



INDONESIA HIDROGEN ROADMAP



BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

INDONESIA HIDROGEN ROADMAP

Diterbitkan atas kerjasama dengan:

Indonesia Fuel Cell and Hydrogen Energy (IFHE)

adalah perkumpulan yang dibentuk secara sah oleh Notaris No. 29, 13 September 2019. Berdasarkan Keputusan Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia Nomor AHU-0010133.AH.01.07 pada tanggal 25 September 2019. Berkantor terdaftar di Gd.224 PUSPIPTEK , Muncul-Setu Kota Tangerang Selatan. Banten

dan

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

adalah lembaga pemerintah nonkementerian yang berada di bawah dan bertanggung jawab kepada Presiden Indonesia. Lembaga ini pertama kali dibentuk oleh Presiden Joko Widodo melalui Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 74 Tahun 2019 yang melekat kepada Kementerian Riset dan Teknologi (Kemenristek). Pada 28 April 2021 melalui Peraturan Presiden Nomor 33 Tahun 2021, BRIN terpisah dari Kemenristek dan berdiri sendiri di bawah presiden.

Penerbit:

IFHE Press

ISBN 978-623-09-4851-0

Redaksi:

Blok B/28 Bukit Cimanggu City, Tanah Sareal Bogor

Telp: 0822 1052 0510

Distributor Tunggal:

Indonesia Fuel Cell and Hydrogen Energy (IFHE)

Cetakan pertama, Juni 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.



Daftar Penulis:

Prof. Dr. Eng. Eniya Listiani Dewi, B. Eng., M. Eng., IPU
Prof. Dr. Eng. Muhammad Aziz
Dr. Hari Devianto, ST, M.Eng.
Dr. Eng. Arif Darmawan
Dr. Oka Pradipta Arjasa, M.Sc., M.Eng.
Dr. Sandia Primeia, SSi., M.Si.
Kurniawan, S.Si., M.M.
Dr. Sri Rahayu, ST.

Editor:

Dr. Oka Pradipta Arjasa, M.Sc., M.Eng.
Kurniawan, S.Si., M.M.

Penyunting:

Prof. Dr. Eng. Eniya Listiani Dewi, B. Eng., M. Eng., IPU

Desain Sampul dan Tata Letak:

Kurniawan, S.Si., M.M.

KATA PENGANTAR

Di tengah perubahan iklim yang semakin nyata, kita dihadapkan pada tantangan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mencari alternatif yang berkelanjutan bagi sistem energi di Indonesia. Dalam konteks ini, hidrogen muncul sebagai solusi yang menjanjikan dalam mengurangi emisi yang ditargetkan *net-zero* pada 2060. Indonesia, dengan kekayaan alam dan potensi energinya yang melimpah, memiliki peluang besar untuk memimpin perubahan energi global.

Buku ini bertujuan untuk memberikan landasan yang kokoh dan komprehensif bagi pengembangan hidrogen sebagai sumber energi baru dan energi terbarukan. Dijelaskan bahwa rencana tindakan konkret sangat diperlukan untuk mewujudkan *roadmap* hidrogen yang tangguh dan berkelanjutan di negara ini. Penyajian *roadmap* dapat dijadikan acuan untuk memperkaya *Indonesia National Hydrogen Strategy*, yang bertujuan menjadikan Indonesia menjadi *hub* untuk Asia.

Melalui buku ini, dapat dipahami potensi hidrogen sebagai pembangkit listrik, bahan bakar untuk transportasi, bahan bakar untuk industri, bahan baku proses di industri kimia, serta penggunaan sebagai *stationary* pada gedung dan bangunan.

Proses produksi dan penyimpanan hidrogen, menjadi bidang yang harus dikuasai dengan mengandalkan potensi industri mineral kita. Serta aplikasi praktisnya dalam sektor transportasi, industri, dan sektor energi lainnya. Kami juga akan membahas tantangan dan peluang yang harus dihadapi dalam mengimplementasikan *roadmap* hidrogen, baik dari sisi riset dan inovasi, termasuk regulasi, dan infrastruktur.

Dengan pengetahuan dan pemahaman yang diperoleh melalui buku ini, kita dapat menjadikan Indonesia masuk dalam rantai pasok global dalam mengadopsi hidrogen sebagai solusi energi masa depan.

Tim Penyusun



01

Pendahuluan

02

Lanskap Energi Saat
Ini di Indonesia

03

Potensi Hidrogen
di Indonesia

04

Kerangka
Kebijakan dan
Regulasi

05

Riset dan Inovasi

06

Skenario Adopsi
Hidrogen

07

Pengembangan
Infrastruktur

08

Kolaborasi
Internasional
& Pengembangan
Hydrogen Supply Chain

09

Rencana Implementasi
dan Utilisasi Hidrogen

Daftar Isi



Daftar penulis	i
Kata Pengantar	ii
Daftar isi	iii
1. Pendahuluan	1
2. Lanskap Energi Saat Ini di Indonesia	4
3. Potensi Hidrogen di Indonesia	5
4. Kerangka Kebijakan dan Regulasi	8
5. Riset dan Inovasi	13
6. Skenario Adopsi Hidrogen	17
7. Pengembangan Infrastruktur	39
8. Kolaborasi Internasional & Pengembangan <i>Hydrogen Supply Chain</i>	43
9. Rencana Implementasi dan Utilisasi Hidrogen	46
Referensi	51

Pendahuluan

Hidrogen merupakan salah satu sumber energi bersih yang dapat menjadi solusi untuk mengurangi emisi karbon dan mencapai target *net zero emission* (NZE).

Indonesia sebagai salah satu negara berkembang dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat membutuhkan *roadmap* yang jelas untuk pengembangan hidrogen sebagai sumber energi alternatif. Pengembangan hidrogen hijau di sektor energi Indonesia akan dimulai secara bertahap pada tahun 2031 dan meningkat pesat setelah tahun 2050. Kapasitas pembangkitan hidrogennya akan meningkat secara signifikan dari 328 MW pada tahun 2031 hingga 2035, 332 MW pada tahun 2036 hingga 2040, 9 GW pada tahun 2041 hingga 2050, dan 52 GW pada tahun 2051 hingga 2060 [1]. Indonesia telah menetapkan visi untuk memanfaatkan hidrogen hijau, amonia dan penangkapan serta penyimpanan karbon untuk mengurangi jejak karbonnya. Indonesia menargetkan penggunaan hidrogen hijau sebagai energi alternatif untuk sektor transportasi, industri dan rumah tangga di masa depan.



Pemerintah Indonesia menargetkan untuk mengurangi emisi CO₂ hingga 43% dengan bantuan internasional pada tahun 2030 [2]. Untuk mencapai target ini, diperlukan investasi dari sektor swasta sebesar \$25,2 miliar untuk mengembangkan hidrogen hijau dari tahun 2031 hingga 2060. Salah satu perusahaan yang telah berinvestasi dalam pengembangan hidrogen hijau adalah Pertamina yang menginvestasikan \$11 miliar sebagai bagian dari target energi hijaunya. Perusahaan asing seperti *The Global Green Growth Institute* (GGGI) juga telah bekerjasama dengan Samsung dan Hyundai dalam sebuah proyek seharga \$1,2 miliar di blok Sarulla, Sumatera Utara untuk memproduksi *green hydrogen* [3]. Dengan demikian, Indonesia telah menetapkan beberapa kebijakan dan langkah untuk memanfaatkan hidrogen sebagai sumber energi bersih di masa depan.

Roadmap ini akan membahas lanskap energi saat ini di Indonesia, potensi hidrogen di Indonesia, kerangka kebijakan dan regulasi, penelitian dan pengembangan, pengembangan infrastruktur dan rencana implementasi, kolaborasi internasional dan pengembangan *hydrogen supply chain* untuk mencapai target NZE 2060. Dengan *roadmap* ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas tentang langkah-langkah yang perlu diambil untuk mengoptimalkan pemanfaatan hidrogen sebagai sumber energi bersih di Indonesia.

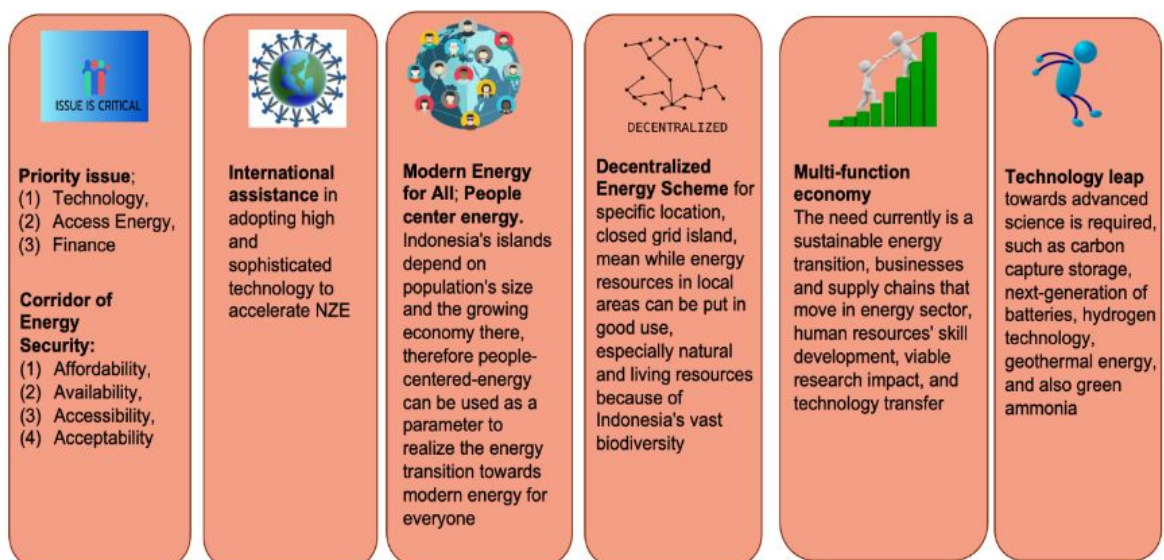
Sementara itu, dalam skenario transisi energi saat ini, Indonesia harus menurunkan emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil dan mengembangkan sumber yang lebih bersih.

Percepatan pembangunan energi baru dan energi terbarukan (EBET), penggunaan energi yang lebih efisien, mendorong penggunaan kendaraan listrik dan kompor listrik, penerapan *smart-grid* dan penyimpanan energi untuk mengatasi *intermittent Variable Renewable Energy* (VRE), disikapi menjadi kebijakan strategi transisi (Gambar 1). Pada masa transisi energi ini diharapkan investasi mempertimbangkan *multiplier effect economy* yang akan timbul yang menjadi bagian dari energi yang terjangkau.

Disamping isu terhadap desentralisasi energi yang mengedepankan *people-center-energy*, dimana energi dibangun sesuai dengan kebutuhan dan mengurangi hambatan terdapat keterjangkauan atau *energy accessibility*.

Dalam percepatan penerapan EBET ini, bantuan internasional sangat diharapkan untuk penggunaan teknologi baru dan terkini, serta berbagai kerjasama dalam bidang teknologi energi baru, penyimpanan energi, dan energi hijau lainnya.

Menurut banyak penelitian, pertumbuhan ekonomi berkorelasi erat dengan konsumsi energi [1]. Secara khusus, listrik sangat dibutuhkan dalam pembangunan daerah untuk mendukung semua sektor perumahan, pemerintah, atau swasta dan sektor industri di Indonesia. Sayangnya, karena permintaan rendah yang tidak terduga akibat sistem ekonomi yang kompleks, peningkatan pembangkit listrik diprediksi akan mengakibatkan kelebihan pasokan.



Gambar 1. Kebijakan strategi transisi energi

Oleh karena itu, sistem *Power-to-Gas* adalah bagian penting dari sistem energi terbarukan masa depan untuk mengubah air menjadi hidrogen, baik dengan panas bumi dan sumber daya energi terbarukan lainnya, membuat hidrogen hijau [2]. Meskipun dalam skenario bauran energi tahun 2060, energi terbarukan sebagian besar dibantu oleh dukungan fotovoltaik (PV) (361 GW, yaitu 10 kali lipat dari angin, bioenergi, nuklir), yang juga menghasilkan energi intermiten, yang harus kita perhatikan tentang teknologi penyimpanan energi dalam bentuk gas (seperti hidrogen) untuk mengatasi intermiten tersebut. Padahal gas dapat digunakan untuk industri kimia dan dengan demikian semakin mendorong pertumbuhan ekonomi.

Terlepas dari upaya Pemerintah Indonesia dalam mereformasi subsidi bahan bakar fosil dan meningkatkan pengembangan energi terbarukan, Indonesia harus belajar dari negara lain seperti Prancis, Spanyol, dan Brasil. Pemerintah memberikan lebih banyak subsidi bahan bakar fosil menghambat pengembangan energi terbarukan dan transisi energi suatu negara. Seperti diketahui bahwa perang Ukraina-Rusia menggambarkan bagaimana NZE memperpanjang dampak energi berbasis fosil. Oleh karena itu, reformasi subsidi bahan bakar fosil akan dilakukan paling efektif melalui regulasi energi yang berimbang.

Masalah lainnya yaitu Indonesia adalah negara kepulauan sehingga menyebabkan tuntutan biaya yang tinggi dalam hal distribusi energi. Dengan demikian, kontrol energi yang terdesentralisasi sangat dibutuhkan. Dalam konsep desentralisasi ini, sumber daya energi di daerah dapat dimanfaatkan dengan baik, terutama sumber daya alam dan hayati karena keanekaragaman hayati Indonesia yang sangat besar, seperti sagu dan alga. Selain itu, demi pertumbuhan ekonomi, investasi keuangan dalam energi terbarukan harus mewujudkan ekonomi multifungsi. Yang kita butuhkan saat ini adalah transisi energi yang berkelanjutan, bisnis dan rantai pasokan yang bergerak di sektor energi, pengembangan keterampilan sumber daya manusia, dampak penelitian yang layak, dan transfer teknologi. Di bidang riset dan inovasi, diperlukan lompatan teknologi menuju ilmu pengetahuan yang lebih maju, seperti penyimpanan penangkapan karbon, baterai generasi mendatang, teknologi hidrogen, energi panas bumi, dan juga amoniak hijau.



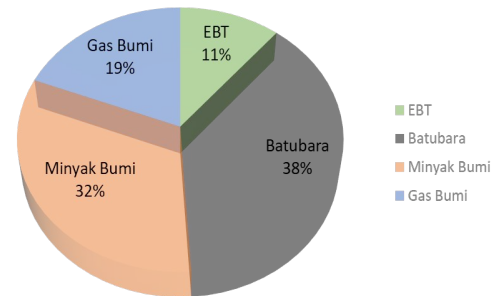
THE GLOBAL GOALS

Lanskap Energi Saat Ini di Indonesia

Lanskap energi di Indonesia saat ini menunjukkan bahwa energi fosil utamanya batu bara menyumbang kontribusi ke anggaran negara secara signifikan [4]. Namun, negara-negara anggota ASEAN, termasuk Indonesia, telah menetapkan target untuk meningkatkan penggunaan komponen energi terbarukan hingga 23% pada tahun 2025 [5].

Hal ini ditegaskan kembali melalui pernyataan Kementerian Energi Sumber Daya Mineral yang menyatakan bahwa Indonesia akan berkomitmen untuk mempercepat transisi energi dengan menetapkan target bauran energi dari energi baru terbarukan (EBT) sebesar 23% pada 2025 [6]. Presiden Joko Widodo juga menegaskan komitmen Indonesia dalam pemenuhan NZE pada 2060 atau lebih cepat. Indonesia diperkirakan memiliki potensi EBT cukup melimpah lebih dari 3.000 GW yang bersumber dari tenaga surya, angin, hidro, panas bumi, bio energi, dan energi laut [7].

Transisi energi merupakan proses panjang yang harus dilakukan oleh negara-negara di dunia untuk menekan emisi karbon yang dapat menyebabkan perubahan iklim. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan terhadap alternatif energi bersih dan berkelanjutan sesuai *sustainable development goals* (SDG). Namun, terdapat beberapa tantangan dan keterbatasan yang dihadapi oleh Indonesia dalam mengembangkan sumber energi terbarukan.



Gambar 2. Bauran Energi tahun 2021 di Indonesia (Sumber: ESDM EBTKE).

Saat ini, Indonesia masih mengandalkan sumber energi mineral seperti minyak bumi dan batu bara untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negeri. Beberapa tantangan yang dihadapi untuk mulai beralih ke energi terbarukan antara lain keterbatasan teknologi, sumber daya, regulasi dan kepentingan politik.

Namun demikian, pemerintah Indonesia telah mengambil beberapa langkah untuk mendukung pengembangan energi bersih dan berkelanjutan. Salah satunya adalah melalui Rencana Aksi Nasional Energi Bersih (RAN-EB) yang bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan [8]. Selain itu, pemerintah juga telah menetapkan target bauran energi dari EBT sebesar 23% pada 2025 dan berkomitmen untuk mengurangi emisi hingga 29% pada tahun 2030 [6]. Pemerintah juga telah mengambil langkah-langkah seperti mengurangi dan menghapus penggunaan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan menerapkan pajak karbon dengan tarif sebesar Rp 30 per kg karbon CO₂ [7].

Potensi Hidrogen di Indonesia

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mendorong hidrogen menjadi salah satu pembawa energi yang bersih dan serbaguna dalam mendorong percepatan transisi energi di Indonesia.

Keuntungan-keuntungan dari hidrogen sebagai sumber energi sekunder atau pembawa energi (*energy carrier*) di antaranya:

1. Bersih dan ramah lingkungan.

Ketika hidrogen digunakan sebagai pembawa energi, tidak ada emisi langsung gas rumah kaca atau polutan. Pembakarannya atau reaksinya dengan oksigen hanya menghasilkan uap air, menjadikannya pilihan energi yang bersih dan ramah lingkungan.

2. Pembawa energi serbaguna.

Hidrogen dapat digunakan dalam berbagai aplikasi dan sektor. Ia dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk transportasi, pemanasan, dan pembangkitan listrik. Ia juga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk proses industri atau sebagai sarana penyimpanan energi.

3. Densitas energi yang tinggi.

Hidrogen memiliki kandungan energi yang tinggi per satuan massa, menjadikannya pembawa energi yang ringan dan efisien [9]. Sifat ini sangat menguntungkan dalam aplikasi seperti transportasi, di mana massa dan efisiensi menjadi faktor penting.

4. Penyimpanan energi.

Hidrogen dapat digunakan sebagai medium penyimpanan energi, memungkinkan integrasi sumber energi terbarukan ke dalam jaringan. Kelebihan listrik yang dihasilkan dari sumber terbarukan dapat digunakan untuk memproduksi hidrogen melalui elektrolisis, dan hidrogen tersebut dapat dikonversi kembali menjadi listrik saat dibutuhkan, membantu menjaga keseimbangan pasokan dan permintaan.

5. Skalabilitas dan potensi terbarukan.

Hidrogen dapat diproduksi dari berbagai sumber, termasuk bahan bakar fosil dengan penangkapan dan penyimpanan karbon, serta dari sumber terbarukan seperti angin, surya, dan biomassa. Produksinya dapat ditingkatkan untuk memenuhi permintaan energi yang meningkat, dan ketika diproduksi dari sumber terbarukan, hidrogen menawarkan alternatif yang berkelanjutan dan rendah karbon.

6. Kompatibilitas infrastruktur.

Hidrogen dapat diangkut dan didistribusikan melalui pipa gas alam yang sudah ada, dengan beberapa modifikasi, memungkinkan integrasi yang lebih mudah ke dalam infrastruktur energi yang sudah ada. Hidrogen juga dapat disimpan dan diangkut dalam bentuk cair atau terkompresi, memberikan fleksibilitas dalam logistik.

Potensi produksi hidrogen di Indonesia sangat besar. Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, seperti sinar matahari, angin, air, biomassa, dan geothermal, yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan hidrogen hijau.

Energi Matahari: Indonesia memiliki sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun, sehingga energi surya dapat digunakan untuk memproduksi hidrogen melalui proses fotolisis atau elektrolisis dengan menggunakan sel surya.

Energi Angin: Potensi energi angin di Indonesia juga cukup tinggi, terutama di daerah pesisir dan pegunungan. Turbin angin dapat digunakan untuk menghasilkan listrik yang kemudian dapat digunakan dalam proses elektrolisis untuk memproduksi hidrogen.

Energi Air: Indonesia memiliki banyak sungai dan potensi pembangkit listrik tenaga air yang signifikan. Listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk elektrolisis air dan menghasilkan hidrogen.

Biomassa: Potensi biomassa di Indonesia, seperti limbah pertanian dan limbah kelapa sawit, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi hidrogen melalui proses gasifikasi atau fermentasi.

Geothermal: Indonesia memiliki potensi geothermal yang besar dengan sejumlah gunung berapi aktif. Panas bumi ini dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik, yang kemudian dapat digunakan dalam proses elektrolisis untuk produksi hidrogen. Selain itu, Indonesia juga memiliki sektor industri yang berpotensi sebagai konsumen hidrogen, seperti industri petrokimia, transportasi, dan energi. Penggunaan hidrogen dalam sektor-sektor ini dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan mempercepat transisi menuju energi bersih.

Green Hydrogen, hidrogen yang dihasilkan dari energi terbarukan. Teknologi ini dapat menjadi salah satu alternatif untuk menurunkan emisi. Saat ini pengguna hidrogen terbesar yang berasal dari gas alam adalah industri pupuk. Penggunaan hidrogen (*grey and brown hydrogen*) kedepan akan disubstitusi dengan hidrogen hijau sehingga menghasilkan Ammonia Hijau.



Gambar 3. Ilustrasi kombinasi penggunaan energi matahari, angin, air, panas bumi dan biomassa untuk memproduksi hidrogen.

Menurut hasil studi IFHE, tahun 2022 diperkirakan kebutuhan hidrogen sekitar 1,8 juta ton dan akan meningkat hingga 32,6 juta ton per tahun pada 2060. Saat ini pengguna hidrogen paling besar digunakan untuk produksi ammonia khususnya di industri pupuk, kilang dan industri pembuatan metanol. Hingga saat ini, produksi hidrogen masih bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan baku.

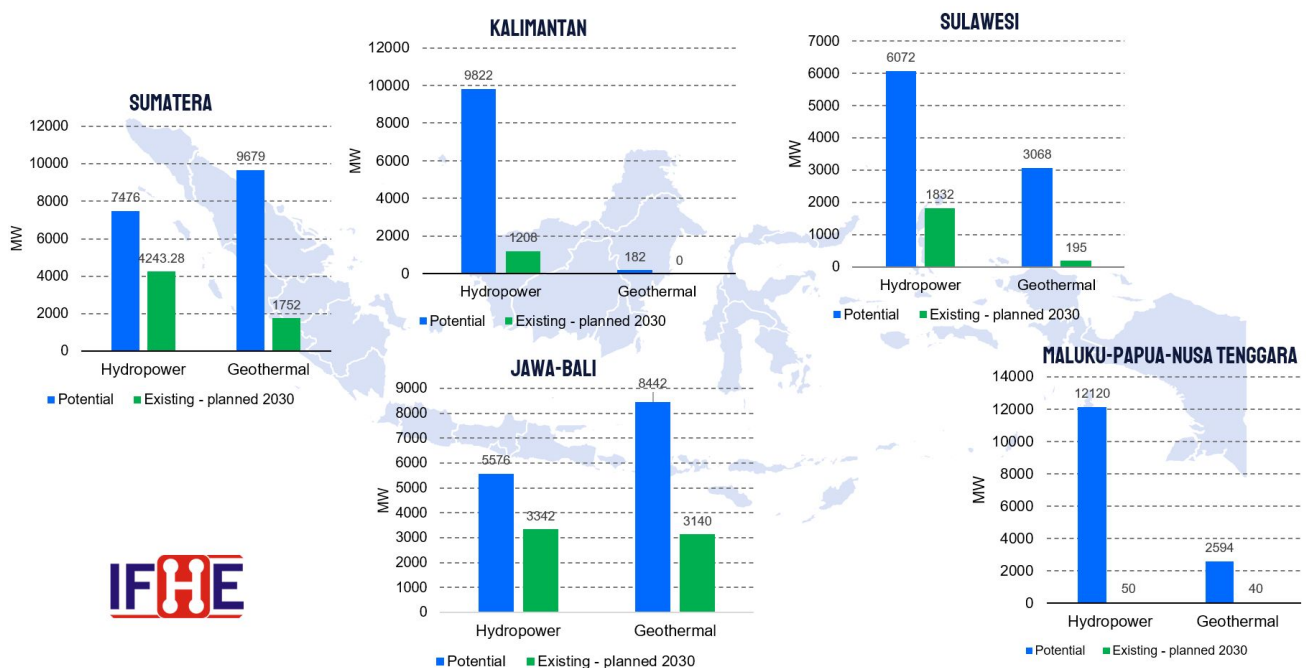
Produksi hidrogen yang memanfaatkan kelebihan listrik menawarkan solusi untuk masalah yang terkait dengan kelebihan kapasitas jaringan. Dengan memperkirakan permintaan yang rendah pada malam hari, surplus listrik dari sumber energi terbarukan khususnya tenaga air dan geotermal dapat ditentukan untuk menghitung potensi produksi hidrogen. Di jaringan Jawa Bali, misalnya, lebih dari 500 ton hidrogen per hari dapat dihasilkan dari pembangkit yang ada.

Selain potensi surplus listrik, potensi geothermal Indonesia sangat besar mencapai 15.000 MW yang tersebar di berbagai lokasi. Potensi ini terbesar terdapat di Sumatera, Jawa-Bali, dan Sulawesi, di mana masing-masing sebesar 9.600 MW, 8.400 MW, dan 6.000 MW.

Selain geotermal, potensi EBT dari tenaga air relatif merata di seluruh Indonesia di mana penggunaannya diperkirakan mencapai sekitar 9.500 MW pada tahun 2030.

Potensi energi hidro terbesar terdapat di Papua dan Kalimantan, dengan potensi sekitar 22 GW dari sungai-sungai Memberamo dan Kayan.

Dengan potensi energi terbarukan khususnya tenaga air dan geotermal sebesar 50.000 MW, dan diasumsikan bahwa 55 kWh dapat menghasilkan 1 kg H₂ (efisiensi sistem 60%), maka potensi produksi hidrogen harian dapat mencapai sekitar 1,2 juta ton.



*Catatan: Data potensi (warna biru) di sini adalah potensi awal, dan di luar rencana EBT yang akan dibangun (warna hijau) hingga 2030 berdasarkan RUPTL PLN.

Gambar 4. Potensi energi *geothermal* dan air di Indonesia (Sumber: IFHE).

Kerangka Kebijakan & Regulasi

Di Indonesia, terdapat beberapa kebijakan dan regulasi yang terkait dengan pengembangan hidrogen dan energi terbarukan secara umum, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

No.	Regulasi	Deskripsi
1	Undang-Undang No. 30/2007	Menekankan pada keamanan energi, pembangunan berkelanjutan, ketahanan energi, dan pelestarian lingkungan.
2	Peraturan Pemerintah No. 79/2014	Mendorong pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) dan mengerem penggunaan sumber energi fosil. Dalam kebijakan tersebut ditetapkan target bauran EBT pada 2020 hingga 2050.
3	Peraturan Presiden No. 22/2017	Menetapkan rencana pengembangan EBT hingga tahun 2050, termasuk rencana aksi umum untuk pengembangan hidrogen, seperti penyusunan kerangka regulasi, pengembangan kapasitas teknologi dan manufaktur, serta penyediaan insentif.
4	Undang-Undang No. 30/2009	Mengatur perencanaan dan tata kelola sektor ketenagalistrikan. Undang-undang ini juga mendorong prioritas pengembangan energi baru dan terbarukan.
5	RUU Energi Baru dan Terbarukan	Mengatur pengembangan EBT, termasuk penetapan harga, insentif, dll. Dalam draf terbaru, hidrogen disebutkan sebagai energi baru.
6	Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014	Kebijakan energi nasional
7	Peraturan Pemerintah No. 14 Tahun 2015	Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015–2035
8	Peraturan Pemerintah No. 74 Tahun 2021	Barang Kena Pajak yang Diklasifikasikan sebagai Barang Mewah dalam Bentuk Kendaraan Bermotor yang Tergolong Pajak Penjualan Barang Mewah
9	Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017	Rencana Umum Energi Nasional

Tabel 1. Kebijakan dan regulasi terkait hidrogen dan energi baru terbarukan (Sumber: IFHE).

Secara keseluruhan, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan dan regulasi yang mendukung pengembangan hidrogen dan energi terbarukan. Namun masih diperlukan langkah-langkah konkret dalam implementasi dan penyediaan insentif yang lebih jelas untuk mendorong pertumbuhan sektor hidrogen di Indonesia. Rekomendasi untuk mendorong percepatan pembentukan ekosistem hidrogen di Indonesia meliputi:

1. **Penyusunan kebijakan yang lebih spesifik dan terperinci** yang mengatur pengembangan hidrogen, termasuk target yang jelas, insentif fiskal, dan langkah-langkah implementasi yang lebih terperinci.

2. **Mendorong kerjasama internasional dalam pengembangan hidrogen**, termasuk pertukaran pengetahuan, pengalaman, dan teknologi dengan negara-negara yang telah maju dalam pengembangan hidrogen.

3. **Memberikan insentif fiskal dan pendanaan penelitian** dan pengembangan dalam teknologi hidrogen untuk mendorong investasi dan inovasi di sektor ini.

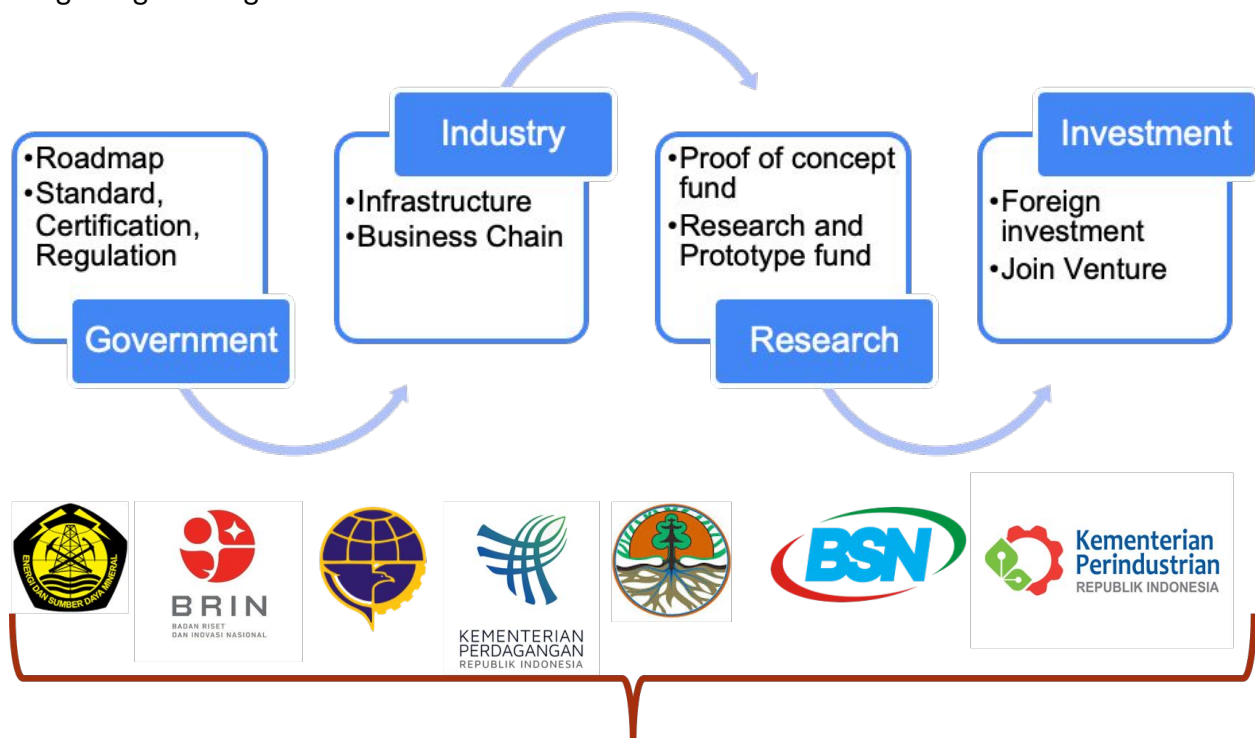
4. **Mengembangkan serangkaian aturan dan prosedur yang jelas dan terpadu** untuk mempercepat perizinan dan pengembangan proyek hidrogen.

5. Mendorong investasi swasta dalam infrastruktur hidrogen, termasuk fasilitas produksi, distribusi, dan penyimpanan, serta memfasilitasi kerjasama dengan negara-negara yang telah memiliki pengalaman dalam pengembangan infrastruktur hidrogen.

Dengan mengatasi kesenjangan ini dan mengimplementasikan rekomendasi ini, Indonesia dapat mempercepat pengembangan sektor hidrogen, memperkuat posisi sebagai pemain utama dalam energi terbarukan, dan berkontribusi pada tujuan global dalam mengurangi emisi gas rumah kaca.

Namun belum terjadi final pendanaan terhadap proyek yang direncanakan. Dikarenakan belum adanya komitmen pemerintah dalam realisasi EBET untuk menurunkan emisi.

Dikarenakan kebutuhan perubahan regulasi dan standar untuk implementasi teknologi hidrogen, maka dibentuklah Komite Teknis untuk penyusunan Standar dan Regulasi yang mulai dibentuk oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) untuk Hidrogen dan Ammonia.



TECHNICAL COMMITTEE FOR HYDROGEN AND AMMONIA STANDARDIZATION

Gambar 5. Kolaborasi stakeholder untuk standar yang diperlukan dalam implementasi hidrogen sebagai energi baru (Sumber: IFHE).

Pada saat ini, pembahasan hidrogen telah masuk dalam RUU EBET di DPR RI. Dalam Rancangan Strategi Nasional Baru untuk Energi pun telah dialokasikan penggunaan hidrogen sebagai sumber energi. Hingga awal 2023 ini, lebih dari 20 studi pra-FS di seluruh pulau di Indonesia telah dilakukan.

Dengan ini mendorong antusiasme industri dalam menurunkan karbon, baik di sektor industri hulu kimia, pupuk, besi baja, dan juga sektor transportasi. Adanya komitmen untuk menurunkan emisi di bangunan atau pun pabrik sendiri, membuat industri saat ini mencari alternatif energi bersih rendah emisi, dan salah satunya adalah hidrogen. Di mana pada ranah riset dan inovasi pun telah lama berkembang riset fuel cell dan hidrogen.

Kebijakan energi berperan penting dalam mencapai target nationally determined contributions (NDCs), yaitu penurunan emisi lebih dari 1185 juta ton CO₂e pada tahun 2030. Memang, Kebijakan Energi Nasional mencapai 23% sumber bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025, sehingga berkontribusi pada penurunan emisi sebesar 29% pada tahun 2030. Meskipun target tersebut terlihat sulit, pemerintah memiliki komitmen yang kuat seperti yang disebutkan dalam isu-isu utama G20, kesehatan global yang inklusif, transformasi ekonomi berbasis digital dan transisi menuju energi berkelanjutan.

Dengan konsep kebijakan energi hijau, Indonesia harus menurunkan emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar fosil dan mengembangkan sumber yang lebih bersih. Dalam jangka pendek, Indonesia memiliki target NDCs untuk pengurangan emisi CO₂e lebih dari 1185 juta ton pada tahun 2030, menuju netral pada tahun 2060.

Dengan transisi energi, konsep konvensional pengembangan pembangkit yang umumnya terfokus hanya pada 2 pilar yaitu affordability (least cost) dan security of supply (kehandalan), akan menjadi 3 pilar dengan menambahkan acceptability (environmental consideration) dalam pertimbangan pemilihan pembangkit.

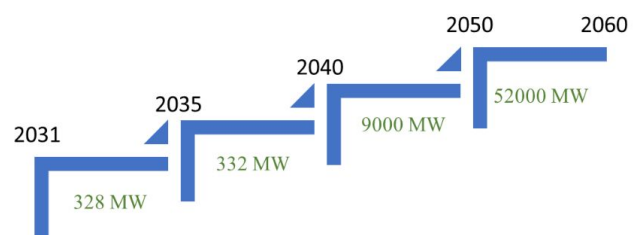
Adapun 9 inisiatif program jangka pendek NDC2030 meliputi, pengembangan pembangkit berbasis energi baru dan energi terbarukan (EBET), konversi Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ke EBET, pengembangan pembangkit gas, menerapkan teknologi PLTU ramah lingkungan, memensiunkan PLTU, penerapan co-firing, melakukan penerapan efisiensi dan menurunkan susut jaringan, percepatan memensiunkan PLTU, carbon capture and storage (CCS), serta penerapan co-firing berbasis hidrogen. Sementara itu, terkait program jangka panjang untuk mencapai target NZE 2060, yaitu penambahan pembangunan pembangkit EBET, baterai, dan interkoneksi sistem listrik, penambahan co-firing berbasis hidrogen, penambahan CCS, serta penambahan PLTU pensiun.

Dari segi pasokan (supply), hidrogen adalah satu strategi utama Pemerintah Indonesia dalam menjalankan peta jalan (roadmap) menuju netral karbon di tahun 2060. Hidrogen juga diproyeksikan akan secara masif dimanfaatkan di sektor industri maupun transportasi. Dalam siaran pers kementerian ESDM no. 84/Pers/04/SJI/2022 tanggal 22 Februari 2022, ditegaskan bahwa "hidrogen diharapkan sebagai salah satu kontributor transisi energi dan memiliki peran penting dalam dekarbonisasi sistem energi global.

Hidrogen diharapkan sebagai salah satu kontributor transisi energi dan memiliki peran penting dalam dekarbonisasi sistem energi global” [4]. Dalam peta jalan transisi energi menuju NZE yang dirilis Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBETKE), hidrogen ditargetkan dapat dimanfaatkan dalam skala lebih besar tahun 2031–2035 dengan kapasitas 328 MW. Target tersebut secara bertahap meningkat menjadi 332 pada 2035–2040, 9 GW pada 2041–2050, dan mencapai 52 GW pada 2050–2060.

Memperkenalkan hidrogen ke suatu sistem microgrid dapat memecahkan masalah penyimpanan jangka panjang yang tidak dapat disediakan oleh baterai. Microgrid memiliki tipikal dengan rata-rata 30% tenaga matahari hilang karena tidak dapat disimpan untuk sementara waktu saat dibutuhkan [7]. Ketika kelebihan energi terbarukan tersedia di microgrid yang juga memanfaatkan hidrogen, penggunaan sumber terbarukan yang menghasilkan listrik dapat dimaksimalkan untuk produksi hidrogen. Kelebihan dari metode ini adalah kelebihan hidrogen dapat disimpan dan digunakan selama kemampuan suplai rendah dan permintaan tinggi.

Meskipun baterai sangat bagus sebagai penyimpan energi, mereka tidak dapat menyediakan penyimpanan jangka panjang yang efisien. Di sini hidrogen adalah mitra yang sempurna karena dapat disimpan dengan kepadatan energi yang sangat tinggi dan jejak karbon yang rendah – sebuah keuntungan utama ketika ketersediaan lahan terbatas. Dengan bantuan fuel cell, hidrogen yang tersimpan dapat menghasilkan listrik saat dibutuhkan. Sistem hidrogen setara dengan generator cadangan yang melengkapi pengaturan baterai dan menawarkan kemandirian energi. Penyimpanan hidrogen ini juga mampu mengakomodasi siklus tahunan dalam permintaan listrik dan variabel matahari atau angin. Oleh karena itu, penyimpanan hidrogen merupakan bagian penting dari sistem microgrid, menstabilkan jaringan, dan memastikan kemandirian energi penuh dari energi terbarukan. Ini dinilai akan mampu menggantikan kebutuhan akan generator diesel sama sekali sesuai target pemerintah mengurangi penggunaan PLTD.



Gambar 6. Target Pemanfaatan Hidrogen dalam Peta Jalan Transisi Energi Menuju NZE

Standarisasi yang perlu diterapkan di Indonesia adalah persiapan berbagai regulasi dengan stakeholder seperti dalam konsep Gambar 7.



Gambar 7. Delapan Belas Unsur Pendukung Ekosistem Inovasi dan Implementasi Teknologi Hidrogen

Tantangan implementasi hidrogen sebagai sumber energi dari sisi pemerintah adalah bahwa:

1. Regulasi terkait hidrogen belum ditentukan secara resmi;
2. Tingginya harga produksi hidrogen yang menggunakan teknologi rendah karbon;
3. Pembangunan infrastruktur hidrogen belum memberikan harapan pasti;
4. Saat ini hidrogen yang ada berasal dari gas alam dan batubara yang masih banyak mengeluarkan emisi dan belum ada yang menggunakan energi terbarukan;
5. Perlu penguasaan teknologi tinggi untuk penggunaan gas hidrogen dalam sektor tertentu dan untuk menyimpan hidrogen dalam bentuk padat, cair, maupun gas;
6. Standarisasi dan penentuan gas hidrogen sebagai bahan bakar perlu ditetapkan.

Dari sisi industri, beberapa hal yang akan menjadi tantangan adalah:

1. Penurunan harga produksi;
2. Penurunan harga operasional;
3. Penurunan harga pengembangan;
4. Deregulasi terhadap semua peraturan terkait;
5. Kemudahan untuk mengadakan produk dan peralatan pendukung sistem dari luar negeri;
6. Menghadirkan teknologi dengan menggunakan alat yang lebih sedikit.

Riset & Inovasi

Penelitian dan pengembangan (R&D) dalam teknologi hidrogen memiliki peran yang sangat penting dalam memajukan penggunaan hidrogen sebagai sumber energi bersih dan berkelanjutan.

Berikut adalah beberapa alasan mengapa penelitian dan pengembangan dalam teknologi hidrogen sangat penting:

Peningkatan Efisiensi

Penelitian dapat membantu meningkatkan efisiensi produksi hidrogen, baik melalui pengembangan metode produksi yang lebih efisien maupun pengurangan kerugian energi selama proses produksi. Hal ini akan mengurangi biaya produksi hidrogen dan membuatnya lebih kompetitif secara ekonomi.

Penemuan Teknologi Baru

Melalui penelitian, teknologi baru dapat ditemukan dan dikembangkan untuk mengatasi tantangan dalam penggunaan hidrogen. Misalnya, pengembangan katalis yang lebih efektif untuk elektrolisis air.

Peningkatan Kinerja Sistem Hidrogen

Penelitian dapat membantu meningkatkan kinerja sistem hidrogen secara keseluruhan, termasuk pengembangan komponen dan perangkat yang lebih efisien dan tahan lama. Misalnya, pengembangan sel bahan bakar hidrogen yang lebih efisien, elektroliser yang lebih hemat energi, atau sistem pengangkutan dan penyimpanan hidrogen yang lebih aman.

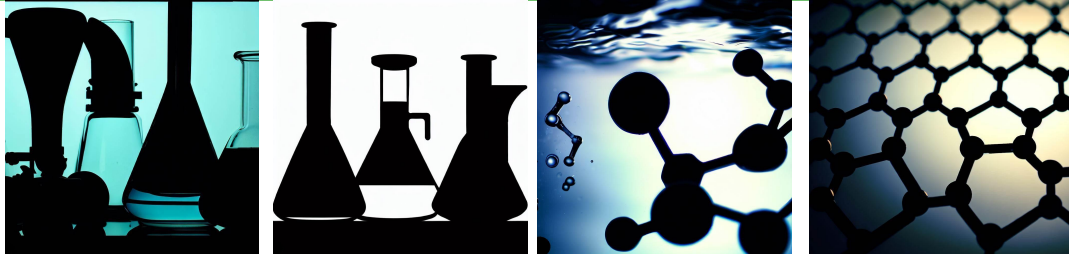
Skala dan Komersialisasi

Penelitian membantu dalam mengatasi tantangan skala dalam produksi dan penggunaan hidrogen. Dengan melakukan penelitian yang mendalam, teknologi hidrogen dapat diadaptasi dan ditingkatkan untuk aplikasi dalam skala yang lebih besar.

Keselamatan dan Standarisasi

Penelitian juga berperan penting dalam memastikan keselamatan penggunaan hidrogen dan pengembangan standar yang relevan. Melalui penelitian yang cermat, risiko terkait penyimpanan, pengangkutan, dan penggunaan hidrogen dapat diidentifikasi dan dikurangi. Selain itu, penelitian juga dapat berkontribusi pada pengembangan standar keselamatan yang diperlukan untuk mengatur penggunaan hidrogen secara global.

Bidang-bidang yang berpotensi untuk kolaborasi penelitian dan kemitraan dalam pengembangan teknologi hidrogen meliputi, pengembangan metode produksi hidrogen yang lebih efisien dan berkelanjutan, penyimpanan hidrogen, pengembangan infrastruktur dan logistik hidrogen, pengembangan teknologi dan aplikasi hidrogen dalam sektor-sektor tertentu, seperti transportasi, industri, dan penyimpanan energi. pengembangan standar keselamatan, regulasi, dan sertifikasi terkait hidrogen penting untuk memastikan penggunaan yang aman dan berkelanjutan.

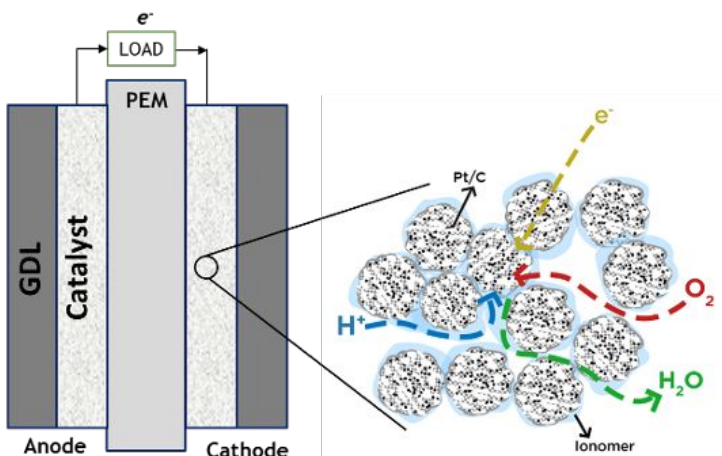


Pengembangan teknologi hidrogen di Indonesia saat ini masih berada pada tahap riset. Beberapa tahapan masih perlu dilakukan seperti proyek skala pilot untuk mendorong ekosistem hidrogen masuk ke tahapan skala komersial. Selama ini pada 2004 penelitian fuel cell dimulai dengan pengembangan membran. Dalam perkembangannya, PEM-fuel cell menjadi tema riset paling populer, selain tipe Solid Oxide fuel cell. Selain penemuan membran, katalis, bahkan berlanjut dari penggunaan mineral lokal sebagai bahan baku elektrolit SOFC. Kolaborasi BPPT, LIPI, BATAN, UI, UGM dan ITB dengan industri mulai berjalan, namun masih dalam tahapan riset.

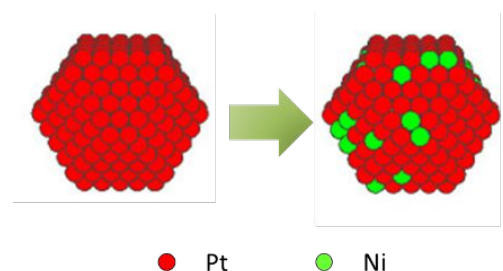
Selain itu dikembangkan juga riset untuk produksi hidrogen dengan menggunakan limbah kelapa sawit, pada 2011 kolaborasi dengan International. Patent proses produksi Bio-hidrogen telah ditemukan, dan saat ini diteruskan dengan skala yang lebih tinggi.

Selanjutnya pada tahun 2017, *fuel cell* mulai digunakan pada *Base Transceiver Station* (BTS) PT Telkomsel sebagai *back up power*. Pada 2019, dimulainya pembuatan prototipe ke-2 dan ke-3 untuk kendaraan hidrogen. Pada 2023, sebuah teknologi kombinasi baterai dan *fuel cells* untuk pembangkit listrik bertenaga energi baru terbarukan atau EBT. Pada 2022, dimulai lagi pengembangan nano-katalis yang merupakan kolaborasi dengan Universitas Katolik Parahyangan.

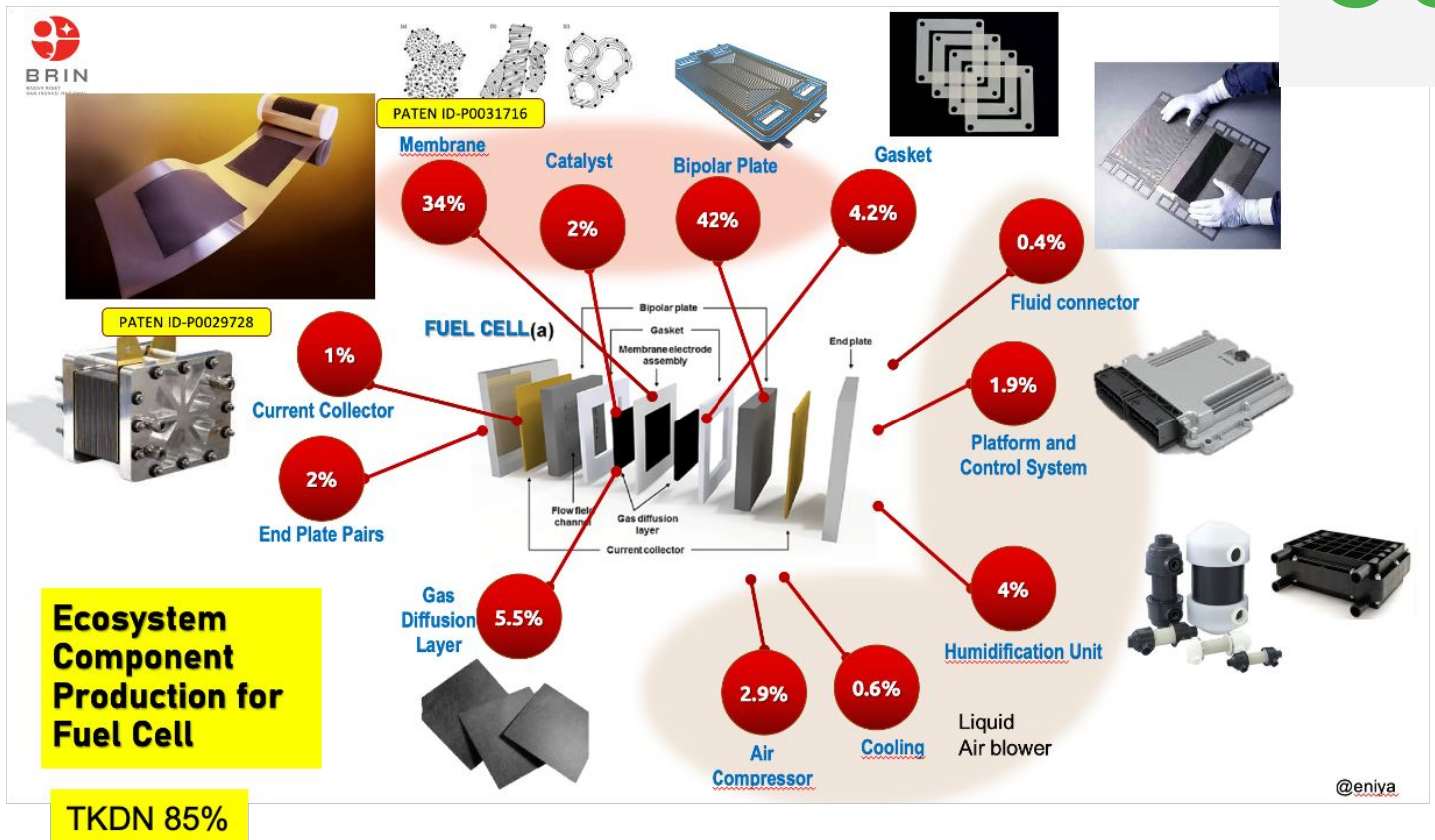
Penemuan dan paten yang telah diterbitkan terkait riset material fuel cell dapat dilisensikan. Namun saat ini tantangan yang dihadapi adalah ekosistem industri terkait yang belum tumbuh.



PtAg NR Array GDE



Gambar 8. Penumbuhan katalis Nanorod (Sumber: BRIN)[10].



Gambar 9. Skema Industrialisasi komponen *Fuel Cells* (Sumber: IFHE).

Dalam penguasaan teknologi kunci untuk memposisikan riset dan inovasi dalam peta jalan nasional, BRIN dan berbagai Lembaga Riset, Universitas dan Industri telah mulai mengembangkan Teknologi kunci berupa,

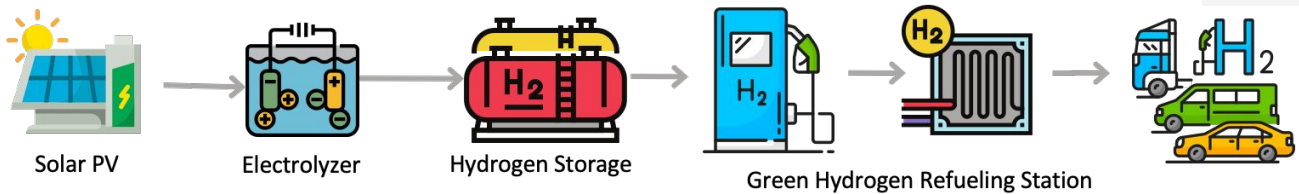
1. Teknologi Fuel Cell
2. Teknologi Elektrolisa
3. Teknologi Penyimpanan Hidrogen
4. Teknologi Produksi Hidrogen

Dengan menekankan R&D beberapa hasil riset telah dipatenkan. Dan dalam proses ini diketahui bahwa komponen dapat disubstitusi dan dilakukan di lokal. Terutama untuk industri manufaktur pendukung otomotif yang memungkinkan untuk mewujudkan manufaktur tersebut.

Perekonomian yang terbentuk karena rantai pasok teknologi Hidrogen kedepan akan pula melahirkan tenaga kerja.

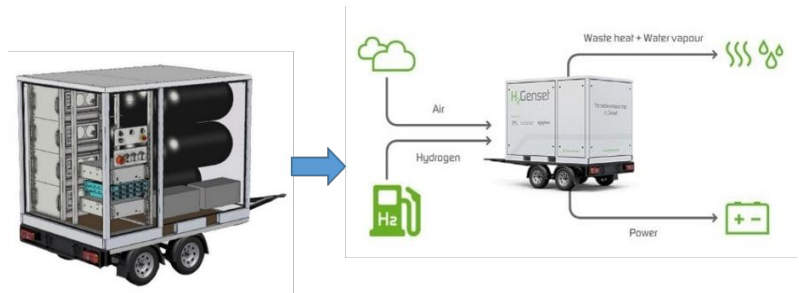


Gambar 10. Prototipe PEMFC produk lokal (Sumber: IFHE).



Gambar 11. Ilustrasi efisiensi pemanfaatan energi terbarukan yang intermitten di dalam grid untuk menghasilkan hidrogen (Sumber: IFHE).

Riset produksi hidrogen hijau telah dimulai dan dilanjutkan dengan proses penyimpanan hidrogen serta pengembangan prototipe *Hydrogen Refueling Station* (HRS).



Gambar 12. Prototipe *mobile hydrogen refueling station* (Sumber: BRIN).

Pada tahun 2020, PT Kereta Api Indonesia (KAI) memulai kerjasama dengan ALSTOM untuk aplikasi hidrogen di kereta. Kereta hidrogen yang akan dikerjasamakan antara PT KAI dan ALSTOM merupakan teknologi ramah lingkungan. Pengoperasian kereta ini menggunakan elektrifikasi dari proses kombinasi hidrogen dan oksigen. Dengan teknologi ini emisi yang dikeluarkan adalah air.

FUEL CELL STORYBOARD

MAKING THE HYDROGEN AUTOMOTIVE PROTOTYPE



HYDROGEN MOTORCYCLE

Use 500 W of PEMFC, NiMH tank 740 L at 150 psi, 48 VDC to 12 VDC controller

The concept of using fuel cells in electric motorcycle, using integrated electronic components. It has been made since 2009. It is still in operation until today (12 years old).



FUEL CELL VEHICLE

Use 1 kW of PEMFC, 30V-33.5A, 36VDC/1kW motor, H₂-tank 295L/150 bar Compress Cylinder

Four-wheeled light electric vehicles with 2 passengers are converted into hydrogen gas-fueled vehicles.



HYBRID CAR BATTERY-PV-FC

Use 2.5 kW of PEMFC, 48VDC/3,7kW Motor, PV 200Wp, Lithium Battery 48V/80Ah

Installation of photo-voltaic on the roof of the golf-car and combination of PEM fuel cells on the back to create a combined system of electricity supply from renewable energy.

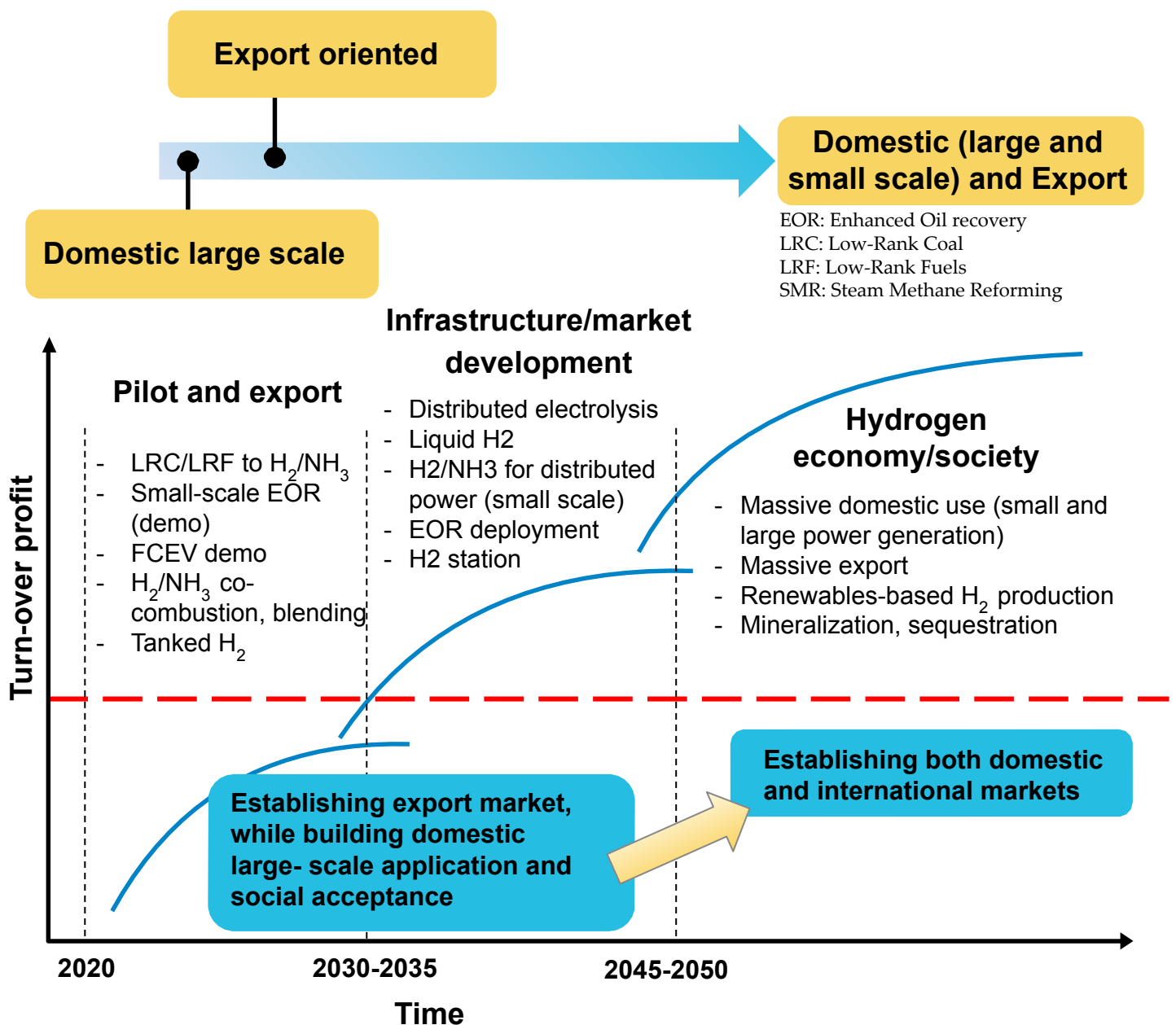
Gambar 13. Prototipe kendaraan hidrogen dalam sektor otomotif (Sumber: BRIN).

Skenario Adopsi Hidrogen

Dalam konsep dasar skenario adopsi hidrogen sebagai perwujudan penurunan emisi, ada tiga tahapan penting dalam kurun waktu yang ditentukan seperti pada Gambar 14. Tahapan dimulai dari sektor produksi gas hidrogen skala besar untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, baru kemudian masuk ke dalam sektor produksi hidrogen untuk ekspor.

Peta ekonomi hidrogen secara makro terbagi menjadi tiga tahapan. Tahapan pertama adalah pembuatan *pilot project*, pemenuhan kebutuhan domestik serta penyiapan ekspor. Tahapan kedua adalah penyiapan infrastruktur dan pengembangan pasar. Serta dalam jangka panjang, tahapan terakhir adalah pengejawantahan ekonomi hidrogen.

Possible Roadmap for Hydrogen: Indonesian Case



Gambar 14. Roadmap tahap pengembangan hidrogen di Indonesia (Sumber: IFHE).

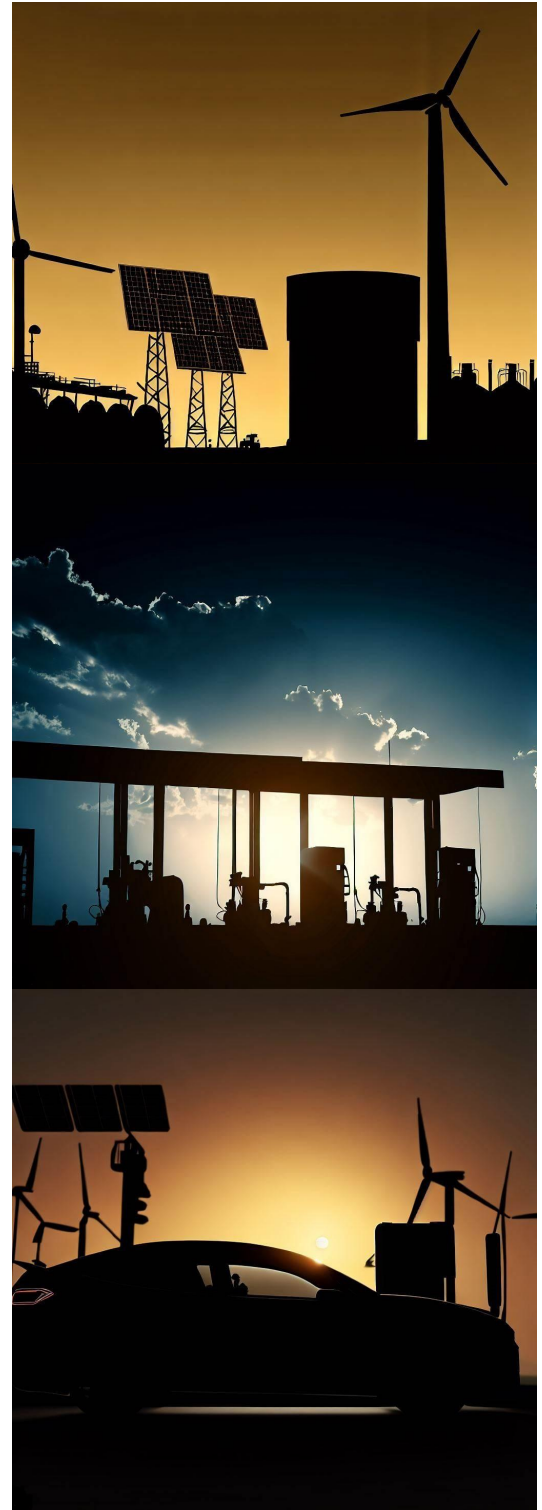
Dalam peta ekonomi hidrogen, pada tahap awal ditargetkan untuk masuk pada skala *pilot project*, pada tahun 2020–2030. Pada tahapan ini, *demo plant* untuk *fuel cell vehicle*, elektrolisa, *co-firing* hidrogen dan ammonia, penyimpanan hidrogen, serta pengembangan riset dan inovasi, ditargetkan sudah memasuki level teknologi yang siap diaplikasikan.

Pencapaian pada tahap awal dilanjutkan dengan implementasi pada sektor – sektor terkait seperti:

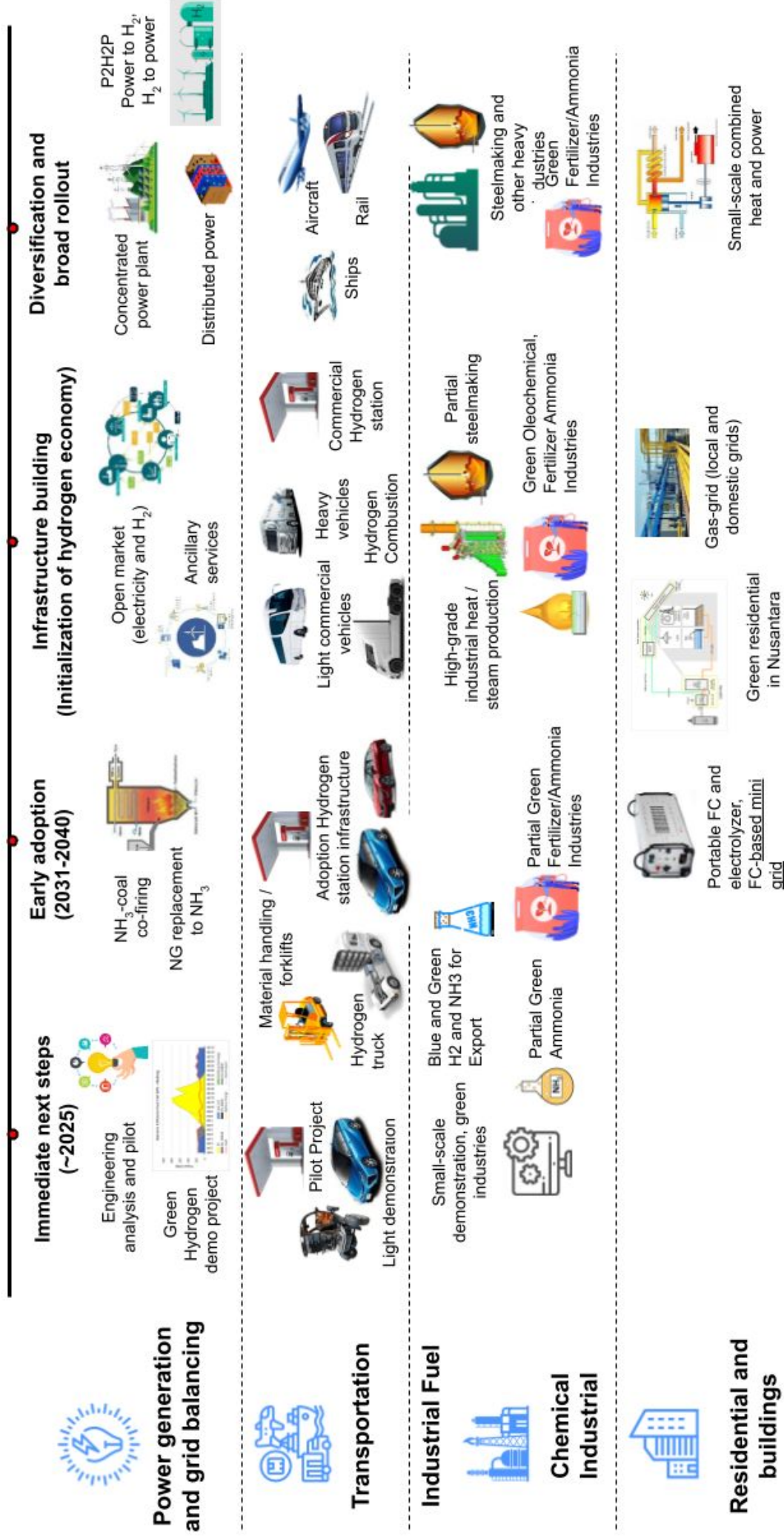
- (1) sektor power generation
- (2) sektor transportasi
- (3) sektor bahan bakar industri,
- (4) sektor bahan baku industri, dan
- (5) sektor perumahan dan bangunan.

Dalam skenario implementasi tersebut, industri pengguna hidrogen harus mulai membangun fasilitas penghasil hidrogen yang rendah emisi. Penggunaan CCS/CCUS menjadi pilihan awal sebelum bergerak ke hidrogen hijau.

Tiga tahapan penting dalam skenario adopsi hidrogen untuk menurunkan emisi. Tahap pertama adalah pembuatan *pilot project*, produksi gas hidrogen untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri dan ekspor. Tahap kedua adalah penyiapan infrastruktur dan pengembangan pasar. Tahap ketiga adalah pengejawantahan ekonomi hidrogen dalam jangka panjang. Implementasi teknologi hidrogen melibatkan sektor *power generation*, transportasi, bahan bakar industri, bahan baku industri, dan perumahan dan bangunan. Industri pengguna hidrogen harus mulai membangun fasilitas penghasil hidrogen yang rendah emisi dengan menggunakan CCS/CCUS sebelum beralih ke hidrogen hijau.



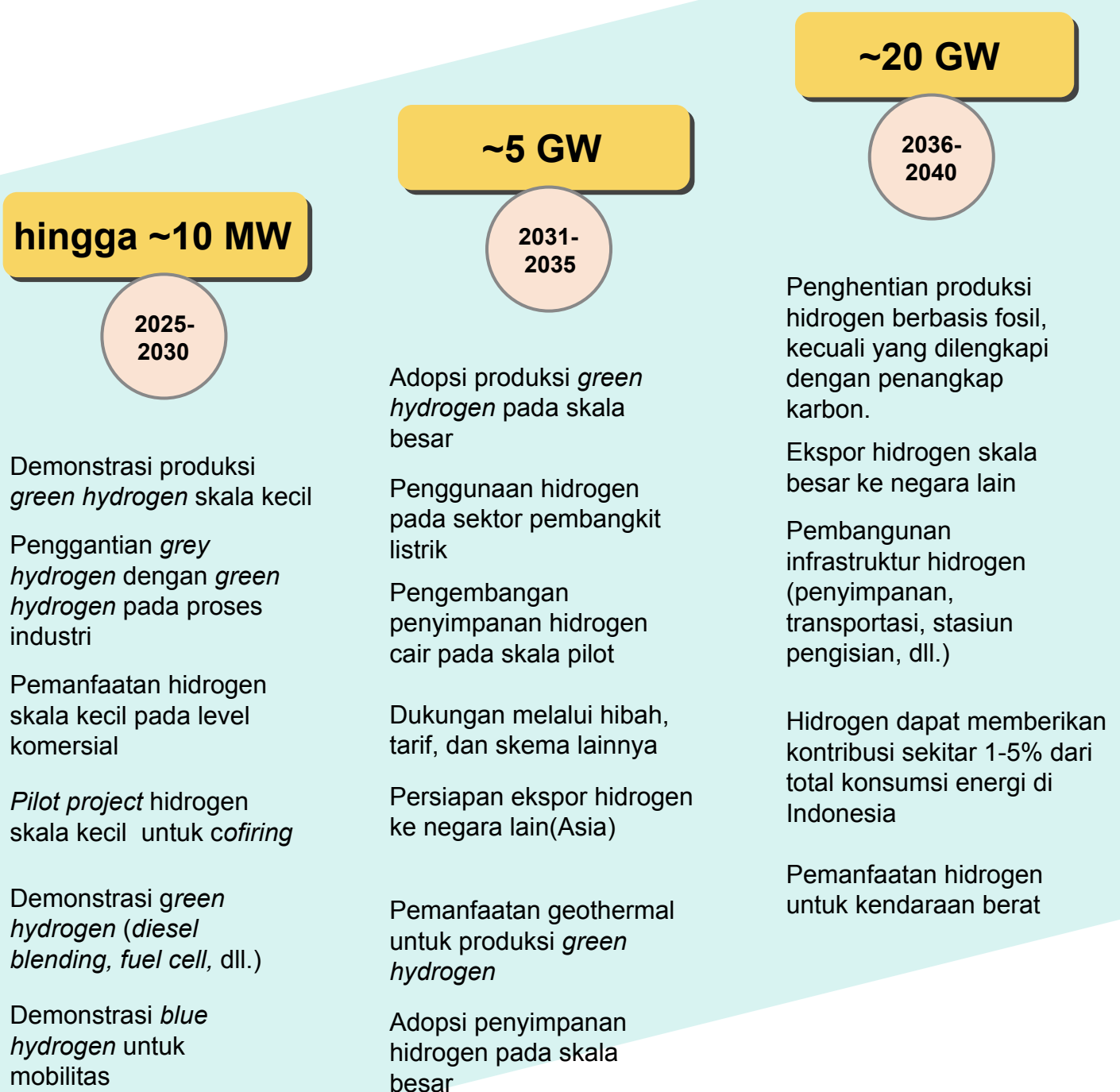
Possible H₂ Application Roadmap in Indonesia



Gambar 15. Roadmap aplikasi hidrogen di Indonesia (Sumber: IFHE).

Peta Jalan Adopsi Hidrogen

Perkembangan teknologi hidrogen di Indonesia mencakup berbagai skala, mulai dari skala kecil (Mega Watt) hingga skala besar (Giga Watt) serta tidak disangsikan kedepan juga menuju Terra Watt, dengan fokus pada produksi hidrogen, aplikasi dalam sektor industri, transportasi, dan pengembangan infrastruktur yang mendukung.



Melalui penelitian, inovasi, dan kolaborasi, Indonesia terus bergerak maju untuk mengoptimalkan penggunaan teknologi hidrogen dalam upaya menuju energi bersih dan berkelanjutan. *Roadmap* skala pengembangan hidrogen di Indonesia disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16. *Roadmap* skala pengembangan hidrogen di Indonesia (Sumber: IFHE).

Dalam upaya mendukung pencapaian net zero emission, Pemerintah Indonesia menetapkan beberapa kebijakan pembangunan terkait rendah karbon. Pertama, sektor energi perlu mengurangi konsumsi energi sekaligus mempercepat transisi menuju energi terbarukan dan kendaraan listrik. Kedua, teknologi memainkan peran penting dalam skenario net zero emissions. Salah satu kebijakan yang dianggap bermanfaat adalah penerapan carbon capture and storage (CCS) dan beralih ke bahan bakar hidrogen. Ketiga, sektor pertanian perlu melestarikan penyerap karbon melalui reboisasi hutan dan lahan gambut, rehabilitasi mangrove, pencegahan deforestasi, dan pencegahan kebakaran. Keempat, sektor persampahan perlu memikirkan kembali pengelolaan sumber daya dan sampah dengan menerapkan prinsip ekonomi sirkular sekaligus merancang pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Selain itu, kebijakan fiskal untuk mendukung net zero emission ini juga penting yaitu menghilangkan subsidi bahan bakar dan mulai menerapkan pajak karbon.

Selain itu, untuk mendukung tercapainya Net Zero Emission 2060 yaitu untuk mencapai target nol emisi, pemerintah menerapkan lima prinsip utama, yaitu peningkatan pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan (EBET), pengurangan energi fosil, kendaraan listrik di sektor transportasi, peningkatan pemanfaatan listrik pada rumah tangga dan industri, dan pemanfaatan Carbon Capture and Storage (CCS).

Beberapa strategi kunci telah disiapkan untuk menuju energi netral mulai tahun 2021 sampai 2060 yaitu [8],

- Di tahun 2021, pemerintah akan mengeluarkan regulasi dalam bentuk Peraturan Presiden terkait EBET dan retirement coal. Tidak ada tambahan PLTU baru kecuali yang sudah berkontrak maupun sudah dalam tahap konstruksi;
- Di tahun 2022 akan adanya Undang-Undang EBET dan penggunaan kompor listrik untuk 2 juta rumah tangga per tahun. Selanjutnya, pembangunan interkoneksi, jaringan listrik pintar (smart grid) dan smart meter akan hadir di tahun 2024 dan bauran EBET mencapai 23% yang didominasi PLTS di tahun 2025;
- Pada tahun 2027, pemerintah akan memberhentikan impor LPG;
- Pada tahun 2030 42% EBET didominasi dari PLTS dimana jaringan gas menyentuh 10 juta rumah tangga, kendaraan listrik sebanyak 2 juta (mobil) dan 13 juta (motor), penyaluran BBG 300 ribu, pemanfaatan Dimethyl Ether dengan penggunaan listrik sebesar 1.548 kWh/kapita. Semua PLTU tahap pertama subcritical akan mengalami pensiun dini di tahun 2031 dan sudah adanya interkoneksi antar pulau mulai COD di tahun 2035 dengan konsumsi listrik sebesar 2.085 kWh/kapita dan bauran EBET mencapai 57% dengan didominasi PLTS, tenaga hidro dan panas bumi;

- Di tahun 2040, bauran EBET sudah mencapai 71% dan tidak ada PLT Diesel yang beroperasi, Lampu LED 70%, tidak ada penjualan motor konvensional, dan konsumsi listrik mencapai 2.847 kWh/kapita;
- Lima tahun berikutnya, pemerintah mewacanakan akan ada pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama mulai COD. Pemerintah akan mempertimbangkan penggunaan energi nuklir yang direncanakan dimulai tahun 2045 dengan kapasitas 35 GW sampai dengan 2060.

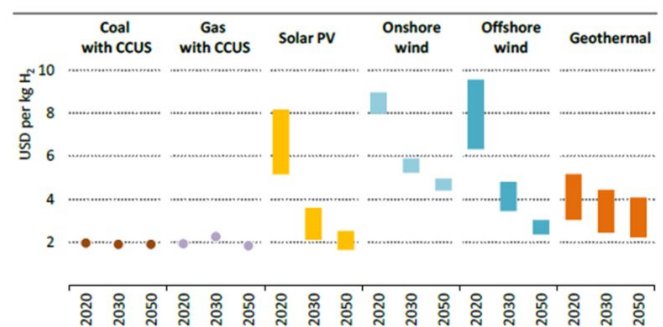
Selanjutnya, bauran EBET diharapkan sudah mencapai 87% di 2050 bersama dengan tidak melakukan penjualan mobil konvensional dan konsumsi listrik 4.299 kWh/kapita. Terakhir, pada 2060 bauran EBET telah mencapai 100% yang didominasi PLTS dan tenaga hidro disertai dengan penyaluran jaringan gas sebanyak 23 juta sambungan rumah tangga, kompor listrik 52 juta rumah tangga, penggunaan kendaraan listrik, dan konsumsi listrik menyentuh angka 5.308 kWh/kapita.

Kebutuhan hidrogen di Indonesia diperkirakan 1,75 juta ton pada tahun 2021 [9], dimana sebagian digunakan untuk sektor industri kimia dan kilang. Sumber energi terbarukan di Indonesia memiliki peluang yang besar untuk menghasilkan hidrogen yang rendah karbon melalui proses elektrolisis air dengan menggunakan sumber listrik yang berasal dari energi terbarukan.

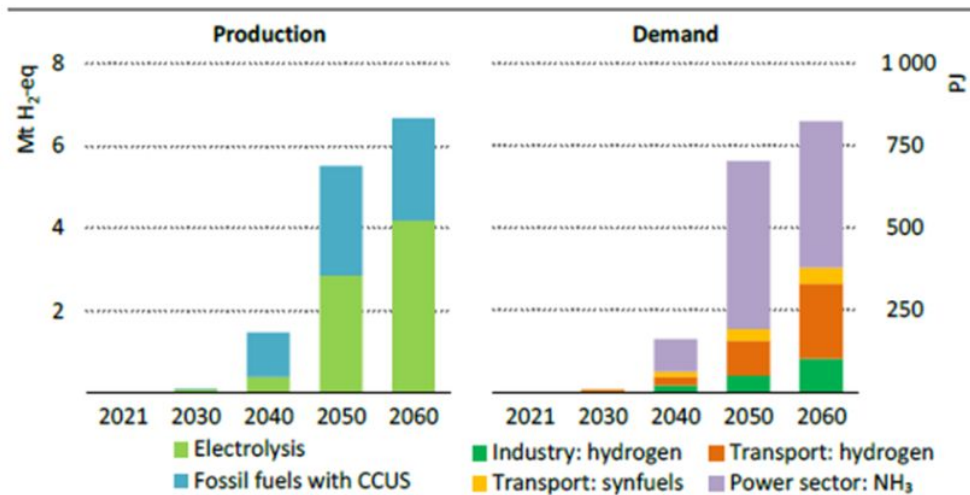
Selain itu produksi hidrogen yang rendah emisi juga dapat diperoleh dari gas alam atau batubara dengan mengkombinasikan CCUS. Pada proses ini dapat dilakukan penyimpanan dari gas CO₂ yang dihasilkan.

Harga hidrogen rendah emisi lebih tinggi dari produksi hidrogen yang berasal dari bahan bakar fosil. Tingginya biaya elektrolisis, biaya produksi listrik dari sumber energi terbarukan dan teknologi penangkapan CO₂ (CO₂ capture technology) harus dapat dikurangi sehingga harga hidrogen ini dapat lebih kompetitif. Biaya produksi hidrogen dengan solar Photovoltaic bisa turun menjadi sekitar 1,7 USD per kilogram pada tahun 2050 [9] untuk daerah yang mempunyai dollar radiasi yang tinggi seperti Nusa Tenggara Timur.

Pada Gambar 17 di bawah ini, ditampilkan harga produksi hidrogen di Indonesia yang dihasilkan dari energi fosil maupun energi terbarukan.



Gambar 17. Produksi Hidrogen di Indonesia



Gambar 18. Produksi Hidrogen di Indonesia

Beberapa proyek atau perjanjian kerjasama untuk membuat hidrogen rendah emisi mulai dilakukan di Indonesia. PT Pertamina mengembangkan pilot project hidrogen di lapangan panas bumi Ulubelu menggunakan listrik yang berasal dari tenaga panas bumi. Samsung dan Hyundai mengumumkan proyek kerjasama dengan Global Green Growth Institute sebesar 1,2 miliar USD untuk membuat hidrogen dengan menggunakan tenaga panas bumi di Sumatera Utara. Sebuah konsorsium antara Institut Teknologi Bandung, PT Panca Amara Utama dan Mitsubishi akan membangun amonia dengan kapasitas 660 kiloton per tahun dengan mengkombinasikan teknologi CCUS di Sulawesi Tengah.

Dalam upaya mencapai target net zero emissions, berbagai negara di dunia mulai mengambil langkah dekarbonisasi. Berbagai upaya tersebut, misalnya, dilakukan pada beberapa sektor penyumbang emisi gas rumah kaca melalui renewable electricity.

Salah satu solusi yang telah diakui oleh berbagai negara di dunia untuk menyelesaikan dekarbonisasi ini adalah pengembangan green hydrogen.

Menurut skenario Rute net zero emission, hidrogen dan turunannya akan menyumbang 12 persen dari penggunaan energi final dunia, di mana dua per tiga dari permintaan ini akan dipenuhi oleh Green Hydrogen. Selain itu, 30 persen dari penggunaan listrik di dunia akan didedikasikan untuk produksi *Green Hydrogen* dan turunannya.

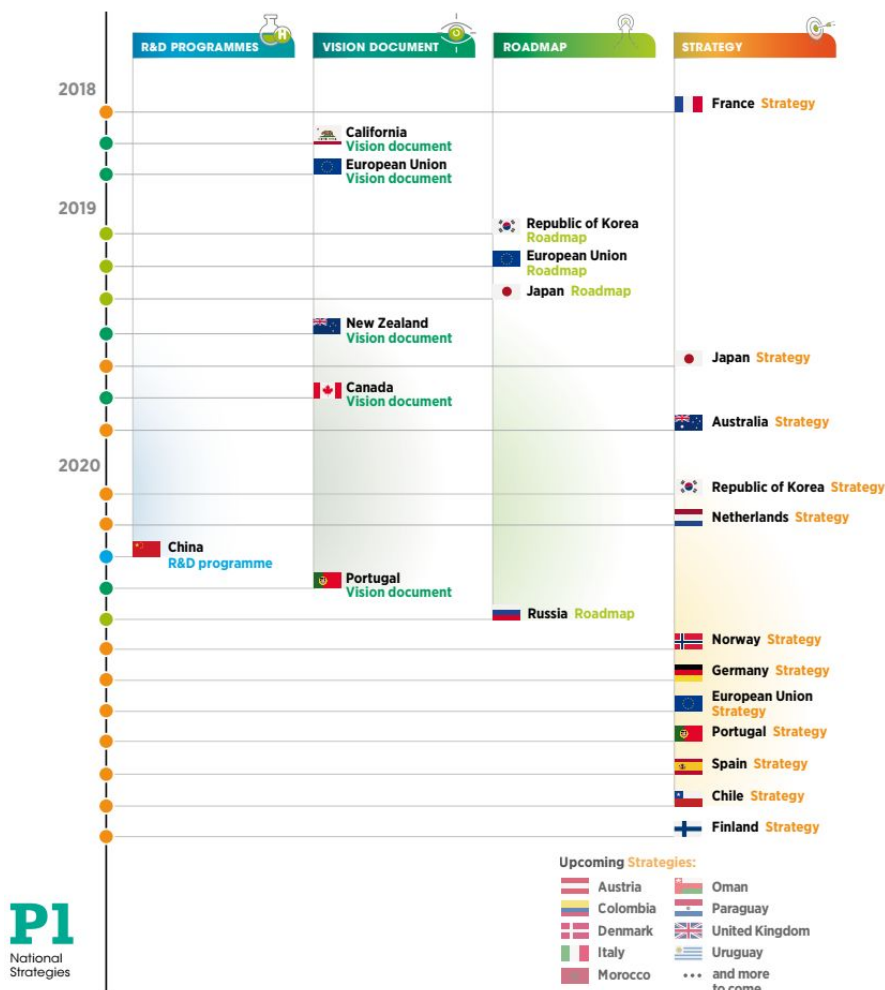
Pemanfaatan Hidrogen di Indonesia sudah diaplikasikan pada sektor telekomunikasi, dimana PT Cascadiant Indonesia selaku pemain teknologi fuel cell telah menerapkan penggunaan fuel cell untuk backup power pada telekomunikasi. Penggunaan Fuel cell pada sektor telekomunikasi ini sudah dimulai sejak tahun 2010, dan sampai saat ini lebih dari 800 fuel cell telah dipasang menghasilkan lebih dari 8,5 MW DC, 4 juta jam operasional, mengurangi 40.000 ton emisi CO₂, serta mengurangi 10 juta liter bahan bakar diesel.

Roadmap Pemanfaatan Fuel cell dan H2 di Berbagai Negara

Berdasarkan hasil laporan IRENA bahwa beberapa negara telah memiliki langkah-langkah konkrit yang berkaitan dengan hidrogen dan aplikasinya. Langkah-langkah tersebut diantaranya memiliki program riset dan pengembangan, visi, roadmap dan juga strategi-strategi yang akan dijalankan. Nampak bahwa tercatat sejak tahun 2018 Perancis telah memiliki strategi mengenai suplai green hydrogen diikuti beberapa negara yang lain seperti EU, Korea selatan, Selandia baru, dan Jepang .

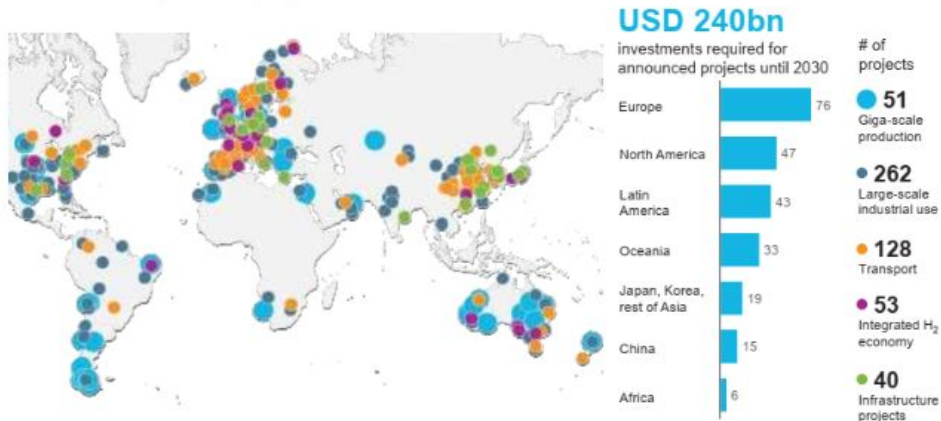
China yang merupakan produsen hidrogen terbesar di dunia, namun belum merilis strategi hidrogen secara nasional namun, telah menerapkan kebijakan-kebijakan yang menargetkan pada sektor transportasi termasuk penerapan subsidi khusus untuk kendaraan sel bahan bakar [11].

Pada tahun 2022 ini DOE mengeluarkan ambisi tujuan yaitu 1:1 mereka menargetkan \$1USD untuk 1 kilogram hidrogen bersih dalam 1 dekade hal tersebut untuk membuka potensi hidrogen lintas sektor [12].

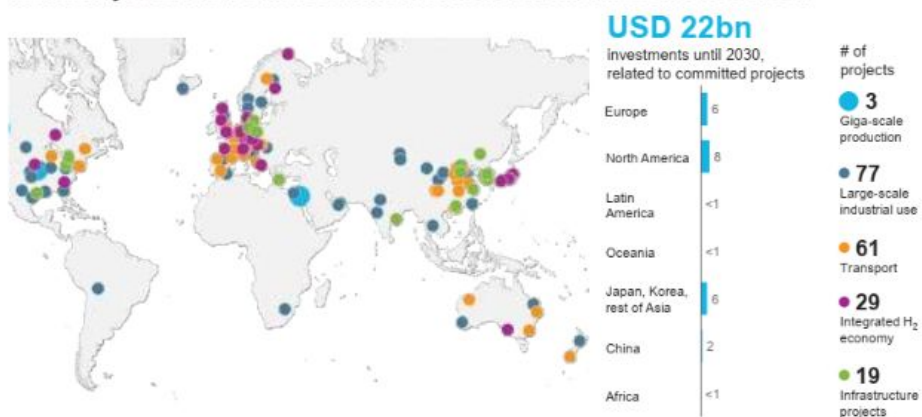


Gambar 19. Sejumlah negara sedang mengembangkan atau telah mengembangkan kebijakan dan strategi hidrogen

Out of 534¹ large-scale projects worth USD 240 bn announced globally ...



... and only about 10% of investments have achieved final investment decision



Gambar 20. Peta Jalan Green Hydrogen

Dengan tujuan untuk meningkatkan kebersihan produksi hidrogen hingga hampir nol, hari ini menjadi 10 MMT per tahun pada tahun 2030, 20 MMT per tahun pada tahun 2040, dan 50 MMT per tahun pada tahun 2050.

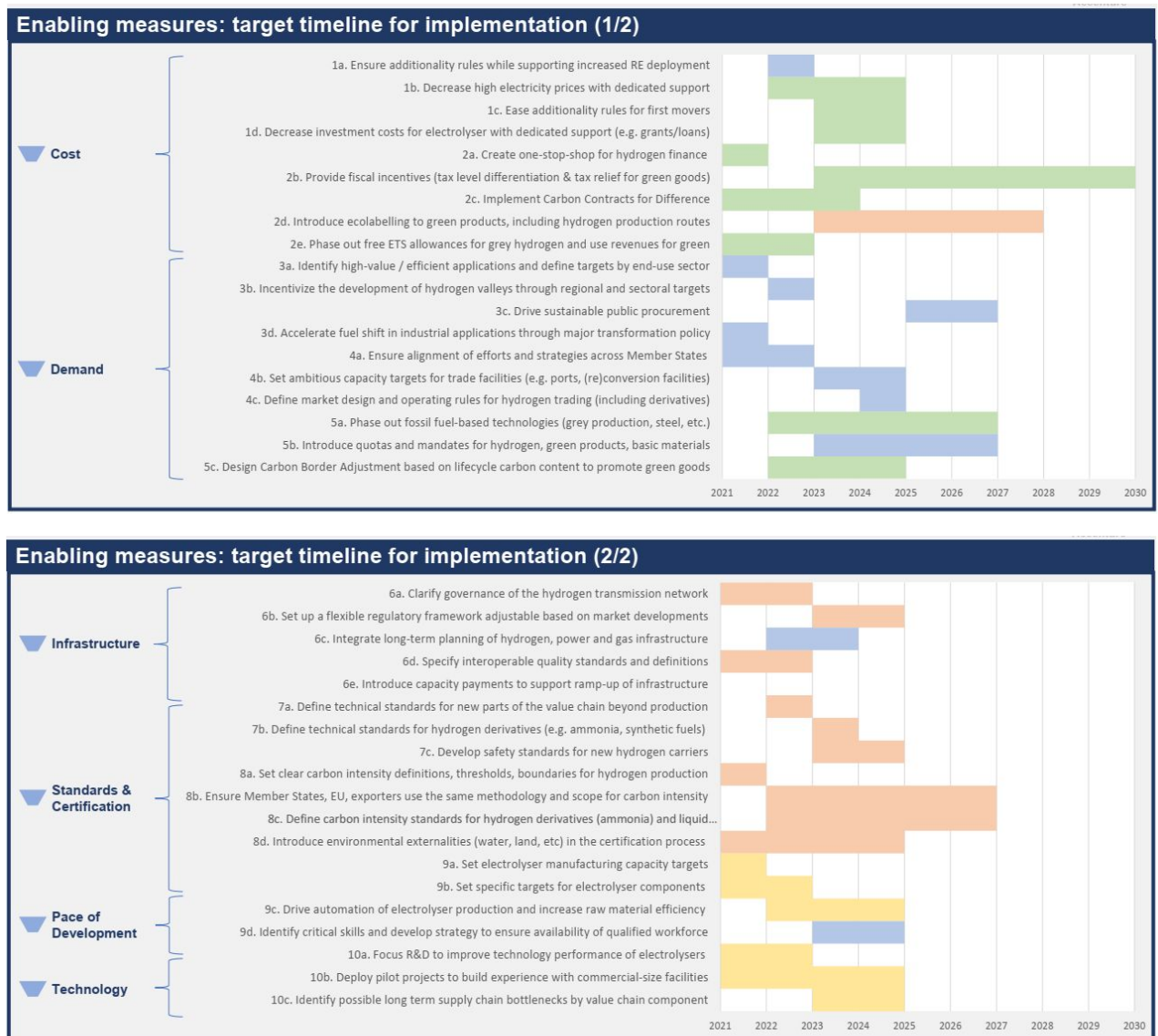
Secara global, industri telah mengumumkan 680 proposal proyek hidrogen skala besar pada akhir Mei 2022, dari jumlah tersebut 534 bernilai USD 240 miliar dari investasi langsung yang dibutuhkan dalam rantai nilai hidrogen pada tahun 2030. Dari 534 proposal proyek ini, sekitar sepertiga sedang menjalani studi kelayakan dan desain rekayasa front-end, yang mewakili investasi USD 109 miliar.

Namun, hanya USD 22 miliar (sekitar 10%) yang telah mencapai keputusan investasi akhir, sedang dibangun, atau sudah beroperasi. Jumlah ini hanya tumbuh sebesar USD 2 miliar dalam setengah tahun terakhir, jauh lebih lambat dari pengumuman proyek tersebut [13].

Pada pertemuan World Economic Forum membahas roadmap mengenai green hydrogen terutama di kawasan Eropa dan Jepang membahas apa saja yang menjadi hambatan dalam membuat skala besar dalam produksi green hydrogen, mengidentifikasi prioritas dan juga membangun dialog dan kolaborasi antar pembuat kebijakan [14]. Berikut timeline target implementasi kegiatan pada negara-negara Eropa.

Pada pertemuan World Economic Forum membahas roadmap mengenai green hydrogen terutama di kawasan Eropa dan Jepang membahas apa saja yang menjadi hambatan dalam membuat skala besar dalam produksi green hydrogen, mengidentifikasi prioritas dan juga membangun dialog dan kolaborasi antar pembuat kebijakan [14].

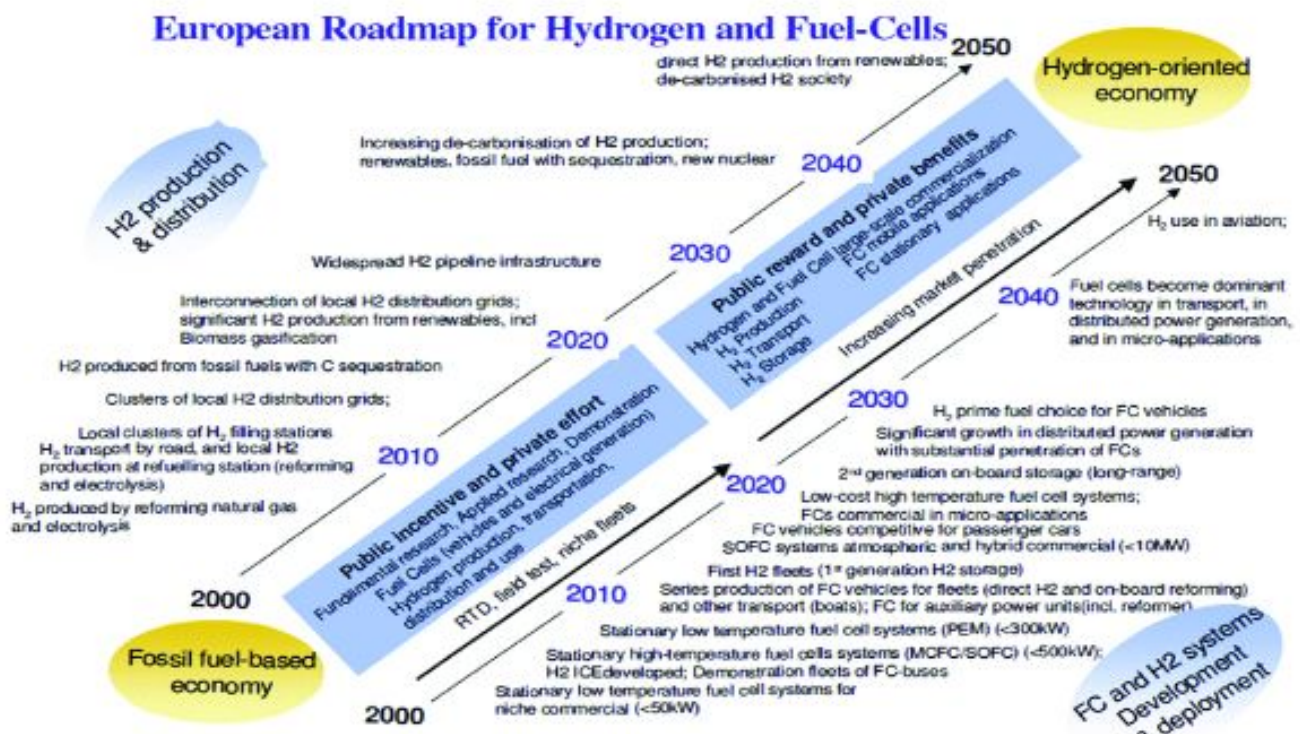
Berikut timeline target implementasi kegiatan pada negara-negara Eropa.



Gambar 21. Timeline Target Implementasi Kegiatan pada Negara-negara Eropa

Strategi hidrogen Uni Eropa mengeksplorasi potensi hidrogen terbarukan untuk membantu dekarbonisasi Uni Eropa dengan cara yang hemat biaya. Hidrogen menyumbang kurang dari 2% dari konsumsi energi Eropa saat ini dan terutama digunakan untuk memproduksi produk kimia, seperti plastik dan pupuk, 96% dari produksi hidrogen ini adalah melalui gas alam, menghasilkan sejumlah besar emisi CO₂. Strategi Uni Eropa tentang hidrogen diadopsi pada tahun 2020 dan mengedepankan visi untuk penciptaan ekosistem hidrogen Eropa dari penelitian dan inovasi untuk meningkatkan produksi dan infrastruktur ke dimensi internasional. Hidrogen juga merupakan bagian penting dari strategi Uni Eropa untuk integrasi sistem energi.

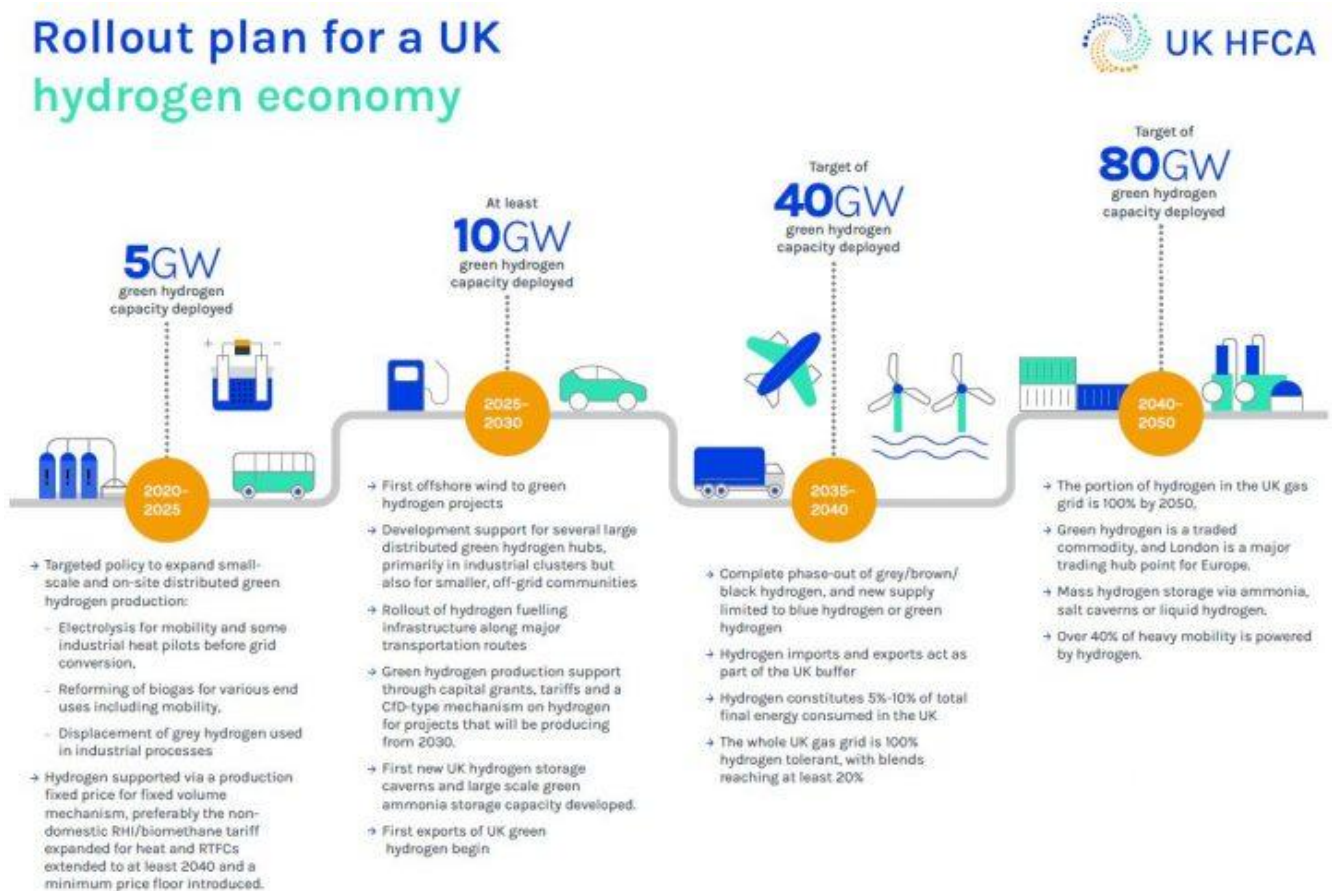
Strategi tersebut mengeksplorasi bagaimana memproduksi dan menggunakan hidrogen terbarukan dapat membantu dekarbonisasi ekonomi Uni Eropa dengan cara yang hemat biaya, sejalan dengan Kesepakatan Hijau Eropa, dan berkontribusi pada pemulihan ekonomi pasca-Covid-19. Ini mencantumkan 20 poin tindakan yang diterapkan pada kuartal pertama tahun 2022. Selain itu konsep akselerator hidrogen untuk meningkatkan penyebaran hidrogen terbarukan, yang akan berkontribusi pada percepatan transisi energi Uni Eropa dan dekarbonisasi sistem energi Uni Eropa. Ambisi rencana Renewable Energy Power Uni Eropa adalah untuk memproduksi 10 juta ton dan mengimpor 10 juta ton hidrogen terbarukan di UE pada tahun 2030.



Gambar 22. Strategi dan Peta Jalan Fuel cell dan Hidrogen di Eropa

Sektor energi Inggris dianggap sebagai salah satu industri energi paling inovatif dan semakin 'terbersih' di dunia, dan makalah yang diterbitkan oleh Asosiasi Sel Bahan Bakar dan Hidrogen Inggris (UKHFCA) yang menyoroti pentingnya Pemerintah Inggris untuk mengambil tindakan sekarang jika ingin tetap menjadi pemimpin dalam energi hidrogen dan terus memelopori gerakan dekarbonisasi global. Faktor penting yang harus dipertimbangkan oleh Pemerintah menjelang peristiwa global dan seterusnya, termasuk:

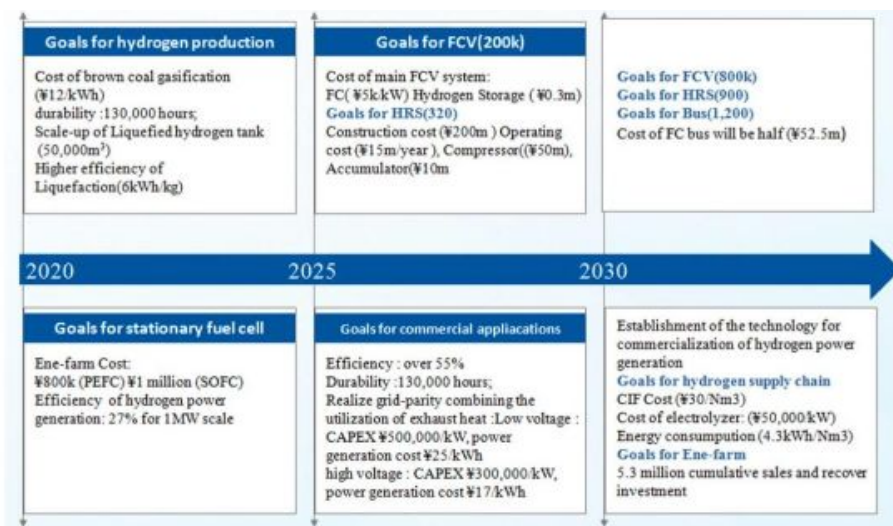
- Bagaimana hidrogen memainkan peran penting dalam perjalanan dekarbonisasi Inggris dan apa yang sebenarnya dibutuhkan untuk mencapai net zero pada tahun 2050;
- Serangkaian rekomendasi kebijakan (peluang siap pakai, jangka pendek dan menengah);
- Peta jalan yang jelas dari tahun 2020 hingga 2050 yang menggambarkan apa yang diperlukan untuk mengembangkan basis industri hidrogen hijau yang signifikan di Inggris.



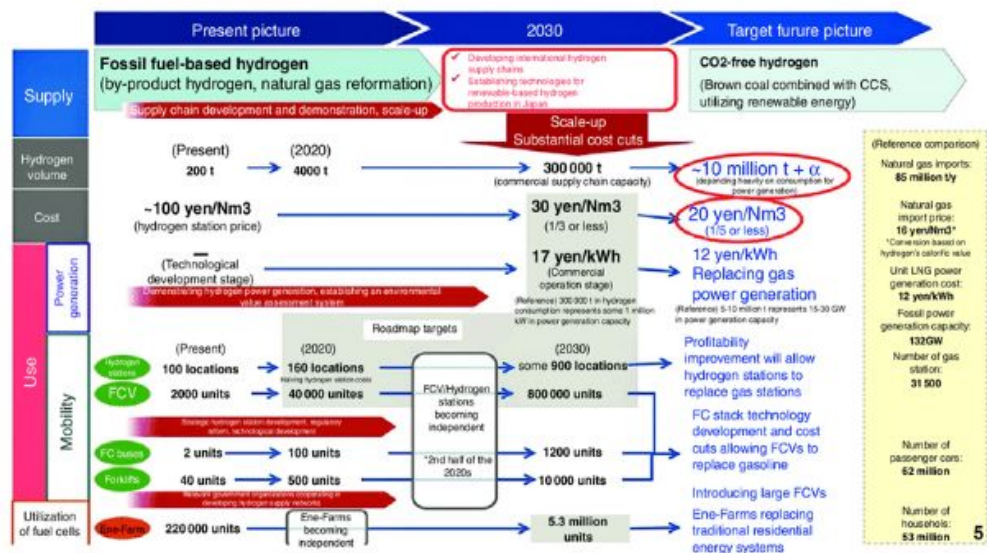
Gambar 23. Strategi dan Peta Jalan Fuel cell dan Hidrogen di United Kingdom

Jepang memulai pengembangan fuel cell dan hidrogen telah berlangsung lama, riset telah berjalan lebih dari 40 tahun, proses ke tahapan komersial pun telah lebih dari 20 tahun. Dan upaya komersialisasi penggunaan hidrogen di sektor transportasi dengan dirilisnya Toyota Mirai pada 2014 adalah tonggak sejarah baru perwujudan hydrogen economy. Selaras dari itu pada tahun yang sama, perusahaan Iwatani Co. juga menggulirkan Hydrogen Fueling Station pertama skala komersial yang berlokasi di Amagasaki, Hyogo Prefecture.

Di awal tahun 2022, Jepang juga telah meluncurkan kereta Hybari yang berbahan bakar gas hidrogen dan baterai dengan menggunakan fuel cell, yang menelan biaya sebesar 4 Milyar Yen. Uji coba Hybari dilakukan pada Nanbu Line, dengan sekali pengisian gas hidrogen mampu mencapai 140 km dengan kecepatan maksimum 100 km/jam [16].



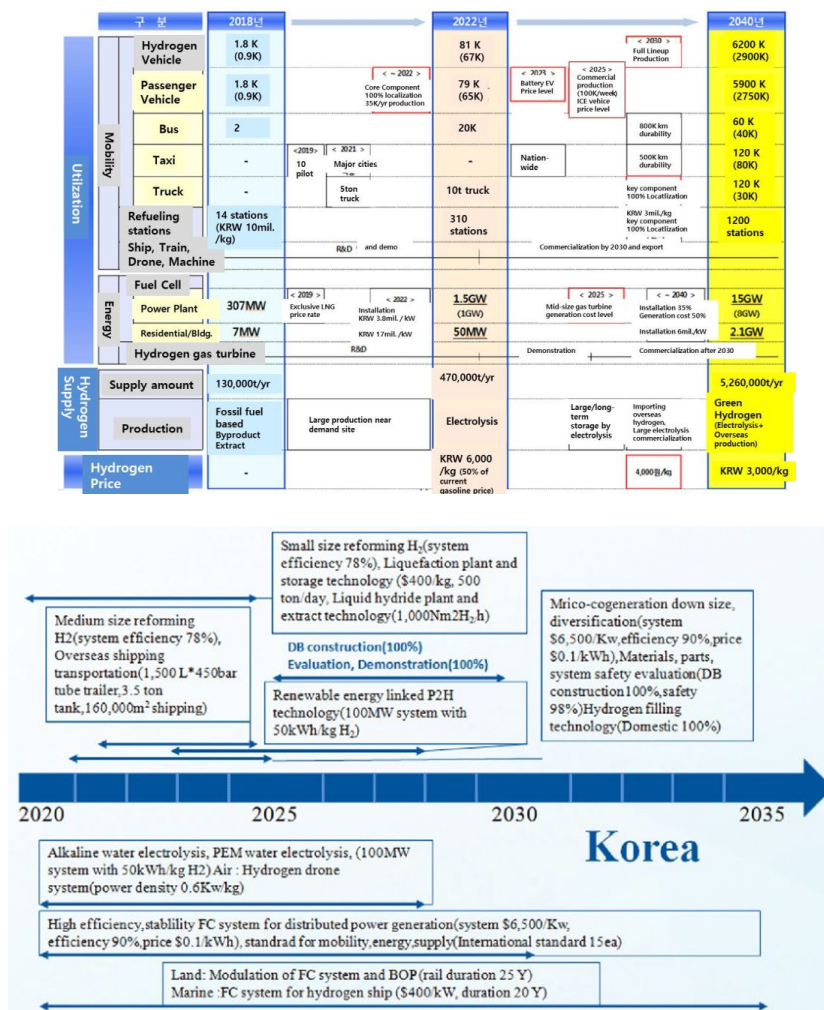
Gambar 24. Strategi dan Peta Jalan Fuel cell dan Hidrogen di Jepang



Gambar 25. Target Bebas Karbon pada Sektor Transportasi dan Pembangkit Energi

Pada Januari 2019, Korea mengumumkan Peta Jalan Ekonomi Hidrogennya. Roadmap tersebut menguraikan tujuan untuk memproduksi 6,2 juta kendaraan listrik sel bahan bakar dan meluncurkan setidaknya 1.200 stasiun pengisian pada tahun 2040. Selain itu, rencana tersebut bertujuan untuk meluncurkan di jalan setidaknya 35 bus hidrogen pada tahun 2019 meningkatkan jumlah ini hingga 2.000 pada tahun 2022 dan 41.000 pada tahun 2040. Dalam hal sektor energi, peta jalan menguraikan tujuan untuk memasok 15 GW sel bahan bakar untuk pembangkit listrik pada tahun 2040. Strategi untuk mendukung industri hidrogen Pemerintah pertama-tama akan membentuk

Dewan Promosi Ekonomi Hidrogen yang terdiri dari enam anggota yang berbeda kementerian ditambah beberapa perusahaan swasta. Dewan akan dipimpin oleh Perdana Menteri. Setelah itu, pemerintah akan membangun Kluster Industri Hidrogen untuk mendorong kerjasama R&D antar pengetahuan lembaga, perusahaan, dan organisasi mulai tahun 2021. Tempat ini akan menjadi tempat uji coba untuk mendemonstrasikan yang terbaru teknologi. Selanjutnya, pada tahun 2022, pemerintah akan memilih tiga kota sebagai kota uji hidrogen nasional. Kota tersebut akan menjadi kota percontohan dimana perumahan, transportasi, industri dan sebagainya dioperasikan oleh tenaga hidrogen.



Gambar 26. Strategi dan Peta Jalan Fuel cell dan Energi Hidrogen di Korea

China bertujuan untuk mencapai target dengan meningkatkan R&D dalam bahan dan teknologi utama, dengan meningkatkan aplikasi teknologi (sistem tenaga, integrasi kendaraan) dan dengan mengimplementasikan proyek percontohan. Dalam kategori teknologi umum kunci, stack sel bahan bakar pada tahun 2020 harus memiliki kepadatan daya 2,0 kW/kg, lifespan 5.000 jam dan mulai dingin < -30°C. Untuk tahun 2025, target ini ditingkatkan menjadi awal yang dingin < -40°C, kepadatan daya 2,5 kW/kg dan masa pakai >6.000 jam.

Target ini semakin dipersempit dalam kinerja parameter bagian tertentu PEMFC, yaitu *membrane electrode assembly* (MEA), katalis, pelat bipolar, *proton exchange membrane* (PEM). Untuk target sistem engine sel bahan bakar ditetapkan untuk daya, efisiensi, kemampuan beradaptasi lingkungan, daya tahan, dan biaya tertentu. Peluncuran komersial FCEV akan dimulai dengan teknologi penggerak gabungan (sel bahan bakar dan daya baterai) mirip dengan model internasional yang saat ini ada di pasaran, dan kemudian beralih ke hidrogen sepenuhnya kendaraan bertenaga sel bahan bakar pada tahun 2030.

		2020	2025	2030
Overall objective		Small scale public sector demonstration in selected areas (5,000 FCVs)	Large-scale development of FC passenger cars and service vehicles in urban areas (50,000 FCVs)	Large-scale commercial deployment of passenger cars and commercial vehicles (one million FCVs)
		Fuel cell system production capacity >1,000 units per enterprise	Fuel cell system production capacity >10,000 units per enterprise	Fuel cell system production capacity >100,000 units per enterprise
Hydrogen fuel cell vehicles	Functional requirements	Cold start -30°C, power system structure optimisation, FCV cost close to all-electric vehicles	Cold start -40°C, small volume production, FCV cost similar to hybrid vehicle	FCV overall performance comparable with traditional ICE vehicles – achieving competitive advantage
	Commercial vehicle	Cost ≥ RMB 1.5 million	Cost ≥ RMB 1.0 million	Cost ≥ RMB 600,000
	Passenger car	Max speed ≥ 160km/h Lifespan 200,000km Cost ≥ RMB 300,000	Max speed ≥ 170km/h Lifespan 250,000km Cost ≥ RMB 200,000	Max speed ≥ 180km/h Lifespan 300,000km Cost ≥ RMB 180,000
Hydrogen infrastructure	H ₂ supply	Decentralised hydrogen production from renewable sources; industrial by-products such as coke-oven gas		Decentralised H ₂ production from renewable sources
	H ₂ delivery	High pressure hydrogen storage and delivery	* Cryogenic liquid * hydrogen delivery	High density organic liquid hydrogen storage ** and delivery at normal pressure
	HRS	100 stations	350 stations	1,000 stations

Gambar 27. FCV Technology Roadmap

Prospek industri China sangat positif. Saat ini China akan mencapai kapasitas electrolyzer 38 GW pada tahun 2030, dan Asosiasi Hidrogen China telah meminta pemerintah untuk memasang sebanyak 100 GW bahkan pada 2030. Saat ini 1 GW elektrolisis telah beroperasi, akan bertambah terus seiring dengan keinginan pemerintah maupun industri.

Rencana China untuk hidrogen berdasarkan industri yang berkekuatan ekonomi besar, telah mendorong strategi pengembangan hidrogen dalam beberapa tahun terakhir. Meskipun hidrogen telah dibahas sebagai teknologi baru yang strategis selama bertahun-tahun, strategi hidrogen bersih Uni Eropa dan strategi nasional Jerman baru dikeluarkan pada tahun 2020.

Rencana Jangka Menengah dan Panjang China untuk Pengembangan Industri Energi Hidrogen (2021-2035) adalah dikeluarkan pada Maret 2022. Dibandingkan dengan strategi UE dan Jerman, yang memprioritaskan hidrogen hijau, strategi China adalah hidrogen coklat dan abu-abu untuk saat ini, yang masih bersandar pada batu bara dan gas alam. Baru berencana untuk hidrogen hijau untuk mengambil alih hidrogen abu-abu, coklat dan biru setelah 2030.

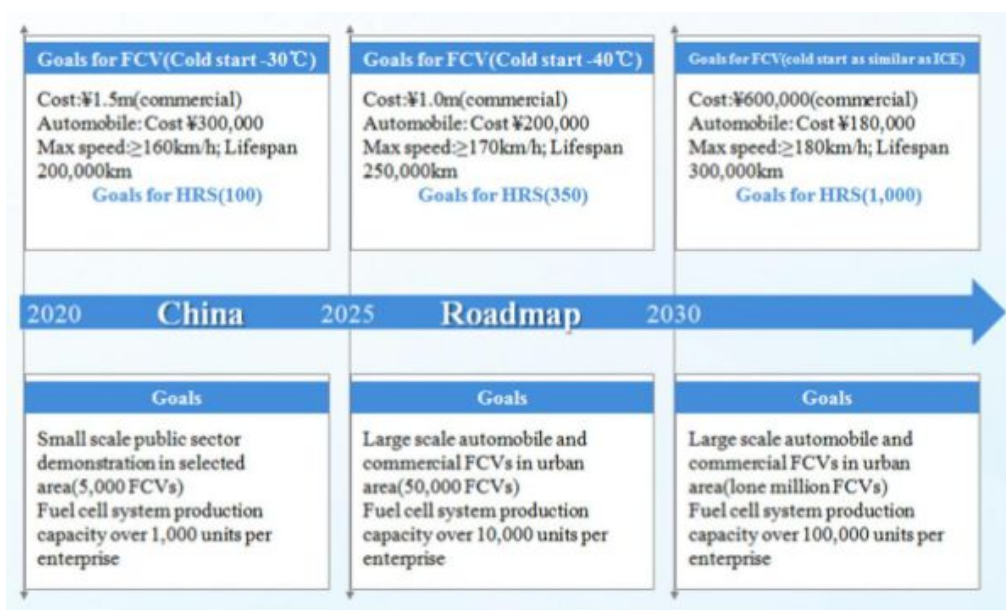


	 CHINA	 EUROPEAN UNION	 GERMANY
National plan	Medium and Long-term Plan for Hydrogen Energy Industry Development (2021-2035)	A Hydrogen Strategy for a Climate-neutral Europe	The National Hydrogen Strategy
H₂ color supported			
Stated targets for green H₂	100,000-200,000 tons green hydrogen by 2025	6 GW by 2024, producing 1 million tons; and 40 GW by 2030, producing 10 million tons	5 GW (14 TWh) by 2030
Investment volumes expected	No targets	Electrolyzer investments by 2030: EUR 24-42 billion. Total investments by 2050: EUR 180-470 billion	EUR 9 billion pledged

Gambar 28. Skenario China Memilih Produksi Hidrogen Hingga Tahun 2035



Gambar 29. Kebijakan Pemerintah China Per Negara Bagian untuk Fokus ke Hidrogen Hijau dan Hidrogen Lainnya

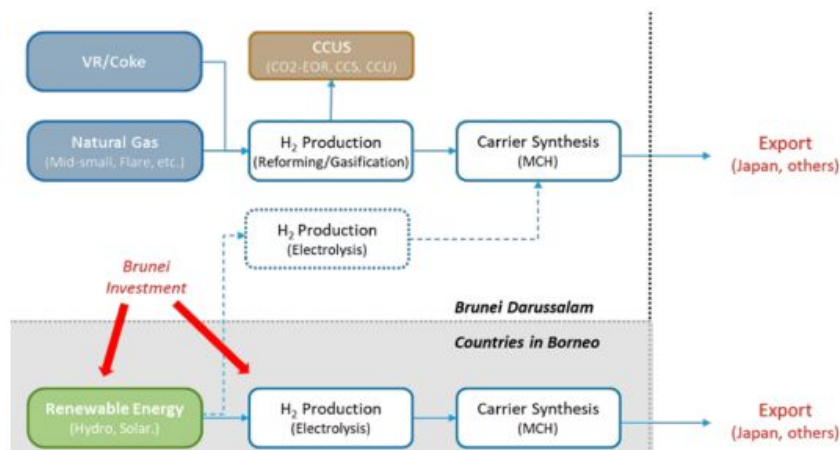


Gambar 30. Strategi dan Peta Jalan Fuel cell dan Energi Hidrogen di China

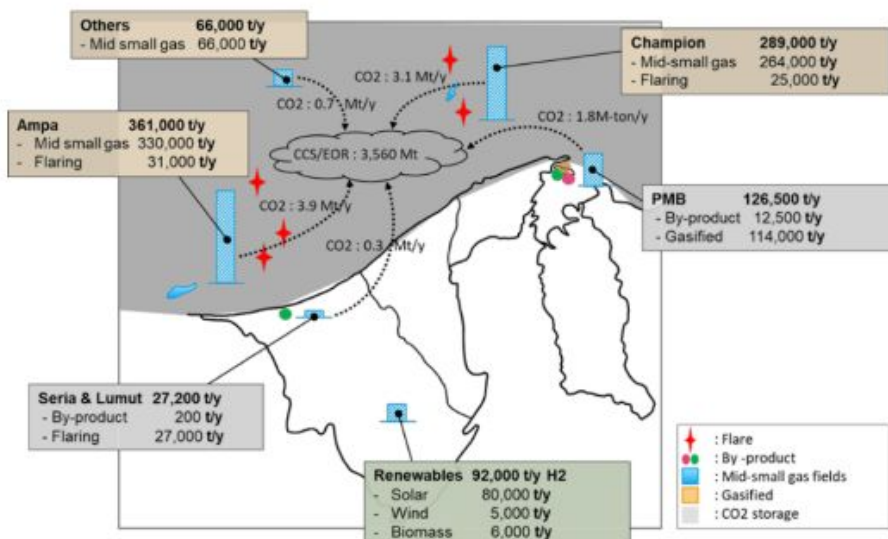
Brunei adalah negara yang relatif tidak menggunakan hidrogen sebagai sumber energi berdasarkan peta jalan, namun memberikan keputusan terbaik untuk segera masuk dalam rantai pasok industri hidrogen untuk hydrogen-carrier. Brunei telah mengirim MCH (methyl cyclohexane) ke Jepang pada 2021 yang dinamakan SPERA Hydrogen [19]. Kerjasama dengan Chiyoda, MCH (C_4H_{17}) yang diperoleh dari proses hidrogenasi toluene (C_7H_8) di lokal Brunei, kemudian dikirim dalam bentuk cairan MCH dalam tanker ke Jepang.

Sesampainya di Jepang kemudian dilakukan proses dehidrogenasi untuk mendapatkan kembali toluene dan hidrogen secara terpisah.

Jika Brunei bisa beralih dari minyak dan gas ke hidrogen (shifting industries), itu bisa secara drastis mengurangi emisi CO₂. Ini berarti bahwa hidrogen dapat menjadi energi atau teknologi yang berkelanjutan untuk Brunei, tetapi biaya pasokan hidrogen yang jauh lebih tinggi daripada minyak dan gas masih menjadi hambatan untuk perubahan tersebut, berdasarkan Laporan Studi ERIA.



Gambar 31. Rantai Pasok Hidrogen Global Brunei



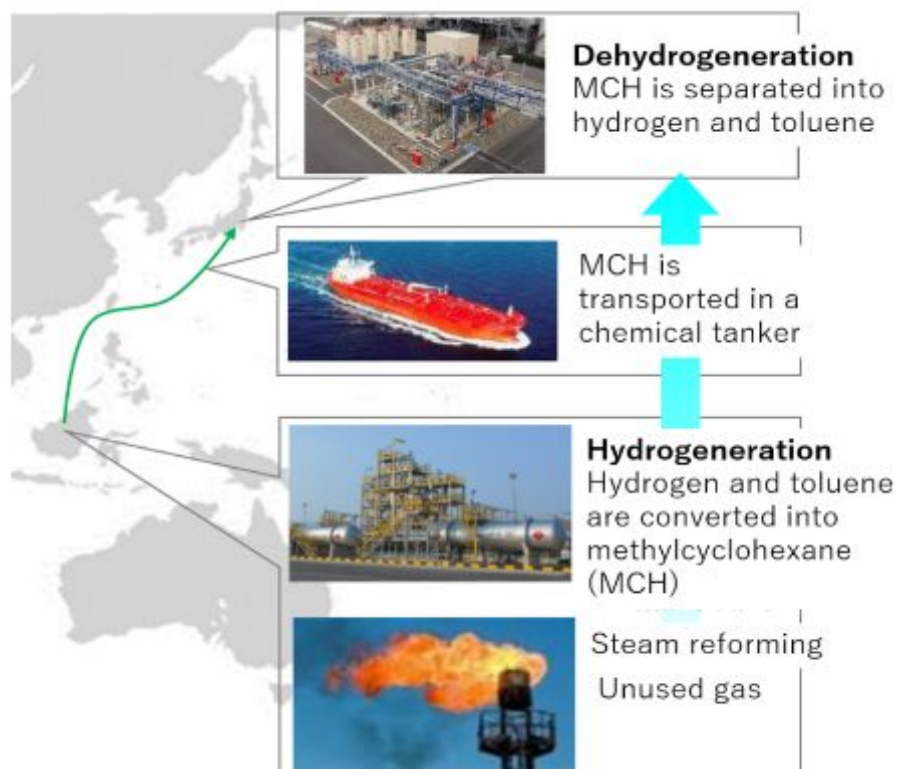
Gambar 32. Produksi Hidrogen di Brunei

Jika permintaan hidrogen akan lebih dari 70.000 m³ per jam, biaya pasokan hidrogen di stasiun pengisian bahan bakar 1.000 Nm³/jam akan turun menjadi sekitar US\$0,80/m³. Ini masih lebih tinggi dari harga bensin dan gas saat ini, tetapi harga ini sepenuhnya disubsidi oleh pemerintah Brunei. Mempertimbangkan dua manfaat utama hidrogen, yaitu pengurangan emisi CO₂ dan penghematan konsumsi minyak dan gas, biaya pasokan hidrogen sebesar US\$0,80/m³ dapat diterima di Brunei.

Brunei berusaha beralih ke masyarakat hidrogen (hydrogen society), namun di sisi permintaan dan pasokan membutuhkan banyak upaya yaitu:

- Kebijakan hidrogen yang tepat baik dari sisi permintaan maupun pasokan;

- Rencana aksi untuk beralih dari mesin pembakaran internal ke kendaraan listrik sel bahan bakar (FCEV), termasuk insentif;
- Rencana aksi untuk meningkatkan tingkat pencampuran hidrogen di pembangkit listrik tenaga gas yang ada;
- Rencana aksi untuk rantai pasokan hidrogen di Brunei Darussalam, seperti hidrogen untuk stasiun pengisian (SPBH);
- Rencana aksi untuk melanjutkan ekspor hidrogen ke negara-negara Asia.



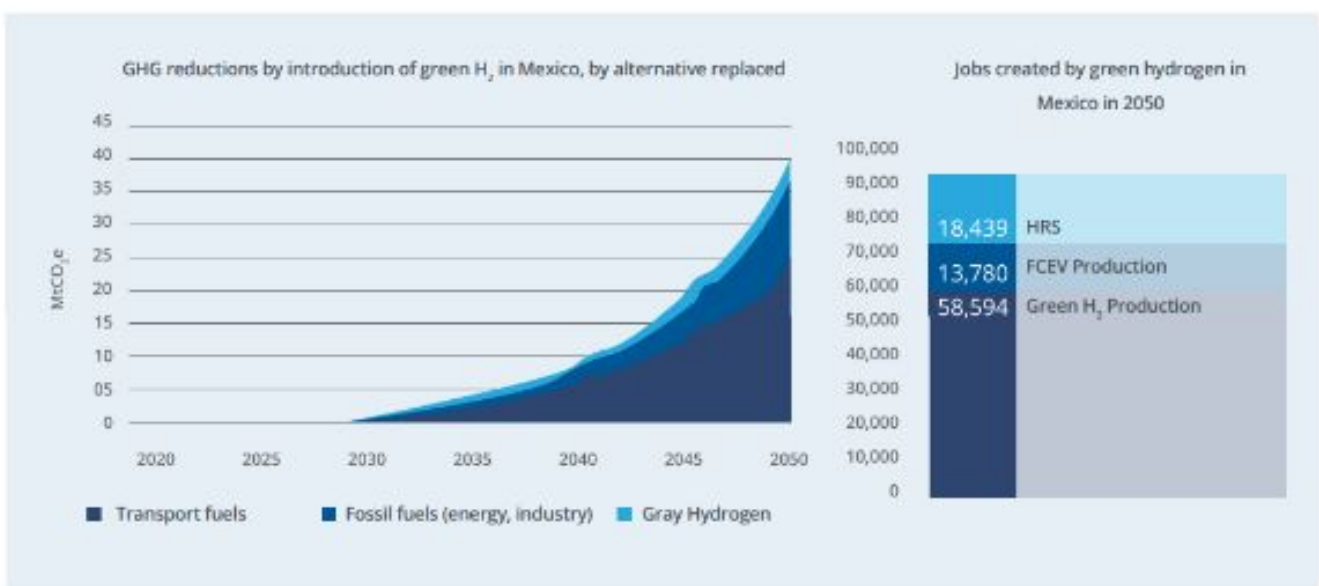
Gambar 33. Strategi Rantai Pasok Hidrogen di Brunei

Meksiko merupakan bagian dari solar-belt, dimana termasuk negara yang mendapatkan cahaya matahari paling tinggi di dunia. Selain itu, Meksiko juga memiliki potensi energi angin, panas bumi dan air laut. Namun potensi-potensi ini belum termanfaatkan sebagaimana mestinya. Meksiko memiliki potensi sumber energi terbarukan di hampir 85% wilayahnya [22]. Saat ini ada sekitar 200 pembangkit listrik terbarukan skala besar yang beroperasi di Meksiko. Secara khusus, ada sekitar 85 pembangkit surya skala besar, sisanya angin dan panas bumi. Pembangkit listrik yang dapat diperbaharui juga dapat menghasilkan green hydrogen.

Meksiko belum memiliki roadmap ataupun regulasi nasional terkait hidrogen seperti negara-negara lainnya.

Dikarenakan minimnya regulasi dari pemerintah, maka industri yang bergerak sendiri dan hal ini tentu tidak sama dengan jika ada inisiatif dari pemerintah. Inisiatif kebijakan publik dan/atau industri ini harus berasal dari pemerintah.

The Mexican Hydrogen Association pada tahun 2021 menyajikan studi berjudul "Green Hydrogen: The Energy Carrier to Decarbonize the Mexican Economy". Studi menganalisis potensi dan keberlangsungan di masa depan dari implementasi hidrogen untuk ekonomi Meksiko. Secara keseluruhan, antara tahun 2025 dan 2050, implementasi hidrogen diperkirakan dapat menciptakan hingga 3,2 juta pekerjaan dan menghasilkan USD 46 Miliar pada produk domestik bruto [24]



Gambar 34. Reduksi Emisi GHG dan Pekerjaan yang Diciptakan oleh Green H₂ di Meksiko

Pengembangan Infrastruktur

Kondisi infrastruktur hidrogen di Indonesia masih tergolong dalam tahap awal pengembangan. Namun, pemerintah Indonesia telah mengambil langkah-langkah untuk mendorong pengembangan infrastruktur hidrogen dalam upaya mendukung transisi energi bersih. Berikut adalah beberapa kondisi infrastruktur hidrogen saat ini di Indonesia:

Stasiun Pengisian Hidrogen (SPH)

Hingga saat ini, Indonesia belum memiliki jaringan stasiun pengisian hidrogen yang luas. Namun, terdapat beberapa upaya untuk membangun stasiun pengisian hidrogen di beberapa lokasi strategis. Misalnya, di Bali, telah dibangun SPH pertama di Indonesia pada tahun 2021 untuk mendukung penggunaan mobil sel bahan bakar hidrogen.

Kendaraan Hidrogen

Meskipun masih dalam tahap awal, Indonesia mulai melihat adopsi kendaraan berbahan bakar hidrogen. Beberapa perusahaan dan institusi telah memperkenalkan kendaraan hidrogen dalam proyek percobaan dan demonstrasi. Namun, jumlah kendaraan hidrogen yang ada masih terbatas.

Riset dan Pengembangan

Indonesia juga telah melakukan penelitian dan pengembangan dalam bidang hidrogen. Universitas dan lembaga riset terkemuka di Indonesia telah mengadakan penelitian terkait produksi, penyimpanan, dan pemanfaatan hidrogen.

Kebijakan dan Regulasi

Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan beberapa kebijakan dan regulasi yang mendukung pengembangan hidrogen. Salah satunya adalah Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang mencakup penggunaan hidrogen sebagai salah satu opsi energi bersih di masa depan.

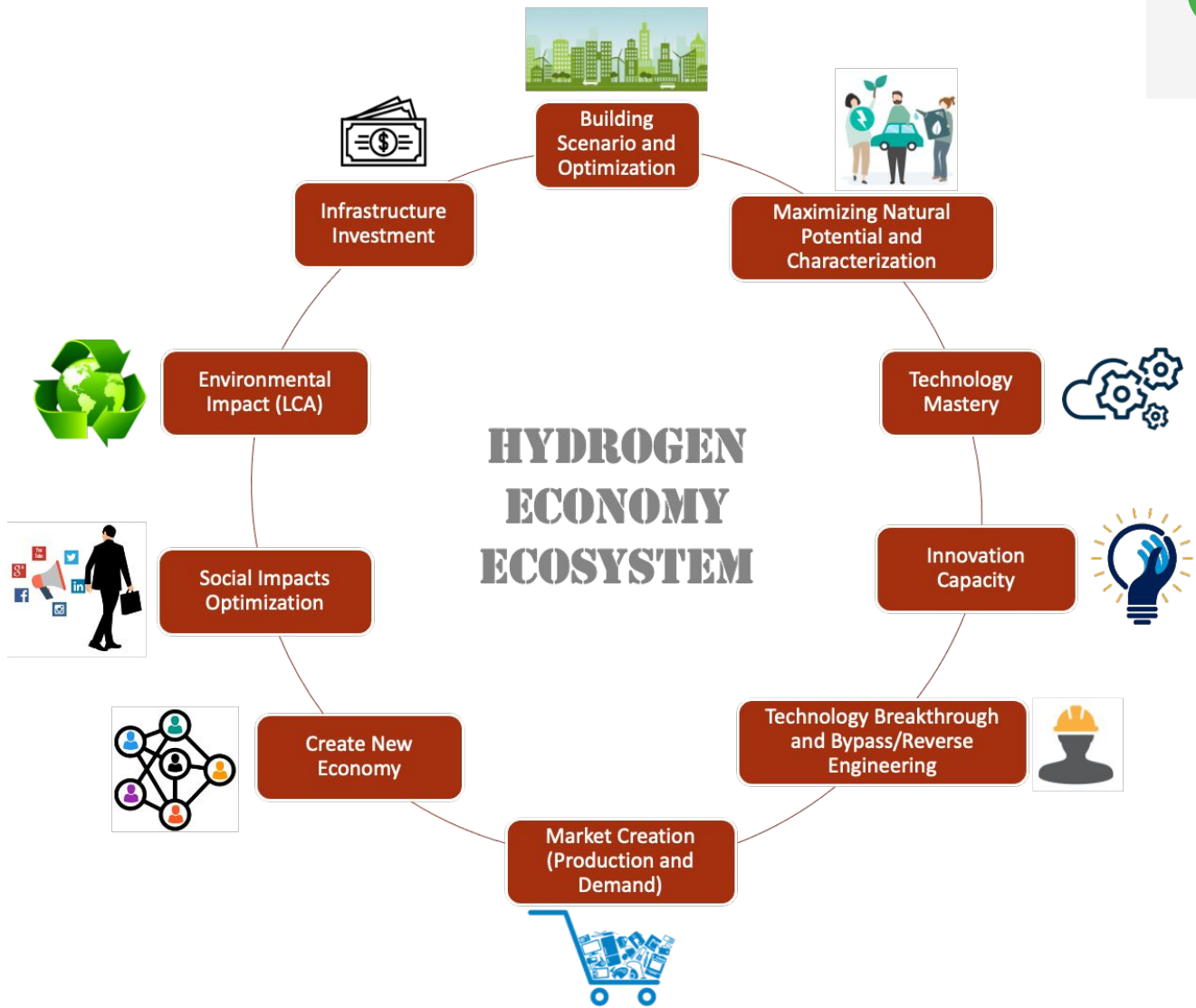
Kerjasama Internasional

Indonesia juga terlibat dalam kerjasama internasional dalam pengembangan hidrogen. Misalnya, Indonesia telah bergabung dengan *Clean Energy Ministerial's Hydrogen Initiative* yang bertujuan untuk mempromosikan kolaborasi global dalam pengembangan hidrogen [11,12].

Untuk mendukung produksi, penyimpanan, dan distribusi hidrogen yang efisien, beberapa infrastruktur kunci diperlukan.

Pabrik Hidrogen (*Hydrogen Plants*)

Infrastruktur produksi hidrogen merupakan langkah awal dalam rantai pasokan hidrogen. Pabrik hidrogen dapat menggunakan berbagai metode produksi, seperti reforming gas alam, elektrolisis air, atau gasifikasi biomassa. Dalam hal ini, dibutuhkan pabrik hidrogen yang memiliki kapasitas yang memadai untuk memenuhi permintaan hidrogen yang meningkat.



Gambar 36. Ilustrasi ekosistem untuk mencapai ekonomi hidrogen. (Sumber: IFHE 2023)

Hidrogen ekonomi, yaitu kegiatan perekonomian yang berbasis pada penggunaan hidrogen, bisa tercipta dengan adanya perwujudan ekosistem ekonomi hidrogen. Hal ini perlu dukungan berupa;

- (1) Kebijakan dan regulasi yang mendukung: Pemerintah harus mengembangkan kebijakan dan regulasi yang mendukung pengembangan ekosistem ekonomi hidrogen. Ini termasuk penetapan target dan insentif yang jelas, peraturan mengenai produksi, penyimpanan, dan distribusi hidrogen, serta kerangka kerja untuk keselamatan dan standarisasi.
- (2). Investasi dalam penelitian dan pengembangan: Pemerintah dan sektor swasta harus bekerja sama untuk mendukung riset, pengembangan, dan pengujian teknologi hidrogen baru. Ini meliputi pengembangan metode produksi hidrogen yang efisien, penyimpanan yang aman, dan teknologi fuel cell yang maju.
- (3). Infrastruktur yang memadai: Pembangunan infrastruktur yang memadai menjadi kunci dalam menciptakan ekosistem ekonomi hidrogen. Dibutuhkan jaringan pipa hidrogen yang luas, stasiun pengisian hidrogen (HRS), dan infrastruktur penyimpanan yang memadai untuk mendukung produksi, distribusi, dan penggunaan hidrogen.

(3). Infrastruktur yang memadai: Pembangunan infrastruktur yang memadai menjadi kunci dalam menciptakan ekosistem ekonomi hidrogen. Dibutuhkan jaringan pipa hidrogen yang luas, stasiun pengisian hidrogen, dan infrastruktur penyimpanan yang memadai untuk mendukung produksi, distribusi, dan penggunaan hidrogen.

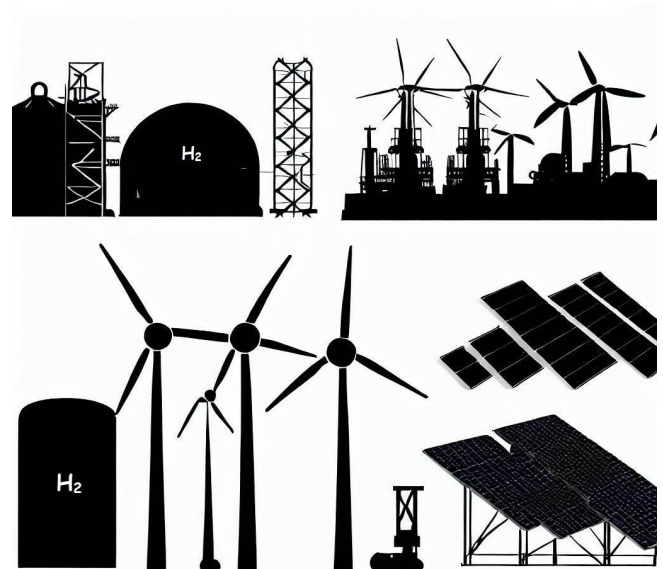
(4). Kolaborasi sektor swasta dan publik: Kerja sama antara sektor swasta dan publik adalah kunci untuk menggerakkan ekosistem hidrogen. Pemerintah perlu menjalin kemitraan dengan perusahaan energi, produsen mobil, industri kimia, dan sektor terkait lainnya untuk mengembangkan proyek bersama, berbagi pengetahuan, dan berinvestasi dalam infrastruktur dan teknologi yang diperlukan.

(5). Pendidikan dan kesadaran masyarakat: Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang manfaat hidrogen sebagai sumber energi bersih sangat penting. Program pendidikan dan kampanye informasi dapat membantu masyarakat memahami potensi hidrogen, baik sebagai bahan bakar transportasi maupun sebagai sumber energi alternatif dalam industri dan sektor lainnya.

(6). Pengembangan pasar domestik dan ekspor: Dalam menciptakan ekosistem ekonomi hidrogen yang berkelanjutan, penting untuk mengembangkan pasar domestik yang kuat dan meningkatkan daya saing ekspor. Ini melibatkan peningkatan adopsi teknologi hidrogen di sektor transportasi dan industri dalam negeri, serta peluang ekspor ke negara-negara lain yang sedang mencari solusi energi berkelanjutan.

(7). Diversifikasi sumber energi: Selain hidrogen yang dihasilkan dari pembangkit listrik berbasis energi terbarukan, diversifikasi sumber energi juga penting. Penggunaan elektrolisis air yang didukung oleh pembangkit listrik tenaga surya dan tenaga angin dapat membantu menciptakan sumber hidrogen yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Hidrogen ekonomi dapat tercipta dengan adanya perwujudan ekosistem ekonomi hidrogen yang didukung oleh kebijakan dan regulasi yang mendukung, investasi dalam penelitian dan pengembangan, infrastruktur yang memadai, kolaborasi sektor swasta dan publik, pendidikan dan kesadaran masyarakat, pengembangan pasar domestik dan ekspor, serta diversifikasi sumber energi. Hal ini melibatkan kerjasama antara pemerintah dan sektor swasta untuk mengembangkan teknologi hidrogen baru, membangun infrastruktur yang memadai, meningkatkan kesadaran masyarakat, mengembangkan pasar domestik dan meningkatkan daya saing ekspor, serta mendiversifikasi sumber energi untuk menciptakan sumber hidrogen yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.





Stasiun Pengisian Hidrogen (*Hydrogen Refueling Stations*)

Stasiun pengisian hidrogen dibutuhkan untuk menyediakan hidrogen pada kendaraan bertenaga hidrogen, seperti mobil sel bahan bakar hidrogen. Stasiun pengisian harus memenuhi standar keselamatan yang ketat dan harus tersebar luas untuk mendukung penggunaan hidrogen dalam transportasi.

Infrastruktur Penyimpanan Hidrogen

Hidrogen harus disimpan dengan aman dan efisien. Ada beberapa metode penyimpanan hidrogen yang dapat digunakan, termasuk penyimpanan dalam bentuk gas bertekanan tinggi, penyimpanan dalam bentuk cair, atau penyimpanan dalam bahan penyerap seperti logam hidrida. Dibutuhkan infrastruktur penyimpanan yang sesuai untuk memastikan pasokan hidrogen yang stabil dan dapat diandalkan.

Pipa dan Jaringan Transportasi Hidrogen

Infrastruktur transportasi yang memadai diperlukan untuk menghubungkan pabrik hidrogen, stasiun pengisian, dan pusat konsumen. Pipa hidrogen atau jaringan transportasi hidrogen dapat digunakan untuk mengirim hidrogen dalam skala besar antara lokasi produksi dan konsumsi. Infrastruktur transportasi yang efisien dan aman penting untuk mendistribusikan hidrogen dengan biaya rendah dan mengurangi kerugian energi selama pengiriman.

Infrastruktur Elektrolisis

Jika produksi hidrogen menggunakan elektrolisis air dengan menggunakan listrik dari sumber energi terbarukan, diperlukan infrastruktur elektrolisis yang memadai. Ini melibatkan pembangunan fasilitas elektrolisis yang dapat mengubah listrik menjadi hidrogen dengan efisien dan dapat mengakomodasi pasokan listrik terbarukan yang fluktuatif.

Infrastruktur Pemurnian dan Kualitas Hidrogen

Hidrogen yang digunakan dalam berbagai aplikasi harus memenuhi standar kualitas yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan infrastruktur pemurnian dan pemantauan kualitas hidrogen untuk memastikan hidrogen yang dihasilkan dan didistribusikan sesuai dengan persyaratan teknis dan keselamatan.

Merumuskan rencana pengembangan infrastruktur dan investasi dalam pengembangan hidrogen membutuhkan kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan mitra internasional. Dengan pendekatan yang komprehensif, transparansi, dan keterlibatan pemangku kepentingan, rencana tersebut dapat mempercepat adopsi hidrogen sebagai sumber energi bersih yang berkelanjutan.

Kolaborasi Internasional dan Pengembangan *Hydrogen Supply Chain (HSC)*

Pengembangan hidrogen telah menjadi fokus utama dalam mencari solusi energi bersih untuk mengatasi perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Kemitraan internasional memainkan peran penting dalam memajukan teknologi hidrogen dan membangun rantai pasokan hidrogen yang efisien. Kemitraan internasional dapat memfasilitasi upaya kolaboratif dalam riset dan pengembangan (R&D), memungkinkan negara-negara untuk menggabungkan keahlian dan sumber daya mereka. Proyek R&D bersama dapat fokus pada area seperti teknologi produksi hidrogen, metode penyimpanan dan transportasi, sel bahan bakar, dan pemanfaatan hidrogen dalam berbagai sektor. Kolaborasi ini dapat mempercepat kemajuan teknologi dan berbagi pengetahuan. Membangun infrastruktur hidrogen yang kokoh adalah kunci utama untuk penggunaan luas hidrogen sebagai sumber energi. Kemitraan internasional dapat memfasilitasi pengembangan stasiun pengisian hidrogen, pipa-pipa, dan fasilitas penyimpanan hidrogen. Berbagi praktik terbaik dan kolaborasi dalam perencanaan dan implementasi infrastruktur dapat mempercepat pertumbuhan rantai pasokan hidrogen.

Kolaborasi internasional dapat mempromosikan pengembangan pasar hidrogen global. Negara-negara dapat berkolaborasi dalam perjanjian perdagangan, insentif pasar, dan kerangka investasi untuk mendorong perdagangan hidrogen lintas batas. Mengembangkan standar umum untuk kualitas hidrogen, keamanan, dan sertifikasi dapat memfasilitasi perdagangan internasional yang lancar dan integrasi pasar. Kemitraan internasional juga dapat mendukung implementasi proyek hidrogen berkapasitas besar, termasuk sistem produksi, penyimpanan, dan pemanfaatan hidrogen yang terintegrasi. Proyek ini dapat menjadi pengalaman berharga dan mendorong perluasan solusi hidrogen.

Terdapat beberapa negara dan organisasi yang berpotensi untuk melakukan kerja sama dalam pengembangan hidrogen.

1. **Jepang:** Jepang telah menjadi salah satu pemimpin dalam riset dan pengembangan hidrogen. Negara ini telah menginvestasikan sumber daya yang signifikan dalam teknologi hidrogen, infrastruktur, dan proyek-proyek percobaan. Kolaborasi dengan perusahaan dan lembaga riset Jepang dapat memberikan akses ke keahlian mereka dalam teknologi hidrogen, pengembangan infrastruktur, dan pengalaman dalam proyek-proyek skala besar.



Indonesia as hydrogen and ammonia hub for Asia

2. **Jerman:** Jerman juga menjadi pusat pengembangan hidrogen yang signifikan. Negara ini memiliki keahlian dalam pengembangan teknologi sel bahan bakar, infrastruktur hidrogen, dan integrasi energi terbarukan. Kolaborasi dengan mitra Jerman dapat memberikan kesempatan untuk pertukaran teknologi, pengetahuan, dan pengalaman dalam pengembangan hidrogen.

3. **Amerika Serikat:** Pemerintah Amerika Serikat telah menunjukkan komitmen yang kuat terhadap pengembangan hidrogen dengan mendanai inisiatif riset dan mempromosikan kemitraan publik-swasta. Kolaborasi dengan perusahaan dan lembaga riset AS dapat memberikan akses ke sumber daya dan keahlian mereka dalam pengembangan teknologi hidrogen, infrastruktur, dan kebijakan energi.

4. **Uni Eropa:** Uni Eropa telah menetapkan target ambisius untuk pengembangan hidrogen dan mendukung inisiatif seperti Clean Hydrogen Alliance. Kolaborasi dengan negara-negara anggota Uni Eropa dan partisipasi dalam proyek-proyek yang didanai oleh Uni Eropa dapat memberikan peluang kerja sama dalam pengembangan teknologi hidrogen, infrastruktur, dan kebijakan energi.

5. **Australia:** Australia memiliki sumber daya energi terbarukan yang melimpah, yang dapat digunakan untuk produksi hidrogen. Negara ini telah meluncurkan National Hydrogen Strategy dan menawarkan peluang investasi dalam proyek-proyek hidrogen. Kolaborasi dengan mitra Australia dapat memanfaatkan kapabilitas mereka dalam energi terbarukan dan ekspor hidrogen.

Selain negara-negara individu, terdapat juga organisasi internasional dan kemitraan industri yang dapat menjadi platform kerja sama dalam pengembangan hidrogen. Contohnya adalah **International Energy Agency (IEA), Hydrogen Council, dan Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU)**. Bergabung dengan organisasi ini dapat memfasilitasi kolaborasi, pertukaran pengetahuan, dan partisipasi dalam proyek-proyek bersama.

Berbagi pengetahuan dan transfer teknologi dalam pengembangan hidrogen membawa manfaat yang luas, termasuk percepatan pengembangan, peningkatan kapasitas, efisiensi biaya, penyebaran inovasi, penyebaran standar, diversifikasi rantai pasokan, dan penciptaan peluang bisnis. Kolaborasi internasional dalam bidang ini penting untuk mencapai tujuan penggunaan hidrogen yang lebih luas dan berkelanjutan.

* Ministry of Energy and Mineral Resources
 ** Ministry of Industry 27/2020

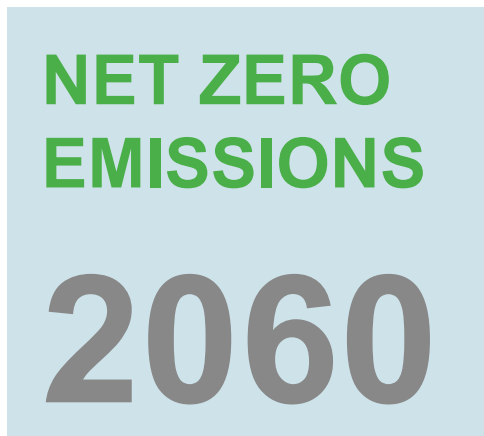
Year	2021-2025	2026-2030	2031-2035	2036-2040	2041-2050	2051-2060
Utilization of Hydrogen*						
Transportation	FCEV: 0 BEV: 0.4 mio	FCEV: 3000** BEV: 2 mio	FCEV: 20.280 BEV: 5.2 mio	FCEV: 115.128 BEV: 12.3 mio	FCEV: 1.108.411 BEV: 20.4 mio	FCEV: 3.633.120 BEV: 38.2 mio
Industry (power plant, petrochemicals, other industries)	Grey-H ₂ Brown-H ₂ Co-firing	Grey-H ₂ Co-firing Blue-H ₂ Green-H ₂	Co-firing Blue-H ₂ Green-H ₂	Blue-H ₂ Green-H ₂	Green-H ₂ Pink-H ₂ (nuclear) Green-Ammonia	Green-H ₂ Pink-H ₂ (nuclear) Green-Ammonia
Research	PEMFC, SOFC Early Green-H ₂ Bio-H ₂ Photocatalyst PEM-EC	PEMFC SOFC PEM-EC, SOEC Green-H ₂ Green-Ammonia H ₂ -Refilling station	PEMFC-SOFC PEM-EC, SOEC H ₂ -storage Green-Ammonia H ₂ -Refilling Station Nuclear on Grid	H ₂ -Refilling Station PEM-EC, SOEC H ₂ -storage Hydrogen from Nuclear	H ₂ -Refilling Station H ₂ -storage H ₂ -carrier Nuclear	H ₂ -Refilling Station H ₂ -storage
			328 MW	332 MW	9 GW (27x)	52 GW (6x)

Gambar 37. Target aplikasi hidrogen di Indonesia (Sumber: IFHE).

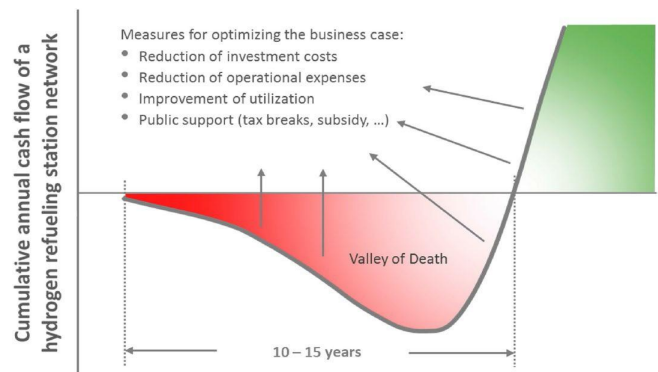
Rencana Implementasi & Utilisasi Hidrogen

Indonesia sebagai Presidensi G20 berkomitmen mengurangi emisi karbon dalam mencapai emisi nol bersih atau *net zero emission* (NZE), salah satunya melalui pengembangan hidrogen. Untuk mencapai masyarakat bebas karbon atau *Carbon Free Society*, pemerintah diharapkan dapat mendukung pengembangan hidrogen di Indonesia melalui langkah-langkah sebagai berikut:

- Memberikan iklim berinvestasi dalam penelitian dan pengembangan serta berbagai pengetahuan untuk meningkatkan pemahaman terkait hidrogen dan aplikasi potensialnya
- Mempromosikan penggunaan hidrogen dengan menyelaraskan standar dan menghilangkan peraturan yang dapat menghambat pengadopsian terkait proses standarisasi



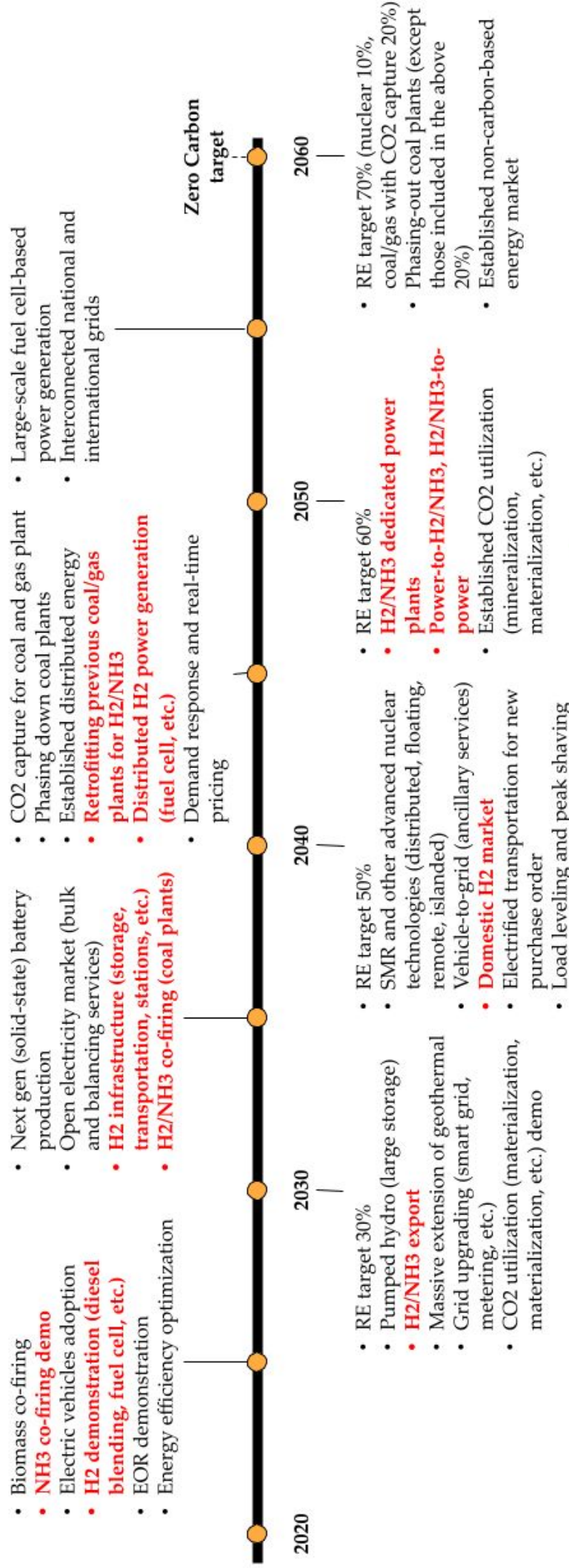
Gambar 39 menunjukkan peta jalan energi Indonesia yang dapat ditempuh dalam rangka menerapkan langkah-langkah konkret untuk mengurangi emisi. Tujuan utama yang ingin dicapai secara bertahap adalah terciptanya sistem energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan menuju *Zero Carbon 2060*.



Gambar 38. Ilustrasi akumulasi *annual cash flow* untuk *hydrogen refueling station*.

- Penerapan hidrogen masih memerlukan bantuan Pemerintah, dalam hal menyelamatkan industri dari jurang kematian, yang biasanya dialami dalam pengembangan teknologi baru.

Possible Indonesian energy roadmap toward Zero Carbon 2060



- Indonesia is targeting to achieve Zero Carbon by 2060. The energy mix is predicted to comprise 60-70% renewables, 10% nuclear, and 20-30% fossil with clean technologies (CO₂ capture, etc.).
- Nuclear and fossil (clean with CO₂ capture) are considered required to guarantee the energy security until the maturity and sustainability of the new energy system can be realized (including the economy) until certain periods after 2060.

Gambar 39. Peta jalan energi Indonesia menuju zero carbon 2060

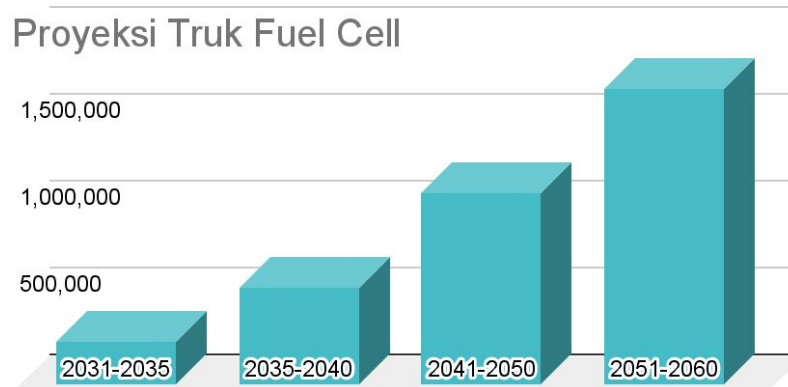
Dengan mengimplementasikan langkah berikut, penggunaan hidrogen di sektor transportasi dapat menjadi demand hidrogen yang paling efisien, mendorong perkembangan ekosistem hidrogen yang berkelanjutan, dan membantu mengurangi emisi karbon di sektor transportasi.

1. **Kendaraan Hidrogen.** FCEV memiliki keuntungan berupa jarak tempuh yang lebih lama dan waktu pengisian yang lebih cepat dibandingkan dengan kendaraan listrik baterai. Dengan mendorong penggunaan kendaraan hidrogen yang lebih banyak, permintaan hidrogen di sektor transportasi dapat meningkat secara signifikan.
2. **Transportasi Publik.** Penggunaan hidrogen juga bisa fokus pada kendaraan transportasi publik, seperti bus hidrogen, dan kendaraan komersial, seperti truk pengangkut barang. Ini akan membantu mengurangi emisi di sektor transportasi yang memiliki penggunaan bahan bakar yang tinggi.
3. **Hydrogen Refueling Station.** Penting untuk mengembangkan infrastruktur pengisian hidrogen yang luas, mudah diakses, dan aman. Dalam mengembangkan infrastruktur ini, kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, produsen hidrogen dan produsen kendaraan penting untuk memastikan keberhasilan dan ketersediaan fasilitas pengisian hidrogen.
4. **Insentif Pemerintah.** Pemerintah dapat memberikan dukungan finansial untuk mendorong adopsi kendaraan hidrogen. Ini termasuk pengurangan pajak atau subsidi untuk pembelian kendaraan hidrogen, bantuan dalam pembangunan infrastruktur pengisian hidrogen, dan kebijakan yang mendorong penggunaan kendaraan beremisi rendah.
5. **Kolaborasi Stakeholder.** Kolaborasi antara produsen kendaraan, produsen hidrogen, dan produsen infrastruktur pengisian hidrogen sangat penting. Dengan bekerja sama, dapat mengoptimalkan teknologi dan efisiensi produksi, serta mengurangi biaya produksi hidrogen dan komponen kendaraan hidrogen.

Dewan Energi Nasional (DEN) menetapkan usulan perubahan KEN, dengan mengutamakan pemakaian kendaraan hidrogen pada peta jalan penurunan emisi. Dimulai pada tahun 2030–2035, diperkirakan kendaraan hidrogen akan mencapai 245.000 truk hidrogen. Demikian makin naik, pada 2035–2040 menjadi 558.000 truk hidrogen, dan 2041–2050 1,1 juta truk hidrogen, serta pada 2051–2060 terdapat 1,7 juta truk hidrogen yang akan digunakan.

Prediksi ini dibuat sekiranya untuk memacu penurunan emisi guna mewujudkan NZE–2060. Namun tidak akan terealisasi jika tidak disertai *action-plan* yang realistis.

Dijelaskan pada Gambar 40 dibawah, bahwa dengan target 245.000 truk hidrogen hingga akhir 2035, maka pada 2024 harus dilakukan *pilot-project hydrogen refueling station* (HRS) dan diikuti dengan uji coba kendaraan hidrogen. Kemudian dalam 2 tahun yaitu di 2026 sudah mulai digunakan hidrogen dan telah ada 3000 unit kendaraan hidrogen pada uji coba tersebut.

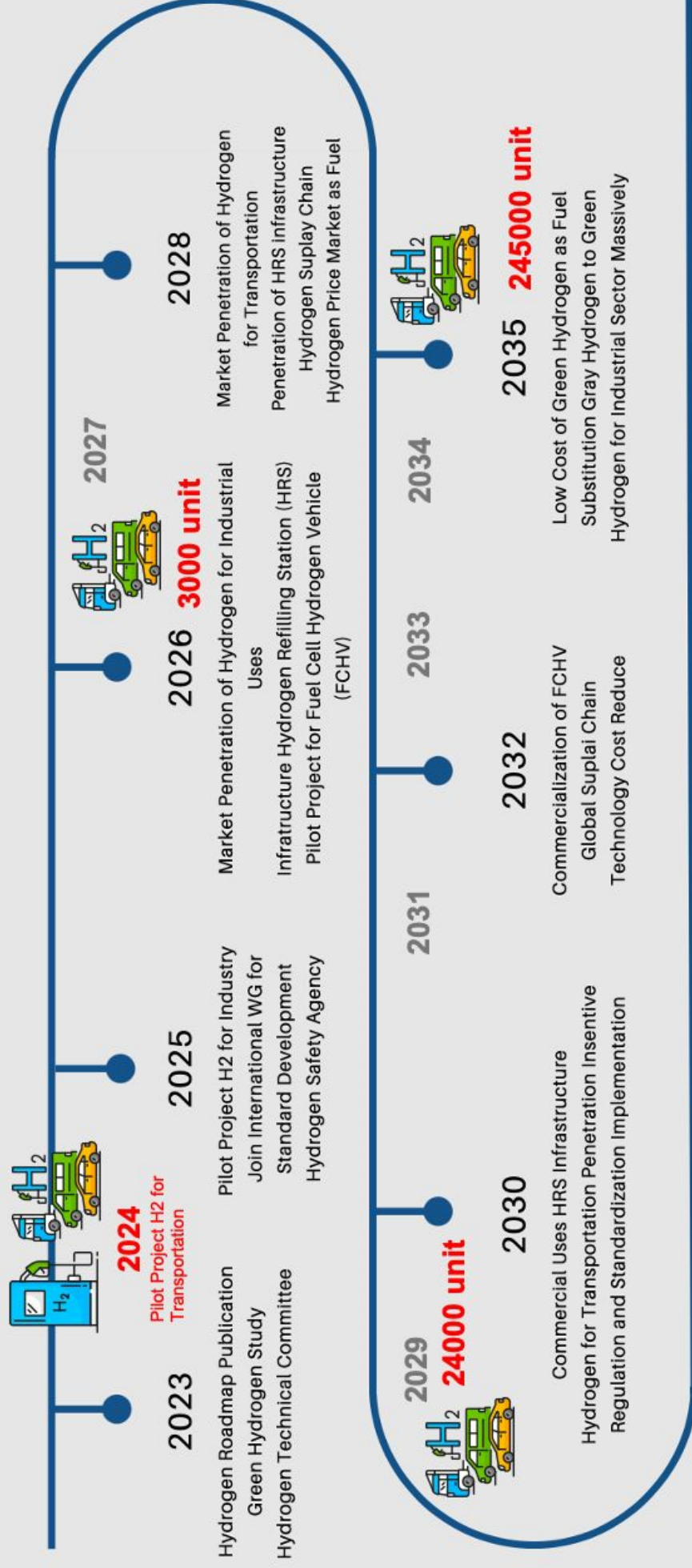


Gambar 40. Skenario NZE untuk penggunaan hidrogen di transportasi.

Action Plan for Transportation and Infrastructure

Strategic Action Towards 2035

Hydrogen Foresight Timeline [draft from BRIN, IFHE]



Gambar 41. Action plan untuk transportasi dan infrastruktur

2024

Pilot Project

Collaborative Action

Mewujudkan Penurunan Emisi



Referensi

- [1] Hydrogen Indonesia [WWW Document], n.d. Hydrogen Indonesia. URL <https://hydrogen-indonesia.id/green-hydrogen/in-indonesia/overview>
- [2] Hydrogen Indonesia [WWW Document], n.d. Hydrogen Indonesia. URL <https://hydrogen-indonesia.id/home>
- [3] Indonesia [WWW Document], n.d. Green Hydrogen Organisation. URL <https://www.gh2.org/countries/indonesia>
- [4] Growth-sustainability Dilemma: Analisis Kontradiksi dan Kompleksitas Dinamika Kebijakan Energi di Indonesia – Megashift Fisipol UGM [WWW Document], 2023. . Growth-sustainability Dilemma: Analisis Kontradiksi dan Kompleksitas Dinamika Kebijakan Energi di Indonesia – Megashift Fisipol UGM. URL <https://megashift.fisipol.ugm.ac.id/2023/03/27/growth-sustainability-dilemma-analisis-kontradiksi-dan-kompleksitas-dinamika-kebijakan-energi-di-indonesia/>
- [5] Media, K.C., 2021. ASEAN Targetkan Peningkatan Penggunaan Energi Terbarukan hingga 23 Persen pada 2025 Halaman all – Kompas.com [WWW Document]. KOMPAS.com. URL <https://money.kompas.com/read/2021/08/20/090108726/asean-targetkan-peningkatan-penggunaan-energi-terbarukan-hingga-23-persen-pada>
- [6] Pemerintah Mendorong Transisi Energi Melalui Energi Baru Terbarukan dan Efisiensi Energi [WWW Document], n.d. ESDM. URL <https://www.esdm.go.id/id/media-center/berita-unit/pemerintah-mendorong-transisi-energi-melalui-energi-baru-terbarukan-dan-efisiensi-energi>
- [7] Mendorong Transisi Energi Berkelanjutan pada Presidensi G20 [WWW Document], n.d. . www.indonesia.go.id. URL <https://www.indonesia.go.id/kategori/editorial/3955/mendorong-transisi-energi-berkelanjutan-pada-presidensi-g20> (accessed 6.11.23).
- [8] alpaca, 2023. Kebijakan Energi Bersih Pemerintah untuk Mendukung SDGs [WWW Document]. Atonergi. URL <https://atoneri.com/kebijakan-energi-bersih-pemerintah-untuk-mendukung-sdgs/>
- [9] U. Birnbaum, J.-F. Hake, J. Linssen & M. Walbeck (2006) The hydrogen economy: technology, logistics and economics, *Energy Materials*, 1:3, 152–157, DOI: 10.1179/174892406X177266
- [10] Fidiani, E., AlKahfi, A.Z., Absor, M.A.U., Pravitasari, R.D., Damisih, Listiani Dewi, E., Chiu, Y.-L., Du, S., 2022. Au-Doped PtAg Nanorod Array Electrodes for Proton-Exchange Membrane Fuel Cells. *ACS Applied Energy Materials* 5, 14979–14989. <https://doi.org/10.1021/acsaem.2c0252>.
- [11] IEA (2023), Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/towards-hydrogen-definitions-based-on-their-emissions-intensity> , License: CC BY 4.0.
- [12] IEA (2022), Global Hydrogen Review 2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022> , License: CC BY 4.0.
- [13] Hydrogen Council : Hydrogen Insights 2022. <https://hydrogencouncil.com/en/new-hydrogen-projects-achieve-record-numbers-globally-with-even-greater-urgency-for-final-investment-decisions-to-attain-net-zero/>
- [14]IRENA: Enabling Measures Roadmap for Green Hydrogen (2021), in collaboration with the World Economic Forum. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Collaborative-Frameworks/IRENA_Enabling_Measures_Roadmap_for_Green_H2_Jan22.pdf

INDONESIA HIDROGEN ROADMAP KOLABORASI ANTARA



IFHE No: 01/MoU/IFHE/2022



BRIN
BADAN RISET
DAN INOVASI NASIONAL

BRIN No: 122/I/KS/10/2022

Kontributor:

Prof. Dr. Eng. Eniya Listiani Dewi, B. Eng., M. Eng.

Prof. Dr. Eng. Muhammad Aziz

Dr. Hari Devianto, ST, M.Eng.

Dr. Eng. Arif Darmawan

Dr. Oka Pradipta Arjasa, M.Sc., M.Eng.

Dr. Sandia Primea, SSi., M.Si.

Kurniawan, S.Si., M.M.

Dr. Sri Rahayu, ST.

2023

IFHE PRESS

WWW.IFHE.OR.ID

SEKRETARIAT@IFHE.OR.ID

0822 1052 1510

ISBN 978-623-09-4851-0

