ini dirancang untuk menjadi panduan bagi pemerintah, pelaku industri, dan pemangku kepentingan lainnya dalam mendukung transisi energi menuju masa depan yang lebih bersih dan berkelanjutan melalui pemanfaatan hidrogen dan amonia nasional. Berikut ini merupakan penjabaran setiap komponen dalam RHAN.

Pilar Strategi Hidrogen Nasional (SHN)

Pilar Strategi Hidrogen Nasional (SHN) merupakan fondasi utama visi jangka panjang pengembangan hidrogen dan amonia rendah karbon di Indonesia. Pilar ini mencakup tiga elemen utama yang saling terintegrasi, yaitu pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, percepatan dekarbonisasi, dan peningkatan daya saing global melalui ekspor serta pengembangan *hub* hidrogen.

Strategi Implementasi (SI)

Strategi Implementasi (SI) dirancang untuk menerjemahkan visi pilar-pilar SHN ke dalam langkah-langkah konkret yang dibagi menjadi tiga fase, yaitu fase inisiasi (2025–2034), fase pengembangan dan integrasi (2035–2044), dan fase akselerasi dan berkelanjutan (2045–2060). Pada fase inisiasi, fokus ditujukan pada pengembangan regulasi, inisiasi proyek percontohan, skema insentif, penyusunan standar, dan membangun kemitraan internasional. Pada tahap jangka menengah (fase pengembangan dan integrasi) difokuskan antara lain pada integrasi infrastruktur untuk mencapai efisiensi dan berkelanjutan, peningkatan investasi hidrogen hijau, serta pengembangan *hub* hidrogen. Untuk jangka panjang (fase akselerasi dan berkelanjutan) diharapkan pengembangan ekosistem di Indonesia sudah berkembang dengan baik sehingga menjadi salah satu pemain penting di pasar hidrogen dan amonia global.

Selanjutnya, pada jangka menengah, upaya diarahkan pada integrasi rantai pasok hidrogen dan amonia, pengembangan infrastruktur seperti fasilitas penyimpanan, dan peningkatan investasi di sektor ini. Tahap ini menekankan transisi penuh dari hidrogen dan amonia tinggi karbon ke rendah karbon, yang diikuti oleh dimulainya penggunaan hidrogen dan amonia hijau.

Pada jangka panjang, strategi ini bertujuan untuk menjadikan Indonesia sebagai salah satu pemain utama dalam ekosistem hidrogen dan amonia global. Fokus utamanya adalah penguatan kapabilitas nasional serta pengembangan kerja sama internasional. Tahap ini juga menandai transisi menyeluruh menuju dominasi hidrogen dan amonia hijau, mencerminkan komitmen kuat Indonesia terhadap dekarbonisasi dan pembangunan keberlanjutan.

Rencana Aksi (RA)

Rencana Aksi (RA) merupakan langkah taktis yang dirancang untuk mendukung implementasi hidrogen dan amonia melalui pengembangan ekosistem yang mencakup regulasi dan standar, penciptaan pasar dan ekonomi baru, aspek sosial, infrastruktur, keberlanjutan lingkungan, inovasi, optimalisasi potensi sumber daya lokal, serta penguasaan teknologi. Pengembangan ekosistem ini juga diperkuat melalui rantai pasok yang mencakup tiga komponen utama: produksi, distribusi, dan pemanfaatan.

Pada aspek produksi, kegiatan yang dilakukan meliputi pengembangan kapasitas *electrolyzer*, penerapan proyek percontohan (*pilot project*), serta penyusunan kebijakan dan regulasi pendukung. Di sisi distribusi, rencana aksi menitikberatkan pada pengembangan logistik, termasuk pembangunan infrastruktur seperti pipa, tanker, dan fasilitas penyimpanan. Sedangkan pada aspek pemanfaatan, fokus diarahkan pada aplikasi hidrogen di berbagai sektor, seperti transportasi, pembangkit listrik, dan industri. Hal ini mencakup pengembangan kendaraan berbasis sel bahan bakar (*fuel cell electric vehicles*/FCEV) dan *blending* hidrogen dengan jaringan gas alam.

Setiap langkah dalam rencana aksi dirancang secara komprehensif untuk mendukung tercapainya target emisi rendah karbon yang berkelanjutan, sekaligus memastikan integrasi yang optimal dalam ekosistem hidrogen dan amonia nasional.

Program Kegiatan

Program dan kegiatan operasional dirancang untuk mendukung implementasi rencana aksi melalui langkah-langkah konkret yang diusulkan oleh para pemangku kepentingan. Saat ini telah teridentifikasi lebih dari 200 kegiatan yang mendukung pengembangan ekosistem pada fase inisiasi. Kegiatan ini meliputi pengembangan ekosistem hidrogen dan amonia yang mencakup regulasi nasional, *benchmarking* regulasi internasional, serta pelatihan dan sertifikasi kompetensi tenaga kerja. Selain itu, terdapat kegiatan pengembangan infrastruktur rantai pasok seperti pembangunan stasiun pengisian bahan bakar hidrogen (SPBH), uji coba *blending* hidrogen dalam gas alam, dan pengembangan fasilitas logistik dan distribusi seperti tanker dan jaringan pipa. Program-program ini tidak hanya bertujuan untuk mencapai target dekarbonisasi, tetapi juga menciptakan ekosistem yang mendukung pengembangan hidrogen dan amonia rendah karbon utamanya pada fase inisiasi.

Untuk memastikan keberhasilan implementasi RHAN, pendekatan berbasis data yang terukur diperlukan pada setiap rantai pasok, disertai dengan monitoring dan evaluasi yang dilakukan secara periodik. Setiap rantai pasok diharapkan menyampaikan data secara berkala melalui portal digital, yang dirancang untuk mendukung transparansi dan pengambilan keputusan berbasis data *real-time*.

Keterlibatan aktif pemangku kepentingan menjadi bagian penting dalam proses ini. Forum konsultasi dan diskusi kelompok terarah (FGD) akan diadakan secara berkala untuk membahas pencapaian, tantangan, dan strategi ke depan, melibatkan sektor pemerintah, industri, akademisi, dan organisasi internasional.

Membran *digester* untuk membuat biogas pada limbah dari perkebunan kelapa sawit. Produksi hidrogen dari biogas dan gasifikasi biomassa akan meningkat dari 0,5 juta ton pada tahun 2030 menjadi 2 juta ton pada 2040, dan mencapai 4 juta ton pada 2060. —Shutterstock





Penggunaan energi terbarukan di daerah Sulawesi. —Shutterstock

1.

Pendahuluan



1 Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

1.1.1 Strategi Hidrogen Nasional (SHN)

Perubahan iklim global merupakan tantangan besar bagi setiap negara, termasuk Indonesia. Peningkatan suhu global, cuaca ekstrem, dan bencana alam yang semakin sering terjadi mengancam kesejahteraan sosial serta stabilitas ekonomi. Emisi gas rumah kaca (GRK) yang terus meningkat, terutama dari aktivitas berbasis bahan bakar fosil di sektor energi, transportasi, dan industri, menjadi faktor utama dalam krisis iklim. Beberapa wilayah di Indonesia memiliki kerentanan tinggi terhadap dampak perubahan iklim, sehingga Indonesia memegang peran strategis dalam upaya mitigasi global.

Sebagai bentuk komitmen terhadap mitigasi perubahan iklim, Indonesia berpartisipasi dalam berbagai inisiatif global, termasuk *Paris Agreement*, *Nationally Determined Contribution* (NDC), dan *Enhanced NDC* (eNDC). Dalam eNDC yang diperbarui pada tahun 2022, Indonesia meningkatkan target penurunan emisi GRK menjadi 912 juta ton CO_2-eq (31,89%) melalui upaya mandiri dan 1.240 juta ton CO_2-eq (43,20%) dengan dukungan internasional pada tahun 2030. Pada sektor energi, target penurunan emisi GRK ditingkatkan menjadi 358 juta ton CO_2-eq (12,5%)dengan upaya mandiri, dan 446 juta ton CO_2-eq (15,5%) dengan dukungan internasional pada tahun 2030. Selain itu, dalam jangka panjang, Indonesia memiliki target yang cukup ambisius, yaitu mencapai *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 atau lebih cepat.

Hidrogen diharapkan menjadi salah satu solusi strategis dalam mendukung target dekarbonisasi, karena kandungan energinya yang tinggi dan bersifat nol karbon. Indonesia berencana mengembangkan hidrogen bersih dengan pendekatan bertahap, dimulai dari hidrogen rendah karbon sebagai tahap transisi menuju hidrogen hijau yang sepenuhnya nol emisi. Hidrogen juga memiliki potensi besar dalam mendekarbonisasi sektor *hard-to-abate*, seperti industri berat, transportasi jarak jauh, penerbangan, produksi baja, pemanasan industri, dan manufaktur.

1.1.2 Ketahanan Energi, Daya Saing Ekonomi, dan Keberlanjutan Lingkungan

Indonesia mengembangkan hidrogen berdasarkan tiga pilar utama, yaitu mendukung pemanfaatan energi terbarukan guna mengurangi ketergantungan pada energi fosil, mendorong dekarbonisasi, serta mengembangkan hidrogen sebagai komoditas strategis. Hidrogen memiliki potensi untuk mengatasi ketidakseimbangan antara suplai dan permintaan energi, sekaligus memperkuat ketahanan energi nasional. Selain berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan melalui pengembangan teknologi rendah karbon, hidrogen juga berperan dalam mendorong penciptaan lapangan kerja hijau (*green jobs*), yang pada akhirnya meningkatkan daya saing ekonomi Indonesia di pasar global.

Ketahanan Energi

Indonesia masih bergantung pada impor minyak dan gas, sehingga rentan terhadap fluktuasi harga energi global. Untuk mengurangi risiko ini dan memperkuat ketahanan energi nasional, pemerintah mendorong pengembangan hidrogen berbasis energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin, hidro, dan panas bumi. Hidrogen dari sumber terbarukan ini juga dapat dikembangkan secara desentralisasi, membuka peluang peningkatan akses energi di daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik nasional.

Pendekatan ini mengoptimalkan potensi energi terbarukan Indonesia yang melimpah, dengan kapasitas total sekitar 3.686 GW dari berbagai sumber, termasuk tenaga surya, angin, hidro, bioenergi, panas bumi, dan pasang-surut laut. Pengembangan hidrogen perlu diselaraskan dengan dokumen perencanaan energi nasional, seperti Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN), guna memastikan keselarasan dengan arah kebijakan dan strategi energi nasional.

Daya Saing Ekonomi dan Dukungan Kebijakan

Hidrogen hijau memberikan peluang strategis bagi Indonesia untuk meningkatkan daya saing ekonomi di pasar domestik dan internasional. Proyeksi pasar global hidrogen hijau diperkirakan akan mencapai nilai sebesar US$11 triliun pada 2050, dengan proyeksi investasi global sebesar US$500 miliar pada 2030. Di Indonesia, potensi pasar domestik hidrogen hijau diperkirakan mencapai US$35 hingga US$70 miliar pada tahun 2060. Menurut IFHE dibutuhkan investasi sebesar US$ 25,2 miliar untuk pengembangan hidrogen hijau berbasis energi terbarukan.

Menurut data dari BloombergNEF, biaya produksi hidrogen hijau di Indonesia diproyeksikan mengalami penurunan signifikan hingga mencapai US$1,50/kg pada tahun 2050. Meskipun biaya ini masih sedikit lebih tinggi dibandingkan beberapa negara seperti Tiongkok dan Amerika Serikat, hidrogen hijau Indonesia tetap memiliki potensi untuk menjadi sumber energi yang kompetitif secara ekonomi. Namun, pencapaian tersebut memerlukan kebijakan energi yang kuat guna mempercepat penurunan biaya produksi dan memastikan daya saing di pasar global. Kebijakan yang tepat diperlukan untuk mengoptimalkan sumber daya energi terbarukan dan meningkatkan efisiensi produksi hidrogen hijau.

Selain itu, pemerintah perlu menyediakan skema insentif untuk mendukung tumbuhnya ekosistem hidrogen. Langkah ini akan memperkuat rantai pasok yang berkelanjutan melalui pengembangan infrastruktur yang mampu mengoptimalkan proses secara menyeluruh. Kebijakan harga karbon juga menjadi instrumen penting untuk mendorong industri domestik beralih dari bahan bakar fosil ke hidrogen hijau, sehingga meningkatkan permintaan domestik dan menciptakan skala ekonomi yang kompetitif.

Pada tingkat internasional, dukungan kebijakan seperti *Cross Border Adjustment Mechanism* (CBAM) di Eropa dapat meningkatkan daya saing produk hidrogen hijau Indonesia di pasar global. Dengan kombinasi kebijakan nasional yang mendukung pengembangan hidrogen hijau dan kolaborasi internasional dalam akses teknologi serta investasi, Indonesia memiliki peluang besar untuk menjadi pemain utama dalam pasar hidrogen hijau global. Selain mendukung target dekarbonisasi dan menciptakan lapangan kerja hijau yang berkelanjutan, strategi ini juga akan memperkuat kemandirian energi nasional.

Keberlanjutan Lingkungan

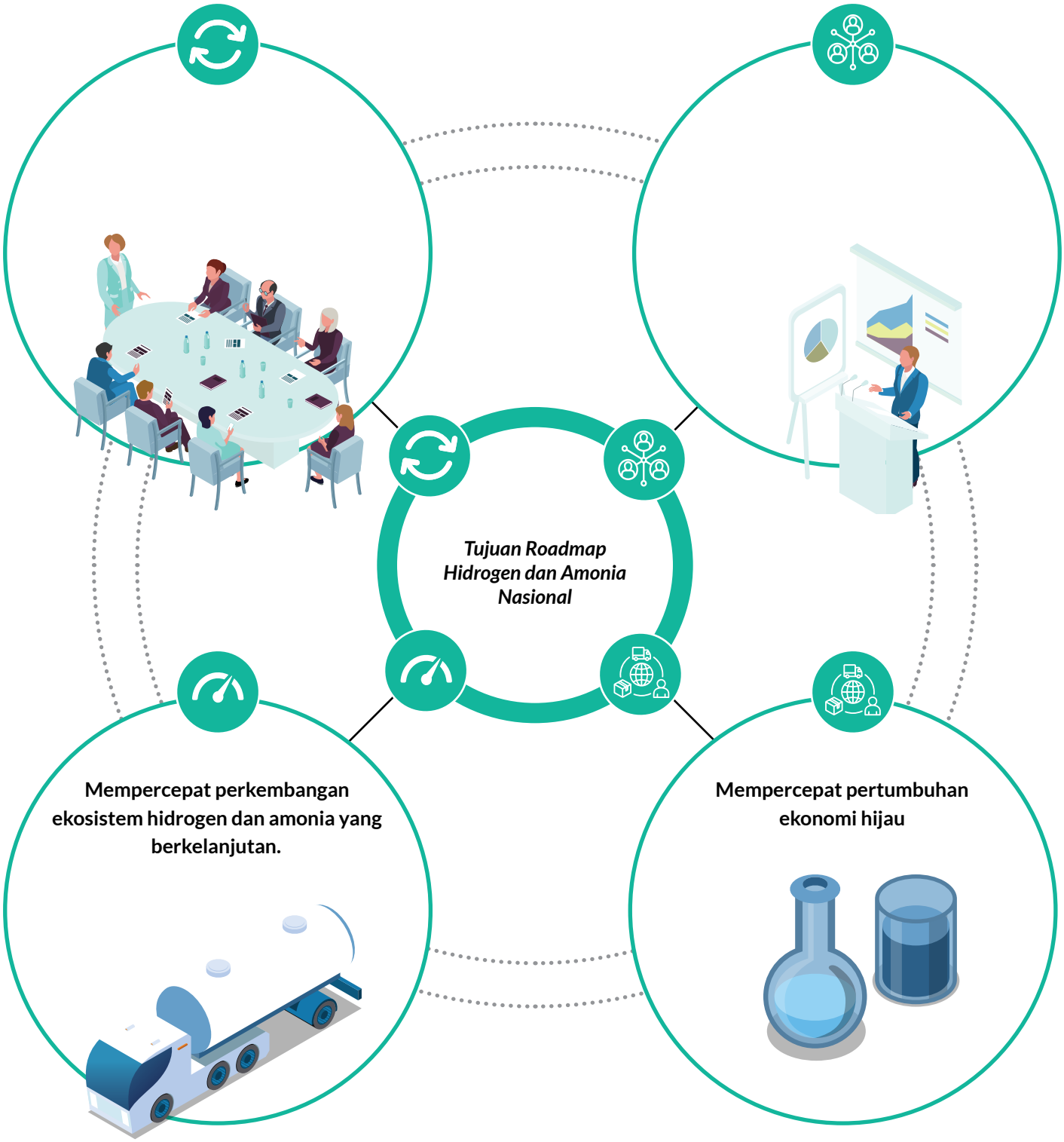
Hidrogen hijau memiliki potensi signifikan dalam menyerap kelebihan energi baru terbarukan (EBT) yang tidak langsung terpakai, sehingga berkontribusi pada stabilisasi jaringan listrik sekaligus memaksimalkan pemanfaatan sumber daya EBT. Menurut perkiraan IRENA dan McKinsey, hidrogen hijau berpotensi menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 3,7 hingga 6,0 gigaton CO_2 per tahun pada 2050, atau sekitar 10% dari total emisi global. Dalam sektor industri yang sulit didekarbonisasi, pemanfaatan hidrogen hijau diproyeksikan mampu mengurangi emisi hingga 2,3 gigaton CO_2 per tahun. Di Indonesia, hidrogen hijau diharapkan dapat menurunkan emisi sebesar 126 juta ton CO_2-eq pada tahun 2060, dengan estimasi pasokan hidrogen hijau mencapai 17,5 juta ton.

Selain manfaat lingkungan, pengembangan hidrogen hijau juga memberikan dampak positif pada sektor ketenagakerjaan. Secara global, sektor ini diperkirakan dapat menciptakan hingga 5,3 juta lapangan kerja pada tahun 2050, terutama dalam bidang produksi dan penerapan teknologi hidrogen. Di Indonesia, proyeksi penambahan kapasitas elektrolisis sebesar 55 GW (2% dari proyeksi kapasitas *electrolyzer* global, McKinsey 2024) dan mendekati 107 GW pada tahun 2060, yang diproyeksikan dapat membuka sekitar 300.000 lapangan kerja baru. Inisiatif ini tidak hanya mempercepat transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan, tetapi juga memperkuat daya saing ekonomi nasional dalam pasar global.

1.2 Tujuan *Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional

Sebagai turunan dari SHN, dokumen RHAN ini berperan sebagai panduan praktis bagi para pemangku kepentingan. Berikut tujuan *roadmap* hidrogen dan amonia nasional pada **Gambar 2**.

Gambar 2. Tujuan *Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional

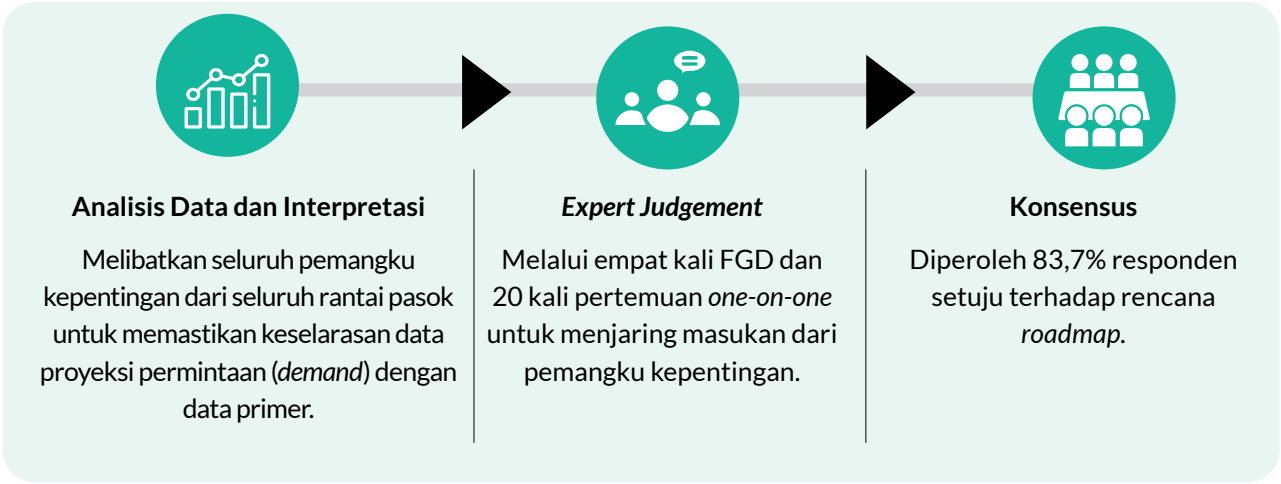


1.3 Metodologi dan Proses Penyusunan

Penyusunan dokumen *Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional (RHAN) di Indonesia dilakukan dengan menggunakan pendekatan *demand driven-based method*. Pendekatan ini terdiri atas tiga langkah utama (lihat **Gambar 3**), dirancang untuk memastikan bahwa *roadmap* yang dihasilkan relevan dengan kebutuhan pasar dan adaptif terhadap perkembangan global.

Langkah pertama adalah analisis data dan interpretasi, yang bertujuan mengidentifikasi kebutuhan pasar dan tren utama berdasarkan data yang tersedia. Langkah kedua adalah penilaian ahli (*expert judgement*), yang melibatkan pakar untuk memberikan wawasan mendalam terkait *best practice*, kebijakan, serta pengembangan hidrogen nasional. Langkah ketiga adalah konsensus yang bertujuan untuk menyepakati bersama target dan rencana aksi yang telah disusun dalam roadmap. Disamping itu juga memastikan bahwa seluruh pemangku kepentingan memiliki visi, prioritas, dan langkah strategis yang terkoordinasi dan selaras. Pendekatan ini direkomendasikan oleh International Energy Agency (2014) untuk memastikan bahwa *roadmap* yang dihasilkan tidak hanya memenuhi kebutuhan domestik, tetapi juga mampu beradaptasi dengan dinamika pasar global (lihat **Gambar 3**).

Gambar 3. Metodologi penyusunan *Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional



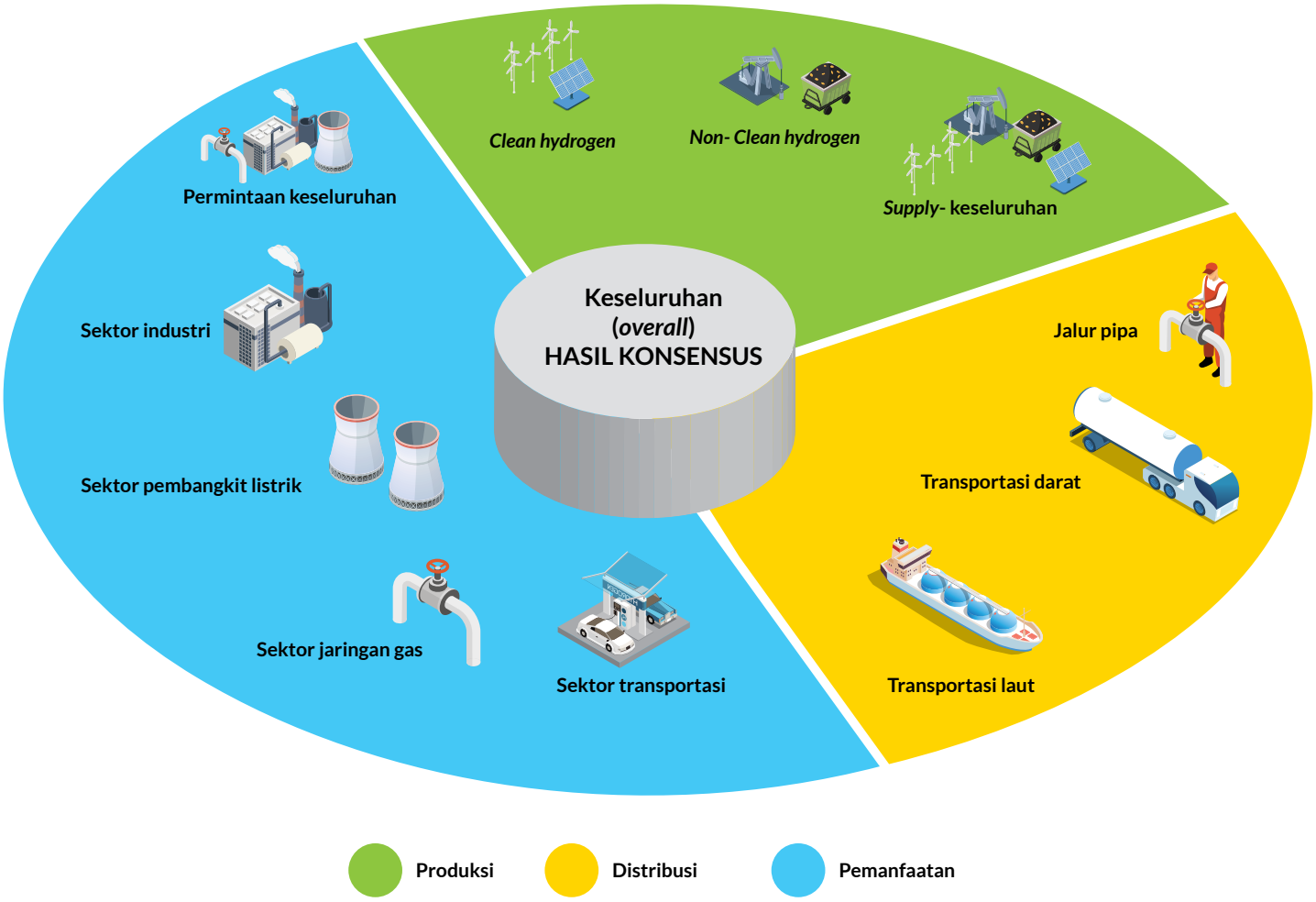
Pada tahap awal, ruang lingkup, batasan, serta aplikasi praktis teknologi hidrogen rendah karbon diidentifikasi melalui diskusi dengan pemangku kepentingan. Data nasional dan global dikumpulkan untuk menetapkan garis dasar (*baseline*) penerapan teknologi hidrogen dan amonia, yang mencakup kebutuhan domestik serta potensi ekspor. Mengingat keterbatasan data, analisis statistik untuk proyeksi produksi masa depan dipetakan dengan mempertimbangkan kebutuhan dalam negeri serta strategi pengembangan energi terbarukan nasional. Setelah angka proyeksi diperoleh, strategi implementasi dan rencana aksi disusun untuk mengklasifikasikan keterhubungan antara Strategi Hidrogen Nasional (SHN) dan RHAN hingga ke tingkat program kegiatan.

Pada tahap *expert judgement*, serangkaian lokakarya (*workshop*) dan diskusi kelompok terfokus (*Focus Group Discussion*/FGD) diselenggarakan guna merumuskan target dan langkah-langkah yang diperlukan. Keterlibatan pemangku kepentingan menjadi elemen kunci dalam tahap ini. Lebih dari empat FGD dan 20 pertemuan *one-on-one* telah dilaksanakan untuk mengumpulkan masukan secara terperinci dari berbagai pihak terkait. Tahap ini berhasil mengidentifikasi lebih dari 200 rencana dan kegiatan yang diusulkan oleh pemangku kepentingan di seluruh rantai pasok hidrogen dan amonia, utamanya dalam mendukung fase awal pengembangan ekosistem hidrogen nasional (perincian pemangku kepentingan dapat dilihat pada **Lampiran A1**).

Pada tahap konsensus, para pemangku kepentingan diklasifikasikan berdasarkan perannya dalam rantai pasok hidrogen dan amonia, yaitu produksi (*supply*), penyimpanan dan distribusi (*handling*), serta pemanfaatan (*utilization*).

Proses konsensus bertujuan dilakukan melalui pembagian kuesioner dan diskusi aktif untuk mencapai kesepakatan bersama terkait dengan target dan rencana aksi sampai dengan 2060. Konsensus ini diwujudkan melalui rapat besar yang melibatkan 100 perwakilan dari berbagai sektor, termasuk industri, pemerintah, akademisi, asosiasi, dan mitra pembangunan. Hasil konsensus menunjukkan tingkat persetujuan sebesar 83,7%, mencerminkan dukungan luas dari seluruh pemangku kepentingan (lihat **Gambar 4**).

Gambar 4. Hasil konsensus berdasarkan rantai pasok (produksi, distribusi, dan kebutuhan) dan secara keseluruhan



Masukan yang disampaikan selama proses konsensus telah diakomodasi dan disesuaikan dalam penyusunan dokumen RHAN. Langkah ini memastikan bahwa dokumen RHAN yang dihasilkan tidak hanya bersifat inklusif, tetapi juga implementatif dalam mendukung pengembangan hidrogen rendah karbon di Indonesia. Selain itu, dokumen RHAN dirancang sebagai *living document*, yang memungkinkan pembaruan dan penyesuaian secara berkala berdasarkan hasil evaluasi dan monitoring. Proses ini akan dilakukan dengan mempertimbangkan perkembangan pasar domestik dan global, sehingga dokumen tetap relevan dan adaptif terhadap dinamika kebutuhan serta tantangan yang muncul di masa depan.

2.

Perkembangan Hidrogen dan Amonia Global



2 Perkembangan Hidrogen dan Amonia Global

Perkembangan hidrogen dan amonia di tingkat global mengalami pertumbuhan pesat, seiring dengan meningkatnya tuntutan untuk mengurangi emisi karbon dan mencapai target dekarbonisasi yang ambisius. Saat ini, hidrogen dan amonia diposisikan sebagai sumber energi masa depan yang berpotensi menggantikan bahan bakar fosil, terutama di sektor industri dan transportasi yang sulit didekarbonisasi. Banyak negara telah mengembangkan kebijakan, teknologi, dan infrastruktur guna mendukung transisi energi berbasis hidrogen dan amonia, memperkuat rantai pasok, serta menurunkan biaya produksi dan distribusi.

2.1. Perspektif Global

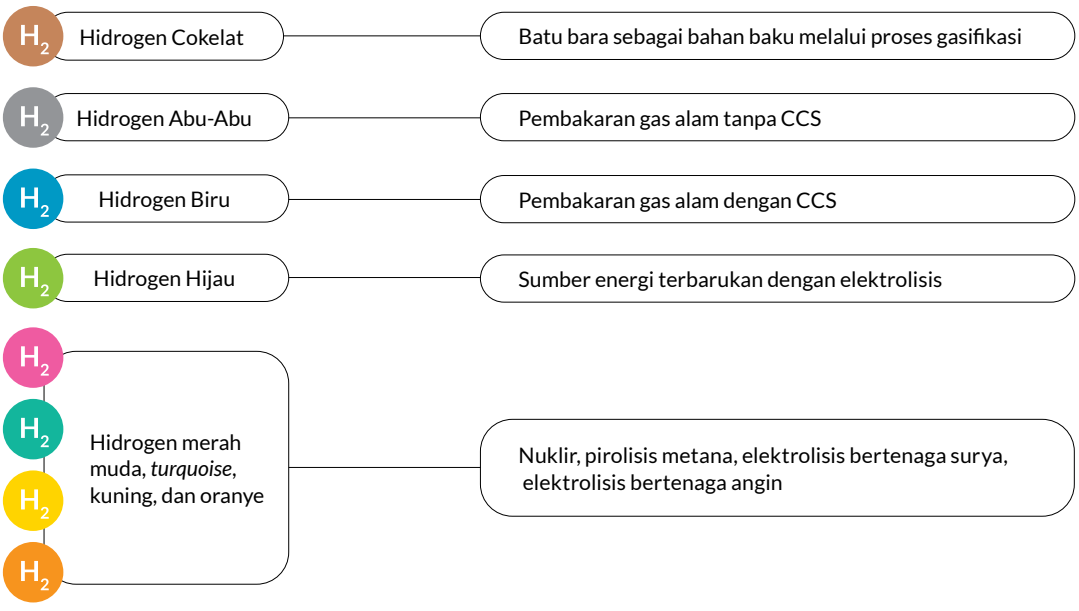
2.1.1. Produksi Hidrogen dan Amonia

Saat ini, belum ada standar internasional yang secara khusus mengatur klasifikasi hidrogen dan amonia, terutama dalam rantai pasok produksi. Meskipun berbagai negara telah mengembangkan pedoman dan regulasi masing-masing untuk mendukung perkembangan teknologi hidrogen dan amonia dalam upaya dekarbonisasi, standar global yang komprehensif masih belum ditetapkan. Ketiadaan standar ini menimbulkan tantangan dalam harmonisasi antarnegara, sehingga menyebabkan perbedaan dalam praktik, terminologi, dan pendekatan teknis.

2.1.1.1. Klasifikasi Hidrogen

Sebelum memahami berbagai jenis hidrogen berdasarkan sumber energi produksinya, penting untuk mengetahui bahwa hidrogen, sebagai elemen energi rendah karbon, memiliki klasifikasi yang didasarkan pada sumber energi, batas emisi, dan metode produksi. Klasifikasi pertama mengidentifikasi setiap jenis hidrogen dengan warna yang mencerminkan sumber energi yang digunakan dalam proses produksinya. Klasifikasi ini berfungsi sebagai panduan bagi industri dan pemerintah dalam memilih sumber hidrogen yang sesuai dengan target dekarbonisasi serta ketersediaan energi lokal. **Tabel 1** memerinci berbagai jenis hidrogen berdasarkan sumber energi produksinya.

Tabel 1. Klasifikasi hidrogen berdasarkan Sumber Energi Produksi (National Grid Group, 2023)



Selain dari sumber energi produksinya, hidrogen juga diklasifikasikan berdasarkan batas emisi. Batas emisi ini mengacu pada standar atau skema hidrogen yang wajib (*mandatory*) maupun sukarela (*voluntary*). Pasar wajib merupakan mekanisme sertifikasi yang harus diikuti oleh semua produsen hidrogen, termasuk produsen yang ingin menjual di pasar yang menerapkan persyaratan wajib, sementara pasar sukarela adalah mekanisme sertifikasi yang sifat partisipasinya opsional (IRENA, 2023).

Tabel 2 memberikan gambaran tentang standar regulasi hidrogen rendah karbon di beberapa wilayah, dengan fokus pada batas emisi CO_2 yang diizinkan untuk setiap kilogram hidrogen (kg CO_2-eq /kg H_2). Uni Eropa menetapkan batas emisi sebesar 3,4 kg CO_2-eq /kg H_2, sementara Inggris memiliki dua standar, yaitu 3,9 kg CO_2-eq /kg H_2 untuk *Renewable Transport Fuel Obligation* dan 2,4 kg CO_2-eq /kg H_2 untuk standar Departemen BEIS. Amerika Serikat, melalui Department of Energy (DoE), belum menetapkan batas emisi tertentu, meskipun negara bagian California memiliki batas yang lebih longgar, yakni 4,0 kg CO_2-eq /kg H_2. Di sisi lain, Korea Selatan menetapkan batas emisi sebesar 4,0 kg CO_2-eq /kg H_2 setara dengan standar di Amerika Serikat. Batas emisi yang bervariasi ini mencerminkan prioritas masing-masing wilayah dalam mengurangi jejak karbon dari produksi hidrogen serta mendukung transisi energi rendah karbon.

Tabel 2. Klasifikasi hidrogen berdasarkan batas emisi: Skema Wajib (GGGI, 2024)

Berlaku di	Mekanisme pengaturan	Kebutuhan daya					Batas Emisi (kgCO_2-eq/kgH_2)	Jalur Produksi		
		GO or additionality	Surya, angin, hidro	Panas Bumi	Nuklir	Jaringan Listrik		Elektrolisis	SMR / ATR dengan *Carbon Capture*	Biogas SMR
Uni Eropa	*European Commission - Renewable Energy Directive II*	*GO and additionality*	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	3,4	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan
Inggris	*Renewable Transport Fuel Obligation*	*GO and additionality*	Ditentukan	Ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	3,9	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan
Inggris	*Department for BEIS - Low Carbon Hydrogen Standard*	*GO*	Ditentukan	Ditentukan	Ditentukan	Ditentukan	2,4	Ditentukan	Ditentukan	Ditentukan
Amerika Serikat	*US Department of Energy - Clean Hydrogen Production Standard (draft)*	*No GO/ additionality*	Ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	Ditentukan	4,0	Ditentukan	Ditentukan	Ditentukan
California	*California Air Resources Board: Low Carbon Fuel Standard*	*GO*	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	Tidak ada batas	Ditentukan	Ditentukan	Ditentukan
Korea Selatan	*Clean Hydrogen Certification System*	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	4,0	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan

Tabel 3 merangkum berbagai standar sertifikasi hidrogen rendah karbon yang diterapkan di berbagai negara dan organisasi internasional, dengan fokus pada batas emisi CO_2 yang diperbolehkan per kilogram hidrogen (kg CO_2-eq /kg H_2). Setiap standar memiliki batas emisi yang bervariasi, mencerminkan perbedaan kebijakan lingkungan serta target dekarbonisasi di masing-masing wilayah. Uni Eropa (CertifHy) dan Jerman (TÜV SÜD) menetapkan batas emisi sebesar 4,4 kg CO_2-eq /kg H_2 untuk hidrogen rendah karbon. Sementara itu, International Green Hydrogen Organization menerapkan batas yang lebih ketat, yaitu 1,0 kg CO_2-eq /kg H_2, menekankan komitmen terhadap pendekatan yang lebih berkelanjutan. Di sisi lain, China Hydrogen Alliance memperbolehkan batas emisi hingga 4,9 kg CO_2-eq /kg H_2, sedangkan China Energy Council memiliki batas yang jauh lebih longgar, yakni 14,5 kg CO_2-eq /kg H_2, mencerminkan perbedaan strategi dalam upaya pengurangan emisi karbon.

Tabel 3. Klasifikasi hidrogen berdasarkan batas emisi: Skema Sukarela (GGGI, 2024)

Titel	Label	Kebutuhan daya					Batas Emisi (kg CO_2-eq/ kg H_2)	Jalur Produksi		
		GO or additionality	Surya, angin, hidro	Panas Bumi	Nuklir	Jaringan Listrik		Elektrolisis	SMR / ATR dengan *Carbon Capture*	Biogas SMR
Uni Eropa - CertiHy	Hidrogen Hijau	*GO and additionality*	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	4,4	Ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan
	Hidrogen Rendah Karbon	*GO*	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	Ditentukan	4,4	Ditentukan	Ditentukan	Tidak ditentukan
Jerman - TUV SUD	Hidrogen Hijau	*GO and additionality*	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Batas CertiHy berlaku	Ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan
International - Green Hydrogen Organization	Hidrogen Hijau	*GO*	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	1,0	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan
China - China Hydrogen Alliance	Hidrogen Terbarukan	*GO*	Ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	Ditentukan	4,9	Ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan
	Hidrogen Bersih	*No GO/ Additionality specified*	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	4,9	Ditentukan	Ditentukan	Tidak ditentukan
	Hidrogen Rendah Karbon	*No GO/ Additionality specified*	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	14,5	Tidak ditentukan	Ditentukan	Tidak ditentukan
Jepang - Aichi Prefecture	Hidrogen Rendah Karbon	*GO + Additionality*	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	Ditentukan	Tidak ditentukan
Australia - Smart Energy Council	Hidrogen Terbarukan	*GO*	Ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan	Tidak ditentukan	Ditentukan



Fasilitas CCS menangkap emisi karbon dioksida dari proses industri dan pembangkit listrik, kemudian menyimpannya di bawah tanah untuk mencegahnya memasuki atmosfer, membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. —Shutterstock

Hidrogen juga dapat dikelompokkan berdasarkan metode produksinya. Berdasarkan **Gambar 5**, klasifikasi hidrogen berdasarkan metode produksi dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Alur Termal-Kimiawi

Alur ini menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara atau gas alam melalui proses *reforming*, seperti *steam methane reforming* (SMR). Proses ini menghasilkan hidrogen abu-abu. Jika proses ini dilengkapi dengan teknologi *carbon capture and storage* (CCS), hidrogen yang dihasilkan adalah hidrogen biru.

Alur Biomassa

Alur ini memanfaatkan biomassa, seperti biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik atau limbah pertanian, sebagai sumber hidrogen. Hidrogen yang dihasilkan melalui jalur ini sebagai hidrogen rendah karbon, terutama jika energi yang digunakan dalam prosesnya berasal dari sumber terbarukan. Selain fermentasi, biomassa juga dapat diolah melalui proses gasifikasi, di mana bahan organik dipanaskan pada suhu tinggi dengan suplai oksigen atau udara yang terbatas. Proses ini menghasilkan SNG (gas sintetis), yang terdiri dari campuran hidrogen, karbon monoksida, dan sedikit metana. SNG ini kemudian dapat diproses lebih lanjut untuk meningkatkan kandungan hidrogennya melalui reaksi *water-gas shift*, sehingga menghasilkan hidrogen yang lebih murni. Dengan menggunakan sumber biomassa yang berkelanjutan, jalur ini berpotensi menjadi solusi yang efektif untuk memproduksi hidrogen rendah karbon sekaligus mengurangi emisi gas rumah kaca.

Alur Elektrolisis

Dalam alur elektrolisis, hidrogen dapat diklasifikasikan menjadi hidrogen hijau, kuning, dan merah muda, berdasarkan sumber listrik yang digunakan *electrolyzer* untuk memisahkan air menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2).

- **Hidrogen hijau** dihasilkan dari elektrolisis yang menggunakan listrik dari sumber energi terbarukan, seperti tenaga angin, matahari, atau air, sehingga tidak menghasilkan emisi karbon dan sangat ramah lingkungan.
- **Hidrogen kuning** dihasilkan melalui elektrolisis air menggunakan listrik dari jaringan umum (*grid*). Sumber listrik ini bisa berasal dari energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin, atau dari bahan bakar fosil seperti batu bara dan gas alam. Jejak karbon hidrogen kuning bergantung pada komposisi energi di jaringan tersebut—semakin tinggi proporsi energi terbarukan, semakin rendah emisinya.
- **Hidrogen merah muda**, diproduksi menggunakan listrik dari pembangkit listrik tenaga nuklir, menjadikannya bebas emisi karbon seperti hidrogen hijau, namun dengan tantangan terkait limbah nuklir dan isu keselamatan.

Alur Sumber Surya

Alur Sumber Surya merujuk pada produksi hidrogen dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber utama. Proses ini melibatkan beberapa pendekatan, termasuk pemecahan air berbasis surya dan foto-biologis. Pada metode pemecahan air berbasis surya, terdapat dua jalur utama yaitu *photoelectrochemical* (PEC) dan *solar thermochemical hydrogen* (STCH). Proses PEC memanfaatkan energi matahari untuk memicu reaksi kimia yang memecah air menjadi hidrogen dan oksigen, sementara metode STCH menggunakan panas matahari pada suhu tinggi untuk melakukan pemisahan air. Selain itu, pendekatan foto-biologis melibatkan mikroorganisme yang mampu memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan hidrogen secara biologis dari air dan bahan organik.

Alur Hidrogen Alami (*geologic hydrogen*)

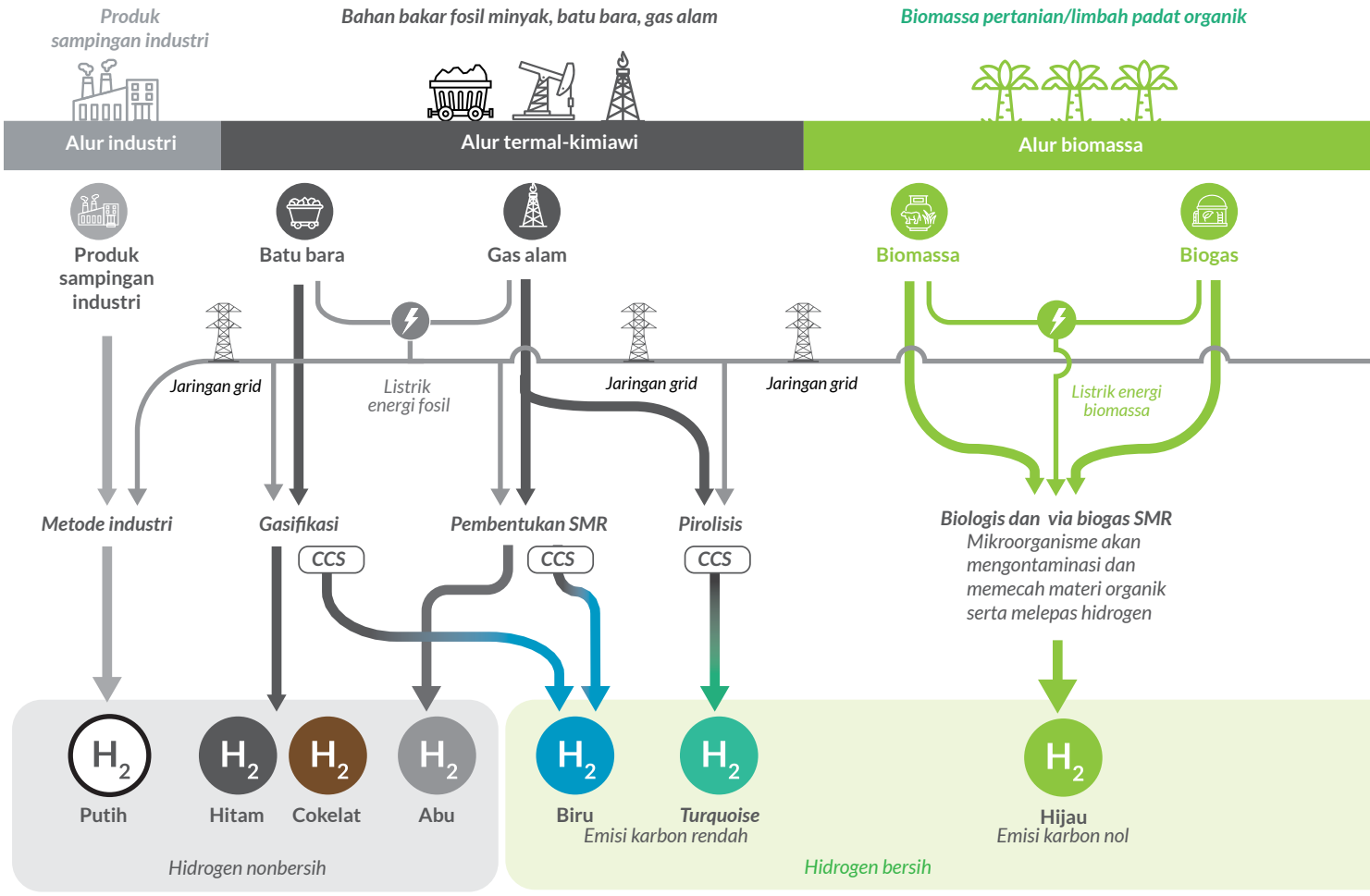
Mengacu pada hidrogen yang secara alami terdapat di bawah permukaan bumi dan dapat diekstraksi melalui pengeboran geologis. Metode ini disebut juga *natural hydrogen* dan dianggap sebagai hidrogen emas (rendah karbon) tergantung pada kondisi geologis dan teknik ekstraksinya.

Alur Metode Industri

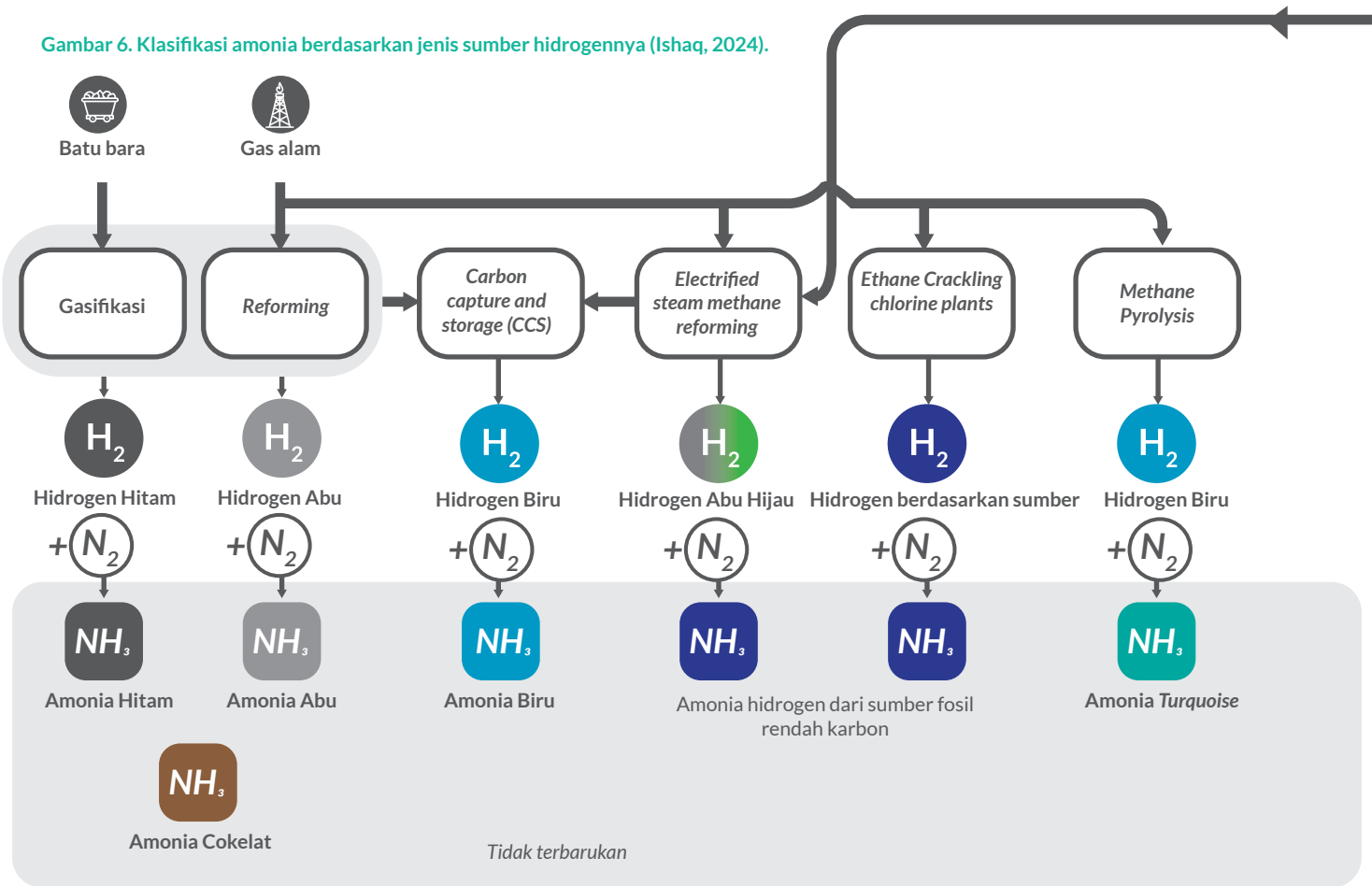
Menghasilkan hidrogen melalui proses industri seperti produksi hidrogen dari limbah industri atau kimia tertentu. Salah satu contohnya adalah hidrogen yang dihasilkan sebagai produk samping dalam industri klor-alkali. Hidrogen ini bisa disebut sebagai hidrogen industri atau hidrogen putih tergantung pada emisi karbon yang dihasilkan dalam proses tersebut.

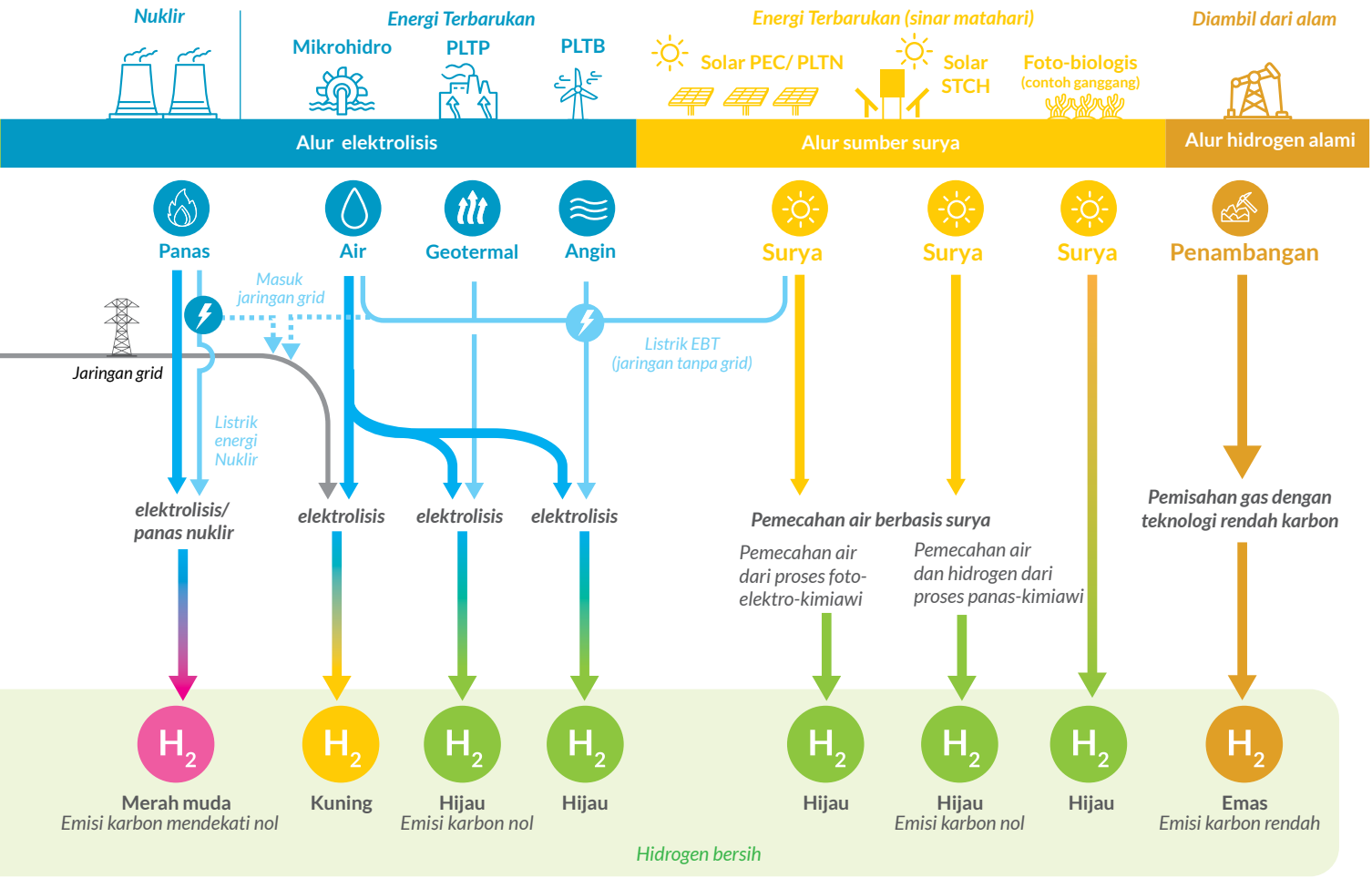
Setiap alur atau metode produksi ini menawarkan pendekatan berbeda dalam menghasilkan hidrogen, menyesuaikan dengan ketersediaan sumber daya lokal, teknologi yang digunakan, dan kebutuhan emisi rendah untuk menciptakan solusi energi yang lebih berkelanjutan.

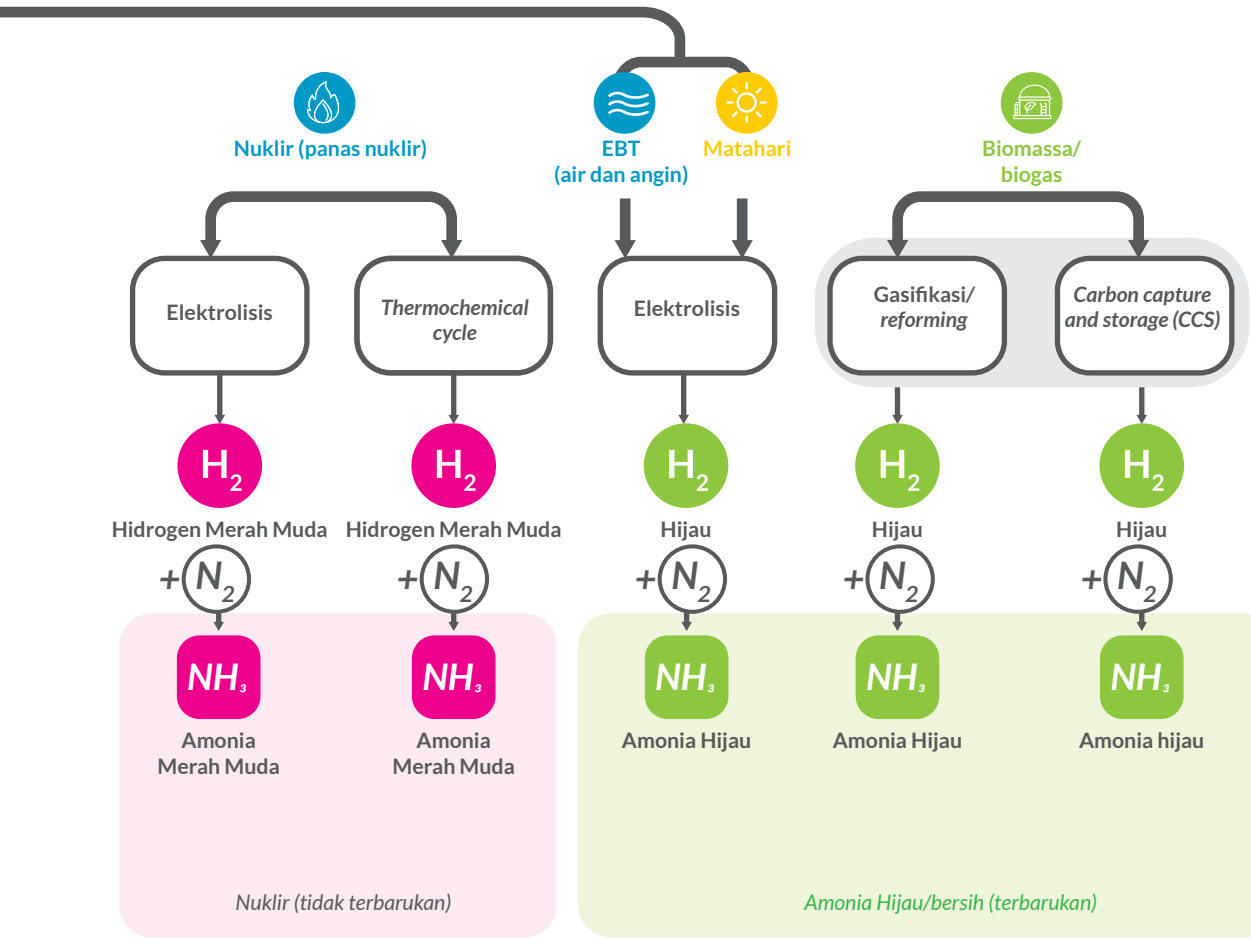
Gambar 5. Pembaruan klasifikasi hidrogen berdasarkan sumber energi dan teknologi (SHN, 2023)



Gambar 6. Klasifikasi amonia berdasarkan jenis sumber hidrogennya (Ishaq, 2024).




Nuklir
Energi Terbarukan
Mikrohidro
PLTP
PLTB
Energi Terbarukan (sinar matahari)
Solar PEC/ PLTN
Solar STCH
Foto-biologis
(contoh ganggang)
Diambil dari alam
Alur elektrolisis
Alur sumber surya
Alur hidrogen alami
Panas
Air
Geotermal
Angin
Surya
Surya
Surya
Penambangan
Masuk jaringan grid
Jaringan grid
Listrik EBT (jaringan tanpa grid)
Listrik energi Nuklir
elektrolisis/ panas nuklir
elektrolisis
elektrolisis
elektrolisis
Pemecahan air berbasis surya
Pemecahan air dari proses foto-elektro-kimiawi
Pemecahan air dan hidrogen dari proses panas-kimiawi
Pemisahan gas dengan teknologi rendah karbon
H2
Merah muda
Emisi karbon mendekati nol
Kuning
Hijau
Emisi karbon nol
Hijau
Hijau
Emisi karbon nol
Hijau
Hijau
Emas
Emisi karbon rendah
Hidrogen bersih


Nuklir (panas nuklir)
EBT (air dan angin)
Matahari
Biomassa/ biogas
Elektrolisis
Thermochemical cycle
Elektrolisis
Gasifikasi/ reforming
Carbon capture and storage (CCS)
H2
Hidrogen Merah Muda
Hidrogen Merah Muda
Hijau
Hijau
Hijau
+N2
NH3
Amonia Merah Muda
Amonia Merah Muda
Amonia Hijau
Amonia Hijau
Amonia hijau
Nuklir (tidak terbarukan)
Amonia Hijau/bersih (terbarukan)

2.1.1.2. Klasifikasi Amonia

Berbeda dengan hidrogen yang dikelompokkan berdasarkan sumber listrik atau batas emisinya, amonia dikelompokkan berdasarkan jenis sumber hidrogen sebagai bahan baku untuk proses produksinya. **Gambar 6** menunjukkan klasifikasi amonia dengan penjelasan sebagai berikut:

Amonia Hijau
Dihasilkan dari hidrogen hijau yang berasal dari elektrolisis menggunakan energi terbarukan (seperti angin, surya, atau hidro). Proses ini menghasilkan amonia yang ramah lingkungan karena tidak ada emisi karbon yang dihasilkan selama produksi.



Amonia Merah Muda
Dihasilkan dari hidrogen merah muda yang menggunakan listrik dari tenaga nuklir dalam proses elektrolisis. Meskipun bebas emisi karbon dalam produksi hidrogennya, jenis ini memiliki pertimbangan terkait limbah nuklir.



Amonia *Turquoise*
Dihasilkan dari hidrogen *turquoise*, yang diproduksi melalui proses pirolisis metana. Metode ini menghasilkan karbon padat sebagai produk sampingan, sehingga memiliki emisi karbon lebih rendah dibandingkan dengan metode reformasi tradisional.



Amonia Biru
Dihasilkan dari hidrogen biru yang berasal dari proses *reforming* bahan bakar fosil (seperti gas alam) dengan penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS). Ini mengurangi emisi karbon dibandingkan dengan metode konvensional, menjadikannya lebih ramah lingkungan daripada hidrogen abu-abu.



Amonia Abu-Abu
Dihasilkan dari hidrogen abu-abu yang diperoleh melalui proses *reforming* bahan bakar fosil tanpa penangkapan karbon. Proses ini menghasilkan emisi karbon yang signifikan, sehingga dianggap sebagai amonia yang kurang ramah lingkungan.



Amonia Hitam/Cokelat
Dihasilkan dari hidrogen yang diperoleh dari proses gasifikasi batu bara (untuk amonia hitam) atau lignit (untuk amonia cokelat). Metode ini menghasilkan emisi karbon yang sangat tinggi, sehingga termasuk dalam kategori non-terbarukan.



Setiap jenis amonia memiliki karakteristik yang berbeda, bergantung pada metode produksi hidrogen yang digunakan serta tingkat emisi karbon yang dihasilkan selama proses produksinya. Amonia hijau dan pink merupakan pilihan yang lebih ramah lingkungan, sementara amonia biru dan turquoise berperan sebagai solusi transisi dengan emisi yang lebih rendah dibandingkan hidrogen abu-abu.

2.1.2. Teknologi Penyimpanan dan Distribusi Hidrogen dan Amonia

Teknologi penyimpanan dan distribusi hidrogen serta amonia memainkan peran krusial dalam rantai pasok energi bersih dan keberlanjutan. Hidrogen dapat disimpan dalam berbagai bentuk, seperti gas terkompresi dalam tangki bertekanan tinggi, cair pada suhu kriogenik (-253°C), atau dalam bentuk padatan melalui metal hidrida dan bahan penyerap lainnya. Pemilihan metode penyimpanan ini bergantung pada faktor volume, biaya, serta kebutuhan aplikasi spesifik, dengan kompresi dan pencairan yang umum digunakan untuk skala besar.

Dalam hal distribusi, hidrogen dapat diangkut melalui jaringan pipa khusus, yang efisien untuk transportasi jarak pendek atau antar wilayah. Sementara itu, untuk jarak yang lebih jauh, hidrogen dapat didistribusikan menggunakan truk, kereta api, atau kapal dalam bentuk gas terkompresi atau cair. Pipa menawarkan keunggulan dalam efisiensi dan keamanan pengendalian aliran hidrogen, sedangkan truk memberikan fleksibilitas rute. Kereta api memungkinkan kapasitas angkut yang lebih besar untuk distribusi jarak menengah, sementara kapal laut menjadi solusi ekonomis untuk pengiriman dalam jumlah besar, terutama dalam distribusi lintas batas atau antarpulau.

Dengan mengombinasikan berbagai moda transportasi sesuai dengan kebutuhan lokasi, volume, dan efisiensi biaya, distribusi hidrogen dapat dioptimalkan untuk mendukung transisi menuju energi bersih yang berkelanjutan.

A. Teknologi Penyimpanan Hidrogen

Perbandingan opsi penyimpanan dalam bentuk gas terkompresi, cair, dan padatan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perbandingan opsi penyimpanan hidrogen dalam fase gas terkompresi, cair, dan padatan

Aspek	Gas Terkompresi	Cair (*liquified*)	Padatan
Efisiensi Energi	55-70% efisiensi penyimpanan; kompresi memerlukan 10-15 kWh/kg H_2	65-80% efisiensi penyimpanan; pencairan membutuhkan 12-15 kWh/kg H_2	60-90% tergantung material; membutuhkan 5-10 kWh/kg H_2 untuk pelepasan
Biaya Infrastruktur	US$500-1.000 per kg H_2 untuk tangki tekanan tinggi (700 bar)	US$1.000-1.500 per kg H_2 untuk tangki kriogenik	US$1.500-2,000 per kg H_2, biaya tinggi terkait bahan penyerap
Kepadatan Energi	~0,035 kg H_2/L pada 700 bar	~0,071 kg H_2/L pada -253°C	0.05-0.09 kg H_2/L tergantung jenis material penyerap (misalnya, MgH_2)
Jumlah hidrogen yang dapat diangkut (dalam truk 40 ton)	~400-500 kg H_2per pengiriman	~4.000-4.500 kg H_2 per pengiriman	US$1.000-2.000 per kg H_2 tergantung bahan penyerap dan desain tangki
Keamanan	Risiko tinggi terkait kebocoran atau ledakan karena tekanan tinggi	Risiko terkait kebocoran kriogenik dan kerugian akibat penguapan	Lebih aman untuk transportasi karena hidrogen tersimpan dalam senyawa stabil, tetapi pelepasan hidrogen membutuhkan suhu atau tekanan tertentu
Aplikasi	Kendaraan hidrogen, pengisian ulang cepat, transportasi jarak pendek	Transportasi skala besar, penyimpanan dalam jangka panjang di lokasi tetap	Aplikasi di tempat yang memerlukan penyimpanan stabil dengan frekuensi pelepasan yang rendah

B. Teknologi Penyimpanan Amonia



Sementara itu, amonia menawarkan keunggulan lebih besar dalam penyimpanan dan transportasi dibandingkan hidrogen, terutama karena titik didihnya yang lebih tinggi (-33°C). Hal ini memungkinkan amonia lebih mudah dicairkan dan disimpan dalam tangki bertekanan rendah. Amonia cair dapat diangkut menggunakan infrastruktur yang mirip dengan gas alam cair (LNG), seperti kapal tanker, truk, dan jaringan pipa. Selain itu, amonia juga dapat berfungsi sebagai *carrier* hidrogen, di mana hidrogen diekstraksi dari amonia di lokasi penggunaannya.

Selain dalam bentuk cair, amonia juga dapat disimpan dalam bentuk padatan melalui senyawa seperti garam amonium (misalnya, amonium karbonat) atau dalam kompleks metal amina yang mampu menyerap dan melepaskan amonia. Penyimpanan dalam bentuk padatan ini menawarkan keunggulan dari segi keamanan dan stabilitas, terutama untuk aplikasi yang memerlukan transportasi dalam skala kecil dengan kondisi yang lebih aman. Teknologi ini memungkinkan penyimpanan energi dalam bentuk yang lebih stabil dan efisien.

Baik teknologi penyimpanan hidrogen maupun amonia terus berkembang pesat untuk meningkatkan efisiensi, menurunkan biaya, dan mempercepat transisi menuju ekonomi rendah karbon. **Tabel 5** menyajikan perbandingan berbagai opsi penyimpanan amonia dari segi efisiensi, biaya, kepadatan energi, keamanan, dan aplikasi.

Tabel 5. Perbandingan opsi penyimpanan amonia dalam fasa gas terkompresi, cair, dan padat

Aspek	Gas Terkompresi	Cair (*liquified*)	Padatan
Efisiensi Energi	~70-85% efisiensi penyimpanan; kompresi memerlukan 0.5-1 kWh/kg NH_3	85-95% efisiensi penyimpanan; pencairan membutuhkan ~1.5 kWh/kg NH_3	60-80% efisiensi; pelepasan amonia dari padatan membutuhkan 2-4 kWh/kg NH_3
Biaya infrastruktur	US$300-600 per ton NH_3 untuk tangki tekanan tinggi (~10 bar)	US$700-1.000 per ton NH_3 untuk tangki kriogenik (-33°C)	US$1.000-1.500 per ton NH_3, tergantung material penyerap seperti zeolit atau *metal ammine complexes*
Kepadatan Energi	~0,005 kg NH_3/L pada tekanan 10 bar	~0,68 kg NH_3/L pada kondisi cair (-33°C)	0,5-0,7 kg NH_3/L tergantung jenis material penyerap
Jumlah Hidrogen yang dapat diangkut (dalam truk 40 ton)	~1.000-1.200 kg H_2 ekuivalen per pengiriman	~5.500-6.000 kg H_2 ekuivalen per pengiriman	~3,500-4,500 kg H_2 ekuivalen per pengiriman, tergantung kapasitas penyimpanan padatan
Keamanan	Risiko kebocoran gas amonia, perlu peralatan keselamatan tambahan	Risiko kebocoran cair, potensi pembentukan gas di lingkungan terbuka	Lebih aman, amonia tersimpan dalam senyawa stabil, pelepasan membutuhkan pemanasan atau reaksi kimia
Aplikasi	Transportasi jarak pendek, penggunaan industri skala kecil	Transportasi skala besar, penyimpanan jangka panjang di lokasi tetap	Aplikasi di tempat yang membutuhkan penyimpanan jangka panjang dan keamanan tinggi, seperti penyimpanan di daerah terpencil atau untuk kebutuhan darurat

2.1.3. Pemanfaatan Hidrogen dan Amonia

Pemanfaatan hidrogen dan amonia di tingkat global mengalami perkembangan pesat, terutama seiring dengan upaya transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan. Kedua sumber energi ini semakin banyak digunakan di berbagai sektor untuk mendukung dekarbonisasi dan efisiensi energi. Berikut adalah beberapa aplikasi utama hidrogen dan amonia di berbagai industri:

A. Pemanfaatan Hidrogen



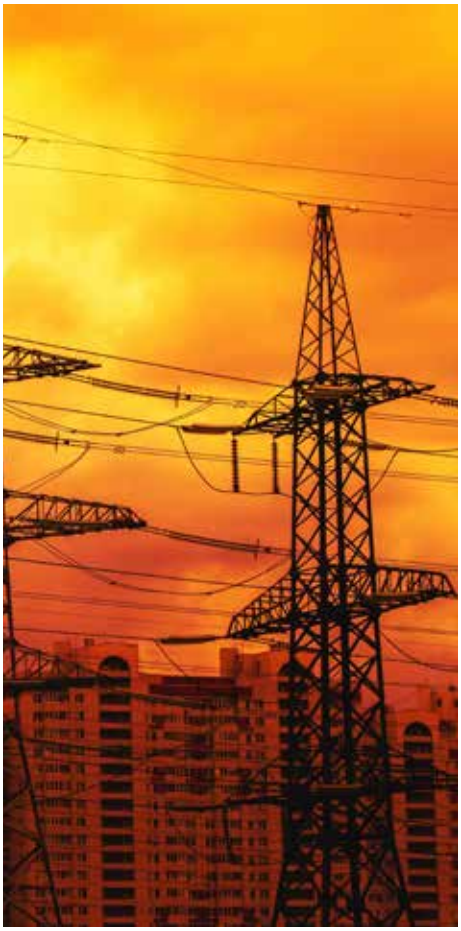
Sektor Transportasi

Hidrogen digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan berbasis sel bahan bakar (FCEV), termasuk mobil, bus, truk, dan kereta api. Jepang, Korea Selatan, Jerman, dan Amerika Serikat telah mengembangkan infrastruktur hidrogen, termasuk jaringan stasiun pengisian bahan bakar, guna mendukung adopsi FCEV secara lebih luas. Hidrogen juga diterapkan dalam proyek percontohan untuk kapal laut dan kereta api bertenaga hidrogen.



Sektor Industri

Hidrogen digunakan dalam proses industri seperti produksi amonia melalui proses Haber-Bosch, serta sebagai bahan baku dalam industri kimia. Selain itu, hidrogen digunakan untuk pembuatan metanol dan dalam industri baja untuk menggantikan batu bara dalam proses *direct reduction*.



Sektor Energi

Di sektor energi, hidrogen memainkan peran krusial dalam mendukung transisi menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Dalam industri migas, hidrogen digunakan di kilang untuk mengolah minyak bumi, seperti menghilangkan sulfur dari bahan bakar fosil, sehingga membantu menekan emisi polutan.

Selain itu, hidrogen dimanfaatkan dalam sel bahan bakar untuk menghasilkan listrik dan panas, terutama di lokasi yang membutuhkan sumber daya desentralisasi atau sulit dijangkau, seperti daerah terpencil. Sejumlah negara maju, seperti Jepang dan Jerman, mulai mengintegrasikan hidrogen ke dalam sistem ketenagalistrikan mereka dengan memanfaatkan turbin hidrogen pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) sebagai alternatif bahan bakar fosil.

Pemanfaatan hidrogen sebagai media penyimpanan energi skala besar juga semakin mendapat perhatian, terutama untuk menjaga stabilitas jaringan listrik. Hidrogen dapat diproduksi saat pasokan energi terbarukan berlebih, misalnya ketika intensitas sinar matahari atau angin tinggi, lalu disimpan dan digunakan kembali saat permintaan listrik meningkat atau ketika pasokan energi terbarukan menurun. Dengan kemampuannya menyeimbangkan fluktuasi energi dari sumber terbarukan seperti tenaga surya dan angin, hidrogen menjadi solusi penting dalam manajemen jaringan energi di masa depan.

B. Pemanfaatan Amonia



Sektor Industri

Amonia memainkan peran penting dalam sektor industri, terutama sebagai bahan baku utama dalam produksi pupuk nitrogen, seperti urea, yang krusial untuk meningkatkan produktivitas pertanian global. Negara-negara seperti Tiongkok, India, Amerika Serikat, dan anggota Uni Eropa merupakan produsen sekaligus konsumen utama amonia dalam industri ini, menjadikannya salah satu bahan kimia yang paling banyak digunakan di sektor agrikultur.

Selain perannya dalam pertanian, amonia juga digunakan secara luas dalam industri kimia sebagai bahan baku dalam pembuatan berbagai produk kimia lainnya. Di sektor pendinginan industri, amonia memiliki nilai tinggi sebagai refrigeran karena efisiensi termalnya yang tinggi serta dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan refrigeran konvensional. Tidak seperti banyak zat pendingin sintetis, amonia tidak merusak lapisan ozon, menjadikannya alternatif yang lebih ramah lingkungan.



Sektor Energi

Amonia berperan strategis dalam sektor energi sebagai media penyimpanan dan transportasi hidrogen serta bahan bakar alternatif ramah lingkungan. Dibandingkan hidrogen cair, amonia lebih mudah disimpan dan diangkut karena memiliki titik cair lebih tinggi (-33°C vs. -253°C), sehingga mengurangi biaya logistik. Di lokasi penggunaan, amonia dapat dikonversi kembali menjadi hidrogen untuk distribusi jarak jauh. Selain itu, amonia mulai dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit listrik guna menekan emisi karbon. Jepang dan beberapa negara tengah mengembangkan teknologi pembakaran amonia untuk turbin gas atau *co-firing* dengan batu bara sebagai solusi transisi energi bersih dalam sektor pembangkit listrik.



Sektor Transportasi

Amonia semakin dipertimbangkan sebagai bahan bakar alternatif dalam sektor maritim sebagai bagian dari upaya dekarbonisasi transportasi laut. Dengan emisi karbon dioksida (CO_2) yang rendah, amonia menawarkan solusi potensial untuk mengurangi jejak karbon industri perkapalan, yang selama ini bergantung pada bahan bakar fosil dengan intensitas karbon tinggi. Sejumlah proyek percontohan tengah berlangsung di Eropa dan Asia guna menguji kelayakan amonia sebagai bahan bakar kapal. Pengujian ini berfokus pada aspek keselamatan, efisiensi, serta dampaknya terhadap lingkungan. Jika berhasil diimplementasikan, amonia dapat menjadi terobosan dalam upaya pengurangan emisi gas rumah kaca di sektor transportasi laut, sekaligus mendukung target dekarbonisasi global dengan menyediakan alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.

C. Perkembangan Pemanfaatan Global

Ekonomi hidrogen mengalami percepatan menuju tahap komersialisasi di berbagai negara, didorong oleh investasi besar serta pengembangan teknologi untuk mendukung dekarbonisasi sektor-sektor utama, seperti transportasi, energi, dan industri. Jepang, Eropa, Amerika Serikat, Australia, dan Tiongkok telah menginisiasi proyek-proyek hidrogen berskala besar yang berfokus pada peningkatan kapasitas produksi, distribusi, serta pemanfaatan hidrogen rendah karbon atau hidrogen hijau.



JEPANG Jepang memiliki strategi besar untuk meningkatkan konsumsi hidrogen hingga mencapai 12 juta ton per tahun pada 2040. Pemerintah berencana menginvestasikan lebih dari 15 triliun yen (sekitar US$ 98,8 miliar) dalam 15 tahun mendatang untuk teknologi hidrogen, termasuk untuk transportasi, pembangkit listrik, dan penyimpanan energi. Di bidang transportasi, targetnya adalah memperkenalkan hingga 800.000 kendaraan sel bahan bakar (FCEV), 1.200 bus sel bahan bakar, dan 10.000 forklif berbasis hidrogen pada 2030, dengan rencana membangun hingga 320 stasiun pengisian hidrogen pada 2025. Selain itu, proyek strategis "*Fukushima Hydrogen Energy Research Field*" mampu memproduksi sekitar 1.200 Nm^3/h hidrogen dari energi terbarukan melalui elektrolisis (Chaube, dkk. 2020; Clifford Chance, 2022; World Economic Forum, 2024).



EROPA Uni Eropa melalui strategi hidrogennya menargetkan produksi 10 juta ton hidrogen terbarukan domestik dan 10 juta ton impor pada 2030, dengan investasi sekitar €320 miliar. Jerman, Belanda, dan Norwegia memfokuskan penggunaan hidrogen untuk sektor-sektor sulit di-dekarbonisasi, termasuk transportasi laut yang membutuhkan investasi besar dalam infrastruktur stasiun pengisian dan distribusi hidrogen di pelabuhan. Uni Eropa juga memperkenalkan *HyDeal Ambition*, sebuah inisiatif yang bertujuan menghasilkan hidrogen dengan harga terjangkau €1,5/kg sebelum 2030 (EU Hydrogen Observatory, 2023; Ammonia Energy Association, 2021).



AUSTRALIA Australia sedang mengembangkan potensi besar untuk produksi hidrogen hijau dengan tujuan ekspor, terutama ke Jepang dan Korea Selatan. Misalnya, proyek *Hydrogen Energy Supply Chain* (HESC) di Victoria memungkinkan pengiriman hidrogen cair ke Jepang sebagai solusi transportasi energi bersih. Selain itu, proyek besar-besaran lain seperti *Moolawatana Renewable Hydrogen Project* menggabungkan energi angin dan matahari untuk menghasilkan amonia hijau untuk ekspor (Hydrogen Insight, 2023; Monash University, 2021; ArenaWire, 2022).



AMERIKA SERIKAT Melalui inisiatif *Hydrogen Shot*, Departemen Energi AS (DoE) menargetkan untuk menurunkan biaya hidrogen bersih hingga US$1 per kilogram dalam satu dekade. Saat ini, biaya produksi hidrogen dari energi terbarukan mencapai sekitar US$5 per kilogram. Target ini diharapkan membuka pasar baru untuk hidrogen, termasuk untuk produksi baja, amonia bersih, penyimpanan energi, dan transportasi berat. Inisiatif ini juga diprediksi menciptakan 700.000 pekerjaan dan menghasilkan pendapatan hingga US$140 miliar pada tahun 2030 (Energy.Gov, 2023).



TIONGKOK Tiongkok berkomitmen untuk mencapai netralitas karbon pada 2060, dengan hidrogen hijau sebagai elemen kunci dalam transisi energi mereka. Dalam strategi jangka panjang, negara ini menargetkan peningkatan konsumsi hidrogen hingga 100-130 juta ton per tahun pada 2060, dengan 80-100 juta ton di antaranya berasal dari sumber energi terbarukan. Menjelang 2030, Tiongkok berambisi mengembangkan kapasitas produksi hidrogen hijau hingga 100 GW untuk mendukung sektor-sektor industri utama seperti kimia, baja, dan transportasi berat, yang membutuhkan volume hidrogen besar guna mencapai pengurangan emisi yang signifikan (Center on Global Energy Policy, 2023; RMI, 2022).

Penggunaan hidrogen dan amonia di berbagai sektor menunjukkan potensi besar mereka dalam mendukung transisi energi global. Pengembangan infrastruktur, penurunan biaya produksi, dan integrasi dengan sumber energi terbarukan menjadi kunci untuk mewujudkan potensi ini dalam menciptakan sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

2.1.4. Kecenderungan (Tren) Pengembangan Ekosistem Hidrogen dan Amonia

Pada 2024, perkembangan hidrogen bersih dan amonia hijau menunjukkan pertumbuhan yang kuat, dipengaruhi oleh peningkatan investasi, kemajuan teknologi, dan kebijakan yang mendukung transisi energi global.

A. Hidrogen Bersih

Permintaan global terhadap hidrogen bersih—yang mencakup hidrogen hijau (diproduksi melalui elektrolisis dengan energi terbarukan) dan hidrogen biru (dihasilkan dari bahan bakar fosil dengan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon/CCS)—telah mencapai hampir 100 juta ton pada 2024 (IEA, 2024; NexantECA, 2024). Penggunaannya semakin luas, mencakup sektor penyulingan minyak, produksi baja rendah karbon, serta transportasi, termasuk kendaraan berat dan berbagai aplikasi industri lainnya. Sejak 2020, jumlah proyek hidrogen bersih yang mencapai *Final Investment Decision* (FID) melonjak dari 102 menjadi 434 proyek pada 2024, dengan total investasi sekitar US$75 miliar (Hydrogen Council, 2024). Investasi terbesar terjadi di Amerika Serikat dan Eropa, didorong oleh kebijakan insentif seperti kredit pajak 45Q di AS dan program RED III di Uni Eropa yang mempercepat pengembangan proyek-proyek skala besar (Norton Rose Fulbright, Global Law Firm, 2021). Namun, realisasi kapasitas produksi masih menghadapi tantangan. Dari total kapasitas yang diumumkan sebesar 48 juta ton per tahun, hanya sekitar 12-18 juta ton per tahun yang diperkirakan dapat tercapai pada 2030. Hambatan utama mencakup kenaikan biaya listrik terbarukan dan keterbatasan infrastruktur transportasi hidrogen (Hydrogen Council, 2024).



B. Amonia Bersih

Amonia hijau, yang dihasilkan dari hidrogen hijau melalui proses Haber-Bosch, semakin diakui sebagai bahan bakar alternatif rendah karbon sekaligus pembawa hidrogen yang potensial. Pada 2024, pasar amonia hijau diperkirakan bernilai sekitar US$1,48 miliar dan diproyeksikan melonjak hingga US$61,56 miliar pada 2031, dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) lebih dari 70% (Biz Fin Intl, 2024). Amonia hijau digunakan di sektor pertanian sebagai bahan baku pupuk bebas emisi serta di sektor kelautan dan pembangkit listrik, yang tengah berkembang pesat, terutama di Eropa dan Asia Timur seperti Jepang. Beberapa proyek besar yang menonjol pada 2024 mencakup investasi strategis dari perusahaan seperti Yara International dan Mitsubishi Heavy Industries dalam pengembangan infrastruktur produksi dan distribusi (Biz Fin Intl, 2024).

Selain itu, negara-negara seperti Australia dan Arab Saudi menjadi pusat produksi utama berkat ketersediaan sumber daya energi terbarukan yang melimpah serta adanya kesepakatan ekspor (Norton Rose Fulbright, Global Law Firm, 2024). Amonia hijau juga semakin diposisikan sebagai pembawa hidrogen dalam bentuk cair untuk transportasi jarak jauh, sehingga dapat mengatasi tantangan logistik hidrogen dalam bentuk gas yang lebih kompleks.



C. Tantangan dan Peluang

Meskipun investasi meningkat, pasar hidrogen bersih dan amonia hijau masih menghadapi tantangan regulasi, biaya teknologi, dan infrastruktur. Ketidakpastian kebijakan di tingkat nasional dan regional memperlambat proyek-proyek baru (Hydrogen Council, 2024). Selain itu, biaya produksi hidrogen hijau melalui elektrolisis masih tinggi, berkisar US$2-5 per kg, tergantung sumber energi terbarukan (NexantECA, 2024), sehingga sulit bersaing dengan hidrogen abu-abu yang lebih murah dari gas alam tanpa CCS. Namun, skala produksi yang lebih besar dan penurunan harga teknologi, termasuk *electrolyzer* yang diperkirakan turun hingga 30% di beberapa pasar utama, diharapkan dapat menekan biaya (Norton Rose Fulbright, 2024).

Untuk mendorong adopsi hidrogen dan amonia hijau, berbagai negara telah meluncurkan strategi nasional, seperti Rencana Strategis Hidrogen Eropa serta strategi hidrogen hijau Jepang dan Korea Selatan (Hydrogen Council, 2024; Norton Rose Fulbright, 2024). Secara keseluruhan, meski prospek transisi energi menjanjikan, keberlanjutannya tetap bergantung pada kejelasan kebijakan dan investasi besar guna mencapai target dekarbonisasi global.

2.1.5. Kecenderungan Pasar dan Harga Hidrogen dan Amonia

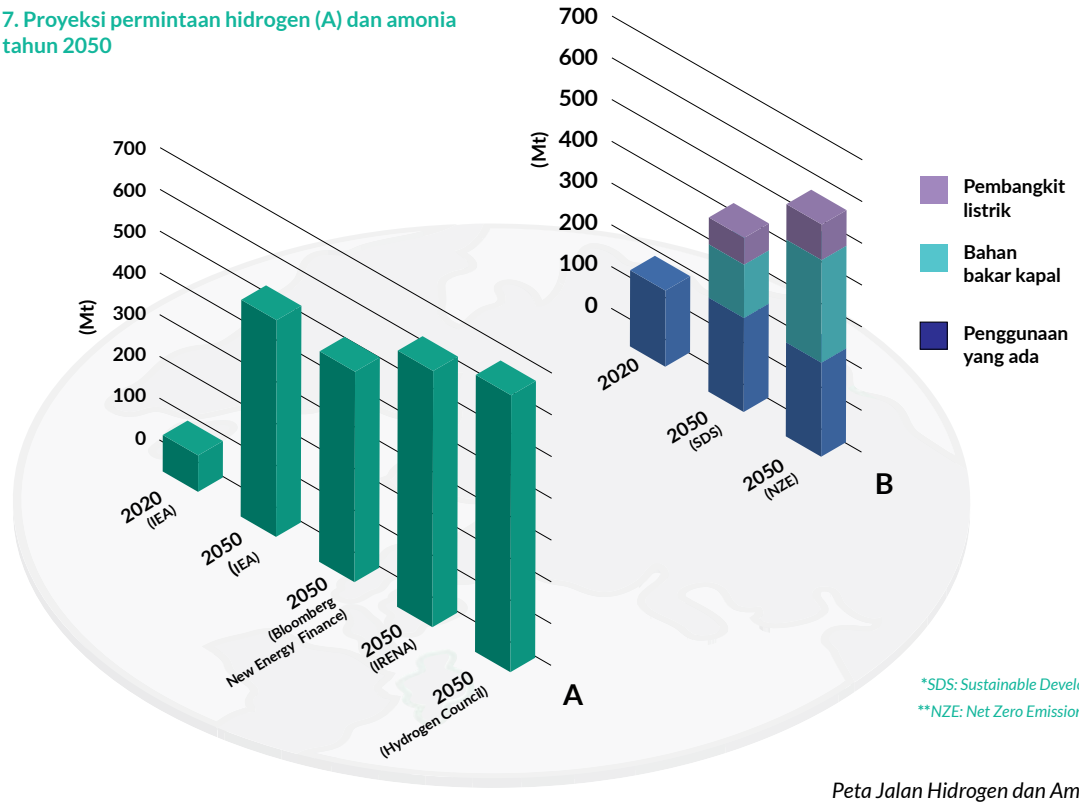
Data dari International Energy Agency (IEA) menunjukkan bahwa pada tahun 2019, hanya tiga negara yaitu Prancis, Jepang, dan Korea Selatan yang memiliki strategi hidrogen nasional. Namun, pada akhir tahun 2021, jumlah ini telah meningkat secara signifikan. Setidaknya 17 negara telah merilis strategi hidrogen, dan lebih dari 20 negara telah mengumumkan secara terbuka bahwa mereka sedang mengembangkan strategi hidrogen (IEA, 2021).

A. Kecenderungan Permintaan Pasar Global Hidrogen dan Amonia

Menurut IEA (2021), pasar global hidrogen diperkirakan akan mencapai 520 Mton pada tahun 2030 (**Gambar 7A**). *S&P Global Commodities Insights* (2024) memprediksi bahwa pada tahun 2050, 67% hidrogen akan berwarna hijau, 16% biru, dan 17% masih berasal dari bahan bakar fosil (gas dan batu bara). Proyeksi permintaan hidrogen juga diperkirakan oleh institusi lain seperti BloombergNEF, IRENA, dan Hydrogen Council (**Gambar 7A**).

Permintaan amonia sebagian besar didorong oleh permintaan pupuk nitrogen mineral (sekitar 80% dari produksi amonia), dengan sisa permintaan berasal dari aplikasi industri lainnya. Sejak 2010, permintaan pupuk tumbuh rata-rata 0,9% per tahun, sementara permintaan non-pupuk tumbuh 4% per tahun. Proyeksi permintaan amonia pada berbagai sektor tahun 2050 ditampilkan pada **Gambar 7B.**

Gambar 7. Proyeksi permintaan hidrogen (A) dan amonia (B) pada tahun 2050



*SDS: Sustainable Development Scenario,
**NZE: Net Zero Emissions scenario

Amonia memiliki potensi unggul sebagai *hydrogen carrier* dibandingkan hidrogen murni, berkat kepadatan energi volumetriknya yang lebih tinggi dan suhu pencairan yang lebih stabil, sehingga lebih mudah diangkut dan disimpan. Fraksi massa hidrogen dalam amonia mencapai 17,65 wt% dengan densitas volume hidrogen 0,105 kg/L. Dengan efisiensi konversi 50%, diperlukan 110 L amonia untuk menghasilkan 5 kg hidrogen (US Department of Energy, 2006).

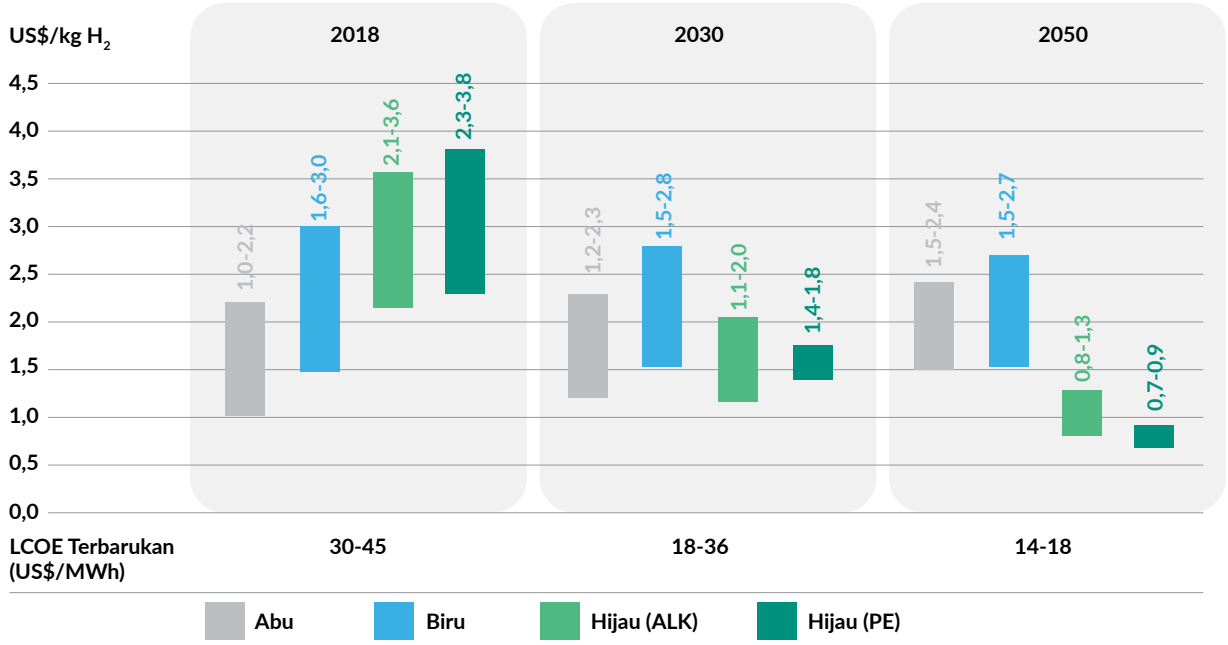
Selain dapat diuraikan menjadi hidrogen murni, amonia juga bisa digunakan langsung dalam *co-firing* di pembangkit listrik berbahan bakar batu bara. Namun, penerapannya masih menghadapi tantangan, seperti teknologi yang masih dalam pengembangan—terutama di Jepang (Zhao dkk., 2023)—serta potensi emisi NOx yang harus dikendalikan dengan teknologi lanjutan agar sesuai dengan standar emisi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. 11 Tahun 2021.

B. Kecenderungan Harga Hidrogen dan Amonia

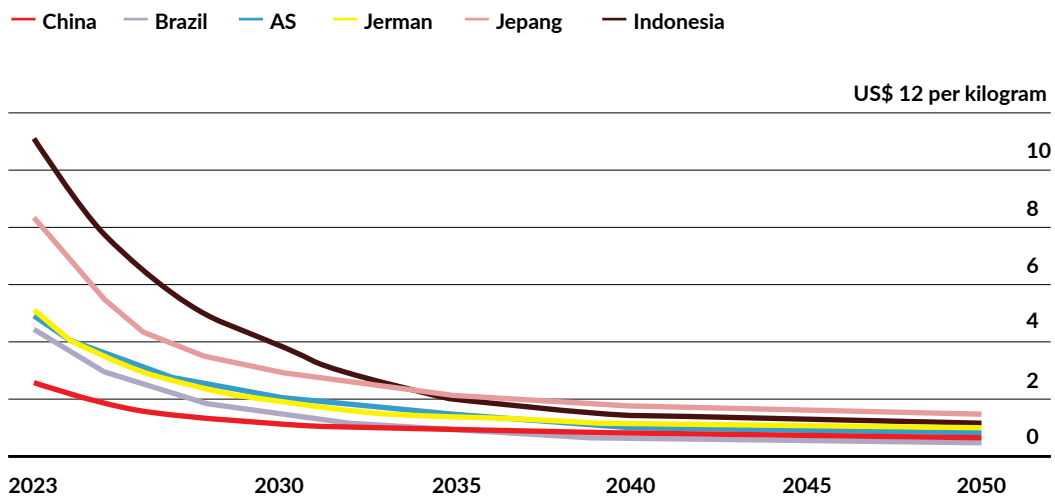
Pada 2020, biaya produksi hidrogen hijau secara global 2-8 kali lebih mahal dibandingkan hidrogen abu-abu, berkisar US$ 2-8/kg (IEA, 2021b). Namun, pada 2030, biayanya diperkirakan turun 62% dan mencapai titik impas dengan hidrogen abu-abu (Hydrogen Council, 2021). Penetapan *carbon pricing* minimal US$50 dapat mempercepat kesetaraan biaya hingga dua tahun, tergantung harga gas dan energi terbarukan regional (Hydrogen Council, 2021).

Di Indonesia, harga hidrogen hijau pada 2023 mencapai US$10-11/kg dan diperkirakan turun ke US$ 4-6/kg pada 2030. Tren harga hidrogen berdasarkan jenis produksi serta *levelized cost of hydrogen* (LCOH) di berbagai negara ditampilkan pada **Gambar 8** dan **9**.

Gambar 8. Kecenderungan perkembangan harga hidrogen secara global berdasarkan jenis teknologi produksi pada tahun 2018, 2030, dan 2050 (S&P)



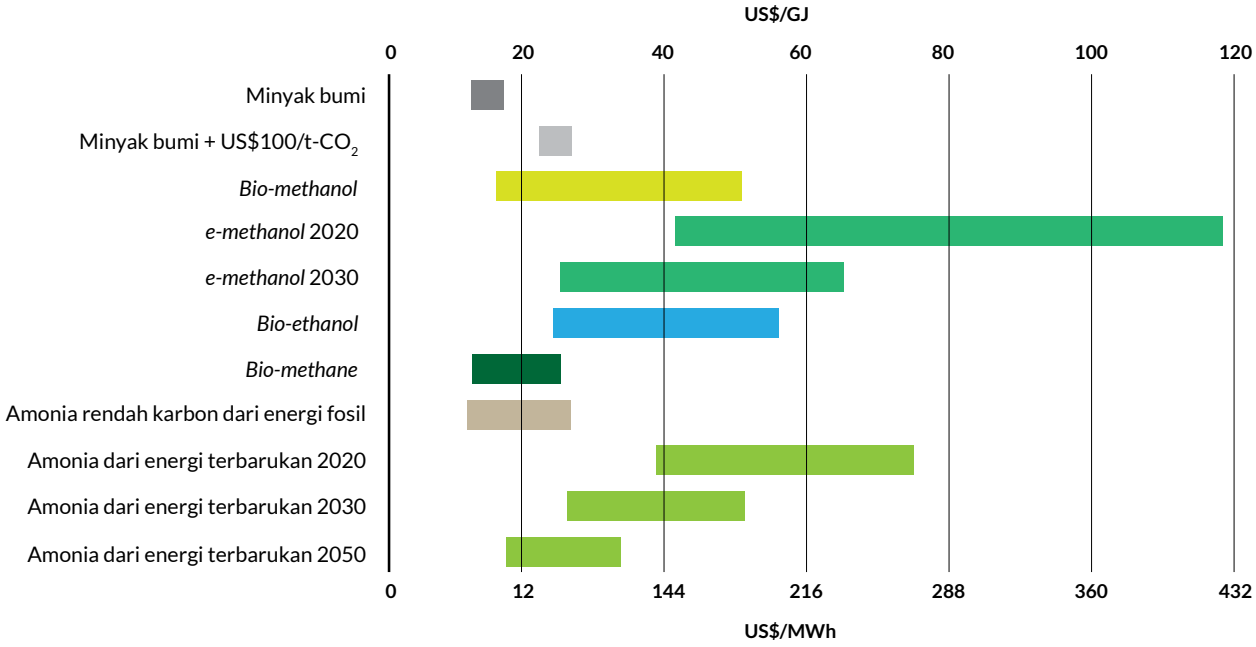
Gambar 9. *Levelized cost of hydrogen* (LCoH) dari sumber energi terbarukan di berbagai negara tahun 2023–2050



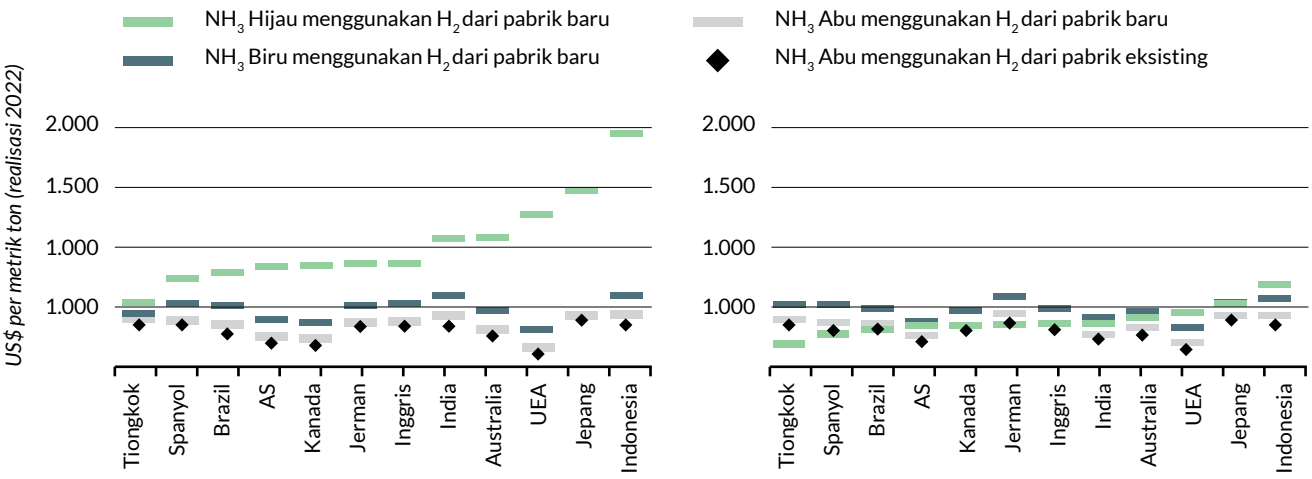
Sumber : BloombergNEF

Biaya produksi amonia berbasis gas alam dan batu bara saat ini berkisar antara US$110-340 per ton, atau total biaya menjadi US$ 210-490 per ton (Haldor Topsøe et al., 2020). Sementara itu, biaya produksi amonia hijau saat ini berada di kisaran US$720-1.400 per ton, dan diprediksikan akan terus menurun menjadi US$310-610 per ton pada tahun 2050. Biaya produksi amonia hijau bergantung pada biaya hidrogen yang mencakup lebih dari 90% biaya produksi amonia. Kecenderungan perkembangan harga amonia dapat dilihat pada **Gambar 10**. Kisaran harga amonia hijau di Indonesia pada tahun 2023 berada di kisaran harga US$2.000 per metrik ton dan diproyeksikan harga amonia hijau mencapai US$700 per metrik ton pada tahun 2030 **(Gambar 11)**.

Gambar 10. Kecenderungan perkembangan harga amonia berdasarkan jenis teknologi produksi tahun 2020–2050 (IRENA)



Gambar 11. Harga produksi amonia pada tahun 2023 (kiri) dan kecenderungan di tahun 2030 (kanan) di berbagai negara



Sumber: BloombergNEF. Catatan: Dengan asumsi menggunakan pabrik amonia eksisting. Menggunakan *levelized cost of hydrogen* dari BNEF'S 2023 Hydrogen Levelized Cost Update: Green Beats Gray (web | terminal), sebagai input untuk biaya produksi amonia.

2.2. Perspektif Nasional

Pengembangan hidrogen di Indonesia dirancang dalam tiga tahap, yaitu fase Inisiasi, Pengembangan dan Integrasi, serta Akselerasi dan Berkelanjutan. Pada tahap Inisiasi, fokus utama adalah menginisiasi pengembangan hidrogen rendah karbon sambil menunggu tercapainya keekonomian yang optimal. Di sisi lain, langkah awal menuju pengembangan hidrogen hijau mulai dilakukan, meskipun hidrogen tinggi karbon masih mendominasi dalam pemanfaatannya. Memasuki tahap Pengembangan dan Integrasi, hidrogen rendah karbon diproyeksikan akan mencapai keseimbangan dengan hidrogen tinggi karbon, sementara hidrogen hijau mulai diimplementasikan secara lebih signifikan sebagai bagian dari transisi menuju energi bersih. Pada tahap Akselerasi dan Berkelanjutan, hidrogen hijau diharapkan mendominasi sepenuhnya, hidrogen rendah karbon mengalami penurunan, dan hidrogen tinggi karbon tidak lagi digunakan. Strategi ini mencerminkan komitmen Indonesia untuk mendorong transisi energi secara bertahap dan terstruktur, dengan tetap memperhatikan kebutuhan pasar, kemajuan teknologi, dan keberlanjutan lingkungan.

Rantai pasok hidrogen dan amonia adalah sistem yang kompleks yang meliputi semua langkah dari produksi, penanganan (penyimpanan dan distribusi), hingga pemanfaatan hidrogen sebagai sumber energi. Sistem rantai pasok hidrogen dapat dilihat pada **Gambar 12**. Berdasarkan gambar rantai pasok hidrogen, alur distribusi hidrogen terdiri dari tiga tahap utama: produksi, penanganan (penyimpanan dan distribusi), dan pemanfaatan. Pada tahap produksi, hidrogen dapat dihasilkan dari berbagai sumber energi, seperti listrik dari PLTA atau PLTS melalui proses elektrolisis dan fotolisis, yang memanfaatkan energi terbarukan untuk memecah air menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Selain itu, hidrogen juga dapat diproduksi secara termokimia dan melalui gasifikasi dari bahan bakar fosil atau biomassa yang diintegrasikan dengan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS). Ada juga metode biologis yang memanfaatkan mikroorganisme untuk memproduksi hidrogen sebagai produk sampingan. Metode produksi terbaru ialah hidrogen alami yang diperoleh dari proses eksplorasi.

Setelah produksi, hidrogen perlu ditangani melalui metode penyimpanan dan transportasi. Penyimpanan hidrogen bisa dilakukan dalam formasi geologi, tangki penyimpanan, atau dalam bentuk cairan, seperti LOHC (*Liquid Organic Hydrogen Carriers*). Teknologi kompresi, likuifikasi, serta adsorpsi fisik dan kimia digunakan digunakan untuk memastikan kemanan dan efisiensi produk. Hidrogen juga bisa disimpan dan didistribusikan dalam bentuk amonia sebagai pembawa hidrogen, yang memudahkan transportasi jarak jauh. Transportasi hidrogen dilakukan melalui berbagai moda, seperti pipa, truk, kereta api, atau kapal, tergantung pada kebutuhan volume dan jarak pengiriman.

Tahap terakhir adalah pemanfaatan hidrogen dalam berbagai sektor. Hidrogen digunakan di kilang minyak dan gas, industri kimia (termasuk produksi amonia dan metanol), serta di industri baja untuk mengurangi emisi karbon. Selain itu, hidrogen menjadi bahan bakar di sektor pembangkit listrik melalui teknologi *fuel cell*, mendukung sektor transportasi untuk kendaraan berbahan bakar hidrogen, dan digunakan untuk pemanasan serta jaringan gas di sektor rumah tangga. Rantai pasok ini menggambarkan peran hidrogen sebagai solusi energi transisi yang berkelanjutan, mendukung upaya dekarbonisasi di berbagai sektor industri dan energi.

Gambar 12. Sistem rantai pasok hidrogen di Indonesia

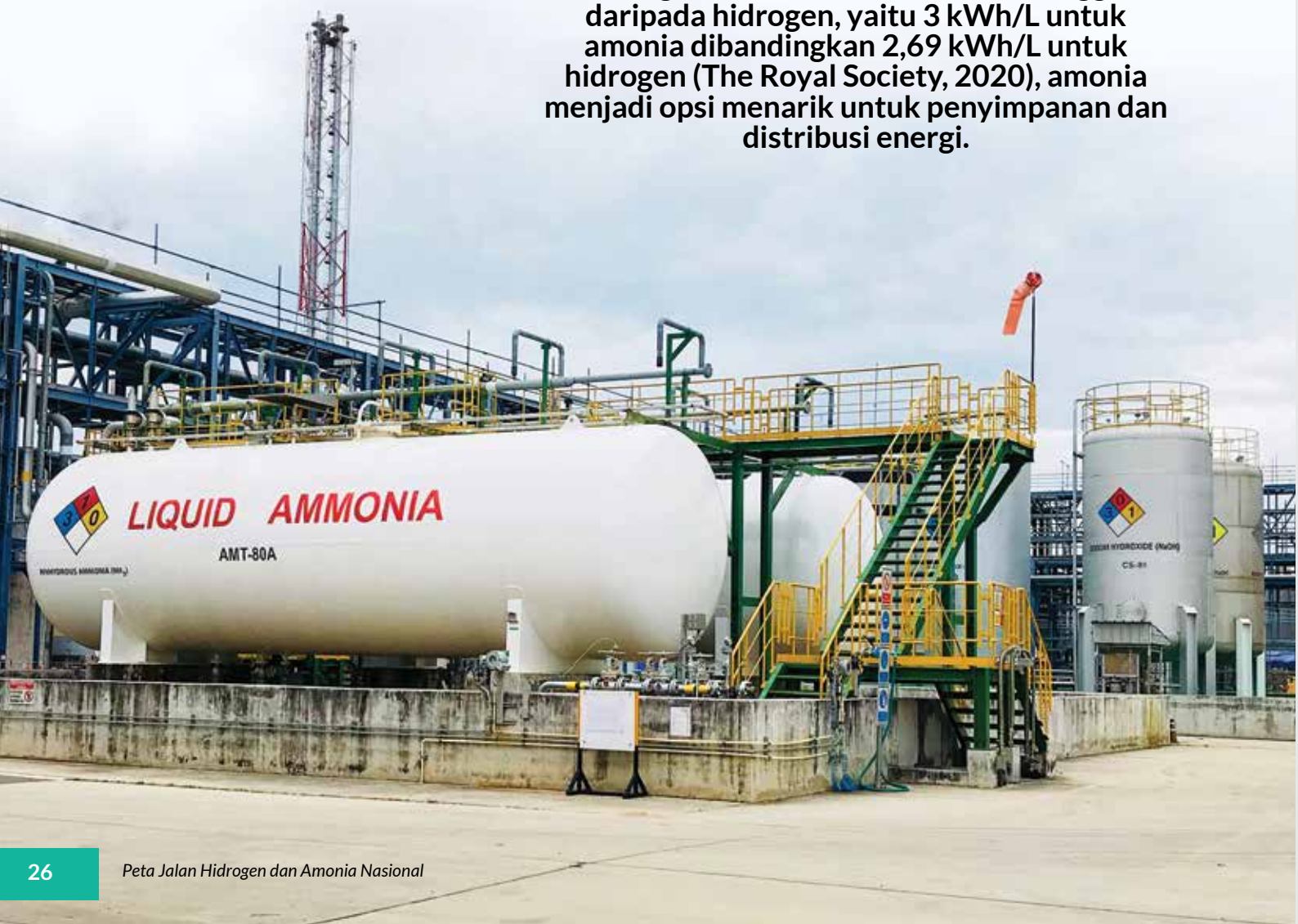


Sementara itu, sistem rantai pasok amonia dapat dilihat pada **Gambar 13**. Berdasarkan gambar rantai pasok amonia, proses distribusi amonia terdiri dari tiga tahap utama: produksi, penanganan, dan pemanfaatan. Pada tahap produksi, amonia dapat dihasilkan melalui reaksi sintesis antara hidrogen dan nitrogen, dengan hidrogen yang bersumber dari berbagai metode. Hidrogen hijau diperoleh melalui elektrolisis menggunakan energi terbarukan, sedangkan hidrogen abu-abu berasal dari reformasi gas alam tanpa penangkapan karbon. Hidrogen biru dihasilkan dari sumber serupa dengan penerapan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) untuk mengurangi emisi karbon.

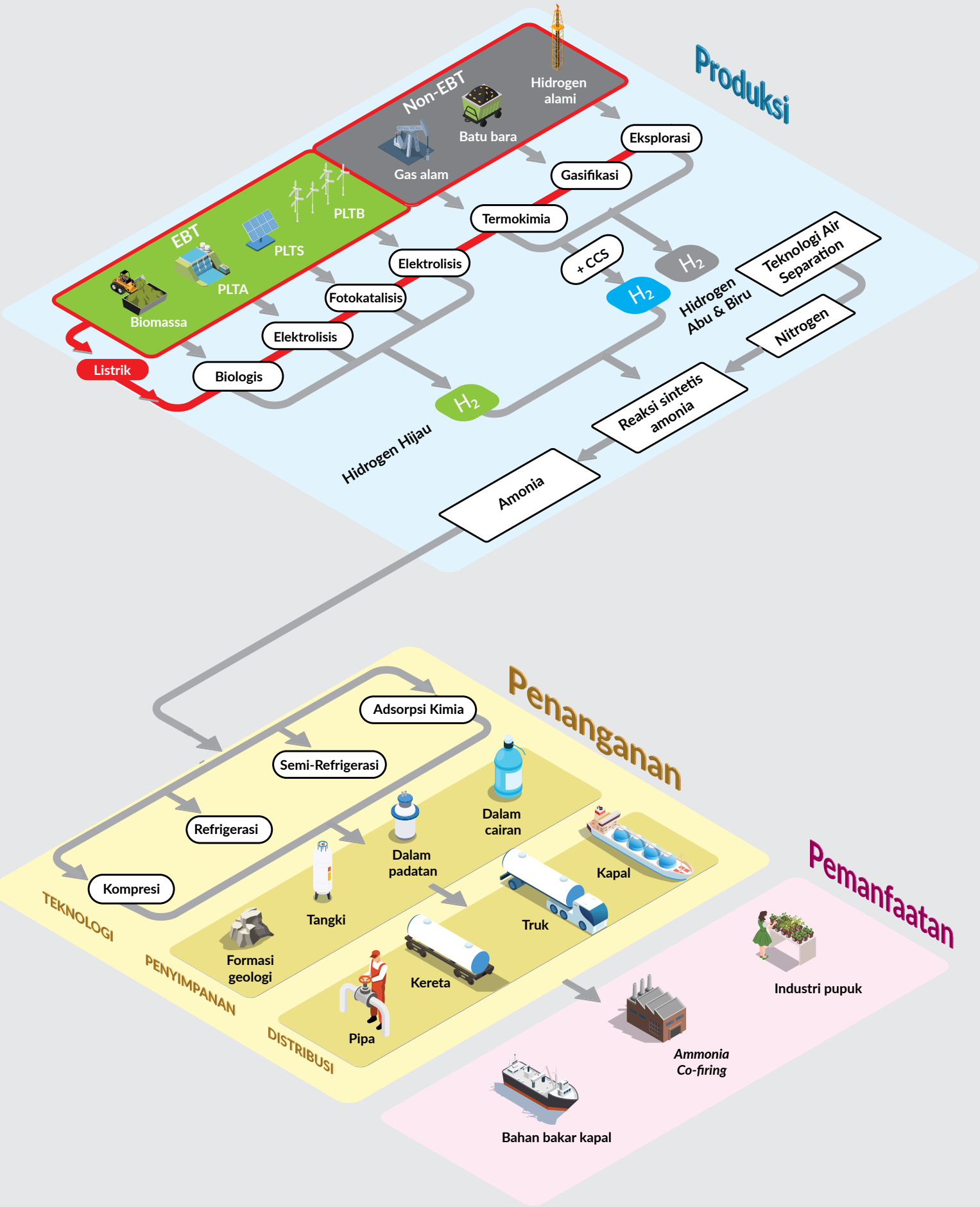
Setelah diproduksi, amonia perlu ditangani dengan teknologi penyimpanan dan transportasi yang sesuai. Amonia dapat disimpan dalam tangki bertekanan, tangki kriogenik, dalam bentuk cair melalui likuifikasi, atau dalam bentuk padat. Teknologi yang digunakan untuk penanganan mencakup teknologi kompresi, teknologi refrigerasi, semi-refrigerasi, dan teknologi adsorpsi kimia, yang memastikan amonia tetap aman dan stabil selama penyimpanan dan pengangkutan. Tahap akhir dari rantai pasok amonia adalah penggunaannya dalam berbagai sektor industri. Amonia terutama digunakan sebagai bahan baku utama dalam produksi pupuk untuk mendukung sektor pertanian (IEA 2021). Selain itu, amonia mulai digunakan sebagai bahan bakar alternatif melalui proses *co-firing* dalam pembangkit listrik (IHI, 2023) serta sebagai bahan bakar untuk kapal (EMSA, 2023). Amonia menawarkan potensi sebagai pembawa energi yang dapat disimpan dan digunakan dengan emisi karbon yang lebih rendah.

Amonia cair yang dipakai dalam industri makanan. —Shutterstock

Amonia berpotensi sebagai pembawa energi yang dapat disimpan dan digunakan dengan emisi karbon lebih rendah, menjadikannya bagian penting dalam strategi energi bersih dan transisi energi global. Dengan kepadatan energi volumetrik 1,12 kali lebih tinggi daripada hidrogen, yaitu 3 kWh/L untuk amonia dibandingkan 2,69 kWh/L untuk hidrogen (The Royal Society, 2020), amonia menjadi opsi menarik untuk penyimpanan dan distribusi energi.



Gambar 13. Sistem rantai pasok amonia di Indonesia



Hidrogen dapat disimpan dalam berbagai bentuk, salah satunya dalam bentuk senyawa kimia yang disebut *energy carrier* atau *hydrogen carrier*. Untuk memahami pilihan terbaik dalam penggunaan *hydrogen carrier*, penting untuk mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan setiap opsi, sebagaimana disajikan dalam **Tabel 6** berikut:

Tabel 6. Perbandingan kelebihan dan kekurangan amonia dan beberapa alternatif *hydrogen carrier* lainnya

AMONIA

- Infrastruktur global yang cukup matang untuk transportasi dan penyimpanan
- Titik didih tidak terlalu rendah (-33°C pada 1 atm)
- Densitas energi amonia (cair) yang lebih tinggi daripada hidrogen
- Tidak menghasilkan emisi karbon
- Dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar
- Sifatnya toksik, diperlukan langkah-langkah keselamatan untuk transportasi dan penyimpanan
- Transportasi amonia dingin via jalan dan rel tidak diizinkan di Belanda
- Ada potensi emisi berbahaya (NO dan N_2O) sehingga diperlukan eliminasi emisi
- Uap amonia dikategorikan gas mudah terbakar. Titik nyala serta kecepatan apinya rendah
- Densitas energinya sepertiga lebih rendah daripada MDO

HIDROGEN CAIR

- Densitas energi yang lebih tinggi daripada gas hidrogen bertekanan tinggi
- Tidak menghasilkan emisi karbon
- Tidak toksik
- Tidak ada hilang konversi seperti pada sintesis dan *cracking* amonia
- Penyimpanan dan transportasi cairan hidrogen pada -253°C sangat mahal dan *energy-intensive*
- Belum ada infrastruktur yang tersedia saat ini, sehingga membatasi penggunaan skala besar
- Risiko ledakan karena sangat mudah terbakar
- Densitas energinya faktor 1,4 lebih rendah daripada amonia (cair)*

* LHV Hidrogen 119.93 kJ/g vs Amonia 18.577 kJ/g) per satuan berat

METANOL

- Tidak ada hilang konversi
- Dapat memanfaatkan teknologi dan infrastruktur LNG yang sudah ada
- Dapat digunakan secara langsung sebagai bahan bakar kapal (*Marine Diesel Oil*/ MDO)
- Proses produksi, penyimpanan, dan transportasi sudah ada percontohannya
- Dapat ditransportasikan melalui rel
- Biaya *unloading* hidrogen dari metanol relatif tinggi
- Metanol sebagai bahan bakar masih menghasilkan emisi CO_2 (kecuali dengan DAC)
- Densitas energinya faktor 2,3 lebih rendah dari MDO
- Sifatnya toksik

Kelebihan metanol dibanding hidrogen dan amonia

1. Dapat digunakan langsung tanpa konversi dari zat lain
2. Distribusi lebih mudah karena berbentuk cair pada suhu lingkungan
3. Infrastruktur *storage* dan transportasi lebih murah dan mudah
4. Dapat digunakan sebagai bahan bakar seperti diesel dan bensin
5. Proses produksi sudah komersial saat ini
6. Energi *density* metanol lebih besar daripada H_2 dan NH_3 pada fasa cair (15,8MJ/L)

Kekurangan metanol dibanding hidrogen dan amonia

1. Sebagai bahan bakar kendaraan penumpang bersifat toksik
2. Emisi CO_2 hasil pembakaran dan *fuel cell* masih ada
3. *Energy density* lebih rendah dari bensin dan solar
4. Api tidak terlihat jika ada kasus kebakaran

LIQUID ORGANIC HYDROGEN CARRIER

MCH

- Dapat memanfaatkan infrastruktur yang sudah ada; proses produksi, transportasi, dan penyimpanan sudah ada percontohannya

DBT

- Percontohannya terbatas, tetapi relatif mudah untuk ditangani
- Risiko lebih rendah bagi kebocoran, *spray*, dan kebakaran dibandingkan dengan amonia dan hidrogen
- Disebabkan oleh transportasi dan penyimpanan pada suhu dan tekanan ruang. Selain itu, DBT memiliki *flashpoint* yang tinggi.

- Tidak bisa diaplikasikan secara langsung, harus melalui proses *unloading*
- Senyawa *carrier* harus dikirim kembali untuk menjemput hidrogen baru, butuh energi untuk *unloading*. Tantangannya ada pada biaya dan keselamatan
- Densitas energi yang lebih rendah daripada hidrogen cair

3.

Roadmap Hidrogen dan Amonia Nasional



3 Analisis *Supply* dan *Demand* Hidrogen dan Amonia Nasional

3.1 *Roadmap* Hidrogen

3.1.1. Proyeksi Pertumbuhan Pemanfaatan Hidrogen

Secara garis besar, implementasi RHAN pada rantai pasok pemanfaatan terbagi menjadi tiga fase utama: Fase Inisiasi (2025–2034), Pengembangan dan Integrasi (2035–2045), serta Akselerasi dan Berkelanjutan (2051–2060). Setiap fase memetakan rencana aksi pemanfaatan hidrogen di berbagai sektor seperti transportasi, jaringan gas (jargas), pembangkit listrik, dan industri. Perincian *roadmap* ini disajikan dalam **Gambar 15.**

Pada Fase Inisiasi (IN) 2025–2034, sektor transportasi memulai dengan proyek percontohan dan komersialisasi stasiun pengisian bahan bakar hidrogen serta kendaraan bus dan truk beban berat berbasis hidrogen. Dalam sektor jaringan gas (jargas), dilakukan pencampuran hidrogen sebanyak 20% ke dalam jaringan distribusi gas alam. Di sektor pembangkit listrik, uji coba *co-firing* amonia dan batu bara serta *fuel cell* berbasis hidrogen dimulai. Pada fase ini persentase *co-firing* amonia adalah 3% di 2025, dan 10% di 2030, dan mendekati 30% di 2034, sedangkan kenaikan persentase *co-firing* hidrogen adalah 3% di 2030 dan mendekati 10% di 2035. Sementara itu, sektor industri fokus pada pengisian proyek hidrogen bersih, terutama di industri pupuk.

Pada fase Pengembangan dan Integrasi (PI) 2035–2045, penggunaan hidrogen dalam transportasi semakin meningkat dengan proyek pilot untuk mobil *fuel cell* dan transportasi laut berbasis *fuel cell*. Pencampuran hidrogen dalam jargas naik menjadi 40% dan terus meningkat hingga 60%. Pada sektor pembangkit listrik, kapasitas pembangkit listrik yang 100% berbahan bakar amonia diproyeksikan mencapai 2,0 GW, sementara penerapan *co-firing* hidrogen di pembangkit listrik turbin gas diperkirakan akan mencapai 60% pada tahun 2045. Di sektor industri, hidrogen bersih mulai diimplementasikan dalam skala besar, tidak hanya di industri pupuk, tetapi juga di sektor kimia, besi dan baja, pulp dan kertas, tekstil, makanan dan minuman. Pada fase ini, diharapkan pemanfaatan hidrogen dan amonia telah bertransisi dari yang bersifat rendah karbon (*low-carbon*) menjadi didominasi oleh hidrogen hijau.

Pada fase Akselerasi dan Berkelanjutan (AB) 2046–2060, teknologi *fuel cell* terus dioptimalkan dan diperbaiki untuk kendaraan listrik. Penggunaan hidrogen dalam transportasi diharapkan mencapai skala besar, dengan peningkatan jumlah kendaraan berbasis hidrogen. Pencampuran hidrogen dalam jargas mencapai 100%, memungkinkan penggantian total gas alam. Sektor pembangkit listrik terus memperluas kapasitas PLT amonia hingga 8,4 GW dan PLT hidrogen mencapai 25,3 GW. Pada sektor industri, diversifikasi penggunaan hidrogen mencakup berbagai industri berat, yang selanjutnya mendukung ekspansi pasar ekspor hidrogen.

Gambar 14. Perincian tahapan-tahapan Strategi Implementasi



IN-3 Inisiasi pilot proyek hidrogen dan amonia rendah karbon. Mendorong uji coba teknologi dan implementasi proyek percontohan untuk hidrogen dan amonia rendah karbon sebagai langkah awal dalam mengidentifikasi tantangan teknis, operasional, dan ekonomi. Proyek pilot pertama berperan penting dalam mengevaluasi efektivitas teknologi, membangun kepercayaan investor, dan mengkaji potensi skala komersial sebelum diterapkan secara luas.

IN-4 Penyusunan regulasi hidrogen dan amonia rendah karbon. Menyusun regulasi dan standar nasional yang jelas dan terukur untuk menciptakan kepastian berusaha bagi pelaku industri dan pemangku kepentingan. Regulasi ini mencakup aspek keselamatan, sertifikasi, serta mekanisme perdagangan yang mendukung pengembangan ekosistem hidrogen dan amonia rendah karbon.

IN-5 Penyusunan skema insentif dan perdagangan karbon. Merancang mekanisme insentif serta sistem perdagangan karbon yang mendukung investasi dalam proyek hidrogen dan amonia rendah karbon di Indonesia.

IN-6 Inisiasi komersialisasi hidrogen dan amonia rendah karbon. Mengembangkan model bisnis dan pasar untuk hidrogen dan amonia rendah karbon sebagai tahap lanjutan setelah proyek pilot, dengan cakupan skala komersial yang lebih besar. Upaya ini mencakup penguatan permintaan domestik, integrasi dengan sektor industri dan energi, dan penyusunan mekanisme pasar yang mendukung investasi dan keberlanjutan usaha.

IN-7 Inisiasi skema pembiayaan untuk investasi proyek hidrogen dan amonia rendah karbon. Merancang dan menginisiasi skema pembiayaan untuk mendukung investasi proyek hidrogen dan amonia rendah karbon, mencakup berbagai instrumen seperti insentif fiskal, pembiayaan campuran, dan kemitraan dengan lembaga keuangan.

IN-8 Inisiasi penelitian dan pengembangan infrastruktur rantai pasok hidrogen dan amonia dalam negeri. Menginisiasi penelitian dan pengembangan infrastruktur rantai pasok hidrogen dan amonia dalam negeri guna memastikan kesiapan pengembangan, penguasaan teknologi, serta kelayakan implementasi di berbagai sektor.

IN-9 Inisiasi dalam menjalin kemitraan internasional untuk berbagi pengetahuan dan kolaborasi. Menginisiasi kemitraan internasional untuk mendukung transfer teknologi, kolaborasi proyek, dan berbagi pengetahuan guna mempercepat pengembangan ekosistem serta pertumbuhan teknologi hidrogen dan amonia rendah karbon.

IN-10 Pengembangan kapasitas dan kompetensi personel. Mengembangkan kapasitas dan kompetensi sumber daya manusia (SDM) guna mendukung penguasaan teknologi serta kesiapan tenaga kerja dalam ekosistem hidrogen dan amonia rendah karbon melalui berbagai program, seperti pelatihan, sertifikasi, dan inisiatif pengembangan lainnya.

PI-3 Peningkatan investasi infrastruktur hidrogen dan fasilitas penyimpanannya. Mendorong investasi pada pengembangan infrastruktur dan fasilitas penyimpanan hidrogen hijau serta amonia dengan menyediakan skema pembiayaan yang sesuai dan kepastian regulasi.

PI-4 Penyusunan kebijakan untuk percepatan pemanfaatan hidrogen dan amonia untuk percepatan pemenfaatan hidrogen dan amonia hijau. Mengembangkan kebijakan yang mendukung percepatan pemanfaatan hidrogen dan amonia hijau di berbagai sektor melalui regulasi, standar operasional, dan insentif berbasis kebutuhan industri.

PI-5 Penyusunan skema insentif dan perdagangan karbon untuk pengembangan hidrogen dan amonia hijau. Merancang mekanisme insentif dan sistem perdagangan karbon yang dapat diterapkan untuk mendukung investasi dalam proyek hidrogen dan amonia hijau.

PI-6 Peningkatan penggunaan hidrogen dan amonia rendah karbon dan/atau hijau dalam sektor industri, pembangkit listrik, jargas dan transportasi. Menerapkan strategi untuk memperluas pemanfaatan hidrogen dan amonia rendah karbon dan/atau hijau di sektor industri, pembangkit listrik, jaringan gas, dan transportasi dengan menyesuaikan kebutuhan infrastruktur dan regulasi.

PI-7 Peningkatan investasi hidrogen dan amonia rendah karbon dan/atau hijau. Memperluas investasi dalam proyek hidrogen hijau melalui penguatan kebijakan, skema pembiayaan, dan kemitraan dengan sektor swasta serta lembaga pendanaan.

PI-8 Pengarusutamaan inovasi teknologi infrastruktur rantai pasok hidrogen dan amonia dalam negeri untuk mencapai efisiensi. Mendorong pengembangan dan penerapan inovasi teknologi dalam rantai pasok hidrogen dan amonia untuk meningkatkan efisiensi produksi, distribusi, dan penyimpanan sesuai dengan standar industri.

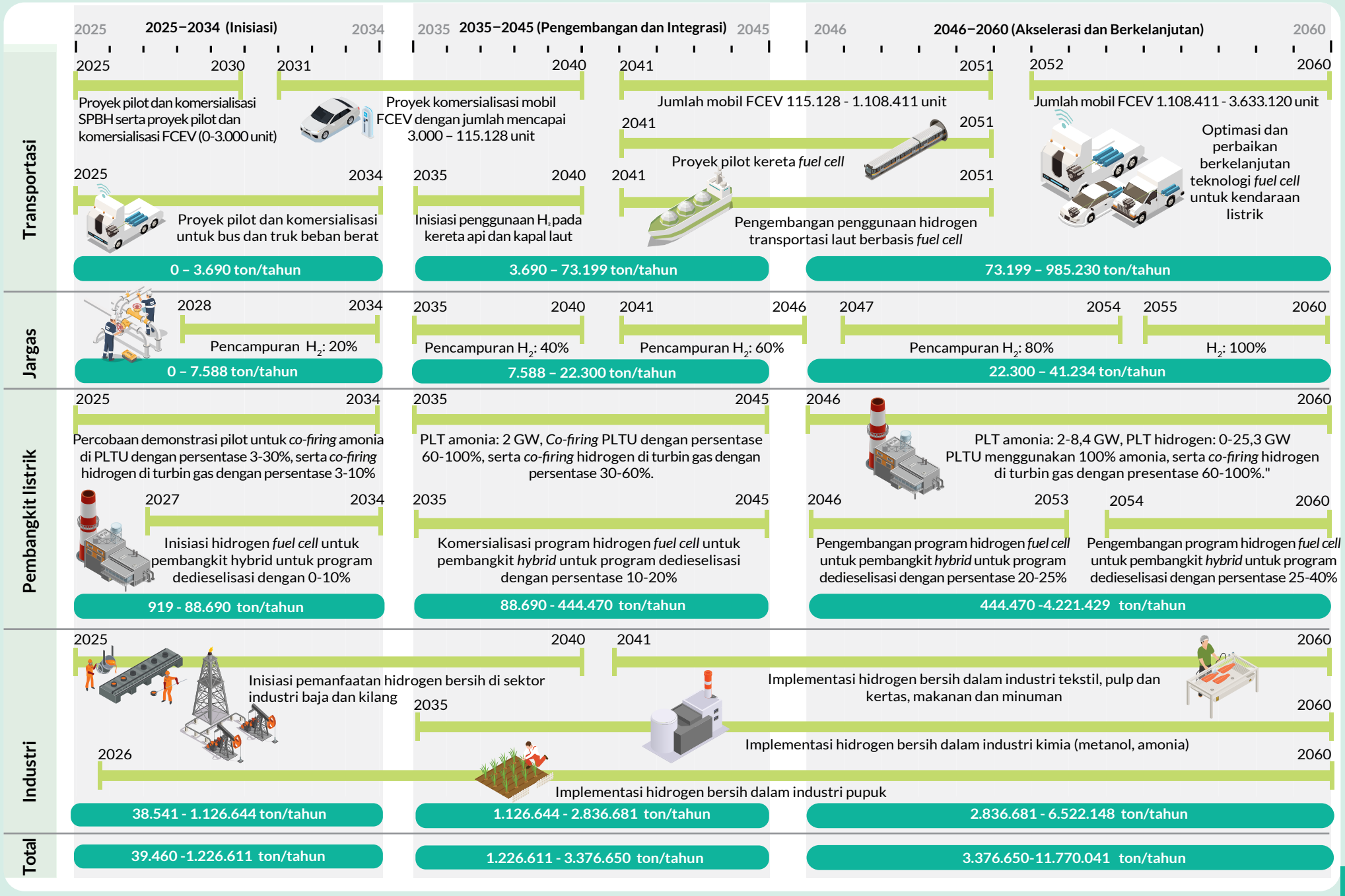
PI-9 Indonesia menjadi *hub* hidrogen dan amonia rendah karbon di ASEAN. Merancang strategi penguatan infrastruktur, regulasi, serta kerja sama internasional untuk menjadikan Indonesia sebagai pusat pengembangan dan perdagangan hidrogen serta amonia rendah karbon di kawasan ASEAN.

PI-10 Peningkatan kapasitas dan kompetensi personel. Meningkatkan kapasitas dan kompetensi sumber daya manusia (SDM) dalam ekosistem hidrogen dan amonia rendah karbon melalui program pelatihan, sertifikasi, penguatan kurikulum pendidikan dan vokasi sesuai dengan kebutuhan industri, serta upaya penguatan kompetensi lainnya.

AB-2 **Peningkatan investasi infrastruktur rantai pasok hidrogen dan amonia hijau yang terintegrasi untuk mencapai keekonomian, keberlanjutan, kemandirian teknologi nasional, dan daya saing Indonesia di tingkat global.** Memfasilitasi investasi strategis dalam pengembangan rantai pasok hidrogen dan amonia hijau yang mencakup produksi, penyimpanan, transportasi, hingga pemanfaatan di berbagai sektor. Integrasi infrastruktur ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi biaya, memastikan ketersediaan pasokan domestik yang andal, serta membangun kemandirian teknologi nasional agar industri hidrogen Indonesia mampu bersaing secara global dan memenuhi standar keberlanjutan internasional.

AB-3 Berperan aktif dalam menjalin kemitraan internasional untuk memperkuat peran Indonesia dalam rantai pasok hidrogen hijau global. Mengembangkan kerja sama strategis dengan negara mitra, organisasi internasional, serta sektor swasta global untuk mendorong alih teknologi, standardisasi regulasi, akses pembiayaan, dan ekspansi pasar. Partisipasi aktif dalam inisiatif global dan forum energi bersih bertujuan untuk menempatkan Indonesia sebagai pemain utama dalam rantai pasok hidrogen hijau, sekaligus memastikan kepentingan nasional dalam transisi energi terakomodasi secara optimal.

AB-4 Mencapai posisi Indonesia sebagai salah satu pemain penting hidrogen & amonia hijau di pasar global. Membangun ekosistem industri yang kompetitif melalui pengembangan teknologi berbasis riset nasional, penguatan kebijakan industri hijau, serta peningkatan kapasitas tenaga kerja. Selain itu, mengoptimalkan keunggulan sumber daya Indonesia dalam produksi hidrogen dan amonia hijau untuk memastikan daya saing ekspor, menarik investasi global, dan memperluas peran Indonesia dalam perdagangan hidrogen internasional sebagai penyedia utama energi bersih.



Gambar 15. *Roadmap* pemanfaatan hidrogen di Indonesia pada tahun 2025–2060

Gambar 15 menyajikan *roadmap* pemanfaatan hidrogen di Indonesia dari tahun 2025 hingga 2060, mencakup empat sektor utama: transportasi, jaringan gas, pembangkit listrik, dan industri. *Roadmap* ini dibagi menjadi tiga fase utama: fase Inisiasi (2025–2034), fase Pengembangan dan Integrasi (2035–2045), serta fase Akselerasi dan Keberlanjutan (2046–2060).

Pada fase IN 2025-2034, dalam sektor transportasi dimulai dengan proyek pilot dan komersialisasi stasiun pengisian bahan bakar hidrogen (SPBH), serta uji coba mobil dan kendaraan berbasis *fuel cell*. Selain itu, dilakukan proyek pilot, serta komersialisasi untuk bus dan truk berat berbahan bakar hidrogen, yang ditutup dengan komersialisasi FCEV yang ditargetkan mencapai 3.000 unit pada tahun 2030.

Pada sektor jaringan gas (jargas), fase Inisiasi diawali dengan pencampuran hidrogen sebanyak 20% dalam jaringan distribusi gas, yang berlangsung antara 2028 hingga 2034 sebagai langkah awal transisi menuju penggunaan hidrogen murni.

Dalam sektor pembangkit listrik, fase inisiasi dimulai dengan uji coba *co-firing* amonia pada pemangkit listrik tenaga batu bara (PLTU) dengan persentase 3-30% serta *co-firing* hidrogen di turbin gas dengan persentase 3-10%, yang berlangsung pada 2025-2034. Selanjutnya, pada 2027, dilakukan komersialisasi pembangkit listrik *hybrid* berbasis *fuel cell*, dengan persentase penggunaan hidrogen sebagai substitusi bahan bakar diesel sebesar 5–10%.

Untuk sektor industri, fase inisiasi diawali dengan pemanfaatan hidrogen bersih dalam industri baja dan kilang, serta pengembangan proyek industrial. Implementasi hidrogen bersih kemudian diperluas ke industri pupuk pada 2026, sebagai langkah awal transisi menuju industri berbasis energi bersih.

Pada fase PI 2035–2045, total permintaan hidrogen diproyeksikan mencapai 3,4 juta ton per tahun pada 2045. Di sektor transportasi, hidrogen telah diaplikasikan pada kapal dan kereta, sementara mobil *fuel cell* diperkirakan mencapai 115 ribu unit pada tahun 2040. Total permintaan hidrogen pada sektor transportasi di tahun 2045 mencapai 73,2 ribu ton/tahun. Sementara itu, sektor Jargas akan menerapkan pencampuran hidrogen mendekati 60%, menyerap 22,3 ribu ton/tahun pada 2045. Untuk sektor pembangkit listrik, pada periode ini mulai dilakukan *co-firing* 60% amonia di PTLU pada 2035 hingga menuju operasionalisasi PLT amonia berkapasitas 2 GW pada 2045. Pada fase ini, akan dilakukan juga *co-firing* antara 30% dan 60% hidrogen di PLTG, sedangkan program pembangkit *hybrid fuel cell* komersial untuk dedieselisasi menggunakan 10-20% hidrogen. Di sektor industri, hidrogen bersih mulai digunakan sejak 2035 di industri kimia. Sementara itu, pemanfaatan hidrogen bersih di industri tekstil, pulp dan kertas, serta makanan dan minuman dimulai pada 2041.

Pada fase AB 2046-2060, di sektor transportasi, akan dilakukan optimasi dan pengembangan teknologi *fuel cell* untuk kendaraan listrik dengan permintaan hidrogen mencapai 985,2 ribu ton/tahun. Sektor jargas (jaringan gas) akan menggunakan 100% hidrogen sejak 2055 dengan kebutuhan 41,2 ribu ton/tahun pada 2060. Untuk pembangkit listrik, PLT hidrogen mulai beroperasi pada pertengahan fase ini dan mencapai kapasitas 25,3 GW pada 2060. Sedangkan pada tahun yang sama, PLT amonia akan mencapai 8,4 GW. Sementara itu, penggunaan hidrogen untuk dedieselisasi mencapai 40% pada akhir fase. Total permintaan untuk sektor pembangkit listrik sebesar 4,2 juta ton/tahun pada 2060. Di sektor industri, penggunaan hidrogen akan meluas dan terdiversifikasi untuk ekspor mulai 2055. Proyeksi total kebutuhan hidrogen di sektor ini pada akhir fase mencapai 6,5 juta ton/tahun.



A. Transportasi

Pada sektor transportasi, hidrogen memiliki dua opsi utama sebagai sumber energi: digunakan sebagai bahan bakar melalui pembakaran langsung atau diubah menjadi energi listrik menggunakan sel bahan bakar (*fuel cell*). Sel bahan bakar bekerja dengan prinsip elektrokimia, mengonversi energi kimia dari hidrogen menjadi energi listrik tanpa melalui proses pembakaran, sehingga menghasilkan nol emisi selama operasi. Keunggulan utama teknologi ini meliputi efisiensi tinggi, pengoperasian yang ramah lingkungan, serta potensinya dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Permintaan hidrogen di sektor transportasi diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama: pertama, untuk moda transportasi kereta api dan kapal laut; kedua, untuk kendaraan listrik berbasis sel bahan bakar (FCEV). Kebutuhan hidrogen pada moda transportasi kereta api dan kapal laut dihitung berdasarkan data sekunder dari PT Kereta Api Indonesia (PT KAI) serta Direktorat Jenderal Perhubungan Laut. Proyeksi kebutuhan hidrogen menggunakan pertimbangan rencana expansi panjang rel kereta api dan kapasitas maritim. Dalam perhitungannya, konsumsi bahan bakar untuk kereta api ditentukan berdasarkan jarak tempuh per kilometer, sementara untuk kapal laut dihitung berdasarkan kapasitas muatan (*Dead Weight Tonnage* atau DWT). Adapun asumsi yang digunakan dalam analisis ini adalah sebagai berikut:

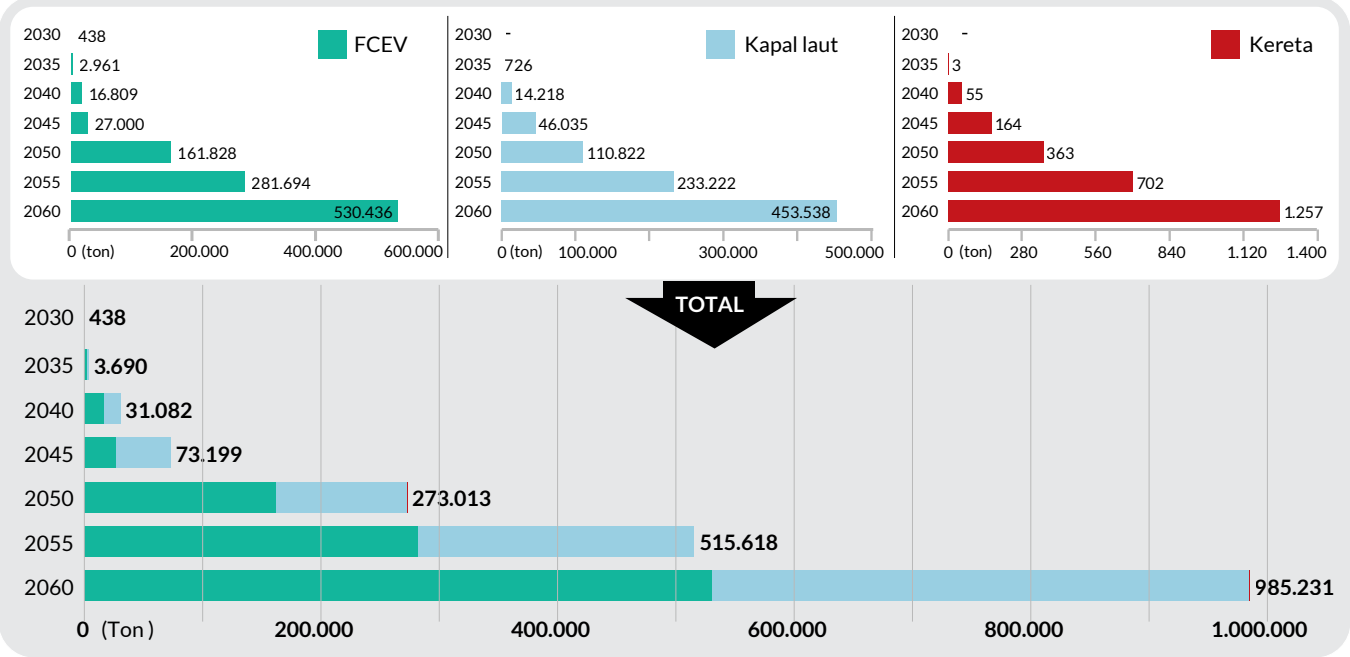
Kereta : 0,5 kg-H_2/km, efisiensi energi dari *fuel cell* 60%, interpolasi ekspansi panjang rel kereta pada tahun 2030.

Kapal laut : 2,2 ton-fuel/DWT, konversi energi 30%, interpolasi ekspansi kapasitas kapal setelah tahun 2019.

Selain itu, hidrogen juga dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk berbagai jenis FCEV. Kendaraan berbasis FCEV menggunakan sel bahan bakar untuk mengonversi hidrogen menjadi listrik, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan motor listrik. Teknologi FCEV menawarkan keunggulan seperti nol emisi, pengisian bahan bakar yang lebih cepat dibandingkan kendaraan listrik berbasis baterai, dan jarak tempuh yang lebih jauh (Waseem dkk., 2023).

Perhitungan kebutuhan hidrogen untuk mendukung operasional FCEV dilakukan dengan menggunakan data dari Kementerian Perindustrian dan Indonesian Fuel Cell and Hydrogen Energy (IFHE). Metodologi perhitungan ini mengacu pada asumsi konsumsi bahan bakar hidrogen rata-rata untuk setiap kendaraan FCEV yaitu sebesar 1 kg H_2 per 100 km jarak tempuh, dan rata-rata jarak yang ditempuh per kendaraan adalah 50 km/hari. Hasil perhitungan proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor transportasi yang mencakup moda transportasi kereta api, kapal laut, dan kendaraan bermotor berbasis FCEV dari 2030-2060 dapat dilihat pada **gambar 16a**. Proyeksi pertumbuhan FCEV, rel kereta, dan muatan kapal di Indonesia pada tahun 2030-2060 dapat dilihat pada **gambar 16b.**

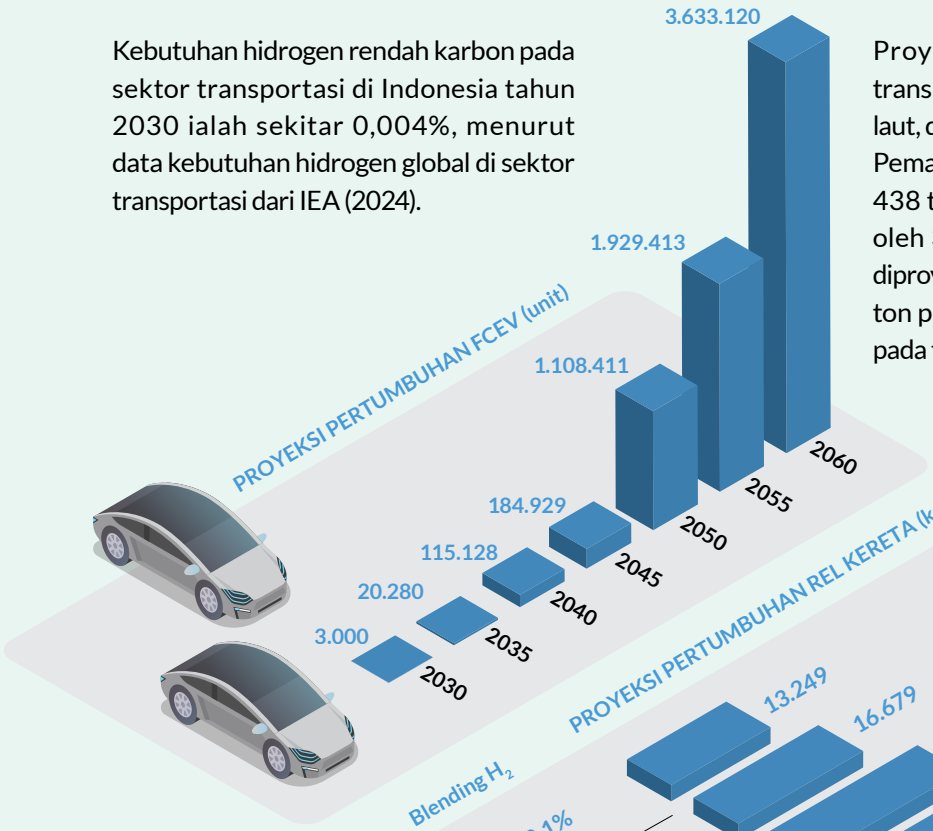
Gambar 16a. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor transportasi di Indonesia tahun 2030–2060: kereta api, kapal laut, dan FCEV

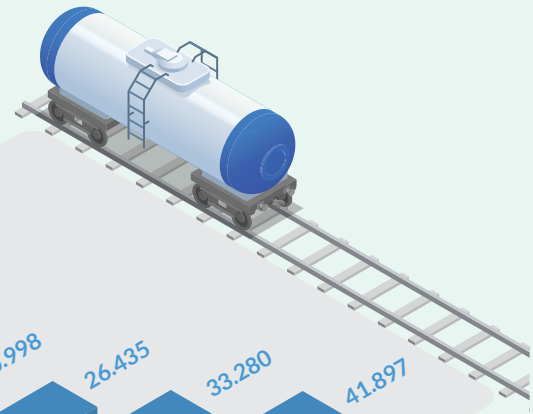


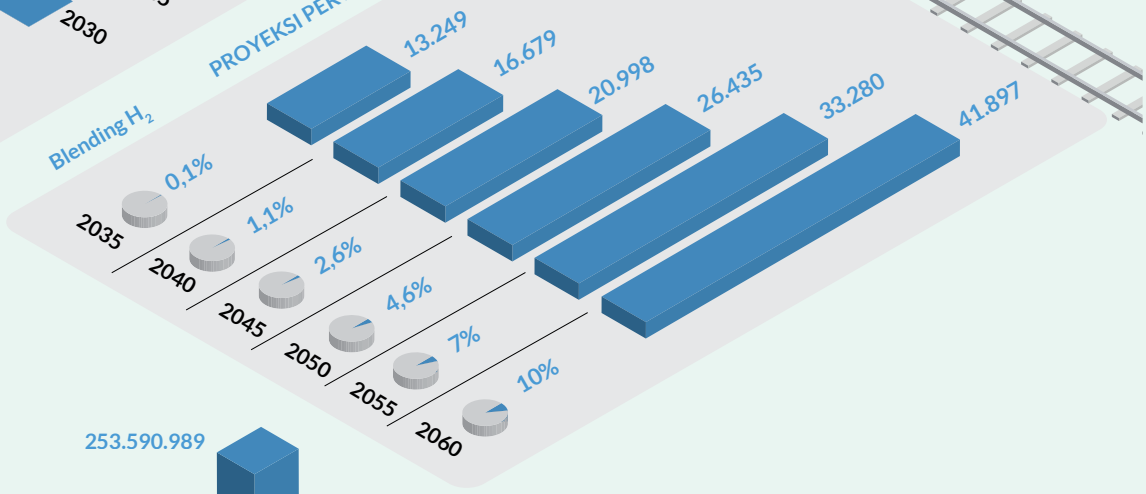
Gambar 16b. Proyeksi pertumbuhan FCEV , rel kereta, dan muatan kapal di Indonesia tahun 2030-2060

Kebutuhan hidrogen rendah karbon pada sektor transportasi di Indonesia tahun 2030 ialah sekitar 0,004%, menurut data kebutuhan hidrogen global di sektor transportasi dari IEA (2024).

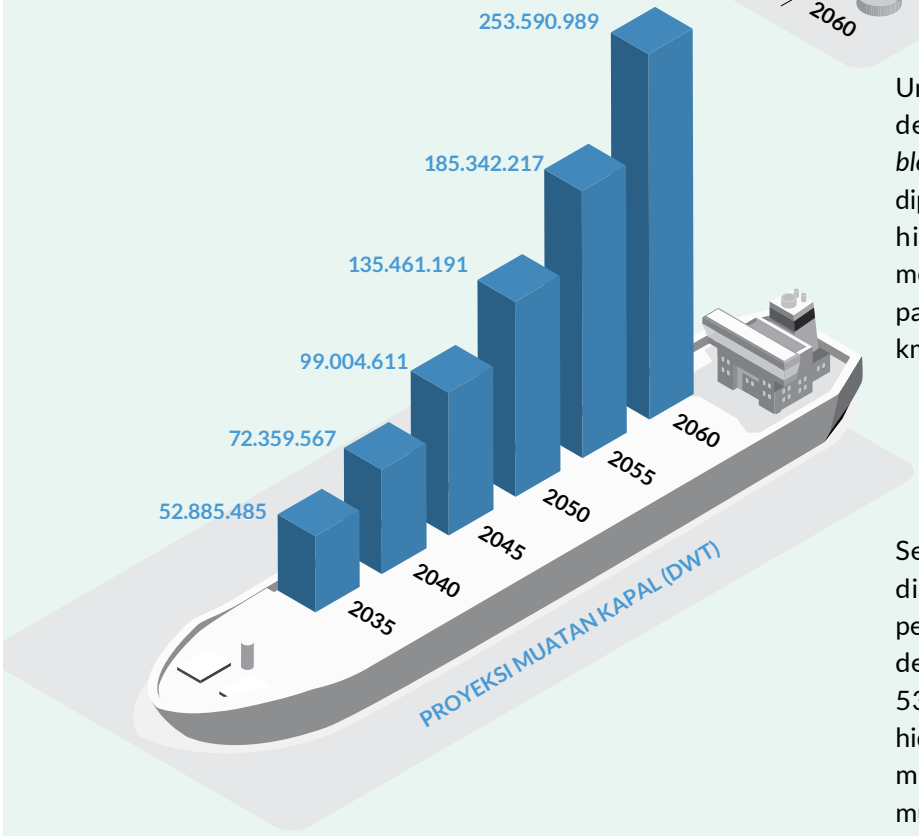
Proyeksi kebutuhan hidrogen pada sektor transportasi mencakup tiga sektor: FCEV, kapal laut, dan kereta api dari tahun 2030 hingga 2060. Pemanfaatan hidrogen diproyeksikan mencapai 438 ton per tahun pada 2030 yang digunakan oleh 3 ribu unit mobil. Pemanfaatan tersebut diproyeksikan akan meningkat mencapai 530 ribu ton per tahun dengan 3,6 juta unit mobil FCEV pada tahun 2060.







Untuk kereta api akan dimulai pada tahun 2035 dengan kebutuhan 3 ton per tahun dengan *blending* 0,1% dan panjang rel kereta api (*spoor*) diproyeksikan mencapai 13 ribu km. Permintaan hidrogen untuk kereta api diproyeksikan mencapai 1,3 ribu ton dengan *blending* 10% dan panjang rel kereta api (*spoor*) mencapai 42 ribu km pada tahun 2060.



Sementara itu, untuk transportasi laut, akan dimulai pada tahun 2035, dengan proyeksi permintaan hidrogen sebesar 726 ton per tahun dengan proyeksi total muatan kapal sebesar 53 juta DWT. Pada tahun 2060, permintaan hidrogen untuk transportasi laut diproyeksikan mencapai 454 ribu ton per tahun dengan muatan kapal sebesar 254 juta DWT.

B. Industri

1. Amonia dan Metanol

Dalam industri amonia, hidrogen berperan sebagai bahan baku utama dalam produksi amonia melalui proses Haber-Bosch. Proses ini melibatkan reaksi antara hidrogen dan nitrogen di bawah kondisi operasi dengan suhu dan tekanan tinggi, menggunakan katalis untuk mempercepat reaksi. Selain itu, hidrogen juga menjadi bahan baku penting dalam industri metanol yang diproduksi melalui reaksi termal katalitik antara hidrogen dan karbon monoksida atau karbon dioksida. Perhitungan kebutuhan hidrogen untuk industri amonia dan metanol dilakukan berdasarkan data pabrik-pabrik dan asumsi-asumsi yang mencakup:

Pupuk Indonesia (PI): Data primer produksi *grey*, *blue*, dan *green hydrogen* pada tahun 2028-2060.

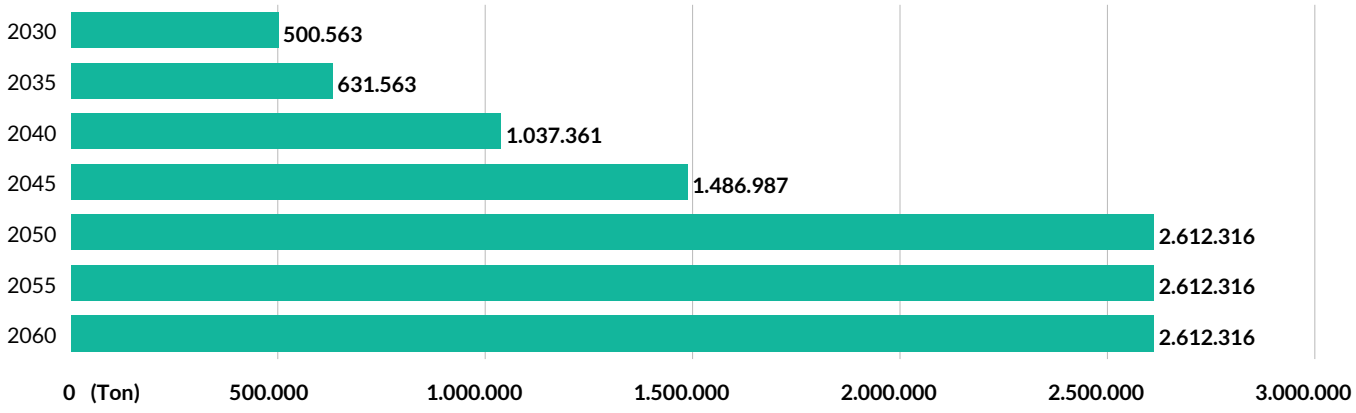
Panca Amara Utama (PAU) dan Kaltim Parna Industri (KPI): Data primer produksi amonia, asumsi pendekatan reaksi stoikiometrik pembentukan amonia dari hidrogen dan nitrogen untuk mendapatkan data kebutuhan hidrogen.

Kaltim Methanol Industri (KMI): Data primer produksi metanol, asumsi pendekatan reaksi stoikiometrik pembentukan metanol dari SNG (hidrogen dan karbon monoksida) untuk mendapatkan data kebutuhan hidrogen.

Hasil proyeksi kebutuhan hidrogen bersih (hijau dan rendah karbon) untuk sektor industri amonia dan metanol dari tahun 2030 hingga 2060 dapat dilihat pada **Gambar 17.** Pada tahun 2030, kebutuhan hidrogen dimulai sebesar 500,6 ribu ton per tahun, kemudian meningkat secara bertahap menjadi 631,6 ribu ton pada 2035 dan 1,0 juta ton pada 2040. Lonjakan signifikan terjadi antara tahun 2045 dan 2050, di mana kebutuhan hidrogen melonjak dari 1,5 juta ton pada 2045 menjadi 2,6 juta ton pada 2050. Peningkatan drastis ini terutama disebabkan oleh permintaan hidrogen hijau yang tinggi dari Pupuk Indonesia, yang membutuhkan pasokan besar untuk produksi amonia. Setelah tahun 2050, kebutuhan hidrogen stabil di angka 2,6 juta ton hingga tahun 2060, menunjukkan bahwa sektor ini mungkin telah mencapai titik optimal dalam pemanfaatan hidrogen bersih.

Proyeksi ini mencerminkan peran krusial hidrogen hijau dan rendah karbon dalam mendukung industri pupuk dan kimia, terutama oleh Pupuk Indonesia, yang merupakan salah satu produsen pupuk terbesar di dunia. Lonjakan kebutuhan pada periode 2045-2050 menegaskan pentingnya transisi menuju energi bersih untuk memenuhi tuntutan industri yang lebih berkelanjutan.

Gambar 17. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor industri amonia dan metanol tahun 2030–2060

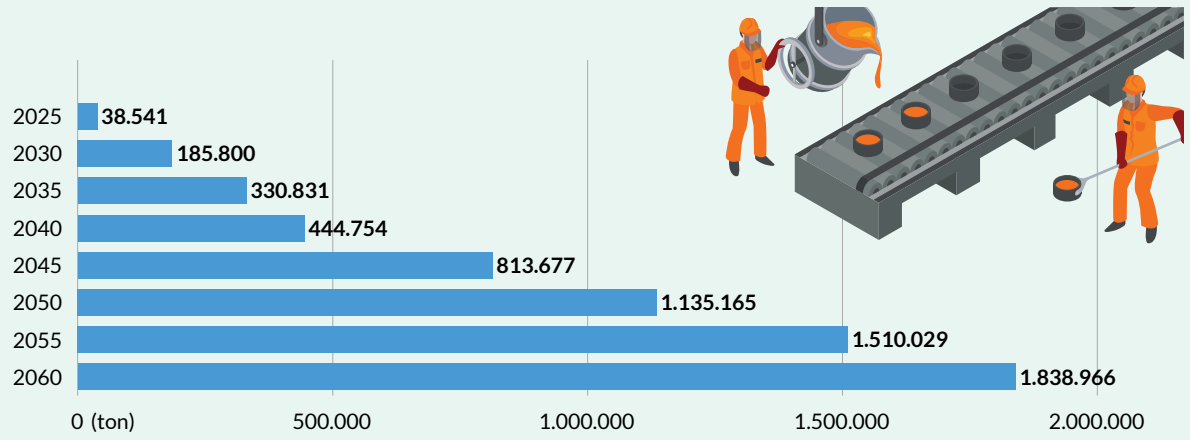


2. Baja

Dalam industri baja, hidrogen berfungsi sebagai agen pereduksi dalam produksi baja hijau, menggantikan peran kokas yang umumnya digunakan. Proses tradisional produksi baja menggunakan kokas menghasilkan emisi karbon dioksida (CO_2) dalam jumlah besar, sehingga menjadi kontributor utama terhadap jejak karbon industri ini. Namun, dengan mengganti kokas dengan hidrogen, emisi CO_2 dapat dikurangi secara signifikan, karena hidrogen menghasilkan air sebagai produk samping. Penggunaan hidrogen hijau—yang diproduksi melalui proses elektrolisis menggunakan energi terbarukan—dapat mengurangi emisi CO_2 dibandingkan dengan hidrogen yang diproduksi dari gas alam (Lipiainen, 2021)*.

Analisis kebutuhan hidrogen untuk produksi baja hijau dilakukan dengan menggunakan data primer historis kapasitas produksi baja dari PT Krakatau Steel (KS). Perhitungan ini didasarkan pada asumsi bahwa setiap 1 ton baja membutuhkan sekitar 50 kg hidrogen sebagai agen pereduksi. Selain itu, analisis juga memperhitungkan target reduksi emisi karbon yang telah ditetapkan oleh PT KS. Hasil analisis proyeksi kebutuhan hidrogen untuk mendukung produksi baja hijau di PT KS disajikan pada **Gambar 18**, yang menggambarkan potensi pengurangan emisi serta kebutuhan hidrogen dalam skenario produksi yang lebih ramah lingkungan.

Gambar 18. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor industri baja tahun 2025–2060



Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor industri baja dari tahun 2025 hingga 2060 dapat dilihat pada Gambar 18. Kebutuhan hidrogen diprediksi meningkat secara signifikan, dimulai dari 38,5 ribu ton pada tahun 2025 dan mencapai puncaknya sebesar 1,8 juta ton pada tahun 2060. Peningkatan ini mencerminkan peran penting hidrogen dalam proses dekarbonisasi industri baja, terutama sebagai pengganti bahan bakar fosil dalam produksi baja ramah lingkungan. Lonjakan kebutuhan yang tajam terlihat setelah tahun 2040, menunjukkan percepatan adopsi teknologi hidrogen dalam sektor ini. Secara keseluruhan, grafik ini menggambarkan komitmen industri baja untuk mengurangi emisi karbon dan beralih ke sumber energi yang lebih berkelanjutan.

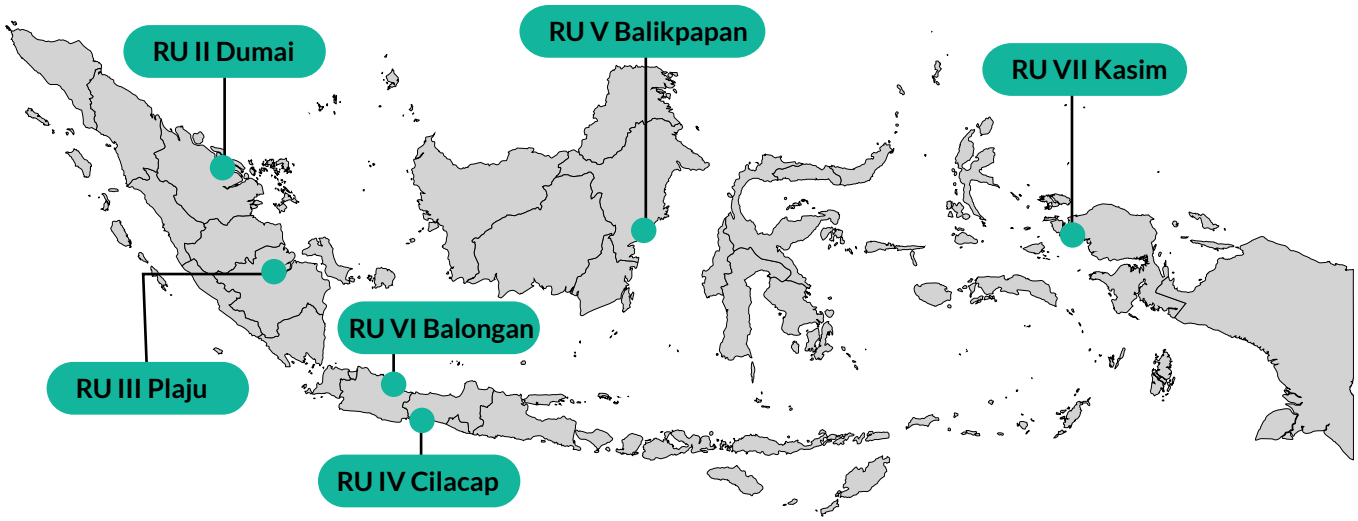


3. Kilang

Dalam industri kilang, hidrogen memainkan peran krusial baik sebagai bahan bakar maupun bahan baku dalam berbagai proses, termasuk *hydrotreating* dan *hydrocracking*. Pada proses *hydrotreating*, hidrogen digunakan untuk menghilangkan kontaminan seperti sulfur, nitrogen, dan logam berat dari minyak mentah. Proses ini menghasilkan bahan bakar yang lebih bersih dan ramah lingkungan, sesuai dengan standar emisi yang berlaku. Sementara itu, dalam proses *hydrocracking*, hidrogen berperan dalam memecah molekul hidrokarbon berukuran besar menjadi fraksi yang lebih kecil dan bernilai tinggi, seperti bensin, diesel, dan bahan bakar jet. Kedua proses ini tidak hanya meningkatkan kualitas produk akhir, tetapi juga meningkatkan efisiensi dan hasil produksi kilang secara keseluruhan.

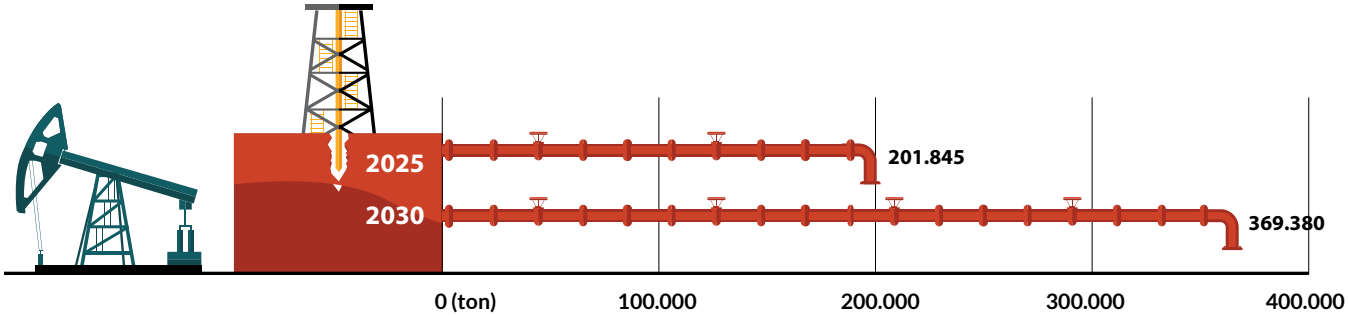
Proyeksi kebutuhan hidrogen di enam kilang milik PT Kilang Pertamina Internasional, yaitu RU II hingga RU VII (**Gambar 19a**), saat ini mencapai sekitar 201,8 ribu ton per tahun. Seiring dengan pengembangan proyek-proyek baru, kebutuhan hidrogen diproyeksikan meningkat secara signifikan.

Gambar 19a. Pemetaan Kebutuhan hidrogen saat ini untuk PT KPI



Pada tahun 2030, kebutuhan hidrogen diproyeksikan mencapai 369,4 ribu ton per tahun. Proyeksi kebutuhan hidrogen hingga tahun 2030 dapat dilihat pada Gambar 19b, yang mencerminkan rencana ekspansi dan peningkatan kapasitas produksi kilang untuk memenuhi permintaan pasar serta mendukung transisi menuju operasi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

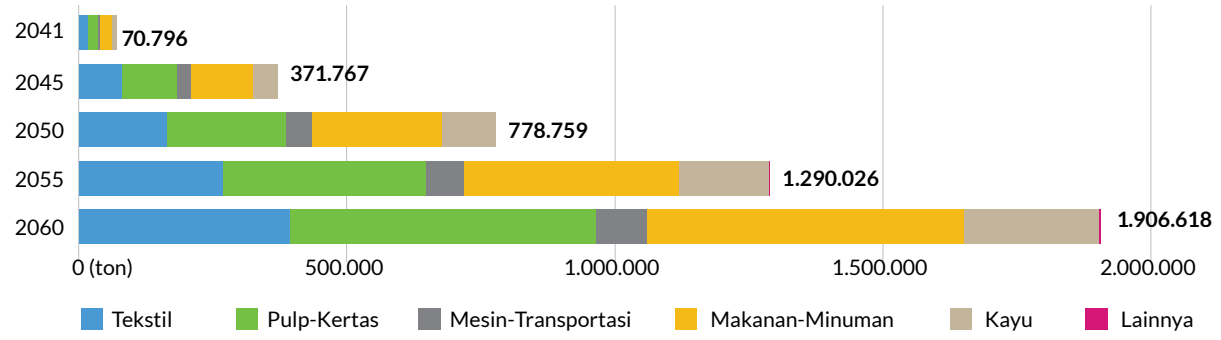
Gambar 19b. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk industri kilang pada tahun 2025 dan 2030



4. Industri Lain

Hidrogen bersih memegang peran penting dalam berbagai industri, seperti tekstil, pulp dan kertas, mesin dan transportasi, makanan dan minuman, serta kayu. Total permintaan hidrogen bersih diproyeksikan mencapai 70.796 ton pada 2041 dan meningkat signifikan menjadi 1.906.616 ton pada 2060 (**Gambar 20**). Di industri tekstil dan pulp-kertas, hidrogen digunakan dalam produksi hidrogen peroksida, yang berfungsi sebagai bahan pemutih bebas klorin, menjadikannya oksidan yang lebih ramah lingkungan. Dalam industri mesin dan transportasi, hidrogen digunakan sebagai alternatif bahan bakar fosil untuk proses pemanasan, membantu mengurangi emisi karbon. Di sektor makanan dan minuman, hidrogen berperan dalam proses produksi minyak goreng dan margarin melalui hidrogenasi lemak. Sementara itu, di industri kayu, hidrogen digunakan sebagai sumber bahan bakar pengganti energi fosil untuk proses pemanasan dan pengolahan kayu. Estimasi kebutuhan hidrogen tahunan untuk masing-masing industri ini disajikan pada **Gambar 20**, yang menggambarkan peran krusial hidrogen dalam mendukung produksi yang lebih bersih dan berkelanjutan di berbagai sektor. Menurut data IEA, kebutuhan hidrogen rendah karbon di sektor industri Indonesia pada tahun 2030 diperkirakan mencapai sekitar 2,58% dari total kebutuhan hidrogen global di sektor industri.

Gambar 20. Proyeksi kebutuhan hidrogen tahun 2020–2060 untuk industri tekstil, pulp-kertas, mesin-transportasi, makanan-minuman, kayu, dan lainnya







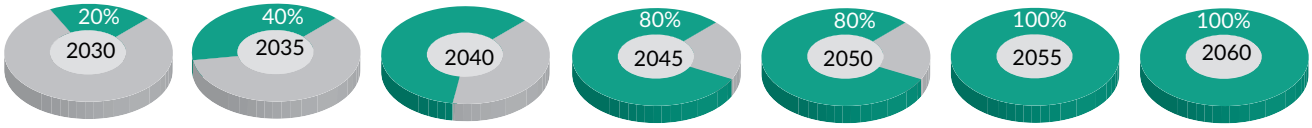
Pemanfaatan hidrogen pada industri makanan dan minuman.—Foto: Freepik

D. Jargas Kota

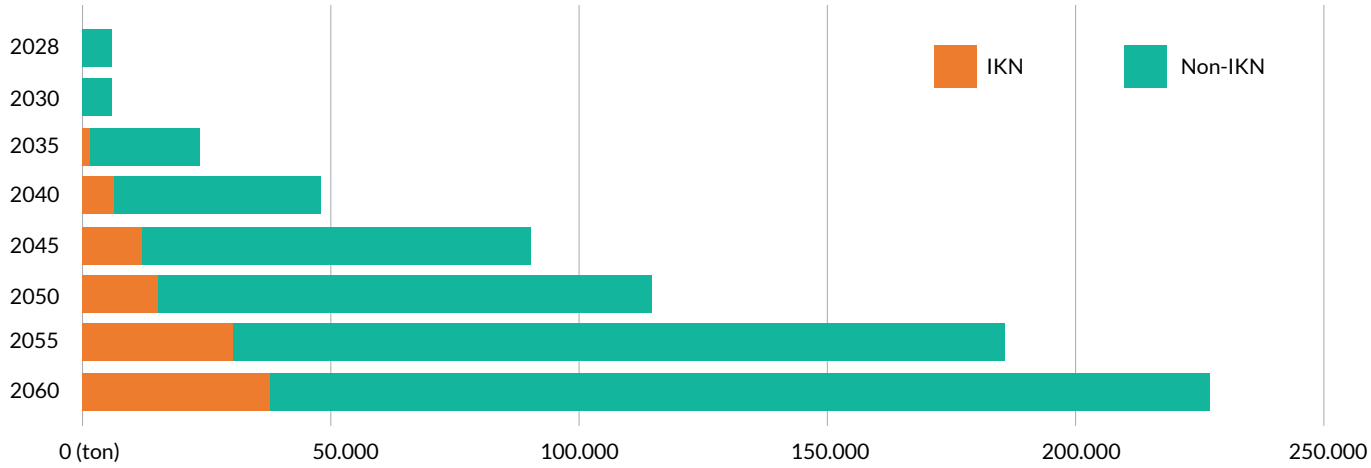
Hidrogen memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif yang bersih dan ramah lingkungan, termasuk untuk aplikasi rumah tangga seperti kompor gas. Hidrogen dapat dicampur dengan gas alam dan dialirkan melalui jaringan pipa yang sudah ada, atau digunakan secara langsung melalui jaringan pipa khusus hidrogen, tergantung pada infrastruktur dan kebutuhan. Analisis kebutuhan hidrogen untuk jaringan gas (jargas) domestik didasarkan pada data historis jumlah jargas terpasang di Indonesia yang diperoleh dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Kementerian ESDM, serta referensi dari Perpres No. 63 Tahun 2022 tentang Perincian Rencana Induk Ibu Kota Nusantara dan data Badan Pusat Statistik (2019). Dalam analisis ini, digunakan asumsi bahwa 0,1 MMSCFD hidrogen dapat mengaliri sekitar 10.000 sambungan rumah tangga (SR).

Hasil analisis ini mencakup proyeksi peningkatan persentase pencampuran (*blending*) hidrogen ke dalam jaringan gas, serta kebutuhan hidrogen untuk jaringan gas di wilayah Ibu Kota Nusantara (IKN) dan di luar IKN. Informasi lebih terperinci mengenai proyeksi *blending* gas dan kebutuhan hidrogen pada sektor jaringan gas untuk wilayah IKN dan non-IKN dapat dilihat pada **Gambar 21a-c**.

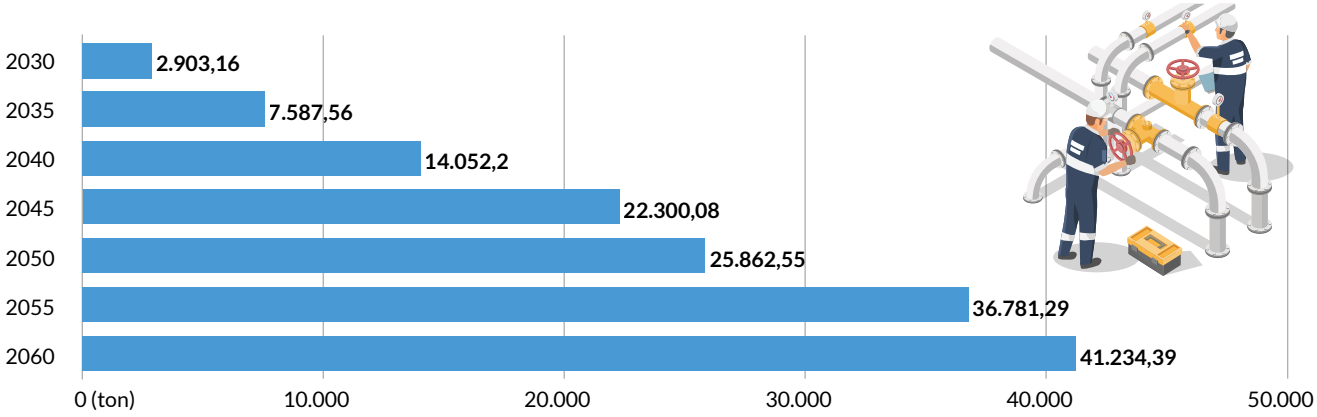
Gambar 21a. persentase *blending* gas hidrogen dengan gas alam untuk jaringan gas domestik di Indonesia tahun 2028–2060



Gambar 21b. Proyeksi kebutuhan hidrogen di IKN dan luar IKN



Gambar 21c. Pemanfaatan hidrogen dalam jaringan gas kota

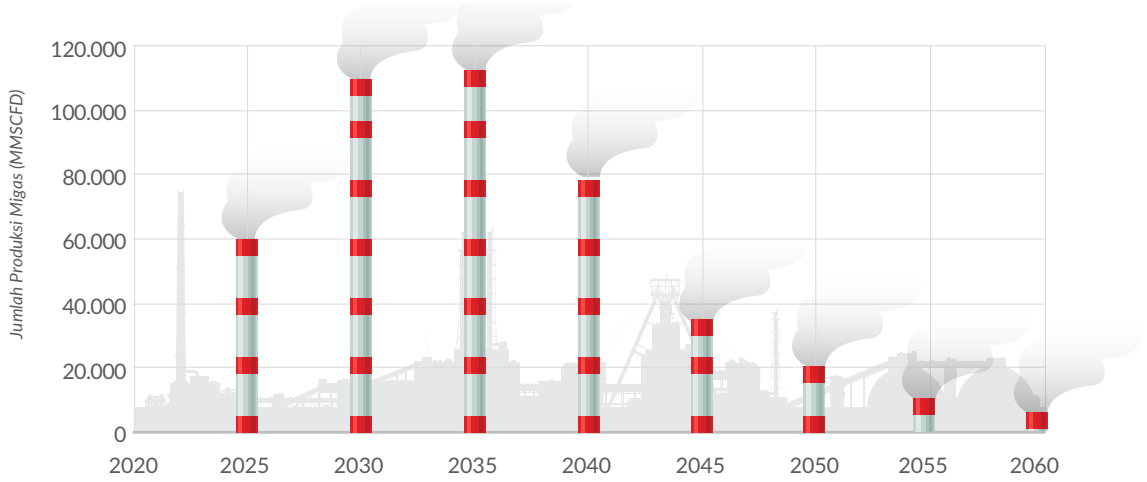


Berdasarkan **Gambar 21c**, kebutuhan hidrogen untuk jaringan gas kota diproyeksikan mengalami peningkatan yang stabil seiring waktu. Salah satu faktor utama yang mendorong peningkatan ini adalah kehadiran Ibu Kota Nusantara (IKN), yang mulai berkontribusi pada peningkatan proyeksi kebutuhan hidrogen sejak 2035.

Lonjakan pertama dalam kebutuhan hidrogen terjadi pada 2040, kemungkinan disebabkan oleh peningkatan persentase *blending* hidrogen dalam gas alam hingga 60%. Selain peningkatan total konsumsi hidrogen, komposisi *blending* hidrogen dalam gas alam juga diproyeksikan terus meningkat secara bertahap hingga 2060, mencerminkan transisi menuju penggunaan hidrogen yang lebih dominan dalam jaringan distribusi gas kota.

Peningkatan jumlah jaringan gas (jargas) di Indonesia turut dipengaruhi oleh rendahnya realisasi penggunaan kompor induksi di rumah tangga. Berdasarkan data Kementerian ESDM mengenai Keluarga Penerima Manfaat (KPM), realisasi pemakaian kompor induksi pada tahun 2022 hanya mencapai 15% dari target, dengan total 43.824 KPM. Selain itu, penurunan produksi minyak dan gas alam di Indonesia juga mendorong peningkatan penggunaan jargas. Proyeksi produksi minyak dan gas Indonesia, sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 22**, memperkirakan puncak produksi akan terjadi pada periode 2030–2035, sebelum mengalami penurunan signifikan mulai tahun 2035 hingga 2060. Dalam kondisi ini, pengembangan jaringan gas berbasis hidrogen dapat menjadi alternatif untuk menggantikan gas alam yang ketersediaannya semakin berkurang, sehingga memastikan pasokan energi yang lebih berkelanjutan di masa depan.

Gambar 22. Proyeksi jumlah produksi minyak dan gas alam Indonesia pada tahun 2025–2060



Hidrogen dapat dicampur dengan gas alam dan dialirkan melalui jaringan pipa yang sudah ada seperti pipa jaringan gas di Tasikmalaya, atau digunakan melalui jaringan pipa khusus. — Darmawan Setyadi, Shutterstock

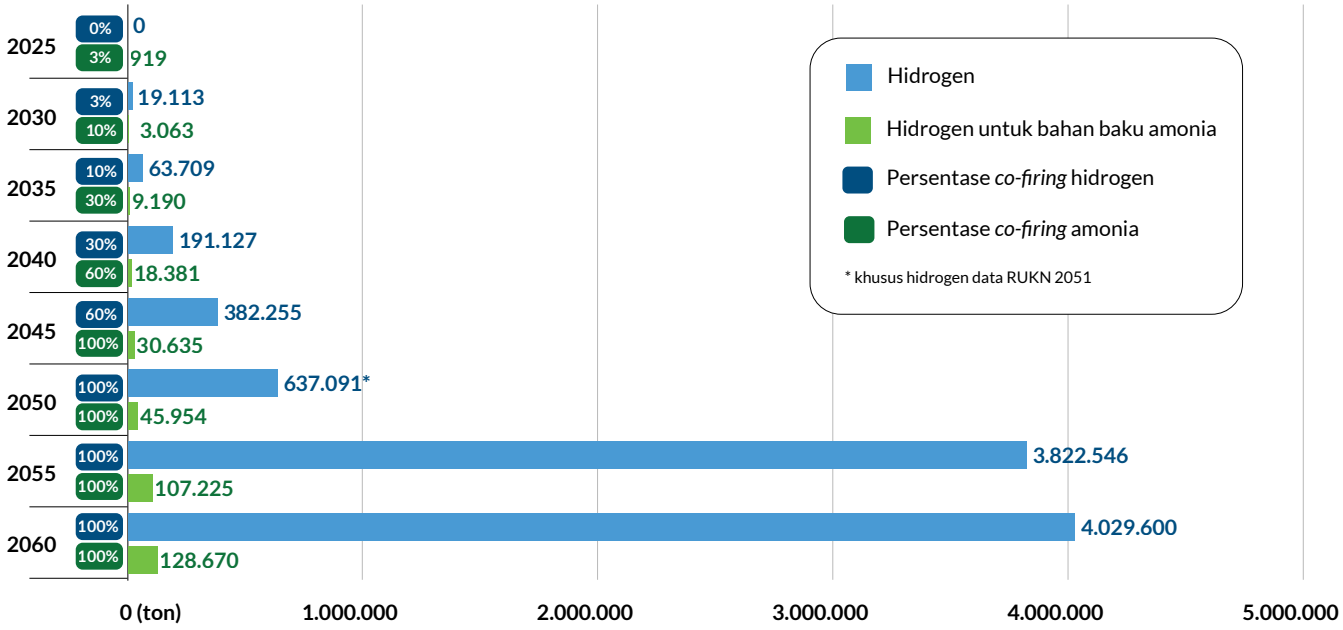


E. Pembangkit Listrik

Dalam sektor pembangkit listrik, hidrogen dapat dimanfaatkan melalui dua pendekatan utama: pembakaran langsung dan konversi elektrokimia. Pada pembakaran langsung, hidrogen dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) atau dikonversi menjadi amonia untuk kemudian dibakar di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) guna menghasilkan uap yang menggerakkan turbin.

Kedua metode ini memiliki keunggulan utama dalam mengurangi emisi karbon, karena pembakaran hidrogen hanya menghasilkan air, sementara pembakaran amonia tidak menghasilkan emisi karbon. Sebagai alternatif, hidrogen juga dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui sel bahan bakar (*fuel cell*). Dalam proses ini, hidrogen bereaksi dengan oksigen melalui reaksi elektrokimia, menghasilkan listrik, air, dan panas tanpa proses pembakaran serta tanpa emisi karbon. Metode ini menawarkan efisiensi tinggi sekaligus solusi energi bersih yang lebih ramah lingkungan. Data kebutuhan hidrogen untuk sektor pembangkit listrik diperoleh dari dokumen Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) yang ditetapkan oleh Menteri ESDM pada 5 Maret 2025.

Gambar 23. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk sektor pembangkit listrik tenaga uap (*ammonia co-firing*) dan pembangkit listrik tenaga gas (*hydrogen co-firing*) tahun 2055–2060



Co-firing hidrogen dan amonia, yaitu penggunaan hidrogen dan amonia sebagai bahan bakar bersama dengan bahan bakar konvensional, dapat diimplementasikan secara bertahap untuk mendukung transisi energi bersih. Untuk PLTU, *co-firing* amonia sudah dimulai pada tahun 2025 dengan persentase 3% dengan kebutuhan sebesar 919 ton hidrogen, kemudian meningkat menjadi 10% pada 2030, 30% pada 2035, 60% pada 2040, dan mencapai 100% pada 2045 dengan kapasitas pembangkit sebesar 2 GW dan meningkat sampai dengan 8,4 GW pada tahun 2060 dengan kebutuhan 128,7 ribu ton. Pada tahap awal (3-10%), *co-firing* amonia digunakan sebagai uji coba untuk memastikan kompatibilitas dengan sistem pembakaran yang ada. Teknologi yang dibutuhkan relatif sederhana, seperti modifikasi kecil pada sistem bahan bakar dan penyesuaian *burner*. Namun, seiring peningkatan persentase amonia (30-60%), teknologi yang lebih canggih diperlukan, termasuk sistem penyimpanan dan penyaluran amonia yang andal, serta pengoptimalan pembakaran untuk mengatasi karakteristik amonia yang berbeda, seperti nyala api yang lebih lambat dan potensi emisi NOx yang lebih tinggi. Pada tahap ini, sistem kontrol emisi seperti *Selective Catalytic Reduction* (SCR) juga mulai diperlukan. Ketika *co-firing* amonia mencapai 100% pada 2045, amonia menjadi satu-satunya bahan bakar, menuntut teknologi pembakaran yang sangat maju untuk memastikan efisiensi dan stabilitas operasional.

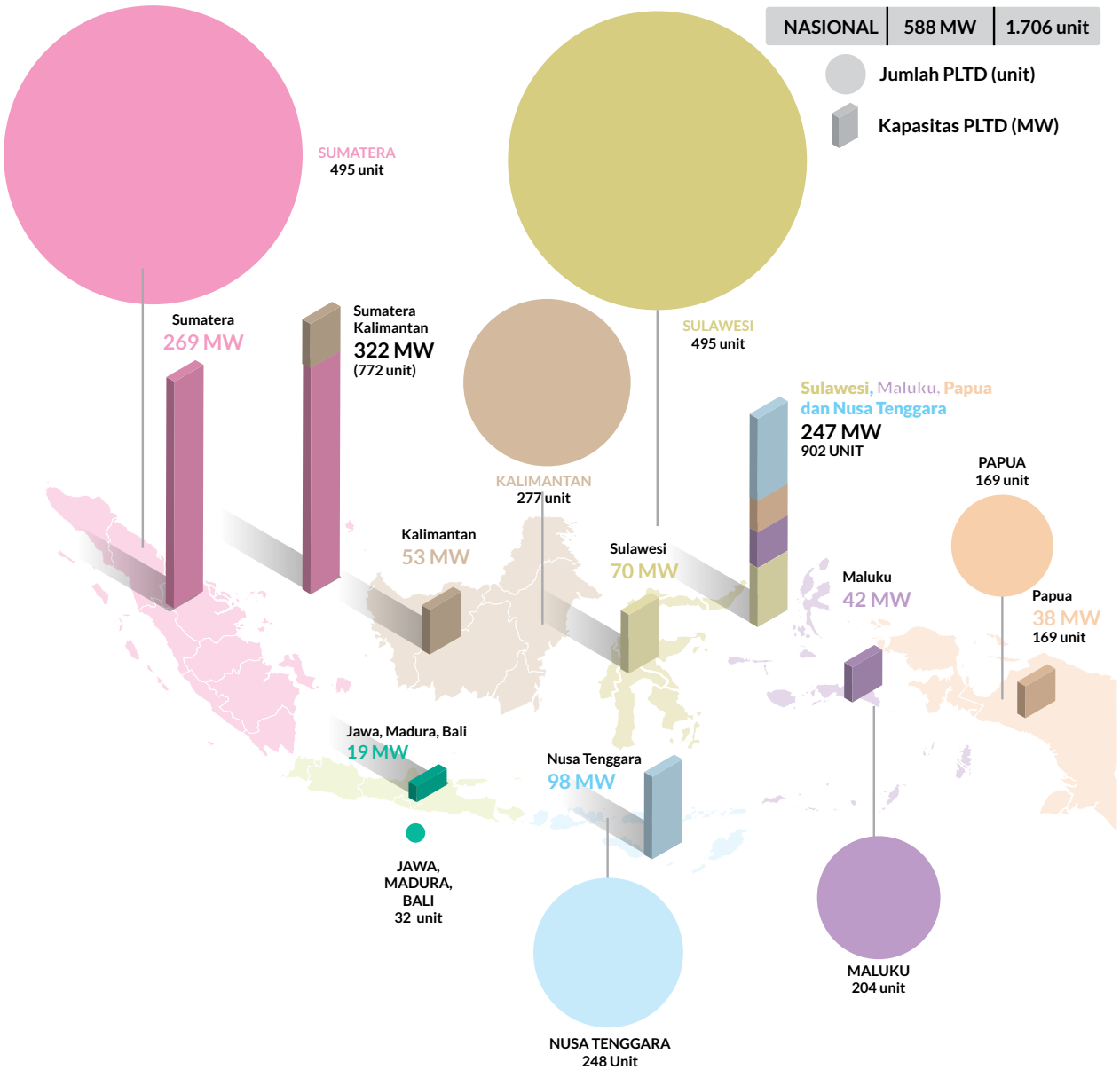
Sementara itu, untuk PLTG, *co-firing* hidrogen akan dimulai pada tahun 2030 dengan persentase 3% dan kebutuhan hidrogen 19,1 ribu ton dan diproyeksikan mencapai 100% penggunaan hidrogen pada 2051 dengan kapasitas pembangkit sebesar 4 GW dengan kebutuhan hidrogen mencapai 637 ribu ton. Pada tahun 2055 kapasitas pembangkit meningkat menjadi 24 GW yang menyebabkan lonjakan drastis kebutuhan hidrogen sebesar 3,8 juta ton. Pada tahun 2060 kapasitas pembangkit meningkat sampai dengan 25,3 GW dengan kebutuhan hidrogen mencapai 4 juta ton per tahun.

Pada tahap awal, hidrogen akan dicampur dengan bahan bakar konvensional, dengan persentase yang meningkat secara bertahap. Implementasi dimulai dengan pemanfaatan *co-firing* hidrogen sebesar 3% pada 2030, kemudian ditingkatkan secara bertahap menjadi 10% pada 2035, mendekati 30% pada 2040, sekitar 60% pada 2045, hingga mencapai 100% hidrogen pada 2050. Teknologi yang diperlukan meliputi modifikasi turbin gas, sistem penyimpanan hidrogen, dan pengaturan pembakaran untuk mengoptimalkan efisiensi dan mengurangi emisi. Pada tahap 100% hidrogen, PLTG akan menggunakan hidrogen murni sebagai bahan bakar, yang memerlukan infrastruktur produksi hidrogen hijau berbasis energi terbarukan untuk mendukung pasokan yang berkelanjutan.

Pertumbuhan teknologi *co-firing* hidrogen dan amonia memerlukan dukungan regulasi dan insentif dari pemerintah untuk mempercepat adopsinya. Dengan demikian, *co-firing* hidrogen dan amonia memiliki potensi besar sebagai solusi transisi energi bersih, mengurangi emisi karbon secara signifikan, dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

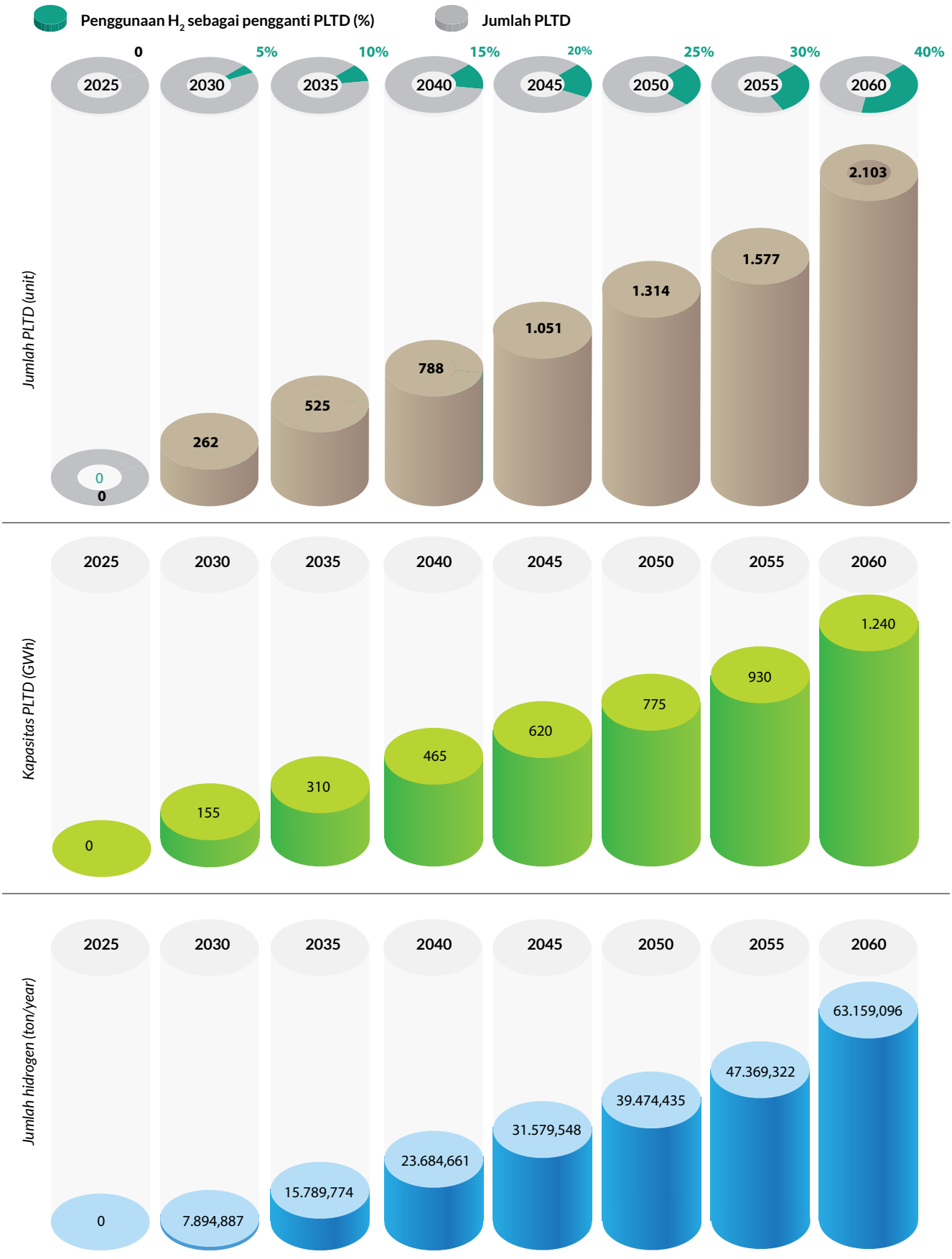
Komitmen PLN dalam pemanfaatan hidrogen diwujudkan melalui program dedieselisasi, yaitu upaya menggantikan bahan bakar diesel pada Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan hidrogen. Program ini ditujukan khusus untuk PLTD skala kecil yang beroperasi di daerah-daerah terpencil (*remote*). Perincian kebutuhan hidrogen untuk program ini dapat dilihat pada **Gambar 24**. Dedieselisasi dijadwalkan mulai pada tahun 2030 dengan target substitusi hidrogen sebesar 5%. Pada tahun 2060, persentase substitusi ditargetkan mencapai 40%, dengan total 1.700 unit PLTD saat ini yang tersebar di 416 lokasi di seluruh Indonesia. Peta persebaran daerah target dedieselisasi dapat dilihat pada **Gambar 24**. Selain itu, kebutuhan hidrogen rendah karbon untuk sektor pembangkit listrik di Indonesia pada tahun 2030 diperkirakan mencapai 0,05% dari total kebutuhan hidrogen global di sektor pembangkit listrik, menurut data IEA (2024).

Gambar 24. Peta persebaran daerah target dedieselisasi oleh PLN di Indonesia



Data proyeksi kebutuhan hidrogen untuk dedieselisasi PLN dalam **Gambar 25** berasal dari PT PLN. Berdasarkan data tersebut, diperkirakan PLTD baru akan mulai beroperasi setelah 2025, dengan jumlah yang mencapai 262 unit pada 2030. Jumlah ini diproyeksikan terus meningkat hingga 2060, seiring dengan peningkatan penggunaan hidrogen sebagai pengganti PLTD, mendukung transisi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Gambar 25. Proyeksi kebutuhan hidrogen untuk dedieselisasi PLN tahun 2025–2060



3.1.2. Produksi Hidrogen

Untuk pemetaan pasokan hidrogen, akan dianalisis empat sumber produksi utama yang berpotensi memanfaatkan energi baru dan terbarukan (EBT). **Gambar 26** menunjukkan *roadmap* produksi hidrogen yang dibagi menjadi tiga fase utama, yaitu Fase Inisiasi (2025–2034), Pengembangan dan Integrasi (2035–2045), dan Akselerasi dan Berkelanjutan (2046–2060).

Pada fase inisiasi (IN) 2025–2034, Indonesia akan fokus pada pengembangan teknologi dan infrastruktur untuk mendukung produksi hidrogen bersih. Pengembangan *electrolyzer* akan mendekati 734 MW (0,3% dari *announce global electrolyzer capacity*, IEA 2024) pada tahun 2030, dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin untuk memproduksi hidrogen hijau. Selain itu, sistem biogas *reforming* akan dikembangkan mulai tahun 2027, menggunakan limbah organik sebagai sumber produksi hidrogen rendah karbon. Pembangunan pabrik pilot untuk teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) juga akan dilakukan mulai tahun 2025, bertujuan untuk mengurangi emisi karbon dari produksi hidrogen berbasis fosil. Penelitian akan difokuskan pada sistem gasifikasi biomassa dan batu bara yang terintegrasi dengan CCS, dimulai pada tahun 2025, serta pengembangan sistem pirolisis metana dan hidrogen berbasis surya. Studi eksplorasi hidrogen emas (*gold hydrogen*), yang dihasilkan dari proses alami di dalam bumi, sudah dimulai pada tahun 2024 sebagai alternatif produksi hidrogen yang inovatif. Penelitian dan pengembangan untuk eksplorasi hidrogen emas akan dilakukan pada fase ini.

Memasuki fase pengembangan dan integrasi (PI) 2035–2045, pengembangan kapasitas *electrolyzer* akan mendekati 15 GW (0,9% dari proyeksi kapasitas *electrolyzer* global, McKinsey 2024) pada tahun 2040. Selain itu dilakukan peningkatan skala produksi biogas *reforming* dari limbah perkotaan dan limbah *palm oil mill effluent* (POME), serta komersialisasi teknologi CCS melalui pabrik-pabrik demo. Fase ini juga mencakup pengembangan pabrik terintegrasi untuk produksi hidrogen dari gasifikasi biomassa dan batu bara, yang digabungkan dengan CCS, serta studi kelayakan teknologi hidrogen berbasis energi terbarukan.

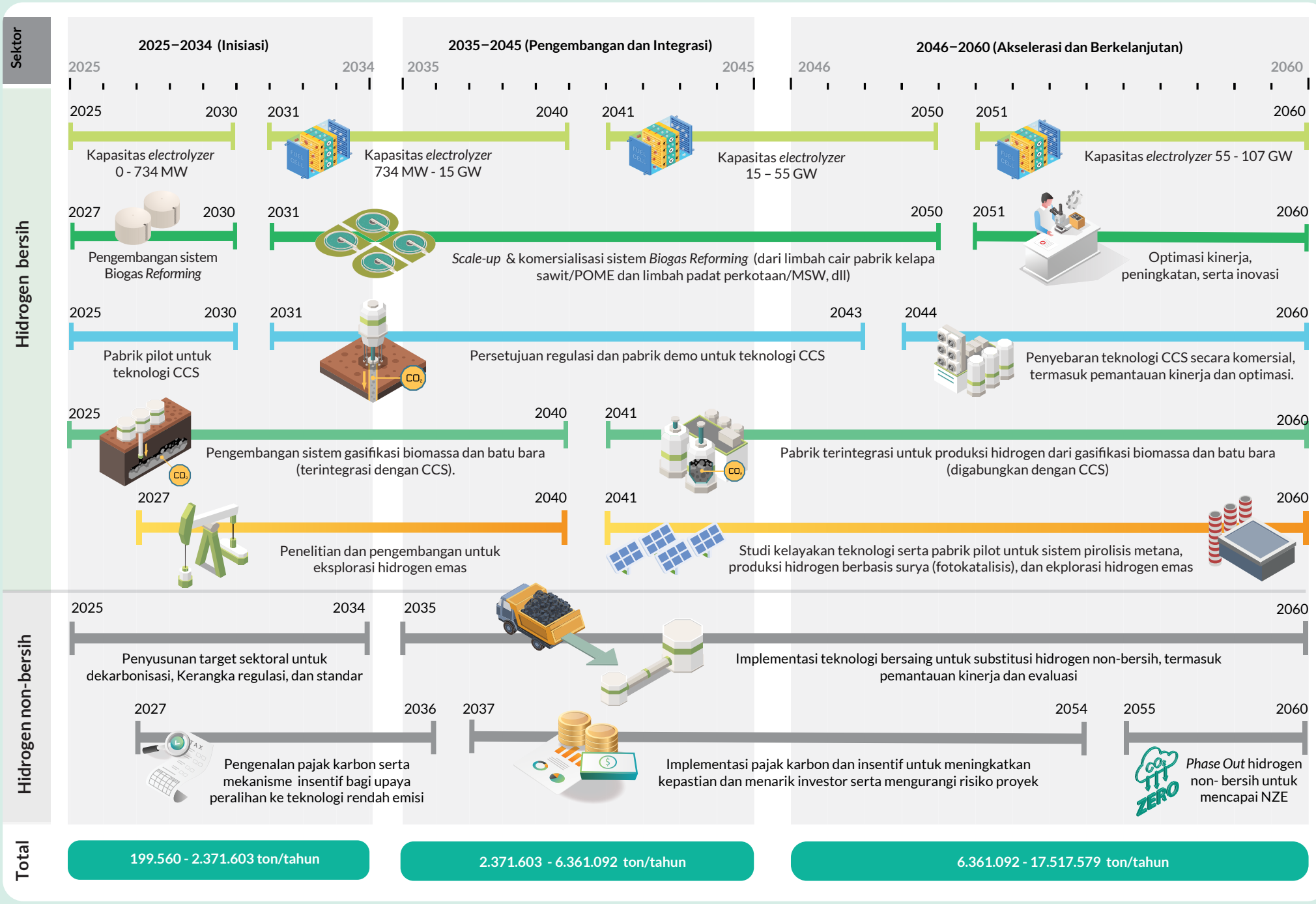
Fase akselerasi dan berkelanjutan (AB) 2046–2060, berfokus pada integrasi pabrik untuk produksi hidrogen dari gasifikasi biomassa dan batu bara digabungkan dengan CCS. Selain itu, juga dilakukan peningkatan peningkatan kapasitas *electrolyzer* yang akan mendekati 55 GW (2% dari proyeksi kapasitas *electrolyzer* global, McKinsey 2024) pada tahun 2050 dan mendekati 107 GW pada tahun 2060. Optimasi kinerja, peningkatan serta inovasi akan dilaksanakan untuk sistem *biogas reforming* beserta dengan penyebaran teknologi CCS secara komersial. Fase ini diharapkan dapat mendukung suplai hidrogen yang mencapai hingga 17,5 juta ton per tahun pada 2060, sebagai bagian dari upaya dekarbonisasi.

Untuk mendukung pengembangan hidrogen non-bersih, penyusunan target sektoral untuk dekarbonisasi, kerangka regulasi, dan standar akan dilakukan mulai tahun 2025 hingga 2034. Ini termasuk pengenalan pajak karbon serta mekanisme insentif bagi upaya peralihan ke teknologi rendah emisi, yang akan dimulai pada tahun 2027. Kebijakan ini dirancang untuk mendorong industri dan sektor energi beralih ke teknologi yang lebih ramah lingkungan, sekaligus memastikan produksi hidrogen non-bersih dilakukan dengan dampak emisi yang minimal.

Dengan menggabungkan pengembangan teknologi hidrogen bersih dan kerangka regulasi yang kuat, Indonesia berkomitmen untuk membangun ekosistem hidrogen yang berkelanjutan, mendukung target *net-zero emission* pada tahun 2060, serta memastikan stabilitas pasokan energi di masa depan.

Pembangkit listrik panas bumi.—Shutterstock





Gambar 26. *Roadmap* produksi hidrogen di Indonesia pada tahun 2025–2060

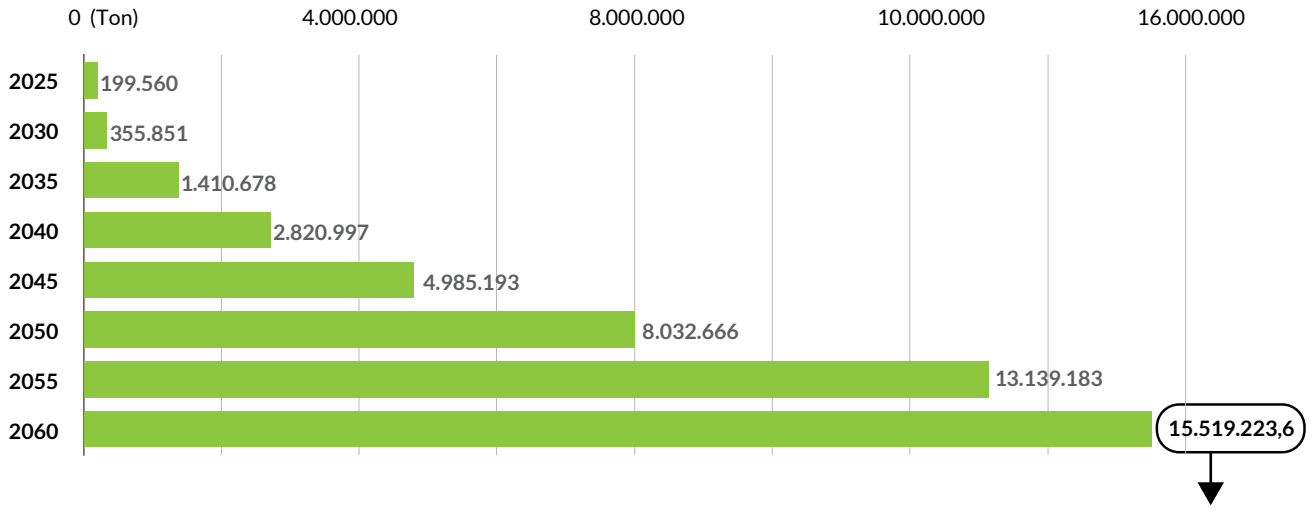
3.1.2.1. Elektrolisis

Proses elektrolisis dalam produksi hidrogen bersih melibatkan pemecahan air (H_2O) menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan menggunakan arus listrik yang bersumber dari energi terbarukan (EBT). Proses ini dilakukan dalam perangkat yang disebut *electrolyzer*, yang terdiri dari dua elektroda: anoda (positif) dan katoda (negatif).

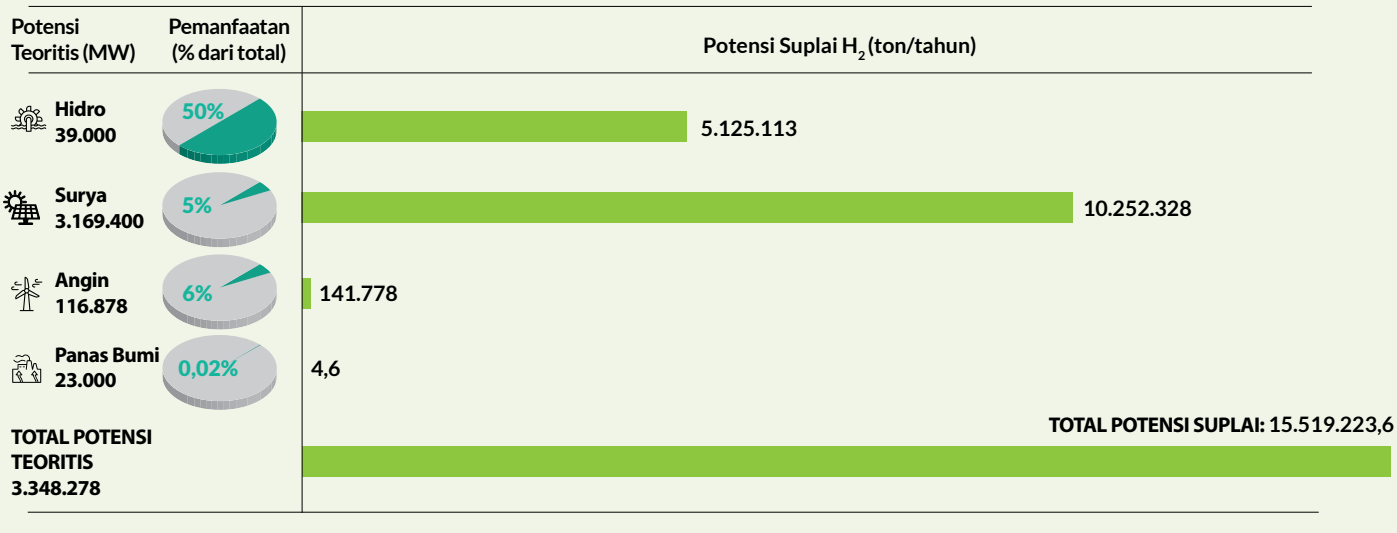
Terdapat beberapa jenis *electrolyzer* yang paling banyak dikembangkan, yaitu *alkaline electrolysis* (AE), *proton-exchange membrane* (PEM) elektrolisis, dan *solid oxide electrolyzer cell* (SOEC). Grafik suplai hidrogen dari elektrolisis dapat dilihat pada **Gambar 27a**, sementara rincian sumber EBT yang berpotensi digunakan dalam proses ini ditampilkan pada **Gambar 27b**.

Proyeksi suplai hidrogen dari elektrolisis pada periode 2025-2060 menunjukkan pertumbuhan yang signifikan, dimulai dari 199,6 ribu ton pada tahun 2025 dan mencapai 15,5 juta ton pada tahun 2060. Lonjakan suplai ini terutama didorong oleh peningkatan kebutuhan domestik, seperti untuk pembangkit listrik berbahan bakar amonia dan hidrogen, serta potensi ekspor ke pasar global. Pada tahun 2040, suplai hidrogen diproyeksikan mencapai 2,8 juta ton, seiring dengan adopsi teknologi elektrolisis yang lebih efisien dan peningkatan kapasitas energi terbarukan. Lonjakan besar terjadi pada tahun 2050, dengan suplai mencapai 8 juta ton, didorong oleh permintaan yang meningkat untuk pembangkit listrik berbahan bakar amonia dan hidrogen, serta ekspansi infrastruktur produksi hidrogen hijau. Pada tahun 2060, suplai hidrogen diproyeksikan mencapai 15,5 juta ton, mencerminkan puncak dari upaya Indonesia dalam memanfaatkan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan domestik dan posisinya sebagai pemain kunci dalam pasar hidrogen global.

Gambar 27a. Proyeksi suplai hidrogen dari elektrolisis tahun 2025–2060



Gambar 27b. Perincian sumber EBT yang dapat dimanfaatkan untuk teknologi elektrolisis pada tahun 2060



Persentase pemanfaatan sumber EBT untuk teknologi elektrolisis pada tahun 2060 (**Gambar 27b**) ditentukan berdasarkan beberapa pertimbangan, seperti ketersediaan sumber energi terbarukan, faktor kapasitas dan intermitensi, keandalan dan stabilitas *grid*, teknologi dan infrastruktur yang tersedia, serta efisiensi biaya produksi hidrogen hijau. Untuk energi surya, pemanfaatan sebesar 5% menghasilkan 10,25 juta ton hidrogen hijau, meskipun potensi radiasi matahari di Indonesia sangat besar. Hal ini karena ketersediaan lahan yang terbatas untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Sementara itu, energi angin dimanfaatkan sebesar 8%, menghasilkan 141,8 ribu ton, mengingat potensinya yang terbatas dan hanya tersedia di lokasi-lokasi tertentu seperti daerah pesisir dan pegunungan.

Di sisi lain, energi hidro memiliki pemanfaatan terbesar sebesar 50%, tetapi hasilnya hanya 5,13 juta ton hidrogen hijau, karena faktor kapasitas dan lokasi yang spesifik. Sedangkan panas bumi hanya dimanfaatkan sebesar 0,02%, menghasilkan 4,6 ton, karena sebagian besar potensinya sudah dialokasikan untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP). Secara total, potensi suplai hidrogen hijau dari semua sumber EBT mencapai 15,5 juta ton, mencerminkan upaya optimalisasi pemanfaatan sumber energi terbarukan yang tersedia dengan mempertimbangkan berbagai keterbatasan dan prioritas.

Untuk mewujudkan skenario ini, tidak hanya diperlukan optimalisasi sumber daya EBT, tetapi juga ketersediaan mineral kritis yang menjadi komponen kunci dalam teknologi *electrolyzer*, *fuel cell*, dan sistem pendukungnya. Berdasarkan laporan International Energy Agency (IEA, 2021), mineral kritis yang digunakan untuk memproduksi *electrolyzer* dan *fuel cell* dengan kebutuhan tertinggi hingga moderat meliputi nikel, logam tanah jarang (LTJ), logam golongan platinum (PGM), dan aluminium. Keputusan Menteri ESDM No. 132 Tahun 2023 mencatat Indonesia memiliki total sumber daya logam tanah jarang sebesar 136 juta ton bijih (119 ribu ton logam), sementara itu cadangan nikel sebesar 5,3 miliar ton bijih (56 juta ton logam), serta bauksit/aluminium sebesar 2,8 miliar ton bijih (531 juta ton logam). Cadangan mineral kritis ini dapat menjadi dasar pengembangan *electrolyzer* dan *fuel cell* di Indonesia.



Limbah kelapa sawit yang berpotensi untuk menghasilkan hidrogen bersih.—KYTan, Shutterstock



Tenaga surya menjadi salah satu sumber energi baru terbarukan yang berpotensial untuk teknologi elektrolisis di Indonesia.—Shutterstock

3.1.2.2. Gasifikasi Batu Bara dan Biomassa

Gasifikasi merupakan proses konversi bahan bakar padat menjadi gas dengan memanfaatkan panas, uap air, dan oksigen dalam jumlah terbatas. Dalam konteks ini, batu bara khususnya batu bara berkualitas rendah (*low rank coal*) dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan syngas, yaitu campuran gas yang terdiri atas karbon monoksida (CO), hidrogen (H_2), karbon dioksida (CO_2), dan metana (CH_4). Proses ini menjadi bagian penting dari rantai produksi hidrogen, terutama dalam mendukung hilirisasi batu bara nasional dan pemanfaatan sumber daya domestik yang melimpah. Ketika bahan bakar yang digunakan adalah batu bara, integrasi dengan teknologi *carbon capture and storage* (CCS) menjadi langkah penting untuk menekan emisi karbon yang dihasilkan selama proses konversi. Hidrogen yang diperoleh melalui skema ini dikenal sebagai *blue hydrogen*, karena masih melibatkan emisi karbon namun dapat dikendalikan dengan CCS. Perhitungan suplai hidrogen (H_2) dari gasifikasi batu bara didasarkan pada dokumen "*Roadmap* Pengembangan dan Pemanfaatan Batu Bara", sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 28**.

Gambar 28. *Roadmap* pengembangan dan pemanfaatan batu bara melalui teknologi gasifikasi

	2021–2025	2031–2040	2041–2050	2051–2060
STRATEGI	**Penyiapan pengembangan batu bara untuk menghasilkan pasokan SNG-Amonia-H_2**	**Pembangunan industri gasifikasi batu bara untuk menghasilkan pasokan SNG-Amonia-H_2 di Sumatra**	**Pembangunan industri gasifikasi batu bara untuk menghasilkan pasokan SNG-Amonia-H_2 di Kalimantan**	**Optimalisasi pembangunan industri gasifikasi batu bara untuk menghasilkan pasokan SNG-Amonia-H_2**
TARGET	• Tersedianya data sumber daya, cadangan dan rekomendasi wilayah potensial untuk pengembangan SNG-Amonia-H_2 • Tersedianya data kebutuhan pasar • Tersedianya teknologi yang tepat dan layak • Tersedianya dukungan regulasi untuk Pengembangan Batubara untuk menghasilkan pasokan SNG-Amonia-H_2	• Terbangunnya dua pabrik di Sumatra • Tersedianya data sumber daya dan cadangan, serta rekomendasi wilayah potensi • Tersedianya data kebutuhan pasar • Penerapan regulasi pengembangan batu bara untuk menghasilkan pasokan SNG-Amonia-H_2	• Terbangunnya satu pabrik di Kalimantan (total tiga pabrik) • Tersedianya data sumber daya dan cadangan, serta rekomendasi wilayah potensial di Sulawesi dan Papua	Terbangunnya pabrik gasifikasi batu bara untuk pemenuhan kebutuhan pasokan SNG-Amonia-H_2 secara optimal
INISIATIF KEGIATAN	Karakterisasi batu bara dan rekomendasi wilayah potensial Pengembangan SNG/Amonia/H_2 di Sumatra • Kajian *supply-demand* di Sumatra • Kajian *cost and benefit* di Sumatra. • Pra FS *Coal* to SNG-Amonia-H_2 di Sumatra • Menyiapkan Infrastruktur *Coal to* SNG-Amonia-H2 • Promosi investasi di Sumatra	• Pengembangan infrastruktur jalur distribusi di Sumatra • Pembangunan 2 pabrik di Sumatra (kapasitas 100 MMSCFD/pabrik) • Karakterisasi batu bara dan rekomendasi wilayah potensial pengembangan SNG-Amonia-H2, di Kalimantan - Kajian *supply-demand* di Kalimantan - Kajian *cost and benefit* di Kalimantan - Pra FS SNG-Amonia-H2, di Kalimantan - Promosi investasi di Kalimantan	• Pengembangan infrastruktur jalur distribusi di Kalimantan • Pembangunan 1 pabrik di Kalimantan (kapasitas 100 MMSCFD/pabrik) • Karakterisasi batu bara dan rekomendasi wilayah potensial pengembangan SNG-Amonia-H_2 di Sulawesi dan Papua - Kajian *supply-demand* di Sulawesi dan Papua - Kajian *cost and benefit* di Sulawesi dan Papua - Pra FS SNG-Amonia-H_2 di Sulawesi dan Papua - Promosi investasi di Sulawesi dan Papua	• Pembangunan pabrik gasifikasi batu bara untuk memenuhi kebutuhan pasokan SNG-Amonia-H_2 dan infrastruktur pendukung • *Updating database* karakterisasi batu bara, pengembangan peralihan prospek lokasi sesuai kebutuhan
	Menyiapkan Dukungan Regulasi • Dukungan regulasi dan insentif: insentif royalti batu bara hingga 0% dan harga khusus batu bara untuk gasifikasi • Regulasi Harga Produk SNG-Amonia-H_2 dari batu bara • Regulasi tata niaga produk • Regulasi terkait usulan proyek SNG-Amonia-H_2 • Regulasi terkait standardisasi produk dan infrastruktur	**Penerapan Regulasi** • Menyediakan regulasi yang dapat diimplementasikan untuk pengembangan batu bara menghasilkan pasokan SNG-Amonia-H_2 • Penyesuaian regulasi	**Penerapan Regulasi** • Penyesuaian regulasi SNG-Amonia-H_2	**Penyesuaian Regulasi** • Penyesusian regulasi SNG- Amonia-H_2

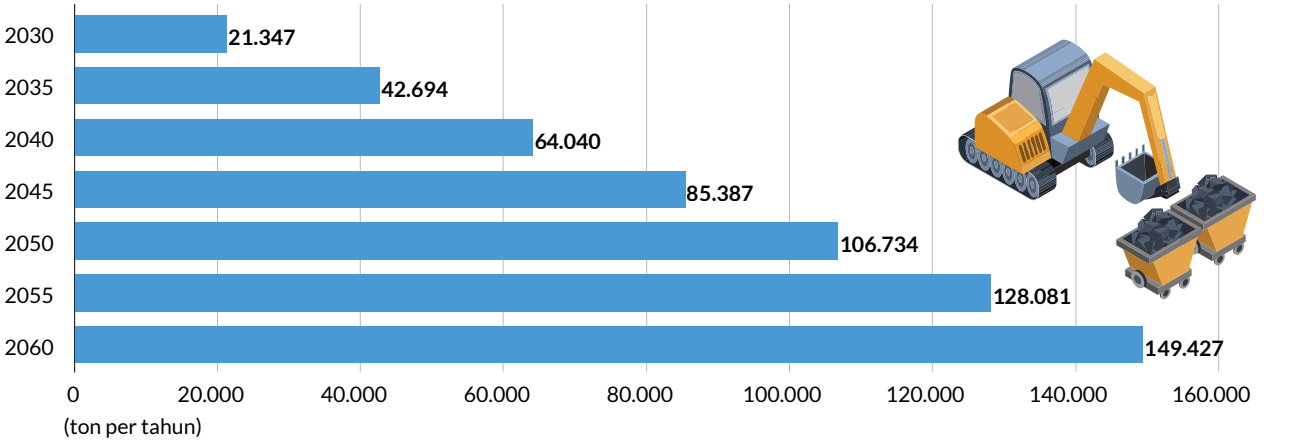
Bagian yang ditandai kotak hijau merupakan acuan dalam proyeksi produksi hidrogen melalui proses gasifikasi

Roadmap pengembangan dan pemanfaatan batu bara melalui teknologi gasifikasi dirancang untuk menghasilkan pasokan SNG (*Synthetic Natural Gas*), Amonia, dan Hidrogen (H_2) dalam beberapa fase dari tahun 2021 hingga 2060. Pada fase awal (2021–2025), fokusnya adalah pada penyiapan data sumber daya, cadangan, dan rekomendasi wilayah potensial, serta kajian kelayakan dan promosi investasi di Sumatra. Fase berikutnya (2031–2040) melibatkan pembangunan industri gasifikasi di Sumatra dan Kalimantan, termasuk pembangunan pabrik dengan kapasitas 100 MMSCFD per pabrik. Pada fase 2041–2050, pengembangan dilanjutkan ke Kalimantan dengan pembangunan satu pabrik tambahan, sementara fase 2051–2060 mencakup optimalisasi dan ekspansi ke Sulawesi dan Papua.

Dukungan regulasi dan insentif juga disiapkan untuk mendorong pengembangan teknologi gasifikasi. Regulasi terkait harga produk, tata niaga, dan standardisasi infrastruktur diterapkan untuk memastikan efisiensi dan keberhasilan proyek. *Roadmap* ini bertujuan untuk memanfaatkan potensi batu bara secara optimal melalui teknologi gasifikasi, mendukung diversifikasi energi dan kebutuhan pasokan energi nasional.

Asumsi yang digunakan dalam analisis ini adalah: (1) kandungan hidrogen dalam SNG sebesar 25% dan (2) efisiensi pemisahan hidrogen dari SNG mencapai 99%. Proyeksi produksi hidrogen melalui gasifikasi batu bara (**Gambar 29**) dimulai pada tahun 2030 dengan 21,3 ribu ton dan meningkat secara bertahap hingga mencapai 149,4 ribu ton pada 2060, sejalan dengan pengembangan pabrik SNG dalam *Roadmap* Pengembangan dan Pemanfaatan Batubara yang disusun oleh Direktorat Jenderal Mineral dan Batu Bara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Gambar 29. Proyeksi suplai hidrogen dari integrasi gasifikasi batu bara dan biomassa dengan unit penangkap karbon (CCS) tahun 2025–2060

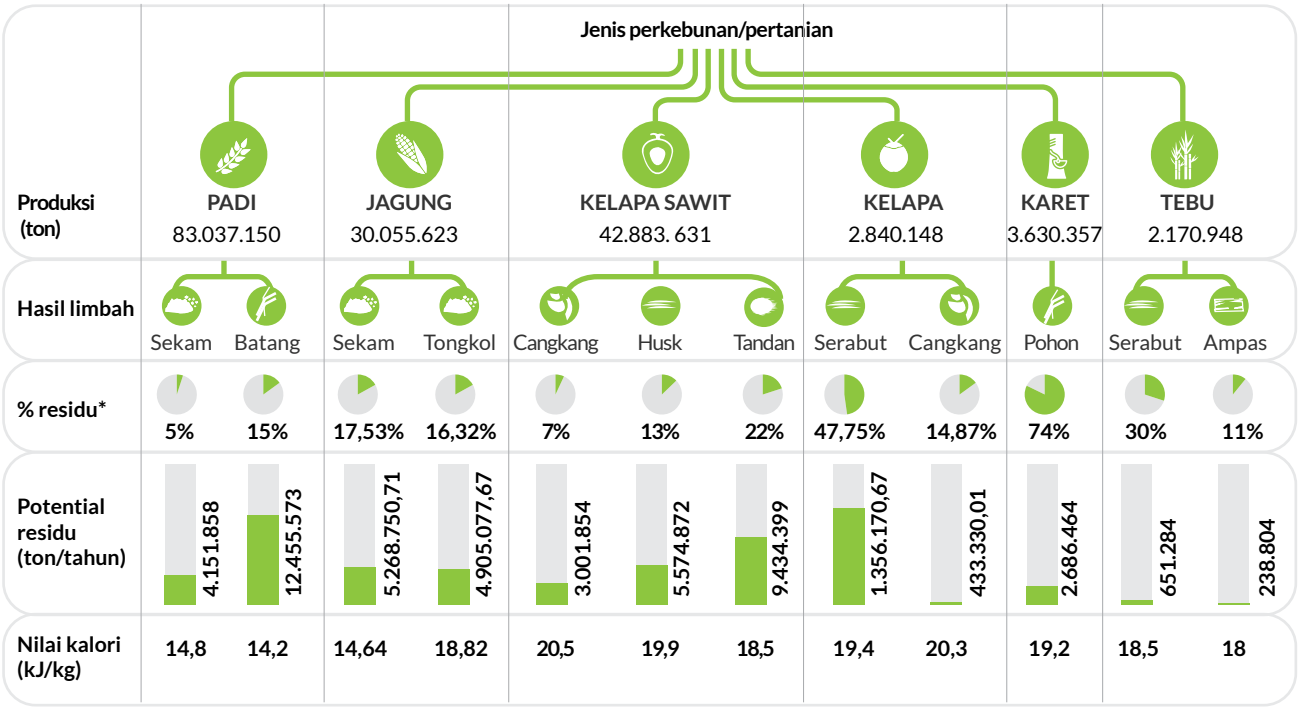



Potensi batu bara secara optimal melalui teknologi gasifikasi, mendukung diversifikasi energi dan kebutuhan pasokan energi nasional.—Shutterstock

Potensi investasi dalam produksi hidrogen sebagai produk samping dari gasifikasi batubara menuju dimetil eter (DME) menjadi peluang strategis bagi Indonesia dalam memperkuat ketahanan energi nasional. Proyek gasifikasi batubara di Tanjung Enim, Sumatera Selatan, yang dikembangkan oleh PT Bukit Asam, dirancang untuk mengolah sekitar 6 juta ton batubara per tahun menjadi 1,4 juta ton DME, yang diproyeksikan dapat mengurangi impor LPG sebesar 1 juta ton per tahun, menghemat devisa hingga Rp9,7 triliun, serta menarik investasi sebesar USD 2,1 miliar. Selain DME, proyeksi produksi hidrogen dari gasifikasi batubara pada fase inisiasi diperkirakan mencapai 42,7 ribu ton per tahun, dengan potensi substitusi energi yang setara dengan sekitar 143 juta normal meter kubik (Nm^3) gas alam per tahun atau sekitar 13,3 MMSCFD. Jumlah ini dapat menggantikan sekitar 0,35% dari konsumsi gas domestik harian sebesar 3.745 MMSCFD pada 2023, menurut data SKK Migas. Di sisi lain, kapasitas tersebut juga ekuivalen dengan sekitar 160 juta liter bensin atau solar per tahun, atau sekitar 0,4% dari total impor hasil minyak yang mencapai 36,89 juta ton pada 2024. Dengan kata lain, pemanfaatan hidrogen dari gasifikasi batubara di tahap awal ini tidak hanya meningkatkan nilai ekonomi hilirisasi, tetapi juga menjadi langkah konkret dalam mendorong efisiensi energi, menurunkan emisi, dan mempercepat transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan.

Gasifikasi biomassa dianggap memiliki jejak karbon netral, karena emisi CO_2 yang dilepaskan selama proses pembakaran diimbangi oleh CO_2 yang sebelumnya diserap oleh tanaman melalui fotosintesis. Hidrogen yang dihasilkan dari proses ini disebut *green hydrogen*, karena menggunakan sumber energi terbarukan. Selain menghasilkan hidrogen, gasifikasi biomassa juga memberikan manfaat tambahan dalam mengelola limbah biomassa secara efektif, menjadikannya solusi energi yang lebih ramah lingkungan. Jenis limbah biomassa dari perkebunan atau pertanian di Indonesia tercantum pada **Gambar 30**.

Gambar 30. Jenis limbah biomassa dari perkebunan atau pertanian di Indonesia



* (Pranoto, Pandin, Fithri & Nasution 2016) (Wiranti, Ariyanto & Cahyono 2019)

Gambar 30 menunjukkan potensi limbah biomassa dari berbagai sektor pertanian dan perkebunan di Indonesia, termasuk padi, jagung, kelapa sawit, kelapa, karet, dan tebu. Setiap komoditas menghasilkan residu dalam bentuk sekam, batang, cangkang, serabut, tandan, atau pohon dengan persentase bervariasi. Limbah dengan potensi terbesar berasal dari kelapa sawit (tandan kosong: 9,43 juta ton/tahun) dan karet (pohon: 2,68 juta ton/tahun).

Nilai kalori biomassa juga bervariasi, dengan cangkang kelapa sawit memiliki nilai tertinggi (20,5 kJ/kg), menjadikannya sumber *feedstock* yang potensial untuk menghasilkan hidrogen bersih.

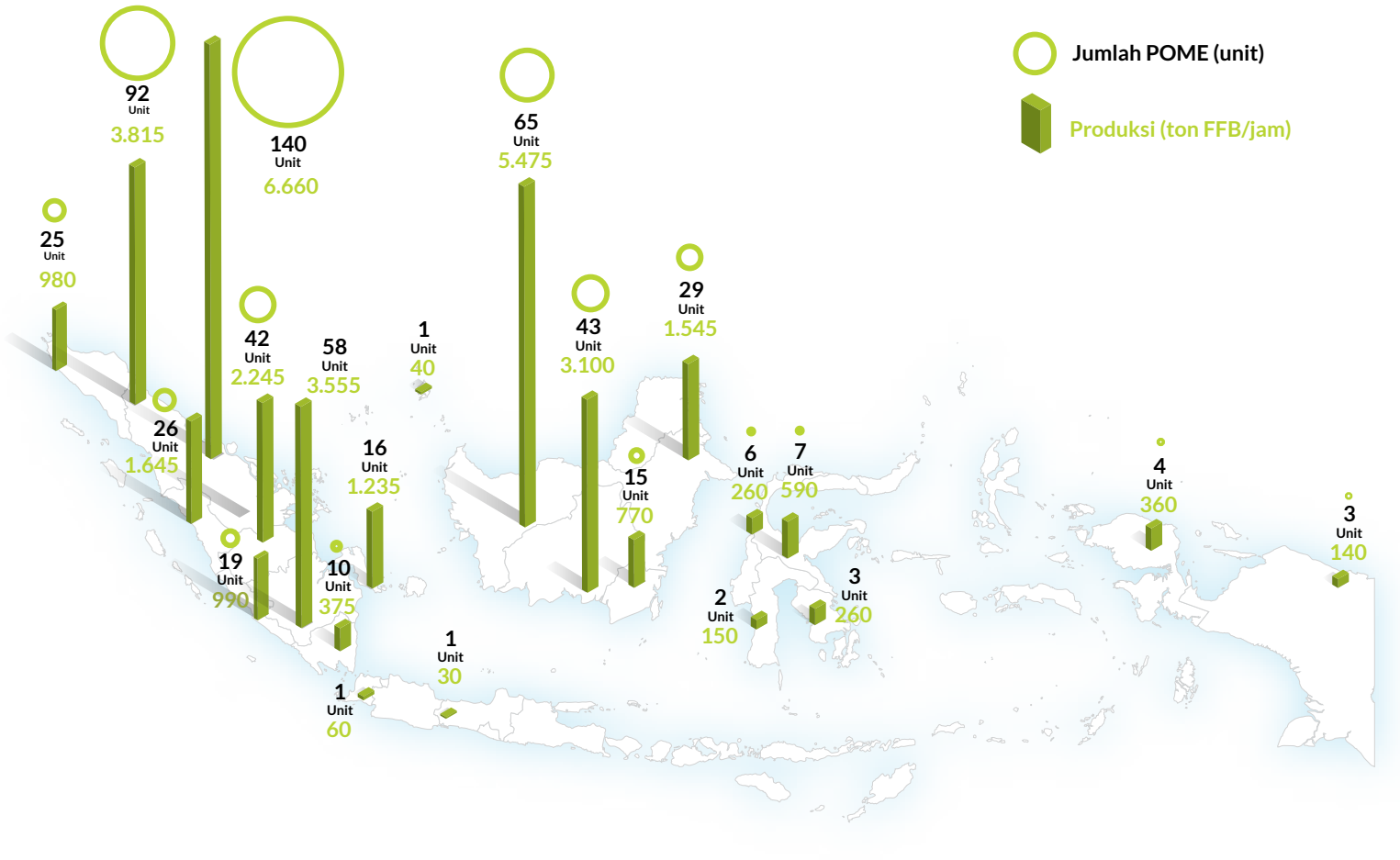


Limbah cangkang kelapa sawit.— Afdhaluddin, Shutterstock

3.1.2.3. Biogas

Indonesia memiliki potensi besar dalam pemanfaatan limbah pabrik kelapa sawit (*Palm Oil Mill Effluent* atau POME). Peta distribusi limbah POME di Indonesia dapat dilihat pada **Gambar 31,** dengan pulau Sumatra memiliki unit terbanyak (412 dan produksi sebesar 20.274 ton FFB per jam)**.** Limbah ini dapat diolah menjadi biogas, yang kemudian ditingkatkan menjadi biometana. Terdapat dua metode utama untuk mengonversi biometana menjadi hidrogen. Metode pertama adalah melalui reaksi dengan uap air, yang dikenal sebagai *Water-Gas Shift Reaction* (WGSR). Dalam proses ini, biometana dicampur dengan uap air untuk menghasilkan hidrogen dan karbon dioksida (CO_2), di mana emisi karbon dianggap netral karena berasal dari biomassa. Metode kedua adalah pemecahan langsung biometana (*direct cracking*) menjadi hidrogen dan karbon padat. Kedua metode ini memungkinkan konversi biometana menjadi hidrogen secara berkelanjutan dengan memanfaatkan sumber daya yang melimpah. Selain itu, pengolahan ini juga berkontribusi pada pengelolaan limbah industri kelapa sawit di Indonesia secara lebih efisien dan ramah lingkungan.

Gambar 31. Sebaran potensi limbah POME di Indonesia

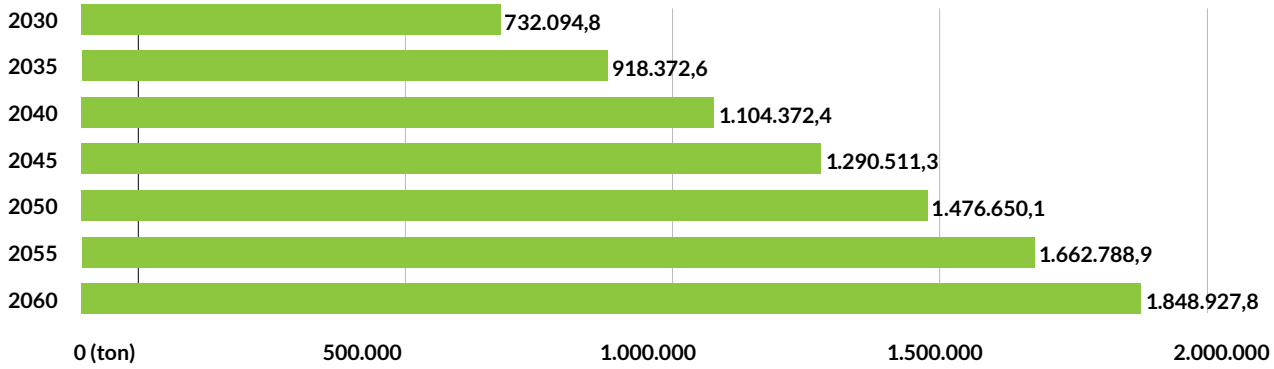


Perhitungan suplai hidrogen dari biogas dilakukan menggunakan data sekunder limbah POME yang bersumber dari Direktorat Jenderal Perkebunan (2021). Asumsi yang digunakan untuk perhitungan ini adalah:

- 1 m^3 POME dapat menghasilkan 28 m^3 biogas
- Persentase gas metana dalam biogas diasumsikan sebesar 60%
- Jumlah total produksi hidrogen merupakan hasil perkalian dari jumlah biogas dari POME, persentase gas metana dalam biogas, serta konversi hidrogen dari gas metana.

Berdasarkan proyeksi suplai hidrogen dari biogas pada **Gambar 31**, terlihat peningkatan yang signifikan dari tahun 2030 hingga 2060. Pada tahun 2030, proyeksi suplai hidrogen dimulai dari 732,1 ribu ton, dan meningkat secara bertahap setiap interval 5 tahunan. Pada tahun 2035, proyeksi mencapai 918,2 ribu ton, kemudian naik menjadi 1,1 juta ton pada tahun 2040, dan terus bertumbuh hingga mencapai 1,8 juta ton pada tahun 2060. Secara rata-rata, terjadi kenaikan sekitar 186 ribu ton setiap 5 tahun, dengan total peningkatan sebesar 1,1 juta ton dalam kurun waktu 30 tahun. Hal ini mencerminkan perkembangan yang pesat dalam produksi hidrogen dari biogas, mengindikasikan potensi besar dalam pemanfaatan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi di masa depan.

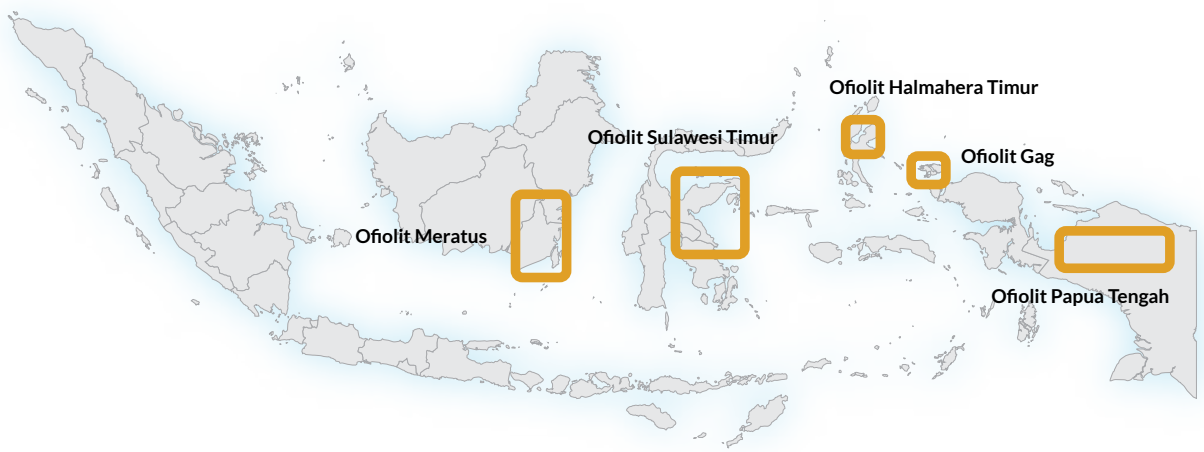
Gambar 32. Proyeksi suplai hidrogen dari biogas pada tahun 2030–2060



3.1.2.4. Hidrogen Alami

Suplai hidrogen alami hanya dapat diperkirakan berdasarkan reservoir yang telah ditemukan, sehingga ketersediaannya sangat bergantung pada eksplorasi dan produksi di masa mendatang. Salah satu area dengan potensi hidrogen alami di Indonesia adalah Cekungan Tanjung Api, Sulawesi Tengah, yang terletak di tepi barat Cekungan Ampana, Kabupaten Tojo Una-Una. Studi awal terhadap reservoir ini menunjukkan laju alir gas sebesar 1.000–1.400 m^3 per hari dengan kandungan hidrogen sekitar 25%. Secara geologi, wilayah ini merupakan bagian dari Ofiolit Sulawesi Timur (East Sulawesi Ophiolite/ESO), salah satu dari tiga ofiolit terbesar di dunia, yang mencakup lebih dari 10.000 km^2. Karakteristik batuan ultramafik, sesar aktif yang dalam, serta rembesan hidrogen alami, mendukung pembentukan dan akumulasi hidrogen di bawah permukaan. **Gambar 33** menunjukkan peta sebaran potensi hidrogen alami di Indonesia, yang menggambarkan distribusi lokasi potensial berdasarkan faktor geologi dan rembesan hidrogen alami yang terdeteksi.

Gambar 33. Peta sebaran potensi hidrogen natural Indonesia

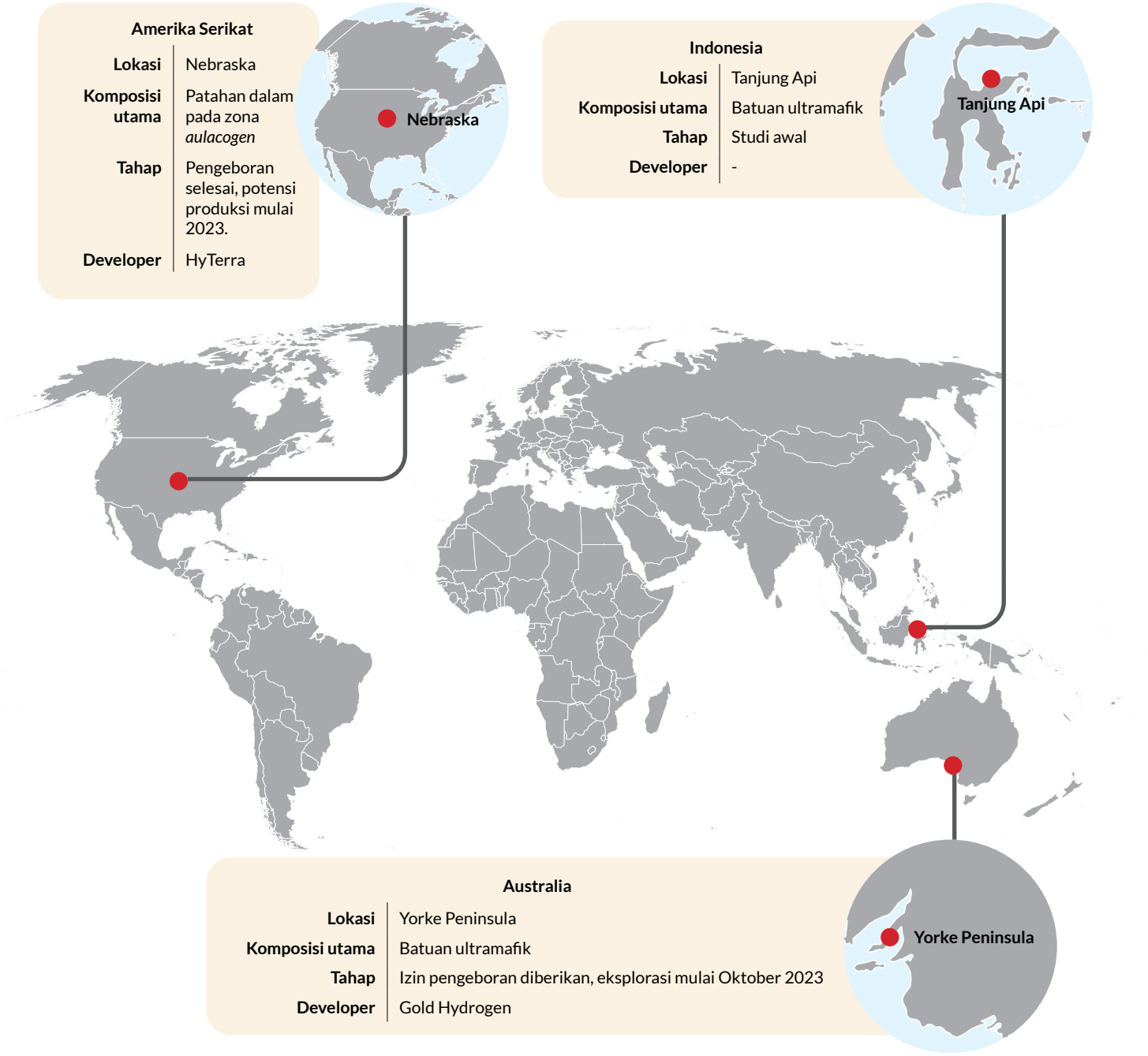


Metode eksplorasi perlu dikembangkan lebih lanjut untuk mengidentifikasi dan menguantifikasi cadangan secara akurat. Selain itu, produksi dan ekstraksi hidrogen bawah permukaan harus dilakukan dengan teknologi yang aman, andal, dan ekonomis, agar dapat bersaing dengan sumber energi lainnya. Dampak lingkungan dari eksploitasi hidrogen alami juga memerlukan kajian mendalam untuk memastikan keberlanjutannya.

Beberapa negara telah mulai memasukkan hidrogen alami dalam kerangka hukum mereka. Australia telah mengatur hidrogen dalam Petroleum and Geothermal Energy Act 2000, sementara Amerika Serikat mengizinkan eksplorasi hidrogen alami di bawah regulasi minyak dan gas. Filipina bahkan telah membuka lelang hak eksplorasi hidrogen alami sebagai bagian dari strategi energinya. Keberhasilan eksploitasi hidrogen alami di beberapa wilayah dunia, seperti penemuan gas hidrogen hampir murni (98%) di Sumur Bogou 1, Afrika Barat, menunjukkan potensi besar sumber daya ini dalam mendukung transisi energi global. Oleh karena itu, pengembangan infrastruktur pemisahan, transportasi, dan penyimpanan hidrogen yang efisien menjadi aspek krusial dalam mengintegrasikan hidrogen alami ke dalam sistem energi nasional.

Beberapa negara lain telah melakukan upaya pemanfaatan hidrogen alami melalui eksplorasi dan produksi *reservoir-reservoir* hidrogen. Perbandingan Indonesia dengan beberapa negara penghasil hidrogen natural dapat dilihat pada **gambar 34.**

Gambar 34. *Benchmarking* dengan Australia dan Amerika Serikat untuk tahap produksi hidrogen natural

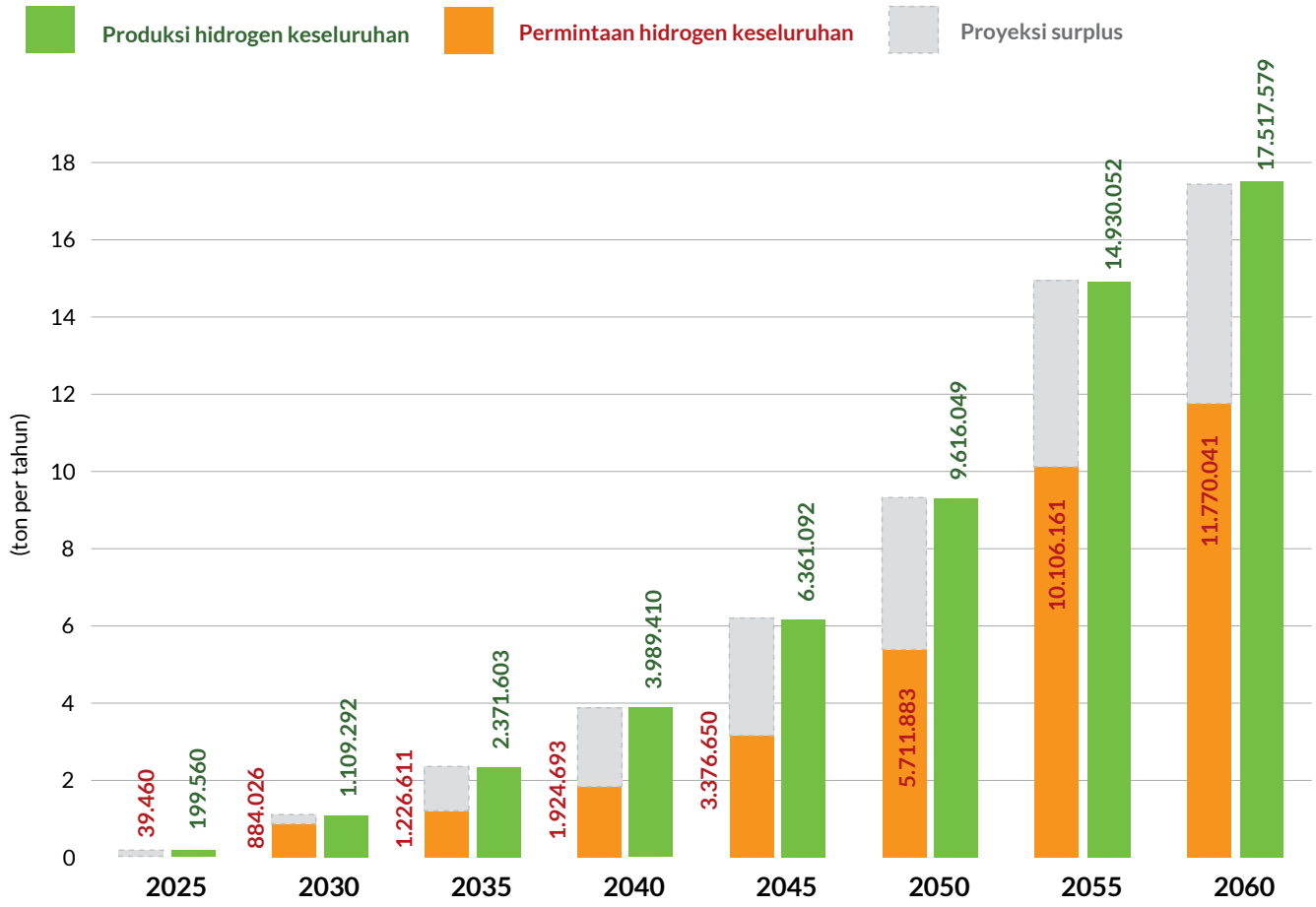


3.1.3. Akumulasi *Supply-Demand* Hidrogen

Permintaan hidrogen diproyeksikan mengalami peningkatan dari tahun 2025 hingga 2060, dengan perhitungan yang mencakup seluruh permintaan dari berbagai sektor, termasuk industri, transportasi, pembangkit listrik, dan jaringan gas (jargas), serta seluruh metode produksi hidrogen, yaitu elektrolisis, biogas, dan gasifikasi.

Pada tahun 2025, permintaan hidrogen diproyeksikan mencapai 39,5 ribu ton dan akan meningkat secara signifikan hingga mencapai 11,8 juta ton pada tahun 2060. Lonjakan besar terjadi antara tahun 2050 dan 2055, dipicu oleh operasional pembangkit listrik tenaga hidrogen dengan kapasitas 4 GW pada tahun 2051 yang menggunakan bahan bakar 100% hidrogen, kemudian meningkat menjadi 24,0 GW pada tahun 2055, dan mencapai 25,3 GW pada tahun 2060. Selain itu, lonjakan permintaan juga terjadi pada tahun 2040, terutama disebabkan oleh peningkatan kebutuhan hidrogen untuk memproduksi amonia sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga amonia dengan kapasitas sebesar 2 GW pada tahun 2045 dengan menggunakan bahan bakar 100% amonia.

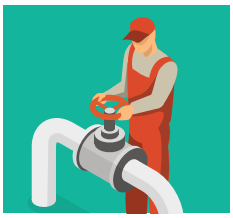
Gambar 35. Akumulasi produksi dan permintaan hidrogen di Indonesia serta proyeksi surplus dari tahun 2025 hingga 2060



Kesenjangan antara produksi dan permintaan hidrogen dimulai dari 160,1 ribu ton pada tahun 2025 dan diproyeksikan mencapai 5,7 juta ton pada tahun 2060. Kondisi ini menyoroti perlunya upaya untuk meningkatkan pemanfaatan hidrogen di berbagai sektor dalam negeri. Di sisi lain, kesenjangan ini juga membuka peluang strategis untuk memenuhi kebutuhan pasar global, dengan target utama seperti Jepang, Korea Selatan, Tiongkok, Singapura, dan Eropa. Hal ini menunjukkan potensi besar bagi Indonesia untuk berkontribusi dalam pasar hidrogen global sambil terus mendorong pemanfaatan domestik yang lebih luas.

3.1.4. Penyimpanan dan Distribusi Hidrogen

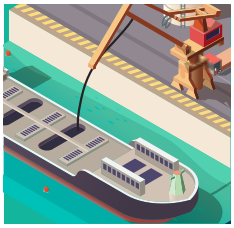
Roadmap distribusi hidrogen dibagi menjadi tiga fase utama: Fase Inisiasi (2025–2034), Pengembangan dan Integrasi (2035–2045), dan Akselerasi dan Berkelanjutan (2051–2060), dengan fokus pada tiga alternatif distribusi utama, yaitu jaringan pipa, transportasi darat, dan transportasi laut. Untuk meningkatkan efisiensi distribusi, hidrogen, diperlukan pembangunan *hydrogen hubs* yang merupakan pusat distribusi hidrogen yang terintegrasi, menghubungkan sumber produksi dengan berbagai sektor pengguna melalui jaringan pipa, transportasi darat, dan laut. Perinciannya disajikan dalam **Gambar 34.**



Pada fase Inisiasi (IN), distribusi hidrogen dimulai dengan proyek percontohan pencampuran hidrogen ke dalam jaringan pipa gas alam yang sudah ada, sekaligus merencanakan pembangunan jaringan pipa hidrogen khususnya yang sedang dalam tahap studi kelayakan untuk menghubungkan distribusi dari Sumatera di Indonesia dengan Singapura. Fokus utama meliputi manajemen dan keselamatan pipa, serta pengembangan teknologi pemisahan dan pemurnian hidrogen dari gas alam. Untuk transportasi darat, akan dilakukan studi penyimpanan hidrogen dan proyek percontohan pengangkutan hidrogen dalam bentuk cair bertekanan tinggi, padatan, serta melalui penyimpanan bawah tanah. Sementara itu, di sektor transportasi laut, direncanakan studi demonstrasi transportasi hidrogen melalui laut serta pengembangan infrastruktur hidrogen cair di pelabuhan dan lokasi logistik. *Hydrogen hubs* dimulai dengan studi, perencanaan, dan proyek awal untuk membangun fondasi regulasi dan infrastruktur distribusi.



Pada fase Pengembangan dan Integrasi (PI), distribusi hidrogen akan diperluas melalui pembangunan jaringan pipa hidrogen khusus dan pencampuran hidrogen ke dalam jaringan pipa gas alam yang ada. Infrastruktur skala besar akan dikembangkan untuk transportasi hidrogen cair bertekanan tinggi dan penyimpanan hidrogen dalam bentuk padatan. Selain itu, distribusi hidrogen menggunakan tanker untuk transportasi hidrogen cair akan ditingkatkan secara signifikan. Di sektor transportasi laut, akan dilakukan distribusi skala besar amonia dan *hydrogen carriers* lainnya, seperti hidrogen cair, amonia, asam format, dan *Liquid Organic Hydrogen Carrier* (LOHC). *Hydrogen hubs* mulai memasuki tahap *scale-up* dan integrasi ke sektor industri, memperluas jangkauan distribusi antar wilayah.



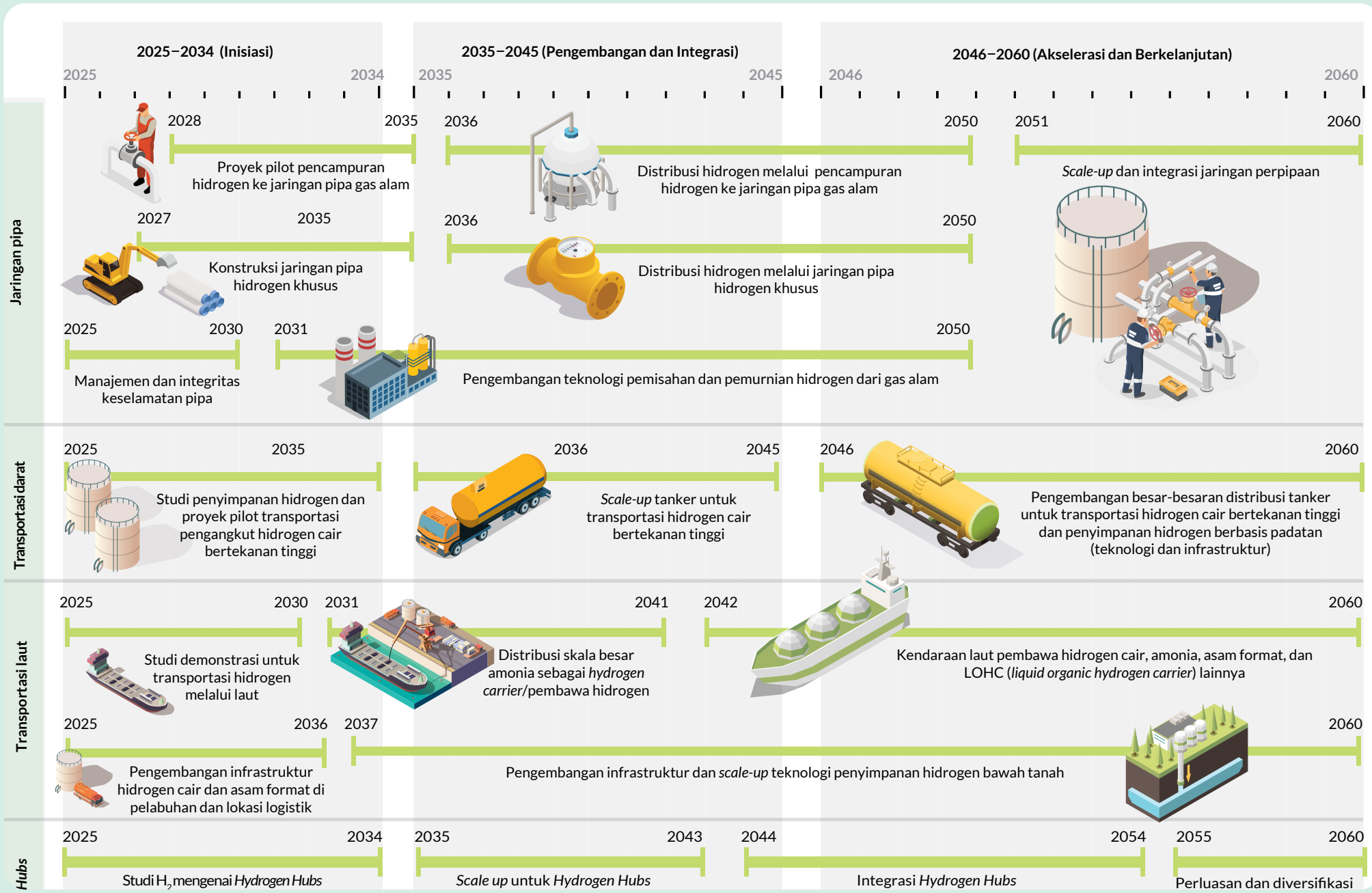
Pada fase **Akselerasi dan Berkelanjutan (AB)**, fokus utama adalah peningkatan skala dan integrasi penuh jaringan pipa untuk distribusi hidrogen, baik melalui pencampuran dengan gas alam maupun melalui jaringan pipa hidrogen khusus. Distribusi hidrogen juga akan diperluas dengan menggunakan tanker besar untuk transportasi hidrogen cair bertekanan tinggi serta teknologi penyimpanan bawah tanah. Di sektor transportasi laut, kapal khusus akan digunakan untuk mengangkut berbagai jenis hydrogen *carriers*, seperti hidrogen cair, amonia, asam format, dan *Liquid Organic Hydrogen Carrier* (LOHC). *Hydrogen hubs* dioptimalkan untuk mendukung perdagangan domestik dan internasional, dengan sistem distribusi yang masif dan berkelanjutan.

Pada sektor jaringan pipa, fase Inisiasi dimulai dengan manajemen dan integritas keselamatan pipa pada tahun 2025, diikuti oleh konstruksi jaringan pipa hidrogen khusus pada tahun 2027. Pembangunan jaringan pipa hidrogen khusus sedang dalam tahap studi kelayakan untuk menghubungkan Indonesia dan Singapura dalam rangka memfasilitasi pembentukan pusat hidrogen hijau. Selanjutnya, pada tahun 2028, dilakukan proyek percontohan (pilot) pencampuran hidrogen ke dalam jaringan pipa gas alam. Fase ini ditutup dengan pengembangan teknologi pemisahan dan pemurnian hidrogen dari gas alam, yang menjadi fondasi penting untuk integrasi hidrogen ke dalam sistem energi yang ada.

Dalam sektor transportasi darat, fase Inisiasi diawali dengan studi penyimpanan hidrogen serta proyek percontohan transportasi hidrogen cair bertekanan tinggi, yang berlangsung dari tahun 2025 hingga 2035. Langkah ini menjadi tahap awal dalam membangun ekosistem distribusi hidrogen yang aman, efisien, dan siap untuk dikembangkan lebih lanjut.

Untuk sektor transportasi laut, fase Inisiasi dimulai dengan studi demonstrasi transportasi hidrogen melalui laut pada tahun 2025. Kegiatan ini dilakukan bersamaan dengan pengembangan infrastruktur hidrogen cair dan asam format di pelabuhan serta lokasi logistik. Selanjutnya, distribusi amonia sebagai *hydrogen carrier* dalam skala besar akan dimulai pada tahun 2031 hingga 2041. Hal ini memperkuat peran hidrogen dalam rantai pasok energi nasional dan internasional, sekaligus menegaskan posisi Indonesia sebagai pemain strategis dalam pasar hidrogen global.

Melalui tiga fase ini, Indonesia tidak hanya membangun infrastruktur distribusi hidrogen yang komprehensif, tetapi juga memastikan keberlanjutan dan optimalisasi pemanfaatan hidrogen sebagai sumber energi bersih di masa depan.



Gambar 36. *Roadmap* distribusi hidrogen di Indonesia tahun 2025–2060

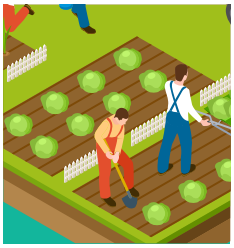
3.2. *Roadmap* Amonia

3.2.1. Proyeksi Pertumbuhan Pemanfaatan Amonia

Roadmap pemanfaatan amonia terbagi atas tiga fase utama: **Fase Inisiasi (2025–2034), Pengembangan dan Integrasi (2035–2045), serta Akselerasi dan Berkelanjutan (2046–2060)**. Setiap fase mencakup langkah-langkah strategis di sektor transportasi, industri pupuk, dan pembangkit listrik, dengan tujuan utama memperluas penggunaan amonia sebagai bahan bakar bersih dan mempercepat transisi energi. Perincian *roadmap* ini disajikan dalam **Gambar 37.**



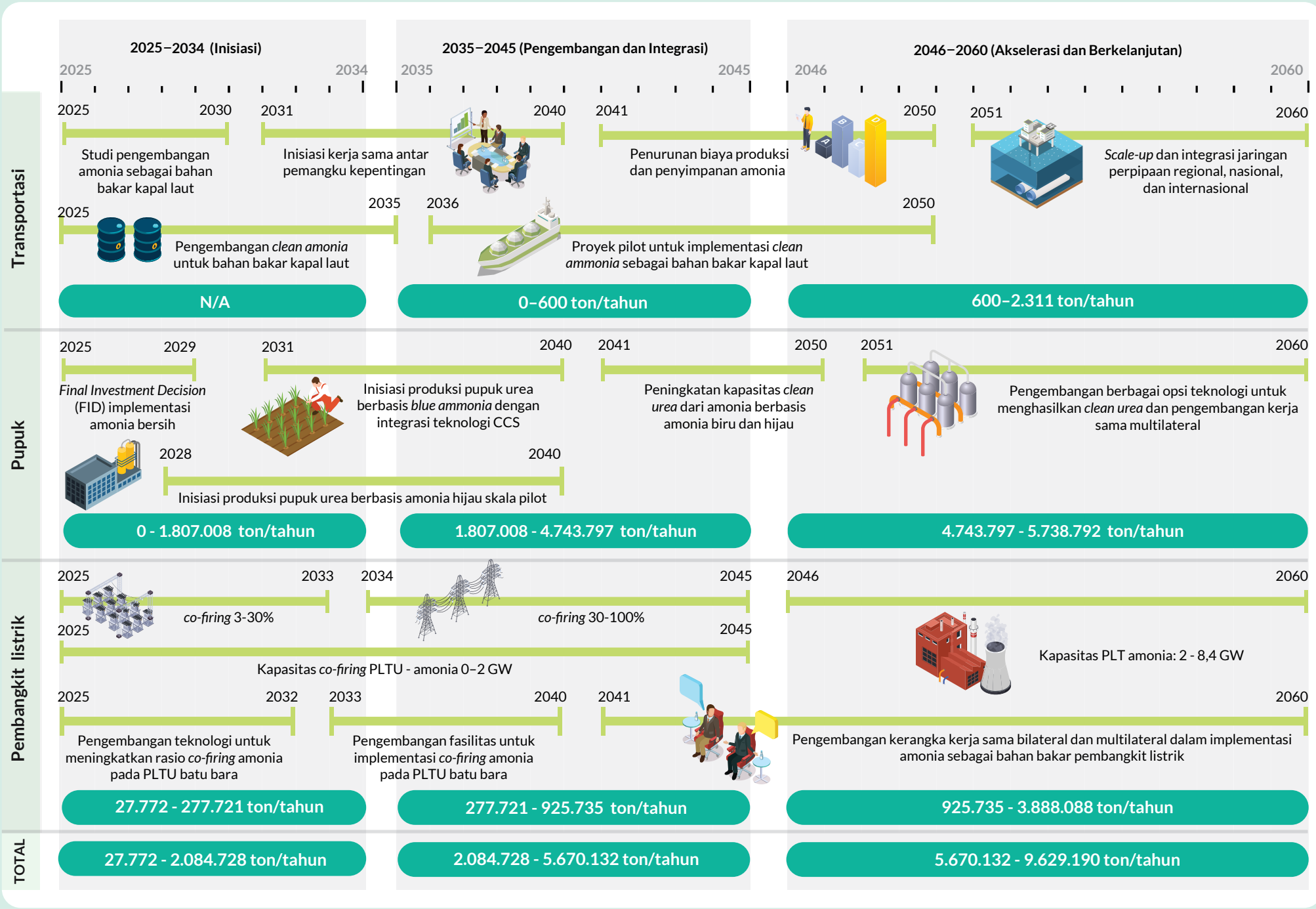
Pada fase **Inisiasi (IN)**, fokus utama di sektor pembangkit listrik dengan dimulainya *co-firing* amonia sebesar 3% tahun 2025 dengan kebutuhan amonia sebesar 27,8 ribu ton dan akan meningkat mencapai 277,7 ribu ton pada tahun 2035 dengan *co-firing* mendekati 30%. Total kebutuhan amonia pada fase IN mencapai 2,1 juta ton pada tahun 2035. Proyek percontohan (*pilot project*) untuk implementasi amonia bersih sebagai bahan bakar kapal laut juga dimulai. Di sektor pupuk, keputusan investasi final (*Final Investment Decision*/FID) dilakukan untuk implementasi amonia bersih, termasuk inisiasi produksi pupuk urea berbasis *blue ammonia* yang terintegrasi dengan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS). Langkah ini menjadi kunci dalam mengurangi emisi karbon di industri pupuk melalui pemanfaatan amonia bersih. Sementara itu, di sektor pembangkit listrik, dilakukan proyek percontohan *co-firing* amonia di PLTU batu bara. Selain itu, pengembangan teknologi untuk meningkatkan rasio *co-firing* amonia dengan batu bara menjadi prioritas guna mendukung transisi menuju energi yang lebih bersih.



Pada fase **Pengembangan dan Integrasi (PI)**, penggunaan amonia dalam transportasi laut akan meningkat dengan implementasi amonia bersih sebagai bahan bakar utama. Proyek-proyek pilot akan mempercepat adopsi amonia sebagai solusi energi rendah karbon untuk transportasi laut. Kebutuhan amonia diperkirakan mencapai hingga 600 ton pada tahun 2045. Di sektor pupuk, produksi pupuk urea berbasis amonia bersih dari amonia biru dan hijau akan terus ditingkatkan. Fokus utamanya adalah peningkatan kapasitas produksi serta pengembangan opsi teknologi baru untuk menghasilkan *clean urea*. Kebutuhan amonia diperkirakan 1,8 juta ton pada tahun 2035 dan mencapai 4,7 juta ton pada tahun 2045 pada sektor pupuk. Di sektor pembangkit listrik, pengembangan PLT amonia diproyeksikan mencapai kapasitas 2 GW pada tahun 2045, dengan implementasi *co-firing* bertahap sebesar 30% pada tahun 2035, meningkat menjadi 60% pada tahun 2040, dan mencapai 100% pada tahun 2045, akan memperluas penggunaan amonia sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Kebutuhan amonia di sektor ini akan terus meningkat, didorong oleh peningkatan kapasitas *co-firing* amonia pada pembangkit listrik batu bara. Kebutuhan amonia secara keseluruhan mencapai 2,1 juta ton pada tahun 2035 dan mencapai 5,7 juta ton pada tahun 2045.



Pada fase **Akselerasi dan Berkelanjutan (AB)**, pemerintah akan menerapkan insentif dan subsidi, bersama dengan pengembangan teknologi, untuk meningkatkan efisiensi sekaligus menurunkan biaya produksi dan penyimpanan amonia. Di sektor transportasi, amonia bersih akan sepenuhnya diadopsi sebagai bahan bakar kapal laut, dengan kebutuhan diproyeksikan mencapai 600 ton pada tahun 2045 dan mencapai 2.310 ton pada tahun 2060. Di sektor pupuk, pengembangan teknologi untuk produksi urea berbasis amonia bersih dengan kebutuhan amonia sebesar 5,7 juta ton pada tahun 2045 dan mencapai 9,6 juta ton pada tahun 2060, didukung oleh kolaborasi internasional. Seiring dengan peningkatan produksi, kebutuhan amonia dalam industri pupuk diperkirakan akan terus bertambah secara signifikan. Dalam sektor pembangkit listrik, kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Amonia (PLT Amonia) diproyeksikan mencapai 8,4 GW pada tahun 2060. Selain itu, kerangka kerja sama bilateral dan multilateral akan dikembangkan untuk mempercepat adopsi amonia sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Kebutuhan amonia secara keseluruhan mencapai 9,6 juta ton pada tahun 2060.



Gambar 37. *Roadmap* pemanfaatan amonia di Indonesia tahun 2025–2060

Pada sektor transportasi, fase Inisiasi diawali dengan studi pengembangan amonia sebagai bahan bakar kapal laut pada 2025, diikuti dengan pengembangan *clean ammonia* untuk keperluan bahan bakar kapal pada tahun yang sama. Inisiatif ini diperkuat dengan kerja sama antar pemangku kepentingan, yang mulai diinisiasi pada 2031 untuk mendorong adopsi teknologi yang lebih luas.

Dalam sektor pupuk, fase Inisiasi dimulai dengan *Final Investment Decision* (FID) untuk implementasi amonia bersih pada 2025–2029. Selanjutnya, dilakukan inisiasi produksi pupuk urea berbasis amonia hijau dalam skala pilot pada 2028–2040. Upaya ini dilengkapi dengan pengembangan produksi pupuk urea berbasis *blue ammonia* melalui integrasi teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) pada 2031–2040, sebagai langkah strategis dalam mendukung dekarbonisasi industri pupuk.

Untuk sektor pembangkit listrik, fase Inisiasi dimulai dengan percobaan demonstrasi pilot *co-firing* amonia pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) selama 2025–2033. Aktivitas ini dilakukan bersamaan dengan pengembangan teknologi untuk meningkatkan rasio *co-firing* amonia dengan persentase 3-30% dalam PLTU, guna memastikan transisi yang lebih efisien dan berkelanjutan. PLN Indonesia Power (PLN IP) secara resmi telah melakukan uji coba pengoperasian PLTU berbahan bakar *green ammonia* hasil konversi dari *green hydrogen* yang diterapkan di PLTU Labuan 2 x 300 MW. Hal ini ditandai dengan keberhasilan uji *ammonia co-firing* sebesar 3% selama 8 jam dengan penggunaan 50 ton amonia. Hasil kerjasama antara PLN Indonesia Power, IHI Corporation dan Pupuk Kujang ini dapat berpotensi menekan emisi karbon sebesar 70.640 ton CO_2 per tahun dan mendukung target NZE tahun 2060.

Berdasarkan **Gambar 38**, Hasil proyeksi pemanfaatan amonia bersih menunjukkan peningkatan signifikan, dimulai dari 27,8 ribu ton pada tahun 2025 dan diproyeksikan mencapai 9,6 juta ton pada tahun 2060. Dalam sektor pembangkit listrik, implementasi *co-firing* amonia untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) akan dilakukan secara bertahap, dengan proporsi 3% pada tahun 2025, meningkat menjadi 10% pada tahun 2030, 30% pada tahun 2035, 60% pada tahun 2040, dan akhirnya mencapai 100% pada tahun 2045. Mulai tahun 2045, amonia diperkirakan mulai digunakan secara keseluruhan pada PLTU, sesuai dengan Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN). Pada tahap awal, kapasitas pembangkit yang menggunakan amonia sebagai bahan bakar diproyeksikan mencapai 2,0 GW pada tahun 2045, kemudian meningkat hingga 8,40 GW pada 2060, dengan kebutuhan amonia yang mencapai 3,9 juta ton per tahun.

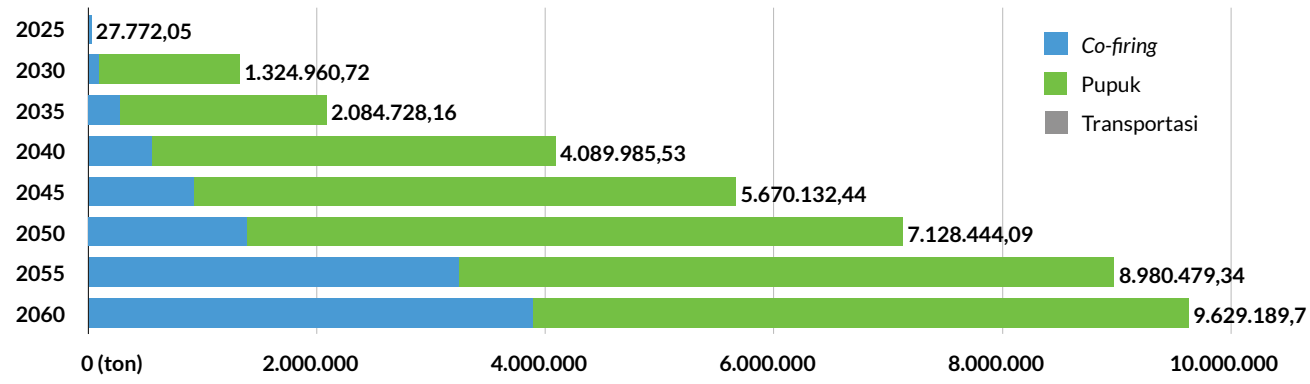
Pada sektor pupuk, pemanfaatan amonia bersih dimulai pada tahun 2030 dengan volume 1,2 juta ton dan diproyeksikan meningkat signifikan seiring dengan adopsi yang lebih luas, mencapai 5,7 juta ton pada tahun 2060. Sementara itu, pada sektor transportasi, penggunaan amonia bersih akan dimulai pada tahun 2036 dengan proyek pilot untuk bahan bakar kapal laut dan diperkirakan akan mendekati 600 ton pada tahun 2045, serta diproyeksikan meningkat hingga mencapai 2,3 ribu ton pada tahun 2060. Peningkatan ini mencerminkan upaya strategis dalam mendorong pemanfaatan amonia bersih sebagai alternatif energi yang ramah lingkungan di berbagai sektor.

Secara umum, pemanfaatan amonia terbagi menjadi tiga kelompok utama: industri pupuk, pembangkit listrik (*co-firing* amonia di PLTU), dan transportasi (kapal). Perhitungan kebutuhan amonia berdasarkan pendekatan berikut:

- Industri pupuk: data primer dari Pupuk Indonesia, kebutuhan amonia untuk produksi pupuk bernilai konstan dari tahun 2028–2060, sisa dari kapasitas produksi akan dijual.
- Pembangkit listrik: data primer dari Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2025–2060.
- Transportasi: data simulasi dari tim *Net Zero Emission*.

Pemetaan pemanfaatan amonia ini dapat dilihat pada **Gambar 38**.

Gambar 38. Proyeksi pemanfaatan amonia di Indonesia tahun 2025–2060



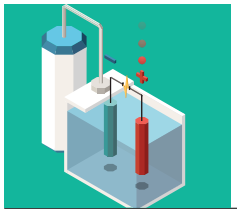


PLTU Labuan melakukan uji coba pengoperasian PLTU berbahan bakar *green ammonia* hasil konversi dari *green hydrogen*.
—Rizky Arif, Shutterstock

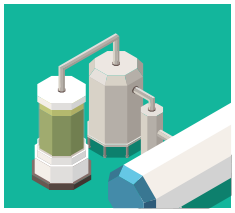
3.2.2. Produksi Amonia

Amonia diproduksi melalui reaksi antara gas nitrogen dan hidrogen. Gas nitrogen diperoleh dari pemurnian udara menggunakan teknologi pemisahan udara (*air separation*). Sementara gas hidrogen dihasilkan dari berbagai sumber teknologi, salah satunya teknologi *electrolyzer* yang memproduksi hidrogen sebagai bahan baku amonia bersih seperti klasifikasi yang dijelaskan pada Bab 2.

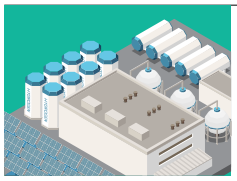
Roadmap produksi amonia menguraikan strategi bertahap dalam tiga fase utama: **Fase Inisiasi (2025–2034), Pengembangan dan Integrasi (2035–2045), dan Akselerasi dan Berkelanjutan (2046-2060)**, dengan fokus pada produksi amonia bersih dan non-bersih, serta estimasi suplai secara keseluruhan. Perincian *roadmap* ini disajikan pada **Gambar 39.**



Pada fase Inisiasi (IN), fokus utama adalah pengembangan kapasitas *electrolyzer* dengan target kapasitas mendekati 563 MW pada tahun 2030. Selain itu, FID diharapkan dilakukan untuk implementasi amonia bersih. Fase ini juga mencakup pembangunan pabrik pilot untuk produksi amonia biru yang terintegrasi dengan teknologi CCS. Estimasi suplai amonia bersih pada fase ini adalah antara 0-2,6 juta ton per tahun



Memasuki fase Pengembangan dan Integrasi (PI), kapasitas *electrolyzer* akan meningkat mendekati 4 GW pada tahun 2040, dan skala produksi amonia hijau akan ditingkatkan dengan integrasi berbagai macam opsi teknologi produksi hidrogen. Dalam fase ini, regulasi serta pabrik demo untuk produksi amonia biru yang terintegrasi dengan CCS akan disetujui, dengan target komersialisasi dan penyebaran teknologi CCS. Suplai amonia bersih diperkirakan akan meningkat menjadi sekitar 7,2 juta ton pada tahun 2045.



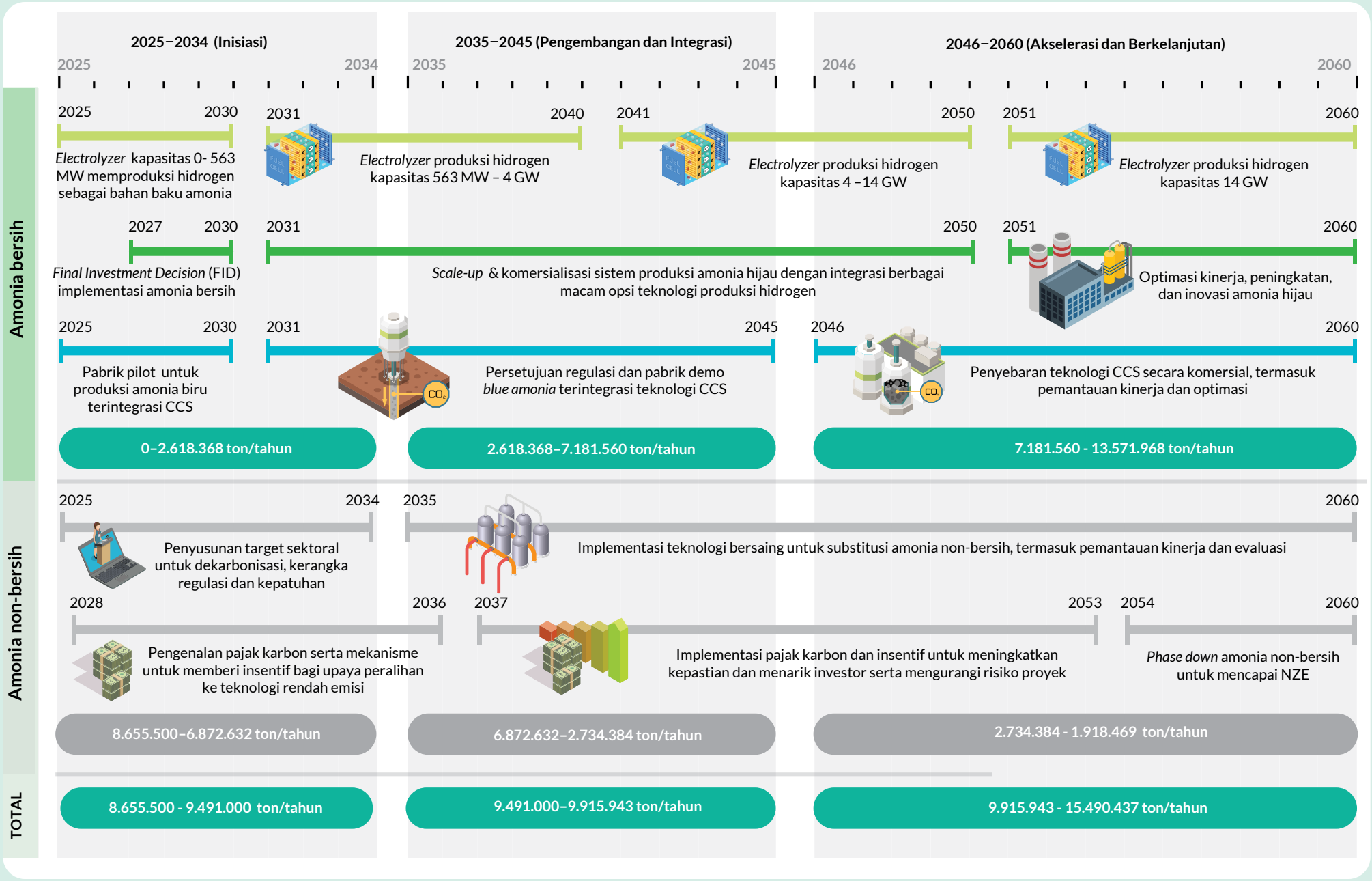
Pada fase Akselerasi dan Berkelanjutan (AB), kapasitas *electrolyzer* akan terus ditingkatkan hingga mendekati 14 GW pada tahun 2050, dengan fokus pada optimalisasi kinerja, peningkatan efisiensi, dan inovasi untuk amonia hijau. Teknologi CCS akan diimplementasikan secara komersial penuh dengan pemantauan kinerja yang terus-menerus. Pada akhir fase ini, suplai amonia bersih diproyeksikan mencapai 13,6 juta ton pada tahun 2060,

Roadmap produksi amonia di Indonesia dikategorikan berdasarkan amonia bersih dan non-bersih, dengan total produksi diproyeksikan berada di kisaran 8,7 juta ton amonia non bersih pada fase inisiasi (2025-2034).Pada fase ini, diawali dengan pembangunan *electrolyzer* untuk produksi hidrogen berkapasitas 563 MW pada 2030 sebagai bahan baku amonia bersih. Antara 2027 hingga 2030, dilakukan *Final Investment Decision* (FID) untuk implementasi amonia bersih, diikuti dengan komersialisasi produksi amonia hijau melalui integrasi berbagai teknologi hidrogen mulai 2031. Secara paralel, pada 2025, dimulai pembangunan pabrik percontohan amonia biru yang terintegrasi dengan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS), sementara pada 2031 ditargetkan persetujuan regulasi dan pembangunan pabrik demonstrasi amonia biru. Hingga akhir fase 2034, total produksi amonia bersih diperkirakan mencapai 2,62 juta ton per tahun.

Sementara itu, produksi amonia non-bersih pada fase ini difokuskan pada penyusunan target sektoral untuk dekarbonisasi, termasuk pengembangan kerangka regulasi dan kebijakan yang dimulai pada 2025. Untuk mendorong transisi industri menuju emisi rendah, pada 2028 diperkenalkan pajak karbon serta insentif bagi sektor industri yang beralih ke teknologi rendah emisi. Sejalan dengan upaya ini, produksi amonia non-bersih diproyeksikan mengalami penurunan dari 8,7 juta ton menjadi 7,7 juta ton per tahun pada 2034, menandai langkah awal dalam transisi menuju produksi amonia yang lebih berkelanjutan.

Amonia diklasifikasikan berdasarkan jenis hidrogen yang digunakan dalam proses produksinya. Misalnya, amonia hijau dihasilkan dari hidrogen hijau. Secara umum, produksi amonia dibagi menjadi dua kelompok: amonia bersih (termasuk amonia hijau dan biru) dan amonia non-bersih (amonia abu-abu). Perhitungan pasokan amonia di Indonesia didasarkan pada data produksi dari perusahaan-perusahaan dengan asumsi sebagai berikut:

- Pupuk Indonesia: data primer dari tahun 2028–2060
- Panca Amara Utama (PAU): data primer tahun 2023 - 2040 dan ekstrapolasi hingga tahun 2060.
- Kaltim Parna Industri (KPI): data primer dari tahun 2023–2060

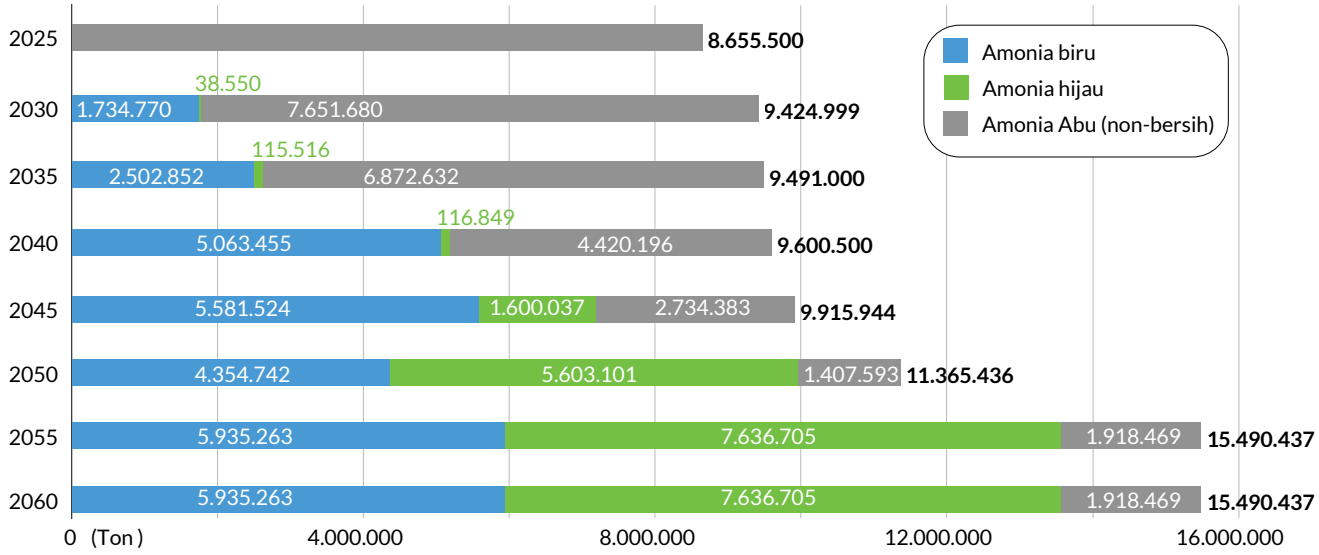


Gambar 39. *Roadmap* produksi amonia di Indonesia tahun 2025–2060

Proyeksi suplai amonia di Indonesia dari tahun 2025 hingga 2060 **(Gambar 40)**, dengan klasifikasi berdasarkan tingkat kebersihannya: amonia non-bersih (*grey*), amonia biru (*blue*), dan amonia hijau (*green*). Hingga 2035, suplai amonia masih didominasi oleh amonia non-bersih, dengan kapasitas produksi dari 8,7 juta ton pada tahun 2025 dan menurun menjadi 6,9 juta ton pada tahun 2035. Produksi amonia bersih diproyeksikan mencapai 1,8 juta ton pada tahun 2030 dengan amonia biru mendominasi sebesar 1,7 juta ton, sebelum akhirnya mulai mengalami peningkatan secara bertahap sebesar 5,6 juta ton pada tahun 2045.

Pada 2035–2045, terjadi pergeseran signifikan dalam komposisi suplai amonia. Produksi amonia biru meningkat pesat, menggantikan sebagian besar amonia non-bersih, seiring dengan integrasi teknologi *carbon capture and storage* (CCS) dalam produksi amonia. Total suplai amonia meningkat menjadi 9,9 juta ton pada 2045, dengan kontribusi amonia biru yang lebih dominan sebesar 5,6 juta ton.

Gambar 40. Proyeksi jumlah suplai amonia di Indonesia pada tahun 2025–2060



Namun, setelah 2045, terjadi penurunan produksi amonia biru dan peningkatan produksi amonia hijau. Hal ini mencerminkan percepatan transisi dekarbonisasi, di mana amonia hijau, yang dihasilkan melalui elektrolisis berbasis energi terbarukan, mulai menggantikan amonia biru yang masih mengandalkan bahan bakar fosil dengan CCS. Pada 2050, dengan 5,6 juta ton, sementara amonia non-bersih mengalami penurunan drastis dengan proyeksi produksi sebesar 1,4 juta ton,

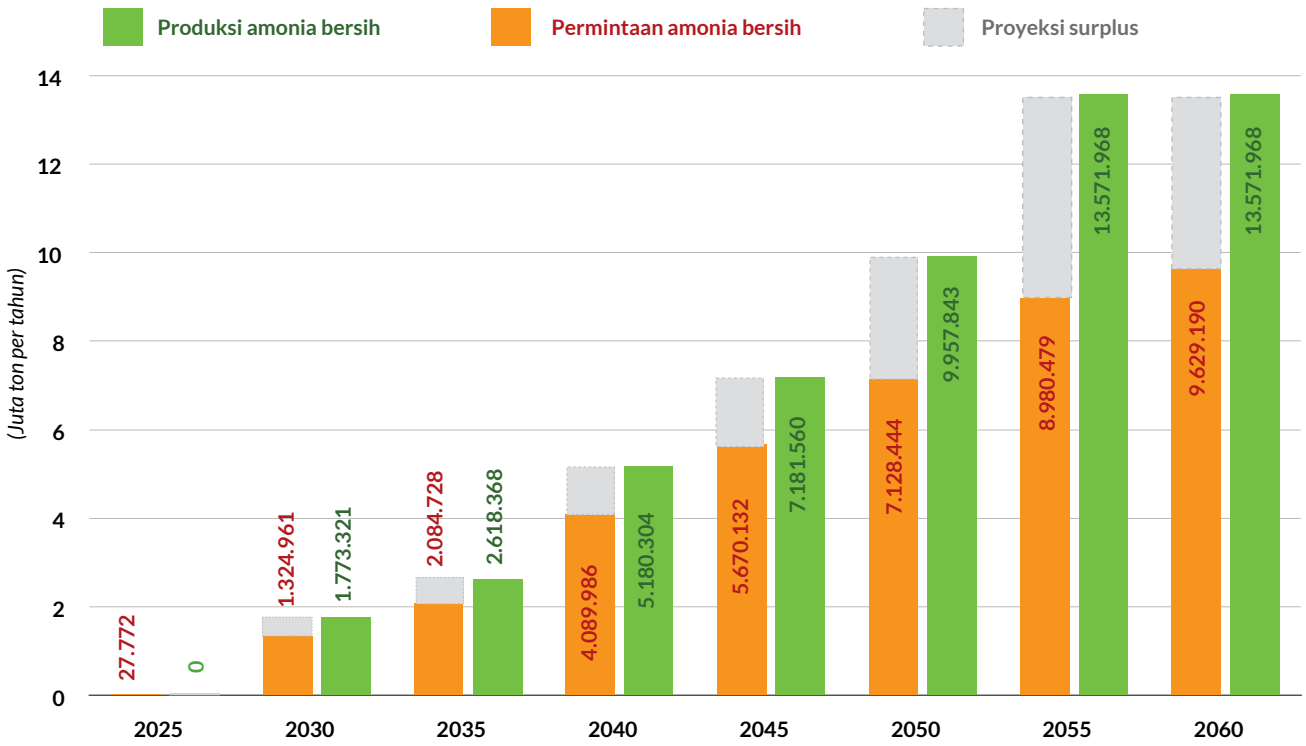
Pada 2060, Indonesia memproyeksikan total suplai amonia mencapai 15,5 juta ton per tahun, dengan dominasi penuh oleh amonia hijau dan biru sebesar 13,6 juta ton, sedangkan amonia non-bersih sebesar 1,9 juta ton untuk mendukung dekarbonisasi dan transisi energi.



Limbah kelapa sawit yang berpotensi sebagai bahan baku untuk produksi amonia bersih. —Shutterstock

Pada subbab 3.2.1, telah diuraikan jumlah permintaan (*demand*) amonia di Indonesia. Analisis lebih lanjut menunjukkan adanya kesenjangan yang signifikan antara permintaan dan suplai amonia, seperti yang ditampilkan pada **Gambar 41** dari tahun 2030, kesenjangan produksi dan permintaan amonia bersih sebesar 448,4 ribu ton dan mencapai 3,9 juta ton pada tahun 2060. Saat ini, tingkat penggunaan amonia di dalam negeri masih jauh lebih rendah dibandingkan jumlah suplai yang tersedia, sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan pemanfaatan amonia di berbagai sektor industri. Selain itu, kondisi ini membuka peluang untuk meningkatkan ekspor amonia ke luar negeri, dengan target utama pasar ekspor meliputi Jepang, Korea Selatan, dan India. Untuk mewujudkan potensi tersebut, telah disusun *roadmap* distribusi amonia di Indonesia, yang dapat dilihat pada **Gambar 42**, guna mengarahkan strategi produksi dan distribusi secara lebih efektif.

Gambar 41. Akumulasi produksi dan kebutuhan amonia bersih serta proyeksi surplus di Indonesia tahun 2025–2060





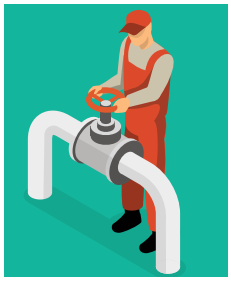
Pemanfaatan amonia di Indonesia saat ini masih didominasi oleh sektor pupuk.—Shutterstock

3.2.3. Penyimpanan dan Distribusi Amonia

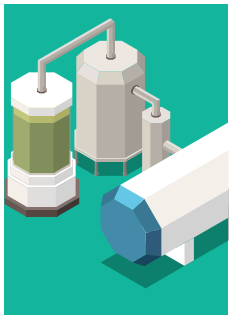
Transportasi amonia dilakukan melalui tiga moda utama: darat, pipa, dan laut. Transportasi darat menggunakan kereta api dan truk tangki. Meskipun biaya per ton/kilometer dengan kereta api lebih tinggi dibandingkan jalur pipa, dalam beberapa kasus, biayanya lebih rendah dibandingkan kombinasi jalur pipa dan truk. Gerbong tangki kereta api dapat mengangkut 50–110 m^3 amonia cair bertekanan, sedangkan truk tangki mampu membawa 9,5–43,5 m^3 dan *bobtail* dapat mengangkut 7,5–45,0 m^3, masing-masing dengan tekanan operasi yang berbeda.

Transportasi pipa digunakan untuk memindahkan amonia dalam jumlah besar melalui jaringan pipa, seperti yang telah diterapkan di Amerika Serikat, Rusia, dan Eropa, dengan jarak mulai dari beberapa kilometer hingga ribuan kilometer. Transportasi laut lebih efisien karena memungkinkan pengaturan suhu dan tekanan yang lebih optimal. Amonia telah dikirim melalui laut selama lebih dari 100 tahun, dengan sekitar 17,5 juta ton per tahun diangkut menggunakan 170 kapal yang beroperasi secara global.

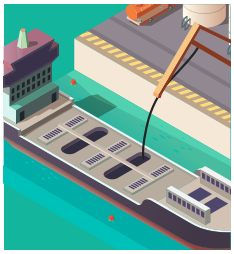
Roadmap distribusi amonia dibagi ke dalam tiga fase utama: fase **Inisiasi (2025–2034)**, **Pengembangan dan Integrasi (2035–2045)**, serta **Akselerasi dan Berkelanjutan (2051–2060)**. Setiap fase mencakup pengembangan infrastruktur distribusi melalui jaringan pipa, transportasi darat, dan transportasi laut untuk memastikan penyebaran amonia yang efisien dan aman. Perincian lebih lanjut disajikan pada **Gambar 42**.



Pada fase **Inisiasi (IN)**, fokus utama adalah studi pencampuran amonia ke dalam jaringan pipa gas alam yang ada serta pengembangan jaringan pipa khusus amonia. Selain itu, studi terkait manajemen dan integritas keselamatan pipa dilakukan untuk memastikan distribusi amonia dapat berlangsung dengan aman. Untuk transportasi darat, dilakukan studi dan demonstrasi terkait penyimpanan amonia berbasis tekanan tinggi dan padatan, termasuk teknologi penyimpanan dengan suhu rendah dan semi-refrigerasi. Di sektor transportasi laut, dilakukan studi demonstrasi untuk transportasi amonia melalui kapal, serta pengembangan infrastruktur pendukung di pelabuhan dan lokasi logistik.

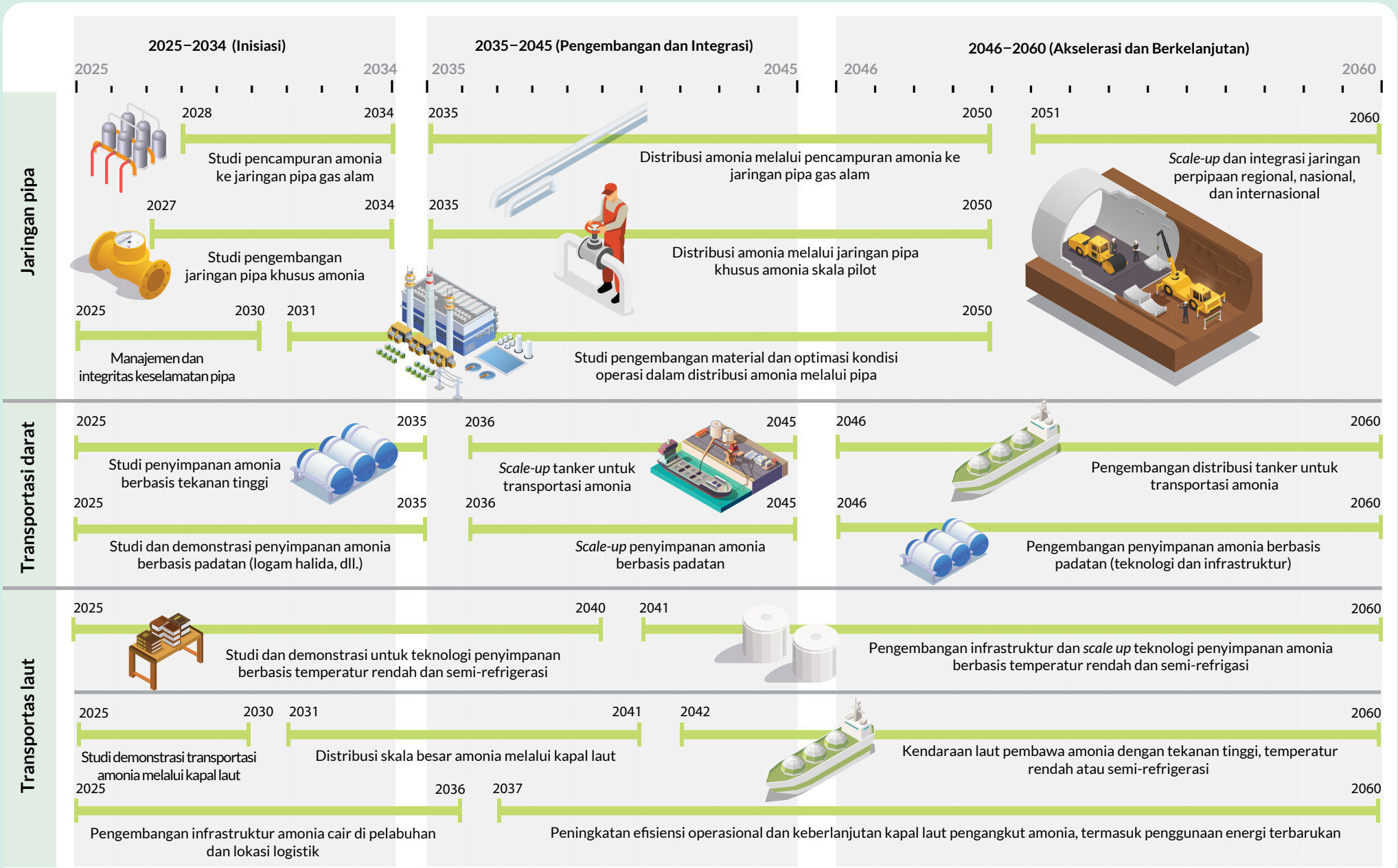


Pada fase **Pengembangan dan Integrasi (PI)**, distribusi amonia akan diperluas melalui uji coba pencampuran amonia ke dalam jaringan pipa gas alam, serta pengembangan jaringan pipa khusus amonia. Studi terkait pengembangan material dan optimasi kondisi operasi untuk distribusi amonia melalui pipa juga akan dilakukan. Dalam transportasi darat, pengembangan tanker besar untuk transportasi amonia akan dimulai, sementara skala penyimpanan berbasis padatan dan teknologi semi-refrigerasi akan ditingkatkan untuk mendukung efisiensi distribusi. Di sektor transportasi laut, distribusi amonia dalam skala besar akan dilakukan menggunakan kapal laut bertekanan tinggi atau bersuhu rendah guna meningkatkan efisiensi dan keamanan pengangkutan.



Pada fase **Akselerasi dan Berkelanjutan (AB)**, jaringan pipa amonia akan diperluas dan diintegrasikan secara lebih luas, mencakup tingkat regional, nasional, dan internasional. Transportasi amonia menggunakan tanker besar dan kapal laut dengan tekanan tinggi atau sistem semi-refrigerasi akan ditingkatkan secara signifikan, didukung oleh pengembangan penyimpanan berbasis padatan serta infrastruktur semi-refrigerasi. Selain itu, efisiensi operasional dalam transportasi laut akan terus ditingkatkan melalui pemanfaatan energi terbarukan dan teknologi berkelanjutan guna mendukung distribusi amonia yang lebih ramah lingkungan.

Roadmap distribusi amonia di Indonesia dalam fase Inisiasi (2025–2034) berfokus pada penelitian, studi kelayakan, serta pengembangan infrastruktur awal yang mendukung distribusi amonia di tiga sektor utama: jaringan pipa, transportasi darat, dan transportasi laut. Pada sektor jaringan pipa, fase ini dimulai dengan studi pencampuran amonia ke dalam jaringan pipa gas alam pada tahun 2025, yang bertujuan mengevaluasi potensi pemanfaatan infrastruktur gas yang ada untuk mendistribusikan amonia. Selanjutnya, pada tahun 2027, dilakukan studi pengembangan jaringan pipa khusus amonia sebagai persiapan untuk distribusi amonia secara mandiri. Sejak tahun 2025, manajemen dan integritas keselamatan pipa juga menjadi prioritas, memastikan aspek teknis dan operasional yang aman untuk implementasi skala besar di masa depan. Pada tahun 2030, pengembangan berlanjut dengan studi material dan optimasi kondisi operasional distribusi amonia melalui pipa, sebagai fondasi sebelum memasuki fase integrasi penuh.



Gambar 42. *Roadmap* distribusi amonia di Indonesia pada tahun 2025–2060

Dalam sektor transportasi darat, fase Inisiasi diawali dengan studi penyimpanan amonia berbasis tekanan tinggi pada tahun 2025, yang diikuti oleh studi dan demonstrasi penyimpanan amonia berbasis padatan, seperti logam halida, untuk mengeksplorasi metode penyimpanan yang lebih stabil dan aman. Pada tahun yang sama, dilakukan pula studi teknologi penyimpanan berbasis suhu rendah dan semi-refrigerasi, guna mendukung fleksibilitas distribusi amonia di berbagai kondisi lingkungan. Hasil dari penelitian ini akan menjadi dasar bagi pengembangan sistem penyimpanan yang lebih terstandardisasi pada fase selanjutnya setelah tahun 2035.

Sementara itu, dalam sektor transportasi laut, fase Inisiasi dimulai dengan demonstrasi transportasi amonia melalui kapal laut pada tahun 2025, untuk mengevaluasi efisiensi dan keamanan distribusi amonia dalam skala besar. Pada tahun 2026, akan dilakukan pengembangan infrastruktur amonia cair di pelabuhan dan lokasi logistik, guna mendukung kesiapan rantai pasok dalam distribusi lintas wilayah, seiring dengan mulai beroperasinya proyek-proyek strategis seperti Garuda Hidrogen Hijau oleh Pupuk Indonesia bersama mitra, yang menargetkan produksi amonia hijau, serta proyek amonia biru di berbagai wilayah. Upaya ini juga didukung oleh pembangunan konektivitas logistik nasional, seperti proyek Pelindo yang menghubungkan kawasan industri dengan pelabuhan utama, untuk mempercepat distribusi energi rendah karbon secara efisien. Selanjutnya, pada tahun 2030, mulai disiapkan distribusi amonia dalam skala besar melalui kapal laut, yang menjadi langkah awal dalam membangun sistem distribusi maritim yang berkelanjutan. Melalui fase ini, Indonesia mempersiapkan fondasi yang kuat untuk mengoptimalkan distribusi amonia sebagai sumber energi bersih di masa depan.



Salah satu distribusi amonia.–shutterstock

Pemanfaatan amonia bersih dibutuhkan dalam industri pupuk.—Afriadie, Shutterstock



4.

Strategi Implementasi dan Rencana Aksi Pengembangan Hidrogen dan Amonia Nasional

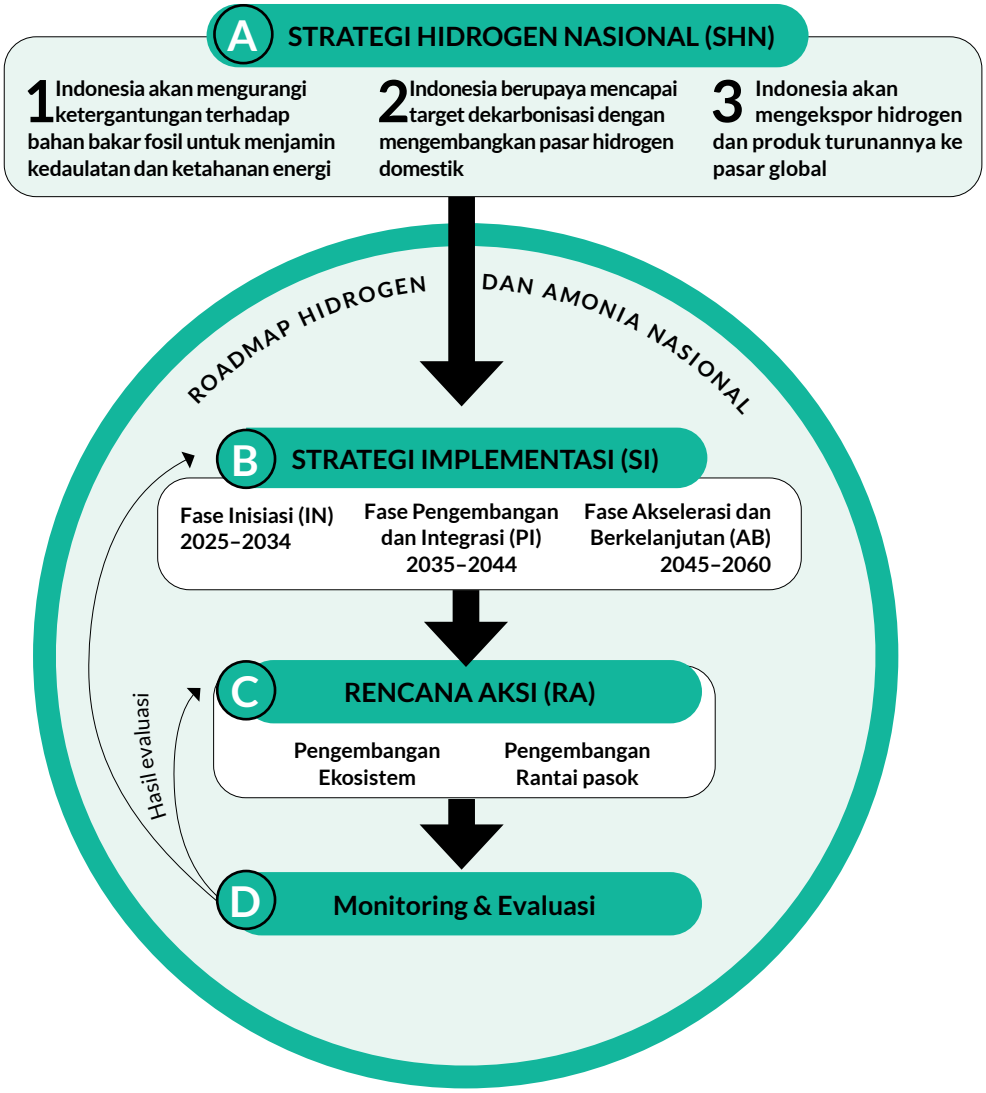


4 Strategi Implementasi dan Rencana Aksi Pengembangan Hidrogen dan Amonia Nasional

4.1. Pilar Strategi Hidrogen Nasional

Strategi Hidrogen Nasional (SHN) Indonesia disusun untuk mempercepat transisi energi menuju sumber yang lebih bersih dan berkelanjutan, guna memperkuat kedaulatan serta ketahanan energi nasional. Pilar pertama strategi ini menitikberatkan pada upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil melalui percepatan implementasi energi terbarukan, perencanaan penggunaan hidrogen yang andal dan efisien, serta perluasan akses terhadap listrik berkualitas tinggi secara menyeluruh. Pilar kedua berfokus pada pencapaian target dekarbonisasi dengan mengembangkan pasar hidrogen domestik melalui penguatan regulasi, pembangunan industri hidrogen yang terintegrasi, serta penyediaan infrastruktur pengisian bahan bakar hidrogen. Sementara itu, pilar ketiga menargetkan ekspor hidrogen dan produk turunannya ke pasar global dengan mengembangkan produk rendah karbon, memanfaatkan bahan bakar rendah karbon dalam berbagai sektor industri, serta memperkuat kerja sama bilateral. Dengan implementasi strategi ini, Indonesia tidak hanya berupaya melakukan dekarbonisasi dalam negeri, tetapi juga berambisi menjadi pemain utama dalam pasar hidrogen global.

Gambar 43a. Garis besar alur SHN dan RHAN



A. Strategi Hidrogen Nasional (SHN) Indonesia dibangun di atas tiga pilar utama untuk mewujudkan ekosistem hidrogen dan amonia yang berkelanjutan.

***Roadmap* ini dirancang berdasarkan tiga pilar utama.** Pertama, **(B)** Strategi Implementasi, yang mencakup langkah-langkah sistematis dalam pengembangan hidrogen dan amonia rendah karbon untuk jangka panjang. Kedua, **(C)** Rencana Aksi, yang merinci berbagai inisiatif konkret guna mencapai target implementasi dalam jangka menengah dan pendek. Ketiga, **(D)** Evaluasi & Monitoring, yang memastikan setiap kebijakan dan strategi yang telah ditetapkan berjalan sesuai rencana, sehingga Indonesia dapat mencapai target transisi energi yang optimal.

Untuk mewujudkan SHN, strategi ini diterjemahkan ke dalam tahapan implementasi yang sistematis dan berkelanjutan pada **Gambar 43a**, dan perinciannya pada **Gambar 43b**. Strategi Implementasi (SI) dalam pengembangan hidrogen nasional terdiri dari tiga fase utama.

Fase Inisiasi (IN) (2025-2034) berfokus pada penyusunan regulasi dan standar nasional untuk mendukung pengembangan hidrogen, termasuk penerapan budaya keselamatan dalam produksi, penyimpanan, transportasi, dan penggunaannya. Selain itu, fase ini mencakup pelaksanaan proyek hidrogen skala kecil di sektor industri dan wilayah tertentu sebagai percontohan, pembangunan infrastruktur awal transportasi hidrogen, serta riset dan pengembangan teknologi yang mendukung ekosistem hidrogen. Upaya ini juga melibatkan peningkatan kapasitas sumber daya manusia dan edukasi tentang teknologi hidrogen, sehingga fondasi yang kuat dapat dibangun sebelum memasuki tahap selanjutnya.

Fase Pengembangan dan Integrasi (PI) (2035-2045) bertujuan untuk memperluas pemanfaatan hidrogen di berbagai sektor melalui penguatan rantai pasok dan integrasi teknologi yang lebih maju. Regulasi dan insentif akan diperkuat untuk meningkatkan daya saing hidrogen, sementara infrastruktur transportasi dan penyimpanan diperluas guna mendukung distribusi yang lebih luas, baik di dalam negeri maupun untuk ekspor. Kolaborasi internasional dalam pengembangan teknologi serta investasi sektor hidrogen juga akan diperkuat. Hidrogen akan mulai digunakan secara lebih luas di industri berat, transportasi, dan pembangkit listrik. Mengacu pada SHN, pada fase ini pemerintah mendorong transisi dari pemanfaatan hidrogen rendah karbon menjadi hidrogen hijau yang lebih ramah lingkungan.

Fase Akselerasi dan Berkelanjutan (AB) (2046-2060) berfokus pada ekspansi produksi hidrogen secara masif serta penguatan posisi Indonesia di pasar global. Evaluasi kebijakan dan optimalisasi teknologi hidrogen rendah karbon akan terus dilakukan guna memastikan keberlanjutan industri ini dalam jangka panjang. Ekspor hidrogen serta kerja sama strategis dengan mitra global menjadi prioritas untuk menjadikan Indonesia sebagai salah satu pemain utama dalam industri hidrogen internasional.

Gambar 43b. Perincian alur Hubungan antara SHN dan RHAN



STRATEGI IMPLEMENTASI (SI)

JANGKA PENDEK (FASE INISIASI: 2025–2034)

KODE: **IN**

SHN	No.	Rencana Strategis Implementasi
	1	Penyusunan strategi dan *roadmap* hidrogen & amonia rendah karbon nasional komprehensif untuk Indonesia
	2	Pelaksanaan studi kelayakan untuk produksi, penyimpanan, transportasi, dan penggunaan hidrogen & amonia rendah karbon
	3	Inisiasi pilot proyek hidrogen & amonia rendah karbon dan/atau hijau
	4	Penyusunan regulasi, standar, dan sertifikasi hidrogen & amonia rendah karbon
	5	Penyusunan skema insentif dan perdagangan karbon untuk pengembangan hidrogen & amonia rendah karbon
	6	Inisiasi skema pembiayaan untuk investasi proyek hidrogen & amonia rendah karbon
	7	Inisiasi penelitian dan pengembangan infrastruktur rantai pasok hidrogen & amonia dalam negeri
	8	Inisiasi dalam menjalin kemitraan internasional untuk berbagi pengetahuan dan kolaborasi
	9	Pengembangan kapasitas dan kompetensi personel

JANGKA MENENGAH (FASE PENGEMBANGAN DAN INTEGRASI: 2035–2045)

KODE: **PI**

SHN	No.	Rencana Strategis Implementasi
	1	Evaluasi kemajuan dan peningkatkan pengawasan implementasi *roadmap*
	2	Penyusunan studi dalam rangka meningkatkan integrasi insfrastruktur hidrogen & amonia sehingga tercapai efisiensi dan keberlanjutan.
	3	Peningkatan investasi infrastruktur hidrogen hijau dan fasilitas penyimpanannya, dan jaringan nasional stasiun pengisian hidrogen untuk transportasi.
	4	Penyusunan kebijakan untuk percepatan pemanfaatan hidrogen & amonia hijau
	5	Penyusunan skema insentif dan perdagangan karbon untuk pengembangan hidrogen & amonia hijau
	6	Peningkatan penggunaan hidrogen & amonia rendah karbon dan/atau hijau dalam sektor industri, pembangkit listrik, jargas, dan transportasi.
	7	Peningkatan investasi hidrogen & amonia rendah karbon dan/atau hijau
	8	Pengarusutamaan inovasi teknologi infrastruktur rantai pasok hidrogen & amonia dalam negeri untuk mencapai efisiensi
	9	Indonesia menjadi *hub* hidrogen & amonia rendah karbon di ASEAN
	10	Pengembangan kapasitas dan kompetensi personel

JANGKA PANJANG (FASE AKSELERASI DAN BERKELANJUTAN: 2045–2060)

KODE: **AB**

SHN	No.	Rencana Strategis Implementasi
	1	Evaluasi kemajuan dan penguatan pengawasan implementasi *roadmap*.
	2	Peningkatan investasi infrastruktur rantai pasok hidrogen & amonia hijau yang terintegrasi untuk mencapai keekonomian, keberlanjutan, kemandirian teknologi nasional, dan daya saing Indonesia di tingkat global.
	3	Berperan aktif dalam menjalin kemitraan internasional untuk memperkuat peran Indonesia dalam rantai pasok hidrogen hijau global.
	4	Mencapai posisi Indonesia sebagai salah satu pemain penting hidrogen & amonia hijau di pasar global.

STRATEGI IMPLEMENTASI (SI)

Proyeksi (Ton/tahun)	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Proyeksi Pemanfaatan Hidrogen	39.460	884.026	1.226.611	1.924.693	3.376.650	5.711.883	10. 106.161	11.770.041
Proyeksi Pemanfaatan Amonia	27.772,05	1.324.960,72	2.084.728,16	4.089.985,53	5.670.132,43	7.128.444,10	8.980.479,34	9.629.189,70

RENCANA AKSI (RA)

PENGEMBANGAN EKOSISTEM

RENCANA AKSI EKOSISTEM
HIDROGEN DAN AMONIA

KEGIATAN EKOSISTEM HIDROGEN DAN AMONIA

- Regulasi dan Standar
- Penciptaan Pasar dan Ekonomi Baru
- Aspek Sosial
- Infrastruktur
- Keberlanjutan Lingkungan
- Inovasi
- Optimalisasi Potensi Sumber Daya Lokal
- Penguasaan Teknologi

PENGEMBANGAN RANTAI PASOK

RENCANA AKSI PRODUKSI
- HIDROGEN
- AMONIA

KEGIATAN PRODUKSI HIDROGEN DAN AMONIA

- Kapasitas *Electrolyzer*
- Studi & Litbang
- Kebijakan/Regulasi
- Investasi & Komersial
- Teknologi CCS
- Pilot & Demonstrasi
- Regulasi dan Standar
- *Scale-up* Tanker
- Pengembangan Infrastruktur Logistik
- Mekanisme Insentif

RENCANA AKSI DISTRIBUSI
- HIDROGEN
- AMONIA

KEGIATAN DISTRIBUSI HIDROGEN DAN AMONIA

- Pilot & Demonstrasi
- Manajemen Pipa
- Studi & Litbang
- Pengembangan Infrastruktur dan Logistik

RENCANA AKSI PEMANFAATAN
- HIDROGEN
- AMONIA

KEGIATAN PEMANFAATAN HIDROGEN DAN AMONIA

- Pilot & Demonstrasi
- Investasi & Komersial
- Studi & Litbang
- Pengembangan Teknologi dan Fasilitas

Monitoring & Evaluasi

Saat ini tercatat lebih dari 200 kegiatan yang telah diidentifikasi untuk mendukung fase inisiasi



Strategi Implementasi

Strategi implementasi adalah serangkaian langkah atau fase yang dirancang secara sistematis untuk mencapai tujuan jangka panjang yang telah ditetapkan dalam SHN. Setiap fase meliputi tindakan-tindakan kunci yang perlu dilaksanakan dengan mempertimbangkan alokasi sumber daya, waktu, serta faktor eksternal yang relevan. Selain itu, strategi implementasi ini juga menekankan pentingnya identifikasi prioritas, pembagian tanggung jawab, dan evaluasi hasil guna memastikan setiap fase berjalan efektif dan mengarah pada pencapaian target yang telah ditetapkan. Secara umum, strategi implementasi terbagi menjadi tiga fase utama, yaitu (1) Fase Inisiasi, (2) Fase Pengembangan dan Integrasi, serta (3) Fase Akselerasi dan Berkelanjutan.

Berdasarkan tabel proyeksi pemanfaatan hidrogen dan amonia di Indonesia, terdapat tren peningkatan signifikan dalam penggunaan kedua sumber energi ini dari tahun 2025 hingga 2060. Pada tahun 2025, pemanfaatan hidrogen diproyeksikan sebesar 39,5 ribu ton per tahun, sementara pemanfaatan amonia mencapai 27,8 ribu ton per tahun. Seiring dengan perkembangan infrastruktur dan adopsi teknologi yang lebih luas, angka ini meningkat drastis pada tahun 2030 dengan pemanfaatan hidrogen mencapai 884 ribu ton per tahun dan amonia sebesar 1,3 juta ton per tahun. Tren pertumbuhan ini terus berlanjut hingga tahun 2040, di mana konsumsi hidrogen diperkirakan mencapai 1,9 juta ton per tahun, sedangkan pemanfaatan amonia meningkat hingga 4,1 juta ton per tahun.

Pada tahun 2045, pemanfaatan hidrogen melonjak menjadi 3,4 juta ton per tahun, dan konsumsi amonia naik menjadi 5,7 juta ton per tahun. Lima tahun berikutnya, pada tahun 2050, penggunaan hidrogen diperkirakan mencapai 5,7 juta ton per tahun, sementara amonia mencapai 7,1 juta ton per tahun. Pertumbuhan ini terus berlanjut secara eksponensial hingga tahun 2055, di mana pemanfaatan hidrogen mencapai 10,1 juta ton per tahun dan amonia 9 juta ton per tahun. Akhirnya, pada tahun 2060, pemanfaatan hidrogen diproyeksikan mencapai 11,8 juta ton per tahun, sementara pemanfaatan amonia diprediksi mencapai 9,6 juta ton per tahun. Lonjakan signifikan dalam penggunaan hidrogen dan amonia ini mencerminkan strategi jangka panjang Indonesia dalam mengadopsi energi bersih dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Untuk mencapai target pengembangan hidrogen serta mewujudkan ekonomi hidrogen yang berkontribusi terhadap transisi energi, maka disusun upaya-upaya strategis kedalam tiga fase implementasi.



Fase inisiasi (2025–2034) merupakan tahap awal percepatan transisi energi bersih di Indonesia melalui strategi yang terarah dan sistematis. Langkah pertama adalah penyusunan *roadmap* nasional sebagai panduan utama dalam pengembangan teknologi, regulasi, dan infrastruktur hidrogen serta amonia rendah karbon. Studi kelayakan akan dilakukan untuk mengidentifikasi potensi produksi, penyimpanan, transportasi, dan pemanfaatannya di sektor industri, guna memastikan kesiapan ekosistem yang mendukung pengembangan energi ini. Selain itu, proyek percontohan hidrogen dan amonia rendah karbon akan diinisiasi untuk menguji penerapan teknologi, dengan fokus pada sektor strategis seperti industri dan transportasi. Pemerintah juga sedang menyusun regulasi terkait tata kelola hidrogen, mencakup aspek taksonomi, rantai pasok, harga, subsidi, kelembagaan, sertifikasi, serta perizinan, yang akan menjadi dasar bagi pengembangan sektor ini. Insentif fiskal serta skema perdagangan karbon akan dirancang untuk mendukung adopsi hidrogen dan amonia, sementara penguatan tata kelola kelembagaan dan penyusunan standar keselamatan internasional menjadi prioritas utama. Selain infrastruktur utama seperti Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH) dan kendaraan berbasis hidrogen, skema investasi juga disiapkan guna mempercepat pengembangan proyek hidrogen dan amonia rendah karbon serta membuka peluang pasar domestik dan internasional.

Sebagai bagian dari strategi nasional, fase ini mendukung ketahanan energi, pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil, serta pencapaian target dekarbonisasi melalui pengembangan industri hidrogen yang terintegrasi. Proyek hidrogen hijau di sektor industri akan didorong untuk menghasilkan produk rendah karbon, sementara skema insentif akan membantu mempercepat ekspor bahan bakar rendah karbon ke pasar global. Pemerintah juga akan memperkuat regulasi yang memberikan insentif, termasuk kebijakan pajak karbon, guna mempercepat adopsi hidrogen di sektor transportasi dan industri. Selain itu, kemitraan internasional akan diperluas untuk mendukung penelitian, perdagangan, serta kolaborasi dalam pengembangan rantai pasok hidrogen dan amonia rendah karbon. *Roadmap* ini sejalan dengan pilar Strategi Hidrogen Nasional (SHN), memastikan keterpaduan antara rencana strategis dan implementasi di lapangan. Dengan langkah-langkah ini, Indonesia diharapkan dapat memperkuat posisinya sebagai pemain utama di pasar hidrogen dan amonia global, mendorong inovasi, investasi, serta transisi energi yang berkelanjutan.

PT PLN (Persero) menjajaki kerja sama dengan PT Zeus Kimiatama Indonesia (Zekindo) melalui portofolio bisnisnya, Zekindo Algatek, untuk memanfaatkan alga (*algae*) yang mampu memangkas emisi karbon dioksida (CO_2). Alga merupakan kelompok organisme yang terdiri dari sel fotosintesis atau pigmen klorofil serupa dengan yang terdapat dalam tanaman. Ketika proses fotosintesis, CO_2 bereaksi dengan air (H_2O) yang dengan bantuan cahaya matahari akan menghasilkan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dan oksigen (O_2). Dalam reaksi fotosintesis, terjadi pemecahan molekul air menjadi ion hidrogen dan oksigen. Sejumlah literatur ilmiah menyebutkan bahwa fotosintesis alga tertentu dapat direkayasa dengan cara mengurangi kandungan sulfurnya sehingga menciptakan kondisi anaerobik yang diperlukan untuk aktivasi enzim hidrogenase. Dengan demikian, alih-alih menghasilkan glukosa dan oksigen, alga dapat memproduksi gas hidrogen.

Melalui pemanfaatan alga ini, tersedia sejumlah peluang bisnis. Pertama, pabrik maupun perkantoran penghasil karbon dioksida dapat memperoleh sertifikat pengurangan emisi (SPE) untuk perdagangan karbon. Kedua, mineral dan protein cair dapat digunakan untuk bioremediasi, pengayaan tanah, pupuk dan pengolahan air. Ketiga, biomassa dapat digunakan untuk industri farmasi, suplemen, dan minyak alga. Keempat, produksi gas hidrogen untuk industri transportasi, amonia, dan pembangkitan tenaga listrik.



Pada periode 2035–2044, fase pengembangan dan integrasi hidrogen serta amonia rendah karbon di Indonesia akan berfokus pada keberlanjutan dan daya saing nasional dalam sektor energi hijau. Pada fase ini didorong mulai bertransisi dari pemanfaatan hidrogen dan amonia rendah karbon ke hidrogen dan amonia hijau. Evaluasi berkala terhadap *roadmap* hidrogen dan amonia akan dilakukan untuk memastikan pencapaian target jangka panjang, didukung dengan studi mendalam mengenai integrasi infrastruktur guna meningkatkan efisiensi produksi, penyimpanan, dan distribusi. Pengembangan infrastruktur menjadi prioritas utama, termasuk peningkatan kapasitas penyimpanan dan pembangunan jaringan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH) untuk transportasi berbasis hidrogen. Selain itu, integrasi *hub* hidrogen dengan jaringan energi nasional akan dilakukan guna menciptakan sinergi antarsektor. Regulasi dan insentif juga akan disiapkan untuk mempercepat adopsi teknologi hidrogen dan amonia hijau di sektor industri, pembangkit listrik, jaringan gas, serta transportasi, sehingga mendukung transisi energi yang berkelanjutan.

Untuk menarik investasi, skema insentif dan perdagangan karbon akan dikembangkan guna mempercepat pertumbuhan industri hidrogen dan amonia rendah karbon. Strategi ini mencakup pemberian insentif khusus bagi sektor industri berat seperti baja, kimia, dan transportasi guna mempercepat komersialisasi teknologi hidrogen. Selain itu, inovasi teknologi dan penguatan infrastruktur rantai pasok dalam negeri akan didorong untuk meningkatkan keterlibatan sektor swasta dalam proyek energi bersih. Upaya ini diharapkan dapat meningkatkan daya saing industri dalam negeri, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, serta mempercepat transisi menuju ekonomi hijau. Dengan langkah-langkah ini, Indonesia menargetkan menjadi pusat hidrogen dan amonia rendah karbon di ASEAN serta memperkuat perannya dalam pasar global, memanfaatkan potensi lokal untuk mendukung transisi energi menuju dekarbonisasi.



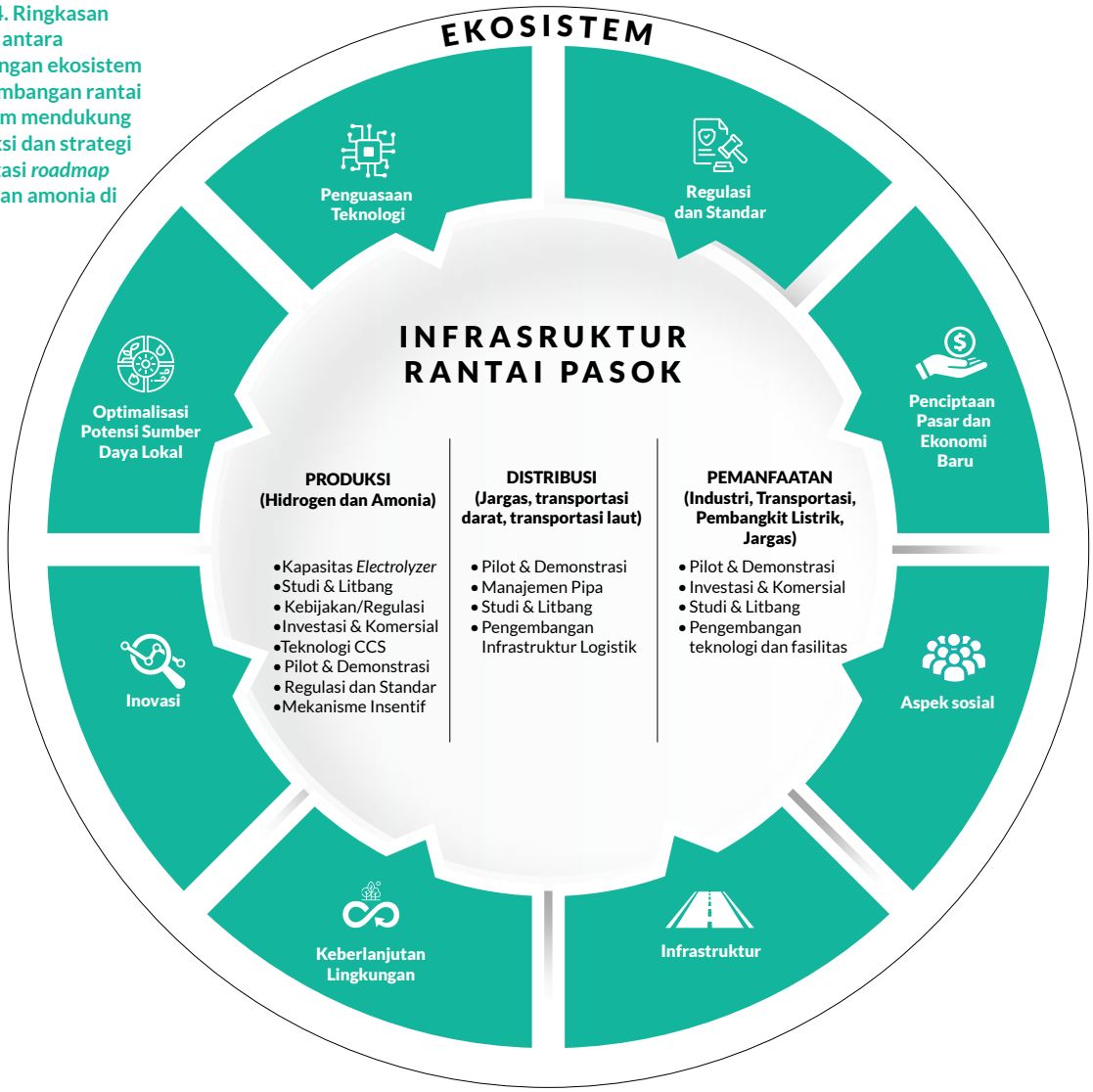
Pada periode 2045–2060, Indonesia memasuki fase akselerasi dan keberlanjutan dalam pengembangan hidrogen serta amonia hijau dengan fokus pada integrasi infrastruktur dan peningkatan efisiensi ekonomi. Evaluasi berkala terhadap *roadmap* nasional akan diperkuat guna memastikan pencapaian target strategis, sementara infrastruktur rantai pasok akan diperluas untuk meningkatkan kapasitas produksi, distribusi, dan pemanfaatan di sektor industri, transportasi, serta pembangkit listrik. Kebijakan yang mendukung, termasuk insentif fiskal dan regulasi progresif, akan diterapkan guna mendorong percepatan adopsi hidrogen dan amonia hijau. Selain itu, peningkatan investasi dalam teknologi dan infrastruktur menjadi prioritas, dengan tujuan mempercepat kemandirian teknologi dan meningkatkan daya saing Indonesia di pasar global.

Sebagai bagian dari strategi global, Indonesia akan memperkuat perannya dalam rantai pasok hidrogen hijau dengan menjalin kemitraan internasional dan memperluas ekspor. Melalui kolaborasi strategis, Indonesia menargetkan posisi sebagai pemimpin regional dan global dalam ekonomi hidrogen dan amonia hijau, sekaligus mengoptimalkan potensi domestik untuk mendukung transisi energi berkelanjutan. Dengan penguatan regulasi, investasi, dan kemitraan internasional, fase ini menjadi langkah krusial dalam mewujudkan Strategi Hidrogen Nasional secara komprehensif, berkelanjutan, dan berdaya saing global.

4.2. Rencana Aksi Hidrogen dan Amonia Nasional

Pengembangan pasar hidrogen dan amonia di Indonesia memerlukan pendekatan komprehensif, terutama dalam membangun ekosistem dan rantai pasok yang terpadu (**Gambar 44**). Untuk mendukung transisi menuju energi bersih, diperlukan regulasi nasional dan standar yang menjamin keamanan, kepastian investasi, dan lingkungan usaha yang kondusif. Infrastruktur juga menjadi elemen kunci dalam rantai pasok hidrogen dan amonia. Infrastruktur yang andal dan terintegrasi akan memastikan kelancaran produksi, distribusi, penyimpanan, serta pemanfaatan hidrogen dan amonia secara aman dan efisien.

Gambar 44. Ringkasan sederhana antara pengembangan ekosistem dan pengembangan rantai pasok dalam mendukung rencana aksi dan strategi implementasi *roadmap* hidrogen dan amonia di Indonesia



Ekosistem infrastruktur rantai pasok merupakan kerangka kerja terintegrasi yang bertujuan mengoptimalkan potensi sumber daya lokal melalui tiga pilar utama: produksi, distribusi, dan pemanfaatan, serta penciptaan pasar dan ekonomi baru. Pada tahap produksi, fokus utama terletak pada pengembangan hidrogen dan amonia sebagai sumber energi berkelanjutan. Optimalisasi ini melibatkan peningkatan kapasitas *electrolyzer* untuk menghasilkan hidrogen hijau, didukung oleh studi dan litbang (penelitian dan pengembangan), kebijakan atau regulasi yang mendukung transisi energi, serta investasi dan komersialisasi teknologi. Penggunaan teknologi CCS menjadi kunci dalam mengurangi emisi, sementara proyek percontohan (pilot dan demonstrasi) dan mekanisme insentif diperlukan untuk mempercepat adopsi teknologi ini. Regulasi dan standardisasi juga diperlukan guna memastikan keberlanjutan proses produksi.

Pada tahap distribusi, infrastruktur seperti jaringan gas (jargas), transportasi darat, dan laut menjadi tulang punggung dalam menyalurkan energi ke berbagai sektor. Proyek percontohan dan manajemen jaringan pipa diperlukan untuk menguji keandalan sistem distribusi, sementara studi dan litbang berperan dalam mengatasi tantangan teknis maupun logistik. Pengembangan infrastruktur logistik, seperti terminal khusus atau sistem penyimpanan energi, juga menjadi prioritas untuk menjamin distribusi yang efisien dan aman, terutama untuk skala besar.

Tahap pemanfaatan mencakup aplikasi energi hijau di sektor industri, transportasi, pembangkit listrik, dan jaringan gas. Investasi dan komersialisasi teknologi ramah lingkungan, seperti kendaraan berbahan bakar hidrogen atau pembangkit listrik berbasis amonia, menjadi pendorong utama. Proyek percontohan dan pengembangan fasilitas teknologi mutakhir, seperti *fuel cell* atau sistem penyimpanan energi, juga diperlukan untuk memperluas pemanfaatan. Studi dan litbang terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya operasional.

Di luar tiga pilar tersebut, penciptaan pasar dan ekonomi baru menjadi fondasi ekosistem yang berkelanjutan. Aspek sosial, seperti edukasi masyarakat dan penciptaan lapangan kerja hijau, serta pembangunan infrastruktur pendukung, menjadi faktor kunci dalam membentuk ekosistem yang inklusif. Sinergi antara pemerintah, swasta, dan akademisi diperlukan untuk menyusun kebijakan yang mendorong inovasi, menarik investasi, dan membangun standar industri yang kompetitif. Dengan demikian, ekosistem ini tidak hanya mendukung transisi energi tetapi juga membuka peluang ekonomi baru yang berkelanjutan dan berdaya saing global.

Berbagai langkah strategis telah dilakukan, termasuk penyusunan kebijakan serta pengembangan rantai pasok produksi, distribusi, dan pemanfaatan hidrogen dan amonia. Dari aspek kebijakan, beberapa dokumen strategis, seperti Dokumen Strategi Nasional Hidrogen Indonesia dan *Roadmap* Pengembangan Hidrogen Indonesia, telah disusun untuk memberikan panduan jelas dalam pengembangan hidrogen dan amonia rendah karbon.

Di sektor produksi, telah dilakukan studi pasar dan kelayakan proyek hidrogen hijau, termasuk yang bersumber dari energi surya, panas bumi, dan *floating PV*. Proyek percontohan produksi *green hydrogen* berkapasitas 10 MW telah dimulai di berbagai lokasi, seperti Lahendong, Sumba, dan Lampung. Selain itu, dampak sosial dan lingkungan dikaji untuk memastikan keberlanjutan fasilitas berbasis energi terbarukan.

Untuk produksi amonia, dikembangkan rantai pasok amonia hijau dan biru di lokasi strategis seperti Iskandar Muda (Aceh) dan Kujang (Cikampek), serta proyek percontohan *co-firing* amonia dan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS) berkapasitas 660 ktpa di PLTU. Selain itu, dirancang panduan fasilitas produksi hidrogen dan kajian izin berbasis risiko, termasuk inisiatif standar seperti SNI hidrogen, sertifikasi hidrogen rendah karbon, dan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) di bidang hidrogen.

Distribusi hidrogen juga menjadi perhatian utama, dengan studi keamanan dan aliran campuran di pipa yang mempertimbangkan faktor angin dan efek termal. Pengembangan stasiun pengisian bahan bakar hidrogen di kota-kota besar seperti Senayan, Daan Mogot, dan Karawang mendukung pemanfaatan hidrogen di sektor transportasi, termasuk proyek kendaraan berbasis *fuel cell*. Selain itu, studi sedang dilakukan untuk menjadikan Indonesia sebagai *hub* hidrogen global, dengan ekspor melalui pelabuhan utama guna memungkinkan pengangkutan dalam skala besar secara efisien. Inisiatif-inisiatif ini mendukung terbentuknya ekosistem hidrogen yang berkelanjutan dan berdaya saing internasional.



Transportasi umum berbasis *fuel cell* —Bagus upc, Shutterstock

Pemanfaatan hidrogen di sektor transportasi dan pembangkit listrik telah dimulai dengan proyek mobil *fuel cell* Antasena dan pengembangan stasiun pengisian bahan bakar hidrogen di beberapa lokasi strategis, termasuk Senayan, Daan Mogot dan Karawang. Pemanfaatan amonia untuk ekspor dan kebutuhan industri juga mulai diperkenalkan, terutama di Pelabuhan Patimban dan Tanjung Api, dengan pengembangan amonia biru berkapasitas tinggi. Hidrogen dan amonia juga mulai diuji sebagai bahan bakar bersih untuk pembangkit listrik, termasuk PLTU dan PLTG, melalui skema *co-firing* dan konversi bertahap dari energi fosil. Salah satu contoh implementasinya adalah proyek PLN di Gili, Jawa Timur, yang menggantikan genset diesel dengan pembangkit energi bersih sebagai bagian dari transisi menuju sistem kelistrikan rendah emisi. Langkah-langkah ini membentuk fondasi penting dalam pengembangan rantai pasok hidrogen dan amonia di Indonesia, dengan arah yang jelas untuk jangka panjang serta peluang ekspansi ke pasar global.

Untuk memastikan keberlanjutan rencana aksi hidrogen dan amonia bersih dalam jangka menengah, berbagai langkah perlu dilakukan secara terintegrasi. Evaluasi implementasi *roadmap* akan dilakukan secara rutin melalui audit dan sistem pemantauan berbasis data, memungkinkan identifikasi hambatan serta strategi mitigasi yang lebih efektif. Studi kelayakan juga disusun untuk meningkatkan integrasi infrastruktur hidrogen dan amonia di berbagai sektor, guna mencapai efisiensi dan keberlanjutan. Seiring itu, peningkatan investasi pada infrastruktur hidrogen hijau akan difasilitasi melalui *roadshow* investasi dan kebijakan insentif guna menarik minat investor dalam pembangunan fasilitas penyimpanan serta jaringan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH) untuk transportasi.

Selanjutnya, kebijakan yang mendorong pemanfaatan hidrogen dan amonia hijau di sektor prioritas, seperti energi dan industri berat, akan disusun, termasuk insentif subsidi serta kewajiban pemakaian di sektor-sektor tertentu. Untuk meningkatkan nilai ekonomi pengurangan emisi, skema perdagangan karbon dan insentif fiskal bagi industri yang beralih ke hidrogen dan amonia rendah karbon akan diperkenalkan. Di saat yang sama, kerja sama dengan sektor industri dan energi untuk uji coba serta penggunaan hidrogen dan amonia hijau di pembangkit listrik, jaringan gas, dan transportasi umum diharapkan dapat mempercepat transisi energi bersih.

Di sisi investasi, kemitraan dengan lembaga keuangan internasional akan diperkuat guna mengakses pembiayaan jangka panjang bagi proyek hidrogen dan amonia rendah karbon, didukung oleh kebijakan jaminan investasi. Pengarusutamaan inovasi teknologi juga menjadi prioritas, dengan peluncuran program riset untuk meningkatkan efisiensi teknologi produksi, penyimpanan, dan distribusi hidrogen. Selain itu, pembentukan pusat inovasi teknologi akan mendukung pengembangan solusi rantai pasok hidrogen dan amonia dalam negeri. Indonesia juga tengah mengupayakan posisi sebagai *hub* hidrogen dan amonia rendah karbon di ASEAN melalui forum regional dan kerja sama multilateral guna mendukung ekspor hidrogen dan amonia ke negara-negara tetangga.



Ilustrasi mobil berbahan bakar hidrogen.—Shutterstock

Pengembangan kapasitas dan kompetensi tenaga kerja akan dilakukan melalui program pelatihan dan sertifikasi di bidang hidrogen dan amonia, didukung oleh magang dan pertukaran tenaga ahli dengan negara-negara maju. Dengan langkah-langkah ini, rencana aksi jangka menengah diharapkan dapat mempercepat pencapaian target *roadmap* hidrogen dan amonia bersih, memastikan kesiapan infrastruktur, tenaga kerja, dan dukungan kebijakan yang berkelanjutan menuju ekonomi rendah karbon. Sebagai contoh, Toyota xEV Center merupakan pusat pembelajaran teknologi elektrifikasi yang berlokasi di Plant 3 TMMIN, Karawang, Jawa Barat. Diresmikan pada tahun 2022, fasilitas ini dirancang untuk menyajikan informasi menyeluruh tentang elektrifikasi serta mendukung pengembangan SDM yang siap menghadapi era kendaraan listrik. Tak hanya fokus pada elektrifikasi, Toyota Indonesia juga mendorong penguasaan teknologi hidrogen dengan memberikan pelatihan teknis, pengenalan teknologi, dan peningkatan kesadaran keselamatan bagi para tenaga terampil di bidang ini.

Untuk mendukung keberlanjutan rencana aksi hidrogen dan amonia hijau dalam jangka panjang, berbagai inisiatif akan dijalankan secara terpadu. Evaluasi kemajuan akan dilakukan secara berkala melalui sistem monitoring dan evaluasi tahunan, dengan laporan periodik mengenai capaian, hambatan, serta rekomendasi strategis. Pengembangan platform digital juga diusulkan untuk memungkinkan pemantauan *real-time* bagi seluruh pemangku kepentingan, sehingga kebijakan dapat disesuaikan secara dinamis berdasarkan dampak lingkungan, ekonomi, dan sosial.

Investasi pada infrastruktur rantai pasok hidrogen dan amonia hijau akan menjadi prioritas, termasuk kebijakan insentif serta pendanaan dari lembaga internasional seperti Green Climate Fund dan Bank Dunia. Penguatan investasi ini akan mencakup seluruh rantai pasok, mulai dari produksi hingga distribusi, serta mendorong kemandirian teknologi nasional melalui kemitraan dengan universitas dan lembaga riset.

Di tingkat global, Indonesia akan meningkatkan peran aktif dalam kemitraan internasional dengan berpartisipasi dalam forum global dan perjanjian bilateral. Untuk memperkuat posisi di pasar energi hijau, Indonesia akan mengembangkan pusat ekspor hidrogen di lokasi strategis dengan fasilitas penyimpanan berskala besar.

Dengan langkah-langkah ini, Indonesia diharapkan mampu memperkuat keberlanjutan, keekonomian, dan kemandirian teknologi, serta menjadi pemain utama di pasar hidrogen dan amonia hijau global.

4.2.1. Pengembangan Ekosistem

Regulasi dan Standar

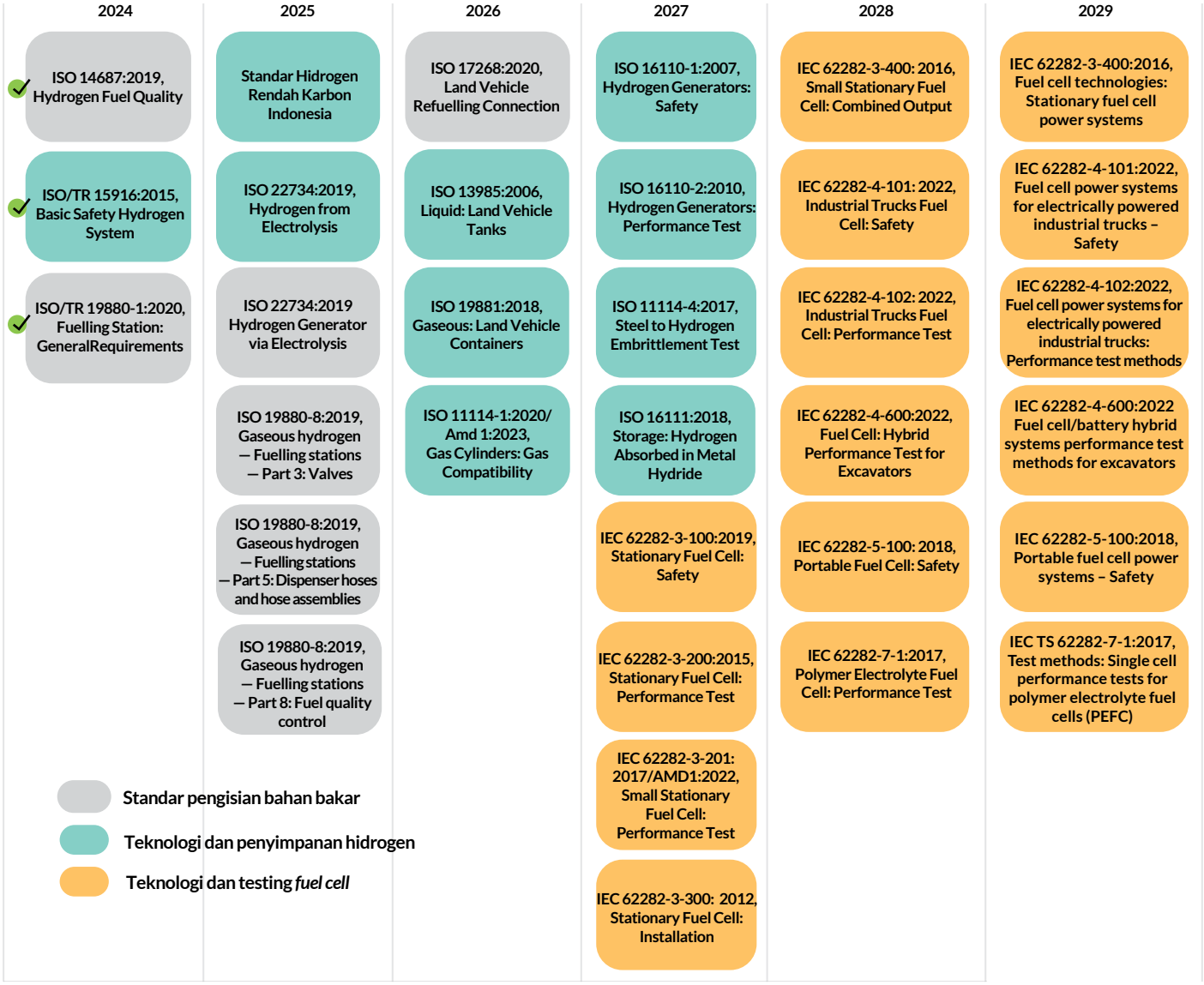
Regulasi dan standar memainkan peran penting dalam pengembangan ekosistem hidrogen dan amonia hijau di Indonesia. Untuk memastikan tata kelola yang efektif, regulasi terkait hidrogen akan diterapkan dalam jangka waktu tertentu dan secara berkala dievaluasi serta disempurnakan agar tetap relevan dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan industri. Saat ini, pemerintah sedang menyusun Rancangan Peraturan Pemerintah (RPP) tentang Tata Kelola Hidrogen, yang ditargetkan rampung pada fase inisiasi. Regulasi ini akan mencakup berbagai aspek, termasuk taksonomi, pengembangan infrastruktur rantai pasok, serta standar keselamatan dan kualitas hidrogen dan amonia hijau, guna menciptakan kepastian hukum dan mendukung investasi di sektor ini.

Upaya perumusan regulasi ini selaras dengan agenda transisi energi nasional dan komitmen Indonesia untuk mencapai *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060. Dalam konteks ini, hidrogen dan amonia hijau diharapkan menjadi pilar utama dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan memperkuat ketahanan energi nasional. Optimalisasi pemanfaatan hidrogen rendah karbon dan amonia hijau akan difokuskan pada sektor strategis, termasuk industri, pembangkit listrik, transportasi, dan jaringan gas. Di samping regulasi, strategi percepatan adopsi hidrogen dan amonia hijau juga akan didukung oleh insentif fiskal dan skema perdagangan karbon guna meningkatkan daya saing serta menarik investasi dalam pengembangan rantai pasok hidrogen yang berkelanjutan di Indonesia.

Standardisasi merupakan elemen penting dalam pengembangan ekosistem hidrogen dan amonia hijau di Indonesia, yang bertujuan untuk menjamin aspek keselamatan, kualitas, serta efisiensi penggunaannya. Saat ini, Indonesia telah memiliki SNI 7928:2013 yang mengatur aspek keselamatan bahan bakar hidrogen sebagai langkah awal dalam menetapkan regulasi terkait hidrogen. Namun, guna mengakselerasi adopsi hidrogen dan amonia hijau secara lebih luas, diperlukan penguatan dan perluasan regulasi, termasuk penyusunan standar teknis yang lebih komprehensif, pemberian insentif bagi pelaku industri, serta penerapan mekanisme *carbon pricing* untuk mendorong daya saing di pasar energi hijau. seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 45**.

Selain itu, terdapat SNI ISO 19880:2020, yang mengadopsi standar internasional ISO 19880:2020 sebagai acuan nasional dalam memastikan keselamatan infrastruktur dan operasional Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH), mulai dari desain, konstruksi, hingga pemeliharaannya. Standar lainnya, yakni SNI 14687:2019, yang mengacu pada ISO 14687:2019, mengatur spesifikasi kualitas hidrogen untuk bahan bakar sel hidrogen (*fuel cell*) dan aplikasi lainnya guna menjamin keandalan serta kelayakan penggunaannya dalam berbagai sektor. Dengan penguatan standar teknis, penerapan insentif, serta mekanisme *carbon pricing* yang jelas, diharapkan pengembangan hidrogen dan amonia hijau di Indonesia dapat lebih optimal, mendukung keberlanjutan, dan mempercepat pencapaian target dekarbonisasi nasional.

Gambar 45. Target standardisasi dan sertifikasi hidrogen dan amonia bersih



Selain standar-standar yang tercantum dalam *roadmap* regulasi dan standar hidrogen dan amonia, terdapat juga standar-standar lainnya yang perlu dipertimbangkan dalam implementasi ekosistem hidrogen dan amonia. Beberapa standar tersebut dapat dilihat pada **Gambar 46**.

Gambar 46. Standar dan regulasi lainnya mengenai hidrogen dan amonia di Indonesia yang diperlukan

ISO 13984:1999, Liquid Hydrogen: Land Vehicle Fuelling Interface	ISO 21266-1:2018, Hydrogen Blending System: Safety	IEC 62282-8-201:2020, Reverse Fuel Cell Storage : Performance Test	ISO 26142:2010, Hydrogen Detection: Stationary	ISO 23273:2013 Fuel Cell Road Vehicles: Hydrogen Hazards Protection
ISO 19882:2018, Gaseous: Thermally Activated Pressure Relief Devices	ISO 21266-2:2018, Hydrogen Blending System: Performance Test	IEC 62282-9-101:2020, Environmental Evaluation: Life Cycle	ISO 13850:2015, Safety of Machinery: Emergency Stop Design	EN ISO 17081:2014, Hydrogen Uptake and Transport in Metals
ISO/TS 19883:2017, Pressure Swing Adsorption: Safety	ISO/TS 19870:2023, Hydrogen Technolo-gy: Greenhouse Gases Emission	IEC 62282-9-102:2021, Environmental Evaluation: Product Category Rules	ISO 15649:2001, Natural Gas Industries: Piping	EN 15399:2018, Safety Management Systems for Gas Network
ISO 26142:2010, Hydrogen Detection Apparatus	ISO 21013-1:2008, Cryogenic Vessels: Reclosable Valves	IEC 60079, Explosive Atmosphere: All Parts	EN 14986:2017, Fans Design in Potential Explosive Atmosphere	EN 17339:2020, Transportable Gas Cylinder: Carbon Composite
ISO 16380:2014/ Amd 1:2016, Road Vehicles: Blended Fuels Refuelling Connector	ISO 21013-2:2007, Cryogenic Vessels: Non-reclosable Devices	IEC60204-1:2016/A MD1: 2021 CSV Safety of Machinery: General Require-ments	SAE J2799, Refueling Connection Device	EN 17533:2020 Gaseous: Cylinder and Tube for Stationary
ISO 21029-1:2018 Small Transportable Vacuum Vessels Design and Test	ISO 21013-3:2016, Cryogenic Vessels: Sizing and Capacity	IEC 60529: 1989/AMD1: 1999/ AMD2: 2013 CSV, Degree of Protection by Enclosures	SAE J2760, Pressure Terminology in Fuel Cell and other Application	EN 45510-2-4:2000, Power Station Requirement: High Power Static Convertor
ISO 20421-1:2019 Large Transportable Vacuum Vessels Design and Test	ISO 24490:2016, Cryogenic Vessels: Pumps	IEC 80079, Explosive Atmosphere: All Parts	ISO 7108:1985, Ammonia Solution: Ammonia Content	EN 45510-2-6:2000, Power Station Requirement: Generator
EN 1797:2001, Cryogenic Vessels : Gas/Material Compatibility	EN 17127:2020, Outdoor Hydrogen Refuelling Points and Dispensing	EN 17124:2018, Proton Exchange Membrane Fuel Cell for Road Vehicles		SAE J2990/1, Hydrogen and Fuel Cell First and Second Responder Practice
SAE J2600, Compressed Hydrogen Vehicle Fueling Connection Device	SAE J2601/2, Fueling Protocol: Surface Vehicles (bus)	SAE J2601/4, Ambient Tempera-ture Orifice Fueling		ISO 7109:1985, Ammonia Solution: Residue after Evaporation
SAE J2601, Fueling Protocol : Light Duty Hydrogen Surface Vehicle	SAE J2601/3, Fueling Protocol : Surface Vehicles (forklift)	SAE J2719, Hydrogen Quality for Fuel Cell Vehicle		
ISO 7103:1982, Liquefied Anhydrous Ammonia: Sampling	ISO 7105:1985, Liquefied Anhydrous Ammonia : Water Content	ISO 7106:1985, Liquefied Anhydrous Ammonia: Oil Content		
ISO 21887:2019, Ammonia Mass Concentration: Manual	ISO 17179:2016, Ammonia Mass Concentration: Flue Gas	ISO 15859-11:2004 Ammonia Sampling and Testing in Flight and Ground Support		

Merujuk pada implementasi teknologi dan penyimpanan hidrogen, sesuai dengan standar *hydrogen storage* dan pemanfaatannya dalam sektor industri dan transportasi.

Melingkupi teknologi produksi, konversi, serta uji coba amonia yang berhubungan dengan pemanfaatan amonia sebagai bahan bakar alternatif rendah karbon.

Mencakup pengembangan dan pengujian teknologi sel bahan bakar (*fuel cells*), terutama dalam kaitannya dengan pemanfaatan hidrogen sebagai bahan bakar.

Berfokus pada standar pengisian dan pengisian ulang bahan bakar hidrogen, baik dari segi infrastruktur SPBH (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen) maupun aspek keselamatan dan efisiensi

Lampiran **Tabel B** memberikan gambaran langkah-langkah strategis untuk mendukung pengembangan ekosistem hidrogen dan amonia nasional melalui regulasi nasional dan *benchmarking* internasional. Upaya ini mencakup harmonisasi standar nasional dengan standar internasional, penguatan regulasi, serta pengembangan ekosistem yang mendukung transisi energi bersih.

Program-program yang tercantum meliputi penyusunan regulasi untuk implementasi hidrogen hijau, pengembangan RHAN, serta pembentukan komite teknis yang mengatur aspek teknologi hidrogen. *Benchmarking* internasional dilakukan untuk mempelajari dan mengadopsi praktik terbaik dari negara-negara yang telah berhasil mengembangkan ekosistem hidrogen. Kegiatan ini mencakup penyusunan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI), panduan fasilitas produksi hidrogen, serta rancangan model bisnis guna mendukung keekonomian rantai pasok.

Kemitraan dengan lembaga internasional seperti GGGI, UNDP, dan UK-MENTARI, serta kolaborasi dengan pemangku kepentingan nasional seperti KESDM, ITB, dan BSN, memperkuat pendekatan holistik dalam membangun ekosistem yang terintegrasi dan berkelanjutan. Inisiatif utama meliputi penyusunan dokumen akademis untuk KBLI hidrogen, skema pembiayaan hijau, dan rancangan kebijakan yang mendukung transisi energi rendah karbon.

Melalui regulasi nasional yang kokoh dan *benchmarking* internasional, inisiatif ini bertujuan memastikan kesiapan Indonesia untuk menjadi pemain utama dalam pasar energi hidrogen global, mempercepat transisi energi bersih, dan memperkuat daya saing sektor energi hijau.



Penciptaan Pasar dan Ekonomi Baru

Penciptaan pasar dan ekonomi baru sangat penting dalam mendukung *roadmap* hidrogen dan amonia bersih di Indonesia. Keberhasilan penerapan hidrogen dan amonia bersih tidak hanya bergantung pada teknologi produksi dan regulasi, tetapi juga pada pengembangan rantai pasok yang terintegrasi dengan baik dan efisien. Infrastruktur rantai pasok mulai dari produksi, penyimpanan, transportasi, hingga distribusi perlu didukung oleh investasi yang signifikan, insentif fiskal, dan kebijakan subsidi untuk mengurangi biaya operasional dan meningkatkan daya saing produk hidrogen dan amonia bersih di pasar domestik maupun internasional.

Sebagai bagian dari upaya ini, langkah "*develop and support uptake of green financing schemes*" menjadi komponen penting dalam memastikan keberlanjutan investasi pada teknologi hidrogen dan amonia rendah karbon. Program yang didukung oleh UNDP, KESDM, dan KLHK ini bertujuan mengembangkan skema pembiayaan hijau yang dapat diakses untuk mendukung rantai pasok hidrogen yang berkelanjutan (**lampiran Tabel B**). Pada tahun 2023, program ini diimplementasikan untuk mendorong adopsi skema keuangan inovatif yang relevan dengan kebutuhan pengembangan hidrogen bersih. Dalam hal ini, mekanisme *carbon pricing* dan insentif pajak dapat berfungsi sebagai alat penting untuk menarik investasi. Selain itu, kemitraan publik-swasta diharapkan dapat membangun dan mengoperasikan infrastruktur inti seperti Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH), fasilitas penyimpanan, dan jaringan distribusi yang efisien, memperkuat daya saing Indonesia dalam transisi energi global.



Aspek Sosial

Aspek sosial memainkan peran penting dalam mendukung *roadmap* hidrogen dan amonia bersih di Indonesia. Pengembangan dan adopsi hidrogen dan amonia sebagai sumber energi bersih membutuhkan pemahaman masyarakat terhadap manfaat jangka panjang dari energi rendah karbon, baik dalam hal pengurangan emisi maupun dampaknya terhadap ketahanan energi nasional. Oleh karena itu, kampanye edukasi yang komprehensif diperlukan untuk meningkatkan pemahaman publik tentang pentingnya transisi energi dan keuntungan menggunakan hidrogen dan amonia sebagai alternatif bahan bakar ramah lingkungan. Kampanye ini bisa mencakup sosialisasi tentang kontribusi energi bersih terhadap kualitas udara, kesehatan masyarakat, dan kelestarian lingkungan.

Selain itu, dukungan dari pelanggan atau *end-user* sangat berpengaruh dalam menciptakan permintaan pasar bagi hidrogen dan amonia bersih. Insentif bagi pelanggan, seperti diskon pajak atau pengurangan biaya energi bagi perusahaan yang menggunakan hidrogen dan amonia bersih, dapat mendorong adopsi teknologi yang lebih cepat. Di sisi lain, edukasi untuk sektor industri sebagai pengguna akhir juga diperlukan agar pemahaman keuntungan jangka panjang dari mengalihkan bahan bakar fosil ke hidrogen dan amonia bersih. Kesadaran ini diharapkan dapat

mendorong sektor swasta untuk berinvestasi dalam teknologi rendah karbon dan menjalankan praktik operasional yang lebih berkelanjutan.

Pemerintah dan sektor swasta juga dapat bekerja sama untuk menciptakan program-program keterlibatan masyarakat yang menunjukkan manfaat langsung hidrogen dan amonia dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya, mendemonstrasikan penggunaan hidrogen dalam transportasi publik, seperti bus hidrogen atau SPBH, dapat menjadi langkah nyata yang meningkatkan penerimaan publik. Dengan kesadaran yang meningkat, masyarakat dapat menjadi pendukung aktif dalam transisi energi ini, yang tidak hanya mempercepat implementasi *roadmap* hidrogen dan amonia bersih, tetapi juga memperkuat komitmen Indonesia dalam mencapai target energi bersih secara menyeluruh.

Infrastruktur

Pengembangan infrastruktur yang terencana dan terintegrasi memiliki peran krusial dalam mendukung terbentuknya ekosistem hidrogen dan amonia nasional yang berdaya saing dan berkelanjutan. Infrastruktur yang memadai akan memastikan kelancaran rantai pasok hidrogen dan amonia hijau, mulai dari tahap produksi, penyimpanan, hingga distribusi ke berbagai sektor pengguna, seperti industri, pembangkit listrik, jaringan gas, dan transportasi. Peningkatan kapasitas produksi melalui pembangunan fasilitas elektrolisis, pengembangan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS), serta optimalisasi sumber daya lokal menjadi langkah strategis dalam mempercepat transisi energi. Selain itu, perluasan jaringan infrastruktur distribusi, termasuk pembangunan jaringan pipa, terminal penyimpanan, serta Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH), akan meningkatkan efisiensi dan keandalan pasokan hidrogen dan amonia hijau di tingkat nasional.

Lebih lanjut, penguatan infrastruktur juga berperan dalam menciptakan ekosistem hidrogen dan amonia yang kompetitif dan berdaya saing global. Penyusunan regulasi dan standar yang komprehensif, seperti penerapan Sertifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk hidrogen dan amonia, sangat penting guna memastikan keselamatan, kualitas, dan keberlanjutan dalam implementasi teknologi ini. Selain itu, dorongan terhadap penguasaan teknologi lokal melalui penelitian, pengembangan, dan investasi dalam inovasi akan mendukung kemandirian industri serta mengurangi ketergantungan pada teknologi impor. Dengan strategi pengembangan infrastruktur yang sistematis dan terintegrasi, Indonesia berpotensi menjadi pusat utama dalam ekosistem hidrogen dan amonia hijau di kawasan ASEAN, sekaligus mempercepat transisi menuju ekonomi rendah karbon yang berkelanjutan.



Trans Papua merupakan infrastruktur yang berkontribusi dalam rantai pasok energi bersih di Papua. — Shutterstock

Keberlanjutan Lingkungan

Keberlanjutan lingkungan dirancang untuk memastikan sumber energi terbarukan dan sistem energi bersih dimanfaatkan secara optimal. Hal ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang rentan terhadap fluktuasi harga global, sekaligus mendukung transisi menuju sistem energi yang lebih tangguh dan berkelanjutan dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, hidro, dan bioenergi. Rencana aksi ini diharapkan dapat meningkatkan ketahanan dan swasembada energi nasional. Inisiatif ini juga mendukung upaya pengurangan dampak lingkungan melalui penerapan teknologi dan strategi energi bersih yang lebih efisien.

Inovasi

Inovasi teknologi memegang peran krusial dalam mendukung pengembangan ekosistem hidrogen dan amonia hijau di Indonesia, mencakup aspek produksi, penyimpanan, distribusi, serta pemanfaatannya di berbagai sektor industri. Pengembangan teknologi yang lebih efisien, termasuk peningkatan kapasitas elektrolisis, pemanfaatan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS), serta penguatan infrastruktur Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH), akan mempercepat pencapaian skala ekonomi yang kompetitif. Selain itu, pengembangan material yang lebih tahan lama dan efisien untuk sel bahan bakar hidrogen menjadi faktor kunci dalam meningkatkan performa serta umur panjang teknologi ini. Untuk mendukung inovasi yang berkelanjutan, penguatan regulasi dan standar teknis yang adaptif sangat diperlukan guna memastikan keselamatan, keandalan, serta kualitas hidrogen dan amonia hijau di berbagai sektor. Penyusunan kebijakan yang mengakomodasi insentif bagi investasi, riset, dan pengembangan teknologi akan mendorong percepatan adopsi hidrogen dan amonia hijau di sektor industri, transportasi, pembangkit listrik, serta jaringan gas. Dengan sinergi yang kuat antara inovasi teknologi, kebijakan yang mendukung, serta investasi yang berkelanjutan, Indonesia berpotensi menjadi pemain utama dalam ekosistem hidrogen dan amonia hijau di tingkat regional maupun global.



Pengisian kendaraan hidrogen pertama di Indonesia hasil inovasi dari PLN IP yang dikenalkan dalam pameran di Jakarta. —Icwang, Shutterstock

Optimalisasi Potensi Sumber Daya Lokal

Pemanfaatan optimal sumber daya lokal memiliki peran strategis dalam mendukung pengembangan ekosistem hidrogen dan amonia nasional. Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang sangat besar, seperti tenaga surya, hidro, dan angin, yang dapat dioptimalkan untuk memproduksi hidrogen dan amonia hijau secara berkelanjutan. Ketersediaan sumber daya ini memungkinkan pengurangan ketergantungan pada energi fosil, sekaligus mempercepat transisi menuju ekonomi hijau dan dekarbonisasi. Selain itu, pengembangan industri hidrogen dan amonia hijau berbasis sumber daya domestik dapat meningkatkan ketahanan energi nasional, mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan bakar fosil, serta memperluas pemanfaatan energi bersih di berbagai sektor, termasuk industri, transportasi, dan kelistrikan.

Di samping itu, pemanfaatan potensi sumber daya lokal juga dapat mendorong penguatan rantai pasok nasional serta membuka peluang baru bagi investasi di sektor energi hijau. Peningkatan kapasitas produksi hidrogen dan amonia berbasis energi terbarukan akan menarik minat investor serta menciptakan ekosistem industri yang berdaya saing di tingkat global. Selain itu, pengembangan teknologi berbasis sumber daya domestik akan mempercepat transfer teknologi dan peningkatan kapasitas industri nasional, termasuk dalam pengembangan infrastruktur seperti Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH) dan sistem distribusi hidrogen serta amonia hijau. Dengan memanfaatkan potensi energi lokal secara optimal, Indonesia dapat mempercepat transisi menuju ekonomi hijau, dan memberikan nilai tambah bagi perekonomian nasional.

Penguasaan Teknologi

Penguasaan teknologi menjadi faktor krusial dalam mempercepat adopsi serta peningkatan efisiensi produksi, penyimpanan, dan distribusi energi bersih. Dengan mengembangkan dan menguasai teknologi produksi hidrogen dan amonia hijau—seperti elektrolisis berbasis energi terbarukan dan teknologi penangkapan serta penyimpanan karbon (CCS) untuk hidrogen biru—Indonesia dapat mengurangi ketergantungan terhadap impor teknologi serta menekan biaya produksi dalam jangka panjang. Selain itu, pengembangan teknologi di sektor ini juga memungkinkan peningkatan efisiensi energi, dan pemanfaatan sumber daya yang lebih optimal.

Selain aspek produksi, penguasaan teknologi juga mendukung penguatan rantai pasok dan integrasi infrastruktur hidrogen serta amonia nasional. Inovasi dalam teknologi penyimpanan dan transportasi, seperti sistem kompresi dan pencairan hidrogen, akan meningkatkan keandalan serta fleksibilitas distribusi energi bersih ini ke berbagai sektor, termasuk industri, transportasi, dan pembangkit listrik. Lebih lanjut, peningkatan kapabilitas dalam manufaktur peralatan terkait, seperti *electrolyzer* dan tangki penyimpanan, akan membuka peluang industri dalam negeri untuk berkontribusi lebih besar dalam rantai pasok global. Dengan strategi penguasaan teknologi yang sistematis dan terintegrasi, Indonesia dapat memperkuat daya saingnya di industri hidrogen dan amonia hijau, sekaligus mewujudkan ekosistem energi yang mandiri, berkelanjutan, dan berorientasi pada inovasi.



***Floating* PV di waduk Cirata, Jawa Barat. — Shutterstock**

4.2.2. Pengembangan Rantai Pasok

4.2.2.1. Produksi

a. Hidrogen

Berdasarkan lampiran **Tabel B**, rencana kegiatan yang akan dilaksanakan berdasarkan rencana aksi dalam rantai pasok produksi hidrogen terdiri dari berbagai inisiatif penelitian, pengembangan, investasi, dan penguatan kapasitas yang melibatkan banyak pemangku kepentingan nasional maupun internasional. Kegiatan ini mencakup pengembangan kapasitas teknologi hidrogen rendah karbon, studi pasar, serta pengembangan rantai pasok yang akan mendukung transisi menuju energi bersih di Indonesia.

Salah satu fokus utama adalah pengembangan kapasitas *electrolyzer*, dengan rencana pembangunan proyek percontohan hidrogen hijau berkapasitas 10 MW ke 1 GW yang melibatkan Korea Selatan (KIAT), KESDM, Bappenas, dan GGGI, yang dimulai pada tahun 2023. Di Lahendong, pengembangan hidrogen dari sumber panas bumi dengan kapasitas 0,5 MW juga sedang dalam tahap rencana pengusulan dengan dukungan dari Pertamina Geothermal dan NEDO Jepang.

Penelitian dan pengembangan terkait hidrogen hijau dilakukan secara intensif dengan berbagai studi. Misalnya, KESDM dan GEF memimpin studi pasar *green hydrogen development* telah dimulai pada tahun 2023. Selain itu, penelitian juga mencakup studi pemanfaatan hidrogen hijau berbasis energi angin dan surya, penilaian proyek hidrogen hijau, serta pengembangan rantai pasok hidrogen bersama Pertamina dan Saudi Aramco. Beberapa studi lain, seperti pemanfaatan hidrogen sebagai penyimpanan energi di daerah terpencil dan produksi hidrogen dari *floating* PV juga terus diusulkan.

Kegiatan lain yang tidak kalah penting adalah pengembangan kebijakan dan regulasi. Analisis dampak lingkungan dan sosial (*Environmental and Social Impact Assessment*) dilakukan dengan dukungan ADB dan HDF Energy pada tahun 2022. Selain itu, kajian tematik tentang pengembangan hidrogen hijau di Indonesia untuk RPJMN sedang dipersiapkan oleh Bappenas dan KESDM.

Investasi juga memainkan peran penting dalam mendukung pengembangan hidrogen hijau di Indonesia. Contohnya, pembangunan *green hydrogen hybrid* PV di Sumba yang direncanakan mulai beroperasi pada tahun 2028, serta produksi hidrogen hijau dari panas bumi dengan kapasitas 100 kg/hari di Ulubelu, Lampung, yang ditargetkan beroperasi pada 2026.

Dalam hal penguatan kapasitas dan kompetensi, kegiatan pelatihan dan lokakarya diadakan untuk mendukung persiapan kebijakan, kerangka strategis, dan regulasi terkait hidrogen. Selain itu, fasilitas berbagi seperti *Hydrogen Center* akan dibangun pada 2024 dengan melibatkan BRIN, KESDM, PLN, dan IFHE, yang bertujuan untuk mendorong kolaborasi dan pengembangan kapasitas di sektor hidrogen.

Perusahaan Listrik Negara (PLN) telah memulai sejumlah inisiatif penting untuk mengembangkan proyek hidrogen hijau di Indonesia, dengan fokus pada seluruh rantai nilai hidrogen hijau. Sebagai bagian dari komitmennya untuk mendukung transisi energi, PLN berencana membangun 21 GW pembangkit energi terbarukan hingga tahun 2030. Pembangkit ini akan memanfaatkan sumber energi seperti tenaga surya dan angin untuk mendukung proses elektrolisis yang menghasilkan hidrogen hijau. Selain itu, PLN telah mendirikan 22 pabrik hidrogen hijau di berbagai lokasi di Indonesia, dengan total kapasitas produksi mencapai 200 ton per tahun. Proyek ini berfungsi sebagai langkah awal dalam pengembangan ekosistem hidrogen yang lebih luas.

PLN juga menjalin kerja sama dengan mitra internasional untuk membangun fasilitas produksi hidrogen hijau dengan kapasitas lebih besar, yaitu mencapai 100 ribu ton per tahun (ktpa). Kerja sama ini diharapkan dapat mempercepat pembangunan infrastruktur produksi hidrogen hijau di Indonesia dan memenuhi permintaan domestik maupun ekspor. Inisiatif-inisiatif ini tidak hanya ditujukan untuk memenuhi kebutuhan energi Indonesia, tetapi juga mendukung ekspor hidrogen ke negara-negara seperti Jepang, Korea Selatan, dan Singapura. Dengan menyediakan hidrogen hijau sebagai bahan bakar rendah karbon, PLN berupaya mendorong dekarbonisasi di sektor industri dan transportasi. Proyek-proyek ini menempatkan PLN sebagai pemain kunci dalam pengembangan hidrogen di Asia Tenggara, sekaligus mendukung upaya Indonesia untuk mencapai target NZE pada tahun 2060.



Stasiun pengisian hidrogen milik PLN.—Foto: ESDM

Perkembangan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH) di Senayan oleh PLN dan di Daan Mogot oleh Pertamina, serta di Karawang oleh Toyota menunjukkan kemajuan signifikan dalam upaya membangun infrastruktur hidrogen di Indonesia. PLN turut berperan dalam pengembangan infrastruktur logistik dan transportasi hidrogen, termasuk pembangunan SPBH pertama yang diluncurkan pada Februari 2024. SPBH di Senayan oleh PLN merupakan salah satu proyek percontohan PLN dalam pengembangan ekosistem hidrogen di Indonesia. SPBH Senayan dibangun untuk mendukung pengisian bahan bakar hidrogen bagi kendaraan listrik berbasis sel bahan bakar (*fuel cell*). PLN memanfaatkan energi listrik berbasis energi baru dan terbarukan (EBT) untuk memproduksi hidrogen hijau melalui proses elektrolisis, sehingga hidrogen yang dihasilkan lebih ramah lingkungan. Fasilitas ini diharapkan menjadi model untuk stasiun pengisian hidrogen di lokasi lain, sekaligus mendukung uji coba penggunaan kendaraan hidrogen di kawasan perkotaan. Selain itu, PLN berfokus pada pengembangan sistem yang terintegrasi dengan jaringan listrik, memungkinkan proses pengisian hidrogen yang efisien dan stabil. Proyek ini juga melibatkan kolaborasi dengan berbagai pihak, termasuk pemerintah dan mitra industri, untuk memastikan teknologi yang diterapkan memenuhi standar keselamatan internasional.

SPBH di Daan Mogot oleh Pertamina merupakan bagian dari inisiatif Pertamina dalam memperluas jaringan stasiun pengisian hidrogen di Indonesia, khususnya di wilayah Jakarta. Stasiun di Daan Mogot ini memanfaatkan lokasi strategis yang sudah dikenal sebagai titik pengisian bahan bakar konvensional untuk memperkenalkan fasilitas pengisian hidrogen. Fokus utama Pertamina di SPBH Daan Mogot adalah menyediakan hidrogen biru yang diproduksi melalui teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon (CCS) dari proses *steam reforming* gas alam, sehingga tetap berfokus pada pengurangan emisi karbon. SPBH ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengisian kendaraan hidrogen, baik untuk kendaraan pribadi maupun armada transportasi umum, sebagai bagian dari program uji coba kendaraan berbasis hidrogen di Jakarta. Selain itu, Pertamina terus melakukan evaluasi dan peningkatan fasilitas, termasuk aspek keamanan dan efisiensi, agar siap melayani peningkatan permintaan hidrogen di masa depan.

Toyota Indonesia meresmikan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH) atau *Hydrogen Refuelling Station* (HRS) pada 11 Februari 2025 di area xEV Center, Karawang *Plant* 3, Jawa Barat. Fasilitas ini merupakan yang kedua di Indonesia, dan dilengkapi dua sistem tekanan: 350 bar untuk pengisian forklif berbasis *fuel cell*, serta 700 bar untuk kendaraan seperti Toyota Mirai dan truk hidrogen. Proses pengisian hanya memerlukan waktu sekitar 3 hingga 5 menit.

SPBH Karawang dikembangkan oleh PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia (TMMIN) untuk mendukung pengisian ulang berbagai jenis kendaraan hidrogen—mulai dari mobil, truk, hingga alat berat industri. Fasilitas ini juga mendukung program Eastern GX Corridor (EGXC), inisiatif transformasi hijau di jalur timur Jakarta hingga Pelabuhan Patimban.

Pembangunan HRS ini merupakan hasil kolaborasi antara Toyota Indonesia dengan berbagai pihak, termasuk pemerintah, akademisi, Pertamina, PLN, BRIN, dan pemangku kepentingan lainnya. Tujuannya adalah mendukung transisi energi bersih dan mencapai target *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060.

Ketiga SPBH ini, baik yang dikembangkan oleh PLN, Pertamina, maupun Toyota, diharapkan dapat menjadi pionir dalam pembangunan infrastruktur hidrogen di Indonesia. Dengan berfokus pada pengisian hidrogen untuk kendaraan di pusat-pusat aktivitas, seperti Senayan, Daan Mogot dan Karawang, proyek ini tidak hanya mendukung transisi energi di sektor transportasi tetapi juga memberikan contoh nyata penerapan teknologi hidrogen di lingkungan perkotaan. Pengembangan ini menunjukkan komitmen PLN dan Pertamina dalam mendukung target Indonesia untuk mencapai *Net Zero Emission* pada 2060 dan menciptakan ekosistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

b. Amonia

Lampiran **Tabel B** menunjukkan rencana kegiatan terkait rantai pasok produksi amonia yang melibatkan berbagai studi kelayakan, pengembangan teknologi, serta percobaan penggunaan amonia bersih dengan tujuan mendukung transisi energi bersih di Indonesia. Kegiatan ini mencakup kolaborasi antara perusahaan nasional dan internasional serta penggunaan teknologi inovatif seperti *Carbon Capture and Storage* (CCS) dan *co-firing* amonia. Pada tahun 2021, dilakukan kajian kelayakan CCS dengan kapasitas 660 ktpa yang difokuskan untuk mendukung produksi amonia bersih sebagai bahan bakar. Kajian ini dilakukan oleh Panca Amara Utama bekerja sama dengan Mitsubishi. Selain itu, pada tahun yang sama, Pupuk Indonesia dan TOYO Japan juga terlibat dalam kajian kelayakan amonia di wilayah Iskandar Muda, Aceh.

Pada tahun 2022, berbagai studi dan riset dilanjutkan untuk mengembangkan rantai pasok amonia hijau atau biru dan CCS, yang dipimpin oleh Pertamina, Pupuk Indonesia, dan Mitsubishi. Studi ini juga mencakup tiga proyek percontohan yang melibatkan *co-firing* hidrogen atau amonia di tiga lokasi: Keramasan (40 MW), Pesanggaran (16 MW), dan Gresik (100 MW), dengan dukungan dari Jepang, PLN, dan IHI. Selain itu, pada tahun yang sama, Pertamina dan Saudi Aramco terlibat dalam pengembangan amonia bersih melalui studi lebih lanjut. Pertamina bersama Mitsubishi juga melakukan percobaan penggunaan amonia dalam produksi energi sebagai langkah awal penerapan teknologi *co-firing*.

Seluruh kegiatan ini berperan penting dalam membangun fondasi teknologi yang diperlukan untuk mendukung transisi energi bersih berbasis amonia, baik melalui penggunaan teknologi CCS maupun integrasi amonia dalam sistem energi yang lebih ramah lingkungan.



Simulasi distribusi hidrogen menggunakan kapal laut. —Shutterstock



Distribusi amonia menggunakan truk. —Anzz Media, Shutterstock

4.2.2.2 Distribusi

a. Hidrogen

Lampiran **Tabel B** menunjukkan rencana kegiatan terkait pemanfaatan hidrogen dalam rantai pasok, terutama yang berfokus pada pencampuran hidrogen ke dalam jaringan pipa gas alam, penyimpanan, dan transportasi, telah menunjukkan kemajuan yang signifikan pada fase Inisiasi.

Pada fase Inisiasi, berbagai proyek dan studi telah dilaksanakan untuk mendukung pengembangan infrastruktur hidrogen di Indonesia. Proyek pilot Pencampuran Hidrogen ke Jaringan Pipa Gas Alam, yang dilaksanakan oleh PGN pada tahun 2021, fokus pada analisis karakteristik aliran campuran hidrogen di sepanjang jalur pipa gas alam dengan berbagai lokasi injeksi. Studi ini bertujuan memahami efek hidrogen dalam campuran gas, terutama dalam aspek keselamatan dan operasional jangka panjang, serta menentukan lokasi optimal untuk injeksi hidrogen guna memaksimalkan potensi distribusi energi, termasuk potensi energi angin. Selain itu, studi tentang manajemen integritas keselamatan pipa, efek termal, dan karakteristik termodinamika hidrogen juga dilakukan, mencakup analisis keamanan dan integritas material sistem pipa hidrogen.

Pada tahun 2022, langkah signifikan lainnya dilakukan melalui Konstruksi Jaringan Pipa Hidrogen Khusus dengan penandatanganan *Memorandum of Understanding* (MoU) antara Pertamina NRE, Krakatau Steel, dan Rukun Raharja. MoU ini menjadi dasar pengembangan jaringan pipa khusus untuk hidrogen hijau, yang merupakan bagian dari strategi nasional untuk mendukung dekarbonisasi.

Selain itu, studi terkait penyimpanan hidrogen dan Proyek Pilot Transportasi juga telah dilaksanakan. Fokus utama dari studi ini adalah pengembangan teknologi penyimpanan dan pengangkutan hidrogen cair bertekanan tinggi serta padatan. Pengangkutan hidrogen cair bertekanan tinggi diidentifikasi sebagai solusi kunci untuk distribusi hidrogen ke lokasi yang jauh dari pusat produksi.

Di sisi lain, studi kelayakan dan proyek pilot transportasi laut telah dilakukan untuk mendukung pengembangan infrastruktur transportasi hidrogen melalui laut. Proyek ini mencakup studi kelayakan infrastruktur pelabuhan

untuk menangani hidrogen cair dan mempersiapkan rantai pasok yang mendukung distribusi hidrogen internasional. Studi ini melibatkan berbagai pemangku kepentingan guna memastikan keamanan dan efisiensi transportasi hidrogen melalui kapal laut.

Realisasi kegiatan pada fase Inisiasi ini menunjukkan kemajuan yang solid dalam pengembangan infrastruktur hidrogen di Indonesia. Studi pencampuran hidrogen oleh PGN, penandatanganan MoU untuk jaringan pipa hidrogen hijau, serta studi penyimpanan dan transportasi hidrogen, menjadi landasan yang kuat bagi pengembangan rantai pasok hidrogen yang lebih luas. Inisiatif ini memperlihatkan kolaborasi yang efektif antara sektor pemerintah dan industri, mendukung transisi energi bersih, dan memperkuat komitmen Indonesia menuju ekonomi rendah karbon.

b. Amonia

Lampiran **Tabel B** merangkum rencana kegiatan dalam rangka mendukung rantai pasok distribusi amonia melalui beberapa strategi implementasi. Salah satu fokus utamanya adalah proyek pilot dan demonstrasi seperti pengembangan *Ammonia Bunkering Station and Blue or Green Ammonia Supply Chain* yang melibatkan kerja sama antara Pupuk Indonesia dan ITOCHU. Kegiatan ini berupaya membangun infrastruktur logistik untuk mendukung distribusi amonia biru dan hijau secara lebih efisien. Pada kode implementasi (pelaksanaan studi kelayakan untuk produksi, penyimpanan, transportasi, dan penggunaan hidrogen & amonia rendah karbon), terdapat rencana aksi terkait pencampuran amonia ke dalam jaringan pipa gas alam dan pengembangan jaringan khusus untuk amonia. Kegiatan yang diusulkan mencakup kajian teknis mengenai pencampuran amonia, serta analisis risiko pencampuran tersebut dalam jaringan gas alam. Selain itu, terdapat fokus pada manajemen dan integritas keselamatan pipa melalui inspeksi rutin dan pelatihan keselamatan, memastikan bahwa jaringan pipa tetap aman dan andal.

Selanjutnya, studi penyimpanan amonia dalam berbagai metode, termasuk tekanan tinggi, semi-refrigerasi, dan basis padatan juga diusulkan pada kode implementasi (pelaksanaan studi kelayakan untuk produksi, penyimpanan, transportasi, dan penggunaan hidrogen & amonia rendah karbon). Kegiatan ini meliputi penelitian dan uji coba penyimpanan di lokasi tertentu guna memastikan keandalan teknologi penyimpanan amonia. Pada kode strategi yang sama, terdapat juga rencana aksi untuk demonstrasi transportasi amonia melalui jaringan pipa, yang meliputi audit keselamatan dan pemeliharaan infrastruktur sesuai standar keamanan yang ditetapkan.

Pada kode implementasi (penelitian dan pengembangan infrastruktur rantai pasok hidrogen dan amonia dalam negeri), fokus ditempatkan pada pengembangan infrastruktur untuk mendukung distribusi amonia cair di pelabuhan dan logistik. Kegiatan ini mencakup pembangunan fasilitas penyimpanan di pelabuhan dan studi logistik untuk mendistribusikan amonia secara efisien ke berbagai wilayah. Pemangku kepentingan utama untuk setiap kegiatan ini mencakup kementerian terkait, perusahaan distribusi energi, pelabuhan, serta pihak-pihak dari sektor industri amonia, yang berkolaborasi untuk mencapai sistem distribusi amonia yang aman, efisien, dan terstandar.



SPKLU PLN. —Shutterstock

4.2.2.3 Pemanfaatan

a. Hidrogen

Proyeksi permintaan hidrogen pada fase inisiasi (2025–2034) menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring dengan berkembangnya sektor industri, transportasi, pembangkit listrik, dan gas kota. Berdasarkan data proyeksi, permintaan hidrogen secara keseluruhan diperkirakan mencapai 39,5 ribu ton per tahun pada 2025, kemudian meningkat drastis menjadi 884 ribu ton per tahun pada 2030, dan akhirnya mencapai 1,3 juta ton per tahun pada 2035. Peningkatan ini mencerminkan peran hidrogen yang semakin strategis dalam mendukung transisi energi dan dekarbonisasi di berbagai sektor.

Sektor industri diproyeksikan menjadi pengguna utama hidrogen, dengan konsumsi yang meningkat dari 38,5 ribu ton per tahun pada 2025 menjadi 850,6 ribu ton per tahun pada 2030, dan mencapai 1,1 juta ton per tahun pada 2035. Permintaan ini terutama didorong oleh penggunaan hidrogen sebagai bahan baku dalam proses industri serta sebagai upaya mengurangi emisi karbon dalam sektor manufaktur. Selain itu, sektor pembangkit listrik juga menunjukkan pertumbuhan signifikan dalam pemanfaatan hidrogen, dengan konsumsi yang diperkirakan naik dari 919 ton per tahun pada 2025 menjadi 30,1 ribu ton per tahun pada 2030, dan mencapai 88,7 ribu ton per tahun pada 2035. Hal ini mengindikasikan potensi besar hidrogen dalam mendukung pembangkit listrik berbasis teknologi *co-firing* maupun turbin gas hidrogen sebagai bagian dari transisi menuju energi bersih.

Selain industri dan pembangkit listrik, sektor transportasi dan gas kota mulai menunjukkan peningkatan permintaan hidrogen dalam dekade mendatang. Sektor transportasi diperkirakan akan mulai menggunakan hidrogen pada 2030 dengan konsumsi sebesar 438 ton per tahun, yang meningkat menjadi 3,7 ribu ton per tahun pada 2035, menandakan adopsi teknologi kendaraan berbasis hidrogen yang semakin berkembang. Sementara itu, sektor gas kota diperkirakan mulai memanfaatkan hidrogen pada 2030 dengan kebutuhan sebesar 2,9 ribu ton per tahun, dan meningkat lebih dari dua kali lipat menjadi 7,6 ribu ton per tahun pada 2035. Secara keseluruhan, tren ini menegaskan pentingnya percepatan pengembangan infrastruktur produksi, distribusi, dan penyimpanan hidrogen guna memastikan pasokan yang stabil dan mendukung transisi energi berkelanjutan di berbagai sektor.

Berdasarkan FGD yang telah dilakukan, teridentifikasi lebih dari 200 kegiatan yang mendukung fase inisiasi khususnya dalam tahapan pemanfaatan. Kegiatan-kegiatan ini dapat dilihat dalam Lampiran **Tabel B**.

Pengembangan hidrogen di Indonesia mencakup penelitian dan pengembangan (R&D), uji coba, investasi, serta kebijakan dan regulasi. Berbagai studi telah dilakukan untuk mengeksplorasi potensi hidrogen dalam transportasi, industri, dan pembangkit listrik. Sejumlah proyek percontohan juga telah diuji, termasuk kendaraan berbasis *fuel cell* (FCEV), kereta hidrogen, serta pemanfaatan hidrogen dalam industri manufaktur. Pemerintah dan sektor industri mulai berinvestasi dalam pencampuran hidrogen dengan gas bumi, penggunaan hidrogen di industri baja dan semen, serta pengembangan infrastruktur seperti stasiun pengisian hidrogen.

Sebagai catatan penting, teknologi *fuel cell* sangat bergantung pada ketersediaan *critical minerals* seperti platinum, iridium, dan grafit, yang berfungsi sebagai katalis dan bahan penyusun utama sistem sel bahan bakar. Seiring dengan meningkatnya skala implementasi FCEV dan sektor terkait lainnya, urgensi terhadap pasokan yang aman dan berkelanjutan dari *critical minerals* ini menjadi semakin mendesak untuk menjamin keberlangsungan transisi energi berbasis hidrogen di Indonesia. Selain itu, Pemerintah dan sektor industri mulai berinvestasi dalam pencampuran hidrogen dengan gas bumi, penggunaan hidrogen di industri baja dan semen, serta pengembangan infrastruktur seperti stasiun pengisian hidrogen.

Untuk mendukung ekosistem hidrogen, pemerintah menyusun standar teknis, strategi nasional, serta memberikan insentif bagi investor. Pemangku kepentingan seperti BRIN, Kementerian ESDM, PLN, Pertamina, dan perusahaan industri berperan aktif dalam pengembangan hidrogen di Indonesia. Saat ini, proyek hidrogen masih dalam tahap awal dengan fokus pada riset dan uji coba, namun ke depan diperkirakan akan berkembang ke tahap komersialisasi. Dengan dukungan investasi dan regulasi, hidrogen berpotensi menjadi komponen utama dalam transisi energi bersih dan pencapaian *Net Zero Emission* 2060.

Untuk mendukung strategi implementasi inisiasi pilot proyek hidrogen & amonia rendah karbon dan/atau hijau, beberapa proyek percontohan telah diinisiasi untuk memanfaatkan hidrogen di sektor transportasi. Pada tahun 2024, PLN meresmikan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Hidrogen (SPBH) di Senayan, diikuti oleh Pertamina yang membuka fasilitas serupa di Daan Mogot. Kemudian, pada tahun 2025, Toyota turut meresmikan SPBH di Karawang. Langkah-langkah ini merupakan bagian dari upaya strategis untuk mendukung pengembangan infrastruktur hidrogen di sektor transportasi di Indonesia.

Untuk mendukung strategi implementasi inisiasi skema pembiyaan untuk investasi proyek hidrogen & amonia rendah karbon, beberapa inisiatif pembiayaan telah dimulai untuk mendukung proyek hidrogen dan amonia rendah karbon. PT Pupuk Indonesia bekerja sama dengan Mitsubishi dalam pengembangan proyek amonia hijau di Kalimantan Timur. Selain itu, dukungan finansial untuk proyek hidrogen telah diberikan untuk stasiun pengisian bahan bakar hidrogen yang dibangun oleh PT Pertamina dan Hyundai di Karawang. PLN dan HDF Energy juga bekerja sama dalam proyek pembangkit listrik hidrogen *Renewable* di Sumba, Nusa Tenggara Timur. Proyek ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan Sumba pada diesel dan meningkatkan stabilitas jaringan melalui pemanfaatan hidrogen. Untuk mengevaluasi kelayakan teknis dan finansial pembangkit listrik hidrogen, PLN dan HDF Energy telah menandatangani perjanjian bersama.

Elaborasi ini mencakup realisasi kunci yang telah dilakukan pada fase inisiasi dan berfokus pada studi kelayakan, proyek percontohan, serta inisiasi pembiayaan untuk mendukung transisi energi rendah karbon di Indonesia.

Untuk mendukung inisiasi skema pembiayaan untuk investasi proyek hidrogen & amonia rendah karbon menunjukkan peningkatan signifikan dalam berbagai sektor industri untuk mendukung dekarbonisasi dan pencapaian target *Net-Zero Emission* (NZE). Di sektor industri baja, kebutuhan hidrogen diproyeksikan mencapai 38,5 ribu ton per tahun pada 2025, meningkat tajam menjadi 185,8 ribu ton per tahun pada 2030, dan terus melonjak hingga 330,8 ribu ton per tahun pada 2035. Hal ini sejalan dengan target pengurangan emisi CO_2 yaitu 11% pada tahun 2025, 33% pada tahun 2030, dan 43% pada tahun 2035.

Sementara itu, industri pupuk diperkirakan membutuhkan 500,6 ribu ton per tahun hidrogen pada 2030, dan angka ini meningkat menjadi 631,6 ribu ton per tahun pada 2035, sejalan dengan upaya transisi dari penggunaan gas alam menuju amonia hijau sebagai bahan baku pembuatan pupuk urea.

Pada sektor industri kilang minyak, kebutuhan diprediksi akan mencapai 369,4 ribu ton per tahun pada 2030. Angka-angka ini mencerminkan pentingnya hidrogen bersih sebagai bahan baku dan sumber energi untuk industri-industri kunci yang sebelumnya sangat bergantung pada bahan bakar fosil. Pertumbuhan permintaan ini menunjukkan bahwa hidrogen bersih akan memainkan peran sentral dalam transformasi industri dan pengurangan emisi karbon, sekaligus membuka peluang investasi dan inovasi di sektor energi bersih dan rantai pasok hidrogen.

Pada tahun 2030, sektor transportasi membutuhkan 438 ton hidrogen, dan permintaan ini meningkat menjadi 3,7 ribu ton pada tahun 2035. Hal ini berkaitan dengan peningkatan penggunaan kendaraan berbahan bakar hidrogen (FCEV), terutama untuk transportasi berat dan komersial. Hidrogen berpotensi menjadi bahan bakar alternatif yang rendah emisi, menggantikan bahan bakar fosil yang konvensional dan mendukung target *net-zero* di sektor transportasi.

Kebutuhan di sektor pembangkit listrik diperkirakan mencapai 30,1 ribu ton per tahun pada 2030 dan 88,7 ribu ton per tahun pada 2035. Hidrogen digunakan sebagai bahan bakar untuk turbin pembangkit listrik berbasis hidrogen dan campuran dengan gas alam. Penggunaan hidrogen dalam pembangkit listrik akan memungkinkan pengurangan emisi secara drastis di sektor energi yang saat ini masih dominan menggunakan bahan bakar fosil.

Kebutuhan hidrogen di sektor jaringan gas diproyeksikan sebesar 2,9 ribu ton per tahun pada 2030 dan meningkat menjadi 7,6 ribu ton per tahun pada 2035. Hidrogen dapat dicampurkan dengan gas alam di jaringan distribusi gas (*blending*) untuk memperbaiki jejak karbon dari gas alam. Ini merupakan langkah strategis untuk mendekarbonisasi sistem pemanas dan distribusi energi yang selama ini mengandalkan gas alam.

b. Amonia

Pengembangan amonia dalam fase Inisiasi (IN) difokuskan pada industri pupuk, dan pembangkit listrik sebagai bagian dari strategi transisi energi bersih. Untuk mendukung implementasi ini, berbagai proyek percontohan (*pilot project*) dikembangkan guna menguji kelayakan teknologi dan dampak lingkungan dari penggunaan amonia. Berdasarkan FGD yang telah dilakukan, teridentifikasi lebih dari 200 kegiatan yang mendukung fase inisiasi khususnya dalam tahapan pemanfaatan. Kegiatan-kegiatan ini dapat dilihat dalam Lampiran **Tabel B.**

Program pemanfaatan amonia secara keseluruhan mencakup berbagai inisiatif yang melibatkan studi dan litbang, uji coba pilot dan demonstrasi, serta investasi dan komersialisasi. Dalam tahap studi dan litbang, beberapa penelitian *co-firing* amonia dengan batu bara dan biomassa tengah dilakukan oleh BRIN, University of Tokyo, dan ITB untuk mengeksplorasi potensi teknis serta dampak lingkungan, termasuk pengurangan emisi SOx dan NOx. Selain itu, studi pemodelan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) yang melibatkan ITS, PLN, BRIN, dan NTU Singapura juga dijalankan untuk menganalisis karakteristik pembakaran amonia dalam sistem pembangkit.

Di sektor industri pupuk, transisi menuju amonia bersih semakin diperkuat dengan keputusan investasi akhir (*Final Investment Decision*/FID) yang mencakup produksi *blue ammonia* menggunakan teknologi *Carbon Capture and Storage* (CCS). Inisiatif ini didukung oleh studi CCS *Hub* di Kutai Basin, yang dijalankan oleh Pupuk Indonesia dan Chevron New Energy dari September 2024 hingga Maret 2025, sebagai bagian dari upaya mengurangi emisi karbon dan meningkatkan daya saing industri pupuk dalam pemanfaatan amonia bersih. Sementara itu, di sektor ketenagalistrikan, proyek percontohan *co-firing* 3% amonia di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara sudah dilakukan untuk mengurangi emisi karbon pada proses pembangkitan listrik. Selain uji coba awal, upaya pengembangan teknologi terus berlanjut untuk meningkatkan rasio *co-firing* amonia dengan batu bara, guna memastikan efektivitas dan efisiensi dalam mendukung transisi energi yang lebih ramah lingkungan.

Pada tahap investasi dan komersialisasi, Pupuk Indonesia tengah mengembangkan proyek *Hybrid Green Ammonia* di dua lokasi strategis, yakni Aceh dan Gresik, dengan target kapasitas masing-masing 33.000 MTPY (COD 2027) dan 82.500 MTPY (COD 2028). Proyek ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas produksi amonia hijau dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan, sekaligus mendukung dekarbonisasi industri nasional. Selain itu, studi kelayakan lokasi untuk pengembangan amonia di Masela juga tengah dikaji, bersama dengan kerja sama strategis antara Pupuk Indonesia dan IHI Corporation dalam MOU *Green Ammonia* dan *Co-Firing Business Development & Feasibility Study*, yang berlangsung dari Desember 2022 hingga Desember 2024. Secara keseluruhan, rangkaian inisiatif ini menunjukkan komitmen kuat dalam mengembangkan ekosistem amonia yang berkelanjutan, dengan pendekatan yang terintegrasi dari sisi penelitian, implementasi teknologi, serta investasi industri. Dengan adanya langkah-langkah ini, Indonesia semakin siap dalam mempercepat transisi menuju ekonomi rendah karbon yang lebih kompetitif, berkelanjutan, dan berdaya saing global.

PLN bersama dengan IHI Corporation dan Pupuk Kujang mengembangkan proyek *co-firing* 3% amonia pertama di Indonesia di PLTU Labuan selama 8 jam. Dalam kolaborasi ini, PLN Indonesia Power sebagai pemilik aset PLTU, IHI menyediakan teknologi *burner*, dan Pupuk Kujang memproduksi *green ammonia*. *Green ammonia* tersebut berasal dari *green hydrogen* yang dihasilkan dari ekses hidrogen unit PLTGU PLN di Cilegon, Priok, dan Tambak Lorok.

PLN bersama dengan IHI Corporation dan Pupuk Kujang mengembangkan proyek *co-firing* amonia pertama di Indonesia di PLTU Labuan. Foto: PLN

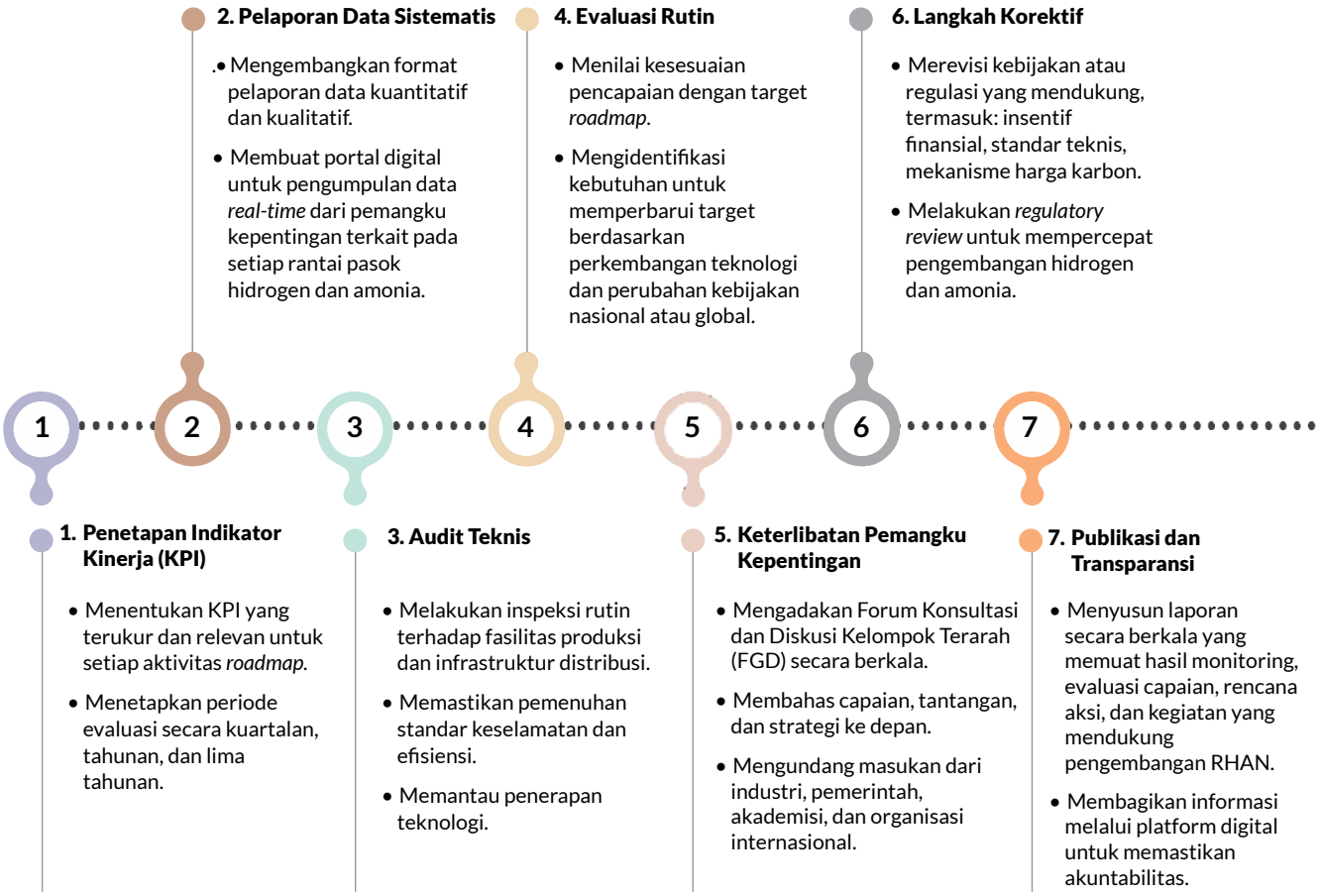


4.3. Monitoring & Evaluasi Kegiatan

Skema Monitoring dan Evaluasi dirancang sebagai mekanisme strategis untuk memastikan bahwa seluruh kegiatan dalam *roadmap* dapat terlaksana secara efektif dan efisien guna mencapai target yang telah ditetapkan. Sistem ini berperan penting dalam memberikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan program, memastikan kepatuhan terhadap standar yang berlaku, serta mengoptimalkan sumber daya yang digunakan dalam implementasi kebijakan terkait.

Gambar 47 menyajikan skema pemantauan dokumen RHAN, yang terdiri dari berbagai tahapan terintegrasi untuk mengukur kemajuan setiap kegiatan, mengevaluasi pencapaian target, serta mengidentifikasi potensi tantangan yang mungkin muncul dalam proses implementasi. Setiap tahapan dalam skema ini dirancang untuk memberikan umpan balik secara berkala, sehingga memungkinkan penyesuaian strategi apabila ditemukan kendala yang dapat menghambat pencapaian sasaran.

Gambar 47. Skema monitoring dokumen RHAN



Pengembangan industri hidrogen dan amonia memerlukan pendekatan yang sistematis dan berbasis data agar dapat berjalan secara efektif dan berkelanjutan. Langkah pertama dalam proses ini adalah penetapan Indikator Kinerja Utama (KPI) yang terukur dan relevan dengan setiap aktivitas dalam *roadmap*. **KPI** ini menjadi acuan utama dalam mengevaluasi pencapaian target, yang dilakukan secara berkala, baik tahunan maupun dalam siklus lima tahunan, untuk memastikan keselarasan dengan perkembangan industri dan kebijakan global.

Untuk mendukung transparansi dan pengambilan keputusan berbasis data, diperlukan **pelaporan data yang sistematis**. Pengembangan format pelaporan kuantitatif dan kualitatif yang terstruktur menjadi prioritas, termasuk pemanfaatan portal digital untuk mengumpulkan data *real-time* dari berbagai pemangku kepentingan di seluruh rantai pasok hidrogen dan amonia. Dengan adanya sistem ini, pemantauan dan evaluasi dapat dilakukan secara

lebih akurat dan efisien. Selain itu, audit teknis menjadi bagian penting dalam memastikan bahwa fasilitas produksi dan infrastruktur distribusi memenuhi standar keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan. Inspeksi rutin dilakukan untuk mengidentifikasi potensi risiko serta memastikan bahwa teknologi yang diterapkan selalu mengikuti perkembangan terkini.

Selanjutnya, **evaluasi rutin** dilakukan untuk mengukur kesesuaian capaian dengan target yang telah ditetapkan dalam *roadmap*. Evaluasi ini juga mencakup identifikasi kebutuhan untuk memperbarui target berdasarkan perkembangan teknologi serta perubahan kebijakan nasional dan global. Jika dalam evaluasi ditemukan hambatan dalam implementasi kebijakan atau pencapaian target, maka langkah korektif segera dilakukan. Hal ini meliputi revisi kebijakan, penyesuaian insentif finansial, standardisasi teknis, serta mekanisme tarif yang lebih kompetitif. *Regulatory review* juga dilakukan untuk mempercepat pengembangan industri dengan memastikan kebijakan tetap adaptif terhadap kebutuhan pasar.

Selain aspek teknis dan regulasi, **keterlibatan berbagai pemangku kepentingan** menjadi faktor kunci dalam pengembangan industri ini. Forum Konsultasi dan Diskusi Kelompok Terarah (FGD) diadakan secara berkala untuk membahas capaian, tantangan, dan strategi ke depan. Dengan melibatkan industri, pemerintah, akademisi, serta organisasi internasional, diharapkan kebijakan yang disusun menjadi lebih inklusif dan efektif dalam mendorong pertumbuhan sektor hidrogen dan amonia.

Sebagai langkah akhir, publikasi dan transparansi menjadi aspek yang tidak kalah penting dalam menjaga akuntabilitas. **Laporan monitoring dan evaluasi** diterbitkan secara berkala untuk memberikan gambaran mengenai pencapaian, tantangan, serta rencana aksi yang sedang dan akan dilakukan. Pemanfaatan platform digital juga memainkan peran penting dalam memastikan bahwa seluruh pemangku kepentingan memiliki akses terhadap informasi yang relevan. Dengan pendekatan yang sistematis ini, industri hidrogen dan amonia dapat berkembang secara optimal, berdaya saing tinggi, serta berkontribusi terhadap transisi energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

Dengan adanya pemantauan yang sistematis dan evaluasi yang berkelanjutan, pelaksanaan kebijakan dapat lebih adaptif terhadap perubahan kondisi eksternal, seperti perkembangan teknologi, perubahan regulasi, maupun dinamika pasar global. Keseluruhan skema ini bertujuan untuk memastikan transparansi, meningkatkan akuntabilitas, serta memperkuat efektivitas implementasi program dalam jangka panjang.



Salah satu konsep mobil tenaga hidrogen yang dipamerkan dalam ajang GIIAS pada 23 Juli 2024. —Toto Santiko Budi, Shutterstock


NH 3

Lampiran



Lampiran A: Pemangku Kepentingan

Lampiran A.1. Daftar Peserta Konsensus

Kementerian ESDM
- Sekretariat Jenderal ESDM
- Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi
- Direktorat Konservasi Energi, Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE)
- Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS, Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi
- Biro Fasilitasi Kebijakan Energi dan Persidangan, Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional

Kementerian/Lembaga
- Kementerian Perindustrian
- Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, Kementerian Perhubungan
- Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, Kementerian Perhubungan
- Direktorat Jenderal Perkeretaapian, Kementerian Perhubungan
- Pusat Pengelolaan Transportasi Berkelanjutan, Kementerian Perhubungan
- Pusat Kebijakan Sarana Transportasi, Badan Kebijakan Transportasi, Kementerian Perhubungan
- Pusat Penelitian Konversi dan Konservasi Energi, Badan Riset dan Inovasi Nasional
- Pusat Penelitian Proses Industri dan Teknologi Manufaktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional
- Pusat Penelitian Teknologi Lingkungan dan Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Perguruan Tinggi
- Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara
- Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia

BUMN/Anak Usaha BUMN
- PT PLN (Persero)
- PT Pupuk Indonesia (Persero)
- PT Semen Indonesia (Persero) Tbk
- PT Kereta Api Indonesia (Persero)
- PT PLN Indonesia Power
- PT Perusahaan Gas Negara Tbk
- PT Pertamina Geothermal Energy Tbk
- PT Kilang Pertamina Internasional
- PT Pertamina New and Renewable Energy
- PT Garam
- PT Surveyor Indonesia
- PT Sucofindo
- PT Transportasi Gas Indonesia
- Research and Technology Innovation, PT Pertamina (Persero)

Badan Usaha
- PT Vale Indonesia Tbk
- PT Chandra Asri Pacific Tbk
- PT Pamapersada Nusantara
- PT DENSO Indonesia
- PT Generator Pasifik Indonesia
- PT GT Ladang Teknik
- PT Kaltim Parna Industri
- PT HDF Energy Indonesia
- Hyundai Engineering
- PT TÜV NORD Indonesia
- PT KIS
- PT KMI
- Sumitomo
- PT Generator Pasifik
- PT Summit Niaga

Asosiasi/Organisasi
- Asosiasi Gas Industri Indonesia (AGII)
- Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo)
- Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI)
- Indonesia Fuel Cell and Hydrogen Energy (IFHE)
- Lembaga Sertifikasi Profesi Energi Terbarukan (LSP-ET)
- Asosiasi Produsen Oleochemical Indonesia (APOLIN)

Mitra Kerja Sama
- UK Mentari
- GIZ ExploRE
- Institute for Essential Services Reform (IESR)



KONSENSUS PETA JALAN HIDROGEN DAN AMONIA NASIONAL











Lampiran A1. Pengodean Strategi Hidrogen Nasional

STRATEGI HIDROGEN NASIONAL (SHN)

1. Indonesia akan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil untuk menjamin kedaulatan dan ketahanan energi

1.1. Percepatan Implementasi Energi Terbarukan

1.2 Merencanakan Penggunaan Hidrogen yang Andal dan Efisien

1.3 Mendukung Akses Listrik Berkualitas Tinggi Secara Menyeluruh

2. Indonesia Berupaya Mencapai Target Dekarbonisasi dengan Mengembangkan Pasar Hidrogen Domestik

2.1 Mengembangkan iklim regulasi yang jelas

2.2 Mengembangkan industri hidrogen terintegrasi

2.3 Menyediakan infrastruktur pengisian bahan bakar hidrogen

3. Indonesia Akan Mengekspor Hidrogen dan Produk Turunannya ke Pasar Global

3.1 Mengembangkan produk rendah karbon

3.2 Mengembangkan bahan bakar rendah karbon untuk komoditas ekspor

3.3 Membuat perjanjian bilateral

Kode Pilar
Menentukan klasifikasi pada pilar SHN

Kode sub-pilar
Setiap pilar memiliki sub- strategi

CONTOH KODE STRATEGI HIDROGEN NASIONAL PADA TULISAN :

Rencana strategis implementasi yang mencakup inisiasi penelitian dan pengembangan infrastruktur rantai pasok hidrogen dan amonia, serta pengembangan kapasitas dan kompetensi personal, secara langsung mendukung Strategi Hidrogen Nasional (SHN). Hal ini sejalan dengan pilar **SHN2**, yaitu upaya Indonesia untuk mencapai target dekarbonisasi melalui pengembangan pasar hidrogen domestik.

Secara lebih spesifik, kegiatan ini mendukung dua aspek utama dalam pilar SHN2:

- SHN 2.1: Mengembangkan iklim regulasi yang jelas dan komprehensif.
- SHN 2.2: Membangun industri hidrogen yang terintegrasi dan berkelanjutan

CONTOH KODE KEGIATAN MENDUKUNG STRATEGI HIDROGEN NASIONAL PADA LAMPIRAN :

SHN 2.2, 3.2 **Mendukung Strategi Hidrogen Nasional dalam Mengembangkan Iklim Regulasi yang jelas dan Mengembangkan Bahan Bakar Rendah Karbon untuk Komoditas Ekspor.**

SHN 1.3, 3.3 **Mendukung Strategi Hidrogen Nasional dalam Mendukung Akses Listrik Berkualitas Tinggi Secara Menyeluruh dan Membuat perjanjian bilateral.**

Untuk informasi lebih rinci, kode lengkap dapat dilihat pada Gambar 43 dan Gambar 45 dalam dokumen Roadmap Hidrogen dan Amonia Nasional (RHAN).

Pengodean memastikan seluruh kegiatan yang teridentifikasi dalam mendukung pembentukan ekosistem hidrogen selaras dengan SHN, dan tahapan dalam strategi implementasi.

Lampiran A2. Pengodean Strategi Implementasi

JANGKA PENDEK (FASE INISIASI: 2025–2034)

KODE: **IN**

Kode IN	Rencana Strategis Implementasi
1	Penyusunan strategi dan *roadmap* hidrogen & amonia rendah karbon nasional komprehensif untuk Indonesia
2	Pelaksanaan studi kelayakan untuk produksi, penyimpanan, transportasi, dan penggunaan hidrogen & amonia rendah karbon
3	Inisiasi pilot proyek hidrogen & amonia rendah karbon dan/atau hijau
4	Penyusunan regulasi, standar, dan sertifikasi hidrogen & amonia rendah karbon
5	Penyusunan skema insentif dan perdagangan karbon untuk pengembangan hidrogen & amonia rendah karbon
6	Inisiasi skema pembiayaan untuk investasi proyek hidrogen & amonia rendah karbon
7	Inisiasi penelitian dan pengembangan infrastruktur rantai pasok hidrogen & amonia dalam negeri
8	Inisiasi dalam menjalin kemitraan internasional untuk berbagi pengetahuan dan kolaborasi
9	Pengembangan kapasitas dan kompetensi personel

JANGKA MENENGAH (FASE PENGEMBANGAN DAN INTEGRASI: 2035–2045)

KODE: **PI**

Kode PI	Rencana Strategis Implementasi
1	Evaluasi kemajuan dan peningkatkan pengawasan implementasi *roadmap*
2	Penyusunan studi dalam rangka meningkatkan integrasi insfrastruktur hidrogen & amonia sehingga tercapai efisiensi dan keberlanjutan.
3	Peningkatan investasi infrastruktur hidrogen hijau dan fasilitas penyimpanannya, dan jaringan nasional stasiun pengisian hidrogen untuk transportasi.
4	Penyusunan kebijakan untuk percepatan pemanfaatan hidrogen & amonia hijau
5	Penyusunan skema insentif dan perdagangan karbon untuk pengembangan hidrogen & amonia hijau
6	Peningkatan penggunaan hidrogen & amonia rendah karbon dan/atau hijau dalam sektor industri, pembangkit listrik, jargas, dan transportasi.
7	Peningkatan investasi hidrogen & amonia rendah karbon dan/atau hijau
8	Pengarusutamaan inovasi teknologi infrastruktur rantai pasok hidrogen & amonia dalam negeri untuk mencapai efisiensi
9	Indonesia menjadi *hub* hidrogen & amonia rendah karbon di ASEAN
10	Pengembangan kapasitas dan kompetensi personel

JANGKA PANJANG (FASE AKSELERASI DAN BERKELANJUTAN: 2045–2060)

KODE: **AB**

Kode AB	Rencana Strategis Implementasi
1	Evaluasi kemajuan dan penguatan pengawasan implementasi *roadmap*.
2	Peningkatan investasi infrastruktur rantai pasok hidrogen & amonia hijau yang terintegrasi untuk mencapai keekonomian, keberlanjutan, kemandirian teknologi nasional, dan daya saing Indonesia di tingkat global.
3	Berperan aktif dalam menjalin kemitraan internasional untuk memperkuat peran Indonesia dalam rantai pasok hidrogen hijau global.
4	Mencapai posisi Indonesia sebagai salah satu pemain penting hidrogen & amonia hijau di pasar global.

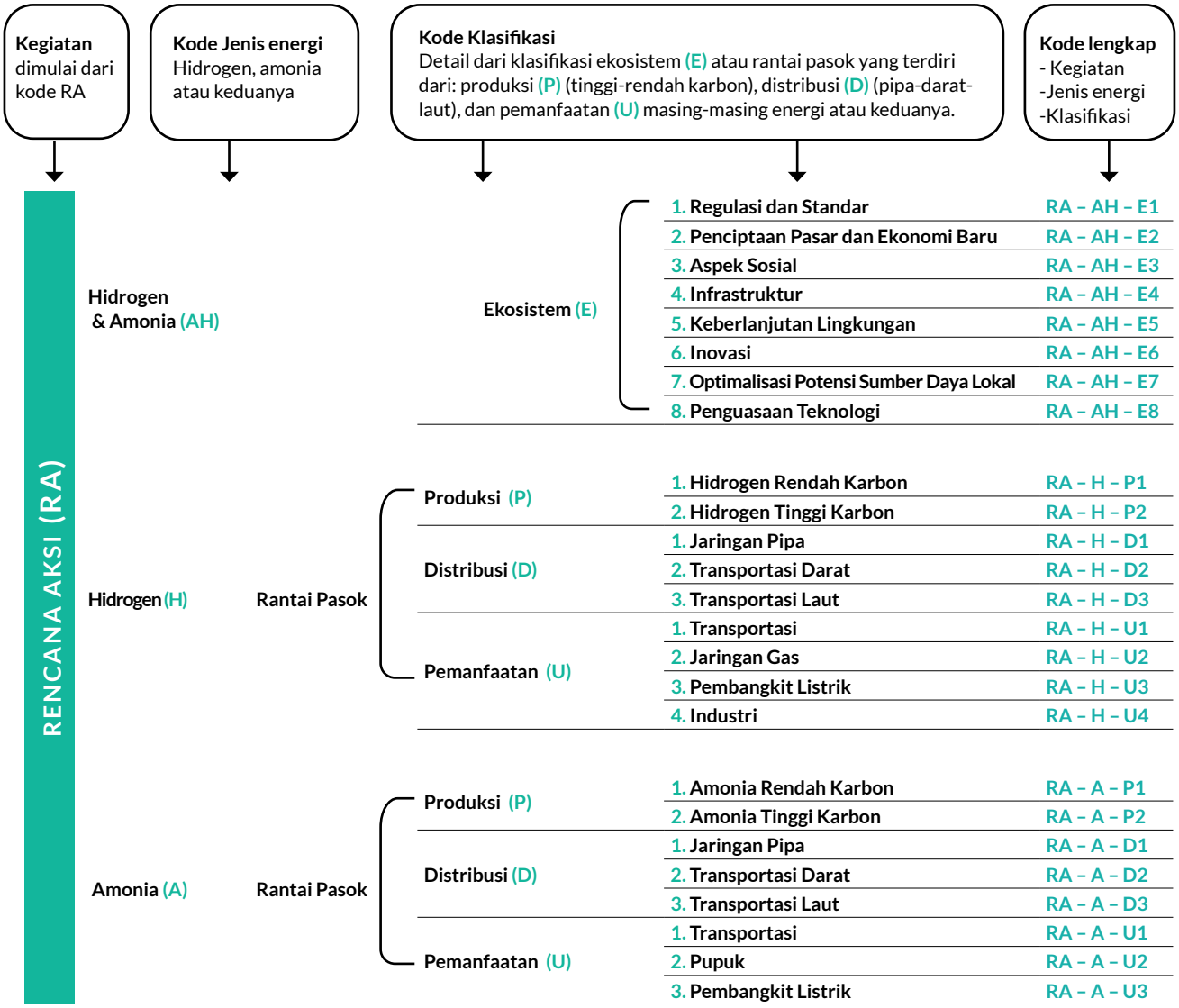
CONTOH KODE STRATEGI IMPLEMENTASI PADA TULISAN :

Kegiatan ini mendukung Rencana Strategi Implementasi (SI) pada fase inisiasi, khususnya dalam hal penelitian dan pengembangan serta pembangunan infrastruktur rantai pasok hidrogen dan amonia di dalam negeri **(kode IN-7).** Selain itu, kegiatan ini juga berkontribusi pada pengembangan kapasitas dan kompetensi personal **(kode IN-9).**

IN-7 Inisiasi penelitian dan pengembangan infrastruktur rantai pasok hidrogen & amonia dalam negeri

IN 9 Pengembangan kapasitas dan kompetensi personel

Lampiran A3. Pengodean Rencana Aksi



CONTOH TULISAN KODE KEGIATAN RENCANA AKSI:

Kegiatan "Lesson Learned from Countries that Successfully Implement Hydrogen" bertujuan untuk menunjang pengembangan regulasi dan standar dalam ekosistem hidrogen dan amonia, yang tercermin dalam kode **RA-AH-E1.**

RA-AH-E1 **Rencana Aksi Hidrogen-Amonia pada Ekosistem Regulasi dan Standar**

CONTOH KODE KEGIATAN RENCANA AKSI PADA LAMPIRAN :

RA - H - P1 **Rencana Aksi Hidrogen pada Produksi Hidrogen Rendah Karbon**

RA - AH - E2 **Rencana Aksi Hidrogen-Amonia pada Ekosistem Penciptaan Pasar dan Ekonomi Baru**

RA - H - D3 **Rencana Aksi Hidrogen pada Distribusi Transportasi Laut**

Lampiran B: Tabel Kegiatan

Tabel B. Keterkaitan Program dan Kegiatan dari Berbagai Pemangku Kepentingan dengan Pilar Strategi Hidrogen Nasional (SHN), Strategi Implementasi (SI), dan Rencana Aksi (RA) dalam Pengembangan Ekosistem Hidrogen dan Amonia

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
1	***Regulation Needed in Developing Green Hydrogen.*** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	GGGI; KESDM	2023	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2 **SI:** IN-4, IN-5 **RA:** RA - AH - E1
2	***Lesson Learned from Countries that Successfully Implement Hydrogen*** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	GGGI; KESDM	2023	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2, 3.3 **SI:** IN-7, IN-9 **RA:** RA - AH - E1
3	**Pengembangan Hidrogen Hijau di Indonesia untuk RPJMN 2025–2029** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	GIZ; KESDM; Bappenas	2023	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 3.1 **SI:** IN-6, IN-1 **RA:** RA - AH - E1
4	***Enabling Ecosystem for Green Hydrogen Implementation.*** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	UNDP; KESDM; Kemenhut	2023	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.3 **SI:** IN-6, IN-9 **RA:** RA - AH - E1
5	***Develop and support uptake of green financing schemes.*** (Keekonomian Rantai Pasok dan Sistem Keuangan Berkelanjutan)	UNDP; KESDM; Kemenhut	2023	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2, 3.3 **SI:** IN-7, IN-9 **RA:** RA - H - E1
6	**Penyusunan Strategi Hidrogen Nasional** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	KESDM (EBTKE); MENTARI-UK	Selesai di tahun 2023	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.1, 2.2 **SI:** IN-1, IN-5 **RA:** RA - H - E1
7	**Pembentukan Komite Teknis 27-11 Teknologi Hidrogen** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	KESDM (EBTKE); BSN	Terbentuk di tahun 2023	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.1 **SI:** IN-1, IN-4 **RA:** RA - H - E1
8	**Penyusunan *Roadmap* Hidrogen dan Amonia Nasional (RHAN)** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	KESDM (EBTKE), GGGI, ITB, Seluruh *Stakeholder* terkait	Penyelesaian di tahun 2024	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.1, 2.2 **SI:** IN-1, IN-5 **RA:** RA - H - E1
9	**Kajian Akademis usulan KBLI Hidrogen** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	KESDM (EBTKE), BPS, BKPM, MENTARI, ITB, RINA, Seluruh *Stakeholder* terkait	Penyelesaian di tahun 2024	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2 **SI:** IN-4, IN-5 **RA:** RA - AH - E1
10	**Penyusunan Naskah Akademis Rancangan PP hidrogen sebagai regulasi induk pengembangan hidrogen di Indonesia** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	KESDM, GiZ Explore, PSE-UGM, Seluruh *Stakeholder* terkait	Penyelesaian di awal tahun 2025	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2 **SI:** IN-4, IN-5 **RA:** RA - AH - E1
11	***Enabling Ecosystem for Green Hydrogen Implementation*** (Regulasi Nasional/ *benchmarking* internasional)	UNDP	N/A	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 2.1, 3.1 **SI:** IN-4 **RA:** RA - AH - E1
12	***Data Center H_2 Plant*** (Penelitian dan Pengembangan)	PLN NP	2026	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 3.3 **SI:** IN-10 **RA:** RA - AH - E6
13	***Capacity Building* H_2 ekosistem** (Pengujian dan Sertifikasi Kompetensi Personil)	PLN NP	2025	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.1, 2.2 **SI:** IN-1, IN-10 **RA:** RA - AH - E5
14	**Pada fase inisiasi diperlukan pembentukan LSPRO, LSP, Lab Uji, TUK, dll. untuk mendukung ekosistem rantai pasok hidrogen** (Pengujian dan Sertifikasi Produk)	Lembaga Penilaian Kesesuaian	Sebagai implementasi dari standar produk dan standar kompetensi personel	Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2 **SI:** IN-4, IN-8, **RA:** IN-10 RA - AH - E4

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
15	***Integrated Studies on High Efficiency Hydrogen Production, Storage and Utilization toward NZE*** (Studi & Litbang)	PERTAMINA, UGM, LDPD	Proyek kerja sama riset antara Pertamina dan UGM terkait teknologi *electrolyzer*, *storage* dan *fuel cell* didanai oleh LPDP Inspirasi (*on going*)	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, 3.3 **SI:** IN-3, IN-8, **RA:** IN-10 RA - H - P1
16	***Green Hydrogen* dari *Floating* PV** (Studi & Litbang)	BRIN;PLN-PJB	N/A	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 1.2, 2.1, 2.2, **SI:** 2.3, 3.1, 3.2 **RA:** IN-2, IN-3 RA - H - P1
17	**Produksi BioHidrogen** (Studi & Litbang)	BPPT/BRIN/PTPN	2018–sekarang	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 1.2, 2.2, **SI:** 2.3, 3.2 **RA:** IN-2, IN-3 RA - H - P1
18	**Biohidrogen dari Limbah Organik & Biomassa Darat atau Rumput Laut** (Studi & Litbang)	BRIN/PTPN		Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 1.2, 2.2, **SI:** 2.3, 3.2 **RA:** IN-2, IN-3 RA - H - P1
19	***Green Hydrogen Production from Wastewater*** (Studi & Litbang)	BRIN (Mekdas-PRLTB-Mikter) bekerja sama dengan UCLouvain Belgia dan National Energy Technology Center (ENTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Thailand	Riset mulai berjalan 2025–2027	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2, IN-3 **RA:** RA - H - P1
20	**Penjajakan untuk Studi Produksi Hidrogen Rendah Karbon** (Studi & Litbang)	CHANDRA ASRI	Masih dalam tahap penjajakan inisiatif	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 3.2 **SI:** IN-2, IN-7 **RA:** RA - H - P1 RA - H - P2
21	**Penilaian Proyek *Green Hydrogen*** (Investasi & Komersial)	BBSP KEBTKE; HDF	Studi di tahun 2022	Produksi Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-6, IN-7 **RA:** RA - H - P1
22	***Green Hydrogen Development Market Study*** (Studi & Litbang)	GEF; KESDM; KEMENHUT; UNDP	Studi di tahun 2023	Produksi Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-6, IN-7 **RA:** RA - H - P1
23	**Pilot *Green Hydrogen* 10 MW dan 1 GW di KEK Sei Mangkei, Sumatra Utara** (Pilot & Demonstrasi)	Korsel (KIAT); KESDM; Bappenas; GGGI	Pengembangan mulai tahun 2023	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-6, IN-3 **RA:** RA - H - P1
24	**Studi Pengembangan Hidrogen** (Studi & Litbang)	KRAKATAU STEEL; SEMPCORP; PPI	Studi di tahun 2021	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-6, IN-2 **RA:** RA - H - P1
25	***Develop and Support Uptake of Green Financing Schemes*** **(**Mekanisme Insentif)	UNDP	Studi di tahun 2021	Produksi Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2 **SI:** IN-5 **RA:** RA - H - P1
26	**Kajian Pemanfaatan Energi Geotermal untuk Produksi *Green Hydrogen*** (Studi & Litbang)	PERTAMINA, GIZ ExploRE	Kajian dilakukan 2021–2022 dan telah selesai	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3, IN-8 **RA:** RA - H - P1 RA - AH - E2
27	**Kolaborasi Proyek Pilot Hidrogen Hijau Berbasis Panas Bumi di Lahendong Sulawesi Utara dengan Kapasitas 0,5 MW.** (Pilot & Demonstrasi)	PGE; TEPCO; JERA; NEDO	2022	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3, IN-8 **RA:** RA - H - P1
28	**Rencana jangka pendek, yaitu produksi hidrogen skala kecil di pabrik PGE Ulubelu** (Investasi & Komersial)	PGE	2021	Produksi HIdrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
29	**Pengembangan Teknologi Solid Oxide *Fuel Cell/Electrolyzer***	PERTAMINA	Proyek Riset ini dijalankan sejak 2023 (*on going*), bersama mitra peneliti ITB	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3, IN-8 **RA:** RA - H - P1
30	**Pengembangan Teknologi Konversi Sampah Plastik menjadi Hidrogen** (Studi & Litbang)	PERTAMINA	Proyek Riset ini dimulai pada 2022 (*on going*), bersama mitra peneliti BRIN	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3, IN-8 **RA:** RA - H - P1
31	**Proyek Pengembangan Ekosistem Hidrogen Indonesia di Indonesia (SMR+HRS)** (Pilot & Demonstrasi)	Pertamina dan Hyundai Motor	*Conceptual Study* sampai dengan Q1 2025, EPC selesai di 2026 dan Target COD di 2027	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
32	**Proyek pengembangan natural hydrogen yang berasal dari eksplorasi di Sulawesi** (Pilot & Demonstrasi)	Pertamina	Studi di tahun 2024	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
33	***Clean hydrogen* untuk RU 3 Plaju yang berasal dari *solar* PV** **(**Investasi & Komersial)	Pertamina	Target COD Q1 2025	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
34	**Rencana Hidrogenasi PLTS Medang di NTB** (Studi & Litbang)	BRIN; PLN	Pemanfaatan *excess* PV dengan hidrogen pada tahun 2025	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
35	**Pembangunan PLTS *Fuel Cell* 1,5 MW di Waingapu-NTT** (Investasi & Komersial)	Mitra terpilih; PLN	Rencana COD di tahun 2027	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
36	**Kajian pemanfaatan PV Baterai dan Hidrogen di Indonesia Timur (22 lokasi)** (Studi & Litbang)	PLN, Mitra, USDFC	Kajian jaringan awal sudah selesai, sedang proses fre-FS. Rencana kajian selesai di tahun 2025	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3, IN-8 **RA:** RA - H - P1 RA - AH - E2
37	**Pengembangan HRS sebanyak 3 lokasi** (Investasi & Komersial)	PLN	Rencana COD 2025	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D1
38	**Pembangunan *Hydrogen Refueling Station* di Senayan** (Investasi & Komersial)	PLN IP	Sudah beroperasi di Feb 2024	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D1
39	**Pembangunan *Green Hydrogen Plant* (GHP) di PLTP Kamojang** (Kapasitas *Electrolyzer)*	PLN IP	Sudah beroperasi di Feb 2024	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
40	**Pembangunan 21 GHP tersebar di Indonesia** (Investasi & Komersial)	PLN IP, PLN NP	Sudah beroperasi di Nov 2023	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
41	**Pembangunan GHP untuk Pupuk Kujang** (Investasi & Komersial)	PLN IP - PLN EPI; Pupuk Indonesia-Pupuk Kujang	Rencana beroperasi 2026	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2 **RA:** RA - H - P1
42	***Co-firing* B35 dan H_2 pada *Diesel Engine* dan PLTD** (Investasi & Komersial)	PLN NP	2025	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3, IN-8 **RA:** RA - H - U3
43	**Riset & *Prototyping RE-BESS-H_2Plant-FC-Diesel-Load-Smart Grid System*** (Studi & Litbang)	PLN NP	2025	Produksi Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - H - P1
44	**Kajian kelayakan *hybrid green ammonia* di Pupuk Iskandar Muda, Aceh** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA (PI); TOYO ENGINEERING CORP.	Studi di tahun 2022–2023	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2 **RA:** RA - A - P1 RA - AH - E2
45	**Studi Teknis Injeksi Amonia Hijau ke Pabrik Amonia Petrokimia Gresik** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA	Des 2024–Mar 2025	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2 **RA:** RA - A - P1

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
46	**MOU *Green Energy and Green Hydrogen Supply*** (Kapasitas *Electrolyzer*)	PUPUK INDONESIA; PERTAMINA POWER INDONESIA	Agustus 2021–Agustus 2024	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1
47	***Head of Term Green Hydrogen Purchase Agreement*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; Mitra; PLN INDONESIA PPOWER; PLN ENERGI PRIMER INDONESIA	Sept 2024–25 tahun + 5 tahun dari *first delivery date*	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1
48	**Produksi *green hydrogen* dari tenaga surya, kemudian produksi *green hydrogen* melalui proses elektrolisis. Selanjutnya *boiler gas* akan diganti dengan *boiler* hidrogen.** (Studi & Litbang)	Amerta Indah Otsuka	Studi di tahun 2023	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1
49	**Produksi *green hydrogen* dari tenaga surya, kemudian produksi *green hydrogen* melalui proses elektrolisis. Selanjutnya *boiler gas* akan diganti dengan boiler hidrogen.** (Investasi & Komersial)	Amerta Indah Otsuka	2023	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1
50	**Rencana produksi hidrogen hijau di Pulau Sumatra dengan kapasitas pembangkit 300 MW dengan kebutuhan lahan 50 hektare.** (Kapasitas *Electrolyzer*)	Augustal Global Investment (AGI) Jerman	2022	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2 **RA:** RA - H - P1
51	**Rencana membangun produksi *green hydrogen*** (Studi & Litbang)	FFI Fortescue	Rencana pengusulan	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
52	**Rencana membangun produksi *green hydrogen*** (Investasi & Komersial)	FFI Fortescue	N/A	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
53	**Konstruksi *green hydrogen* 10 MW dan 1 GW** (Investasi & Komersial)	GGGI; Bappenas; Samsung	2023	Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-3, IN-6 **RA:** RA - H - P1
54	**Pembuatan pabrik untuk tujuan ekspor** (Investasi & Komersial)	PT TBS August Global	N/A	Produksi Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - H - P1
55	**Pembuatan pabrik untuk tujuan ekspor** (Investasi & Komersial)	PT TBS August Global	N/A	Produksi Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-6, IN-7 **RA:** RA - H - P1
56	**PEMFC; SOFC; Produksi hidrogen secara AEM, PEMEC, SOEC; Penyimpanan hidrogen. (fokus pada bahan elektrolit dan katalis serta *absorbent*)** (Studi & Litbang)	BRIN; Universiti Kebangsaan Malaysia; UI	2022–sekarang	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2, IN-8 **RA:** RA - H - P1 RA - H - D1 RA - H - D2 RA - H - D3
57	**Penandatanganan MoU terkait asesmen proyek hidrogen** (Investasi & Komersial)	HDF; BBSP KESDM	N/A	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-6, IN-9 **RA:** RA - H - P1 RA - H - P2 RA - H - D1 RA - H - D2 RA - H - D3 RA - H - U1 RA - H - U2 RA - H - U3 RA - H - U4
58	**Studi Kelayakan Rantai Pasokan Hidrogen Hijau (Hulu-Hilir)** (Studi & Litbang)	KESDM (EBTKE, LEMIGAS), IFHE	Selesai di tahun 2023	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.3 **SI:** IN-2, IN-8 **RA:** RA - H - P1 RA - H - D1
59	***Joint* riset H_2 ekosistem dengan Mitra** (Studi & Litbang)	PLN - PLN NP- PLN IP- PLN EPI; BRIN-IFHE	2025	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.3 **SI:** IN-8 **RA:** RA - H - P1

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
60	**Kajian Tematik: Pengembangan Hidrogen Hijau di Indonesia untuk RPJMN** (Studi & Litbang)	Explore GIZ; Bappenas; KESDM	Analisis Kebijakan di tahun 2023	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2 **RA:** RA - H - P1 RA - H - P2 RA - H - D1 RA - H - D2 RA - H - D3 RA - H - U1 RA - H - U2 RA - H - U3 RA - H - U4
61	**MOU *Blue/Green Hydrogen, Blue/Green Ammonia Business Value Chain*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; PERTAMINA; MITSUBISHI CORPORATION	Maret 2022–Sep 2023	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen • Produksi Amonia • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
62	**MOU Pengembangan *Green Hydrogen* & *Green Ammonia*** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; AUGUSTUS GLOBAL INVESTMENT GMBH	Jul 2023–Jul 2025	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen • Produksi Amonia • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1 RA - A - P1
63	**NDA Pengembangan *Green Hydrogen* & *Green Ammonia*** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; AUGUSTUS GLOBAL INVESTMENT GMBH	Jul 2023–Jul 2025	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen • Produksi Amonia • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1 RA - A - P1
64	**JDSA Pengembangan *Green Hydrogen/ Green Ammonia*** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; PLN	Des 2023–Des 2025	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen • Produksi Amonia • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1 RA - A - P1
65	***Evaluate Financial and Investment Aspect such as Cost, Financial and Investment Analysis*** (Studi & Litbang)	GGGI; KESDM	2023	• Produksi Hidrogen • Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen • Produksi Amonia • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 2.2, 3.2, 3.3 **SI:** IN-7, IN-10 **RA:** RA - H - P1
66	**Amonia biru di Pelabuhan Tanjung Api** (Investasi & Komersial)	PERTAMINA; PUPUK INDONESIA		• Produksi Hidrogen • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-3,IN-6 **RA:** RA - A - D3
67	**Rencana jangka menengah, yaitu meningkatkan kapasitas produksi hidrogen untuk mendukung pertumbuhan penggunaan truk berbasis *Fuel Cell Electric Vehicle* (FCEV) dan meningkatkan jumlah stasiun pengisian bahan bakar hidrogen untuk cakupan yang luas** (Investasi & Komersial)	PGE	2021	• Produksi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, 3.3 **SI:** IN-3, IN-6, **RA:** IN-10 RA - H - P1
68	***Bankable Feasibility Study Green Hydrogen* Gresik** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA	Des 2024–Feb 2025	• Produksi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2 **RA:** RA - H - P1 RA - AH - E2
69	***Joint study* produksi dan pemanfaatan *green hydrogen* dari panas bumi** (Studi & Litbang)	Explore GIZ; Pertamina	Studi di tahun 2022	• Produksi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2 **RA:** RA - H - P1 RA - H - P2 RA - H - U1 RA - H - U2 RA - H - U3 RA - H - U4
70	**Pengembangan CCS di cekungan-cekungan yang ada di Kalimantan Timur** (Investasi & Komersial)	PERTAMINA RTI; CHEVRON	N/A	• Produksi Hidrogen • Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, 3.2 **SI:** IN-2, IN-8 **RA:** RA - H - P1
71	**Fasilitas pemrosesan industri untuk memproduksi 650.000 ton hidrogen hijau untuk dikonversi menjadi 3,7 juta ton amonia hijau per tahun** (Investasi & Komersial)	FORTESQUE FUTURE INDUSTRIES	Studi di tahun 2021	• Produksi Hidrogen • Produksi Amonia	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - A - P1 RA - H - P1

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
72	**Kajian kelayakan CCS dengan kapasitas sebesar 660 ktpa untuk produksi amonia sebagai bahan bakar bersih** (Studi & Litbang)	PANCA AMARA UTAMA; MITSUBISHI	Kajian di tahun 2021	Produksi Amonia	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - A - P1 RA - AH - E2
73	**Mengembangkan rantai pasok *gren/blue ammonia* dan CCS** (Studi & Litbang)	Pertamina; Pupuk Indonesia; Mitsubishi	Studi di tahun 2022	Produksi Amonia	**SHN:** 741.2, 2.2, **SI:** 2.3, 3.2 **RA:** 75IN-2 76RA - A - P1
77	**Pengembangan amonia biru dan di Pelabuhan Patimban dengan kapasitas produksi CCS 32 juta ton.** (Investasi & Komersial)	Pertamina; Pupuk Indonesia; Mitsubishi	Studi di tahun 2022	Produksi Amonia	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - A - P1
78	**Proyek pilot amonia hijau hibrida dengan kapasitas produksi 100 ton/hari dan amonia hijau *standalone* dengan kapasitas 2500 ton/hari di Kujang Cikampek (**Kapasitas *Electrolyzer)*	PUPUK INDONESIA; Mitsubishi	2021	Produksi Amonia	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-3, IN-6, IN-7 RA - A - P1
79	**Pengembangan *Blue Ammonia Plant* di Teluk Bintuni** (Investasi & Komersial)	PERTAMINA-KPI, BP, *strategic partner* potensial lainnya (*in progress*)	*Conceptual Study* selesai di Q1 2024; *In progress* penyusunan pre-FS dengan target Q2 2025, dan *partner selection* dengan target Q4 2025	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P2 RA - AH - E2
80	**Pembangunan GHP untuk Pupuk Gresik** (Investasi & Komersial)	PLN IP-PLN EPI; Pupuk Indonesia; Mitra	Rencana beroperasi 2027	Produksi Amonia	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
81	**Pengembangan bisnis dan rantai pasok amonia biru/hijau dan CCS** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; PERTAMINA; MITSUBISHI CORPORATION	Studi di tahun 2022	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P2
82	**Kajian kelayakan hidrogen hijau di Iskandar Muda, Aceh** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA (PI); TOYO JAPAN	Studi di tahun 2021	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - H - P1 RA - AH - E2
83	**Pengembangan Bisnis dan Rantai Pasok Amonia Biru di Pupuk Iskandar Muda, Aceh** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; MITSUI	2023–saat ini	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P2
84	***Pre-Feasibility Study Green Ammonia* di Pupuk Kujang Cikampek, Jawa Barat** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA	Studi di tahun 2024	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1 RA - AH - E2
85	***Pre-Feasibility Study Green Ammonia* di Petrokimia Gresik, Jawa Timur** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; PLN; Mitra	Studi di tahun 2024	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1
86	***Front End Engineering Design* (FEED) *Hybrid Green Ammonia* di Pupuk Iskandar Muda, Aceh** Investasi & Komersial	PUPUK INDONESIA; TOYO ENGINEERING CORPORATION; ITOCHU CORPORATION	Oktober 2024–Mei 2025	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1
87	***Pre-Feasibility Study* CCS atau *Joint Development Study Agreement*** Studi & Litbang	PUPUK INDONESIA; PERTAMINA	Studi di 2025	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - H - P1 RA - AH - E2
88	***Bankable Feasibility Study Green Ammonia* di Pupuk Kujang Cikampek** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; PLN	Studi di 2025	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1 RA - AH - E2

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
89	***Front End Engineering Design* (FEED) *Blue Ammonia* di Pupuk Kalimantan Timur** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA	Studi di 2025/2026	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P2
90	***Basic Engineering Design* (BED) *Hybrid Green Ammonia* di Petrokimia Gresik** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA	Studi di 2025	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1
91	***Hybrid Green Ammonia* Cikampek: *Utilization margin capacity of existing plant*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA	13.200 MTPY, COD 2030	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
92	***New Plant: Blue Ammonia* Aceh-1** (Kapasitas *Electrolyzer)*	PUPUK INDONESIA	825.000 MTPY, COD 2030	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P2
93	***Replacement/Conversion from Grey Ammonia* PIM-2: *Blue Ammonia* Aceh-2** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA	396.000 MTPY, COD 2035	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P2
94	***New Plant: Blue Ammonia* Masela - 1** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA	660.000 MTPY, COD 2031	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P2
95	***New Plant: Blue Ammonia* Masela - 2** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA	660.000 MTPY, COD 2033	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P2
96	**MOU *Hybrid Green Ammonia Business Development*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; TOYO ENGINEERING CORPORATION	Desember 2021–Desember 2024	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
97	**MOU *for Joint Development Green Ammonia*** (Pilot & Demonstrasi)	PUPUK INDONESIA; TOYO ENGINEERING CORPORATION	Maret 2023–Maret 2026	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
98	***Termination Agreement for MOU for Joint Development Green Ammonia*** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; TOYO	Agustus 2024–Agustus 2026	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
99	**MOU *Green Energy & Green Ammonia*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; ACWA POWER	Februari 2023–Februari 2025	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
100	**NDA *Green Energy & Green Ammonia*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; ACWA POWER	Mei 2023–Mei 2025	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
101	**MOU *Blue Ammonia Business Development* – Aceh** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; PUPUK ISKANDAR MUDA; MITSUI	Juli 2022–Juli 2024	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P2
102	**KSB Pengadaan Jasa Konsultasi Studi Kelayakan Bisnis *Blue Ammonia* & *Value Chain* di PIM** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; MITSUI	Maret 2023–berakhirnya perjanjian jasa konsultansi	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P2
103	**MOU *Blue Ammonia from Abadi Gas Field Business Development*** (Pilot & Demonstrasi)	PUPUK INDONESIA; INPEX	Juli 2022–Desember 2025	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P2
104	**NDA *Green Ammonia* dan *Green Energy*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; FORTESCUE FUTURE INDUSTRIES	Juni 2023–Juni 2028	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
105	**NDA Pengembangan *Carbon Capture, & Storage* (CCS)** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; H&S Technocraft	2023–2026	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1
106	**JDSA Penilaian Penangkapan Karbon untuk Dekarbonsiasi dan Memungkinkan Produksi Amonia Rendah Karbon di Kalimantan Timur** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; CHEVRON ENERGY	Agustus 2024–Agustus 2026	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
107	**MOU *on the Feasibility Study of Pink Ammonia Powered by Nuclear*** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; COPENHAGEN ATOMICS; TOPSOE; AALBORG CSP	Okt 2024–Okt 2026	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1 RA - AH - E2
108	**Sinergi BUMN Dalam Kajian Bersama Pengembangan Potensi CCS** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; PERTAMINA	Sep 2024–Sep 2026	Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1 RA - AH - E2
109	**Fasilitas pemrosesan industri untuk memproduksi 650.000 ton hidrogen hijau untuk dikonversi menjadi 3,7 juta ton amonia hijau per tahun** (Investasi & Komersial)	FORTESQUE FUTURE INDUSTRIES	Studi di tahun 2021	Produksi Amonia	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - A - P1
110	**Kajian kelayakan CCS dengan kapasitas sebesar 660 ktpa untuk produksi amonia sebagai bahan bakar bersih** (Studi & Litbang)	PANCA AMARA UTAMA: Mitsubishi	Kajian di tahun 2021	Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1 RA - AH - E2
111	**Pada 2035, pemanfaaatan hidrogen di sektor transportasi diproyeksikan mencapai 6326 ton: untuk moda transportasi kendaraan FCEV, berdasarkan data pertumbuhan dari Kementerian Perindustrian, kereta api dan kapal laut berdasarkan data ekspansi panjang rel dan kapasitas angkut kapal (*deadweight tonnage*, DWT).** (Investasi & Komersial)	*Stakeholders* sektor transportasi	Diproyeksikan untuk moda transportasi kendaraan FCEV, kereta api, dan kapal laut	• Produksi Amonia • Distribusi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - H - D2
112	**NDA Pengembangan Produksi Amonia Rendah Karbon** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; CHEVRON ENERGY	Apr 2024–Apr 2026	• Produksi Amonia • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
113	**JDA Aceh *Green Ammonia Project*** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; TOYO-ITOCHU	Agustus 2024–Agustus 2026	• Produksi Amonia • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
114	**Shareholder Agreement (SHA) for *Green Ammonia Initiative from Aceh (GAIA) Project*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; TOYO ENGINEERING CORPORATION; ITOCHU CORPORATION	Perjanjian ditandatangani pada 15 November 2024 pada event COP29	• Produksi Amonia • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
115	**NDA *Clean Ammonia Business Study Development*** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; ARGUS MEDIA	Des 2023–Des 2025	• Produksi Amonia • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1
116	***Bankable Feasibility Study Hybrid Green Ammonia* di Pupuk Iskandar Muda, Aceh** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; TOYO ENGINEERING CORPORATION; ITOCHU CORPORATION	September 2024–Mar 2025	• Produksi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1 RA - AH - E2
117	**Hidrogen hijau di Kujang, Cikampek untuk kendaraan listrik lokal berbasis *fuel-cell*** (Investasi & Komersial)	PERTAMINA; Marubeni; BRIN	2020	• Produksi Amonia • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3 **SI:** , 3.2 **RA:** IN-6, IN-8 RA - H - D2
118	**JDSA Pengembangan *Green Hydrogen* & *Green Ammonia* Terintegrasi** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; PLN; ACWA	Juli 2023–Juli 2025	• Produksi Amonia • Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1 RA - A - P1
119	**JDA Pengembangan *Green Hydrogen* & *Green Ammonia* Terintegrasi** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; PLN; ACWA	Des 2023–Des 2025	• Produksi Amonia • Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1 RA - A - P1
120	**MOU *Green Energy*, *Hydrogen* dan *Green Ammonia Development*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; PERTAMINA; PLN	Februari 2022–Februari 2027	• Produksi Amonia • Produksi Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - P1 RA - A - P1

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
121	**Mengembangkan rantai pasok *green/blue ammonia* dan CCS** (Investasi & Komersial)	Pertamina; Pupuk Indonesia; Mitsubishi	2022	• Produksi Amonia / • Distribusi Amonia • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1 RA - A - P2 RA - A - P3 RA - A - D1 RA - A - D2 RA - A - D3 RA - A - U1
122	**Transportasi *refuelling station*** (Investasi & Komersial)	BRIN;Toyota;IFHE	N/A	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 1.2, 2.2, **SI:** 2.3 **RA:** IN-3, IN-8 RA - H - D2
123	**Transportasi hidrogen berbasis NaBH4 (**Studi & Litbang)	BRIN/PLN Litbang	2024 - sekarang	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2, IN-8 RA - H - D1 RA - H - D2 RA - H - D3
124	**Pengembangan *green hydrogen pipeline*** (Pengembangan Infrastruktur Logistik)	PERTAMINA; Krakatau Steel; Rukun Raharja	2022	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D1
125	**MoU pengembangan jalur pipa untuk hidrogen hijau.** (Investasi & Komersial)	PERTAMINA NRE; Krakatau Steel; Rukun Raharja	Studi di tahun 2022	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.3 **SI:** IN-8 **RA:** RA - H - D1
126	**Transportasi *refuelling station*** (Investasi & Komersial)	BRIN; Toyota; IFHE	N/A	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 1.2, 2.2, **SI:** 2.3 **RA:** IN-3, IN-8 RA - H - D2
127	**Kajian Teknologi Transportasi H_2 melalui Pipa** (Studi & Litbang)	PGN	Tahap Finalisasi Laporan di tahun 2024	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2, IN-8 RA - H - D1 RA - AH - E2
128	***Pilot Project Blending* Hidrogen ke dalam Jaringan Pipa Gas Eksisting** (Pilot & Demonstrasi)	PGN	Fase Inisiasi, Partner Selection, Pencarian Grant, Target Operation tahun 2029	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2, IN-8 RA - H - D1
129	**Pengembangan Teknologi *Solid State Hydrogen Storage*** (Studi & Litbang)	PERTAMINA	Proyek Riset ini dijalankan bersama mitra peneliti UGM (Tahun 2022/2023)	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3, IN-8 **RA:** RA - H - P1
130	**Studi Hidrogenasi Transportasi Laut milik PLN** (Studi & Litbang)	PLN	Rencana studi selesai di tahun 2025	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D3
131	**Pengembangan fasilitas produksi hidrogen hijau di Jambi** (Investasi & Komersial)	PLN EPI, Sembcorp	Sudah dilakukan penandatanganan Joint Development Agreement/JDA di SIEW Singapura bulan Oktober 2024	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
132	**Pembangunan pipa hidrogen Indonesia-Singapura** (Investasi & Komersial)	PLN EPI, Sembcorp, TGI	Sudah dilakukan penandatanganan Joint Development Framework Agreement/JDFA di COP-29 pada bulan Nov tahun 2024	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D1
133	**Studi *storage* hidrogen untuk penyimpanan energi di pulau kecil Indonesia** (Studi & Litbang)	N/A	n/a	Distribusi Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2,IN-8 RA - H - D2 RA - H - D3

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
134	**Penandatanganan *Joint Development Framework Agreement* (JDFA) pada 13 November 2024. JDFA adalah perjanjian pengembangan kerangka kerja untuk membangun pipa transportasi hidrogen, yang menghubungkan Sumatra dan Kepulauan Riau di Indonesia ke Singapura. Infrastruktur tersebut akan memfasilitasi pembentukan pusat hidrogen hijau. *Joint Feasibility Study* sedang berlangsung** (Pengembangan Infrastruktur Logistik)	PT PLN Energi Primer, PT Transportasi Gas Indonesia, Sembcorp Utilities Pte Ltd		Distribusi Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - H - D1 RA - AH - E2
135	**Mengkaji Rencana HSSE Dalam Pembangunan HRS dari Kontraktor** (Studi & Litbang)	PPN	Finalisasi Kajian di tahun 2024	• Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2, 3.3 **SI:** IN-4, IN-10 **RA:** RA - H - D1
136	***Pilot Project Hydrogen Refuelling Station* Daan Mogot** (Pilot & Demonstrasi)	Pertamina dan Toyota Motor	*Conceptual study* selesai di Q4 2023, FID di Q1 2024 dan target COD di 2025	• Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D1
137	**Pre FS pemanfaatan hidrogen sebagai penyimpanan di *remote area*** (Studi & Litbang)	Explore GIZ; HDF Energy	Studi di tahun 2022	• Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - H - U3 RA - AH - E2
138	**Pembuatan Standar Operasional Prosedur dalam Pembangunan & Pengoperasian HRS di Lingkungan SPBU/ SPBG Maupun Mandiri** (Kebijakan/Regulasi)	PPN	Finalisasi Kajian di tahun 2024	• Distribusi Hidrogen • Pemanfaatan Hidrogen • Ekosistem Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2, 3.3 **SI:** IN-4, IN-10 **RA:** RA - AH - E1
139	**MOU *Ammonia Bunkering Station and Blue or Green Ammonia Supply Chain*** (Pilot & Demonstrasi)	PUPUK INDONESIA; ITOCHU	Desember 2022 s.d Desember 2025	• Distribusi Amonia • Produksi Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - D1 RA - A - P1 RA - A - P2
140	**Pengembangan Amonia Biru di Pelabuhan Tanjung Api** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; PERTAMINA; MITSUBISHI CORPORATION	Studi di tahun 2022	• Distribusi Amonia • Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P2
141	**Pengembangan bisnis dan rantai pasok amonia biru/hijau dan CCS** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; PERTAMINA; MITSUBISHI CORPORATION	Studi di tahun 2022	• Distribusi Amonia • Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P2
142	**Pengembangan Amonia Biru dan di Pelabuhan Patimban dengan kapasitas produksi CCS sebesar 32 juta ton** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA; PERTAMINA; MITSUBISHI CORPORATION	Studi di tahun 2022	• Distribusi Amonia • Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P2
143	***Pre-Feasibility Study Green Industry Cluster* IMIA KEK Arun Lhokseumawe** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; PLN	Studi di tahun 2022	• Distribusi Amonia • Produksi Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1 RA - AH - E2
144	**MoU Pengembangan Sistem Energi Hidrogen *Autonomous H_2 One* untuk sistem *off-grid*** (Studi & Litbang)	BPPT; TOSHIBA	Studi di tahun 2018	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - H - U3
145	**Penelitian hidrogen sebagai bahan bakar alternatif** (Studi & Litbang)	BPPT/BRIN;UI/ ITB;LEMIGAS	2007	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - H - U1
146	**Fokus *smart grid* dan *fuel cell*** (Studi & Litbang)	BRIN;PLN	N/A	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - AH - P1

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
147	**Fokus sektor transportasi** Studi & Litbang	BRIN; Pertamina; Marubeni	N/A	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.1, 2.2, **SI:** 2.3, 3.2 **RA:** IN-2, IN-5, IN-6 RA - H - U1
148	**Fokus pemanfaatan hidrogen dari panas bumi** Studi & Litbang	BRIN; Nedo; Pertamina	N/A	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - U1 RA - H - U2 RA - H - U3 RA - H - U4
149	**Fokus *smart grid* dan *fuel cell*** (Studi & Litbang)	BRIN; Pertamina	N/A	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2, IN-8 RA - H - U3
150	**Fokus *co-firing*** (Studi & Litbang)	BRIN; PLN; IHI	N/A	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - H - U3
151	**Kajian Implementasi *Fuel Cell* pada sistem hibrid mikrogrid** (Studi & Litbang)	PLN Enjineering/ BRIN	Sudah selesai 2024	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.3 **RA:** IN-2, IN-9 RA - A - U3 RA - H - U3 RA - AH - E2
152	**Buku *co-firing biomass* dan hidrogen** (Studi & Litbang)	BRIN; ESDM; Tokyo	Terbit Januari di Springer	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2, IN-6 RA - A - U3
153	**Penjajakan untuk studi pemanfaatan hidrogen rendah karbon** (Studi & Litbang)	CHANDRA ASRI	Masih dalam tahap penjajakan inisiatif	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 3.2 **SI:** IN-2, IN-7 **RA:** RA - H - U1 RA - H - U2 RA - H - U3 RA - H - U4
154	**Pengembangan *Hydrogen Mobility*** (Studi & Litbang)	PLN, DAMRI, Transjakarta, EBTKE	MoU Tahun 2024	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3, 3.3 **SI:** IN-6, IN-9 **RA:** RA - H - U1
155	**Penelitian hidrogen sebagai bahan bakar alternatif** (Studi & Litbang)	BPPT/BRIN; UI/ITB; LEMIGAS	2007	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6, IN-8 **RA:** RA - H - U1
156	**Pengembangan kereta berbahan bakar hidrogen dan aplikasi hidrogen di sektor transportasi (kereta api)** (Pilot & Demonstrasi)	KAI; ALSTOM; ESDM	Studi di tahun 2019/2020	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-6, IN-9 **RA:** RA - H - U1
157	**Pada 2030 diproyeksikan implementasi pencampuran hidrogen untuk jargas mencapai 20%, sehingga memerlukan pemanfaaatan hidrogen sebesar 2.904 ton** (Investasi & Komersial)	*Stakeholders* bidang jargas	Diproyeksiakn di jargas IKN	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-6, IN-7 **RA:** RA - H - U2
158	**Pada tahun 2035 diproyeksikan Implementasi pencampuran hidrogen untuk jargas mencapai 40%, sehingga memerlukan pemanfaaatan hidrogen sebesar 7590 ton** (Investasi & Komersial)	*Stakeholders* bidang jargas	Diproyeksiakn di jargas IKN	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-6, IN-7 **RA:** RA - H - U2
159	**Pada 2035 diproyeksikan pemanfaaatan hidrogen di sektor pembangkit listrik mencapai 15.790 ton untuk program dedieselisasi PLTD berdasarkan data target persentase penggunaan hidrogen sebagai pengganti PLTD sebesar 10%** (Investasi & Komersial)	Stakeholders sektor pembangkit listrik	Diproyeksikan untuk program dedieselisasi (penggantian diesel dengan hidrogen)	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-6, IN-7 **RA:** RA - H - U3
160	**Pada 2030 diproyeksikan pemanfaaatan hidrogen di sektor transportasi mencapai 219 ton untuk moda transportasi kendaraan FCEV berdasarkan data pertumbuhan FCEV dari kementerian perindustrian dan IFHE** (Pilot & Demonstrasi)	Stakeholders sektor transportasi	Diproyeksikan untuk moda transportasi FCEV	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-6, IN-7 **RA:** RA - H - U1

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
161	**Pada 2035 diproyeksikan pemanfaaatan hidrogen di sektor transportasi mencapai 6.326 ton: untuk moda transportasi kendaraan FCEV berdasarkan data pertumbuhan dari kementerian perindustrian, kereta api dan kapal laut berdasarkan data ekspansi panjang rel dan kapasitas angkut kapal (DWT)** (Pilot & Demonstrasi)	Stakeholders sektor transportasi	Diproyeksikan untuk moda transportasi kendaraan FCEV, kereta api, dan kapal laut	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-6, IN-7 **RA:** RA - H - U1
162	***Fuel cell* pada BTS tower sebagai cadangan sumber listrik**	TELKOMSEL	2017	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.3 **SI:** IN-6, IN-9 **RA:** RA - H - U3
163	***Investments from the private sector in the transport, and industrial sectors to initiate green hydrogen market development*** (Investasi & Komersial)	UNDP; KESDM; Kemenhut	2023	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2, 3.3 **SI:** IN-7, IN-9 **RA:** RA - H - U4
164	**Pengembangan *Hydrogen Mobility*** (Investasi & Komersial)	PLN; DAMRI; Transjakarta; EBTKE	MoU Tahun 2024	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.3 **SI:** IN-6, IN-9 **RA:** RA - H - U1
165	**Penyusunan Standar Nasional Indonesia (SNI):** • **SNI ISO 14687:2019, Kualitas bahan bakar hidrogen – Spesifikasi produk;** • **SNI ISO 19880-1:2020, Gas hidrogen – Stasiun pengisian bahan bakar – Bagian 1: Persyaratan umum;** • **SNI ISO/TR 15916:2015, Pertimbangan dasar untuk keselamatan sistem hidrogen.** (kebijakan/Regulasi)	KESDM (EBTKE), BSN, Komtek 27-11	Selesai di tahun 2024	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2 **SI:** IN-4, IN-5 **RA:** RA - H - P1
166	**Penyusunan Panduan K3L untuk SPBH/ HRS** (Kebijakan/Regulasi)	KESDM (EBTKE), MENTARI, ITB, RINA	Penyelesaian di tahun 2024	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2 **SI:** IN-4, IN-5 **RA:** RA - H - P1
167	**Kajian akademis harga pembelian listrik dari PLT Hibrid (Hidrogen)** (Kebijakan/Regulasi)	KESDM (EBTKE), JICA	Penyelesaian di tahun 2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2 **SI:** IN-4, IN-5 **RA:** RA - H - U3 RA - AH - E1
168	**Pada 2025, industri baja ditargetkan memanfaatkan hidrogen sebesar 19,154 ton dengan basis perhitungan berasal dari target penurunan emisi CO_2 sebesar 11%** (Investasi & Komersial)	Krakatau Steel	Diproyeksikan dari industri baja	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-2, IN-3, **RA:** IN-6 RA - H - U4
169	**Pada 2030, pemanfaatan hidrogen di sektor industri diproyeksikan sebesar 425.970 dengan rincian:** • **Industri baja: 92.548 ton berasal dari target penurunan emisi CO_2 sebesar 33%** • **Industri pupuk: 136.500 ton berasal dari data primer dari PI** • **Industri amonia & metanol: 36.085 ton berasal dari data primer KPI dan PAU dan simulasi data.** • **Industri kilang: 164.250 ton berasal dari data primer PERTAMINA.** (Investasi & Komersial)	Krakatau Steel, Panca Amara Utama, Kaltim Parna Industri, PERTAMINA	Diproyeksikan dari industri baja, pupuk, amonia, metanol, dan kilang	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-2, IN-3, **RA:** IN-6 RA - H - U4
170	**Pada 2035, pemanfaatan hidrogen di sektor industri diproyeksikan sebesar 562.866 ton dengan rincian:** • **industri baja: 164.959 ton berasal dari target penurunan emisi CO_2 sebesar 42%** • **industri pupuk: 202.000 ton berasal dari data primer dari PI** • **industri amonia & metanol: 36.085 ton berasal dari data primer KPI dan PAU dan simulasi data.** • **industri kilang: 82.125 ton berasala dari data primer PERTAMINA.** (Investasi & Komersial)	Krakatau Steel, Panca Amara Utama, Kaltim Parna Industri, PERTAMINA	Diproyeksikan dari industri baja, pupuk, amonia, metanol, dan kilang	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-2, IN-3, **RA:** IN-6 RA - H - U4

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
171	**Pada 2030 diproyeksikan pemanfaaatan hidrogen di sektor transportasi mencapai 219 ton untuk moda transportasi kendaraan FCEV, berdasarkan data pertumbuhan FCEV dari kementerian perindustrian dan IFHE** (Investasi & Komersial)	*Stakeholders* sektor transportasi	Diproyeksikan untuk moda transportasi FCEV	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 3.1 **SI:** IN-3, IN-6 **RA:** RA - H - U1
172	**Proyek pilot untuk hidrogen hijau dan *co-firing* hidrogen untuk pembangkit listrik *combined cycle power* di Keramasan** (Pilot & Demonstrasi)	PLN; Mitsubishi	2021	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-3, IN-6 RA - H - U3
173	***Investments from the private sector in the transport, and industrial sectors to initiate green hydrogen market development*** (Investasi & Komersial)	UNDP	N/A	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.1, 2.2, 3.2 **SI:** IN-5, IN-7 **RA:** RA - H - U1 RA - H - U4
174	**Uji Coba *Mixing* Gas Alam dan Hidrogen secara *Off-Stream*** (Pilot & Demonstrasi)	PGN	Sudah selesai pada tahun 2020	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - H - P1
175	**Pengembangan PEM *Fuel Cell* dan Sistem Kendali untuk Sistem Propulsi Hibrid Kereta Api** (Investasi & Komersial)	PERTAMINA, INKA, ITS, LPDP	Proyek Riset ini dijalankan sejak 2021 (*on going*), didukung oleh LPDP Rispro.	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3, IN-8 **RA:** RA - H - D2
176	**Rencana Hidrogenasi PLTD Gili Ketapang di Jawa Timur** (Studi & Litbang)	PLN	Pemanfaatan *excess* Hidrogen di Gresik, Grati, Paiton pada tahun 2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
177	**Rencana *Co-firing* PLTU Labuan** (Investasi & Komersial)	PLN, IHI	Rencana di Maret 2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, **SI:** 3.3 **RA:** IN-3, IN-9 RA - H - U3
178	**MoU untuk pengembangan teknologi hidrogen di Indonesia** (Investasi & Komersial)	HDF; PLN	Sudah dilaksanakan pada tahun 2023 di Paris	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, **SI:** 3.3 **RA:** IN-3, IN-9 RA - H - P1
179	**JDSA terkait Pembangkit *Fuel Cell* di Sumba** (Studi & Litbang)	HDF; PLN	Sudah dilaksanakan pada tahun 2023 di COP-28 Dubai	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
180	**Pilot Project produksi hidrogen dari *electrolyzer* AEM** (Pilot & Demonstrasi)	PLN, MBR	Rencana operasi 2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
181	**Mengganti Genset Diesel dengan *Fuel Cell* untuk Acara Outdor** (Pilot & Demonstrasi)	PLN	Oktober 2024 sudah dilaksanakan	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D2
182	**Rencana penggunaan *Fuel Cell* untuk acara Formula-E di Jakarta** (Investasi & Komersial)	PLN	Rencana di Juni 2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D2
183	**Kajian untuk 2 *hydrogen/ammonia co-firing*, dan 1 ammonia *co-firing*. Lokasi Keramasan (40 MW), Pesanggaran (16 MW), Gresik (100 MW)** (Studi & Litbang)	PLN-PLN IP dan PLN NP; IHI; MHI	Studi mulai tahun 2022, dan telah selesai di uji coba	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - U3 RA - AH - E2
184	**Proyek pilot *co-firing* hidrogen untuk PLTDG Pesanggaran** (Pilot & Demonstrasi)	PLN	Sukses *co-firing* 2%, rencana akan dilanjutkan up to 10% di tahun 2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - U3
185	**Proyek pilot *co-firing* hidrogen Tanjung Uncang Batam** (Pilot & Demonstrasi)	PLN, PLN Batam, Mitra	2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3, IN-8 **RA:** RA - H - U3
186	**Studi pembangunan *Hub*-hidrogen di tiap pembangkit PLN di grid besar** (Studi & Litbang)	PLN, BRIN	Rencana studi untuk 1 lokasi *hub* selesai di tahun 2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
187	**Pengadaaan Kendaraan FCEV (Mobil, Bus, dan Forklift)** (Investasi & Komersial)	PLN group	Rencana *showcase* mulai 2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D2
188	**Studi *Retrofitting* Kapal Laut dengan *Fuel Cell*** (Studi & Litbang)	PLN, Mitra	Rencana studi selesai di tahun 2026	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D3
189	**Studi Pembangunan *Small Modular Ammonia Plant*** (Studi & Litbang)	PLN IP	Rencana studi selesai di tahun 2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - A - P1
190	**Pengembangan Jakarta *Hydrogen Mobility*** (Investasi & Komersial)	PLN; DAMRI; Transjakarta; EBTKE	MoU sudah di tandatangani pada bulan September 2024	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D2
191	**Pengadaan HFCG (*Hydrogen Fuel Cell Generator*) & modifikasi menjadi *mobile* HFCG** (Investasi & Komersial)	PLN NP	2026	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
192	**Utilisasi 22 Lokasi H_2 Plant (minimum 20 ton per tahun) untuk keperluan internal PLN dan eksternal (*vehicle*, *power generation*, industri)** (Investasi & Komersial)	PLN NP dan PLN IP	2025	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - P1
193	**Studi desain Nusantara *Hydrogen Park* (Nusantara Hypark) di IKN** (Studi & Litbang)	PLN, PLN *Engineering*	Selesai 2023	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - H - P1
194	(Investasi & Komersial)	*Stakeholders* bidang jargas	Diproyeksikan di jargas IKN	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - H - U2
195	(Investasi & Komersial)	*Stakeholders* sektor pembangkit listrik	Diproyeksikan untuk program dedieselisasi (penggantian diesel dengan hidrogen)	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - H - U3
196	(Investasi & Komersial)	*Stakeholders* sektor pembangkit listrik	Diproyeksikan untuk program dedieselisasi (penggantian diesel dengan hidrogen)	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 2.3 **SI:** IN-6 **RA:** RA - H - U3
197	(Investasi & Komersial)	*Stakeholders* sektor transportasi	Diproyeksikan untuk moda transportasi FCEV	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - H - D2
198	**Mobil dengan konsep *fuel cell*** (Studi & Litbang)	Antasena ITS	2008	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - H - U1
199	**Proyek pilot di bidang maritim, antara Pulau Rote dan Kupang** (Pilot & Demonstrasi)	KEMENHUB	2021	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-3, IN-6 RA - H - U1
200	**Proyek pilot *fuel cell* 300 kW di Ancol** (Pilot & Demonstrasi)	KOICA	2012	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-3, IN-6 RA - H - U3
201	***Fuel cell* pada BTS tower sebagai cadangan sumber listrik** (Investasi & Komersial)	TELKOMSEL	2017	Pemanfaatan Hidrogen	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-3, IN-6 RA - H - U3
202	**Rencana penggunaan *fuel cell* untuk *power gain* dan *mobility* untuk acara GHES di JCC Senayan, Jakarta**	PLN	Rencana di April 2025	• Pemanfaatan Hidrogen • Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.1, 2.2, 2.3 **SI:** IN-3 **RA:** RA - H - D2
203	**NDA *Off-take* dan/atau pengembangan *Blue & Green Ammonia* PI Group**	PUPUK INDONESIA; MARUBENI	Nov 2023–Nov 2025	Pemanfataan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1 RA - A - P2

No.	Kegiatan	Pemangku Kepentingan	Status	EKOSISTEM / RANTAI PASOK	Kode
204	(Investasi & Komersial)	*Stakeholders* sektor pembangkit listrik	Diproyeksikan untuk program dedieselisasi (penggantian diesel dengan hidrogen)	Pemanfataan Hidrogen	**SHN:** 2.2, 3.2 **SI:** IN-6, IN-7 **RA:** RA - H - U3
205	***Co-firing ammonia and coal* (*in general*)** (Studi & Litbang)	BRIN; University of Tokyo, ITB	2023-2027 (Kegiatan SATREPS) 10% ammonia - 20% mengkaji performa teknis dan emisi dengan *furnace* Sedang penulisan naskah *Slagging fouling*, emisi SOx dan NOx	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2, IN-6 RA - H - U3
206	***Co-firing ammonia and coal*** **(fokus pada emisi)** (Studi & Litbang)	BRIN; University of Tokyo	2024	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2, IN-6 RA - H - U3
207	***Co-firing coal, biomass and ammonia*** **(skala lab)** (Studi & Litbang)	BRIN; University of Tokyo, ITB	Melanjutkan *co-firing ammonia and coal*, setelah naskah selesai	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2, IN-8 RA - A - U3
208	***CFD Modelling, co-firing coal ammonia*** (Studi & Litbang)	ITS; PLN; BRIN; NTU Singapura	Sudah terbit	Pemanfaatan amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2, IN-8 RA - A - U3
209	**Percobaan penggunaan amonia** (Pilot & Demonstrasi)	Pertamina; Mitsubishi	2022	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.1, 1.3, 2.2, **SI:** 2.3, 3.2 **RA:** IN-2, IN-3,IN-6 RA - A - U1 RA - A - U2 RA - A - U3
210	**Studi CCS *Hub* di Kutai Basin** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; CHEVRON ENERGY	September 2024–Mar 2025	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - H - P1
211	**Studi *Co–firing Green Ammonia* di Pembangkit Listrik Labuan** (Studi & Litbang)	PUPUK KUJANG CIKAMPEK; IHI CORPORATION; PLN INDONESIA POWER	September 2024–Mar 2025	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1
212	**Studi lokasi untuk pengembangan *blue ammonia* Masela** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA	Studi di 2025	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P2
213	***Hybrid Green Ammonia* Aceh: *utilization margin capacity of existing plant*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA	33.000 MTPY, COD 2027	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1
214	***Hybrid Green Ammonia* Gresik: *utilization margin capacity of existing plant*** (Investasi & Komersial)	PUPUK INDONESIA	82.500 MTPY, COD 2028	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.2, 2.2, 2.3, **SI:** 3.2 **RA:** IN-2 RA - A - P1
215	**MOU *Green Ammonia* dan *Ammonia Co Firing Business Development & Feasibility Study*** (Studi & Litbang)	PUPUK INDONESIA; IHI CORPORATION	Desember 2022–Desember 2024	Pemanfaatan Amonia	**SHN:** 1.3, 3.3 **SI:** IN-9 **RA:** RA - A - P1 RA - AH - E2

Lampiran C: Kontributor

Kementerian/Lembaga

1. Kementerian Keuangan
2. Kementerian Perindustrian
3. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
4. Kementerian Perhubungan
5. Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional
6. Badan Riset dan Inovasi Nasional
7. Pusat Data dan Teknologi Informasi ESDM, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
8. Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
9. Satuan Tugas NZE

Perguruan Tinggi

10. Institut Teknologi Bandung
11. Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada
12. Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia

BUMN/D dan Anak Usaha

13. PT Pertamina (Persero)
14. PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)
15. PT Pupuk Indonesia (Persero)
16. PT Semen Indonesia (Persero) Tbk
17. PT Krakatau Steel (Persero) Tbk
18. Perum Damri
19. PT Perusahaan Gas Negara Tbk
20. PT Pertamina Geothermal Energy Tbk
21. PT Pertamina New and Renewable Energy
22. PT Sucofindo
23. PT Surveyor Indonesia
24. PT Garam
25. PT Transportasi Gas Indonesia
26. PT KTI (Krakatau Tirta Industri)
27. PT Transportasi Jakarta

Badan Usaha

28. PT Astra International Tbk
29. PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia
30. PT Hyundai Motor Manufacturing Indonesia
31. PT Samator Indo Gas Tbk
32. PT Vale Indonesia Tbk
33. PT Pamapersada Nusantara
34. PT DENSO Indonesia
35. PT Panca Amara Utama
36. PT Ecogreen Oleochemicals Batam
37. PT Generator Pasifik Indonesia
38. PT Kaltim Parna Industri
39. PT Kaltim Methanol Industri
40. PT Kwarsa Hexagon
41. PT GT Ladang Teknik
42. PT Summit Niaga
43. PT HDF Energy Indonesia
44. PT Andritz Hydro
45. PT TÜV NORD Indonesia
46. KIS Group
47. Mitsubishi Motors
48. Hyundai Engineering
49. Sumitomo Corporation
50. HDR
51. Densu
52. PricewaterhouseCoopers (PwC)

Asosiasi/Organisasi

53. Asosiasi Produsen Pupuk Indonesia (APPI)
54. Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo)
55. Asosiasi Produsen Oleochemical Indonesia (APOLIN)
56. Indonesia Fuel Cell and Hydrogen Energy (IFHE)
57. Asosiasi Gas Industri Indonesia (AGII)

Mitra Kerja Sama

58. Institute for Essential Services Reform
59. UK Mentari
60. USAID Sinar
61. GIZ
62. GIZ ExploRE
63. Indonesian Institute for Energy Economics
64. Energy Academy Indonesia (ECADIN)


SHJ