

**PERTAMINA**

# **ENERGY OUTLOOK** **2022**



*An Indonesia Energy Transition  
Scenarios & Its Implications*



## TIM PENYUSUN

Penyusun adalah Pertamina Energy Institute (PEI) yang beranggotakan sebagai berikut:

- 1 Hery Haerudin - VP Pertamina Energy Institute
- 2 Adhitya Nugraha
- 3 Anindya Adiwardhana
- 4 Arisman Wijaya
- 5 Cahyo Andrianto
- 6 Eko Setiadi
- 7 Loisa Debrina Purba
- 8 Muhamad Taufik Faizin
- 9 Rina Juliet Artami
- 10 Yohanes Handoko Aryanto

### Tentang:

PEI merupakan organisasi think tank di PT Pertamina (Persero) yang memiliki fungsi untuk melakukan sosialisasi, edukasi, dan advokasi serta kajian terkait dengan perkembangan arah dan bisnis energi global dan Indonesia.

Saran dan kritik dapat disampaikan melalui:  
[energy.institute@pertamina.com](mailto:energy.institute@pertamina.com)

# DAFTAR ISI

TIM PENYUSUN.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR ISTILAH.....	viii
KATA PENGANTAR.....	xii
<b>■ BAB I: Perkembangan Makro Global dan Indonesia</b>	
I.1 Perkembangan Ekonomi.....	1
I.1.1 Kondisi Ekonomi Global.....	1
I.1.2 Kondisi Ekonomi Indonesia.....	3
I.2 Perkembangan Geopolitik.....	5
I.3 Isu Kebijakan.....	14
I.3.1 <i>Carbon Pricing/Market</i> .....	14
I.3.2 Kebijakan Pendanaan.....	15
I.3.3 Pemanfaatan Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBET).....	17
I.3.4 Penggunaan <i>Electric Vehicle (EV)</i> .....	17
I.3.5 Kebijakan IMO.....	19
I.4 Isu Lingkungan.....	20
I.5 Isu Sosial.....	23
<b>■ BAB II: Perkembangan Teknologi dan Investasi</b>	
II.1 Technology Breakthrough.....	29
II.1.1 Hidrogen.....	29
II.1.2 CCS/CCUS/DACCS.....	31
II.1.2.1 CCUS di Sektor Pembangkit dan Industri.....	33
II.1.2.2 CCUS di Kegiatan Operasi Migas.....	34
II.1.2.3 Teknologi Daur Ulang CO <sub>2</sub> dan <i>Carbon Removal</i> .....	35
II.1.2.4 CCUS <i>Business Model</i> .....	36
II.1.2.5 Rencana Pengembangan CCUS di Kawasan ASEAN dan Indonesia.....	37
II.1.3 Baterai <i>Lithium-Ion</i> .....	39
II.1.4 Biofuel dan SAF.....	44
II.1.4.1 Pengembangan SAF.....	53
II.1.5 <i>Fuel Efficiency Improvement</i> .....	57
II.1.6 LCOE/ <i>Cost Efficiency in Power</i> .....	59
II.2 Investasi dan Kapasitas (Termasuk Cadangan).....	62
II.2.1 Minyak Bumi.....	62

II.2.1.1 Tren Global .....	62
II.2.1.2 Tren Nasional.....	67
II.2.2 Gas Bumi .....	68
II.2.3 Batubara .....	73
II.2.4 Energi Baru dan Energi Terbarukan .....	78
<b>■ BAB III: Outlook Energi Indonesia</b>	
III.1 Outlook Emisi.....	87
III.2 Outlook Energi Primer .....	88
III.2.1 Minyak.....	89
III.2.2 Gas.....	90
III.2.3 Batubara .....	90
III.2.4 Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBET).....	91
III.3 Outlook Energi Final Per Sektor .....	91
III.3.1 Bauran Energi Final.....	92
III.3.2 Transportasi .....	94
III.3.3 Industri .....	97
III.3.4 Rumah Tangga dan Komersial .....	98
III.4 Outlook BBM dan LPG .....	100
III.4.1 Outlook BBM .....	100
III.4.2 Outlook LPG.....	104
III.5 Outlook Ketenagalistrikan.....	105
III.6 Outlook Sustainable Fuel, Kendaraan Listrik dan Baterai, Hidrogen.....	110
III.6.1 Outlook Sustainable Fuel.....	110
III.6.2 Outlook Kendaraan Listrik dan Baterai .....	111
III.6.3 Outlook Hidrogen .....	112
<b>■ BAB IV: Outlook Climate-Related Risk</b>	
IV.1 Risiko Transisi.....	115
IV.1.1 Kebijakan dan Legal .....	115
IV.1.2 Rantai Pasok ( <i>Supply Chain</i> ) .....	116
IV.1.3 Preferensi Pasar .....	121
IV.1.4 Reputasi Sektor Energi.....	126
IV.2 Risiko Fisik Iklim .....	132
IV.2.1 Outlook Peningkatan Temperatur.....	132
IV.2.2 Cuaca Ekstrem dan Dampak Sektor Energi.....	134
IV.2.2.1 Bencana dan Cuaca Ekstrem.....	134
IV.2.2.2 Dampak terhadap Sektor Energi.....	137
<b>■ BAB V: Rekomendasi</b>	
DAFTAR REFERENSI.....	142

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Proyeksi Pertumbuhan PDB Indonesia Jangka Panjang .....	5
Gambar 1.2 Dampak Transisi Energi di Beberapa Negara .....	7
Gambar 1.3 Dampak Regional Energi Transisi .....	8
Gambar 1.4 Peta Persebaran CRM .....	11
Gambar 1.5 Ilustrasi Keuntungan Sosial Ekonomi yang Mendorong Transisi Energi Global.....	13
Gambar 1.6 Profil Demografi ASEAN .....	23
Gambar 1.7 Proyeksi Penduduk Indonesia .....	24
Gambar 1.8 Gambaran Demografi Indonesia.....	25
Gambar 1.9 <i>Energy Trilemma</i> .....	25
Gambar 2.1 <i>Outlook</i> Permintaan Hidrogen Per Sektor (dalam MMPTA).....	29
Gambar 2.2 Jumlah Kendaraan Hidrogen.....	29
Gambar 2.3 Pengumuman Proyek Hidrogen Rendah Karbon .....	29
Gambar 2.4 Sebaran Proyek CCUS Global .....	31
Gambar 2.5 Rencana Pengembangan CCUS di Kawasan ASEAN .....	32
Gambar 2.6 Rencana Investasi Proyek CCUS di Kawasan ASEAN .....	32
Gambar 2.7 Perbandingan CCUS dengan Upaya Dekarbonisasi Lainnya.....	33
Gambar 2.8 Potensi Pengurangan Emisi dari Sektor Pembangkit dan Industri di Kawasan ASEAN .....	34
Gambar 2.9 Rantai Nilai CCUS .....	36
Gambar 2.10 Sumber CO <sub>2</sub> di Kawasan ASEAN .....	37
Gambar 2.11 Ilustrasi untuk <i>Northern Lights Project</i> .....	38
Gambar 2.12 Karakteristik Baterai NCA.....	40
Gambar 2.13 Karakteristik Baterai NMC.....	41
Gambar 2.14 Karakteristik Baterai LFP .....	42
Gambar 2.15 Tren Harga Baterai 2010-2023 .....	44
Gambar 2.16 Produksi <i>Biofuel</i> Global Berdasarkan Wilayah .....	46
Gambar 2.17 Kebijakan Mandatori <i>Biofuel</i> di Beberapa Negara pada Akhir 2021.....	47
Gambar 2.18 Realisasi Pemanfaatan Biodiesel untuk Domestik .....	48
Gambar 2.19 Kebijakan <i>Biofuel</i> dalam Grand Strategi Energi Nasional.....	48
Gambar 2.20 Penurunan Emisi dari Pemanfaatan Biodiesel (Ton CO <sub>2</sub> ) .....	49
Gambar 2.21 Proyeksi Pemanfaatan Bioenergi di Indonesia.....	49
Gambar 2.22 Pemain Global untuk Bahan Bakar HVO dan SAF .....	55

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.23 Kapasitas Produksi SAF Global Berdasarkan Teknologi .....	56
Gambar 2.24 Perbandingan Harga <i>Jet Fuel</i> dan SAF di Wilayah ARA .....	56
Gambar 2.25 Perbandingan Harga <i>E-fuel</i> dan SAF.....	57
Gambar 2.26 <i>Transport Leaderboard</i> .....	57
Gambar 2.27 Efisiensi Kendaraan Hidrogen .....	58
Gambar 2.28 Teknologi Aviasi .....	58
Gambar 2.29 Teknologi <i>Biofuel</i> .....	59
Gambar 2.30 Historical LCOE.....	60
Gambar 2.31 Proyeksi LCOE Beberapa Negara Asia Pasifik .....	61
Gambar 2.32 Tren dan <i>Outlook</i> Investasi Hulu Migas.....	62
Gambar 2.33 Tren Harga Minyak Mentah Jenis Brent (USD/Bbls).....	63
Gambar 2.34 Tren Temuan Cadangan Global .....	65
Gambar 2.35 Tren Cadangan Terbukti (miliar bbls) Sumber: BP, 2022 (diolah).....	66
Gambar 2.36 Tren Produksi dan R/P Minyak Tahunan Nasional Sumber: BP (2022), diolah.....	67
Gambar 2.37 Capaian Investasi Hulu Migas Nasional.....	68
Gambar 2.38 Permintaan LNG Berdasarkan Wilayah .....	69
Gambar 2.39 Perkembangan dan Proyeksi Kapasitas Liquefaction Dunia.....	70
Gambar 2.40 LNG <i>Demand</i> di Kawasan Asia .....	71
Gambar 2.41 Pertumbuhan Kapasitas Ter-install .....	72
Gambar 2.42 Pertumbuhan Kebutuhan Gas untuk Industri (bcm).....	73
Gambar 2.43 Perkembangan Konsumsi dan Produksi Batubara Global (Exajoule) .....	74
Gambar 2.44 Produksi Listrik Berdasarkan Jenis Energi Global 2021 (Terawatt Hour).....	74
Gambar 2.45 Perkembangan Harga Batubara Global (USD Per Ton).....	75
Gambar 2.46 Perkembangan Kebutuhan, Produksi, dan Ekspor Batubara Indonesia .....	76
Gambar 2.47 Kapasitas Terpasang Listrik Global (GW).....	79
Gambar 2.48 Proyeksi Kapasitas Terpasang Listrik Global (GW) .....	79
Gambar 2.49 Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Global .....	80
Gambar 2.50 Realisasi Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Global.....	80
Gambar 2.51 Proyeksi Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Global.....	81
Gambar 2.52 Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB).....	82
Gambar 2.53 Realisasi Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Global.....	82
Gambar 2.54 Proyeksi Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Global.....	83

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 <i>Outlook</i> Bauran Energi Primer .....	88
Gambar 3.2 <i>Outlook</i> Permintaan Energi Final .....	92
Gambar 3.3 <i>Outlook</i> Permintaan Hidrogen Per Sektor (Juta Ton Per Tahun) .....	93
Gambar 3.4 Hidrogen Berdasarkan Sumber (Juta Ton Per Tahun) .....	93
Gambar 3.5 Biaya Produksi Hidrogen .....	94
Gambar 3.6 <i>Outlook</i> Permintaan Energi Sektor Maritim.....	97
Gambar 3.7 <i>Outlook</i> Bauran Energi Sektor Komersial .....	98
Gambar 3.8 Bauran Bahan Bakar Memasak.....	99
Gambar 3.9 <i>Outlook</i> Bauran Energi Rumah Tangga .....	100
Gambar 3.10 Proyeksi Kebutuhan BBM .....	101
Gambar 3.11. Proyeksi Kebutuhan <i>Gasoline</i> .....	101
Gambar 3.12 Proyeksi Kebutuhan <i>Gasoil/Diesel</i> .....	102
Gambar 3.13 Proyeksi Kebutuhan <i>Jet Fuel/Avtur</i> .....	103
Gambar 3.14 Proyeksi Kebutuhan LPG.....	104
Gambar 3.15 Pertumbuhan Konsumsi Listrik Indonesia .....	105
Gambar 3.16 Pertumbuhan Konsumsi Listrik Per Kapita (2015-2021) .....	106
Gambar 3.17 Proyeksi Pemetaan Listrik Per Sektor Tahun 2060.....	107
Gambar 3.18 Proyeksi <i>Demand</i> Ketenagalistrikan Indonesia .....	107
Gambar 3.19 Proyeksi Bauran Per Jenis Pembangkit Tahun 2060 (GW) .....	108
Gambar 3.20 Bauran Kapasitas 2021-2060 (GW) .....	108
Gambar 3.21 Bauran Pembangkitan 2060 (GWh) .....	109
Gambar 3.22 Bauran Pembangkitan 2021-2060 (GWh).....	110
Gambar 3.23 Proyeksi <i>Demand</i> Liquid Sustainable Fuels (dalam %).....	110
Gambar 3.24 Proyeksi <i>Demand</i> Sustainable Fuel by Sector (MT) .....	111
Gambar 3.25 Penjualan EV Global dan Indonesia (BEV+PHEV+FCEV), %.....	111
Gambar 3.26 Harga <i>Battery Pack</i> (USD/kWh) .....	112
Gambar 3.27 Pasokan Hidrogen di Indonesia (MTPA).....	113
Gambar 3.28 <i>Demand</i> Hidrogen di Indonesia (MTPA) .....	113
Gambar 3.29 <i>Demand</i> Hidrogen Per Sektor (MTPA) .....	114

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Kebutuhan Material Transportasi Darat .....	119
Gambar 4.2 Proyeksi Bauran Kapasitas Pembangkit .....	120
Gambar 4.3 Porsi Pembelian Batubara Beberapa Negara dari Rusia .....	127
Gambar 4.4 Potensi Energi Baru dan Energi Terbarukan di Indonesia .....	128
Gambar 4.5 <i>Global GHG Emission</i> (kiri) dan <i>Global Mean Temperature Increase</i> (kanan).....	132
Gambar 4.6 Global Warming Relative terhadap 1850-1900 (°C).....	133
Gambar 4.7 Tren Bencana dan Kerugian Ekonomi yang Ditimbulkan .....	134
Gambar 4.8 Tren Bencana Alam di Indonesia Periode 2018-2020 .....	135
Gambar 4.9 Rata-rata Perubahan Temperatur Permukaan Global.....	136
Gambar 4.10 Rata-rata Kenaikan Permukaan Air Laut Global .....	137

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Proyeksi Pertumbuhan Ekonomi Global (%).....	2
Tabel 1.2 Proyeksi Pertumbuhan Ekonomi Indonesia (%) .....	4
Tabel 2.1 Potensi <i>CO<sub>2</sub> Storage</i> di Kawasan ASEAN.....	39
Tabel 2.2 Perbedaan Spesifikasi Baterai Lithium-ion .....	42
Tabel 2.3 Perbandingan Tekno-Ekonomi Antarteknologi Biofuel .....	52
Tabel 2.4 Perbandingan LCOE Negara Asia Pasifik.....	60
Tabel 2.5 Cadangan Batubara Global Tahun 2021 .....	75
Tabel 2.6 Realisasi DMO Batubara Dalam Negeri Per Sektor (dalam Ton).....	77
Tabel 2.7 Reserve to Production Batubara Indonesia.....	78
Tabel 2.8 Perkembangan Investasi Sektor Batubara Indonesia (dalam USD) .....	78
Tabel 3.1 Asumsi Makro Nasional PEO 2022 .....	85
Tabel 3.2 Asumsi Skenario PEO 2022.....	86
Tabel 4.1 Perbandingan Risiko Transisi Energi .....	115
Tabel 4.2 Potensi Risiko Rantai Pasok .....	117
Tabel 4.3 Data Disrupsi Cuaca terhadap Rantai Pasok Energi.....	118

## DAFTAR ISTILAH

ADB	<i>Asian Development Bank (Bank Pembangunan Asia)</i>
AS	Amerika Serikat
BAU	<i>business as usual</i>
BBG	bahan bakar gas
BBM	bahan bakar minyak
BBN	bahan bakar nabati
Bcm	billion cubic meters
BES	<i>battery energy storage</i>
BESS	<i>battery energy storage system</i>
BEV	<i>battery electric vehicle</i>
bph	barel per hari
BOE	barrel oil equivalent
BOEPD	<i>barrel oil equivalent per day</i>
BOPD	<i>barrel of oil per day</i>
BPS	<i>Badan Pusat Statistik</i>
BSCFD	barrel standard cubic feet per day
CAGR	compound annual growth rate
CCS/CCUS	<i>carbon capture storage/carbon capture utilization and storage</i>
CO <sub>2</sub>	carbon dioxide (karbon dioksida)
COP	Conference of the Parties (Konferensi Para Pihak)
CPO	<i>crude palm oil (minyak sawit mentah)</i>
DACCS	<i>direct air capture and carbon sequestration</i>
DME	<i>dimetil eter</i>
EBET	<i>energi baru dan energi terbarukan (new and renewable energy/NRE)</i>
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
EIU	<i>Economist Intelligence Unit</i>
ESG	<i>environmental, social and governance</i>
ESDM	<i>energi dan sumber daya mineral</i>
EU28	<i>Europe Union 28 (Organisasi kerjasama ekonomi dan politik antar 28 negara di Eropa)</i>

## DAFTAR ISTILAH

EV	<i>electric vehicle (kendaraan listrik)</i>
FAME	<i>fatty acid methyl ester</i>
FID	<i>final investment decision</i>
FIT	<i>feed in tariff</i>
GSEN	<i>Grand Strategi Energi Nasional</i>
GHG	<i>greenhouse gas</i>
GRK	<i>gas rumah kaca</i>
GT	<i>Green Transition</i>
GtCO <sub>2</sub> e	<i>giga ton CO<sub>2</sub> equivalent</i>
GW	<i>gigawatt</i>
GWh	<i>gigawatt hours</i>
HEFA	<i>hydroprocessed esters and fatty acids</i>
HEV	<i>hybrid electric vehicle</i>
HVO	<i>hydrotreated vegetable oil</i>
ICE	<i>internal combustion engine</i>
IEA	<i>International Energy Agency (Badan Energi Internasional)</i>
IDD	<i>Indonesia Deep Water Development</i>
IMF	<i>International Monetary Fund (Dana Moneter Internasional)</i>
IMO	<i>International Maritime Organization (Organisasi Maritim Internasional)</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel On Climate Change (Panel Lintas Pemerintah untuk Perubahan Iklim)</i>
Irena	<i>International Renewable Energy Agency (Badan Energi Terbarukan Internasional)</i>
KBPD	<i>kilobarrel per day</i>
KEN	<i>Kebijakan Energi Nasional</i>
KESDM	<i>Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral</i>
KL	<i>kiloliter</i>
KLBB	<i>kendaraan listrik berbasis baterai</i>
kWh	<i>kilowatt hours</i>

## DAFTAR ISTILAH

MBPD	<i>million barrel per day</i>
MD	<i>Market Driven</i>
migas	<i>minyak dan gas</i>
MMBTU	<i>million metric british thermal units</i>
MMSCFD	<i>million metric standard cubic feet per day</i>
MT	<i>metrik ton</i>
MTBE	<i>methyl tertiary buthyl ether</i>
MTPA	<i>million ton per annum</i>
MW	<i>megawatt</i>
NDC	<i>Nationally Determined Contributions (kontribusi yang ditetapkan secara nasional)</i>
NZE	<i>net zero emissions (emisi karbon nol bersih)</i>
NRE	<i>new and renewable energy (energi baru dan energi terbarukan)</i>
OECD	<i>Organization for Economic Co-operation and Development (Organisasi untuk Kerja Sama dan Pembangunan Ekonomi)</i>
OPEC	<i>Organization of Petroleum Exporting Countries (Organisasi Negara-Negara Pengekspor Minyak)</i>
PDB	<i>produk domestik bruto</i>
PEI	<i>Pertamina Energy Institute</i>
PEO	<i>Pertamina Energy Outlook</i>
permen	<i>peraturan menteri</i>
perpres	<i>peraturan presiden</i>
Pertamina	<i>PT Pertamina (Persero)</i>
PLN	<i>PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)</i>
PLTA	<i>pembangkit listrik tenaga air</i>

## DAFTAR ISTILAH

PLTB	pembangkit listrik tenaga bayu
PLTS	pembangkit listrik tenaga surya
PLTP	pembangkit listrik tenaga panas bumi
PLTU	pembangkit listrik tenaga uap
PHEV	plug-in hybrid electric vehicle
PP	peraturan pemerintah
PPnBM	Pajak Penjualan atas Barang Mewah
PV	<i>photovoltaic</i> (fotovoltaik)
RAPBN	Rancangan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara
RUEN	Rencana Umum Energi Nasional
RUPTL	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik
TCO	total cost of ownership
tCO <sub>2</sub>	ton CO <sub>2</sub>
tCO <sub>2</sub> /TJ	ton CO <sub>2</sub> per tera joule
tCO <sub>2</sub> e	<i>ton CO<sub>2</sub> equivalent</i>
TWh	terawatt hour
UE	Uni Eropa
UNEP	United Nations Environment Programme (Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Perubahan Iklim)
yoy	year on year

# KATA PENGANTAR

Sektor energi mengalami masa pasang surut di tahun 2022 ini. Isu transisi energi masih menjadi topik utama pengelolaan energi secara global, di tengah kondisi pemulihan aktivitas perekonomian pascapandemi Covid-19.

Di tahun ini, tantangan utama sektor energi dipicu oleh konflik Rusia-Ukraina yang menjalar menjadi isu geopolitik secara global. Pun halnya pengaruh cuaca ekstrem dan krisis iklim yang memengaruhi pengembangan energi terbarukan serta berdampak pada disrupsi pasokan energi. Hal ini menjadi gangguan serius dalam proses transisi energi ke depan, melihat krisis ekonomi dan krisis energi yang telah terjadi di sejumlah negara.

Isu transisi energi juga menjadi salah satu topik utama dalam pembahasan G20 pada bulan November lalu. Presidensi G20 tahun 2022 yang dipimpin Indonesia berhasil menyepakati untuk mempercepat dan memastikan transisi energi yang berkelanjutan, adil, terjangkau, dan investasi inklusif melalui dokumen kesepakatan Bali Compact dan Peta Jalan Transisi Energi Bali.

Dengan mempertimbangkan hal-hal tersebut, PT Pertamina (Persero) kembali menerbitkan *Pertamina Energy Outlook 2022*, dengan mengkaji proyeksi penyediaan dan kebutuhan energi Indonesia sampai dengan tahun 2060 dengan tiga perspektif skenario, yaitu peningkatan temperatur dunia pada 2100 yang mencapai 3°C (*Low Transition*), 2,4°C (*Market Driven*), dan 1,7°C (*Green Transition*). Perbedaan pencapaian temperatur dunia akan menimbulkan risiko-risiko fisik iklim dengan temperatur tertinggi menghasilkan risiko fisik iklim yang lebih tinggi dibandingkan skenario lainnya. Mempertimbangkan hal tersebut, di samping upaya untuk menyeimbangkan isu keberlanjutan dan pengembangan ekonomi dalam menahan laju peningkatan temperatur rata-rata global, juga perlu untuk memprioritaskan iklim.

PEO 2022 ini diharapkan dapat menjadi salah satu rujukan dan memberikan kontribusi positif kepada penyusun kebijakan, pelaku bisnis, investor, peneliti, serta pembaca pada umumnya di bidang energi, mengenai kemungkinan-kemungkinan perkembangan energi Indonesia di masa mendatang, seperti peningkatan ekosistem kendaraan listrik, penggunaan energi baru dan energi terbarukan yang semakin meningkat, ataupun penggunaan energi alternatif, seperti dimetil eter dan hidrogen.

Akhir kata, saya sampaikan apresiasi kepada Tim Pertamina Energy Institute yang telah menyelesaikan penyusunan dokumen PEO 2022. Tidak lupa saya ucapkan pula terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyusunan dokumen ini. Kami harapkan kritik dan saran dari para pembaca untuk evaluasi dan perbaikan penyusunan PEO selanjutnya.

Salam,

**A. Salyadi Saputra**

*Direktur Strategi, Portofolio dan Pengembangan Usaha  
PT Pertamina (Persero)*







# **BAB 1**

# **PERKEMBANGAN MAKRO GLOBAL DAN INDONESIA**



## I.1 PERKEMBANGAN EKONOMI

### I.1.1 KONDISI EKONOMI GLOBAL

Kondisi ekonomi global dapat dipengaruhi oleh geopolitik dan harga energi (minyak, gas, dan listrik) yang dapat melemahkan daya beli konsumen, menekan margin usaha, dan meningkatkan inflasi. Peningkatan harga pangan dunia berpotensi menyebabkan tekanan lebih lanjut terhadap perekonomian. Perekonomian global pun terdampak oleh kemampuan Tiongkok dalam mengatasi masalah perekonomian domestiknya seperti properti dan perbankan.

Saat ini kondisi Eropa terdampak oleh pengiriman gas Rusia yang berpotensi mengakibatkan kekurangan energi, harga energi yang tinggi, dan penurunan ekonomi dalam beberapa bulan mendatang. Selanjutnya, perang di Ukraina masih berpotensi memengaruhi ekonomi global dengan dampaknya yang semakin membebani rantai pasok. Sebagai contoh, dalam jangka pendek, penghancuran beberapa infrastruktur transportasi, terutama pelabuhan di Ukraina, dapat menambah gangguan rantai pasok. Dalam jangka panjang, mempertimbangkan peran Rusia sebagai pemasok komoditas utama, seperti minyak, gas, logam dasar, biji-bijian, dan emas, gangguan dalam rantai pasok global hampir pasti terjadi.

Peningkatan inflasi mendorong Bank Sentral melakukan intervensi kebijakan moneter. Peningkatan inflasi tersebut didorong oleh harga komoditas yang lebih tinggi, masalah rantai pasok, dan pelepasan permintaan yang tertahan menyusul pencabutan kebijakan pembatasan terkait Covid-19 di negara-negara maju. Economist Intelligence Unit (EIU) memperkirakan kenaikan harga akan meningkat hingga hampir 10% pada tahun 2022.

Bank Sentral utama meningkatkan upaya mereka untuk mengendalikan inflasi. Federal Reserve (The Fed) berpotensi akan menaikkan suku bunga secara agresif tahun ini. Bank Sentral Eropa juga berpotensi menaikkan suku bunga tiga kali lipat tahun ini dan lima kali lipat tahun depan.

Kondisi ekonomi Amerika Serikat (AS) berpotensi mengalami pelambatan tajam pada akhir 2022 dan awal 2023. Laju pengetatan moneter yang agresif, terutama dari The Fed, telah mendorong EIU untuk merevisi prospek pertumbuhan produk domestik bruto (PDB) AS, dengan perkiraan ekonomi AS akan mengalami resesi ringan di tahun depan, serta pertumbuhan PDB riil turun dari 1,5% pada tahun 2022 menjadi hanya 0,5% pada tahun 2023 (turun dari perkiraan sebelumnya masing-masing 1,7% dan 1,2%). Risiko utama terhadap AS adalah gelombang inflasi kedua yang akan memaksa The Fed untuk memperketat kebijakan lebih agresif, menekan pengeluaran rumah tangga dan investasi bisnis. Kebijakan nol-Covid Tiongkok merupakan hambatan lain pada pertumbuhan global dan diperkirakan akan berlanjut hingga tahun 2023. Kelesuan sektor properti dan krisis di sektor listrik juga membebani pertumbuhan Tiongkok.

Dengan pelambatan ekonomi Uni Eropa (UE), Tiongkok, dan AS, EIU memperkirakan pertumbuhan PDB global sebesar 2,6% pada 2022 dan hanya 1,7% tahun depan. Secara paralel, kekhawatiran seputar pasokan pangan global juga muncul. Pertempuran dan pemblokadean pelabuhan Ukraina oleh Rusia telah menghentikan ekspor biji-bijian, dan karena kedua negara menyumbang sekitar sepertiga dari perdagangan gandum global, situasi ini menimbulkan risiko kelaparan.

Peristiwa cuaca ekstrem, seperti temperatur tinggi dan kekeringan di Eropa, dapat memperburuk risiko tersebut. Situasi ini menimbulkan kemungkinan gejolak sosial di negara-negara berkembang, yang juga menghadapi rekor inflasi tinggi dan harus mulai membayar kembali tumpukan utang besar yang telah ada selama pandemi.

**Tabel 1.1 Proyeksi Pertumbuhan Ekonomi Global (%)**

	2021*)	2022	2023
Konsensus Bloomberg	5,9	2,9	2,3
IMF		3,2	2,7
World Bank		2,9	3,0
Economist Intelligence Unit (EIU)		2,6	1,7

\*) 2021 World Bank

Walaupun demikian, proyeksi ekonomi tersebut tentunya dapat berubah seiring dengan perubahan skenario global EIU, di antaranya adalah:

**1 Kondisi musim dingin dapat memperburuk krisis energi Eropa.**

Jika musim dingin menyebabkan peningkatan permintaan gas di atas rata-rata, Eropa berpotensi mengalami resesi lebih parah pada tahun 2022-2023. Sebagian besar sektor industri akan dipaksa untuk membatasi penggunaan energi dan mengurangi tenaga kerja, yang berdampak pada perekonomian karena rantai pasok terhenti. Harga energi yang tinggi akan menyebabkan tekanan perusahaan. Pemerintah juga dapat menghentikan perlindungan harga untuk rumah tangga yang mengurangi daya beli konsumen.

**2 Pengetatan moneter yang agresif dapat menyebabkan resesi global.**

Bank Sentral utama dapat secara cepat meningkatkan suku bunga untuk menekan laju kenaikan inflasi di sebagian besar negara di dunia.

Langkah tersebut juga dapat memicu peningkatan tajam dalam suku bunga jangka panjang dan meningkatkan biaya pinjaman. Kenaikan inflasi yang berkepanjangan dapat mendorong respons yang lebih agresif dari Bank Sentral yang akan melemahkan daya beli rumah tangga di tengah harga energi dan komoditas yang sudah tinggi. Di negara maju, pelambatan ekonomi bisa semakin cepat, mengakibatkan kejatuhan pasar saham, yang akan membebani pertumbuhan global.

**3 Konflik Rusia-Ukraina berubah menjadi perang global.**

Perang membawa risiko khusus bagi negara-negara anggota Pakta Pertahanan Atlantik Utara (NATO) yang berbatasan dengan Ukraina dan Rusia. Negara-negara tersebut dapat terseret ke dalam konflik. Rusia juga dapat menargetkan negara-negara yang dianggapnya mendukung Ukraina, baik dengan memasok bantuan maupun menganjurkan tindakan hukuman, dan telah menyiapkan pasukan pencegahan nuklirnya.

**4 Potensi konflik langsung antara Tiongkok dan Taiwan.**

Pada Agustus 2022, Tiongkok menggelar latihan militer yang berlokasi di sekitar perairan teritorial Taiwan. Hal ini berdampak pada meningkatnya ketegangan di kawasan tersebut, dan munculnya kekhawatiran apabila terjadi konflik langsung antara Tiongkok dan Taiwan, seperti yang terjadi antara Rusia dan Ukraina.

**5 Inflasi global yang tinggi memicu kerusuhan sosial.**

Tekanan inflasi yang terus-menerus mendorong inflasi global, yang berada pada level tertinggi sejak 1990-an. Hal ini dapat memicu kerusuhan sosial jika inflasi naik jauh lebih tinggi daripada kenaikan upah sehingga membebani rumah tangga miskin untuk membeli bahan pokok.

**6 Melemahnya hubungan Tiongkok dengan Barat.**

Negara Barat, terutama AS dan UE, prihatin terhadap dukungan Tiongkok kepada Rusia setelah invasi ke Ukraina. Secara paralel, Tiongkok mengkhawatirkan hubungan AS-Taiwan dan upaya AS untuk meyakinkan negara demokrasi lain untuk menekannya menggunakan pembatasan perdagangan, teknologi, dan keuangan. UE juga telah mengambil sikap yang semakin konfrontatif terhadap pelanggaran hak asasi manusia Tiongkok di Xinjiang, perlakuan yang tidak setara terhadap perusahaan-perusahaan UE dan Tiongkok, dan model industri subsidi.

**7 Varian baru dari Covid atau penyakit menular lainnya.**

Di tengah ketidaksetaraan vaksin global dan pelanggaran kebijakan pemerintah, terdapat potensi munculnya varian baru Covid-19, yang dapat menyebabkan pengulangan kondisi seperti tahun 2020. Risiko tidak hanya terkait dengan virus korona—para ahli memperingatkan bahwa penyakit menular lainnya akan segera muncul. Jika varian agresif lain dari virus korona muncul, negara-negara maju dapat memberlakukan pengetatan. Sentimen konsumen dan investor akan menurun, menyebabkan penurunan di pasar keuangan, layanan dan penjualan ritel.

**8 Kebijakan nol-Covid Tiongkok menyebabkan resesi lebih dalam.**

Kebijakan nol-Covid Tiongkok berpotensi berlanjut sepanjang tahun ini dan tahun depan. Dengan varian virus korona lain

yang kemungkinan akan muncul musim dingin ini, tindakan penguncian yang ketat di Tiongkok tetap mungkin terjadi. Ini dapat menyebabkan ekonomi Tiongkok berkontraksi lebih dalam yang membebani aktivitas ekonomi global, memperburuk sentimen investor yang sudah lemah, dan mengurangi kinerja pasar keuangan global.

**9 Cuaca ekstrem menambah kenaikan harga komoditas, memicu kerawanan pangan global.**

Model perubahan iklim menunjukkan peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem. Kekeringan yang parah dan gelombang panas di Eropa, Tiongkok, India, dan AS pada tahun 2022 berkontribusi terhadap kenaikan harga beberapa bahan makanan. Selain itu, perang antara Rusia dan Ukraina telah menyebabkan lonjakan harga yang tinggi dan berisiko menciptakan kelangkaan biji-bijian dan pupuk global pada tahun 2023. Dunia dapat menghadapi periode yang berkepanjangan kekurangan panen dan meningkatkan harga, serta meningkatkan risiko kerawanan pangan.

**10 Perang siber antarnegara melumpuhkan infrastruktur negara di ekonomi utama.**

Invasi Rusia ke Ukraina dan ketegangan di sekitar Taiwan telah meningkatkan kemungkinan serangan siber negara-ke-negara yang besar. Mengingat biaya konflik militer langsung yang jauh lebih tinggi dan kesulitan dalam mengidentifikasi pelaku serangan dunia maya, setiap eskalasi militer kemungkinan besar awalnya berbentuk perang dunia maya.

## I.1.2 KONDISI EKONOMI INDONESIA

Pertumbuhan PDB Indonesia diproyeksikan akan moderat pada tahun 2023 yang masih di bawah tahun 2022. Hal ini disebabkan momentum pemulihan Indonesia dari gangguan pandemi mulai reda. Inflasi yang kemungkinan meningkat pada akhir tahun

2022 dan semester pertama tahun 2023 dapat menekan pertumbuhan private consumption tahun depan, tetapi pada akhirnya akan kembali pada beberapa tahun ke depan karena terdapat potensi peningkatan pendapatan rumah tangga yang mengejar kenaikan harga.

**Tabel 1.2 Proyeksi Pertumbuhan Ekonomi Indonesia (%)**

	2021*)	2022	2023
Konsensus Bloomberg	3.69	5,00	4,80
IMF		5,30	5,00
World Bank		5,10	5,30
Economist Intelligence Unit		5,00	4,10
Pertamina Energy Outlook		4,91	4,89
Kementerian Keuangan Asumsi Makro		5.20	5.30

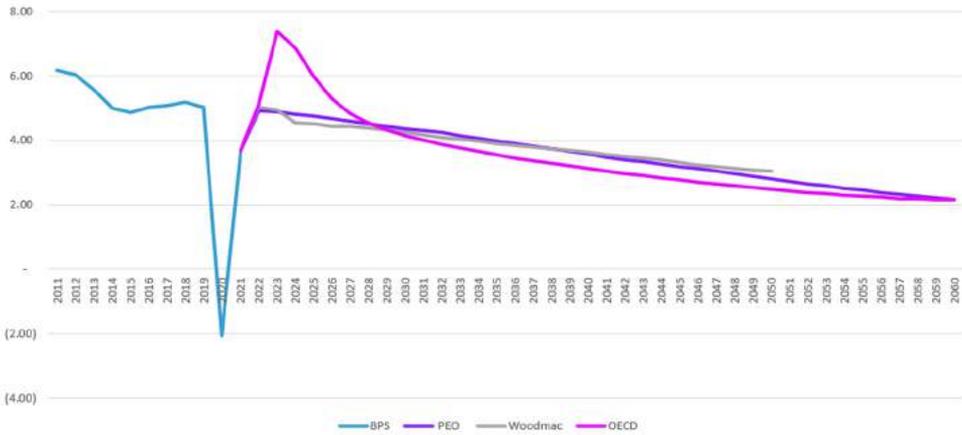
\*) Realisasi BPS

Adapun ekspor barang berpotensi tetap kuat meskipun ekonomi global diperkirakan akan mengalami penurunan. Hal ini akan mencerminkan pertumbuhan output pertambangan dan industri hilir pengolahan logam di Indonesia. Tren ini dapat berlanjut tahun depan meskipun harga komoditas global melemah. Pemulihan pariwisata yang berkelanjutan akan menambah pemulihan jasa, bahkan ketika permintaan perjalanan yang diredam dari Tiongkok, sumber wisatawan terbesar kedua di Indonesia, di bawah tingkat prapandemi hingga 2024.

Secara jangka panjang, Indonesia diprediksi tetap akan memiliki perekonomian yang memiliki pertumbuhan berkelanjutan hingga

tahun 2060. Hasil proyeksi yang digunakan dalam *Pertamina Energy Outlook* dalam hal PDB Indonesia untuk tahun 2060 berada di angka pertumbuhan sebesar 2,17% (yoy).

Pertumbuhan ekonomi Indonesia mengikuti trayektori jangka panjang negara-negara berkembang lainnya, yakni semakin berkembangnya suatu negara, maka secara natural tingkat pertumbuhannya akan melambat. Hasil proyeksi ini sejalan dengan proyeksi beberapa institusi internasional lainnya, di mana Organisasi untuk Kerja Sama dan Pembangunan Ekonomi (OECD) memprediksi pertumbuhan ekonomi Indonesia pada tahun 2060 berada di level 2,15% (yoy).



**Gambar 1.1 Proyeksi Pertumbuhan PDB Indonesia Jangka Panjang**

Sumber: PEI-LPEM UI, OECD (long term), Wood Mackenzie

Di antara faktor utama yang menjadi pendukung bertumbuhnya ekonomi Indonesia hingga tahun 2060 adalah bonus demografi. Penduduk Indonesia yang dikategorikan angkatan kerja jauh lebih besar ketimbang penduduk yang berada di luar definisi angkatan kerja. Selain itu, jumlah penduduk Indonesia sangat besar dan menjadi potensi pasar untuk melakukan aktivitas ekonomi sehingga pertumbuhan ekonomi Indonesia bisa terus terjaga dan mencapai status negara

berpendapatan tinggi. Di sisi lain, pertumbuhan ekonomi Indonesia memiliki risiko *middle income trap*, yaitu kondisi yang menunjukkan suatu negara tidak mampu naik kelas dari negara berpendapatan sedang ke negara berpendapatan tinggi. Risiko ini tentunya harus diantisipasi agar Indonesia dapat memiliki pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dan dapat menaikkan statusnya menjadi negara maju.

## I.2 PERKEMBANGAN GEOPOLITIK

Ketersediaan energi dunia selalu menjadi perhatian dari semua negara di dunia, baik negara maju, negara berkembang, maupun negara miskin. Kebutuhan energi, penguasaan sektor energi, dan keterbatasan akses terhadap pasokan energi akan memengaruhi geopolitik global. Konflik antarnegara erat kaitannya dengan isu energi karena terkait dengan eksistensi dan kapasitas suatu negara dalam melanjutkan pembangunan. Penguasaan energi dapat menjadi kekuatan politik suatu negara dalam menjaga kepentingan politik nasional masing-masing. Terjadinya ketergantungan energi dalam suatu negara akan menurunkan ketahanan dan keamanan

energi dari negara tersebut. Geopolitik energi oleh Jean-Marie Chevalier dideskripsikan sebagai perimbangan kekuasaan di antara negara dan perusahaan-perusahaan dalam rangka mengakses sumber daya energi membuat regulasi terhadap sumber daya dan isu-isu terkait energi. Geopolitik energi dapat ditinjau dari perspektif negara eksportir dan importir. Bagi negara eksportir, geopolitik energi diartikan sebagai penguasaan atas akses minyak dan gas untuk dimasukkan dalam proses pembuatan keputusan. Geopolitik energi dunia memengaruhi negara produsen dan konsumen karena memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap stabilitas negara.

Narasi geopolitik dan hubungannya dengan dinamika ekonomi global menjadi makin relevan seiring perang Rusia-Ukraina yang berkepanjangan. Rusia yang kaya dengan sumber daya alam, terutama komoditas energi, batubara, dan mineral, memiliki peran strategis sebagai pemasok utama energi Eropa dan perdagangan internasional. Posisi Ukraina yang berada di perbatasan antara benua Eropa dan Rusia menjadi sangat strategis bagi banyak pihak yang berkepentingan, khususnya Rusia dan Eropa. Pentingnya jalur energi ini membuat UE memiliki ketergantungan energi tinggi pada Rusia. Pecahnya perang Rusia-Ukraina telah mengancam keamanan energi global karena membawa disrupsi pada empat aspek yang menjadi keamanan energi, yakni *affordability*, *availability*, *acceptability*, dan *accessibility* (Šumskis dan Giedraitis, 2015).

Peta kebijakan energi saat ini ditandai dengan berbagai kebijakan yang berbeda dari setiap negara merespons *volatile*-nya harga minyak dan kebijakan pengembangan energi terbarukan sebagai substitusi impor energi fosil. Dari perspektif politik, diperlukan kondisi umum yang stabil untuk menghasilkan kerja sama regional di sektor energi antarnegara yang berbeda. Dalam kerja sama ini, mereka yang memiliki jaringan dan kemungkinan penyimpanan energi akan diuntungkan. Dengan mempertimbangkan pertumbuhan permintaan energi, sumber terbarukan hanya akan memiliki peran penting dalam kebijakan energi global dalam jangka menengah. Dalam jangka pendek, transformasi ketergantungan saat ini ditentukan oleh inovasi teknologi dalam pemanfaatan sumber daya energi fosil, seperti *fracking* dan fluidisasi gas untuk transportasi laut.

Organisasi Negara-negara Pengekspor Minyak (OPEC) dan negara produsen minyak dan gas di luar OPEC (Rusia) adalah negara industri maju dan negara konsumen besar (Tiongkok dan India) yang memainkan peran penting dalam pasar energi dunia. Keamanan energi merupakan unsur vital bagi perkembangan teknologi dan industri serta secara politis memiliki konsekuensi terhadap pertumbuhan ekonomi.

Pada sistem politik internasional, isu keamanan energi dapat memengaruhi terbentuknya aliansi dan komitmen pertahanan nasional, sekaligus menjadi faktor utama dalam merumuskan kebijakan keamanan. Sebagai contoh, ketika terjadi gejolak harga minyak dunia, instabilitas kawasan, seperti konflik ataupun gangguan jalur distribusi, menjadi perhatian dari negara-negara konsumen industri maju.

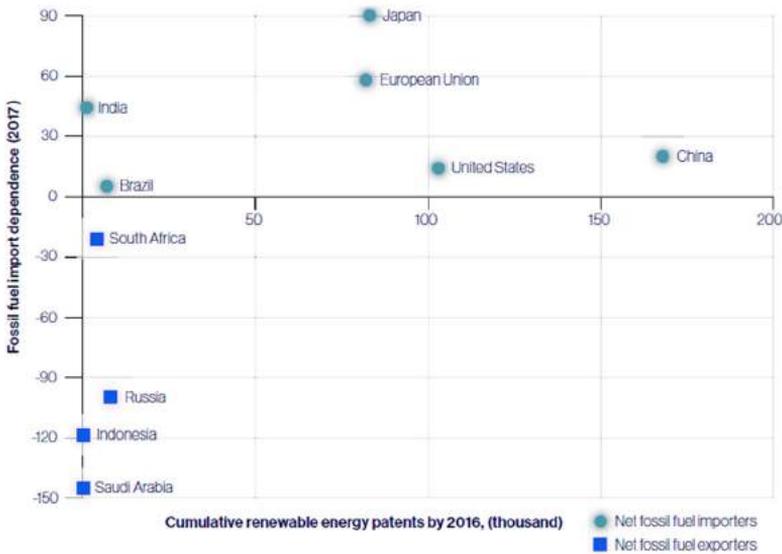
Akses energi sangat penting untuk mempertahankan pertumbuhan ekonomi di Tiongkok dan India dengan sektor industri yang kuat, telah mempekerjakan ratusan juta orang. Kompetisi dalam menguasai sumber energi membuat negara yang memiliki sumber energi akan menjadi ajang kontestasi geopolitik dunia. Hal yang sama juga terjadi di Irak, di mana intervensi AS tidak terlepas dari kepentingan penguasaan sumber minyak di negara tersebut untuk kepastian pasokan industri.

Perubahan mendasar yang sedang terjadi dalam sistem energi global saat ini akan memengaruhi hampir semua negara. Sumber energi konvensional yang berasal dari energi tak terbarukan, khususnya minyak, gas, dan batubara, telah lama menjadi pilar pembentuk peta geopolitik dunia. Namun, secara bertahap, peran energi berbasis fosil ini mulai berkurang seiring masifnya penggunaan energi baru dan energi terbarukan (EBET). Posisi energi terbarukan secara perlahan telah bergeser menjadi episentrum lanskap energi global. Energi terbarukan berbeda dalam banyak hal dari bahan bakar fosil, dan perbedaan ini akan memiliki konsekuensi geopolitik.

Pertama, sumber energi terbarukan tersebar hampir di semua negara, tidak seperti bahan bakar fosil yang terkonsentrasi di beberapa negara saja. Hal ini tentu akan mengubah peta suplai dan perdagangan bahan bakar fosil, seperti minyak bumi, batubara, dan gas, secara global. Dampaknya tentu akan mengurangi ketergantungan jalur pasokan energi fosil, khususnya minyak dan LNG saat ini, seperti jalur laut sempit semisal Laut Mediterania, kawasan Teluk, Selat Malaka, dan Selat Hormuz.

Kedua, sebagian besar energi terbarukan berbentuk energi yang mengalir kontinu, sedangkan bahan bakar fosil adalah stok. Stok energi dapat disimpan, tetapi hanya dapat digunakan sekali. Sebaliknya, aliran energi tidak menguras dirinya sendiri dan lebih sulit untuk mengalami gangguan, meskipun beberapa jenis energi terbarukan memiliki potensi gangguan intermiten, seperti pada energi bayu dan tenaga matahari. Ketiga, sumber energi terbarukan dapat digunakan di hampir semua skala dan lebih

cocok untuk bentuk produksi dan konsumsi energi yang terdesentralisasi. Ini menambah efek demokratisasi dari energi terbarukan. Keempat, sumber energi terbarukan memiliki biaya marginal hampir nol, dan beberapa di antaranya, seperti matahari dan bayu, menikmati pengurangan biaya hampir 20% untuk setiap penggandaan kapasitas. Hal ini meningkatkan kemampuan untuk mendorong perubahan, tetapi memerlukan solusi regulasi untuk memastikan stabilitas dan profitabilitas.



**Gambar 1.2 Dampak Transisi Energi di Beberapa Negara**

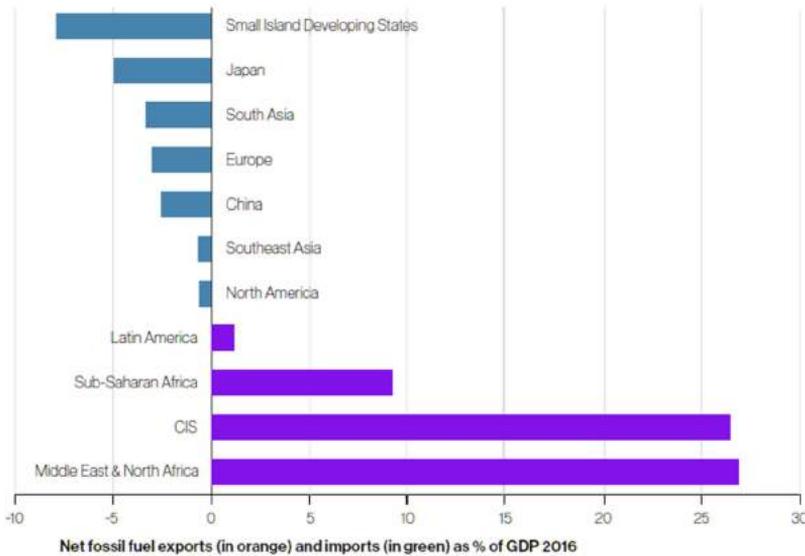
Sumber: BP, Irena (2019)

Transformasi energi akan menjadi salah satu elemen utama yang membentuk kembali lanskap geopolitik di abad ke-21, di samping tren demografi, ketimpangan, urbanisasi, teknologi, kelestarian lingkungan, kemampuan militer, dan politik domestik di negara-negara besar. Posisi relatif suatu negara dalam sistem internasional dipengaruhi oleh berbagai atribut, termasuk PDB, populasi, luas wilayah, sumber daya alam, lokasi geostrategis,

sumber daya militer, dan softpower. Memiliki kendali atas akses ke sumber daya dan pasar energi yang signifikan merupakan aset penting karena memungkinkan negara melindungi kepentingan nasional yang vital di dalam negeri, dan memanfaatkan pengaruh ekonomi dan politik di luar negeri. Sebaliknya, pada negara-negara tanpa aset penting terhadap energi, memiliki pengaruh yang lebih kecil dan lebih rentan.

Oleh karena itu, pertumbuhan pesat energi terbarukan akan mengubah kekuatan dan pengaruh beberapa negara dan wilayah relatif terhadap negara lain, dan mereka-ulang peta geopolitik di abad ke-21. Bagaimana negara-negara yang berbeda berjalan dalam konteks transisi energi tidak sedikit bergantung

pada seberapa terbuka mereka terhadap perubahan arus perdagangan bahan bakar fosil. Sama pentingnya adalah posisi mereka dalam perlombaan energi bersih, perlombaan komersial untuk menjadi pemimpin dalam teknologi energi terbarukan.



**Gambar 1.3 Dampak Regional Energi Transisi**

Sumber: World Bank, IMF (2018)

Amerika Serikat hampir mencapai swasembada energi, sebagian besar intermiten disebabkan oleh revolusi serpih (*shale oil and gas*). AS diproyeksikan menjadi pengekspor minyak bersih pada awal tahun 2020-an. AS memiliki posisi yang unggul dalam perlombaan energi bersih. Beberapa perusahaan AS memegang posisi kuat dalam teknologi baru, termasuk robotika, kecerdasan buatan, dan kendaraan listrik. Tiongkok akan memperoleh keuntungan dari transformasi energi dalam hal ketahanan energi. Negara ini terdepan di bidang manufaktur, inovasi, dan penyebaran teknologi energi terbarukan. Tiongkok juga menawarkan pasar terbesar untuk investasi energi terbarukan, dengan fakta bahwa lebih dari 45% dari total pasar global pada tahun 2020, meskipun saat ini masih sangat

bergantung pada impor minyak yang terus tumbuh. Eropa dan Jepang merupakan negara ekonomi utama yang sangat bergantung pada impor bahan bakar fosil. Mereka juga memegang posisi kuat dalam teknologi terbarukan. Di Eropa, Jerman memimpin dengan hampir 31.000 paten energi terbarukan. Transisi energi Jerman telah menjadikan negara ini terdepan dalam penyebaran energi terbarukan. India telah menjadi salah satu negara dengan pertumbuhan ekonomi tercepat di dunia dalam beberapa tahun terakhir, mengangkat jutaan orang dari kemiskinan. India siap untuk menyalip Tiongkok sebagai pasar pertumbuhan energi terbesar di dunia pada akhir tahun 2020-an. India telah menetapkan target ambisius untuk 175 GW energi terbarukan pada tahun 2022.

Rusia, pengeksport gas terbesar di dunia dan pengeksport minyak terbesar kedua, tengah menghadapi tantangan dalam beradaptasi dengan dunia yang semakin didukung oleh energi terbarukan. Perekonomian Rusia lebih besar dan lebih beragam, dengan sektor minyak dan gas sebagai komponen utama yang menyumbang sekitar 40% dari pendapatan fiskal. Meskipun Rusia meningkatkan energi terbarukan, penyebaran, dan dana untuk penelitian dan pengembangan, negara ini masih tertinggal jauh di belakang Tiongkok dan AS dalam hal paten untuk teknologi energi terbarukan.

Timur Tengah dan Afrika Utara adalah wilayah yang paling terkena pengurangan pendapatan bahan bakar fosil. Rata-rata, wilayah ini memiliki ekspor bahan bakar fosil bersih lebih dari seperempat dari PDB mereka. Menurunnya penerimaan ekspor akan berdampak buruk terhadap prospek pertumbuhan ekonomi dan anggaran negara. Untuk mencegah gangguan ekonomi, mereka perlu menyesuaikan ekonomi mereka dan mengurangi ketergantungan mereka pada bahan bakar fosil.

Mayoritas negara di Afrika Sub-Sahara (SSA) akan mendapat manfaat dari pengurangan impor bahan bakar fosil dan pembangkitan energi terbarukan di dalam negeri, karena hal ini akan mendorong penciptaan lapangan kerja dan pertumbuhan ekonomi. Pengecualian untuk ini adalah dua produsen minyak terbesar di kawasan itu, Nigeria dan Angola, yang berisiko karena mereka sangat bergantung pada ekspor bahan bakar fosil. Namun, dalam jangka panjang, negara-negara Afrika memiliki peluang untuk meninggalkan model pembangunan yang berpusat pada bahan bakar fosil dan bergeser ke energi terbarukan.

Dalam konteks reka-ulang geopolitik global, terdapat tiga isu yang relevan untuk dibahas, yaitu Geopolitik *Stranded Fossil Fuel Asset*, Geopolitik *Critical Raw Materials* dan *Rare Earths Elements* (REEs), serta perjanjian internasional terkait perubahan iklim dan upaya dekarbonisasi.

**a Geopolitik *Stranded Fossil Fuel Asset***

Dari perspektif negara-negara yang memproduksi bahan bakar minyak (BBM) dengan biaya yang relatif tinggi, seperti Kanada, Venezuela, AS, dan Rusia, penurunan permintaan tentu memiliki dampak besar terhadap kelangsungan hidup semua industri bahan bakar fosil mereka. Peningkatan permintaan tersebut akan dipenuhi oleh produsen berbiaya rendah (misalnya negara-negara Teluk). Sebaliknya, bagi importir neto bahan bakar fosil, seperti Tiongkok dan Jepang, efek fenomena ini terhadap produk domestik bruto mereka akan positif.

Jika kebijakan iklim baru untuk mencapai target 2°C "jauh di bawah" dari Persetujuan Paris benar-benar diadopsi dan produsen bahan bakar fosil berbiaya rendah melanjutkan produksi mereka pada tingkat saat ini, dampak buruk pada produsen bahan bakar fosil berbiaya tinggi akan jauh lebih dalam dan lebih mengganggu semua industri bahan bakar fosil di Kanada, Rusia, dan AS, bahkan mungkin bisa kolaps. Hal ini penting sebagai pertimbangan untuk mengantisipasi kemungkinan skenario masa depan. Implikasinya akan terkait redistribusi kekuasaan di tingkat internasional dan domestik.

Di tingkat internasional, Tiongkok akan memperoleh keuntungan yang signifikan dari percepatan transisi energi, tidak hanya karena akan membantu mengatasi masalah polusi udara yang kritis, tetapi juga karena akan meningkatkan daya saing industri energi terbarukan sendiri di luar negeri, dan dengan melemahkan kekuatan ekonomi AS dan Rusia, akan memperkuat posisi strategisnya sehubungan dengan dua pesaing geopolitik utama. Uni Eropa, sebagai importir utama bahan bakar fosil dan pendukung tegas transisi rendah karbon melalui kebijakan industrinya, juga akan

memperoleh banyak keuntungan dari percepatan transisi tersebut, baik dalam hal impor yang lebih murah maupun daya saing di pasar internasional.

Namun, di dalam negeri, penyesuaian struktural yang diakibatkan oleh transisi energi di negara-negara dengan (secara komparatif) industri bahan bakar fosil yang tidak kompetitif dapat memengaruhi sektor tertentu dari populasi, terutama pekerja di industri ini. Tergantung pada kekuatan politik mana yang didukung oleh konstituen ini, implikasi penting dari transisi ini dapat menghasilkan lahan subur bagi politik populis di negara-negara kunci, dengan volatilitas yang menyertainya untuk hubungan internasional. Bahkan, di negara-negara seperti Tiongkok, yang telah memelopori perpindahan ke energi terbarukan, implikasi besar dari menjauh dari bahan bakar fosil akan berdampak besar pada berbagai sektor industri.

#### **b** Geopolitik *Critical Raw Materials* dan *Rare Earths Elements (REEs)*

Transisi energi global dan peningkatan permintaan *critical raw materials* (CRM) dan *rare earths elements* (REEs) diperkirakan akan turut merekonstruksi geopolitik global. Mineral kritis (*critical raw materials*) adalah sekelompok mineral masa depan yang dapat digunakan untuk inovasi teknologi berbasis energi bersih dan terbarukan. Peran mineral kritis sangat penting untuk perangkat teknologi informasi, kebutuhan kendaraan listrik, kebutuhan teknologi kesehatan, turbin angin dan panel surya, dan industri pertahanan. Mineral ini dikatakan kritis karena ketersediaan jumlahnya yang kian hari kian terbatas. Ada faktor lain seperti banyaknya permintaan, persaingan geopolitik, masalah kebijakan perdagangan, dan fungsi dari mineral kritis juga tak bisa digantikan oleh mineral lain.

- b** Beberapa negara seperti AS, Jepang, Korea Selatan, dan negara-negara Uni Eropa mengklasifikasikan mineral kritis sebagai berikut: logam tanah jarang (LTJ)/ *rare earths element* (REE), *gallium* (Ga), *indium* (In), *tungsten* (W), *platinum* (Pt), *palladium* (Pd), *kobalt* (Co), *niobium* (Nb), *magnesium* (Mg), *molybdenum* (Mo), *antimoni* (Sb), *lithium* (Li), vanadium (V), *nikel* (Ni), *tantalum* (Ta), *tellurium* (Te), *kromium* (Cr), dan *mangan* (Mn).

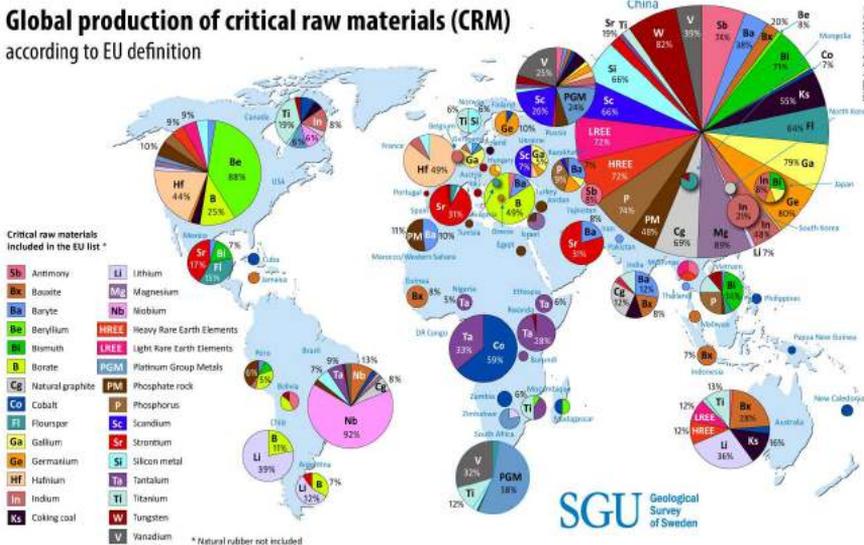
Setiap tahun kebutuhan akan material CRM terus bertambah seiring dengan pertumbuhan industri dan perkembangan menuju revolusi hijau (*green revolution*). Dahulu industri pertambangan hanya berfokus pada produk primer, seperti timah, tembaga, nikel, dan besi, karena proses ekstraksi produk primer lebih mudah dan ekonomis dibandingkan material pada kluster CRM. Hal ini menjadikan material pada kelompok CRM akan berakhir di waste dump dan tidak terekstraksi lebih tepat guna. Namun, seiring dengan kemajuan teknologi dan meningkatnya kebutuhan akan material yang ramah lingkungan, mineral-mineral pada kelompok CRM saat ini sudah mulai ditambang dalam jumlah yang cukup besar di beberapa negara.

Saat ini perusahaan Tiongkok mengendalikan hingga lebih dari 70% produksi REE di seluruh dunia, sekitar 80% produksi kobalt olahan global, dan lebih dari 60% kapasitas produksi *lithium-ion* di seluruh dunia. Tiongkok adalah satu-satunya negara adidaya, yang telah memperkuat seluruh rantai pasok teknologi bersih, yang mencakup CRM dan kapasitas pemurniannya. Tiongkok menyediakan 98% dari pasokan REE untuk UE. Indonesia mempunyai cadangan terbukti bijih berbagai komoditas tambang, seperti nikel tercatat sebanyak 1,499 miliar ton, tembaga 639,206 juta ton, bauksit 927,781 juta ton, dan timah

1,253 miliar ton. Cadangan komoditas-komoditas menjadi kekuatan dan fokus Indonesia dalam hilirisasi dalam mengelola sumber daya alam, khususnya dengan kemajuan teknologi yang telah berkembang. Mineral yang Indonesia miliki dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan industri strategis nasional serta berpotensi mengendalikan pasokan dunia.

Komisi Eropa, dalam laporan *Study on the EU's List of Critical Raw Materials* (2020), menyatakan bahwa dengan meningkatnya tekanan pada sumber

daya, yang disebabkan peningkatan populasi global, industrialisasi, digitalisasi, dan peningkatan permintaan dari negara berkembang, mengakibatkan naiknya permintaan akan logam, mineral, dan bahan biotik yang digunakan dalam teknologi dan produk rendah emisi. Persaingan global untuk persaingan akses sumber daya akan menjadi sengit dalam dekade mendatang. Ketergantungan terhadap CRM akan segera menggantikan ketergantungan pada minyak sehingga penguasaan dan akses terhadap CRM menjadi elemen strategis bagi posisi geopolitik suatu negara.



Gambar 1.4 Peta Persebaran CRM

Sumber: EU Classification of Critical Raw Materials (2020)

**C Perjanjian Internasional terkait Perubahan Iklim dan Upaya Dekarbonisasi**

Komitmen internasional menegaskan bahwa upaya pengendalian perubahan iklim dilakukan dengan mempertimbangkan national circumstances (termasuk kondisi dan kapasitas negara) dan kedaulatan (*sovereignty*) negara.

Negara memberikan arah dan berkewajiban memastikan agar pembangunan yang dibutuhkan untuk memenuhi kesejahteraan rakyat tetap memperhatikan perlindungan aspek lingkungan dan sosial. Komitmen dan kontribusi Indonesia dalam penurunan emisi gas rumah kaca dilakukan atas dasar sukarela (*voluntary*), penuh rasa tanggung jawab, dan sesuai dengan kemampuan negara masing-masing

(sesuai dengan prinsip *common but differentiated responsibilities-respected capabilities/CBDR-RC*). Pemerintah Indonesia telah menerbitkan Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Ratifikasi Persetujuan Paris. Pemerintah Indonesia dengan sembilan aksi prioritas pembangunan nasional yang dituangkan melalui Nawacita merupakan komitmen nasional menuju arah pembangunan rendah karbon dan berketahanan iklim, dengan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim sebagai satu prioritas yang terintegrasi dan lintas-sektoral dalam agenda Pembangunan Nasional. Komitmen yang tertuang dalam Nawacita menjadi dasar bagi penyusunan dokumen *the First Nationally Determined Contribution* (NDC) Indonesia yang telah disampaikan kepada Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Perubahan Iklim (UNFCCC) pada November 2016. *First NDC* Indonesia menguraikan transisi Indonesia menuju masa depan yang rendah emisi dan berketahanan iklim.

NDC dipergunakan sebagai salah satu acuan pelaksanaan komitmen mitigasi perubahan iklim dengan rencana penurunan emisi hingga tahun 2030 sebesar 29% sampai dengan 41% apabila dengan dukungan internasional, dengan proporsi emisi tiap-tiap sektor yang meliputi kehutanan (17,2%), energi (11%), pertanian (0,32%), industri (0,10%), dan limbah (0,38%). Adapun untuk adaptasi, komitmen Indonesia meliputi peningkatan ketahanan ekonomi, ketahanan sosial dan sumber penghidupan, serta ketahanan ekosistem dan lanskap. Dalam upaya tersebut, sesuai dengan

komitmen negara, telah direncanakan NDC upaya mitigasi dan adaptasi perubahan iklim sebagai aksi yang terintegrasi untuk membangun ketahanan dalam menjaga sumber daya pangan, air, dan energi. KTT COP26 yang dilaksanakan di Glasgow pada November 2021 menghasilkan komitmen serius untuk tetap mencapai target membatasi kenaikan temperatur global tidak lebih dari 1,5°C sehingga dunia dapat mencapai emisi karbon nol bersih (NZE) pada tahun 2050. Dalam deklarasi itu, 23 negara juga sepakat akan berhenti memberikan izin dan modal bagi pembangunan proyek pembangkit listrik batubara baru meski tanpa mengurangi pembangkit listrik yang dimiliki sebelumnya. KTT COP26 telah menggalang komitmen dana sekitar USD 20 miliar untuk membantu negara-negara menghentikan penggunaan energi batubara.

Selain Indonesia, beberapa negara yang ikut menandatangani deklarasi ini adalah Inggris, Brunei Darussalam, Chile, Mesir, Prancis, Israel, Filipina, Polandia, Vietnam, Belanda, Korea Selatan, dan Singapura. Namun, deklarasi itu gagal mengikutsertakan Tiongkok, India, bahkan AS, yang menjadi negara pengguna energi batubara besar. Tiongkok bertanggung jawab atas sekitar 54,3% konsumsi batubara global pada tahun 2020. Adapun India menggunakan 11,6%, menurut tinjauan statistik energi dunia 2021. Akan halnya AS, negara ini tercatat menyumbang 6,1% konsumsi energi batubara global. Terlepas dari itu, deklarasi COP26 tersebut tidak mengikat sehingga tidak ada sanksi yang dijatuhkan terhadap negara-negara yang gagal menepati janjinya ini.



**Gambar 1.5 Ilustrasi Keuntungan Sosial Ekonomi yang Mendorong Transisi Energi Global**

Sumber: Helgenberger dan Jänicke (2017)

Indonesia telah membangun berbagai kerja sama dengan negara lain demi membangun ketahanan energi. Kerja sama tersebut bersifat bilateral, regional, dan multilateral. Untuk tingkat bilateral, misalnya, Indonesia dan India bekerja sama dalam hal tukar-menukar informasi di bidang batubara yang mencakup kegiatan eksplorasi, *capacity building*, dan alih teknologi yang dilaksanakan melalui *joint commission meeting*. Ada pula kerja sama antara Indonesia dan Swedia (Swedish Initiative for Sustainable Energy Solutions/INSISTS) untuk mengembangkan penggunaan energi terbarukan pada tahun 2013. Hal yang sama dengan negara-negara anggota ASEAN, yang telah menyepakati beberapa rencana aksi bersama yang bertujuan untuk meningkatkan jaminan pasokan energi, antara lain proyek pembangunan pipa gas lintas ASEAN (Trans-ASEAN Gas Pipeline) serta proyek pembangunan jaringan transmisi listrik yang menghubungkan negara-negara ASEAN (ASEAN Power Grid). Selanjutnya kerja sama tingkat multilateral dengan Asia Cooperation Dialog (ACD) di bidang energi, kerja sama International Renewable Energy Agency (Irena) dalam pengembangan EBET.

Dalam perhelatan COP26 akhir tahun lalu, Indonesia membuat komitmen iklim baru dengan menetapkan target NZE pada 2060 atau lebih awal. Dalam forum G20 juga disepakati bahwa sesama negara G20 dapat mendiskusikan cara dan tujuan menciptakan lingkungan yang lebih kondusif terhadap volatilitas harga minyak dengan prioritas stabilisasi sistem ekonomi global sebagai stimulus efektif terhadap permintaan energi, termasuk penghapusan subsidi energi untuk mendorong efisiensi energi. Dalam Presidensi G20 Indonesia, transisi energi juga menjadi salah satu tema utama karena semua negara yang terlibat ingin mencapai kesepakatan global dalam upaya memitigasi dampak buruk perubahan iklim untuk generasi mendatang.

Percepatan transformasi energi baru dan energi terbarukan seharusnya menjadi prioritas utama sebagai bagian dari strategi dalam menghadapi ketidakstabilan geopolitik global yang dilatarbelakangi oleh kontestasi penguasaan energi. Kebijakan politik yang terkait transformasi energi cenderung lebih mengakomodasi aktivitas ekonomi

yang masih memiliki ketergantungan terhadap penggunaan energi fosil, termasuk keterbatasan teknologi dan pendanaan sebagai salah satu instrumen penting dalam transisi dari energi fosil ke energi hijau. Keterbatasan energi dari sumber yang tidak dapat diperbarui akan melemahkan daya kompetitif di berbagai sektor kehidupan.

### I.3 ISU KEBIJAKAN

Sesuai Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Perubahan Iklim), Persetujuan Paris menghasilkan perjanjian internasional untuk menahan kenaikan temperatur rata-rata global di bawah 2°C di atas tingkat pada masa praindustri dan melanjutkan upaya untuk menekan kenaikan temperatur ke 1,5°C di atas tingkat praindustri. Terhadap Persetujuan Paris dimaksud, Indonesia telah menetapkan kontribusi yang ditetapkan secara nasional (NDC) yang mencakup aspek mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Pada periode pertama, target NDC Indonesia adalah mengurangi emisi sebesar 29% dengan

Potensi sumber daya alam Indonesia memungkinkan transformasi energi dapat segera dilakukan. Transformasi energi yang belum konsisten dan berbagai kendala yang ada akan menghambat realisasi target bauran energi dan akan memperlemah daya tawar (*bargaining position*) dalam pentas geopolitik energi dunia.

upaya sendiri dan menjadi 41% jika ada kerja sama internasional dari kondisi tanpa ada aksi (*business as usual*) pada tahun 2030, yang akan dicapai antara lain melalui sektor kehutanan, energi termasuk transportasi, limbah, proses industri dan penggunaan produk, dan pertanian. Selanjutnya, kebijakan nasional terkait NZE tercantum dalam dokumen *Long-Term Strategies for Low Carbon and Climate Resilience 2050 (LTS-LCCR 2050)*, bahwa Indonesia berkomitmen untuk mencapai NZE pada tahun 2060 atau lebih cepat. Beberapa kebijakan dan regulasi yang mendukung pencapaian target NDC dan NZE antara lain *carbon pricing/market*, kebijakan pendanaan, pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan, serta penggunaan kendaraan listrik.

#### I.3.1 CARBON PRICING/MARKET

Sesuai Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional (Perpres No. 98/2021), diperlukan penyelenggaraan pasar karbon melalui penetapan kebijakan terkait nilai ekonomi karbon. Hal tersebut mengingat nilai ekonomi karbon merupakan instrumen bagi pemerintah untuk menyiapkan aksi mitigasi dan adaptasi yang paling efisien, efektif, dan berkeadilan dalam kontribusi pengurangan emisi gas rumah kaca, dan tanpa mengurangi capaian target kontribusi yang ditetapkan secara nasional.

Dalam Perpres No. 98/2021, ada beberapa mekanisme yang diatur dalam tata laksana penyelenggaraan nilai ekonomi karbon. Pertama, melalui mekanisme perdagangan karbon, baik perdagangan karbon luar negeri maupun perdagangan karbon dalam negeri. Kedua, melalui pembayaran berbasis kinerja yang dilakukan terhadap kinerja kementerian/ lembaga, pemerintah daerah, dan pelaku usaha dalam mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan. Terakhir, melalui pungutan karbon sebagai pungutan negara (dalam bentuk perpajakan, kepabeanan, dan cukai) yang dikenakan terhadap barang, jasa, dan kegiatan yang memiliki potensi menghasilkan emisi karbon.

Sesuai Perpres No. 98/2021, perdagangan karbon dapat dilakukan melalui mekanisme perdagangan emisi gas rumah kaca dan *offset* emisi gas rumah kaca. Perbedaan kedua mekanisme adalah bahwa mekanisme perdagangan emisi berlaku bagi usaha dan/atau kegiatan yang memiliki batas atas emisi gas rumah kaca yang telah ditetapkan, sedangkan mekanisme *offset* emisi gas rumah kaca diterapkan bagi usaha dan/atau kegiatan yang tidak memiliki batas atas emisi gas rumah kaca. Selain itu, perdagangan karbon dapat diperdagangkan melalui bursa karbon atau melalui perdagangan langsung.

Untuk memperkuat pengaturan terkait nilai ekonomi karbon, telah disahkan Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan (UU HPP). UU HPP salah satunya mengatur mengenai pajak karbon. Sesuai UU HPP, pajak karbon dikenakan terhadap emisi karbon yang dihasilkan baik dari barang yang mengandung karbon maupun dari aktivitas yang menghasilkan emisi karbon. Tarif pajak karbon ditetapkan lebih tinggi atau sama dengan harga karbon di pasar karbon per kilogram karbon dioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>e). Namun, tarif pajak karbon ditetapkan sebesar paling rendah Rp 30,00 per kilogram CO<sub>2</sub>e apabila harga karbon di pasar karbon lebih rendah dari Rp 30,00 per kilogram CO<sub>2</sub>e.

Kementerian Keuangan saat ini sedang menyusun beberapa aturan teknis pelaksanaan pajak karbon yang meliputi tarif dan dasar pengenaan, cara penghitungan, pemungutan, pembayaran, atau penyetoran, pelaporan, serta peta jalan pajak karbon. Sementara itu, Kementerian ESDM sedang menyiapkan aturan pelaksanaan nilai ekonomi karbon untuk sektor pembangkit listrik, yaitu terkait batas atas emisi untuk subsektor pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan tata cara penyelenggaraan nilai ekonomi karbon pada pembangkit tenaga listrik.



### I.3.2 KEBIJAKAN PENDANAAN

Sebagai salah satu komitmen pemerintah untuk melaksanakan transisi energi, pada awal pertemuan Presidensi G20 telah diluncurkan Energy Transition Mechanism (ETM). ETM merupakan skema yang mempercepat transisi dari bahan bakar fosil ke energi bersih melalui penyediaan dana bagi suatu negara berkembang untuk mempercepat penghentian pembangkit listrik berbasis batubara, yang melibatkan investasi publik ataupun swasta (pemerintah, bank, swasta, internasional, dan lembaga filantropi) (*T7 Task Force Climate and Environment, 2022*). Dalam pelaksanaannya, skema ETM beserta skema pendanaan akan disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan lokal suatu negara.



- 4 menyediakan skema yang terukur dalam rangka mendorong pengurangan emisi global yang signifikan (*T7 Task Force Climate and Environment, 2022*).

Di Indonesia, Kementerian Keuangan telah menyiapkan dua skema ETM. Skema pertama adalah Fasilitas Pengurangan Emisi (*Carbon Reduction Facility/CRF*), merupakan skema yang bertujuan untuk menghentikan pembangkit listrik berbasis batubara. Skema selanjutnya adalah Fasilitas Energi Bersih (*Clean Energy Facility/CEF*), digunakan dalam rangka menyediakan pendanaan untuk mendukung transisi energi melalui investasi pada sektor energi bersih. Proyek percontohan ETM oleh Bank Pembangunan Asia (ADB) telah diluncurkan di Indonesia, Filipina, dan Vietnam (*T7 Task Force Climate and Environment, 2022*). Dana proyek percontohan berasal dari Pemerintah AS, Inggris, Jepang, Denmark, pemangku kepentingan dari pihak swasta, dan yayasan filantropi. Tujuan dari uji coba ini adalah untuk menghentikan atau menggunakan kembali 5-7 pembangkit listrik berbasis batubara di negara-negara uji coba. Penggunaan kembali pembangkit listrik berbasis batubara dilakukan dengan cara mengubah sumber energi batubara menjadi energi terbarukan atau energi alternatif lainnya. Apabila 50% dari PLTU batubara dapat dihentikan di tiga negara proyek percontohan ETM, berpotensi mengurangi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 200 juta ton per tahun, atau setara dengan mengurangi sebanyak 61 juta mobil dari jalan raya. Dengan skema ETM ini, diharapkan komitmen Indonesia untuk melaksanakan transisi energi dapat terlaksana melalui penghentian pembangkit listrik tenaga batubara secara terukur dan bertahap dalam jangka menengah dan panjang disertai dengan ketersediaan dukungan pembiayaan dan investasi dalam pembangunan infrastruktur dan teknologi energi bersih. Dengan demikian, ketahanan energi nasional tetap terjaga, perkembangan ekonomi tetap berlanjut, dan pengurangan emisi dapat mencapai target.

ETM bermanfaat antara lain untuk:

- 1 mempercepat transisi energi melalui pencapaian target pengurangan emisi karbon yang lebih ambisius;
- 2 mengurangi biaya energi melalui percepatan penghentian pembangkit listrik berbasis batubara dan peningkatan konsumsi energi bersih sebesar dua sampai dengan tiga kali lipat sehingga dapat menurunkan biaya pembangkitan listrik secara keseluruhan dalam jangka panjang;
- 3 mendorong investasi dalam transisi energi dengan membuka atau merambah investasi dalam pembangkitan energi terbarukan yang hemat biaya serta mendukung penggunaan teknologi, seperti *smart grid*, hidrogen, kendaraan listrik, dan teknologi bersih lainnya;

### I.3.3 PEMANFAATAN ENERGI BARU DAN ENERGI TERBARUKAN (EBET)

Untuk memperkuat komitmen Indonesia dalam melaksanakan transisi energi, sejumlah regulasi telah ditetapkan. Pertama, melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). KEN dan RUEN mengatur terkait capaian bauran energi primer yang optimal, bahwa peran energi baru dan energi terbarukan paling sedikit sebesar 23% pada tahun 2025 dan paling sedikit sebesar 31% pada tahun 2050, sepanjang keekonomiannya terpenuhi. Kedua, melalui Keputusan Menteri ESDM Nomor 188.K/HK.02/MEM.L/2021 tentang Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2021 sampai dengan Tahun 2030. RUPTL PT PLN (Persero) tahun 2021 sampai dengan tahun 2030 memuat rencana pembangunan pembangkit tenaga listrik yang bersumber dari EBET sebesar 51,6% dari total pembangkit tenaga listrik, serta

target bauran EBET pembangkitan tenaga listrik pada akhir tahun 2025 sebesar 23%. Selanjutnya Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Perpres No. 112/2022) diterbitkan untuk mempercepat pengembangan pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan, sehingga target bauran energi terbarukan dalam bauran energi nasional dapat dicapai sesuai dengan kebijakan energi nasional. Perpres No. 112/2022 mengamanatkan penyusunan RUPTL yang memprioritaskan pengembangan energi terbarukan serta penyusunan peta jalan percepatan pengakhiran masa operasional pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dalam rangka transisi energi sektor ketenagalistrikan. Selain itu, Perpres No. 112/2022 juga mengatur terkait harga pembelian tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik energi terbarukan serta pemberian insentif fiskal ataupun nonfiskal dalam pengembangan pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan EBET.

### I.3.4 PENGGUNAAN ELECTRIC VEHICLE (EV)

Ekosistem kendaraan bermotor listrik di Indonesia telah didukung oleh beberapa paket kebijakan dan insentif. Dimulai dengan penetapan Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan (Perpres No. 55/2019) yang bertujuan untuk memberikan arah, landasan, dan kepastian hukum dalam pelaksanaan percepatan program kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (*battery electric vehicle*) untuk transportasi jalan. Sesuai Perpres No. 55/2019, kendaraan bermotor listrik berbasis baterai untuk transportasi jalan terdiri dari kendaraan bermotor listrik berbasis baterai roda dua, roda tiga, roda empat, atau lebih. Percepatan program kendaraan bermotor listrik sesuai Perpres No. 55/2019 dilaksanakan melalui

- 1 penetapan peta jalan pengembangan industri kendaraan bermotor nasional serta penetapan tingkat komponen dalam negeri untuk kendaraan bermotor listrik berbasis baterai, yang selanjutnya diatur melalui penetapan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 27 Tahun 2020 tentang Spesifikasi, Peta Jalan Pengembangan, dan Ketentuan Penghitungan Nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Permenperin No. 27/2020);
- 2 pengaturan pemberian insentif, baik insentif fiskal maupun insentif nonfiskal;
- 3 pengaturan penyediaan infrastruktur pengisian listrik dan tarif tenaga listrik untuk kendaraan bermotor listrik

- berbasis baterai, yang selanjutnya diatur melalui penetapan Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2020 tentang Penyediaan Infrastruktur Pengisian Listrik untuk Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Permen ESDM No. 13/2020).

Penetapan Permenperin No. 27/2020 merupakan landasan hukum turunan Perpres No. 55/2019 yang memberikan arah bagi pemangku kepentingan dalam pengembangan industri dan industri komponen kendaraan bermotor listrik berbasis baterai dalam rangka percepatan program kendaraan bermotor listrik berbasis baterai di Indonesia. Sesuai Permenperin No. 27/2020, peta jalan pengembangan industri kendaraan bermotor listrik berbasis baterai tahun 2020-2030 dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap I tahun 2020-2025 dan tahap II tahun 2026-2030.

Tahap I tahun 2020-2025 meliputi harga, penciptaan pasar bagi konsumen dan produsen dalam negeri, penyiapan infrastruktur, dan peningkatan informasi dan pengetahuan terkait kendaraan bermotor listrik. Adapun tahap II tahun 2026-2030 mencakup kesiapan infrastruktur, melanjutkan penciptaan pasar bagi produsen dalam negeri, melanjutkan peningkatan informasi dan pengetahuan, dan kesiapan teknologi dalam memproduksi kendaraan bermotor listrik. Selain itu, Permenperin No. 27/2020 juga mengatur mengenai ketentuan dan tahapan penggunaan TKDN bagi industri dan industri komponen kendaraan bermotor listrik berbasis baterai.

Melalui Permen ESDM No. 13/2020, pemerintah mengatur ketentuan terkait infrastruktur pengisian listrik untuk kendaraan bermotor listrik berbasis baterai, yang meliputi fasilitas pengisian ulang dan fasilitas penukaran baterai (melalui penyewaan baterai). Infrastruktur pengisian ulang dapat berupa instalasi listrik privat (untuk kepentingan sendiri dan dapat berlokasi di kantor pemerintah pusat, kantor pemerintah daerah, hunian, atau perumahan) dan stasiun pengisian kendaraan listrik umum (SPKLU).

Selain itu, Permen ESDM No. 13/2020 juga mengatur mengenai tarif tenaga listrik serta keringanan terkait tarif tenaga listrik. Tarif tenaga listrik yang diberlakukan pada SPKLU kepada kendaraan bermotor listrik adalah sesuai dengan penetapan tarif tenaga listrik untuk keperluan layanan khusus (Lampiran VIII Peraturan Menteri ESDM Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)) dikalikan dengan faktor pengali N (N paling tinggi sebesar 1,5). Adapun tarif tenaga listrik pada instalasi listrik privat sesuai dengan tarif listrik yang berlaku pada instalasi listrik privat dimaksud (contoh: apabila instalasi listrik privat berada di rumah, maka akan dikenakan tarif listrik sesuai golongan rumah tangga) dikalikan dengan faktor pengali N (N paling tinggi sebesar 1,5).

Permen ESDM No. 13/2020 juga mengatur tentang keringanan tarif tenaga listrik berupa keringanan biaya penyambungan dan jaminan langganan tenaga listrik bagi pengajuan penyambungan baru atau perubahan daya tenaga listrik, serta pembebasan kewajiban pembayaran rekening minimum selama dua tahun pertama.

Selain itu, Pemerintah Indonesia menunjukkan komitmennya untuk mempercepat pemanfaatan kendaraan bermotor listrik di dalam negeri melalui penetapan Instruksi Presiden Nomor 7 Tahun 2022 tentang Penggunaan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) sebagai Kendaraan Dinas Operasional dan/atau Kendaraan Perorangan Dinas Instansi Pemerintah Pusat dan Pemerintahan Daerah (Inpres No. 7/2020). Inpres ini mengamanatkan pemerintah pusat dan pemerintah daerah untuk melakukan percepatan pelaksanaan program penggantian kendaraan dinas operasional dan/atau kendaraan perseorangan dinas instansi pemerintah pusat dan pemerintahan daerah menjadi kendaraan listrik. Inpres ini juga mengatur terkait ketentuan pendanaan program yang bersumber dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara, Anggaran

Pendapatan dan Belanja Daerah, dan/ atau sumber lain yang sah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Insentif fiskal kendaraan bermotor listrik diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 73 Tahun 2019 tentang Barang Kena Pajak yang Tergolong Mewah Berupa Kendaraan Bermotor yang

Dikenai Pajak Penjualan atas Barang Mewah, bahwa kendaraan bermotor listrik yang menggunakan teknologi battery electric vehicle atau *fuel cell electric vehicle*, yang termasuk kelompok barang tergolong mewah, dikenai Pajak Penjualan atas Barang Mewah (PPnBM) dengan tarif sebesar 15% dengan dasar pengenaan pajak sebesar 0% dari harga jual.

### I.3.5 KEBIJAKAN IMO

International Maritime Organization (IMO) merupakan badan khusus Perserikatan Bangsa-Bangsa yang bertanggung jawab atas keselamatan dan keamanan pelayaran dan pencegahan pencemaran laut oleh kapal. IMO merupakan otoritas penetapan standar global terkait keselamatan, keamanan, dan perlindungan lingkungan bagi pelayaran internasional. Peran utamanya adalah menciptakan kerangka peraturan untuk industri pelayaran yang adil dan efektif, serta dapat diadopsi dan diterapkan secara universal (IMO, 2022).

IMO telah menetapkan target pengurangan emisi gas rumah kaca sektor pelayaran internasional pada bulan April 2018 sebesar 40% terhadap tingkat emisi tahun 2008, pada tahun 2030, dan sebesar 70% terhadap tingkat emisi tahun 2008, pada tahun 2050. Ditargetkan, total emisi gas rumah kaca tahunan yang disumbang dari sektor pelayaran internasional dapat dikurangi setidaknya sebesar 50% terhadap tingkat emisi tahun 2008, pada tahun 2050. Target dimaksud diikuti dengan penyusunan tahapan rencana kerja, baik jangka pendek, jangka menengah, maupun jangka panjang, serta dengan penerapan mandatori efisiensi energi bagi sektor pelayaran. Penerapan mandatori efisiensi energi sektor pelayaran dilaksanakan sebagai berikut:

- 1 Pada tahun 2011, mandatori efisiensi energi bagi sektor pelayaran tertuang dalam MARPOL Annex VI (konvensi internasional yang memuat tentang pencegahan pencemaran lingkungan oleh sektor pelayaran, bagian pencemaran udara), yaitu untuk kapal baru sesuai dengan *Energy Efficiency Design Index* (EEDI) dan untuk semua kapal sesuai dengan *Ship Energy Efficiency Management Plan* (SEEMP).
- 2 EEDI kemudian diperkuat melalui amendemen lebih lanjut.
- 3 Pada tahun 2016, IMO menerapkan IMO *Data Collection System* (DCS) yang mewajibkan kapal berukuran di atas 5.000 *gross tonnage* (GT) untuk melaporkan data konsumsi bahan bakar minyaknya.
- 4 Dimulai sejak tahun 2012, IMO telah secara aktif mendukung negara-negara berkembang untuk menerapkan langkah-langkah efisiensi energi, serta mendukung dan mendorong proyek percontohan, inovasi, serta riset dan pengembangan.
- 5 Pada tahun 2020, IMO menetapkan batas atas kandungan belerang di dalam bahan bakar minyak untuk pelayaran internasional sebesar 0,50%. Mandatori ini efektif dalam mengurangi total emisi oksida belerang sebesar 75%.

- 6 Pada bulan Juni 2021, IMO menerapkan langkah-langkah jangka pendek untuk mengurangi intensitas karbon sektor pelayaran sebesar 40% terhadap tingkat emisi tahun 2008, pada tahun 2030.

Sejalan dengan mandatori efisiensi energi sektor pelayaran yang telah ditetapkan oleh IMO, Indonesia sebagai negara maritim terbesar turut memenuhi mandatori dimaksud melalui penetapan sejumlah kebijakan dan regulasi. Pertama, melalui Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 29 Tahun 2014 tentang Pencegahan Pencemaran Lingkungan Maritim, ditetapkan kualitas bahan bakar minyak bagi kapal berukuran 400 GT atau lebih yang memiliki mesin diesel 130 kilowatt (kW), mengandung kandungan sulfur maksimal sebesar 0,5% m/m setelah tanggal 1 Januari 2020. Kedua, Surat Edaran Direktur Jenderal Perhubungan Laut Nomor UM.003/93/14/DJPL-18 tanggal 30 Oktober 2018 tentang Batasan Kandungan Sulfur pada Bahan Bakar dan Kewajiban Penyampaian Konsumsi

Bahan Bakar di Kapal, bahwa mulai 1 Januari 2020 kapal yang berlayar internasional wajib menggunakan bahan bakar dengan kandungan sulfur tidak boleh melebihi 0,5% m/m. Lebih lanjut, mulai 1 Januari 2019, semua pemilik/operator kapal yang memiliki/mengoperasikan kapal yang berukuran 5.000 GT atau lebih wajib melaporkan jumlah konsumsi bahan bakarnya kepada pemerintah. Terakhir, Surat Edaran Direktur Jenderal Perhubungan Laut Nomor SE.35 Tahun 2019 tanggal 18 Oktober 2019 tentang Kewajiban Penggunaan Bahan Bakar *Low Sulfur* dan Larangan Mengangkut atau Membawa Bahan Bakar yang Tidak Memenuhi Persyaratan serta Pengelolaan Limbah Hasil Resirkulasi Gas Buang dari Kapal, memberlakukan kewajiban bagi kapal berbendera Indonesia ataupun kapal asing yang beroperasi di perairan Indonesia untuk menggunakan bahan bakar dengan kandungan sulfur senilai maksimal 0,5% m/m, mulai 1 Januari 2020.

## 1.4 ISU LINGKUNGAN

Dampak perubahan iklim telah dirasakan oleh berbagai belahan dunia. Di Amerika, gelombang panas membunuh lebih banyak orang dibandingkan topan, tornado, dan banjir (*The Economist*, 2022). Namun, pemerintah lokal masih tidak menanggapinya dengan serius. Di Asia, di Pakistan contohnya, telah dilanda banjir terburuk yang memperparah krisis ekonomi dan politik (*The Economist*, 2022). Di Eropa, kenaikan temperatur yang tinggi telah menyebabkan *wildfires* dan menyebabkan *heatstroke* yang mematikan. Di Uni Eropa jumlah *wildfires* pada 16 Juli 2022 adalah 273% lebih tinggi daripada rata-rata, yang diukur antara 2006 dan 2021 (*The Economist*, 2022). Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) telah mengatribusikan lebih dari 1.700 kematian karena *extreme heat* di Spanyol dan Portugal. Peristiwa ini menjadi semakin sering, semakin intens, dan semakin tumpang tindih di daerah yang berbeda, akibat pemanasan planet.

Temperatur di negara tersebut akan terus meningkat apabila mempertahankan kebijakan yang ada saat ini.

Selain topan, tornado, banjir, *wildfires*, dan *heatstroke*, dampak yang terjadi akhir-akhir ini adalah kekeringan. Air di Danau Mead, yang merupakan reservoir terbesar di Amerika, berada di level yang sangat rendah. Begitu juga sungai di Texas yang kering sehingga kelihatan dasar sungainya (*The Economist*, 2022). Sungai dan reservoir di Eropa juga mengalami hal yang sama. Studi dari Dominic Roye dari Universitas Santiago de Compostela di Spanyol dan data dari Copernicus, program observasi bumi milik UE, menemukan bahwa antara bulan Juni dan Agustus, aliran sungai di barat daya Amerika 35% lebih rendah dibandingkan rata-rata historis 1980-2021. Aliran telah turun drastis 20% di Eropa dan turun 9% di Tiongkok. Kekeringan ini berdampak pada pasokan tenaga hidro, pertanian, dan industri.

*The Economist* (2022) juga mengemukakan, harapan bahwa tahun-tahun basah di masa mendatang akan mengakhiri kekeringan ini tidak dapat dijamin. Hal ini berdasarkan hasil studi para peneliti yang memperkirakan bahwa sekitar setengah dari 20% penurunan Sungai Colorado sejak 2000 karena perubahan iklim akibat ulah manusia. Pemerintah Las Vegas, yang 90% pasokan airnya sangat bergantung pada air Sungai Colorado, memilih definisi *aridification* atau *long-term drying* (bukan *drought*) untuk kejadian ini.

Indonesia juga tidak luput dari dampak perubahan iklim. Indonesia berada di tiga besar negara berdasarkan risiko terkait iklim (The World Bank and Asian Development Bank, 2021), dengan paparan tinggi terhadap segala jenis banjir dan *extreme heat*. Intensitas *hazard* tersebut diestimasikan meningkat seiring perubahan iklim. Indonesia rentan terhadap kenaikan level permukaan laut, jumlah populasi yang tinggal di wilayah pantai peringkat kelima di dunia. Tanpa adaptasi, total populasi yang berpotensi terpapar banjir yang permanen pada 2070-2100 dapat mencapai 4,2 juta orang.

Produksi beras juga rentan terhadap perubahan iklim karena perubahan pola El-Nino global berpotensi berdampak pada lamanya musim hujan. Temperatur yang tinggi juga diproyeksikan untuk mengurangi hasil panen.

Perubahan iklim juga berpotensi berdampak pada ketersediaan air, manajemen risiko bencana, pengembangan kota, terutama wilayah pantai, serta kesehatan dan nutrisi, dengan implikasi pada kemiskinan dan ketimpangan. Indeks kerentanan level nasional, seperti ND-GAIN Country Index, menunjukkan penurunan kerentanan iklim di level nasional, terdapat variasi yang tinggi dalam potensi dampak perubahan iklim regional dan lokal. Tanpa adaptasi yang terencana dengan baik dan upaya pengurangan risiko bencana pada level regional dan lokal,

komunitas termiskin dan terpinggirkan kemungkinan akan mengalami kerugian dan kerusakan yang signifikan sebagai akibat dampak perubahan iklim.

Menurut IPCC (IPCC, 2022), dengan tingkat kepercayaan yang tinggi, pemanasan global mencapai sekitar 1°C di atas level praindustri pada 2017, meningkat sekitar 0,2°C per dekade. Pemanasan yang lebih besar dibandingkan rata-rata historis telah dialami di sejumlah wilayah dan musim, dengan rata-rata pemanasan tanah yang lebih besar dibandingkan pemanasan laut. Emisi saja kemungkinan kecil dapat meningkatkan rata-rata temperatur global menjadi 1,5°C di atas level praindustri (tingkat kepercayaan menengah). Pada *pathways* emisi 1,5°C, peluang pemanasan akan berada di bawah 1,5°C atau kembali ke 1,5°C pada tahun 2100 adalah di antara 1/2 sampai dengan 2/3 (dengan tingkat respons atas cuaca saat ini).



IPCC juga menemukan dengan tingkat kepercayaan yang tinggi bahwa sebagian besar dampak pemanasan global di 1,5°C atau lebih, dan beberapa potensi dampak aksi mitigasi yang diperlukan untuk membatasinya di level 1,5°C, akan lebih berdampak pada masyarakat miskin dan rentan. Dampak yang lebih besar pada masyarakat kategori ini juga dikonfirmasi oleh *The Economist* (2022) dalam konteks mengatasi kekeringan, negara kaya dapat berinvestasi di infrastruktur air, sehingga dapat lebih mampu beradaptasi pada iklim yang kering dibandingkan negara miskin. Di negara miskin, misalnya di Somalia, kekeringan yang parah membunuh ternak dan tanaman yang kemudian mengakibatkan kelaparan dan konflik. The Pacific Institute, sebuah *think tank* di Oakland, California, juga menemukan bahwa konflik untuk memperebutkan air juga lebih sering ditemukan di negara yang pasokan airnya menipis.

Karena dampak yang lebih parah pada masyarakat atau negara miskin, pencapaian pengembangan berkelanjutan dan pengentasan rakyat miskin harus dilakukan seiring upaya untuk membatasi pemanasan global.

Dalam hal upaya untuk membatasi pemanasan global ke 1,5°C, menurut IPCC, *pathways* yang konsisten dengan pemanasan 1,5°C di atas level praindustri dapat diidentifikasi ke dalam beberapa *range* asumsi pertumbuhan ekonomi, pengembangan teknologi, dan gaya hidup. Dengan menggunakan asumsi bahwa emisi sejalan dengan Persetujuan Paris (dikenal sebagai NDC), pemanasan global diperkirakan dapat melewati 1,5°C di atas level praindustri, bahkan jika didukung oleh peningkatan skala dan ambisi mitigasi yang tinggi setelah tahun 2030. Membatasi pemanasan menjadi 1,5°C bergantung pada emisi gas rumah kaca beberapa dekade mendatang, di mana emisi gas rumah kaca yang lebih rendah pada tahun 2030 dapat menjaga pemanasan pada puncak di 1,5°C.

Membatasi pemanasan menjadi 1,5°C berarti mencapai *net-zero* emisi karbon dioksida secara global sekitar tahun 2050 dan pengurangan yang tajam pada emisi nonkarbon dioksida, terutama metana. Perbedaan transformasi jika batasnya 2°C dengan transformasi ini adalah secara kualitatif sama, tetapi lebih cepat di dekade selanjutnya. Kebijakan yang mencerminkan harga emisi yang tinggi diperlukan pada pemodelan untuk mencapai *pathways* 1,5°C yang efektif secara biaya. Membatasi pemanasan pada 1,5°C memerlukan pergeseran pola investasi.

Terkait dengan emisi masa depan pada *pathways* 1,5°C, menurut IPCC, persyaratan mitigasi dapat dihitung menggunakan pendekatan anggaran karbon yang mengaitkan emisi karbon dioksida kumulatif dengan peningkatan rata-rata temperatur global. Emisi karbon dioksida kumulatif dijaga di rentang anggaran dengan mengurangi emisi karbon dioksida tahunan menjadi *net-zero*.



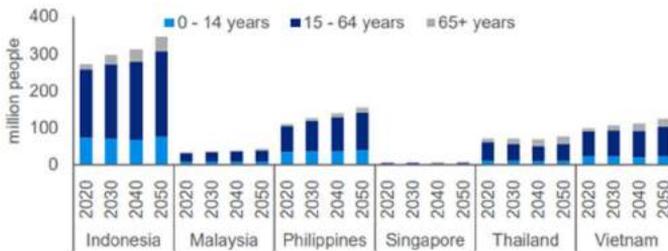
Anggaran tersisa untuk emisi karbon dioksida, apabila ingin mencapai peluang membatasi pemanasan di level 1,5°C sebesar 2/3, adalah sekitar 420 GtCO<sub>2</sub>, dan sekitar 580 GtCO<sub>2</sub> apabila ingin mencapai peluang 1/2. Mencapai 580 GtCO<sub>2</sub> berarti emisi karbon dioksida mencapai netralitas karbon dalam kurang lebih 30 tahun, sementara berkurang menjadi sekitar 20 tahun untuk mencapai 420 GtCO<sub>2</sub>. Emisi nonkarbon dioksida berkontribusi ke

puncak pemanasan dan dengan demikian memengaruhi anggaran karbon yang tersisa. Evolusi emisi metana dan sulfur-dioksida memengaruhi dengan kuat peluang pembatasan pemanasan menjadi 1,5°C. Dalam jangka pendek, pelemahan pendinginan aerosol akan menambah pemanasan di masa mendatang, tetapi dapat diseimbangkan oleh pengurangan emisi metana.

### I.5 ISU SOSIAL

Hasil Sensus Penduduk pada tahun 2020 menunjukkan penduduk Indonesia mencapai 270,20 juta jiwa, dengan penduduk usia produktif (15-64 tahun) mendominasi lebih dari 70%, artinya Indonesia masih dalam masa bonus demografi. Secara jangka panjang, dominasi penduduk usia produktif ini diprediksi akan terus berlangsung hingga 2060, di mana penduduk Indonesia saat itu diperkirakan dapat mencapai 300 juta penduduk.

Profil demografi yang sama juga ditemukan pada profil demografi negara-negara ASEAN lainnya (Wood Mackenzie, 2020), tetapi dengan angka absolut yang tentu saja jauh lebih kecil. Hal ini tentu saja akan sangat berdampak pada pertumbuhan kebutuhan energi yang semakin bertambah, sehubungan kebutuhan energi dan mobilitas pada usia produktif cenderung lebih tinggi daripada kelompok umur lainnya.

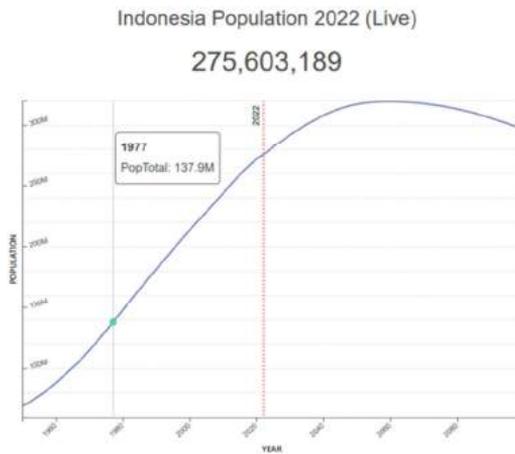


Gambar 1.6 Profil Demografi ASEAN

Sumber: Wood Mackenzie (2020)

Dari populasi penduduk 270 juta jiwa tersebut, sebagian besar tersebar di Pulau Jawa (>50%), di Pulau Sumatera (>20%), dan sisanya tersebar di pulau-pulau lainnya. Hal ini juga dapat mencerminkan sebaran kebutuhan energi yang masih terpusat di Jawa dan Sumatera. Hal ini dapat menjadi pertimbangan dalam

pengembangan skenario pasokan energi dan infrastruktur yang diperlukan dalam perencanaan jangka panjang. Berdasarkan proyeksi penduduk saat ini, populasi Indonesia diprediksi akan mencapai puncaknya pada tahun 2067 dengan jumlah penduduk dapat mencapai 337 juta jiwa.



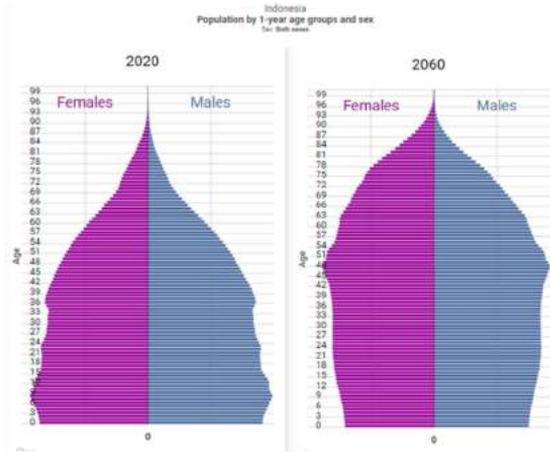
**Gambar 1. 7 Proyeksi Penduduk Indonesia**

Sumber: World Population Review (2020)

Pada tahun 2020, angka laju pertumbuhan populasi rata-rata tahunan Indonesia berkisar pada level 1,25%. Secara laju pertumbuhan, sebenarnya sudah cenderung melambat apabila dibandingkan dengan periode sebelumnya, 2000-2010 (1,49%). Namun, angka tersebut tidak bisa dibilang kecil karena pada level pertumbuhan populasi 1% saja potensi penambahan penduduk kurang lebih 2,7 juta penduduk per tahun. Angka pertumbuhan penduduk ini tentu saja perlu menjadi perhatian bersama karena akan berdampak langsung kepada ekonomi Indonesia.

Beberapa penelitian yang menggunakan data dari Bank Dunia menunjukkan bahwa peningkatan fertilitas akan berkorelasi negatif dengan pertumbuhan ekonomi. Pertumbuhan populasi rata-rata tahunan yang rendah akan sangat mendukung dalam memperoleh PDB per kapita yang lebih baik, yang akan

memberikan banyak dampak positif, antara lain pendapatan yang lebih tinggi, jumlah tabungan yang semakin meningkat, begitu juga dengan peningkatan investasi, dan pada akhirnya akan menurunkan angka kemiskinan. Saat ini Indonesia sedang memasuki masa bonus demografi, dengan jumlah kelompok usia produktif lebih banyak dibandingkan dengan jumlah kelompok usia nonproduktif. Bahkan, puncak bonus demografi diperkirakan akan meningkat pada tahun 2030. Setelah bonus demografi, penduduk usia produktif yang sebelumnya mendominasi secara otomatis akan beralih ke penduduk usia tua dan akan memasuki era penduduk menua. Momentum bonus demografi juga harus dibarengi dengan tumbuhnya pusat-pusat ekonomi baru yang sinkron dengan perkembangan pendidikan vokasional; memberi perempuan lebih banyak peran; dan meningkatkan keterampilan usia produktif sesuai dengan perkembangan teknologi terkini.

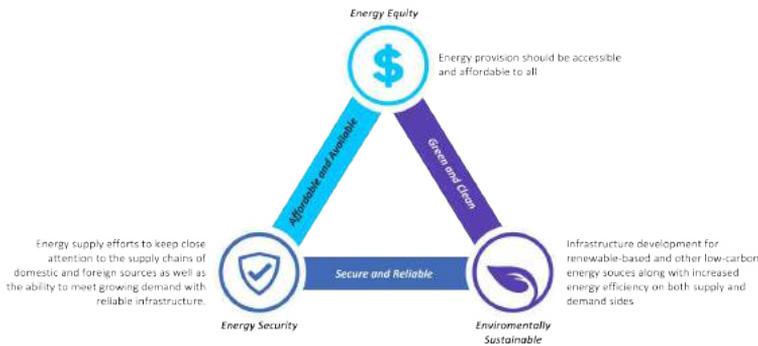


**Gambar 1. 8 Gambaran Demografi Indonesia**

Sumber: UN, 2020

Sejalan dengan hal tersebut, pada tahun 2020 Bank Dunia dengan Indeks Modal Manusia (*Human Capital Index/HCI*)-nya menunjukkan bahwa Indonesia menempati peringkat ke-87 dari 174 negara, dengan capaian 0,54 poin, dan berada di peringkat ke-6 untuk kawasan ASEAN. Sementara itu, berdasarkan *Human Development Report* UNDP untuk periode 2021/2022, Indonesia memperoleh nilai Indeks Pembangunan Manusia (*Human Development Index/HDI*) 0,705 yang menempatkan Indonesia pada peringkat tinggi (*high human development*) dan berada di urutan ke-114 dunia. Namun, apabila dibandingkan dengan negara-negara ASEAN lainnya, seperti

Singapura (0,939), Malaysia (0,803), dan Thailand (0,800), posisi Indonesia memang masih perlu peningkatan lebih banyak lagi. Dengan nilai HDI dan HCI yang semakin baik, diharapkan akan dapat memberikan pengaruh terhadap perubahan, terutama dalam pemilihan energi yang lebih bersih, penggunaan energi secara lebih efisien, dan gaya hidup yang lebih ramah kepada lingkungan. Pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi akan meningkatkan pertumbuhan kebutuhan energi yang perlu diantisipasi dalam perencanaan jangka panjang dengan konsep *energy trilemma*, yakni *energy security*, *energy equity*, dan *environmental sustainability*.



**Gambar 1. 9 Energy Trilemma**

Sumber: Kementerian ESDM (2021)

*Energy security* adalah bagaimana kita dapat menciptakan pengelolaan pasokan energi primer yang kita miliki dan energi dari luar secara efektif, menjaga keandalan infrastruktur energi dan kemampuan untuk memenuhi *demand* saat ini dan masa depan. Adapun *energy equity* adalah menciptakan *accessibility* dan *affordability* pasokan energi untuk bisa dijangkau oleh seluruh lapisan masyarakat.

Untuk mengatasi dampak lain dari peningkatan pertumbuhan kebutuhan energi, yakni peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, di mana sektor energi berkontribusi 65% terhadap total emisi gas rumah kaca, diperlukan *environmental sustainability*, yakni upaya-upaya menciptakan pemanfaatan energi secara bersih dan ramah lingkungan. Upaya itu, antara lain, berupa pengembangan energi terbarukan dan sumber rendah karbon lainnya, dan efisiensi di sisi *supply and demand*. Dengan demikian, salah satu cara efektif untuk mencapai *sustainability* secara umum adalah dengan membangun literasi energi pada penduduk kelompok usia muda (DeWaters dan Powers, 2011a; Lee *et. al.*, 2019).

Dalam beberapa tahun ke depan, kelompok penduduk usia muda (0-14 tahun) akan tumbuh menjadi produsen sekaligus konsumen energi, dan perilaku serta tindakan mereka akan memengaruhi bagaimana energi akan digunakan. Banyak hasil penelitian yang menunjukkan bahwa penggunaan energi secara bertanggung jawab pada kelompok usia muda hanya dapat dilakukan ketika mereka memiliki kesadaran akan pentingnya energi (*energy literacy*) (DeWaters dan Powers, 2011a; Lee *et. al.*, 2015).

Penduduk kelompok usia muda memiliki peran yang cukup unik dalam transisi energi karena mereka kemungkinan besar akan mengalami dampak yang mengerikan dari pemanasan global dan perubahan iklim di masa depan (IPCC, 2022). Oleh karena itu, mereka dapat merasakan beban psikologis dari krisis

perubahan iklim, baik dalam hal menyaksikan langsung bencana besar yang sedang terjadi akibat perubahan iklim maupun bencana yang akan datang yang akan jauh lebih mengerikan (Sanson dan Bellemo, 2021).

Perhatian generasi muda terhadap isu perubahan iklim telah menjadi sumber motivasi utama yang mendorong gerakan *global youth climate movement* (Sanson dan Bellemo, 2021). Gerakan global tersebut sangat agresif untuk meningkatkan pengetahuan publik, menyebarkan gaya hidup ramah lingkungan, memberdayakan kelompok penduduk yang terdampak, dan menuntut aksi nyata pemerintah terkait perubahan iklim. Lebih jauh lagi, dengan bantuan teknologi informasi, generasi muda dapat berperan sebagai *game-changer* dalam konversi energi (Chari dan Hopenhayn, 1991). Beberapa *insights* tersebut diharapkan dapat dijadikan sebagai masukan bagi pembuat kebijakan dan lembaga pendidikan. Banyak studi dan penelitian menunjukkan bahwa perilaku hemat energi dan ramah lingkungan juga ternyata dipengaruhi oleh profil demografi. Berikut ini adalah beberapa hal yang menarik untuk diketahui:

- a *Gender*. Wanita secara umum lebih banyak memberikan perhatian terhadap isu dampak lingkungan dan lebih mungkin untuk mengubah perilaku mereka dalam hal konservasi energi daripada pria (Akitsu *et. al.*, 2017; Kollmuss dan Agyeman, 2002; Mukherji *et. al.*, 2016; Sayan dan Kaya, 2016).
- b *Umur*. Kelompok usia muda lebih memiliki kesadaran terhadap isu lingkungan (Aggrey dan Douglasson, 2010; Banga *et. al.*, 2011; Padi *et. al.*, 2015). Hanya saja, dalam hal potensi untuk aktif berpartisipasi pada kegiatan ramah lingkungan, nilai partisipasi aktifnya akan meningkat sesuai dengan pertambahan umur (Sidique *et. al.*, 2010; Triguero *et. al.*, 2016).



c Pendapatan. Penduduk dari kelompok status sosial ekonomi rendah cenderung akan lebih perhatian dalam hal penghematan energi agar dapat mengurangi biaya/tagihan. Jika dilihat dari perilaku penghematan energi dari kelompok status sosial ekonomi yang lebih mampu, mereka cenderung melakukannya dengan cara mengalokasikan waktu dan sumber dayanya untuk penghematan energi secara jangka panjang, misalnya dengan cara membeli produk-produk dengan efisiensi energi yang lebih baik. Adapun dalam kegiatan keseharian, kelompok ini cenderung mengonsumsi energi secara berlebihan, misalnya lupa mematikan lampu saat tidak digunakan (MePothitou *et. al.*, 2017).

d Urban vs Rural. Penduduk perkotaan cenderung lebih memiliki perilaku hemat energi dan ramah lingkungan apabila dibandingkan dengan penduduk perdesaan. Hal ini dapat disebabkan oleh tingkat pendidikan yang lebih baik dan akses terhadap pengetahuan dan teknologi yang lebih luas bagi penduduk perkotaan (Akitsu *et. al.*, 2017; Trotta, 2018).







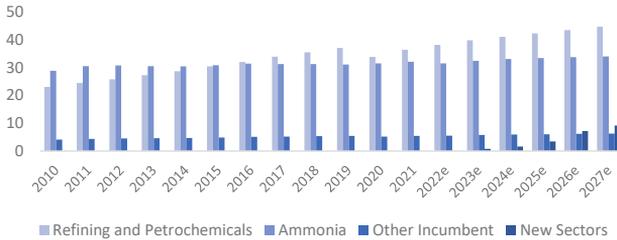
# BAB 2

# PERKEMBANGAN TEKNOLOGI DAN INOVASI

## II.1 TECHNOLOGY BREAKTHROUGH

### II.1.1 HIDROGEN

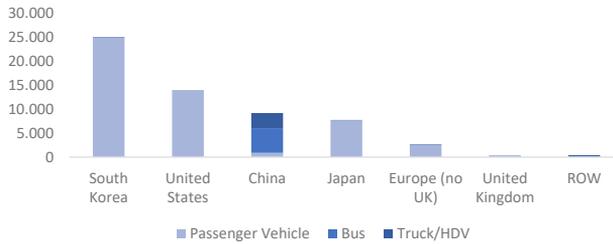
Secara global, permintaan hidrogen terbesar saat ini adalah untuk produksi amonia serta pengolahan dan petrokimia (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Outlook Permintaan Hidrogen Per Sektor (dalam MMPTA)

Sumber: S&P Global Commodity Insight (2022)

Adapun penggunaan untuk transportasi darat, kendaraan hidrogen didominasi oleh kendaraan penumpang ringan, dengan jumlah terbanyak di Korea Selatan, Amerika Serikat, dan Jepang.



Gambar 2.2 Jumlah Kendaraan Hidrogen

Sumber: S&P Global Commodity Insight (2022)

Gambar 2.3 memperlihatkan bahwa proyek hidrogen rendah karbon yang diumumkan secara kumulatif menunjukkan tren peningkatan, dengan porsi paling besar di Australia, tetapi Amerika Serikat menyusul dan mencapai posisi kedua pada kuartal kedua tahun 2022.



Gambar 2.3 Pengumuman Proyek Hidrogen Rendah Karbon

Sumber: Wood Mackenzie (2022)

Berdasarkan data di atas, Amerika Serikat dapat mencapai posisi kedua disebabkan salah satunya kebijakan pemerintah. Di dalam US Inflation Reduction Act terdapat kredit pajak yang baru atas produksi hidrogen bersih yang nilainya meningkat dari USD 0,45 per kg H<sub>2</sub> menjadi USD 3,00 per kg H<sub>2</sub> seiring emisi produksi (intensitas karbon) yang berkurang. Kredit USD 3 per kg tersebut kemungkinan hanya untuk proyek elektrolisis yang terbarukan, sedangkan untuk yang berbasis fosil dengan proyek CCUS dapat memperoleh kredit USD 1 per kg. Hal ini menyebabkan hidrogen hijau dan biru menjadi kompetitif dari segi biaya dibandingkan hidrogen abu-abu dan dapat mengarah pada biaya negatif elektrolisis di 2030 (S&P Global Platts, 2022). Adapun untuk *outlook* ke depan, Eropa dan Amerika Utara diperkirakan memimpin proyek hidrogen rendah karbon di tahun mendatang sampai dengan 2030 (Rystad Energy, 2022). Sampai dengan 2050, akan ada *gap* antara permintaan dan penawaran sebesar 206 MT.

Permintaan hidrogen saat ini didominasi oleh pengolahan dan penggunaan industrial, dan sebagian besarnya saat ini dipenuhi dari bahan bakar fosil. Inovasi teknologi masih sangat diperlukan dalam produksi, transportasi, dan penerapan hidrogen bersih. Salah satu yang sedang dikembangkan saat ini adalah teknologi *electrolyzer*. Selain itu, produksi hidrogen bersih juga memerlukan tambahan infrastruktur energi, seperti CCS untuk produksi hidrogen biru dan pasokan listrik yang bersumber dari EBET untuk produksi hidrogen hijau. Faktor lain yang memengaruhi adalah pasokan listrik dan tarif listrik.

Hidrogen dapat diproduksi dari beragam sumber, dan ketersediaan sumber daya hidrokarbon bukan penentu utama partisipasi rantai pasok hidrogen bersih, melainkan akses terhadap teknologi untuk mengonversi sumber daya tersebut ke dalam berbagai bentuk hidrogen.

Beberapa ekonomi besar, termasuk Eropa dan Tiongkok, sedang berinvestasi di pengembangan teknologi hidrogen dan di peralatan manufaktur untuk memastikan akses yang stabil pada pasokan hidrogen bersih.

Perusahaan-perusahaan di Tiongkok berekspansi pada kapasitas domestik untuk memproduksi elektrolisis dan elektrolisis alkalin yang murah milik mereka telah membawa Tiongkok menjadi pemasok utama dari elektrolisis. Namun, elektrolisis alkalin kurang kompatibel dengan sumber energi terbarukan yang intermiten dibandingkan elektrolisis *polymer electrolyte membrane* (PEM) yang lebih unggul dari sisi teknologi. Konsekuensinya, PEM dan teknologi elektrolisis lainnya yang lebih *advanced* menjadi fokus riset dan inovasi di banyak negara. Kompetisi antara Tiongkok dan negara Barat dalam rantai pasok teknologi dapat menghalangi percepatan pengurangan biaya dan transisi menuju hidrogen.

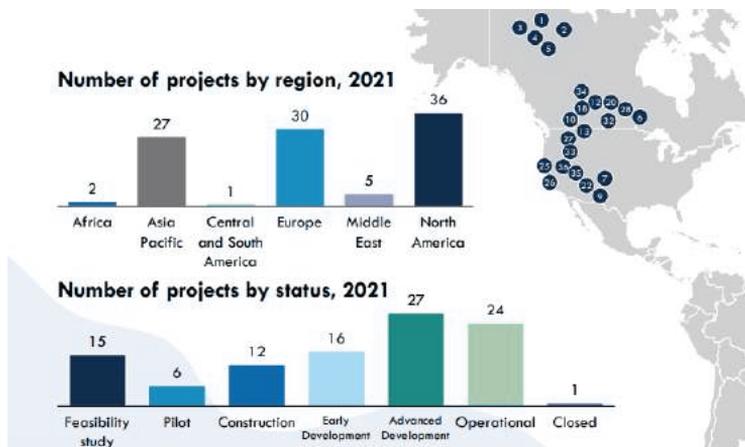
Beberapa *signpost* dari sisi teknologi antara lain (S&P Global Platts, 2022):

- Demonstrasi baru dari teknologi CCS, sebagai contoh, *pilot* SMR retrofit yang sukses menunjukkan 90%-plus CO<sub>2</sub> *capture* yang *sustain*.
- Peningkatan teknologi terkait amonia, termasuk pembakaran amonia bersih dan pendekatan rendah biaya untuk dekomposisi amonia menjadi hidrogen dan nitrogen, kritical untuk strategi impor UE.
- Fasilitas pengujian *pilot underground storage* hidrogen yang pertama mulai di Swedia pada Juni. Proyek ini merupakan kolaborasi antara Vattenfall, LKAB, dan SSAB dan hidrogennya akan digunakan untuk memproduksi baja yang rendah karbon.
- Baja rendah karbon akan diinkorporasikan ke dalam produksi truk Volvo pada kuartal III-2022.

## II.1.2 CCS/CCUS/DACCS

Teknologi *carbon capture, utilization, and storage* (CCUS) berperan penting dalam mendukung transisi energi bersih ke depan. Akhir-akhir ini minat dan ketertarikan terhadap CCUS telah meluas secara global, didukung oleh semakin menguatnya komitmen terhadap lingkungan, termasuk dalam pencapaian target emisi karbon nol bersih (NZE), baik dari pemerintah maupun sektor industri. Investasi terhadap proyek CCUS saat ini menjadi lebih menarik, dibuktikan sejak awal tahun 2020, di mana pemerintah dan sektor industri global telah mengeluarkan lebih dari USD 12 miliar untuk mendanai proyek dan program CCUS. Selain itu, terdapat lebih dari 30 proyek komersial CCUS baru pada semester pertama tahun 2021 (IEA, 2021). Maka, jika dijumlahkan sejak tahun 2018, terdapat lebih dari 60 proyek CCUS yang telah dilaporkan secara global dengan total potensial kapasitas penangkapan karbon mencapai 145 juta ton CO<sub>2</sub> per tahun. Untuk saat ini, terdapat 24 fasilitas komersial

CCUS yang telah beroperasi dengan kapasitas penangkapan karbon sekitar 40 juta ton CO<sub>2</sub> per tahun (IEA, 2021). Proyek CCUS global saat ini banyak dilakukan di wilayah Amerika Utara, Eropa, dan Asia Pasifik. Total proyek yang sudah beroperasi saat ini sebanyak 24 proyek, selanjutnya 16 proyek masih dalam tahap pengembangan awal dan 27 proyek sudah dalam tahap pengembangan lanjut. Sementara itu, 15 proyek lainnya masih dalam tahap *feasibility study* (studi kelayakan) dan 6 proyek masih dalam tahap percontohan. Di kawasan ASEAN sendiri, paling tidak ada tujuh proyek CCUS skala besar yang masih dalam masa perencanaan awal, termasuk di antaranya terkait dengan pengolahan gas dengan *offshore storage*. Indonesia telah membangun program riset yang cukup maju terkait CCUS, yakni ITB National Centre of Excellence for CCU and CCS yang didirikan pada tahun 2017, dengan bantuan dari ADB (IEA, 2021).



Gambar 2.4 Sebaran Proyek CCUS Global

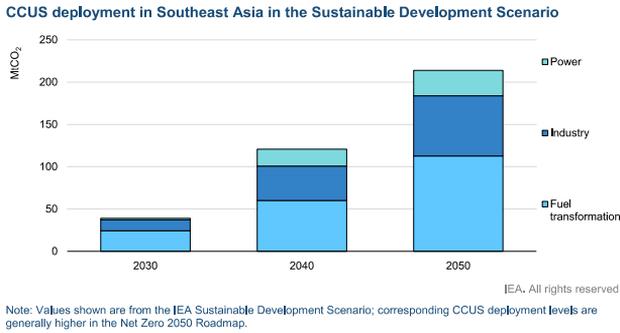
Sumber: PEI (2022)

Pengurangan emisi global menuju target *net-zero* akan membutuhkan transformasi yang mendasar tentang bagaimana kita memproduksi, mentransportasikan, dan mengonsumsi energi. Salah satunya adalah

teknologi CCUS yang memiliki peran penting dalam mengurangi emisi, yakni berpotensi berkontribusi hampir 10% dalam pengurangan emisi kumulatif global hingga tahun 2050. Teknologi CCUS banyak berperan dalam

berbagai sektor, mulai dari industri berat, *low carbon* hidrogen, pembangkit listrik, *carbon removal*, dan sebagai sumber CO<sub>2</sub> untuk bahan bakar sintetis. Dalam rangka mencapai target temperatur permukaan bumi sebagaimana ditetapkan dalam Persetujuan Paris pada tahun 2015, implementasi CCUS di kawasan

ASEAN dapat berperan untuk menangkap CO<sub>2</sub> hingga mencapai 30 Mt pada tahun 2030 dan 200 Mt pada tahun 2050. Hal ini dapat dicapai dengan melakukan implementasi CCUS pada berbagai sektor, mulai dari pembangkit listrik dan industri hingga penyesuaian bahan bakar.

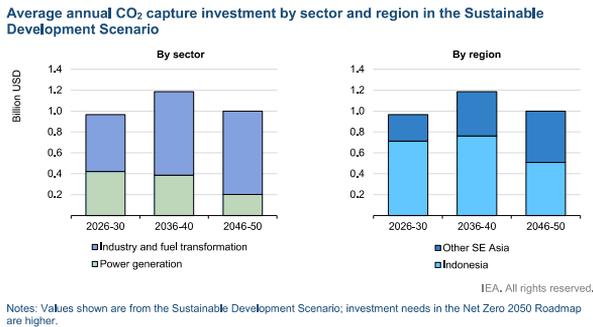


**Gambar 2.5 Rencana Pengembangan CCUS di Kawasan ASEAN**

Sumber: IEA (2021)

Agar proyek CCUS tersebut terealisasi, diperlukan pendanaan investasi yang cukup signifikan (rata-rata USD 1 miliar per tahun) untuk pengembangan fasilitas CO<sub>2</sub> capture hingga tahun 2030. Adapun pendanaan investasi untuk proyek CCUS di Indonesia

merupakan 80% dari total investasi di kawasan ASEAN pada tahun 2030. Proporsi tersebut akan terus menurun seiring berjalannya waktu karena negara-negara lain di kawasan ASEAN, serta sektor industri lainnya, juga mengembangkan kapasitas CCUS.

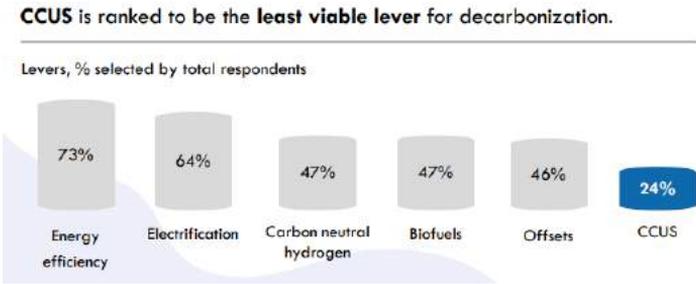


**Gambar 2.6 Rencana Investasi Proyek CCUS di Kawasan ASEAN**

Sumber: IEA (2021)

Berdasarkan survei terakhir, CCUS saat ini masih dipandang *least viable* untuk dekarbonisasi dibandingkan dengan *energy efficiency*, *electrification*, *carbon neutral hydrogen*, *biofuels*, dan *carbon offsets*. Hal yang menjadi tantangan utama pada CCUS ini adalah akses terhadap *carbon storage*,

akses terhadap pendanaan, dan regulasi yang mendukung. Kondisi perkembangan CCUS di Indonesia saat ini masih sedikit tertinggal dalam hal regulasi (*governance*), insentif, dan ekosistem dibandingkan dengan negara lainnya.



**Gambar 2.7 Perbandingan CCUS dengan Upaya Dekarbonisasi Lainnya**

Sumber: PEI (2022)

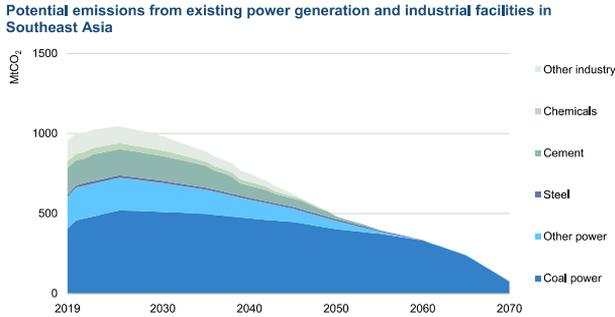
### II.1.2.1 CCUS DI SEKTOR PEMBANGKIT DAN INDUSTRI

Sebagian besar dari emisi kumulatif di kawasan ASEAN dihasilkan oleh sektor pembangkit listrik yang diprediksi dapat mencapai 25 Gt. Pembangkit batubara saja berkontribusi 80% dari total kumulatif emisi pada sektor pembangkit. Kemudian disusul oleh industri lainnya, seperti industri baja, semen, dan kimia. Pembangkit listrik berbahan bakar fosil di kawasan ASEAN merupakan salah satu yang terbilang muda di dunia, dengan rata-rata usia pembangkit 15 tahun. Penggunaan teknologi CCUS retrofit ini akan memungkinkan pembangkit listrik tersebut untuk tetap beroperasi, tetapi secara substansi juga mengurangi emisi. Dengan demikian, hal itu menjadi solusi bagi pemilik pembangkit listrik untuk dapat tetap mengembalikan investasi dan di sisi lain juga melakukan penyesuaian operasi pembangkit untuk mencapai target NZE nasional. Sebelum dapat menerapkan teknologi CCUS retrofit ini, diperlukan penilaian/evaluasi terhadap profil pembangkit

terlebih dahulu dengan berbagai kriteria evaluasi, dengan tujuan untuk mengetahui kemungkinan pembangkit listrik tersebut dapat dilakukan retrofit, termasuk dampaknya terhadap biaya retrofit (IEA, 2020). Pembangkit listrik yang sudah dilengkapi dengan CCUS juga tetap dapat diintegrasikan dengan sumber energi terbarukan lainnya (IEA, 2020b). Selain itu, CCUS juga tetap dapat dikombinasikan pada pembangkit listrik dengan *co-firing biomass* sehingga dapat mengurangi *carbon footprint* dari pembangkit *existing* dan bahkan memungkinkan emisi negatif (IEA, 2021). Industri semen dalam proses produksinya menghasilkan emisi dalam jumlah yang cukup signifikan, hampir 60% emisi yang dihasilkan dalam proses produksi di luar penggunaan bahan bakar. Dengan demikian, industri semen berkontribusi 4% dari total emisi global, atau sekitar 180 Mt emisi per tahun, dengan Vietnam dan Indonesia berada di urutan ke-3 dan ke-4 produsen terbesar di dunia.

Sehubungan tidak ada cara alternatif lain dalam memproduksi semen, teknologi CCUS ini menjadi satu-satunya opsi yang dapat secara efektif mengurangi emisi yang dihasilkan dengan cara menangkap emisi CO<sub>2</sub> dan menyimpannya secara permanen. Selanjutnya, industri besi dan baja menghasilkan emisi

sekitar 40 Mt per tahun dikawasan ASEAN, didominasi oleh Vietnam (20 Mt) dan Indonesia (6 Mt). Sejauh ini teknologi CCUS merupakan teknologi yang cukup *cost effective* untuk mengurangi emisi pada sektor industri besi dan baja, begitu juga untuk industri kimia.



**Gambar 2.8 Potensi Pengurangan Emisi dari Sektor Pembangkit dan Industri di Kawasan ASEAN**

Sumber: IEA (2021)

## II.1.2.2 CCUS DI KEGIATAN OPERASI MIGAS

Produksi gas bumi di kawasan ASEAN berkisar 200 bcm atau setara 5% dari produksi gas global dan berkontribusi terhadap 13% pasar ekspor global LNG. Adapun emisi yang dihasilkan pada proses produksi gas bumi dan *processing* gas di kawasan ASEAN ini diperkirakan mencapai 30 Mt CO<sub>2</sub>. Gas bumi yang masih mengandung CO<sub>2</sub> dengan kadar tinggi perlu diproses lebih lanjut agar dapat memenuhi persyaratan komersial dan teknis dengan kadar CO<sub>2</sub> tertentu sebelum dijual kepada konsumen akhir. Pada banyak praktik pelaksanaannya di lapangan, hasil proses gas removal berupa emisi CO<sub>2</sub> ini dibuang ke atmosfer. Namun, kini, terdapat alternatif lain, yakni dengan menginjeksikan gas CO<sub>2</sub> tersebut ke dalam formasi geologi di dalam perut bumi. Sudah hampir sekitar 27 Mt CO<sub>2</sub> di-*capture* per tahun

dari 11 fasilitas pemrosesan gas bumi secara global, yang kemudian diinjeksikan ke dalam formasi geologi yang sudah tersedia ataupun digunakan untuk *enhance oil recovery* (EOR). Kemungkinan cara lain untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> pada rantai pasok LNG adalah dari *natural gas combustion* pada gas turbin yang menjadi penggerak kompresor yang diperlukan untuk refrigerasi LNG. Mengaplikasikan teknologi CCUS pada proses ini akan secara signifikan dapat mengurangi emisi pada proses produksi LNG. Sebagai informasi, sampai dengan saat ini belum ada fasilitas produksi LNG yang sudah mengaplikasikannya. Namun, proyek Rio Grande LNG di Amerika Serikat sudah memiliki rencana yang matang untuk mengimplementasikannya pada proyek mereka.

### II.1.2.3 TEKNOLOGI DAUR ULANG CO<sub>2</sub> DAN CARBON REMOVAL

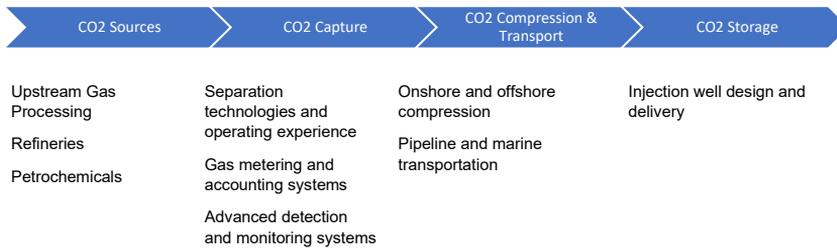
Penggunaan CO<sub>2</sub> untuk keperluan industri dapat menjadi potensi tambahan pendapatan bagi pemilik fasilitas CCUS. Hingga saat ini, sebagian besar proyek CCUS banyak menggantungkan bisnisnya pada penjualan CO<sub>2</sub> kepada perusahaan minyak untuk digunakan pada proses *enhanced oil recovery* (CO<sub>2</sub> EOR). Namun, sebenarnya banyak terdapat peluang lain yang bisa dimanfaatkan, antara lain sebagai *feedstock* dari proses produksi bahan bakar sintetis, sebagai bahan kimia tambahan, dan proses pembuatan bahan bangunan. Penggunaan atau daur ulang CO<sub>2</sub> dapat turut mendukung tercapainya pengurangan emisi apabila diaplikasikan pada skala yang cukup signifikan, dan pada prosesnya menggunakan energi rendah karbon serta dapat menjadi produk alternatif terhadap produk lain dengan *life cycle* emisi yang lebih tinggi (IEA, 2019c). Penggunaan CO<sub>2</sub> pada bahan bangunan ternyata lebih sedikit menggunakan energi daripada penggunaan CO<sub>2</sub> untuk pemanfaatan lainnya, serta memiliki keunggulan, yaitu peluang komersial yang cukup baik, dan telah diproduksi dalam jumlah yang cukup banyak. Pada beberapa produsen bahan bangunan, penggunaan CO<sub>2</sub> mampu menekan biaya, bahkan memberikan kualitas yang lebih daripada produk konvensional. Singapura adalah salah satu negara yang aktif mengeksplorasi penggunaan CO<sub>2</sub> pada bahan bangunan. Saat ini terdapat beberapa opsi teknologi yang dapat digunakan untuk *carbon removal*, antara lain CCUS, *Bioenergy CCS* (BECCS), dan *Direct Air Capture with CO<sub>2</sub> Storage* (DACCS). Solusi teknologi tersebut dapat menjadi komplemen sekaligus dapat meningkatkan kinerja solusi nature-based carbon removal seperti aforestasi dan reforestasi.

Pembangkit listrik biomassa di kawasan ASEAN saat ini mencapai kapasitas 35 terawatt hour (lebih dari 50% berada di Thailand). Apabila kemudian dilengkapi oleh CCUS, pembangkit listrik biomassa ini dapat mendukung diperolehnya emisi negatif dan membantu untuk meng-*offset* emisi dari sektor atau pembangkit yang lain. Penggunaan langsung CCUS pada sektor bioenergi, seperti pada industri *pulp and paper*, akan menjadi sangat mahal. Namun, apabila penggunaan bioenergi dapat dialihkan untuk sektor lain, misalnya melalui penggunaan bahan bakar alternatif berbasis bioenergi, akan mendukung *carbon removal* tanpa meningkatkan *demand* bioenergi.

Sementara ini belum terdapat penggunaan teknologi DACCS di kawasan ASEAN, tetapi momentum perkembangannya secara global kini semakin meningkat. Teknologi DACCS memiliki keunggulan, antara lain hanya membutuhkan luas lahan yang kecil dibandingkan dengan opsi teknologi *carbon removal* lainnya dan lebih fleksibel dalam penempatannya. Salah satu peluang implementasi teknologi DACCS yang memungkinkan adalah pada pembangkit listrik tenaga panas bumi/PLTP (geotermal). Hal ini sudah pernah dilakukan sebelumnya di Islandia, di mana kolaborasi Climeworks dan Carb Fix saat ini telah meng-*capture* 50 ton CO<sub>2</sub> per tahun dari atmosfer, kemudian mencampurnya dengan CO<sub>2</sub> yang di-*capture* dari fluida geotermal untuk kemudian diinjeksikan dan disimpan di bawah tanah pada formasi batuan basalt (Climeworks, 2021). Hal yang sama dapat diaplikasikan di Indonesia dan negara lain di kawasan ASEAN.

## II.1.2.4 CCUS BUSINESS MODEL

Bentuk umum rantai nilai CCUS terbagi menjadi empat bagian utama, dengan storage memiliki peran yang paling penting.



**Gambar 2.9 Rantai Nilai CCUS**

Sumber: PEI (2022)

Sejumlah proyek CCUS saat ini masih berfokus pada individual point sources ke individual point storage. Namun, perkembangan CCUS terkini menunjukkan perubahan arah dari *single source to sink* menjadi *CCUS hub project* dengan memanfaatkan aset dan infrastruktur existing. Adapun beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari CCUS hub project ini, antara lain, *high emission coverage*, *cost efficiency*, *shared infrastructure*, dan *integrated decarbonization enablement*. Penelitian terhadap existing proyek CCUS berskala besar menunjukkan bahwa terdapat empat bisnis model yang secara kontraktual telah dijalankan merujuk kepada rantai nilai CCUS, yaitu:

**a** *Vertically integrated business model (end to end)*

Pada bisnis model ini, perusahaan menggunakan seluruh kapabilitas teknis dan komersial untuk mengintegrasikan setiap elemen rantai nilai CCUS. Dengan demikian, secara keseluruhan operasionalisasi proses CCUS terintegrasi dan berada dalam satu perusahaan, mulai dari proses *capture*, transportasi, hingga *CO<sub>2</sub> storage*.

**b** *Bisnis model join venture (JV)*

Bisnis model JV ini dikembangkan berdasarkan kerja sama (*partnership*) beberapa perusahaan dalam menjalankan rantai nilai CCUS. Perusahaan dalam hal ini dapat mengambil peran dan tanggung jawab di salah satu atau sebagian dari rantai nilai CCUS. Perusahaan industri, misalnya, memutuskan untuk mengambil peran dan tanggung jawab dalam proses *CO<sub>2</sub> capture*, sedangkan untuk proses transportasi *CO<sub>2</sub>* dan *CO<sub>2</sub> storage* dikelola bersama partner. Bisnis model ini akan menghasilkan pembagian risiko dan pendapatan secara lebih proporsional.

**c** *Bisnis model operator (CCUS service company)*

Pada bisnis model ini, industri/pembangkit listrik bekerja sama dengan pihak ketiga yang akan bertindak sebagai *CCUS operator* yang memiliki kapabilitas teknis dan *engineering* untuk mengelola *CO<sub>2</sub>*, mulai dari proses *capture*, transportasi, hingga *storage*. *CCUS operator* akan menerima *fee* atas jasa

layanan yang telah diberikan sehingga bisnis model ini juga biasa disebut *pay at the gate model*. Adapun pihak yang biasanya terlibat dalam bisnis model ini adalah industri/pembangkit listrik, CCS operator, dan  $CO_2$  user.

**d** **Bisnis model CCUS transporter**

Pada prinsipnya, bisnis model ini merupakan salah satu bagian dari bisnis model sebelumnya (CCUS operator).

Dalam bisnis model ini, CCUS operator hanya bertanggung jawab dalam proses transportasi  $CO_2$ -nya sehingga perannya terbatas hanya sebagai *transporter*. Pihak *transporter* akan menanggung seluruh biaya transportasi berikut O&M-nya dan sebagai imbalan akan menerima *transportation fee* yang disepakati sebelumnya dalam kontrak di antara para pihak yang terlibat.

### II.1.2.5 RENCANA PENGEMBANGAN CCUS DI KAWASAN ASEAN DAN INDONESIA

Sumber emisi di Indonesia terkonsentrasi di Pulau Jawa yang merupakan pulau yang memiliki kepadatan penduduk yang tinggi dan sebagai pusat industri. Lebih dari 50% pembangkit listrik dibangun di Pulau Jawa. Di pulau ini terdapat banyak lapangan gas tua dan *deep saline aquifer* di sekitarnya, dan potensi penyimpanan  $CO_2$  cukup tinggi. Selain Pulau Jawa, Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatra

juga memiliki tingkat emisi yang besar. Indonesia berpotensi memimpin dan memiliki peran yang penting dalam pengembangan dan implementasi CCUS di kawasan ASEAN dan telah mengeksplorasi beberapa peluang untuk melanjutkan pengembangan teknologi CCUS ke sektor yang lebih luas (kelistrikan, industri, hulu minyak dan gas) dan bahan bakar (batubara, biomassa, minyak).

**CO<sub>2</sub> sources in Southeast Asia**



**Gambar 2.10 Sumber CO<sub>2</sub> di Kawasan ASEAN**

Sumber: IEA (2021)

Selain penyediaan solusi lokal  $\text{CO}_2$  storage untuk keperluan domestik, alternatif lain yang dapat dilakukan dalam pengembangan infrastruktur transportasi dan  $\text{CO}_2$  storage adalah melalui pendekatan regional/kawasan, untuk mempercepat pengembangan proyek dan memperluas serapan potensi pasar CCUS di kawasan ASEAN. Utamanya pada pengembangan infrastruktur  $\text{CO}_2$  storage yang berkapasitas besar, yang dapat digunakan secara bersama-sama oleh negara-negara ASEAN lainnya yang kebetulan memiliki kapasitas CCUS terbatas ataupun mengalami keterlambatan dalam implementasi proyek CCUS-nya. Singapura adalah salah satu negara ASEAN yang secara geologis saat ini belum memiliki  $\text{CO}_2$  storage dan sektor industrinya berkontribusi hampir 46% terhadap total emisi nasional.

Dalam dokumen resminya, *Long Term Low-Emission Development Strategy (LEDS)* yang telah disampaikan kepada UNFCCC, Singapura menyatakan pentingnya CCUS dalam mengurangi emisi dan menggarisbawahi kebutuhan kemitraan dengan perusahaan dan negara lain terkait peluang kerja sama  $\text{CO}_2$  storage. Pendekatan regional/kawasan untuk pengembangan dan implementasi CCUS saat ini sedang dilakukan oleh negara-negara di kawasan Eropa. Salah satunya adalah The Northern Lights Project yang merupakan konsorsium dari tiga perusahaan, yakni Equinor, Shell, dan Total, dan didukung penuh oleh Pemerintah Norwegia. The Northern Lights Project mempunyai fleksibilitas untuk dapat menerima  $\text{CO}_2$  dari sektor industri Eropa.



**Gambar 2.11** Ilustrasi untuk Northern Lights Project

Sumber: Norlights (2022)

Dalam hal infrastruktur transportasi  $\text{CO}_2$  di kawasan ASEAN, sangat besar kemungkinannya untuk menggunakan kapal laut sebagai moda transportasi, karena merupakan opsi moda transportasi yang lebih murah dari sisi biaya untuk jarak yang lebih jauh dan volume  $\text{CO}_2$  yang lebih sedikit. Selain itu, kapal laut juga dapat memberikan fleksibilitas dan alternatif yang lebih banyak pada rantai pasok CCUS,

khususnya ketika banyak fasilitas *storage* yang dapat menerima pengiriman  $\text{CO}_2$ . Sebagaimana juga Northern Lights Project yang menggunakan kapal laut sebagai moda transportasi  $\text{CO}_2$ -nya yang menghubungkan tiga lokasi  $\text{CO}_2$  storage, yakni terminal Northern Lights di Norwegia, terminal CODA di Islandia, dan Antwerp@C Hub di Belgia.

Sebagaimana di belahan dunia lainnya, perkiraan kapasitas CO<sub>2</sub> storage di Asia Tenggara juga penuh dengan ketidakpastian. Berdasarkan metodologi Kearns and Others, diperkirakan terdapat potensi kapasitas storage hingga 170 Gt yang tersedia di kawasan Asia Tenggara.

Namun, hanya sebagian yang akan ekonomis dan secara teknis feasible. Sebagian besar CO<sub>2</sub> storage di ASEAN diperkirakan berada pada lapisan saline aquifer. Meski demikian, terdapat peluang besar CO<sub>2</sub> storage lainnya yang berasal dari lapangan minyak dan gas yang produksinya sudah menurun.

**Tabel 2.1 Potensi CO<sub>2</sub> Storage di Kawasan ASEAN**

Storage estimates for countries in Southeast Asia

Country	Type of storage	Estimated volume	Total volume
Brunei	Oil and gas fields	0,6 Gt CO <sub>2</sub>	0,6 Gt CO <sub>2</sub>
Indonesia	South Sumatra Basin	7,65 Gt CO <sub>2</sub>	8,4 Gt CO <sub>2</sub>
	Java Basin (deep saline layers)	386 Mt CO <sub>2</sub>	
	Tarakan Basin	130 Mt CO <sub>2</sub>	
	Central Sumatra Basin	229 Mt CO <sub>2</sub>	
Malaysia	Malay Basin	80 Gt CO <sub>2</sub>	80 Gt CO <sub>2</sub>
Philippines	Saline Aquifers	22 Gt CO <sub>2</sub>	22,3 Gt CO <sub>2</sub>
	Gas fields	0,3 Gt CO <sub>2</sub>	
Thailand	Saline formation in the Greater Thai Basin and Pattani Basin	8,9 Gt CO <sub>2</sub>	10,3 Gt CO <sub>2</sub>
	Gas and oil fields	1,4 Gt CO <sub>2</sub>	
Viet Nam	Deep saline reservoirs	10,4 Gt CO <sub>2</sub>	11,8 Gt CO <sub>2</sub>
	Depleted oil and gas fields	1,4 Gt CO <sub>2</sub>	

Sources: Based on [ADB \(2013\)](#); [METI \(2020b\)](#); [ERIA \(2021\)](#).

Sumber: IEA (2021)

Sebagian besar kawasan Asia Tenggara berada pada area cincin api (*ring of fire*), yang dikelilingi banyak gunung berapi, sehingga berpotensi terjadi gempa bumi dan letusan gunung berapi. Maka menjadi penting untuk sangat selektif dalam memilih lokasi CO<sub>2</sub> storage yang benar-benar aman. Lebih jauh lagi, pemantauan dan verifikasi selama operasi dan setelah operasi sangat perlu dilakukan.

Meski demikian, beruntung, reservoir minyak dan gas cenderung mengalami getaran yang minor dan potensi minyak dan gas lepas/keluar dari reservoir sangat minim. Sehubungan CO<sub>2</sub> secara fisik terperangkap sebagaimana minyak dan gas berada dalam reservoir, hal ini menjadi analogi yang kuat bahwa reservoir dapat dikatakan aman.

### II.1.3 BATERAI LITHIUM-ION

Seiring dengan komitmen dunia energi dalam menggiatkan transisi energi guna mengatasi pemanasan global, banyak kalangan mulai mengambil langkah strategis dalam upaya mendayagunakan energi ramah lingkungan.

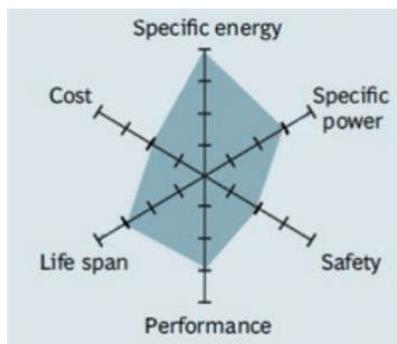
Pendayagunaan energi ini perlu didukung oleh teknologi yang berkualitas dan tepat guna, salah satunya adalah teknologi penyimpanan energi dalam yang dikenal sebagai *battery energy storage* (BES).

Secara umum, BES dimanfaatkan sebagai penyimpan tenaga dalam baterai untuk menggerakkan mesin atau motor. Dengan adanya teknologi ini, baterai menjadi komponen paling penting pada kendaraan listrik (*electric vehicle/EV*) ataupun pada pembangkit energi baru dan energi terbarukan sektor elektrifikasi.

Dalam perkembangannya, baterai sebagai penyimpan energi ini terbagi menjadi tiga jenis, yaitu *lithium-ion battery* (Li-ion), *nickel-metal hydride battery*, dan *lead-acid battery*. Ketiga jenis baterai itu masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Namun, di antara ketiganya, yang paling banyak dijumpai dan digunakan adalah jenis *lithium-ion* (Li-ion), yang biasa kita jumpai pada perangkat elektronik portabel, seperti *handphone/smartphone*, tablet, dan laptop. Oleh karena itu, pembahasan akan difokuskan pada jenis baterai Li-ion, sedangkan dua jenis lainnya akan dibahas terpisah. Baterai Li-ion memiliki beberapa keunggulan, antara lain memiliki ketahanan yang tinggi, efisiensi energi yang tinggi, performa yang baik pada temperatur tinggi, kepadatan energi tinggi, dan memiliki tingkat *self-discharge* yang rendah sehingga dapat bertahan lama. Selain itu, baterai Li-ion dapat didaur ulang sehingga menjadikannya pilihan yang tepat untuk mobil EV yang ramah

lingkungan, sehingga disebut sebagai masa depan mobil EV. Secara umum, terdapat beberapa tipe baterai Li-ion yang ada di pasaran, antara lain tiga tipe, yaitu *lithium-nickel cobalt aluminium oxide* (NCA), *lithium-nickel manganese cobalt oxide* (NMC), dan *lithium ferro phosphate* (LFP). Ketiga tipe baterai itu dibedakan atas komponen penyusunnya. Uniknya, setiap tipe baterai tersebut memiliki spesifikasi yang berbeda. Adapun deskripsi lengkap masing-masing baterai Li-ion adalah sebagai berikut.

Baterai *lithium-nickel cobalt aluminium oxide* (NCA) telah ada sejak tahun 1999. Sesuai dengan namanya, komponen baterai NCA terdiri dari bahan nikel, kobalt, dan aluminium. Baterai jenis ini menawarkan energi spesifik tinggi, daya spesifik yang cukup baik, dan daya tahan yang lama. Gambar berikut merangkum enam karakteristik utama baterai NCA. NCA merupakan pengembangan lebih lanjut dari oksida nikel litium dengan adanya tambahan material aluminium yang memberikan stabilitas kimia yang lebih besar. Baterai Li-ion NCA banyak digunakan oleh pabrikan mobil listrik, salah satunya Tesla yang menggunakan baterai jenis ini sebagai baterai mobilnya, karena memiliki spesifikasi baterai yang paling tinggi dan lebih ringkas.

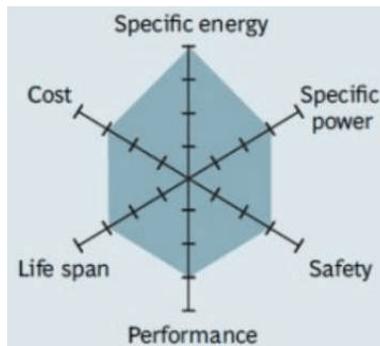


**Gambar 2.12 Karakteristik Baterai NCA**

Sumber: Battery University-BCG (2022)

Selanjutnya, *lithium nickel manganese cobalt oxide* (NMC) merupakan baterai dengan kombinasi katoda dari nikel, mangan, dan kobalt (NMC) dan dapat berfungsi sebagai sel energi atau daya. NMC merupakan baterai pilihan untuk peralatan listrik ataupun kendaraan listrik (EV). Secara umum, kombinasi katoda terdiri dari sepertiga nikel, sepertiga mangan, dan sepertiga kobalt, atau dikenal sebagai (1-1-1). Di samping itu, terdapat kombinasi lainnya pada jenis baterai ini, yaitu dengan lima bagian nikel,

tiga bagian kobalt, dan dua bagian mangan atau (5-3-2), bahkan masih sangat dimungkinkan adanya kombinasi katoda lainnya. Dalam perkembangannya, sebagian besar produsen baterai beralih dari sistem kobalt menuju katoda nikel karena mahalnya harga kobalt. Bahan nikel diakui memiliki kepadatan energi lebih tinggi, biaya lebih rendah, dan siklus/daya tahan lebih lama daripada sel berbasis kobalt yang memiliki tegangan sedikit lebih rendah. Gambar berikut menunjukkan karakteristik NMC.



**Gambar 2.13 Karakteristik Baterai NMC**

Sumber: Battery University-BCG (2022)

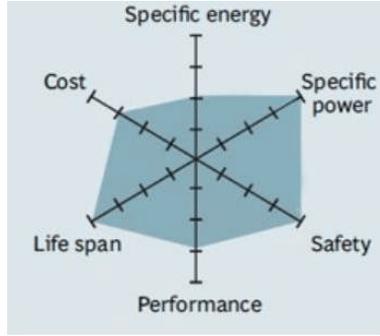
Berdasarkan gambar di atas, baterai Li-ion jenis NMC ini memiliki karakteristik dan keunggulan di atas rata-rata yang hampir merata. Kombinasi bahan aktif Li-ion NMC dikenal memiliki sistem yang unggul, baik secara ekonomis maupun secara kinerja. Selain itu, tiga bahan aktif nikel, mangan, dan kobalt dapat dengan mudah dicampur dengan berbagai bahan untuk sistem penyimpanan energi dan otomotif (EES). Dengan demikian, NMC memiliki karakter penyimpanan energi yang bagus dan juga daya yang besar. Pabrik mobil listrik Tesla menggunakan baterai NMC ini di unit Tesla Powerwall atau stasiun pengisian. Baterai *lithium iron phosphate* (LFP) pertama kali ditemukan oleh University of Texas, Hydro Quebec, University de Montreal, bersama French National Center for Scientific

Research (CNRS). Komposisi LFP terdiri dari litium, besi, dan fosfat. Baterai ini dikenal mampu memberikan kinerja elektrokimia yang baik dengan resistansi rendah. Hal ini didukung oleh komponen katoda fosfat berskala nano dengan keunggulan memiliki siklus umur yang panjang, stabilitas termal yang baik, tingkat *safety* yang lebih baik, dan lain-lain.

Keunggulan lainnya, LFP lebih toleran terhadap kondisi pengisian penuh dan minim kendala daripada jenis baterai *lithium-ion* lainnya, terutama apabila disimpan pada tegangan tinggi untuk waktu yang lama. LFP juga memiliki *self-discharge* lebih tinggi daripada baterai Li-ion lainnya yang dapat menyebabkan *overcycle* dalam masa pemakaian, dan juga memiliki daya paling rendah ketimbang jenis

lainnya. Baterai LFP dikenal sebagai baterai yang paling aman karena temperaturnya lebih dingin dan tidak mudah meledak. Kendaraan listrik di Indonesia sangat cocok menggunakan baterai LFP karena sangat tahan terhadap

temperatur di Indonesia. Contoh kendaraan listrik yang sudah memakai LFP di Indonesia adalah bus BYD dan MAB. Selengkapnya dapat disimak pada gambar berikut:



**Gambar 2.13 Karakteristik Baterai NMC**

Sumber: Battery University-BCG (2022)

Spesifikasi lengkap ketiga tipe baterai Li-ion (NCA, NMC, dan LFP) pada tabel berikut:

**Tabel 2.2 Perbedaan Spesifikasi Baterai Lithium-ion**

Specification	NCA	NMC	LFP
Voltages	3.60V nominal; typical operating range 3.0–4.2V/cell	3.60V, 3.70V nominal; typical operating range 3.0–4.2V/cell, or higher	3.20, 3.30V nominal; typical operating range 2.5–3.65V/cell
Specific energy (Capacity)	200-260 Wh/kg; 300 Wh/kg predictable	150–220 Wh/kg	90–120 Wh/kg
Charge (C-rate)	0.7C, charges to 4.20V (most cells), 3h charge typical, fast charge possible with some cells	0.7–1C, charges to 4.20V, some go to 4.30V; 3h charge typical. Charge current above 1C shortens battery life.	1C typical, charges to 3.65V; 3h charge time typical
Discharge (C-rate)	1C typical; 3.00V cut-off; high discharge rate shortens battery life	1C; 2C possible on some cells; 2.50V cut-off	1C, 25C on some cells; 40A pulse (2s); 2.50V cut-off (lower than 2V causes damage)
Cycle Life	500 (related to depth of discharge, temperature)	1000–2000 (related to depth of discharge, temperature)	2000 and higher (related to depth of discharge, temperature)
Thermal runaway	150° C (302° F) typical, High charge promotes thermal runaway	210° C (410° F) typical. High charge promotes thermal runaway	270° C (518° F) very safe battery even if fully charged
Price* (as June 2022)	USD148 per kWh	USD 150 per kWh	USD 133 per kWh
Applications	Medical devices, industrial, electric powertrain (Tesla)	E-bikes, medical devices, EVs, industrial	Portable and stationary needing high load currents and endurance
Description	Shares similarities with Li-cobalt. Serves as Energy Cell.	Provides high capacity and high power. Serves as Hybrid Cell. Favorite chemistry for many uses; market share is increasing.	Very flat voltage discharge curve but low capacity. One of safest Li-ions. Used for special markets. Elevated self-discharge.

Sumber: Bloomberg NEF dan sumber lain (diolah)

Seiring dengan perkembangan energi saat ini, penggunaan baterai Li-ion semakin mendominasi dan menjadi pilihan utama dalam industri elektrifikasi dan kendaraan listrik. Seperti diketahui, baterai Li-ion berbasis *ferro/besi*, LFP, mulai menguasai sebagian pangsa pasar industri EV, padahal sebelumnya didominasi oleh baterai berbasis nikel, khususnya Li-B. Tidak hanya itu, informasi terbaru berdasarkan *Financial Report Tesla* pada kuartal I-2022 menunjukkan bahwa hampir setengah dari EV yang diproduksi oleh Tesla telah menggunakan baterai jenis LFP, padahal sebelumnya Tesla selalu menggunakan baterai Li-ion jenis NCA dan NMC.

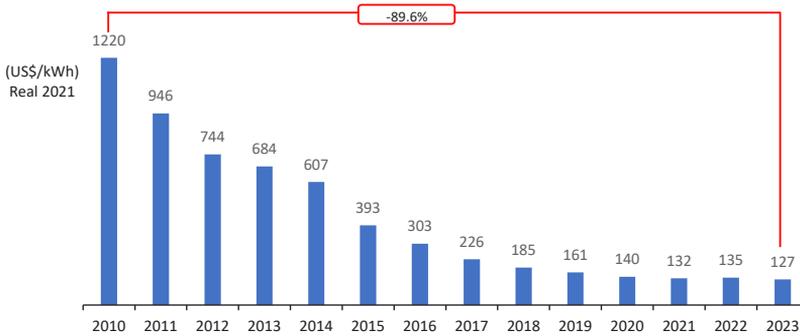
Hingga saat ini, beberapa produsen mobil listrik, seperti Mercedes-Benz Group, Volkswagen, Tesla, BMW, Nissan, Chevrolet, Renault, Ford, BYD, dan MAB, telah mengadopsi NMC, LFP, dan teknologi baterai NCA untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi konsumsi energi minyak atau energi fosil. Selain untuk EV, baterai Li-ion juga dapat digunakan secara luas untuk menunjang pengoperasian pembangkitan energi baru dan energi terbarukan (EBET). Sektor EBET khususnya yang berbasis tenaga surya dan bayu akan lebih tinggi performanya jika didukung oleh baterai untuk sistem penyimpanan.

Terkait harga baterai, hal itu salah satunya ditentukan oleh material atau bahan penyusunnya. Terdapat beberapa bahan/komponen baterai yang laku di pasaran, yaitu litium, nikel, mangan, dan kobalt. Harga baterai dari tiap-tiap bahan tersebut tentu bersaing meskipun litium dan nikel sangat mendominasi pasar saat ini. Sebagai contoh, harga baterai LFP relatif lebih terjangkau dibandingkan dengan baterai NCA dan NMC karena baterai LFP dibuat menggunakan bahan *ferro/besi* yang harganya relatif stabil dan berlimpah.

Hal itu berbeda dengan baterai jenis NCA dan NMC yang bergantung pada bahan/material langka dan harganya fluktuatif, yaitu nikel dan kobalt. Selain dipengaruhi oleh bahan/material penyusunnya, sama halnya dengan komoditas lainnya, harganya juga dipengaruhi oleh faktor dominasi pasar/*economics of scale, supply-demand*, faktor makroekonomi seperti inflasi, dan sebagainya.

Berdasarkan informasi dari BloombergNEF (basis harga riil 2021), tren harga baterai mengalami penurunan, khususnya sejak tahun 2010 hingga tahun 2023. Pada tahun 2010, harga baterai berada pada level USD 1.220 per kWh, yang kemudian terus menurun sebesar 89,6% hingga ke level USD 132 per kWh pada tahun 2021. Namun, tren penurunan harga ini diprediksi akan *cut off* pada tahun 2021. BloombergNEF sempat memprediksi harga baterai akan sedikit meningkat untuk pertama kalinya sejak tahun 2010, yaitu tahun 2022, meningkat sekitar 2% menjadi USD 135 per kWh.

Kenaikan ini salah satunya dipengaruhi oleh meningkatnya permintaan bahan/material baterai, yang melonjak 50% pada tahun 2022 menjadi 4,8 juta metrik ton (MT), bahkan naik signifikan menjadi lebih dari 17,5 juta MT pada akhir dekade ini (BloombergNEF, 2022). Diketahui pada awal Juni 2022, harga baterai Li-ion berada pada kisaran USD 130 per kWh. Adapun harga baterai jenis LFP pada awal Juni 2022 berada di sekitar USD 133 per kWh, sedangkan baterai NMC sekitar USD 150 per kWh. Namun, kenaikan harga baterai per 2022 relatif terjadi hanya sesaat karena BloombergNEF memprediksi harga baterai akan kembali turun pada tahun 2023. Selengkapnya dapat disimak pada diagram berikut.



**Gambar 2.15 Tren Harga Baterai 2010-2023**

Sumber: BloombergNEF

BloombergNEF memprediksi harga rata-rata baterai ini akan kembali turun mencapai USD 127 per kWh pada tahun 2023. Berdasarkan hasil survei BloombergNEF, tren penurunan harga ini terjadi pada harga baterai yang disebabkan fluktuasi hingga penurunan harga katoda material penyusun baterai, seperti nikel, kobalt, dan katoda jenis lainnya, yang cenderung menurun dalam beberapa tahun ke depan. Di samping itu, fenomena ini juga dipengaruhi oleh faktor dominasi pasar baterai. Dalam jangka panjang, apabila sentimen pasar semakin mendominasi, *economics of scale* baterai akan tercapai, selanjutnya akan semakin banyak pabrik/industri di sektor baterai Li-ion ini sehingga harganya akan bersaing/kompetitif antarprodusen.

Melihat tren penurunan ini, BloombergNEF menganalisis bahwa penurunan harga tersebut menjadi pertanda baik bagi masa depan kendaraan listrik, khususnya yang mengandalkan teknologi baterai *lithium-ion*. Hal tersebut menjadi *opportunity* yang bagus bagi transisi energi, khususnya energi baterai, di masa depan meskipun belum dapat dipastikan sampai kapan tren penurunan ini terjadi. Pasalnya, seiring dengan tingginya permintaan baterai dari para produsen kendaraan listrik di masa depan, hal itu justru berpotensi akan menaikkan harga baterai tersebut. BloombergNEF memperkirakan permintaan baterai litium akan tumbuh paling cepat, melonjak lebih dari tujuh kali lipat pada tahun 2021-2030.

## II.1.4 BIOFUEL DAN SAF

Arah kebijakan energi nasional ke depan ialah transisi dari energi fosil menjadi energi baru dan energi terbarukan sebagai energi yang lebih bersih, minim emisi, dan ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan komitmen Indonesia pada Persetujuan Paris, yaitu penurunan emisi gas rumah kaca sesuai dengan *Nationally Determined Contributions* (NDC) pada 2030 sebesar 29% dari *business as usual* (BaU) dengan kemampuan sendiri dan 41% dengan bantuan internasional.

Sektor energi diharapkan dapat menurunkan emisi sebesar 314-446 juta ton CO<sub>2</sub>e. Aksi mitigasi yang berperan paling besar dalam upaya penurunan emisi gas rumah kaca di sektor energi adalah pengembangan EBET. Salah satu strategi yang didorong untuk percepatan implementasi EBET dan penurunan emisi gas rumah kaca adalah melakukan substitusi energi primer dan final melalui pemanfaatan *biofuel*/bahan bakar nabati (BBN).



Secara umum, *biofuel* adalah bahan bakar dari biomassa atau materi yang berasal dari tumbuhan dan hewan. Terdapat beberapa mekanisme untuk memproduksi *biofuel*, tergantung jenisnya masing-masing. Bioetanol, misalnya, diproduksi dengan cara fermentasi jagung atau tebu, sedangkan *biodiesel* menggunakan minyak sawit mentah (*crude palm oil*) melalui proses transesterifikasi, yang secara kimia bereaksi dengan alkohol. Tren penggunaan *biofuel* global terus meningkat, salah satunya didorong karena penggunaan *biofuel* menghasilkan emisi yang lebih rendah daripada penggunaan bahan bakar fosil.

Menurut data Alternative Fuels Data Center US Department of Energy, *biofuel* seperti etanol menghasilkan karbon dioksida hingga 48% lebih sedikit daripada bensin konvensional, sedangkan penggunaan *biodiesel* hanya melepaskan seperempat jumlah karbon dioksida yang dikeluarkan diesel konvensional. Namun, di sisi lain, terdapat kekhawatiran, antara lain timbulnya tekanan terhadap harga makanan, risiko peningkatan emisi gas rumah kaca melalui perubahan tata guna lahan, degradasi lahan, hutan, sumber daya air, dan ekosistem (UNEP, 2009).

Berdasarkan sejarahnya, pemanfaatan *biofuel* berupa *biodiesel* sudah dimulai sejak penemu teknologi mesin diesel (Rudolf Diesel) membuat mesin diesel pertamanya pada 1893. Ia mencoba berbagai alternatif bahan bakar untuk menggerakkan mesin diesel ciptaannya, mulai dari *coal dust* sampai minyak nabati. Sementara itu, secara global, penelitian dan pengembangan *biodiesel* mulai marak pada periode 1970-an, dipicu munculnya isu krisis minyak dunia (Balitbang ESDM, 2021). Bahan bakar alternatif ini selanjutnya semakin masif dikembangkan dengan adanya pertimbangan bahwa energi fosil lambat laun akan habis karena tidak dapat digantikan dan menghasilkan emisi yang merusak lingkungan. Riset *biodiesel* di Indonesia mulai digalakkan pada periode 1990-an (Balitbang ESDM, 2021).

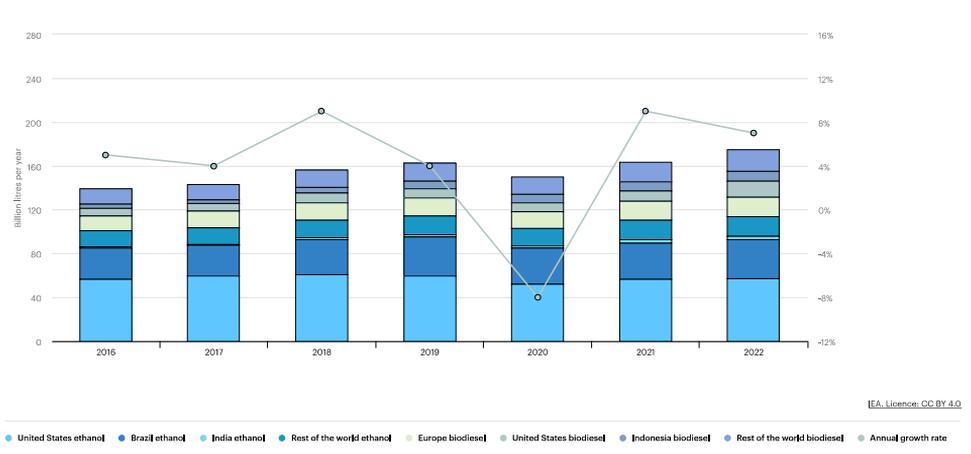
Sejumlah institusi memulai riset produksi *biodiesel* dari sejumlah bahan baku, antara lain Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi

Minyak dan Gas Bumi (Lemigas), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (LRPI), dan Institut Teknologi Bandung (ITB). Pada periode tersebut, riset yang dilakukan adalah untuk memproduksi *biodiesel* dari berbagai bahan baku, seperti kelapa sawit, minyak jelantah, jarak pagar, dan minyak nabati lainnya.

Produksi *biofuel* global pada tahun 2021 mencapai 162 juta KL, terdiri dari bioetanol sebesar 109 juta KL, *biodiesel* sebesar 43 juta KL, dan HVO sebesar 10 juta KL (IEA, 2022). Berdasarkan data tersebut, produksi *biodiesel* dan HVO meningkat pada periode 2019 hingga 2021, sedangkan pada periode yang sama

produksi bioetanol menurun. Berdasarkan wilayah, sebagian besar produksi *biofuel* berasal dari wilayah Amerika Utara dan Amerika Selatan. Jenis *biofuel* yang diproduksi di Amerika mayoritas adalah *corn ethanol* di Amerika Serikat dan *sugarcane ethanol* di Brasil.

Adapun untuk *biodiesel* dan HVO, produsen utamanya adalah negara-negara Uni Eropa, antara lain Prancis, Jerman, Spanyol, dan Belanda. Sebagian besar *biofuel* yang diproduksi masih berasal dari bahan baku konvensional, seperti tebu atau sawit, sedangkan hanya 9% dari total *biofuel* yang diproduksi dari bahan baku nonpangan atau disebut *advance biofuel*.



**Gambar 2.16 Produksi *Biofuel* Global Berdasarkan Wilayah**

Sumber: IEA (2022)

Berdasarkan *Renewables 2022: Global Status Report*, terdapat 65 negara yang telah memiliki kewajiban pencampuran *biofuel* ke dalam pasokan bahan bakar mereka, termasuk di antaranya sejumlah negara yang melakukan perubahan kebijakan terkait pemanfaatan *biodiesel* pada 2021.

Seperti India, negara ini akan mempercepat target penggunaan 20% bioetanol dari semula pada tahun 2030 menjadi tahun 2025; Vanuatu berencana menggunakan 20% *biodiesel* pada 2030; sebaliknya Argentina berencana mengurangi mandatori *biodiesel* dari 10% menjadi 5% terkait isu harga.



**Gambar 2.17 Kebijakan Mandatori Biofuel di Beberapa Negara pada Akhir 2021**

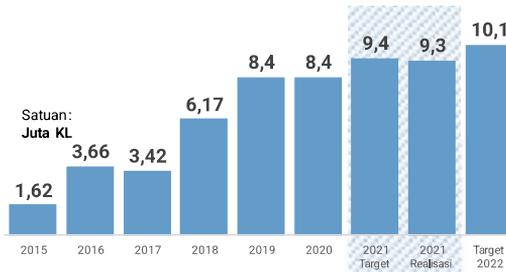
Sumber: REN21 (2022)

Implementasi mandatori penggunaan B20 telah dimulai sejak Januari 2016, dan telah berjalan dengan baik pada sektor PSO, melalui Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 32 Tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga BBN sebagai Bahan Bakar Lain sebagaimana telah diubah terakhir kali dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015. Sejak 1 September 2018, pemerintah memperluas mandatori B20 ke sektor non-PSO, seperti kelistrikan, pertambangan, perkeretaapian, industri, dan angkutan laut. Mandatori B20 tersebut ditingkatkan menjadi mandatori B30 pada Januari 2020. B30 adalah program pemerintah yang mewajibkan pencampuran 30% *biodiesel* dengan 70% bahan bakar minyak jenis solar, yang menghasilkan produk Biosolar B30.

Berdasarkan data Kementerian ESDM (2021), pemanfaatan *biofuel* meningkat tajam dari semula 1,62 juta KL pada tahun 2015 menjadi 9,3 juta KL pada tahun 2021. Pemanfaatan *biodiesel* melalui mandatori B30 pada tahun

2021 mencapai 9,3 juta KL, memberikan benefit antara lain penghematan devisa hingga Rp 66 triliun, penurunan emisi gas rumah kaca hingga 24,6 juta ton, termasuk penyerapan tenaga kerja hingga 1,1 juta jiwa. Program pemanfaatan BBN ini direncanakan pada 2022 mencapai 10,1 juta KL dan akan ditingkatkan hingga 13,9 juta KL pada tahun 2025.

Secara umum, tujuan implementasi program mandatori BBN antara lain memenuhi komitmen pemerintah untuk mengurangi emisi GRK sebesar 29% dari BAU pada 2030, meningkatkan ketahanan dan kemandirian energi, stabilisasi harga CPO, meningkatkan nilai tambah melalui hilirisasi industri kelapa sawit, memenuhi target 23% kontribusi EBET dalam total energy mix pada 2025, mengurangi konsumsi dan impor BBM, dan mengurangi emisi GRK. Program mandatori *biofuel* diharapkan dapat berkontribusi pada transformasi energi menuju pembangunan rendah karbon dan ketahanan iklim, mencapai kemandirian dan ketahanan energi dan pembangunan berkelanjutan.

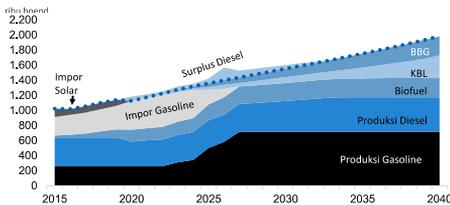


**Gambar 2.18 Realisasi Pemanfaatan Biodiesel untuk Domestik**

Sumber: KESDM (2022)

Dalam Grand Strategi Energi Nasional yang disusun pemerintah, peran *biofuel* cukup strategis dalam mendukung upaya mengurangi impor BBM. Mandatori *biodiesel* direncanakan

akan terus dipertahankan atau bahkan ditingkatkan, serta mengoptimalkan produksi BBN dalam negeri dengan target 238.000 bopd pada tahun 2030.



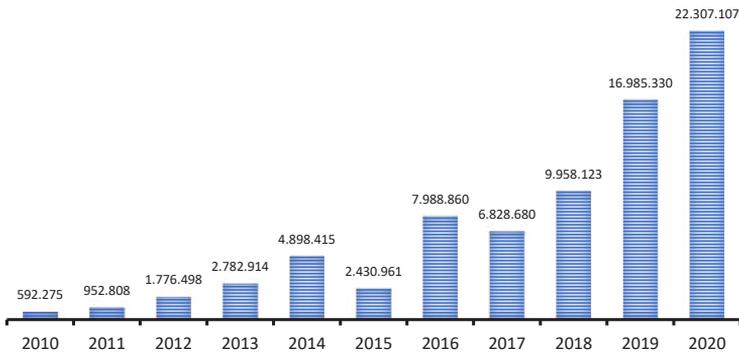
	2020	2025	2030	2040
<b>Kebutuhan BBM</b>	<b>1.126</b>	<b>1.359</b>	<b>1.553</b>	<b>1.982</b>
• Impor gasoline	381	194	-	-
• Kilang eksisting	641	641	641	641
• Tambahan kilang	-	290	532	532
• BBG	0,01	48	112	252
• KBL	0,62	37	77	300
• Biofuel	159	210	238	257
• Surplus diesel	55	61	47	-

**Gambar 2.19 Kebijakan Biofuel dalam Grand Strategi Energi Nasional**

Sumber: KESDM (2021)

Implementasi pencampuran *biodiesel* 30% (B30) juga berkontribusi pada rencana transisi energi nasional. Dalam rencana bauran energi nasional, energi fosil akan perlahan digantikan oleh EBET. Sejauh ini, bauran EBET sudah mencapai 11,5% dari total bauran energi primer. Dari angka tersebut, *biodiesel* menyumbang 35% dari total bauran energi terbarukan. Program mandatori B30 masuk sebagai salah satu upaya penurunan

emisi dari sektor energi dalam *Nationally Determined Contribution* sebagai bagian dari komitmen Indonesia dalam Peretujuan Paris. Berdasarkan data Kementerian ESDM (2021), selama satu dekade implementasi Program Mandatori *Biodiesel* telah berhasil menurunkan emisi GRK sebesar 77,5 juta ton CO<sub>2</sub>. Angka ini akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya implementasi *biodiesel* di Indonesia.

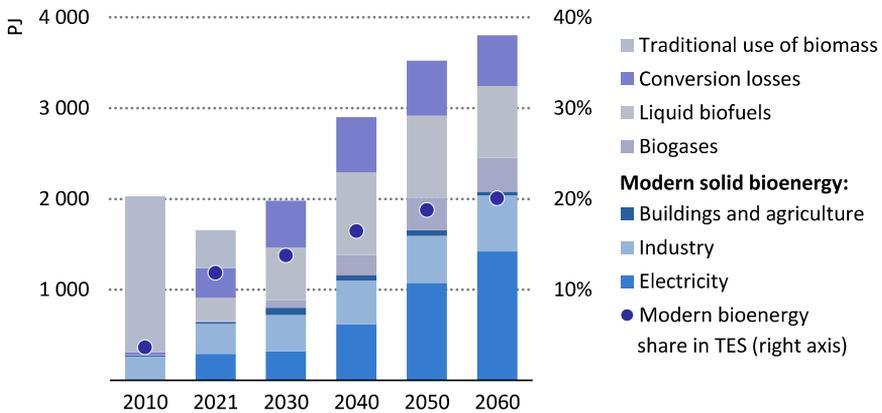


Gambar 2.20 Penurunan Emisi dari Pemanfaatan Biodiesel (Ton CO<sub>2</sub>)

Sumber: KESDM (2021)

Berdasarkan skenario IEA, kebutuhan *biofuel* di Indonesia meningkat 13% setiap tahun. Pemanfaatan *biofuel* sebesar 235 PJ pada tahun 2021 diprediksi akan menjadi 880 PJ pada tahun 2040, atau secara pangsa meningkat dari 12% menjadi 18%.

Dengan adanya kebijakan kendaraan listrik, ke depan, penggunaan *biofuel* difokuskan pada sektor kendaraan berat (*heavy truck*), transportasi laut dan udara, sehingga diproyeksikan pada tahun 2060 *demand biofuel* akan turun menjadi 700 PJ.



Gambar 2.21 Proyeksi Pemanfaatan Bioenergi di Indonesia

Sumber: IEA (2022)

Selain digunakan sebagai bahan baku untuk produksi FAME, sawit juga digunakan sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik (PLT) bioenergi. Saat ini telah terdapat PLT bioenergi dengan kapasitas total mencapai 351,25 MW. Berdasarkan data Kementerian ESDM, pemanfaatan sawit untuk sumber energi terbarukan berpotensi untuk terus dikembangkan.

Secara teoretis, sawit berpotensi dimanfaatkan menjadi energi dengan kapasitas 8.730 MW, terdiri atas potensi *palm oil mill effluent* (POME) atau limbah cair kelapa sawit diolah menjadi biogas sebesar 1.289 MW, potensi pemanfaatan *fiber* dan *shell* (cangkang) sawit hingga 5.244 MW, dan pembakaran tandan kosong/*combustion empty fruit bunches* (EFB) sebesar 2.197 MW.

Selain itu, ke depan, strategi pengembangan pemanfaatan sawit sebagai energi terbarukan akan dilakukan antara lain melalui peningkatan kapasitas pembangkit listrik berbasis limbah sawit; bio-CNG untuk pembangkit tenaga listrik, transportasi BBG, dan substitusi LPG; pemanfaatan *biofuel* (*biodiesel*, HVO, bensin sawit, bioetanol, dan bioavtur); serta pengembangan *pellet* biomassa berbasis limbah sawit untuk *cofiring* pada PLTU *existing*. Berdasarkan spesifikasi bahan baku, proses konversi, spesifikasi teknis bahan bakar, dan penggunaannya, *biofuel* dapat dibedakan menjadi beberapa generasi. Generasi pertama *biofuel* atau disebut *biofuel* konvensional merupakan *biofuel* yang dihasilkan dari tanaman pangan atau pakan ternak. *Biofuel* generasi ini diproduksi dari teknologi *proven*, seperti fermentasi, distilasi, dan transesterifikasi yang juga sering disebut sebagai *conventional biofuel*.

*Biofuel* generasi kedua adalah diolah/diproduksi dari nonbahan baku makanan, residu pertanian, residu hutan, dan bahan limbah lainnya, seperti minyak jelantah (*used cooking oil/UCO*) dan sampah kota. Selanjutnya terdapat pula *biofuel* generasi ketiga, yang dihasilkan dari mikroalga melalui transesterifikasi konvensional atau *hydro-treatment* minyak alga. *Biofuel* generasi kedua dan ketiga sering disebut sebagai *advanced biofuel*.

Penggunaan bahan baku generasi pertama menjadi perdebatan karena persaingan dengan produksi pangan, dan peningkatan permintaan akan produk pertanian berisiko meningkatkan deforestasi. Beberapa dari masalah ini dapat diatasi dengan menggunakan bahan baku generasi kedua. Namun, kelayakan ekonomi dari beberapa *biofuel* generasi kedua tetap memiliki ketidakpastian, terutama dalam situasi harga minyak yang rendah.

*Biofuel* generasi ketiga berpotensi menghindari masalah persaingan pangan dan lahan karena mikroalga dapat tumbuh di tanah yang tidak subur dan di air limbah, garam, atau air payau, dan tumbuh sangat cepat. Terlepas dari potensinya sebagai sumber bahan bakar

nabati, produksi bahan bakar nabati skala besar dari mikroalga masih tidak pasti terutama karena kurangnya kelayakan proses dan terbukti menjadi padat modal dan energi (Pessel, 2013; Zewdie, 2020). Berdasarkan struktur kimianya, terdapat dua jenis karakteristik *biofuel* berdasarkan kandungan oksigen, yaitu *oxygenated biofuel* dan *non-oxygenated biofuel*. *Oxygenated biofuel*, seperti halnya FAME ataupun bioetanol, mengandung komponen oksigen dalam komposisinya sehingga secara kimiawi berbeda dengan bahan bakar minyak konvensional yang hanya terdiri dari komponen karbon dan hidrogen. Dalam penggunaan jenis *oxygenated biofuel*, diperlukan penyesuaian/modifikasi pada *combustion engine* konvensional. Adapun jenis *non-oxygenated biofuel* tidak mengandung komponen *biofuel* sehingga dapat langsung di-*blending* dengan bahan bakar minyak konvensional, atau disebut *drop-in biofuel*. Ke depan, penggunaan *drop-in biofuel* diproyeksikan menggantikan BBM, yang disebut *green gasoline*, *green diesel*, dan *green avtur*.

#### **Biodiesel**

*Biodiesel* merupakan jenis *biofuel* yang paling umum digunakan saat ini, sebagian besar menggunakan bahan baku sawit. Sejumlah negara telah menerapkan mandatori penggunaan *biodiesel* pada berbagai variasi, seperti di Indonesia yang menggunakan campuran *biodiesel* hingga 30% sejak 2020 atau Thailand dengan campuran 20%. Dibandingkan BBM *gasoil* konvensional, *biodiesel* memiliki keunggulan lebih rendah emisi CO dan SO<sub>2</sub>. Namun, karena *biodiesel* memiliki kandungan oksigen, sehingga secara alamiah memiliki kandungan energi yang lebih rendah daripada *gasoil* konvensional. Kelemahan lainnya, *biodiesel* rentan terkontaminasi mikroorganisme apabila level *water content* di luar batas. *Biodiesel* diproduksi melalui proses kimia yang disebut transesterifikasi, dengan bantuan alkohol dan katalis untuk menghasilkan *fatty acid methyl esters* (FAME) dan *glycerol* sebagai produk samping.

**b Bioetanol**

Bioetanol konvensional diproduksi menggunakan bahan baku tebu atau tanaman pati, seperti jagung/singkong, sedangkan *advance bioethanol* diproduksi menggunakan *cellulosic biomass* ataupun alga. Kandungan oksigen dalam struktur kimia etanol menjadikan etanol memiliki bilangan oktan yang tinggi sehingga cocok digunakan sebagai komponen *blending gasoline* menggantikan *methyl tertiary buthyl ether* (MTBE). Meski demikian, etanol memiliki kelemahan *energy density* yang lebih rendah daripada *gasoline* konvensional dan sifatnya yang korosif. Produksi bioetanol konvensional menggunakan bahan baku tebu, yang kemudian difermentasikan menggunakan ragi sehingga menjadi etanol. Adapun untuk produksi etanol, digunakan *cellulosic biomass*, menggunakan tahapan proses yang lebih kompleks, antara lain hidrolisis dengan bantuan enzim dan juga fermentasi.

**c Drop-in Biofuel**

Drop-in *biofuel* merupakan pengembangan lebih lanjut dari *biofuel* konvensional melalui proses penghilangan kandungan oksigen. Secara struktur kimia, *drop-in biofuel* serupa dengan *petroleum hydrocarbon* sehingga memiliki beberapa keunggulan, antara lain dapat langsung digunakan untuk substitusi BBM konvensional dengan rasio *blending* yang lebih fleksibel, dapat menggunakan infrastruktur migas *existing* tanpa perlu melakukan modifikasi, dan memiliki *energy density* yang lebih tinggi.

Produksi *drop-in biofuel* dapat menggunakan beberapa mekanisme, antara lain oleokimia, termokimia, dan biokimia. Jenis *drop-in biofuel* yang diproduksi secara oleokimia antara lain *hydroprocessed esters and fatty acids* (HEFA), *hydrotreated vegetable oil* (HVO), dan *hydrotreated renewable oil* (HRO), menggunakan bahan baku serupa dengan

*biodiesel*, seperti sawit. Mekanisme termokimia digunakan untuk mengolah *lignocellulosic biomass* pada kondisi temperatur tinggi dan bantuan katalis untuk memproduksi BBM dan bahan kimia. Adapun proses biokimia digunakan untuk memproduksi bioetanol, dengan mengubah bahan baku tebu menjadi *less oxygenated biofuel* menggunakan bantuan mikroorganisme. Dalam praktiknya, produksi *drop-in biofuel* sering kali dikembangkan terintegrasi dengan kilang minyak *existing* atau disebut *co-processing* sehingga produksinya dapat langsung di-*blending* dengan BBM konvensional serta dapat langsung menggunakan fasilitas *existing*, seperti FCC, *hydrotreating*, dan *hydrocracking*.

**d Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)**

HVO merupakan salah satu jenis *drop-in biofuel* yang paling banyak diproduksi dengan menggunakan mekanisme oleokimia untuk memproduksi *green diesel*. Proses oleokimia digunakan untuk menghilangkan kandungan oksigen dalam minyak nabati melalui reaksi dengan hidrogen. Secara umum proses produksi HVO terdiri atas dua tahap, yaitu *hydrotreatment* untuk menghilangkan kandungan oksigen dan *hydrocracking* untuk memecah struktur kimia menjadi serupa dengan *petroleum oil*.

Secara umum, proses pengolahan ini sebagian besar menghasilkan *green diesel* dan sejumlah kecil *green avtur*, yang dipengaruhi jenis bahan baku, katalis, dan kondisi proses. Sebagian besar minyak nabati memiliki rantai karbon yang serupa dengan *gasoil*, yang menyebabkan sebagian besar produksi HVO akan menghasilkan *green diesel*. Apabila ingin menghasilkan lebih banyak produk *green gasoline* atau *green avtur*, dapat digunakan bahan baku yang berasal dari *camelina oil* dan *palm kernel oil*, atau mengubah kondisi di proses *hydrocracking*, tetapi dengan risiko menghasilkan *yield* yang lebih sedikit.

## e Produksi Biofuel dengan Termokimia

Penggunaan mekanisme termokimia untuk mengolah *lignocellulosic biomass* menjadi BBM pada prinsipnya dilakukan menggunakan dua mekanisme utama, yaitu kondisi temperatur tinggi dan proses kimia dengan bantuan katalis. Proses dengan temperatur tinggi atau disebut gasifikasi biomassa menghasilkan *syngas*. Proses gasifikasi terjadi pada kondisi tekanan 1-50 bar dan temperatur 800-1.000°C, menggunakan media bertekanan seperti udara, *steam*, atau oksigen. Produk *syngas* selanjutnya dapat diproses menjadi liquid dengan metode sintesis

*Fischer-Tropsch* (FT). Sintesis FT menggunakan katalis *iron* (temperatur 300-350°C) akan menghasilkan produk *gasoline*, sedangkan dengan menggunakan katalis kobalt pada temperatur 200-240°C akan menghasilkan produk diesel.

Pada proses pirolisis dihasilkan produk liquid yang disebut *biooil* atau *biocrude*, terjadi pada kondisi temperatur 500°C. Baik proses gasifikasi maupun pirolisis masih menghasilkan produk yang mengandung oksigen sehingga masih memerlukan proses deoksigenasi menggunakan bantuan hidrogen.

**Tabel 2.3 Perbandingan Tekno-Ekonomi Antarteknologi Biofuel**

Technology	HVO	HVO (UCO)	Gasification-FT	Pyrolysis
Fuel production cost per kg fuel	USD 0.92-1.06	USD 0.54-0.64	USD 0.67-0.82	USD 0.68-1.07
Share of: - feedstock cost - capital recovery - operational cost	66-68% 3-11% 21-31%	51%-55% 5-15% 30%-44%	17% 36% 46-47%	13-14% 16-36% 51-71%
Total capital investment	USD 0.2-0.8 billion	USD 0.2-0.8 billion	USD 1.2-2.2 billion	USD 0.8-1.8 billion
Feedstock cost per year	USD 480-578 million	USD 261-315 million	USD 71-117 million	USD 90-113 million
Operational cost per year	USD 178-229 million	USD 178-229 million	USD 253-305 million	USD 277-560 million
Reference basis	Jong et al. (2015)*, Clisic et al. (2016)	Jong et al. (2015)*, Clisic et al. (2016)	Jong et al. (2015), Dimitriou et al. (2018)	Jong et al. (2015), Hu et al. (2016), Carrasco et al. (2017)

\* using the total capital investment for Neste - Singapore (available in its supplementary document) instead of Neste Rotterdam used in the main document

Sumber: IESR (2021)

Berdasarkan penelitian International Council on Clean Transportation (ICCT), *cellulosic ethanol*, *biofuel* generasi kedua, bisa menjadi salah satu solusi ketersediaan bahan bakar nabati ramah lingkungan di masa mendatang. Hanya saja, pengembangannya butuh dukungan pemerintah. Melalui penggunaan teknologi *biofuel* generasi kedua, bahan baku

dari perkebunan kelapa sawit diolah menjadi bioetanol yang dapat dicampur dengan *gasoline* sehingga berpotensi mengurangi impor *gasoline* nasional. Dengan luasnya perkebunan kelapa sawit di Indonesia, industri *cellulosic ethanol* diharapkan bisa memanfaatkan kelebihan residu sawit yang diproduksi dari industri minyak sawit di Indonesia.

Dari tiga generasi *biodiesel*, saat ini Indonesia baru bergantung pada generasi pertama yang bersumber dari CPO. Adapun untuk *biodiesel* generasi kedua, yang perlu dipertimbangkan adalah pemanfaatan *used cooking oil* (UCO). Berdasarkan data BPS, produksi UCO/minyak jelantah di Indonesia mencapai 1,6 juta KL/tahun.

Kebijakan pengembangan *biofuel* lainnya ialah melalui pengembangan green diesel yang dilakukan PT Pertamina (Persero), baik secara *co-processing* maupun stand alone.

Green diesel (D100) merupakan produk turunan lain dari bahan baku *biodiesel* yang melalui pengolahan dengan mekanisme *refined, bleached, and deodorized palm oil* (RBDPO). D100 berpotensi digunakan untuk pengembangan B30 berikutnya, menggantikan campuran diesel murni mempertimbangkan campuran *biodiesel* yang sulit ditingkatkan lagi. Misalnya, ke depan, komposisi B30 terdiri dari FAME 30%, D100 20%, dan solar 50%. Pertamina juga sedang mengembangkan produk *green avtur*, untuk bahan bakar pesawat terbang, dan *green gasoline*, sebagai pengganti bensin. Pengembangan *green gasoline* dengan skema *co-processing* dikembangkan Pertamina di Kilang RU III Plaju. Dengan rencana pengembangan kendaraan

listrik yang akan semakin masif ke depan, pasar *biofuel* di sektor transportasi darat diprediksi akan semakin berkurang sehingga arah potensi pengembangan *biofuel* ke depan dititikberatkan pada sektor transportasi laut dan transportasi udara. Selain itu, beberapa tantangan ke depan dalam pengembangan *biodiesel* berbasis sawit di Indonesia antara lain:

- 1 Perkebunan ataupun industri sawit harus memenuhi kaidah keteknikan dan lingkungan yang baik sehingga ramah lingkungan dan tidak menambah emisi karbon.
- 2 Pemanfaatan *biodiesel* saat ini masih bergantung pada insentif dana sawit akibat harga yang masih tinggi. Perlu dirumuskan suatu kebijakan agar pemanfaatan *biodiesel* dapat lebih berkelanjutan.
- 3 Bahan baku pendukung, seperti metanol dan katalis, masih diimpor. Perlu terobosan teknologi agar bahan pendukung yang diperlukan dapat diproduksi di dalam negeri, dengan menggunakan sumber daya yang ada di Indonesia, termasuk upaya untuk meningkatkan kualitas *biodiesel* dan mengurangi potensi terjadinya peningkatan *water content*.

### II.1.4.1 PENGEMBANGAN SAF

Sektor penerbangan internasional di bawah naungan International Civil Aviation Organization (ICAO) telah mengeluarkan target jangka panjang, yaitu tercapainya penurunan emisi sebesar 50% di bawah level emisi tahun 2005 pada tahun 2050. Beberapa upaya yang dicanangkan oleh ICAO untuk mencapai target tersebut, antara lain, adalah *carbon offsetting and reduction scheme for international aviation* (CORSIA) dan penggunaan *aviation biofuel*. Pengembangan *sustainable aviation fuel* (SAF) merupakan salah satu upaya mengurangi emisi GRK dari sektor aviasi.

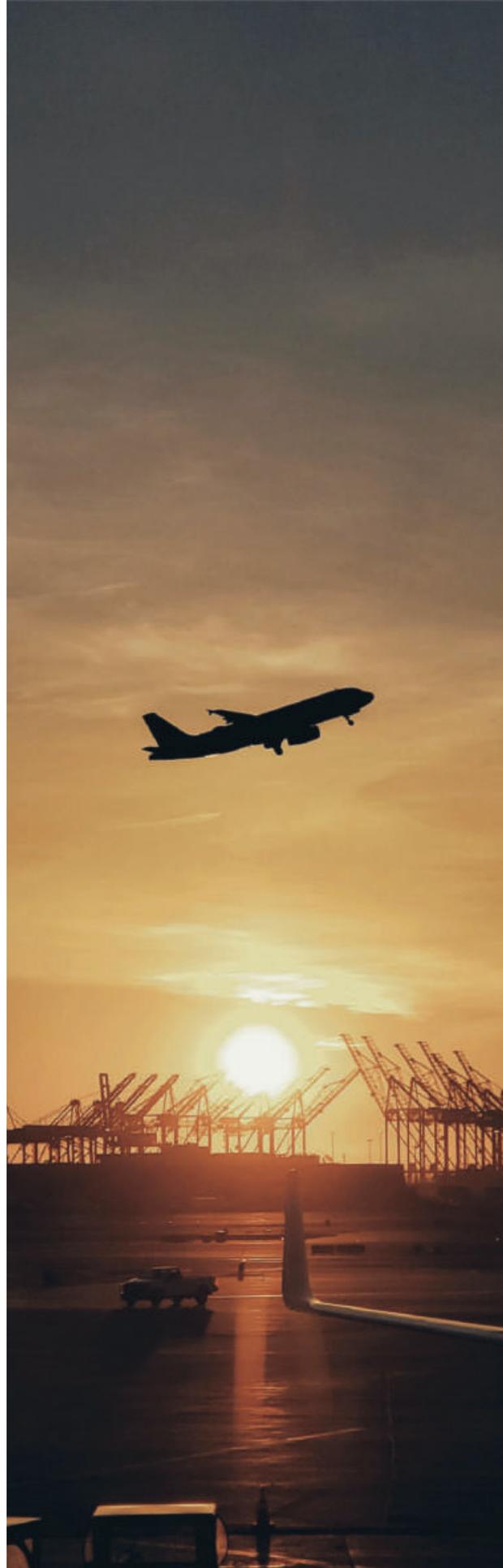
Meski demikian, saat ini pengembangan SAF belum menarik dari sisi keekonomian. Diperlukan sejumlah kebijakan insentif dan pengembangan teknologi agar dapat memproduksi SAF dengan lebih efisien, termasuk dengan menggunakan alternatif bahan baku yang berkelanjutan. Pada tahun 2030, permintaan SAF diperkirakan dapat mencapai 150 kb/day (Wood Mackenzie, 2022), sedangkan kebutuhan pada tahun 2050 diperkirakan akan meningkat hingga 0,8 juta b/d atau 10% dari total kebutuhan bahan bakar aviasi.

Di Indonesia, Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015 telah mengatur kewajiban pencampuran bahan bakar nabati dalam bahan bakar jenis avtur dengan persentase sebesar 3% pada tahun 2020, dan pada tahun 2025 akan meningkat menjadi 5%. Namun, implementasi pencampuran bioavtur belum berjalan karena berbagai kendala, antara lain berkaitan dengan ketersediaan produk bioavtur, teknologi proses, dan juga keekonomiannya.

PT Pertamina (Persero) bersama ITB dan Kementerian ESDM mulai menginisiasi pengembangan bioavtur sejak tahun 2020, yang saat ini telah berhasil memproduksi bioavtur dengan persentase 2,4% atau J2,4. PT Pertamina (Persero) dan ITB melakukan uji coba *co-processing kerosene* dengan minyak nabati untuk menghasilkan *prototype* produk bioavtur. Serangkaian uji karakteristik material bahan bakar telah dilakukan, meliputi titik nyala densitas, titik beku, kestabilan termal JFTOT, aromatik, titik kabut, LHV, viskositas, dan *specific gravity*.

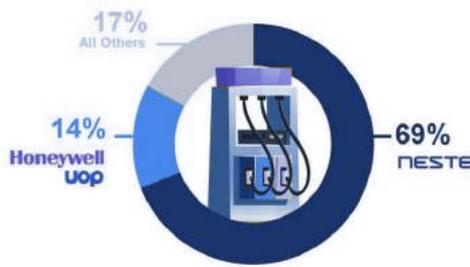
Pelaksanaan pengembangan bioavtur dilakukan di Unit Treated Distillate Hydro Treating (TDHT) Refinery Unit (RU) IV Cilacap PT Pertamina (Persero) yang menghasilkan J2,0 pada tahun 2020 dan J2,4 pada awal tahun 2021. Adapun bahan bakar campuran bioavtur dihasilkan dari bahan baku 2% dan 2,4% *refined bleached degummed palm kernel oil* (RBDPKO) dengan menggunakan katalis merah putih. Produk ini telah berhasil melakukan uji terbang pada 8-10 September 2021 dengan melakukan penerbangan pada ketinggian 10.000 dan 16.000 kaki. Hasil pelaksanaan uji terbang menunjukkan bahwa *performance engine* dan indikator-indikator yang terdapat di kokpit menunjukkan kesamaan antara penggunaan bahan bakar Jet A1 dan J2,4.

Terkait dengan pengembangan HVO ataupun SAF secara global ke depan, Irena menyatakan bahwa stabilitas regulasi merupakan faktor yang paling penting di sektor energi, di samping ketersediaan biaya investasi.



Keberhasilan pengembangan SAF dan HVO juga perlu ditunjang dari subsidi dan mandatori *blending*. Selain itu, terdapat pula faktor keterbatasan bahan baku dengan mempertimbangkan persaingan bahan baku untuk memproduksi *biodiesel*. Di dunia industri penerbangan saat ini telah ada 200.000 penerbangan komersial yang menggunakan SAF sejak tahun 2011 dengan total bahan bakar 1,6 miliar galon SAF (BPDPKS, 2021). Berdasarkan proyeksi ICAO, untuk memenuhi kebutuhan SAF ke depan, diperlukan 170 pabrik SAF dari tahun 2020 hingga 2050,

dengan estimasi biaya investasi USD 15 miliar hingga USD 60 miliar per tahun. Neste menjadi produsen pabrik HVO terbesar di dunia dengan pangsa pasar mencapai 68% (BPDPKS, 2021). Neste memiliki beberapa pabrik dan tiga di antaranya merupakan pabrik terbesar di dunia, dengan bahan bakar yang dihasilkan adalah *green diesel* dan *green jet fuel*. Selain itu, UOP Honeywell juga berkontribusi sebesar 14% pangsa pasar teknologi HVO. Perusahaan ini fokus pada jasa pengembangan teknologi pengolahan minyak dengan output bahan bakar adalah *green fuel*.



Gambar 2.22 Pemain Global untuk Bahan Bakar HVO dan SAF

Sumber: BPDPKS (2022)

Tren penggunaan SAF secara global pun terus meningkat belakangan ini seiring dengan target International Air Transport Association (IATA) untuk mencapai *net-zero emission* pada tahun 2050. Pengurangan emisi tersebut salah satunya dicapai dengan penggunaan SAF, untuk mengurangi emisi hingga 65% dari target. Pun halnya sejumlah negara, seperti Norwegia, Swedia, Belanda, dan Finlandia, telah menetapkan kebijakan penggunaan SAF di negaranya masing-masing. Adapun di kawasan Uni Eropa, ReFuelEU Aviation Initiative telah mengusulkan mandatori penggunaan SAF di Uni Eropa sebesar 2% mulai tahun 2025 hingga mencapai 63% pada tahun 2050 (McKinsey, 2025). Tren penggunaan SAF juga berlangsung di Amerika Serikat. Pemerintahan Presiden Joe Biden telah mengusulkan penggunaan 3 miliar galon SAF pada 2030 dan penggunaan 100% SAF pada tahun 2050.

Sejumlah maskapai pun telah menetapkan kebijakan penggunaan SAF sebesar 10% pada tahun 2030, seperti American Airlines, DELTA, United Airlines, dan Qatar Airways. Terdapat sejumlah teknologi untuk menghasilkan SAF yang bersumber dari biological dan limbah organik dengan proses *hydroprocessed esters and fatty acids* (HEFA), merupakan teknologi yang paling banyak digunakan untuk menghasilkan SAF secara komersial saat ini.

Berikut adalah beberapa teknologi pengolahan SAF yang telah tersertifikasi:

1 **Fischer-Tropsch (FT)**

Proses FT dilakukan dengan mekanisme pembentukan sintesis gas melalui penghilangan komponen karbon, untuk kemudian disintesis kembali menjadi SAF.

**b** *Hydrotreated Esters and Fatty Acids (HEFA)*

Teknologi HEFA mendominasi proses produksi SAF secara global hingga 95%. Pada dasarnya proses HEFA merupakan proses hidrogenasi yang menggunakan bahan baku *vegetable oil* atau *animal lipid*, dengan metode yang hampir sama dengan proses produksi HVO.

**c** *Synthesized Iso-Paraffins (SIP)*

Metode SIP menggunakan mikrobiologi dengan mengubah gula (C6) menjadi *farnasene*, untuk kemudian dengan bantuan hidrogen diproses menjadi SAF.

**d** *Alcohol to Jet (AtJ)*

Teknologi ini memproses alkohol menjadi SAF dengan menghilangkan oksigen dan menggabungkan antarmolekul untuk memperoleh rantai karbon yang panjang.

**e** *Catalytic Hydrothermolysis (CHJ)*

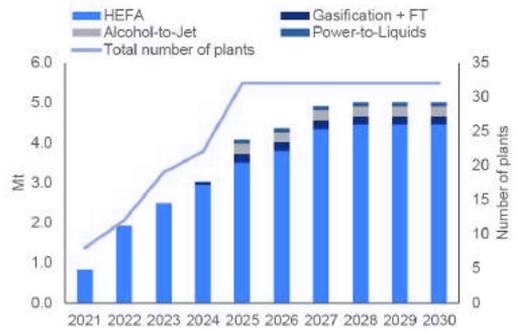
Teknologi ini mengolah *fatty acid esters* dan *free fatty acids* menjadi SAF melalui proses *catalytic hydrothermolysis*, yang kemudian diikuti *hydrotreatment*, *hydrocracking*, atau *hydroisomerization* dan *fractionation*.

**f** *Hydroprocessed Hydrocarbons, Esters, and Fatty Acids (HC-HEFA)*

Teknologi ini serupa dengan proses HEFA, tetapi menggunakan biomassa berbasis alga, yaitu *Botryococcus braunii*.

**g** *Co-processing*

Teknologi *co-processing* pada kilang minyak *existing* juga dapat digunakan untuk memproduksi SAF, selain menghasilkan *green diesel* atau *green gasoline*.



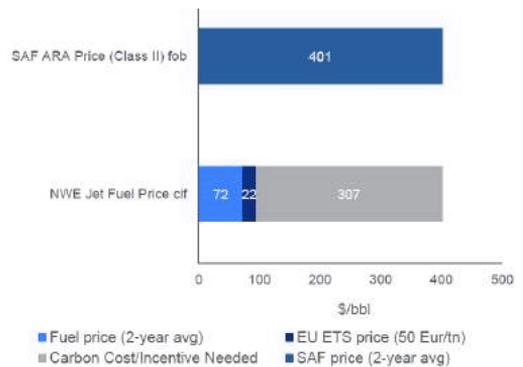
**Gambar 2.23 Kapasitas Produksi SAF Global Berdasarkan Teknologi**

Sumber: Wood Mackenzie (2022)

Ke depan, terdapat sejumlah tantangan dalam pengembangan SAF, antara lain faktor harga, ketersediaan bahan baku, dan pengembangan e-fuel.

**a** *Harga*

Berdasarkan Wood Mackenzie (2022), harga SAF di wilayah Eropa (ARA: Rotterdam/Amsterdam/Antwerp) dapat mencapai empat kali lipat dibandingkan *jet fuel* konvensional. Diperlukan kebijakan seperti *carbon cost* ataupun insentif harga agar pengembangan *jet fuel* dapat bersaing dengan bahan bakar konvensional.



**Gambar 2.24 Perbandingan Harga Jet Fuel dan SAF di Wilayah ARA**

Sumber: Wood Mackenzie (2022)

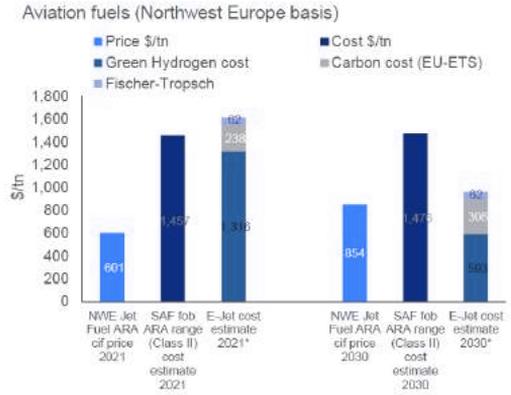
**b Ketersediaan bahan baku**

Dengan semakin meningkatnya permintaan *biofuel* secara global, terdapat potensi adanya kompetisi permintaan bahan baku *vegetable oil* ke depan. Sebagai solusi alternatif, ke depan, pengembangan SAF didorong menggunakan bahan baku yang berasal dari limbah, seperti minyak jelantah, limbah biomassa, dan juga limbah industri.

**c Pengembangan e-fuel**

*Electrofuels*, atau disebut *e-fuel*, atau bahan bakar sintesis, merupakan jenis bahan bakar alternatif pengganti *drop-in*. Bahan bakar ini diproduksi menggunakan karbon dioksida atau karbon monoksida yang ditangkap, bersama dengan hidrogen yang diperoleh dari sumber energi terbarukan, seperti angin, matahari, dan tenaga nuklir. *Liquid synfuel* dapat langsung digunakan tanpa

perlu modifikasi engine. Pun, ke depan, diprediksi biaya produksi *green hydrogen* di Eropa akan menurun signifikan sehingga pada tahun 2030 harga *e-fuel* dapat kompetitif dengan SAF (Wood Mackenzie, 2022).



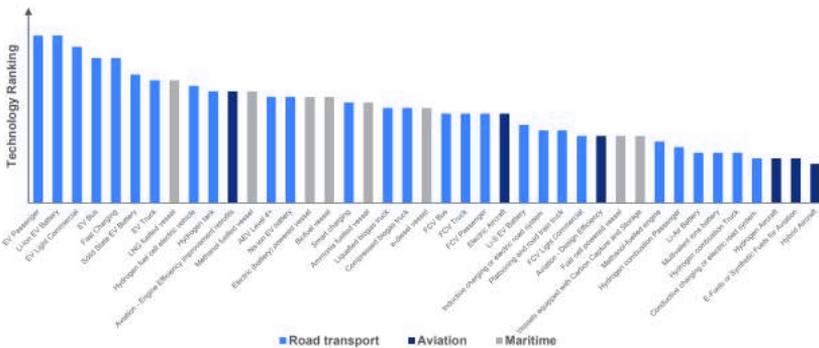
**Gambar 2.25 Perbandingan Harga E-fuel dan SAF**

Sumber: Wood Mackenzie (2022)

**II.1.5 FUEL EFFICIENCY IMPROVEMENT**

Laporan Wood Mackenzie menunjukkan bahwa pada sektor transportasi, elektrifikasi merupakan teknologi yang paling berkembang. Adapun kendaraan dengan bahan bakar berbasis hidrogen masih tertinggal karena

biaya dan tantangan teknis, tetapi hidrogen menawarkan potensi yang lebih baik dalam hal dekarbonisasi untuk penerbangan dan transportasi laut.

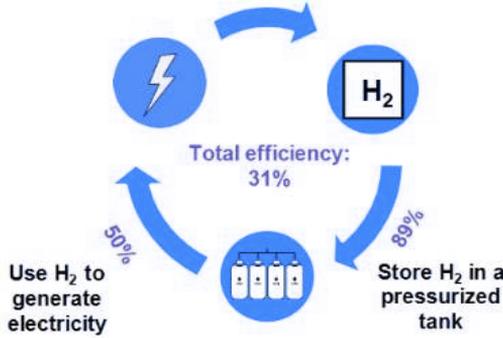


**Gambar 2.26 Transport Leaderboard**

Sumber: Wood Mackenzie

Tantangan kendaraan hidrogen adalah pada aspek biaya yang masih tinggi. Bahkan, jika *fuel cell* digunakan secara luas dan menjadi lebih murah, kendaraan ini menghadapi masalah selanjutnya, yaitu biaya bahan bakarnya. Saat ini, satu *joule* listrik yang digunakan

kendaraan hidrogen hanya mencapai 0,31 *joule* listrik untuk menggerakkan mobil (tidak memperhitungkan efisiensi motor dalam mengubah listrik menjadi gaya dorong ke depan).

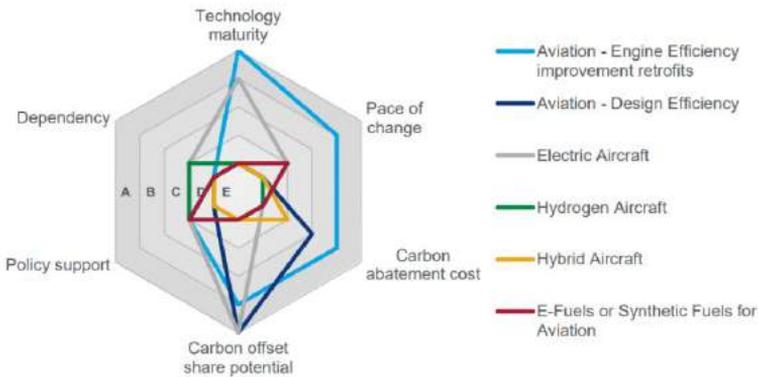


**Gambar 2.27 Efisiensi Kendaraan Hidrogen**

Sumber: BloombergNEF

Pada sektor aviasi, perkembangan teknologi telah menunjukkan peningkatan efisiensi dengan biaya yang lebih rendah. Retrofit pada mesin dapat membutuhkan bahan bakar yang lebih rendah per kilometer penumpang. Beberapa efisiensi desain di bidang aerodinamika juga dapat meningkatkan

efisiensi walaupun masih membutuhkan waktu untuk direalisasikan. Baterai listrik dan pesawat berbahan bakar H<sub>2</sub> memerlukan desain dan pesawat baru untuk mengisi bahan bakar sehingga biaya pengurangan karbon menjadi tinggi.

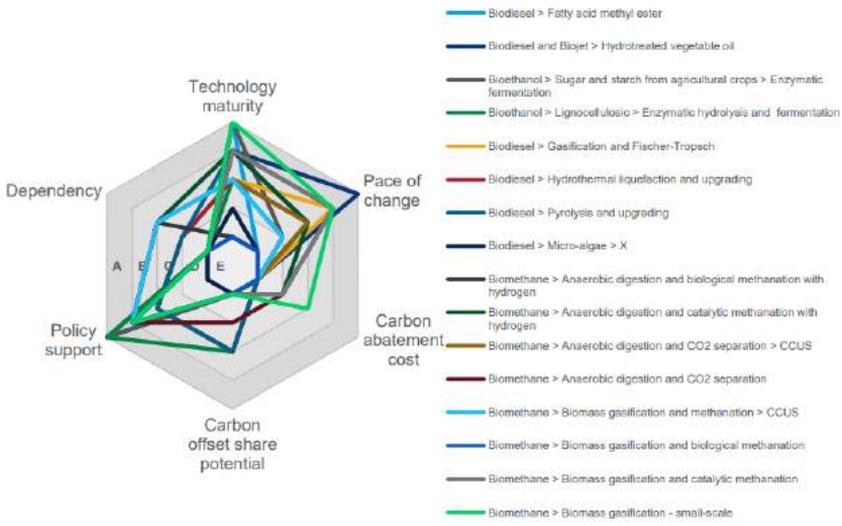


**Gambar 2.28 Teknologi Aviasi**

Sumber: Wood Mackenzie

*Biofuel* telah digunakan untuk mendekarbonisasi pada sektor transportasi dengan dukungan kebijakan dan teknologi, tetapi masih menghadapi tantangan pada

aspek bahan baku yang tinggi dan belanja modal pabrik *biofuel* sehingga membatasi potensi pengembangan *biofuel*.



Gambar 2.29 Teknologi Biofuel

Sumber: Wood Mackenzie

Perkembangan teknologi *carbon capture, utilization, and storage* (CCUS) secara umum masih membutuhkan tingkat *maturity* yang lebih tinggi. Teknologi CO<sub>2</sub> *capture* saat ini memiliki biaya pengurangan karbon tertinggi, khususnya *direct air capture* yang juga merupakan salah satu teknologi yang masih

kurang *mature*. Walaupun demikian, teknologi CCUS ini mempunyai beberapa tren ke depan, antara lain berpotensi memanfaatkan CO<sub>2</sub> secara langsung, serta penurunan biaya atas komersialisasi industri listrik, semen, besi, dan baja yang akan meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub>,

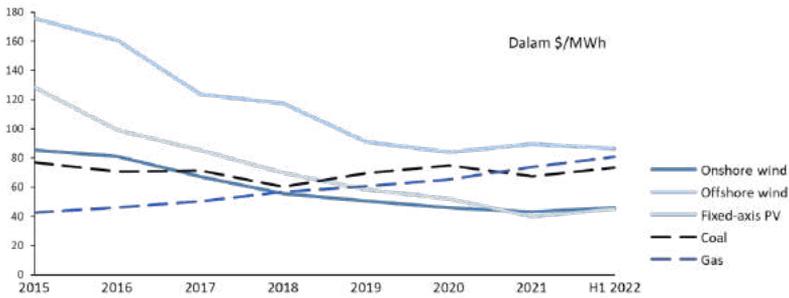
### II.1.6 LCOE/COST EFFICIENCY IN POWER

Berbicara tentang transisi energi, tentu tidak bisa dilepaskan dari keekonomian proyek energi bersih atau terbarukan dibandingkan dengan penggunaan energi *existing*, seperti minyak gas dan *coal*. Pemain bisnis energi di dunia tentulah memperhatikan aspek keekonomian dalam pengembangan transisi energi guna memastikan bisnis yang dijalankan dapat *sustain* dan mampu menghasilkan keuntungan secara maksimal. Oleh karena itu, dalam ekosistem bisnis energi ini dikenal istilah LCOE. LCOE atau *levelized cost of electricity* adalah standar yang digunakan untuk

mengukur total biaya pembangkit listrik rata-rata per megawatt jam selama masa proyek. Hal-hal yang memengaruhi nilai LCOE antara lain adalah:

- a) *capital investment* (capex) termasuk konstruksi, peralatan, dan *engineering*;
- b) *operations and maintenance* (O&M or opex);
- c) *capacity factor* dan efisiensi untuk menentukan energi yang dihasilkan;
- d) biaya bahan bakar;
- e) pajak dan biaya-biaya lainnya.

Secara garis besar, perkembangan LCOE, khususnya untuk energi terbarukan, dapat dilihat pada grafik berikut:



**Gambar 2.30 Historical LCOE**

Sumber: BloombergNEF 2022 (diolah)

Dari grafik di atas terlihat bahwa dalam tujuh tahun terakhir LCOE dari energi terbarukan, khususnya *photovoltaic*/fotovoltaik (PV) dan angin, dari tahun ke tahun terus menunjukkan tren penurunan. Bahkan, pada tahun 2019, LCOE dari PV dan angin sudah lebih kecil dibandingkan dengan *coal* dan gas. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal, antara lain adalah turunnya harga turbin di Tiongkok yang mendorong turunnya LCOE *offshore wind* secara global. Sementara untuk LCOE PV, sangat didorong oleh harga modul PV yang terus menurun sejak 2010 dengan rata-

rata penurunan tahunan mencapai 5,4%. Harga LCOE di atas dengan catatan belum ditambahkan dengan LCOE dari *storage*, terutama untuk energi surya yang bersifat intermiten sehingga memerlukan tambahan investasi *storage* guna dapat menggantikan sumber energi *base load* yang telah digunakan selama ini.

Berikut adalah gambaran perbandingan LCOE energi terbarukan dengan energi fosil pada beberapa negara di Asia Pasifik.

**Tabel 2.4 Perbandingan LCOE Negara Asia Pasifik**

Negara	Premium Energi Terbarukan (%)	Fossil Fuel (\$/MWh)	Onshore Wind LCOE (\$/MWh)	Solar PV (\$/MWh)
India	-29%	72	72	51
China	-23%	68	52	60
Australia	-12%	63	55	60
Korea Selatan	1%	95	155	96
Pakistan	10%	71	78	80
Singapore	13%	84	-	95
Taiwan	16%	78	116	90
Indonesia	18%	81	125	95
Vietnam	28%	72	100	92
Phillipina	33%	68	96	90
Thailand	34%	53	123	70
Malaysia	47%	53	-	79
Japan	70%	92	158	156

Sumber: Wood Mackenzie Insight (2022), diolah

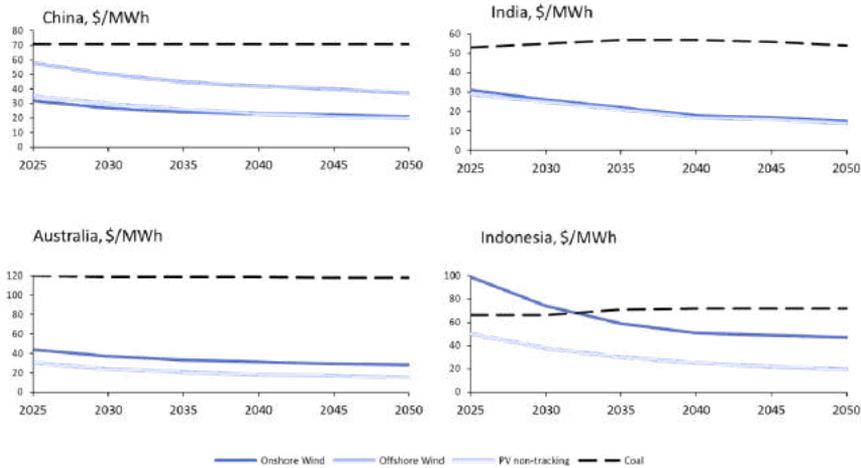
Beberapa catatan terkait tabel di atas antara lain:

a Energi terbarukan telah menjadi sumber energi termurah di India dan Tiongkok saat ini. India menjadi pemimpin dalam biaya untuk sumber energi matahari yang didorong oleh biaya konstruksi dan tenaga kerja yang rendah dan juga potensi energi matahari yang besar. Sementara Tiongkok menjadi pemimpin dalam biaya untuk sumber energi bayu dengan besarnya potensi sumber energi tenaga bayu di negara tersebut, dan banyaknya investor atau pemain dalam negeri yang menyebabkan kompetisi pasar yang mendorong semakin kompetitifnya harga energi untuk sumber tenaga bayu.

b LCOE energi surya di Tiongkok dan Australia relatif sama. Akan tetapi, disebabkan oleh hal yang berbeda, Tiongkok lebih didorong oleh biaya investasi yang rendah, sedangkan Australia didorong oleh *solar insolation* yang lebih baik.

c Semua negara di kawasan Asia Tenggara rata-rata memiliki LCOE untuk sumber tenaga matahari yang lebih rendah dibandingkan tenaga bayu. Hal ini dipengaruhi oleh potensi pengembangan tenaga matahari yang lebih besar dibandingkan potensi dari sumber tenaga bayu.

Berikut adalah proyeksi LCOE di beberapa negara Asia Pasifik:



Gambar 2.31 Proyeksi LCOE Beberapa Negara Asia Pasifik

Sumber: BloombergNEF (2022), diolah

Seperti terlihat pada grafik di atas, secara garis besar proyeksi LCOE untuk energi terbarukan, khususnya tenaga angin dan matahari, akan semakin murah dan jauh lebih kompetitif dibandingkan dengan sumber fosil, seperti *coal*. Biaya energi terbarukan diproyeksikan akan terus mengalami penurunan dengan rata-rata (CAGR) per tahun sekitar 3% dari tahun

2022 hingga tahun 2050, dengan energi matahari + *storage* diproyeksikan mengalami penurunan yang lebih tajam sebesar 3,4% per tahun dibandingkan dengan sumber energi angin + *storage* sebesar 2,5% per tahun. Di Asia Pasifik, energi matahari + *storage* diproyeksikan akan mencapai paritas dengan gas pada 2030 dan coal pada 2038.

Secara garis besar, LCOE sumber energi terbarukan + *storage* baru akan kompetitif dibandingkan dengan sumber dari gas pada akhir 2030-an. Hasil proyeksi menunjukkan bahwa LCOE global untuk sumber listrik tenaga angin dan matahari akan semakin kompetitif di-*drive* oleh teknologi yang semakin baik,

yang menyebabkan penurunan LCOE-nya, dan juga di-*drive* oleh kesadaran negara-negara di dunia untuk menggunakan listrik dari sumber energi bersih sehingga mendorong penerapan ekonomi karbon yang lebih mendukung implementasi penggunaan energi bersih ke depan.

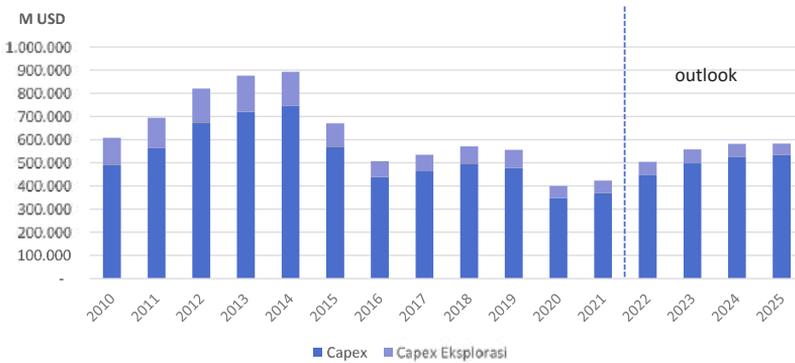
## II.2 INVESTASI DAN KAPASITAS (TERMASUK CADANGAN)

### II.2.1 MINYAK BUMI

#### II.2.1.1 TREN GLOBAL

Dengan peningkatan komitmen transisi energi dan pencapaian *net-zero emission* secara global, sektor energi fosil merupakan sektor yang terpapar risiko transisi, seperti risiko kebijakan dan legal, teknologi, pasar, dan reputasi. Di sektor migas, seperti yang terjadi pada 26 Mei 2021, tiga perusahaan minyak besar, yaitu ExxonMobil, Chevron, dan Shell, mendapat

tekanan transisi energi dari pemegang saham dan aktivis lingkungan (Forbes, 2021). Tidak hanya perusahaan minyak besar, Negara Bagian Texas di Amerika Serikat, yang merupakan negara bagian produsen migas, juga mengalami tekanan dari investor dan bank yang memboikot perusahaan energi fosil di negara bagian tersebut. (SPGlobal, 2022).



**Gambar 2.32 Tren dan Outlook Investasi Hulu Migas**

Sumber: Rystad Energy Ucube (diolah)

Dalam sebuah laporan dari IEF & IHS Markits (2021), sektor hulu migas telah mengalami penurunan investasi sebesar 30% pada tahun 2020 menjadi USD 309 miliar. Nilai tersebut sedikit pulih pada tahun 2021, yaitu sekitar USD 341 miliar. Namun, investasi migas belum pulih ke tingkat sebelum pandemi. Sementara itu, berdasarkan laporan dari IEA (2022),

investasi total sektor hulu migas diperkirakan akan pulih 10% pada tahun 2022 meskipun nilai ini masih 20% lebih rendah daripada tingkat sebelum pandemi. Dari pemulihan investasi tersebut, hanya NOC Timur Tengah yang melakukan investasi dengan nilai melebihi tingkat sebelum pandemi.

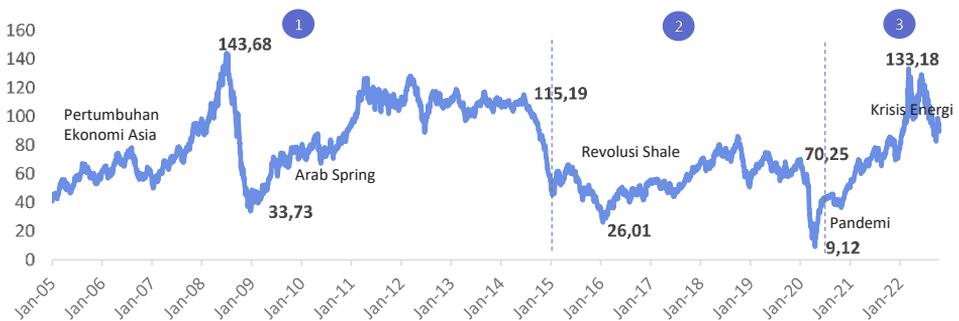
Selain itu, investasi untuk lapangan baru telah kembali dalam tren yang meningkat meskipun pengeluaran investasi masih didominasi lapangan *existing* dan *shale*. Diperkirakan *oil majors* menghasilkan laba yang lebih besar daripada tahun 2021 walaupun sebagian besar akan digunakan untuk membayar utang dan memberikan pengembalian kepada pemegang saham; sisanya dapat digunakan untuk merealisasikan rencana investasi 2022. Namun, tantangan pada tahun 2022 terdapat pada masalah inflasi biaya sebesar lebih dari 25% sejak 2020, terutama karena peningkatan biaya *material input*.

Deloitte (2022) melaporkan bahwa sektor hulu migas dalam beberapa tahun terakhir mengalami kekurangan investasi yang disebabkan oleh rangkaian disrupsi. Beberapa rangkaian disrupsi yang terjadi adalah kelebihan pasokan *shale* pada periode 2014-2016, diikuti kelebihan pasokan OPEC pada periode 2015-2016, yang menyebabkan penurunan tajam harga minyak dan berimplikasi pada pemangkasan biaya, termasuk biaya investasi di beberapa perusahaan migas. Kurangnya investasi pada periode tersebut menyebabkan ketatnya pasokan yang mendorong peningkatan harga minyak pada periode 2018-2019. Selanjutnya, pada periode 2020-2021 terjadi pandemi Covid-19, yang kembali menjatuhkan harga minyak.

Namun, hal itu kemudian diikuti dengan kebijakan pengetatan pasokan dari OPEC dan *supercycle* komoditas sehingga harga minyak mengalami uptrend hingga 2022.

Kurangnya investasi di hulu migas dilaporkan juga oleh IEA yang dikutip oleh ING (2022), bahwa investasi tahunan hulu migas mengalami puncak pada tahun 2014, yaitu sebesar USD 780 miliar. Situasi kurangnya investasi hulu migas menimbulkan kekhawatiran terjadinya *supply shock* di masa mendatang, seperti yang dipaparkan juga oleh IEF & IHS Markits (2021), bahwa dalam beberapa dekade lalu, kurangnya investasi memberikan sinyal risiko tinggi kurangnya pasokan dalam beberapa tahun kemudian.

Namun, Covid-19 memberikan dampak lebih lanjut pada rendahnya investasi hulu. Sebagai contoh, pasca-Covid-19, dengan harga minyak yang tinggi hingga 2022, dan tingkat arus kas yang besar, produsen *shale* di AS berfokus pada disiplin modal karena tekanan dari pemegang saham yang mengharapkan tingkat pengembalian, terutama karena kekhawatiran terhadap masa depan industri tersebut (S&P Global Platts, 2021; ING, 2022; Argus, 2022). Hal itu berbeda dengan periode harga tinggi sebelumnya yang memicu produsen *shale* untuk meningkatkan investasinya.



Gambar 2.33 Tren Harga Minyak Mentah Jenis Brent (USD/Bbls)

Sumber: S&P Global Platts dan PEI (diolah)

Dalam kurun waktu 2005 hingga 2022, terdapat tiga narasi yang berbeda di sektor migas:

- 1 Pertumbuhan ekonomi Asia diikuti krisis keuangan global yang melambatkan ekonomi. Pemulihan harga minyak pada awal 2009 terjadi karena OPEC segera memangkas produksi yang kemudian diikuti pemulihan ekonomi pascakrisis, dan terjadinya Arab Spring. Dalam periode ini, pandangan terhadap harga minyak adalah tinggi untuk jangka panjang dengan munculnya narasi *peak oil supply*.
- 2 *Shale oil* menjadi efisien dan mulai menjadi *swing producer*, serta terjadi pelemahan permintaan karena pelambatan perekonomian Tiongkok dan Amerika Serikat. Pada periode ini, revolusi *shale* membentuk sebuah narasi bahwa sektor migas akan berada dalam harga rendah untuk jangka waktu lama. Keberhasilan revolusi *shale* segera mematahkan pandangan *peak oil supply*. Muncul berbagai narasi bahwa sektor migas ke depan harus beroperasi dalam harga rendah (*lower for longer*). Berdasarkan laporan dari Rystad, sejak 2014 terjadi penurunan temuan cadangan migas secara global.
- 3 Perang harga Arab Saudi dan Rusia diikuti pandemi Covid-19. Banyaknya pasokan minyak mentah dan berkurangnya permintaan secara drastis menurunkan harga minyak mentah. Dalam periode ini terjadi peningkatan komitmen global atas transisi energi. Pandangan-pandangan mengenai *peak oil demand* mulai menguat. Terdapat berbagai perkiraan bahwa *peak oil demand* akan menjadi lebih cepat karena didorong pandemi Covid-19 dan komitmen transisi energi, walaupun pandangan tersebut masih belum terbukti dengan tren peningkatan permintaan dan krisis energi saat ini.

Salah satu penyebab dari rendahnya investasi di hulu migas adalah narasi atas permintaan. Kekhawatiran terhadap masa depan sektor hulu migas, terutama minyak, terjadi karena

munculnya narasi mengenai *peak oil demand* (IEF & IHS Markits, 2021; ING, 2022). *Peak oil demand* akhir-akhir ini muncul dalam berbagai *outlook* dari sejumlah institusi terkait transisi energi dan pencapaian Persetujuan Paris.

Sebagai contoh, *World Energy Outlook* dari IEA (2022b) yang memproyeksikan *peak oil demand* pada 2024 untuk skenario APS (Announced Pledges Scenario) dan 2035 untuk skenario STEPS (Stated Policies Scenario). Permasalahannya, pandangan atas *peak oil demand* tidak hanya berbeda antarinstitusi, tetapi juga terjadi koreksi dalam periode rilis *outlook* yang berbeda. Misalnya, pandangan bahwa *peak oil demand* sudah terlewati pada 2020 dalam *BP 2020 Energy Outlook*, kemudian dikoreksi dalam *BP Energy Outlook* tahun berikutnya, bahwa *peak oil demand* belum akan terjadi setidaknya setelah 2025. *World Oil Outlook* dari OPEC (2022) memandang bahwa *peak oil demand* akan tertunda menjadi sekitar 2035 dan bertahan hingga satu dekade. Pandangan ini disebabkan tren atas respons beberapa negara dalam menangani krisis energi yang terjadi pada 2022. Pandangan OPEC ini cukup berbeda dari pandangan beberapa institusi lain yang cenderung melihat *peak oil demand* sebelum 2035 dan turun setelah terjadi *peak*.

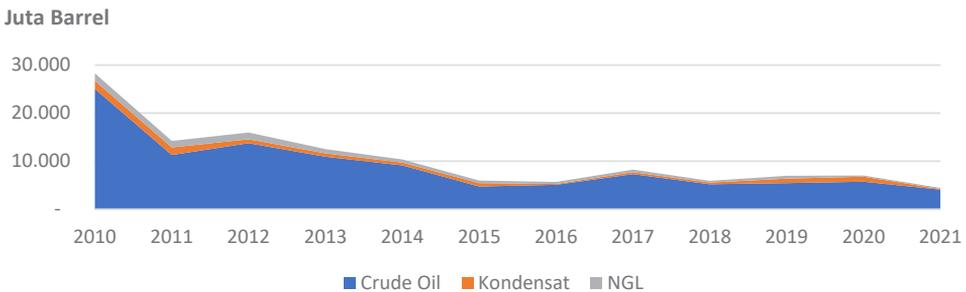
Contoh-contoh yang telah disebutkan menunjukkan bahwa pandangan *peak oil demand* penuh dengan ketidakpastian dan mengikuti dinamika situasiglobal. Namun, narasi *peak oil demand* memengaruhi pandangan dan *risk appetite* investor, termasuk juga *lenders*. Selain narasi permintaan minyak, rendahnya investasi hulu migas juga dipengaruhi oleh peningkatan komitmen *environmental, social and governance* (ESG) (IEF & IHS Markits; OPEC, 2022). Saat ini komitmen ESG semakin meningkat meskipun belum didukung standar kriteria ESG secara global.

Kurangnya investasi migas yang dilaporkan oleh berbagai institusi menunjukkan bahwa ke depan sektor hulu migas akan menghadapi risiko *supply shock* karena tidak sesuai

kecepatan dan tekanan transisi energi dari sisi pasokan dibandingkan permintaan. Bahkan, tanpa adanya transisi atau penurunan permintaan, saat ini dunia sudah menghadapi penurunan produksi minyak secara normal.

IEF & IHS Markits (2021) memperkirakan penurunan produksi minyak secara normal negara-negara non-OPEC sebesar 9 juta bopd pada 2025 dan 20 juta bopd pada 2030 jika tidak terdapat tambahan pengeboran baru. Proyeksi penurunan produksi dari negara-negara non-OPEC diutarakan juga oleh Wood Mackenzie (2022), yang memperkirakan

pasokan minyak dari negara-negara non-OPEC akan mengalami pelambatan mulai 2025 dan menurun mulai awal 2030-an. Kondisi ini menyebabkan dunia akan bergantung pada OPEC ke depan, terutama Arab Saudi, Uni Emirat Arab, dan Irak. Penurunan produksi di negara-negara non-OPEC disumbang terutama oleh tren peningkatan produksi minyak siklus pendek (*short cycle*) dalam dua dekade lalu. Ke depan, dengan adanya kekhawatiran atas transisi energi, diperkirakan akan lebih banyak investasi migas yang mencari produksi yang lebih cepat untuk meningkatkan periode pengembalian investasi.



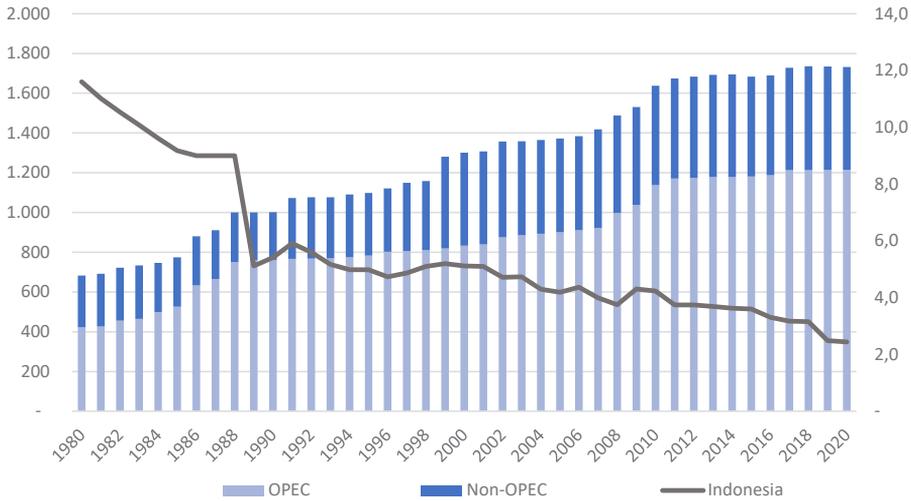
**Gambar 2.34 Tren Temuan Cadangan Global**

Sumber: Rystad Energy Ucube (diolah)

Untuk menghadapi *supply shock*, OPEC (2022) memperkirakan bahwa dunia membutuhkan investasi hulu migas sekitar USD 9,5 triliun (nilai riil USD 2022) dari periode 2022 hingga 2045 untuk menahan laju penurunan produksi dan memenuhi permintaan. Sementara IEF & IHS Markits (2021) memandang bahwa diperlukan investasi hulu migas sebesar USD 4,7 triliun dari periode 2022 hingga 2030 untuk memenuhi permintaan dan menghindari kurangnya pasokan.

Selain itu, untuk memastikan ketersediaan pasokan dalam 5-6 tahun ke depan, tahun 2022 dan 2023 merupakan tahun kritis untuk

memutuskan dan memulai proyek investasi hulu. Pandangan kebutuhan investasi ini sudah dalam proyeksi bahwa transisi energi tetap terjadi ke depan. Saat ini terbukti bahwa meskipun terjadi peningkatan investasi energi hijau secara global, kebutuhan energi fosil masih kuat, dan hampir semua *outlook* menunjukkan bahwa permintaan minyak masih cukup kuat ke depan. Namun, peningkatan ESG dan komitmen transisi energi akan meningkatkan tingkat kesulitan penentuan investasi di sektor hulu migas. Kebutuhan pasokan migas akan mendapatkan tantangan dalam hal kebutuhan rendah karbon dan pemenuhan aspek ESG lainnya.



**Gambar 2.35 Tren Cadangan Terbukti (miliar bbls)**

Sumber: BP, 2022 (diolah)

Berdasarkan IHS Markits (2022), sejauh ini komitmen transisi energi lebih tinggi pada IOC dibandingkan NOC. Meskipun NOC juga mulai melakukan diversifikasi bisnis dan dekarbonisasi, hal itu masih dalam tingkat yang lebih rendah dibandingkan IOC. Salah satu penyebabnya ialah NOC masih harus menyeimbangkan ketahanan energi untuk menopang pertumbuhan ekonomi dan dekarbonisasi. Di sisi lain, peningkatan komitmen transisi energi dan dekarbonisasi pada IOC terjadi karena peningkatan tekanan dari para pemangku kepentingan (Asmelash dan Gorini, 2021), seperti yang terjadi pada Shell, BP, dan ExxonMobil. Namun, ke depan, dengan peningkatan komitmen dan urgensi atas transisi energi dan dekarbonisasi, diperkirakan akan lebih banyak NOC yang bertransformasi menjadi perusahaan energi terintegrasi, seperti yang telah dilakukan oleh banyak IOC.

Dalam kaitannya dengan pencapaian transisi energi dan target NZE, hal ini merupakan suatu hal yang baik. Namun, penguatan transformasi tersebut perlu diimbangi dengan transisi di sisi permintaan. Perusahaan-perusahaan yang bertransformasi menjadi perusahaan energi

terintegrasi sangat perlu untuk mendukung percepatan terbentuknya ekosistem energi bersih di sisi permintaan, sehingga risiko supply shock karena percepatan transisi dari sisi pasokan dapat diminimalkan. Namun, transisi energi bukan hanya mengenai aspek transisi di sisi pasokan.

Periode 2021-2022 menunjukkan bahwa transisi energi masih dalam tahap awal dan menghadapi berbagai disrupsi, baik dari sisi makroekonomi, geopolitik, maupun dari sisi cuaca ekstrem. Peningkatan cuaca ekstrem akan meningkatkan risiko terjadinya gangguan pasokan. Krisis energi pada tahun 2022 telah membuat beberapa negara meningkatkan ketahanan energi dari segi ketersediaan (*availability*) secara nasional, sementara ancaman resesi meningkatkan kesadaran atas ketahanan energi dari sisi keterjangkauan (*affordability*). Beberapa negara mulai menyusun kebijakan untuk memperkuat pencarian sumber energi hijau dan material pendukungnya secara regional, seperti yang dilakukan AS terkait pengembangan baterai berbasis sodium yang ketersediaannya tidak terkonsentrasi di satu negara seperti nikel.

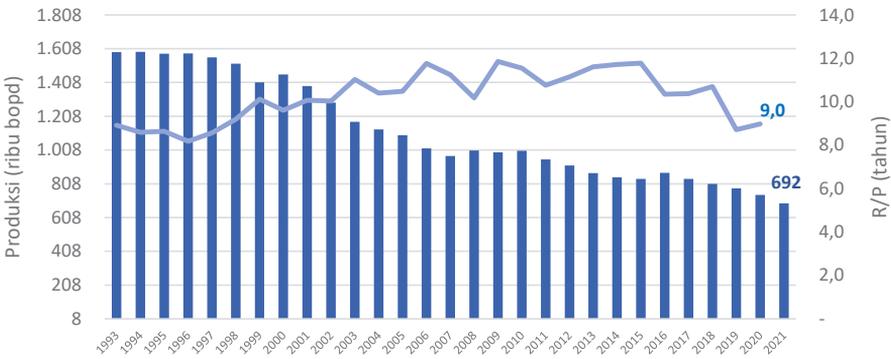
### II.2.1.2 TREN NASIONAL

Situasi kurangnya investasi migas secara global dan tren transisi energi perlu disikapi dengan hati-hati oleh Indonesia, terutama mengingat bahwa Indonesia merupakan negara net importir minyak. Berdasarkan proyeksi yang dilakukan oleh Dewan Energi Nasional (DEN) dalam Grand Strategi Energi Nasional (GSEN) 2021-2040, kebutuhan minyak mentah secara nasional masih akan meningkat hingga 2030, kemudian tetap hingga 2040, yaitu sekitar 1,5 juta bopd. Sementara itu, kebutuhan BBM nasional masih akan terus meningkat menjadi sekitar 1,5 juta bopd pada 2030 dan 2 juta bopd pada 2040.

Dalam kondisi ini, pemerintah sudah menargetkan nol impor *gasoline* pada 2030, salah satunya dengan menargetkan pemanfaatan alternatif BBM, seperti kendaraan listrik, kendaraan berbahan bakar gas, dan pengoptimalan *biofuel*.

Meski demikian, dari sisi minyak mentah, diperkirakan Indonesia masih memerlukan impor, yaitu sekitar 324.000 bopd pada 2030 dan 604 bopd pada 2040, dengan catatan bahwa target produksi minyak mentah nasional sebesar 1 juta bopd dapat dicapai pada 2030 dan pada 2040 produksi minyak mentah nasional mencapai kisaran 717.000 bopd.

Permasalahannya, produksi minyak mentah secara nasional saat ini masih mengalami tren penurunan, yaitu pada tahun 2021 sekitar 692.000 bopd, dan umur cadangan minyak mentah nasional masih berada di kisaran sembilan tahun (BP, 2022). Umur cadangan tersebut bermakna bahwa jika tidak ditemukan tambahan cadangan baru, dan minyak mentah diproduksi secara tetap, maka cadangan minyak mentah nasional akan habis dalam waktu sembilan tahun.



**Gambar 2.36 Tren Produksi dan R/P Minyak Tahunan Nasional**

Sumber: BP (2022), diolah

Proyeksi umur cadangan selama sembilan tahun dan tren penurunan produksi seperti yang terlihat pada grafik di atas meningkatkan risiko ketahanan energi nasional, terutama dalam situasi global seperti yang dijelaskan sebelumnya. Oleh karena itu, untuk mendukung kebutuhan minyak mentah dalam

negeri, diperlukan tambahan produksi dan cadangan nasional. Dalam rangka mencapai hal tersebut, hingga saat ini Pemerintah Indonesia terus melakukan usaha-usaha untuk penambahan cadangan dan produksi nasional, terutama untuk mencapai target produksi nasional 1 juta bopd yang sudah dicanangkan.

Dari sisi investasi, berdasarkan laporan kinerja 2021 Dirjen Migas, capaian investasi hulu migas pada tahun 2021 mengalami peningkatan dibandingkan tahun sebelumnya, dengan nilai investasi hulu masih didominasi oleh investasi untuk produksi. Nilai investasi pengembangan mengalami tren penurunan dalam tiga

tahun terakhir, dan nilai investasi eksplorasi mengalami peningkatan dibandingkan tahun 2020. Namun, masih diperlukan usaha-usaha dan investasi tambahan di sektor hulu migas untuk memastikan terpenuhinya kebutuhan minyak nasional.



**Gambar 2.37 Capaian Investasi Hulu Migas Nasional**

Sumber: Ditjen Migas (2022)

Untuk proyeksi mengenai kebutuhan minyak nasional, selain proyeksi dalam GSEN, terdapat juga proyeksi lain, seperti yang dilakukan oleh IEA dalam skenario APS. Dalam skenario tersebut, permintaan energi primer minyak nasional baru akan mencapai puncak pada tahun 2030-an (IEA, 2022c). Proyeksi kebutuhan minyak mentah yang dilakukan dalam GSEN dan IEA sudah memfaktorkan transisi energi. Oleh karena itu, jika transisi energi di sektor transportasi, terutama dari sisi konsumen, dapat dipercepat, maka

kebutuhan minyak mentah dapat lebih rendah dari yang diperkirakan atau puncak kebutuhan minyak mentah dapat lebih cepat dari yang diperkirakan. Untuk mendorong percepatan transisi dan diversifikasi energi di sektor transportasi tersebut, diperlukan dukungan kebijakan, pendanaan, teknologi, dan rantai pasok dari berbagai pihak. Selain itu, diperlukan juga perencanaan yang terintegrasi untuk memastikan bahwa transisi dan diversifikasi energi berjalan secara teratur dan ketahanan energi selama transisi terjaga.

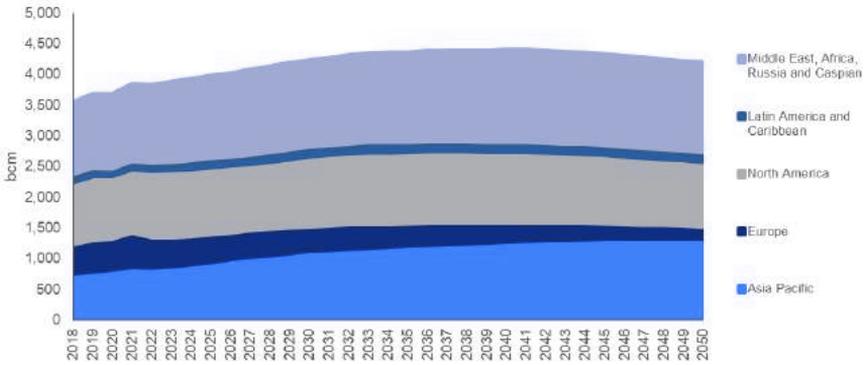
## II.2.2 GAS BUMI

Meskipun di tengah disrupted pandemi Covid-19 dan diperburuk oleh adanya invasi Rusia ke Ukraina yang menyebabkan kondisi pasar semakin bertambah fluktuatif, LNG demand global diprediksi akan terus tumbuh hingga 2033. Pertumbuhan demand tersebut didorong oleh pasar LNG yang sedang berkembang, seperti Tiongkok, Asia Selatan, dan Asia Tenggara. Tiongkok dan India telah

berupaya melakukan diversifikasi atas dominasi batubara pada *energy mix* dalam rangka memperbaiki kualitas udaranya. Sementara di Asia Tenggara, kebutuhan gas untuk sektor kelistrikan telah mendorong pertumbuhan LNG *demand*. Hanya saja, tingginya harga *spot* LNG telah memperlambat proses transisi dan pertumbuhan *demand*.

Terlepas dari fluktuasi pasar yang terjadi dalam jangka pendek, pertumbuhan LNG *demand* global pada pasar Tiongkok, Asia Selatan, dan Asia Tenggara telah mengalami pemulihan sejak pertengahan 2020-an. LNG diperkirakan akan mendominasi perdagangan gas global dengan kontribusi mencapai 67% dari perdagangan gas global pada tahun

2050 (Wood Mackenzie, 2021). LNG *demand* akan tetap tumbuh disebabkan oleh tidak terhubungnya seluruh pusat sumber *demand* gas dan sumber suplai gas secara global dan regional secara langsung dengan pipa sehingga tetap membutuhkan LNG yang dapat menjangkau antarwilayah.



**Gambar 2.38 Permintaan LNG Berdasarkan Wilayah**

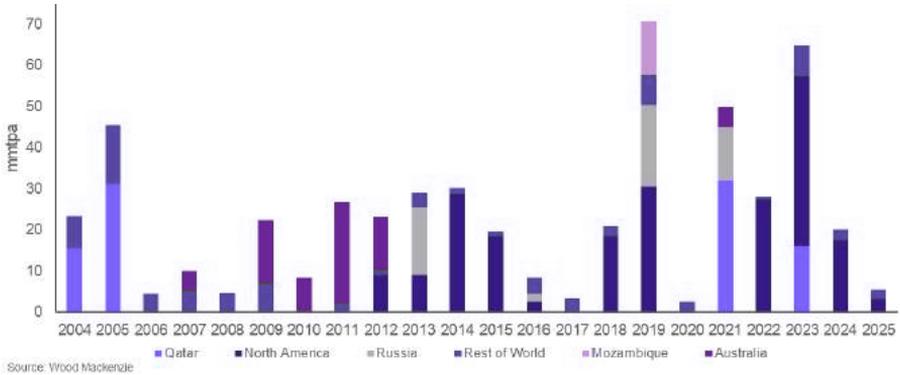
Sumber: Wood Mackenzie (2022)

*Demand* gas Eropa telah mengalami tren penurunan pada awalnya sebagai upaya mempercepat transisi energi dan pengurangan ketergantungan terhadap gas Rusia. Meski sudah melakukan berbagai upaya untuk memitigasi disrupsi pasokan gas dari Rusia, ternyata hal itu belum cukup untuk dapat memenuhi seluruh kebutuhan pasokan energi di Eropa. LNG yang diharapkan dapat menjadi salah satu solusi sementara krisis energi belum mampu secara maksimal menghilangkan krisis pasokan tersebut. Hal ini lebih disebabkan kondisi pasokan LNG global tidak dapat merespons cepat kebutuhan pasar Eropa tersebut, sehubungan pengembangan proyek baru LNG memerlukan waktu yang tidak sebentar, yakni 3-5 tahun. Kondisi ketidakseimbangan pasokan dan permintaan tersebut menyebabkan pasar Eropa menarik banyak kargo yang seharusnya memenuhi kebutuhan Asia, yang pada akhirnya berimbas langsung pada harga LNG *spot* global yang melambung tinggi.



Kondisi krisis energi di Eropa telah meningkatkan kembali penggunaan gas dan batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Eropa kini tengah berfokus kembali pada

ketahanan energi dan *affordability* dengan tetap berupaya menjaga ambisi dekarbonisasi melalui efisiensi energi, elektrifikasi, dan lain-lain.



**Gambar 2.39 Perkembangan dan Proyeksi Kapasitas Liquefaction Dunia**

Sumber: Wood Mackenzie, 2022

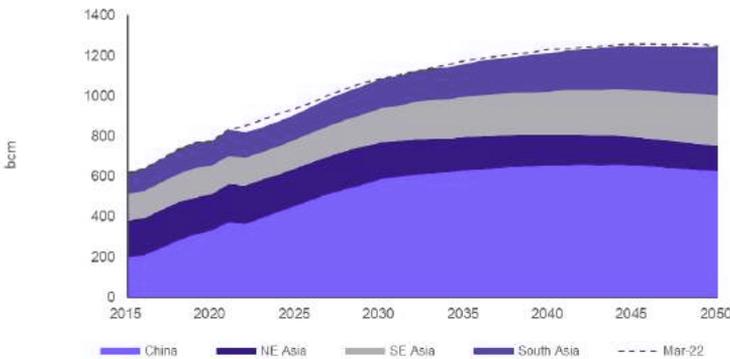


Periode kontrak pembelian LNG, yang sebelumnya cenderung dalam tren jangka pendek dan menengah, kini mulai berubah sejak terjadi perang Rusia-Ukraina. Harga *spot* yang terus melonjak naik mendorong pembeli untuk mengurangi risiko pasar *spot*, dan meningkatkan keinginan pembelian dalam kontrak jangka panjang.

Untuk kawasan Asia, pertumbuhan *demand* gas/LNG dalam jangka pendek diprediksi akan masih berada dalam tekanan. Meski demikian, diharapkan kondisi ini akan menjadi lebih baik dalam jangka menengah dan panjang. Pasar LNG Asia telah mengalami tren pelambatan pertumbuhan *demand* yang disebabkan oleh tingginya harga *spot* LNG dan pelemahan kondisi *outlook* ekonomi global. Tiongkok dan Asia Selatan adalah kawasan yang paling berisiko terdampak pelambatan pertumbuhan pasar LNG, di tengah-tingginya harga *spot* LNG dan terdapatnya potensi untuk opsi *fuel switching* ke sumber energi lain yang lebih

murah. Di tengah fluktuasi pasar tersebut, pasar LNG Asia bergelut dalam menjaga keseimbangan berbagai faktor, baik ketahanan energi nasional dalam jangka pendek maupun harga energi yang terjangkau, serta di sisi lain ambisi transisi energi dalam jangka panjang. Secara yoy *demand* LNG Asia secara agregat telah mengalami koreksi 1,7% pada tahun 2022. Meski demikian, *demand* LNG Asia diprediksi akan mengalami pemulihan dengan pertumbuhan 3% per tahun pada periode antara 2023 dan 2033. Secara jangka panjang,

pertumbuhan *demand* LNG Asia masih akan terus meningkat dan banyak didorong oleh pasar Tiongkok, Asia Selatan, dan pasar ASEAN. Hal ini didukung oleh pertumbuhan populasi urban yang semakin luas, pertumbuhan ekonomi yang cukup baik, serta rencana elektrifikasi dan *coal to gas switching* pembangkit listrik yang akan dilakukan secara bertahap dan potensi kemampuan *scale up* energi terbarukan yang akan dilakukan secara berjenjang.



**Gambar 2.40 LNG Demand di Kawasan Asia**

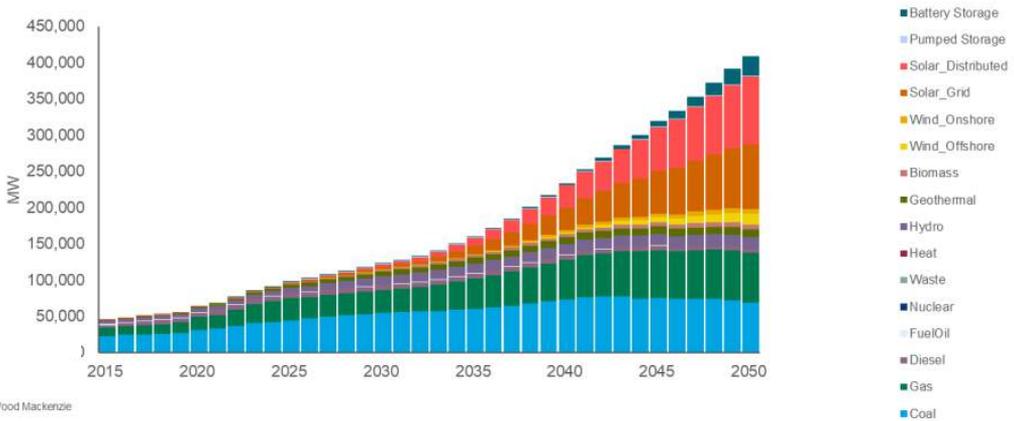
Sumber: Wood Mackenzie, 2022

Untuk *demand* LNG di Indonesia sendiri, diprediksi akan meningkat sehubungan Indonesia akan mengurangi konsumsi batubara. Fundamental makroekonomi Indonesia yang relatif cukup kuat dengan PDB yang relatif tinggi dan pertumbuhan populasi diharapkan dapat mendorong pertumbuhan *demand* gas di sektor kelistrikan dan industri dalam jangka panjang, meskipun dalam jangka pendek masih akan menghadapi pelambatan ekonomi dan peningkatan inflasi. Dengan tren penurunan produksi gas domestik dalam jangka panjang, pada tahun 2040 diperkirakan lebih dari 77% kebutuhan gas nasional akan dipasok melalui moda transportasi LNG (Wood Mackenzie, 2021). Dalam jangka panjang, diperkirakan *demand* LNG akan mencapai 9,6 MTPA pada tahun 2025, dan mencapai kestabilan untuk beberapa tahun, sebelum kemudian tumbuh kembali setelah tahun 2030.

Pertumbuhan *demand* LNG secara jangka panjang membuka kesempatan untuk pembelian LNG dan proyek infrastruktur regas. Akan tetapi, dalam implementasinya harus tetap memerlukan kewaspadaan dengan memperhatikan dan memonitor pergerakan pasokan dan *demand* agar terdapat kesesuaian waktu pelaksanaan. Pasokan LNG domestik Indonesia diperkirakan masih akan cukup untuk memenuhi kebutuhan domestik hingga menjelang 2030-an (Wood Mackenzie, 2021). Asumsi pasokan LNG domestik dalam jangka panjang akan banyak bergantung pada rencana pengembangan proyek IDD *phase 2* yang di dalamnya mencakup rencana pengembangan lapangan gas Gendalo-Gehem yang sampai dengan saat ini FID-nya masih tertunda, juga rencana pengembangan lapangan gas ABADI yang berpotensi memiliki kapasitas produksi hingga 9,5 MTPA dan diperkirakan dapat

menyediakan tambahan produksi gas domestik sekitar 150 MMSCFD. Pembangkit listrik berbahan bakar fosil di Indonesia masih mendominasi *energy mix* hingga mencapai 88% pada 2021. Angka tersebut merupakan yang terbesar kedua di Asia Pasifik. Meski demikian, persentase tersebut diprediksi akan terus menurun menjadi 77% pada 2030. Di sisi lain, sebagai implikasi dari sisi emisi, sektor kelistrikan

diprediksi akan mengalami peningkatan emisi karbon dari 199 juta ton saat ini menjadi 345 juta ton pada 2050. Gas akan menjadi alternatif terbaik sebagai pengganti batubara yang memiliki emisi lebih rendah, untuk memenuhi kebutuhan pasokan energi sektor pembangkit listrik di tengah pertumbuhan *demand* kelistrikan yang meningkat, sebelum beralih ke EBET secara bertahap.

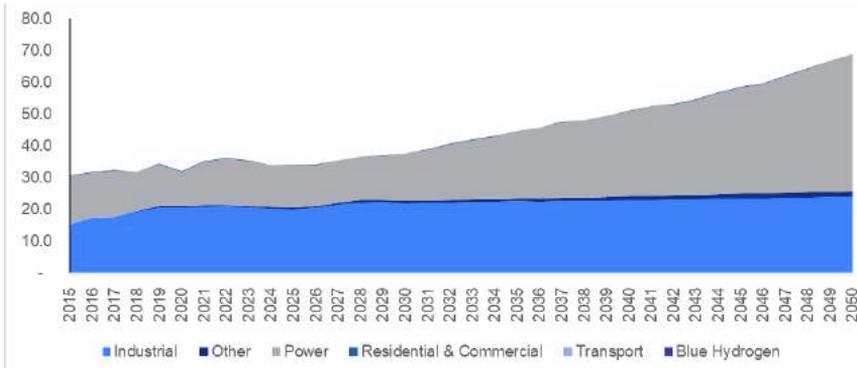


**Gambar 2.41 Pertumbuhan Kapasitas Ter-install**

Sumber: Wood Mackenzie, 2022

Meskipun mengalami sedikit penurunan sekitar 1,2% menjadi 277 TWh pada 2020, tren peningkatan *demand* kelistrikan ini diprediksi masih akan terus berlanjut dalam jangka panjang dengan pertumbuhan rata-rata 4,6% per tahun yang didorong oleh pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Dalam jangka pendek, pengembangan pembangkit listrik tenaga gas kemungkinan masih belum optimal karena pembangkit batubara masih tumbuh dan mendominasi. Porsi batubara dalam *energy mix* pembangkit listrik diprediksi masih mencapai 60% pada 2030, sedangkan

porsi gas diprediksi mencapai 17% pada tahun yang sama. Meski demikian, peran gas masih tetap penting sebagai komplemen dari naiknya bauran energi terbarukan, sehubungan energi terbarukan akan tumbuh secara bertahap. Diprediksi setelah tahun 2030-an, pembangkit gas akan mulai tumbuh agresif ketika pertumbuhan pembangkit batubara sudah mulai melandai, sebagai upaya untuk mengurangi sumber emisi karbon terbesar. Kapasitas pembangkit gas akan meningkat dari 19 GW pada 2021 menjadi 68 GW pada 2050.



**Gambar 2.42 Pertumbuhan Kebutuhan Gas untuk Industri (bcm)**

Sumber: Wood Mackenzie, 2022

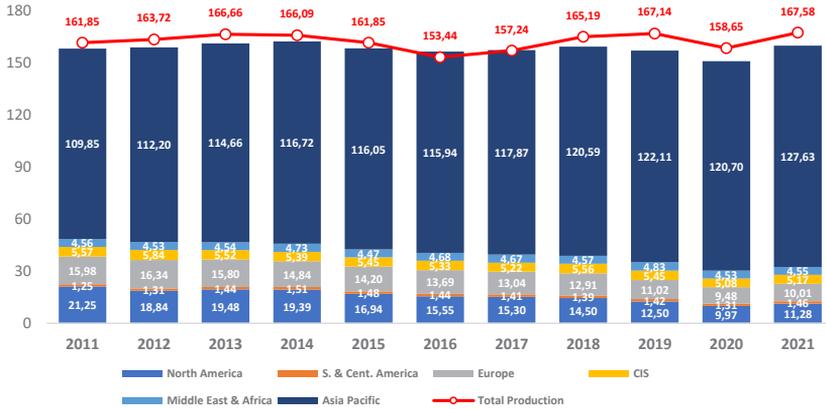
Selain listrik, sebagian besar konsumsi gas nasional adalah untuk kebutuhan industri sebagai bahan baku ataupun sebagai bahan bakar. Industri pupuk dan petrokimia sebagai salah satu konsumen utama menyerap sebagian besar gas di sektor industri untuk digunakan sebagai bahan baku. Keputusan Menteri ESDM terkait penetapan harga gas untuk industri tertentu diharapkan dapat membantu mendorong pertumbuhan *demand* gas untuk sektor industri, dan diharapkan dapat menjadikan produk Indonesia lebih kompetitif untuk pasar ekspor. Pembangunan kawasan industri baru di Kendal, Tuban, Gresik, dan Medan juga diharapkan dapat menciptakan tambahan *demand* baru pada sektor industri, khususnya *smelter*, *refinery*, dan petrokimia. Sehubungan dengan keterbatasan infrastruktur

pipa gas distribusi yang belum mampu menjangkau seluruh sektor industri, konsumen industri kini juga mulai tertarik menggunakan *small scale* LNG sebagai salah satu alternatif. *Small scale* LNG ini merupakan metode *virtual pipeline* dengan membawa LNG melalui *isotank* yang diangkut menggunakan truk dan kapal ukuran kecil hingga ke konsumen akhir. Meski masih terdapat tantangan berupa tingginya biaya logistik dan penggunaan truk yang kurang dapat diandalkan dari sisi penjadwalan, pengembangan *small scale* LNG ini masih tetap diperlukan sebagai solusi untuk menjangkau kawasan atau wilayah yang infrastruktur pipa gas distribusinya masih terbatas, ataupun untuk menjangkau area yang secara geografis dan secara skala ekonomi tidak mungkin dibangun pipa.

### II.2.3 BATUBARA

Kebutuhan batubara global pada tahun 2021 meningkat sebesar 5,8% dibandingkan konsumsi tahun 2020. Hal itu disebabkan oleh mulai pulihnya ekonomi global dari pandemi Covid-19 dan tingginya harga gas yang mendorong penggunaan batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik (International Energy Agency, 2022).

Kebutuhan batubara global tahun 2021 berada sedikit di atas kebutuhan batubara global tahun 2019, dan menempatkannya mendekati level kebutuhan batubara tertinggi. Di sisi lain, tingginya kebutuhan batubara global berkontribusi terhadap tingginya emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan secara global.

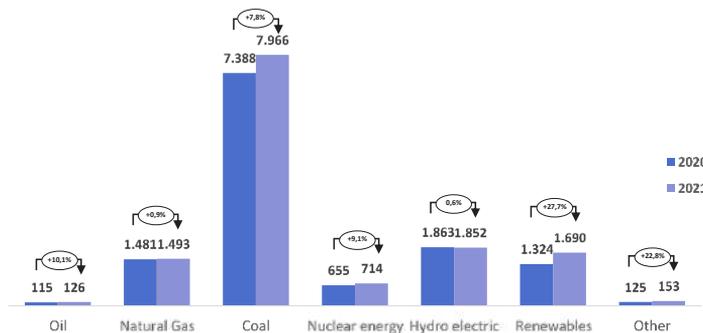


**Gambar 2.43 Perkembangan Konsumsi dan Produksi Batubara Global (Exajoule)**

Sumber: BP Statistical Review 2022

Tiongkok dan India merupakan dua negara terbesar konsumen batubara yang berkontribusi lebih dari 70% dari konsumsi batubara global pada tahun 2021. Konsumsi batubara di Tiongkok, yang merupakan terbesar di dunia, pada tahun 2021 meningkat sebesar 4,6% dibandingkan konsumsi tahun 2020. Hal ini didukung oleh pemulihan ekonomi Tiongkok pascapandemi Covid-19. Konsumsi batubara India meningkat sebesar 12% pada tahun 2021, dan sebesar tiga perempatnya adalah untuk memenuhi kebutuhan pembangkit listrik. Kenaikan kebutuhan batubara juga terlihat di

Amerika Serikat, yaitu naik sebesar 15% dan Uni Eropa naik sebesar 14%, yang terutama didorong oleh peralihan penggunaan gas menjadi batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik karena tingginya harga gas pada semester II-2022. Produksi batubara tahun 2021 dapat memenuhi kebutuhan batubara global pada tahun 2021 (British Petroleum, 2022). Tiongkok dan India merupakan dua kontributor terbesar peningkatan produksi batubara global, serta Indonesia yang merupakan eksportir terbesar batubara tahun 2021.



**Gambar 2.44 Produksi Listrik Berdasarkan Jenis Energi Global 2021 (Terawatt Hour)**

Sumber: BP Statistical Review 2022

Kebutuhan batubara untuk pembangkit listrik mengalami kenaikan sebesar 7% pada tahun 2021 terhadap tahun 2020 (International Energy Agency, 2022). Hal serupa terjadi pada sektor selain pembangkit listrik yang menunjukkan kenaikan kebutuhan batubara sebesar 3% pada tahun 2021, terutama didorong oleh kenaikan produksi oleh industri. Kebutuhan batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik di Tiongkok pada tahun 2021 meningkat sebesar 8% terhadap tahun

2020, sementara konsumsi batubara untuk sektor selain pembangkit listrik turun sebesar 0,8%. Pada semester I-2021, ekonomi Tiongkok mengalami pertumbuhan seiring dengan pulihnya pandemi Covid-19. Pada semester II-2021, ekonomi Tiongkok melambat karena kurangnya pasokan batubara dan listrik serta merosotnya sektor properti, mengakibatkan penurunan produksi oleh industri, khususnya oleh industri baja dan semen.

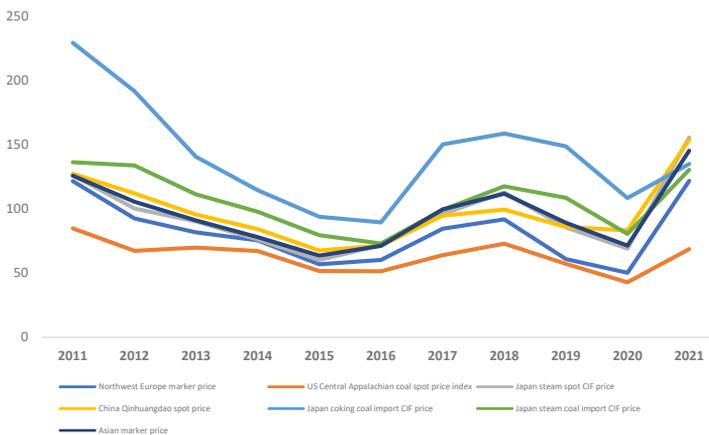
**Tabel 2.5 Cadangan Batubara Global Tahun 2021**

Million Tonnes	Anthracite and Bituminous	Sub-bituminous and Lignite	Total	Share of Total	R/P Ratio
<b>North America</b>	224.444	32.290	256.734	23,90%	484
<b>S. &amp; Cent. America</b>	8.616	5.073	13.689	1,27%	240
<b>Europe</b>	59.084	78.156	137.240	12,78%	299
<b>CIS</b>	100.208	90.447	190.655	17,75%	367
<b>Middle East &amp; Africa</b>	15.974	66	16.040	1,49%	60
<b>Asia Pacific</b>	345.313	114.437	459.750	42,80%	78

Sumber: BP Statistical Review (2022)

Cadangan batubara global dapat dilihat pada Tabel 2.5 di atas. Rasio cadangan terhadap produksi (R/P) menggambarkan lamanya waktu cadangan yang tersisa untuk dapat

memenuhi kebutuhan, dengan menggunakan asumsi laju produksi yang sama seperti satu tahun sebelumnya (British Petroleum, 2022).

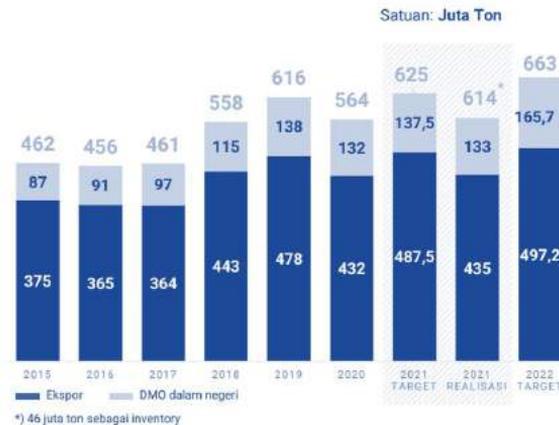


**Gambar 2.45 Perkembangan Harga Batubara Global (USD Per Ton)**

Sumber: BP Statistical Review 2022

Harga batubara mengalami kenaikan yang cukup signifikan pada tahun 2021, yaitu USD 121 per ton untuk harga rata-rata di Eropa dan USD 145 per ton untuk harga rata-rata Asian marker yang merupakan harga tertinggi sejak tahun 2008 (British Petroleum, 2022). Harga batubara mengalami kenaikan signifikan pada semester II-2022 karena laju kenaikan kebutuhan yang tidak dapat diimbangi dengan laju kenaikan produksi pada semester I-2021, khususnya di Tiongkok (International Energy Agency, 2022). Namun, kemudian mereda pada akhir tahun 2021 akibat peningkatan produksi yang mulai dapat memenuhi kenaikan kebutuhan batubara. Selain itu, tingginya harga gas turut berpengaruh terhadap kenaikan harga batubara. Kenaikan harga *spot* batubara terutama diakibatkan oleh konflik geopolitik Rusia-Ukraina. Beberapa negara seperti Amerika Serikat, negara-negara Uni Eropa, Jepang, dan Korea Selatan, melakukan embargo terhadap produk batubara Rusia, yang menyebabkan turunnya harga batubara Rusia akibat turunnya permintaan.

Untuk pasokan *domestic market obligation* (DMO) batubara dalam negeri, terlihat tren positif, kecuali pada tahun 2020 karena terjadi penurunan konsumsi batubara akibat dampak dari pandemi Covid-19 yang melanda Indonesia. Hal itu juga terkait erat dengan penurunan konsumsi energi selama pandemi, serta kenaikan kebutuhan batubara yang kecil tahun 2021 karena terjadi penurunan konsumsi batubara akibat dampak dari pandemi Covid-19 yang masih melanda Indonesia. Selain itu, terdapat upaya pengalihan energi primer untuk menghasilkan energi listrik dari yang semula dihasilkan dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara menjadi pembangkit listrik EBET ataupun gas bumi. Kebutuhan batubara dalam negeri terus meningkat dari tahun ke tahun karena kebutuhan batubara untuk PLTU terus meningkat, kewajiban membangun *smelter* yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar, dan kebutuhan akan tempat tinggal yang semakin meningkat sehingga meningkatkan permintaan pabrik semen.



**Gambar 2.46 Perkembangan Kebutuhan, Produksi, dan Ekspor Batubara Indonesia**

Sumber: Laporan Kinerja Kementerian ESDM Tahun 2021

Produksi batubara dalam negeri tahun 2021 berada relatif sedikit di bawah target tahun 2021 karena adanya kendala cuaca buruk yang menyebabkan terhambatnya kegiatan transportasi dan operasionalisasi penambangan yang terjadi di beberapa daerah di Indonesia, terutama di wilayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur. Namun, hingga tahun 2021, Indonesia tidak pernah mengimpor batubara. Produksi batubara Indonesia mampu memenuhi kebutuhan batubara dalam negeri sehingga tidak diperlukan impor batubara. Dalam Kepmen ESDM Nomor 139.K/HK.02/

MEM.B/2021 diatur bahwa perusahaan pertambangan wajib memenuhi DMO sebesar 25% dari rencana produksi (kelistrikan umum dan nonkelistrikan umum). Perusahaan pertambangan dan **trader** yang tidak memenuhi DMO atau kontrak penjualan dalam negeri akan dikenai ketentuan larangan ekspor batubara, denda, dan dana kompensasi sejumlah kekurangan penjualan sesuai kewajiban DMO bagi perusahaan yang tidak memiliki kontrak penjualan dalam negeri atau spesifikasi batubaranya tidak sesuai dengan pasar dalam negeri.

**Tabel 2.6 Realisasi DMO Batubara Dalam Negeri Per Sektor (dalam Ton)**

Tahun	Iron, Steel & Metallurgy	Power Plant	Cement, Textile, Fertilizer	Pulp & Paper	Briquette	Others	Total
2015	399.000	70.080.000	7.180.000	4.310.000	13.174	4.831.925	86.814.099
2016	390.000	75.400.000	10.540.000	4.190.000	30.000	0	90.550.000
2017	300.000	83.000.000	9.802.000	3.898.000	30.000	0	97.030.000
2018	1.750.000	91.140.000	19.030.000	3.150.000	10.000	0	115.080.000
2019	10.064.750	98.550.260	22.515.239	3.304.980	7.969	3.974.994	138.418.192
2020	13.210.585	104.829.892	6.511.942	2.000.387	52.826	5.281.012	131.886.643
2021	11.393.020	112.133.733	4.681.560	1.116.329	0	3.718.720	133.043.362

Sumber: Handbook of Energy & Economy Statistics of Indonesia 2021

Pada tabel di atas, pemenuhan DMO dalam negeri berdasarkan sektornya mengalami kendala dalam memenuhi kebutuhan batubara dalam negeri, khususnya untuk industri nonkelistrikan. Hal ini diakibatkan oleh tingginya harga batubara internasional sejak bulan Juni 2021, dan terus meningkat di atas harga jual batubara untuk penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum (sebesar USD 70 per ton). Hal itu juga disebabkan adanya pengaruh dari dampak cuaca buruk yang menghambat proses transportasi dan operasionalisasi penambangan. Cadangan batubara dihitung menggunakan rasio antara jumlah *proven reserve* batubara dan jumlah

produksi batubara per tahun atau *reserve to production* (R/P) sehingga didapat lama waktu cadangan batubara yang dapat diproduksi. Pada tabel berikut, dibandingkan dengan tahun 2020, *reserve to production* batubara tahun 2019 dan tahun 2021 mengalami penurunan dibandingkan tahun 2020. Hal ini disebabkan produksi batubara tahun 2019 dan tahun 2021 lebih besar daripada produksi batubara pada tahun 2020. Ke depan, diharapkan pemerintah dapat menemukan cadangan-cadangan batubara yang baru dan dapat melakukan produksi batubara yang efektif dan efisien, agar dapat terus meningkatkan *reserve to production* batubara Indonesia.

**Tabel 2.7 Reserve to Production Batubara Indonesia**

Tahun	Proven Reserve (Juta Ton)	Produksi (Juta Ton)	R/P (Tahun)
2019	37.600	616	61
2020	39.560	564	70
2021	37.524	614	61

Sumber: Laporan Kinerja Kementerian ESDM Tahun 2021

Investasi sektor batubara memiliki peran penting dalam mendorong perekonomian, khususnya bagi masyarakat di sekitar tambang. Pada kurun waktu lima tahun terakhir, sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut, terjadi peningkatan ataupun penurunan realisasi investasi sektor batubara. Hal ini

disebabkan oleh fluktuasi harga komoditas batubara, serta pandemi Covid-19, yang mengakibatkan terhambatnya aktivitas belanja modal dan mobilitas tenaga kerja, kontrak pekerjaan yang lebih rendah dibandingkan rencana awal, dan kendala proses perizinan dengan kementerian/instansi lainnya.

**Tabel 2.8 Perkembangan Investasi Sektor Batubara Indonesia (dalam USD)**

Investasi	2018	2019	2020	2021	Juni 2022
Target		2.382.611.455	1.159924.448	893.000.000	894.000.000
Realisasi	4.693.337.945	3.108.314.679	1.082.437.888	1.352.512.784	502.501.983
Persentase		77%	107%	66%	

Sumber: Laporan Kinerja Kementerian ESDM Tahun 2021

Dalam rangka lebih mengoptimalkan investasi batubara ke depan, beberapa upaya pun dilakukan, antara lain memonitor dengan ketat secara berkala atas kepatuhan perusahaan dalam melaporkan investasi pada aplikasi investasi batubara, menyusun rencana aksii

untuk menindaklanjuti Peta Indikasi Tumpang Tindih yang telah disusun di bawah koordinasi Sekretariat Kabinet, dan memfasilitasi penyelesaian kendala perusahaan terkait perizinan, pembebasan lahan, dan tata ruang.

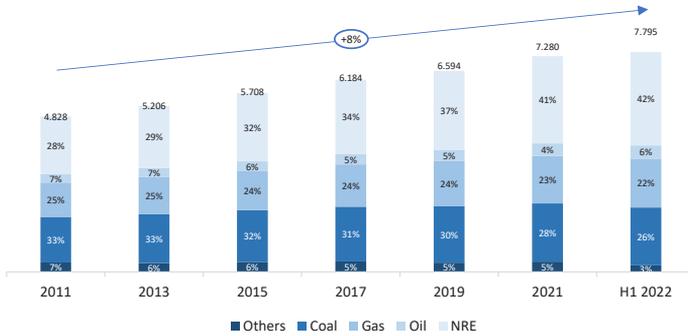
## II.2.4 ENERGI BARU DAN ENERGI TERBARUKAN

Dalam lima tahun terakhir, dunia telah bergerak menjadi lebih agresif dalam proses transisi energi global yang terjadi saat ini dan telah membuat pengembangan energi ke arah penggunaan energi bersih, khususnya pemanfaatan energi angin dan surya untuk pasokan ke *power* atau *electricity*, hidro dan gas sebagai energi transisi.

Selama periode 2010-2020, pertumbuhan energi baru dan energi terbarukan (EBET) sangat signifikan, dengan rata-rata pertumbuhan lebih dari 8% per tahun di seluruh dunia, dengan total kapasitas terpasang EBET dunia hanya 1.250 GW pada tahun 2010 dan telah tumbuh dengan pesat menjadi 3.300 GW pada tahun 2022.

Rata-rata pertumbuhan tertinggi untuk EBET berasal dari pengembangan energi matahari, yang pertumbuhannya lebih dari 27% per tahun. Hal ini didorong oleh makin ekonomisnya harga panel surya di dunia. Disusul oleh pengembangan

energi angin, yang juga berkembang cukup pesat, dengan pertumbuhan lebih dari 13% per tahun, kemudian disusul oleh bioenergi 5% per tahun, geotermal 3% per tahun, dan hidro 2% per tahun.

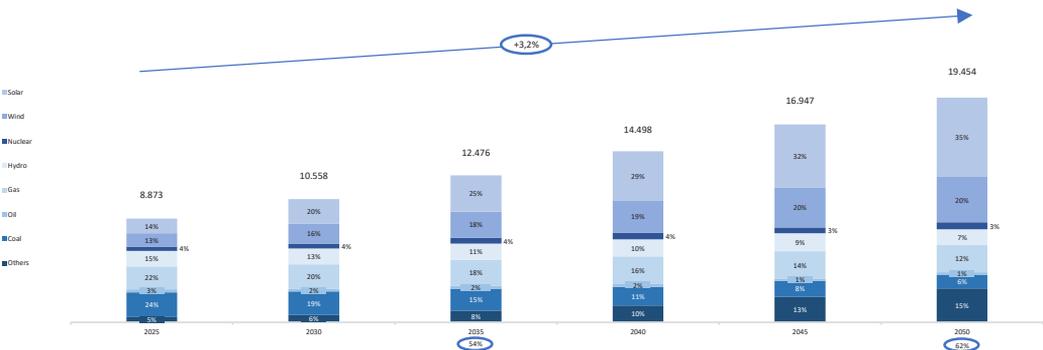


**Gambar 2.47 Kapasitas Terpasang Listrik Global (GW)**

Sumber: BloombergNEF (2022), diolah

Dari grafik di atas terlihat bahwa persentase kapasitas terpasang untuk EBET dari tahun ke tahun semakin meningkat, dari 28% dari total kapasitas terpasang untuk sektor power pada tahun 2011 menjadi lebih dari 40% pada Semester I-2022. Peningkatan tersebut didorong oleh beberapa faktor, antara lain

komitmen global dalam penggunaan energi yang ramah lingkungan, berkembangnya teknologi dari EBET itu sendiri yang menyebabkan proyek menjadi semakin ekonomis, dan terbatasnya jumlah sumber energi fosil dunia. Berikut adalah proyeksi kapasitas terpasang listrik dunia.



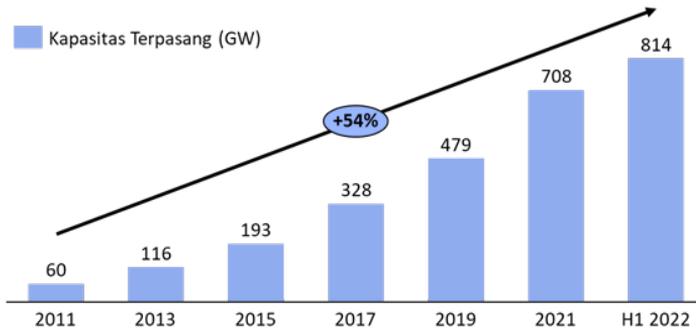
**Gambar 2.48 Proyeksi Kapasitas Terpasang Listrik Global (GW)**

Sumber: Wood Mackenzie Energy Transition Tools (2022)

Hasil proyeksi menunjukkan bahwa kapasitas terpasang global akan tumbuh rata-rata 3% per tahun dengan pertumbuhan terbesar akan digerakkan oleh pertumbuhan EBET, di mana EBET akan mencapai lebih dari 60% kapasitas terpasang listrik global pada tahun 2050. Hal ini sejalan dengan target global yang akan mereduksi secara signifikan penggunaan energi fosil dan mendiversifikasinya ke energi bersih sesuai dengan Piagam Paris 2015 dan COP26 yang telah dilaksanakan pada tahun 2021. Dari beberapa sumber energi terbarukan yang ada, secara global tenaga surya dan tenaga bayu (angin) merupakan pendorong terbesar pemanfaatan pengembangan sumber energi terbarukan saat ini.

### a Surya

Selama periode 2011-2022, pertumbuhan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) global mencatatkan pertumbuhan lebih dari 27% per tahun dan telah mencapai 800 GW kapasitas terpasang pada tahun 2022 di seluruh dunia. Realisasi kapasitas terpasang PLTS didominasi oleh Tiongkok dan negara-negara Eropa. Rata-rata porsi kapasitas terpasang PLTS periode tersebut adalah Tiongkok 33%, AS 13%, Eropa 26%, India 6%, dan negara-negara lainnya 22%.

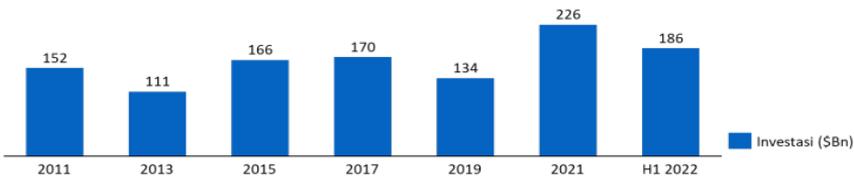


**Gambar 2.49 Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Global**

Sumber: BloombergNEF (2022), diolah

Realisasi kapasitas terpasang PLTS didominasi oleh Tiongkok dan negara-negara Eropa. Rata-rata porsi kapasitas terpasang PLTS periode

tersebut adalah Tiongkok 33%, AS 13%, negara-negara Eropa 26%, India 6%, dan negara lainnya 22%. Berikut adalah investasi dari PLTS.

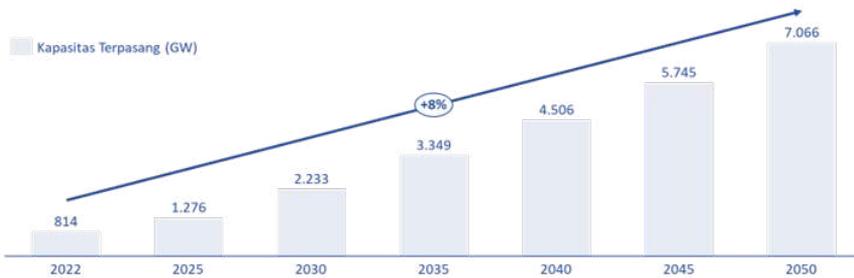


**Gambar 2.50 Realisasi Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Global**

Sumber: BloombergNEF 2022 (diolah)

Pada grafik di atas terlihat bahwa terjadi tren peningkatan investasi dari PLTS yang cukup masif, yakni pada tahun 2010 investasi pemasangan PLTS global adalah USD 91 Bn dan meningkat menjadi lebih dari dua kali lipat pada tahun 2021 menjadi USD 226 Bn. Peningkatan tren investasi tersebut didorong kuat oleh penurunan rata-rata *levelized cost of energy* (LCOE) dari tenaga surya, yang pada tahun 2010 realisasi LCOE-nya masih di angka USD 331 per MWH, turun sangat signifikan menjadi sekitar USD 47 per MWH pada tahun 2020. Penurunan LCOE tersebut didorong oleh perkembangan teknologi EBET yang sangat masif dan mampu meningkatkan keekonomian proyek PLTS global. Di samping itu, peningkatan investasi PLTS

dunia juga didorong oleh komitmen dari negara-negara di dunia dalam pemanfaatan EBET menggantikan energi fosil demi menjaga kelestarian lingkungan. Hal lain yang menyebabkan pengembangan PLTS yang cukup masif adalah terbatasnya sumber energi fosil dunia yang diproyeksikan akan habis di masa mendatang. Hal itu mendorong negara-negara di dunia untuk berlomba-lomba dalam mengembangkan potensi EBET domestik masing-masing. Energi matahari juga merupakan salah satu sumber energi yang melimpah di banyak negara, apalagi dengan teknologi panel surya yang semakin berkembang, diproyeksikan penggunaan energi matahari akan semakin masif di masa depan.



**Gambar 2.51 Proyeksi Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Global**

Sumber: Wood Mackenzie Energy Transition Tools (2022), diolah

Hasil proyeksi menunjukkan bahwa kapasitas terpasang global PLTS akan tumbuh rata-rata (CAGR) 8% per tahun. Kenaikan kapasitas terpasang tenaga surya global akan di-*drive* oleh teknologi yang semakin baik, yang menyebabkan penurunan LCOE-nya, dan juga di-*drive* oleh kesadaran negara-negara di dunia untuk menggunakan listrik dari sumber energi bersih. Energi surya diproyeksikan akan menjadi sumber energi terbesar pada tahun 2050.

**b Bayu (Angin)**

Selama periode 2011-2022, pertumbuhan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) global mencatatkan pertumbuhan lebih dari 25% per tahun dan telah mencapai 905 GW kapasitas terpasang pada semester I-2022 di seluruh dunia. Realisasi kapasitas terpasang PLTB didominasi oleh Tiongkok, Eropa, dan Amerika.

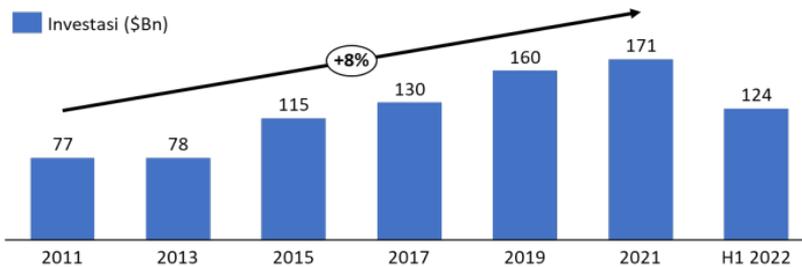


**Gambar 2.52 Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)**

Sumber: BloombergNEF 2022 (diolah)

Peningkatan kapasitas terpasang PLTB didorong oleh pengembangan yang masih untuk *onshore* area (lebih dari 90%), yakni untuk *onshore* area pada tahun 2011 tercatat kapasitas terpasang sebesar 236 GW dan naik lebih dari tiga kali

lipat menjadi sekitar 793 GW pada tahun 2021. Untuk *offshore* area juga terjadi peningkatan yang cukup signifikan, yang pada tahun 2011 kapasitas terpasangnya hanya sebesar 3 GW menjadi sekitar 50 GW pada tahun 2022.



**Gambar 2.53 Realisasi Investasi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Global**

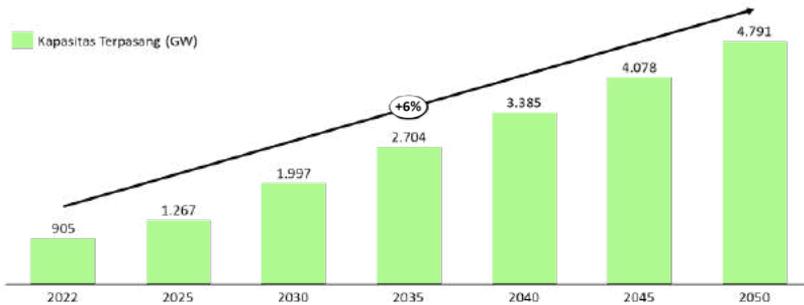
Sumber: BloombergNEF (2022), diolah

Pada grafik di atas terlihat bahwa terjadi tren peningkatan investasi dari PLTB yang cukup masif, yakni pada tahun 2011 investasi pemasangan PLTB global adalah USD 70 Bn dan meningkat menjadi lebih dari dua kali lipat pada tahun 2021 menjadi USD 171 Bn. Peningkatan tren investasi tersebut

didorong kuat oleh penurunan rata-rata *levelized cost of energy* (LCOE) dari tenaga bayu, khususnya untuk *onshore* wind, yang pada tahun 2010 realisasi LCOE-nya masih di angka USD 104 per MWH, turun sangat signifikan menjadi USD 41 per MWH pada tahun 2020.

Penurunan rata-rata LCOE dari *offshore wind* juga tercatat sangat fantastis. Pada tahun 2010 LCOE untuk *offshore wind* tercatat pada angka USD 215 per MWH, turun sangat signifikan menjadi USD 81 per MWH pada tahun 2020.

Penurunan LCOE tersebut didorong oleh perkembangan teknologi EBET yang sangat masif dan mampu meningkatkan keekonomian proyek PLTB global, baik pada *onshore wind* maupun *offshore wind*.



**Gambar 2.54 Proyeksi Kapasitas Terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Global**

Sumber: Wood Mackenzie (2022), diolah

Hasil proyeksi menunjukkan bahwa kapasitas terpasang global PLTB akan tumbuh rata-rata 6% per tahun. Kenaikan kapasitas terpasang tenaga bayu global akan di-*drive* oleh teknologi

yang semakin baik, yang menyebabkan penurunan LCOE-nya dan juga di-*drive* oleh kesadaran negara-negara di dunia untuk menggunakan listrik dari sumber energi bersih.





# **BAB 3**

## ***OUTLOOK ENERGI INDONESIA***



PERTAMAX  
TURBO 98

PERTAMINA  
DEX

6

PERTAMAX  
TURBO 98

PERTALITE

PERTAMINA

PERTAMINA

ALLA  
WEDAS

NEW  
0

Dalam *Pertamina Energy Outlook* (PEO) 2022, PEI melakukan beberapa perubahan terkait metodologi pengembangan *outlook* energi. Perubahan terbesar yang dilakukan pada PEO 2022 adalah perubahan penggunaan *software/tool* yang sebelumnya menggunakan *Low Emission Analysis Platform* (LEAP) yang dikembangkan secara in-house menjadi penggunaan *software/tool* berbasis Fusion by McKinsey. *Outlook* energi kali ini masih menggunakan tiga skenario dengan nama yang sama, yaitu *Low Transition*, *Market Driven*, dan *Green Transition*. Namun, ketiga skenario tersebut dalam PEO 2022 diturunkan dari GEP 2022 dengan rata-rata peningkatan temperatur dunia pada 2100 yang mencapai 3°C (*Low Transition/LT*), 2,4°C (*Market Driven/MD*), dan 1,7°C (*Green Transition/GT*). Pada dasarnya perbedaan pencapaian temperatur dunia akan menimbulkan risiko-risiko fisik iklim dengan temperatur tertinggi menghasilkan risiko fisik iklim yang lebih tinggi dibandingkan skenario lainnya. Terjadinya perbedaan peningkatan temperatur dunia secara umum disebabkan oleh pencapaian target emisi karbon nol bersih (NZE) global. Pencapaian target NZE secara global dapat menahan laju peningkatan temperatur terendah dari setiap skenario. Sementara itu, tidak tercapainya target NZE dan yang terberat adalah fokus global dalam pemanfaatan energi fosil untuk menopang pertumbuhan ekonomi akan menyebabkan

peningkatan temperatur global yang lebih tinggi. Dalam PEO 2022, pencapaian temperatur terendah adalah 1,7°C dalam skenario transisi energi tertinggi (*Green Transition*) karena tren global belum menunjukkan penguatan implementasi kebijakan transisi energi. Selain itu, krisis energi pascakonflik Rusia-Ukraina menunjukkan bahwa pemanfaatan energi fosil masih kuat dan kerja sama global terganggu. Dengan tidak tercapainya target pembatasan peningkatan temperatur global, risiko iklim akan meningkat dan akan timbul dampak sistemik ke sistem keuangan melalui makroekonomi dan mikroekonomi. Oleh karena itu, dunia tidak hanya perlu untuk menyeimbangkan isu keberlanjutan dan pengembangan ekonomi dalam menahan laju peningkatan temperatur rata-rata global, tetapi juga perlu untuk memprioritaskan iklim (*climate first*).

Selain asumsi global yang menjadi lanskap skenario nasional seperti yang disebutkan di atas, *Pertamina Energy Outlook* juga disusun berdasarkan asumsi makro nasional, yaitu pertumbuhan PDB dan jumlah populasi. Meskipun terjadi volatilitas dalam jangka pendek, secara jangka panjang masih tidak terdapat perbedaan asumsi pertumbuhan PDB nasional ataupun jumlah populasi pada PEO 2022 dibandingkan PEO 2021 seperti yang terlihat dalam tabel berikut:

**Tabel 3.1 Asumsi Makro Nasional PEO 2022**

Asumsi Makro Nasional	Satuan	2020	2030	2040	2050	2060
Pertumbuhan PDB	%	-2.07%	4,4%	3,6%	2,8%	2,2%
Jumlah Populasi	Juta Jiwa	270	295	314	329	341

Dalam PEO 2022, dipetakan *key drivers* dari lanskap energi nasional dan asumsi dari setiap *key drivers* untuk setiap skenario. *Key drivers* adalah faktor-faktor utama yang memengaruhi *outlook* energi di setiap skenario. Secara umum, beberapa *key drivers*

di sektor energi adalah peningkatan efisiensi energi, pemanfaatan bahan bakar dan sumber energi rendah karbon, penjualan kendaraan listrik, penghentian penjualan kendaraan berbasis fosil, serta tingkat daur ulang plastik

(khusus untuk *non-energy use* minyak mentah). Selain itu, setiap skenario juga mengasumsikan penggunaan penangkapan karbon untuk penurunan emisi. Setiap *key drivers* diasumsikan secara berbeda-beda di setiap skenario dengan skenario LT merupakan

skenario transisi energi yang lebih lambat dibandingkan MD, dan skenario GT merupakan skenario transisi energi paling cepat di antara ketiga skenario. Berikut adalah asumsi dari setiap *key drivers* dan skenario:

**Tabel 3.2 Asumsi Skenario PEO 2022**

SEKTOR	KEY DRIVERS	YEAR	LOW TRANSITION	MARKET DRIVEN	GREEN TRANSITION
Transportasi Darat	Penjualan Mobil	2025	4%	8%	13%
		2035	20%	36%	96%
		2050	41%	100%	100%
		2060	46%	100%	100%
	Penjualan Kendaraan Listrik Roda 2 dan 3	2025	2%	9%	20%
		2035	29%	51%	100%
		2050	50%	100%	100%
		2060	51%	100%	100%
	Penjualan Truk Listrik	2025	0%	1%	11%
		2035	7%	25%	98%
		2050	25%	95%	99%
		2060	27%	100%	100%
Maritim	Bahan Bakar Maritim Rendah Karbon	2025	15%	15%	17%
		2035	15%	15%	22%
		2050	16%	16%	35%
		2060	16%	16%	39%
	Peningkatan Efisiensi dari Tahun 2019	2025	5%	5%	9%
		2035	16%	16%	22%
Aviasi	Peningkatan Efisiensi dari Tahun 2019	2025	2%	2%	5%
		2035	12%	12%	22%
		2050	24%	24%	43%
		2060	31%	31%	53%
Produksi E-Fuels	Bahan Bakar Aviasi Rendah Emisi	2025	0%	0%	0%
		2035	0%	0%	10%
		2050	0%	20%	40%
		2060	0%	30%	50%
	Blending Biodiesel	2025	30%	40%	40%
		2035	30%	40%	50%
		2050	30%	40%	50%
		2060	30%	40%	50%
	Blending Biogasoline	2025	0%	1%	1%
		2035	0%	5%	20%
2050		0%	5%	20%	
2060		0%	5%	20%	
Residensial	Percepatan Elektrifikasi Alat Masak	2025	3%	5%	13%
		2035	6%	18%	36%
		2050	12%	34%	57%
		2060	15%	45%	63%
	Ekspansi City Gas (Juta RT)	2025	2,5	4,0	5,0
		2035	5,0	15,0	15,0
		2050	10,0	23,0	23,0
		2060	13,0	23,0	23,0
Industri	Gasifikasi Industri (% Gas di Konsumsi Final)	2025	16%	16%	16%
		2035	21%	21%	16%
		2050	21%	21%	8%
		2060	20%	20%	8%
	% Listrik & Hidrogen di Konsumsi Final	2025	19%	19%	19%
		2035	21%	22%	32%
		2050	23%	31%	54%
		2060	24%	36%	55%
Ketenagalistrikan	Kapasitas Surya dan Bayu (GW)	2025	4	21	23
		2035	6	71	88
		2050	7	219	295
		2060	40	312	402
	Kapasitas Gas	2025	19	21	31
		2035	30	39	53
		2050	45	103	139
		2060	59	142	129

### III.1 OUTLOOK EMISI

Peningkatan populasi dan taraf hidup masyarakat akan diikuti dengan peningkatan kebutuhan energi. Oleh karena itu, jika tidak diikuti dengan pemilihan jenis bahan bakar yang berkadar karbon rendah, penggunaan teknologi yang efisien, dan ramah lingkungan, hal itu akan berdampak pada tingginya laju pertumbuhan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari pembakaran sumber energi. Pelepasan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari pembakaran energi di sektor komersial, rumah tangga, industri, transportasi, dan pembangkit listrik ke atmosfer dalam jumlah tertentu akan berdampak terhadap pemanasan global. Emisi CO<sub>2</sub> tersebut juga termasuk yang diakibatkan oleh proses produksi dan pengolahan energi, seperti wilayah produksi migas atau pertambangan, kilang minyak, kilang LPG, kilang LNG, dan kilang *biofuel*.

Berdasarkan skenario LT, pada tahun 2060 emisi energi akan terus mengalami peningkatan hingga mencapai 1.527 juta ton. Pada skenario MD, emisi energi mencapai puncak pada tahun 2040 dan kemudian mencapai 820 juta ton pada akhir tahun proyeksi. Adapun pada skenario GT, emisi energi mencapai puncak pada tahun 2034, kemudian menurun hingga 2043 dan meningkat kembali setelahnya hingga akhir tahun proyeksi sebesar 782 juta ton karena penggunaan kembali batubara. Namun, penggunaan kembali batubara pada skenario GT disebabkan teknologi CCS/CCUS sudah mencapai tingkat keekonomian. Dengan demikian, secara emisi bersih (setelah penggunaan CCS/CCUS) emisi mencapai puncak pada tahun 2034, kemudian turun hingga akhir tahun proyeksi sebesar 145 juta ton. Jumlah ini kemudian di-*offset* menggunakan penyerapan karbon berbasis alam (*natural sink*) dan tercapai NZE sepenuhnya. Berdasarkan sektornya, penyumbang emisi terbesar adalah sektor pembangkit listrik disebabkan sebagian besar bahan bakar yang

dimanfaatkan di sektor tersebut adalah bahan bakar yang kandungan karbonnya tinggi, terutama batubara dan juga BBM. Porsi emisi bersih pembangkit listrik terhadap total emisi bersih pada skenario MD di tahun 2060 adalah sebesar 50%, sementara pada skenario LT adalah sebesar 66%. Karena pada skenario GT sudah terdapat penggunaan masif CCS/CCUS di sektor pembangkit, emisi di sektor pembangkit tercapai emisi negatif. Sektor industri merupakan penyumbang emisi bersih terbesar kedua dalam skenario MD dengan porsi 27% pada tahun 2060, diikuti sektor transportasi dengan porsi 9%. Adapun pada skenario LT, porsi sektor industri adalah sebesar 20% dan transportasi 11%. Pada skenario GT, emisi pada sektor selain pembangkit masih *net* positif, tetapi jumlahnya mengalami penurunan, kecuali pada sektor industri semen dan beton yang sulit untuk diturunkan. Dalam skenario MD dan GT, penetrasi kendaraan listrik menyebabkan emisi transportasi mengalami penurunan dalam jangka panjang. Sementara itu, pada sektor industri, kecuali pada semen dan beton, emisi bersih mengalami penurunan karena elektrifikasi, pemanfaatan gas dan hidrogen. Adapun sektor lainnya, seperti rumah tangga dan komersial, merupakan sektor dengan tingkat emisi paling kecil, yang secara jangka panjang akan mengalami penurunan terutama karena peralihan bahan bakar memasak menggunakan kompor listrik.

Untuk mendapatkan penurunan emisi, penetrasi teknologi rendah karbon diperlukan di semua sektor pengguna energi. Peta jalan strategi pengelolaan energi jangka panjang perlu disusun sehingga pencapaian penurunan karbon dapat membawa manfaat, tidak hanya untuk pemerintah, tetapi juga badan usaha. PEO 2022 memberikan gambaran umum mengenai peta jalan pemanfaatan energi yang disesuaikan dengan kesiapan pasar dan teknologi.

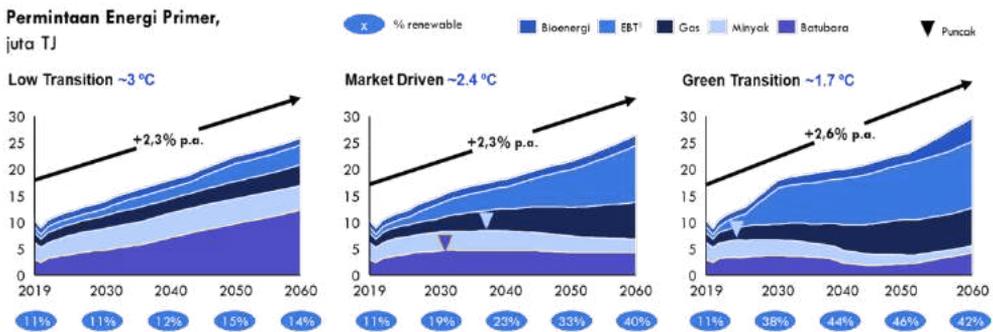
Pada skenario MD, diperlukan elektrifikasi di berbagai sektor dan pemanfaatan berbagai jenis energi baru dan energi terbarukan (EBET) untuk menahan laju peningkatan emisi. Sementara itu, pada skenario GT, selain elektrifikasi di berbagai sektor dan pemanfaatan EBET, diperlukan juga teknologi penangkapan karbon, seperti CCS/CCUS, untuk menurunkan emisi hingga tercapai NZE. Baik dalam skenario MD maupun GT, diperlukan offset karbon untuk memastikan bahwa emisi dapat lebih lanjut diturunkan. Oleh karena itu, solusi berbasis alam, seperti

hutan hujan dan *mangrove*, sangat diperlukan. Pemanfaatan solusi berbasis lautan juga perlu untuk lebih lanjut dikembangkan. Selain itu, untuk mencapai tingkat elektrifikasi dan penggunaan EBET, diperlukan kebijakan dan penggunaan EBET, diperlukan kebijakan, seperti pemensiunan PLTU batubara dan penghentian penjualan kendaraan konvensional. Pengembangan hidrogen, baik sebagai bahan bakar langsung, sebagai penyimpan energi seperti *fuel cell*, maupun bahan untuk menghasilkan bahan bakar sintetis, juga perlu dikembangkan lebih jauh.

### III.2 OUTLOOK ENERGI PRIMER

Setelah mengalami penurunan saat pandemi, permintaan energi primer nasional kembali mengalami peningkatan pada tahun 2021 sebesar 2,9% karena keberhasilan program vaksinasi pemerintah yang mendorong pemulihan perekonomian. Permintaan energi primer kembali diperkirakan akan meningkat pada tahun 2022 hingga tahun 2060 dalam setiap skenario, dengan laju pertumbuhan kebutuhan energi primer pada tiap-tiap skenario sebesar rata-rata 2,3% (LT), 2,3% (MD), dan 2,6% (GT) per tahun dari basis tahun

2019 hingga akhir masa proyeksi, yaitu tahun 2060. Skenario GT mengalami pertumbuhan kebutuhan energi primer tertinggi karena ketika penetrasi EBET mengalami peningkatan yang disebabkan oleh efisiensi pembangkit listrik EBET yang rendah, diperlukan suplai energi yang besar dalam memproduksi listrik untuk memenuhi kebutuhan. Jenis energi primer yang paling terdampak transisi energi adalah batubara dan minyak mentah. Hal ini terlihat dari perbedaan skenario yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 3.1 Outlook Bauran Energi Primer

Sumber: PEI (2022)

Pada skenario LT, energi fosil diperkirakan masih mendominasi penyediaan energi primer Indonesia hingga tahun 2060 dengan total porsi 80,8% atau sebesar 20,9 juta TJ. Dari jumlah tersebut, batubara masih mendominasi dengan porsi mencapai 47,7%, disusul oleh sumber energi migas. Dominasi batubara disebabkan oleh masih tingginya pemakaian energi tersebut di sektor industri dan pembangkit listrik. Lambatnya pertumbuhan sumber energi terbarukan disebabkan oleh penurunan biaya yang lebih lambat dan kurangnya dukungan kebijakan. Pangsa energi fosil mengalami penurunan pada skenario MD dan GT seiring dengan peningkatan penetrasi elektrifikasi dan diversifikasi energi lainnya menjadi 13,8 juta TJ (porsi bauran 52,1%) dan 12,7 juta TJ (porsi bauran 42,8%) pada tahun akhir proyeksi.

Dalam skenario MD, di Indonesia puncak permintaan minyak diperkirakan akan terjadi pada sekitar tahun 2031, sementara puncak permintaan batubara diperkirakan akan terjadi pada sekitar tahun 2038. Puncak permintaan minyak terjadi lebih cepat pada skenario GT, yaitu pada sekitar tahun 2025, disebabkan oleh percepatan elektrifikasi kendaraan dan dorongan kebijakan biodiesel/etanol. Sementara itu, batubara akan mulai menurun pada kisaran tahun 2040, tetapi kembali meningkat setelah 2050 karena perkembangan teknologi CCS/CCUS. Jika dilihat dari sisi sektornya, peningkatan permintaan energi primer didorong oleh pertumbuhan elektrifikasi di setiap pengguna energi dalam rangka dekarbonisasi, dengan jumlah

permintaan energi terbesar adalah sektor kelistrikan. Pada skenario LT, jumlah energi secara nasional yang dikonversi menjadi listrik adalah sebesar 16 juta TJ pada 2060, sementara pada skenario MD adalah sebesar 20 juta TJ, dan pada skenario GT sebesar 26 juta TJ.

Setelah sektor kelistrikan, penggunaan energi terbesar kedua di setiap skenario adalah sektor industri. Penggunaan energi primer di sektor industri nasional untuk skenario LT mencapai 5,4 juta TJ pada 2060, sedangkan skenario MD yang transisi energinya lebih tinggi dari skenario TJ mencapai permintaan energi yang lebih rendah dari skenario LT untuk sektor industri, yaitu 4,5 juta TJ pada 2060. Adapun skenario transisi energi tertinggi, yaitu GT, merupakan skenario dengan penggunaan energi primer terendah dari semua skenario untuk sektor industri, yaitu sebesar 2,7 TJ pada 2060.

Permintaan energi terbesar ketiga secara nasional di setiap skenario ialah permintaan energi untuk sektor transportasi. Sejalan dengan skenario peningkatan elektrifikasi di semua sektor, permintaan energi untuk skenario LT di sektor transportasi mencapai puncak pada tahun 2042, yaitu sebesar 3,5 juta TJ, dan turun ke 3,1 TJ pada tahun 2060. Untuk skenario MD, puncak permintaan energi sektor transportasi terjadi pada tahun 2035 sebesar 3,1 juta TJ dan turun ke 1,6 juta TJ pada tahun 2060. Akan halnya untuk skenario GT, puncak permintaan energi sektor transportasi terjadi pada tahun 2031 sebesar 2,9 juta TJ dan turun ke 0,4 juta TJ pada tahun 2060.

### III.2.1 MINYAK

Dalam jangka panjang, kebutuhan minyak nasional diproyeksikan akan mencapai puncak dan mengalami pelambatan/penurunan hingga akhir tahun proyeksi. Pada skenario LT, kebutuhan minyak mengalami peningkatan hingga mencapai 773 juta BOE pada 2048 dan turun ke 760 juta BOE pada 2060 atau sekitar 2,1 juta BOEPD. Pada skenario MD, kebutuhan minyak nasional mencapai puncak pada tahun 2038, yakni 605 juta BOE atau 1,6 juta

BOEPD, kemudian turun ke 425 juta BOE atau 1,2 juta BOEPD pada tahun 2060. Kebutuhan minyak nasional pada skenario GT mencapai puncak pada 2025 sebesar 533 juta BOE atau 1,5 juta BOEPD dan mengalami penurunan signifikan hingga 204 juta BOE (0,6 juta BOEPD) pada 2060. Penurunan pemanfaatan minyak dalam jangka panjang terutama disebabkan oleh elektrifikasi kendaraan.

### III.2.2 GAS

Di setiap skenario, permintaan gas secara nasional diproyeksikan terus mengalami peningkatan hingga tahun 2060 dengan porsi terbesar di skenario GT. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan terbesar permintaan gas di dua sektor utama, yaitu pembangkit dan industri. Dalam skenario LT, kebutuhan gas meningkat rata-rata 2% per tahun, yaitu menjadi sebesar 171,4 bcm pada tahun 2060 dengan permintaan di sektor pembangkit dan industri terus meningkat sebelum 2030, tetapi untuk sektor industri kemudian mendatar hingga akhir tahun proyeksi.

Untuk skenario MD, pertumbuhan permintaan gas nasional lebih tinggi, yaitu rata-rata 3,5% per tahun, menjadi sebesar 177,6 bcm pada tahun 2060. Permintaan gas di sektor pembangkit tumbuh secara signifikan setelah tahun 2030 karena pembatasan pembangkit

batubara dan peningkatan pembangkit energi terbarukan yang bersifat intermiten. Sementara kebutuhan gas untuk sektor industri akan mendatar setelah 2030 karena pertumbuhan ekonomi dapat diseimbangkan dengan peningkatan efisiensi dan elektrifikasi di sektor industri.

Pertumbuhan permintaan gas di skenario GT tidak jauh berbeda dengan skenario MD, yaitu sekitar 3,5%. Namun, dalam skenario ini pertumbuhan permintaan di sektor pembangkit secara nasional jauh lebih tinggi daripada skenario MD setelah tahun 2030, terutama untuk setelah tahun 2050 terdapat tambahan pembangkit gas menggunakan CCS untuk mencapai *net-zero*. Sementara itu, di sektor industri terjadi penurunan permintaan setelah tahun 2030 karena elektrifikasi dan peralihan ke hidrogen.

### III.2.3 BATUBARA

Batubara hingga saat ini masih berperan penting dalam pertumbuhan ekonomi dan pemenuhan kebutuhan energi tidak hanya di Indonesia, tetapi juga di negara lain, seperti India dan Tiongkok. Bahkan, ketika terjadi krisis energi di Eropa karena konflik Rusia-Ukraina, terjadi peningkatan ekspor batubara dari Indonesia ke negara-negara di Eropa. Namun, dengan peningkatan komitmen transisi energi dan *net-zero emission*, ke depan batubara akan mulai digantikan oleh energi yang lebih hijau. Hal ini terutama disebabkan pembangkit batubara menghasilkan unsur-unsur pencemar udara, seperti partikulat, nitrogen oksida, karbon dioksida, merkuri, dan emisi lainnya. Di Indonesia, pemerintah memperkuat komitmen untuk memensiunkan dini pembangkit batubara, salah satunya dengan menggunakan skema *Energy Transition Mechanism* (ETM) yang mendapat dukungan dari Bank Pembangunan Asia (ADB). Meskipun terdapat rencana untuk mengurangi batubara,

diperkirakan permintaan batubara ke depan masih akan bertumbuh meskipun dalam tingkat pertumbuhan yang relatif kecil. Untuk skenario MD dan GT, permintaan batubara secara nasional hanya akan bertumbuh sekitar 1% per tahun. Hal ini disebabkan kebijakan dan komitmen transisi energi yang lebih kuat dalam kedua skenario tersebut. Perbedaannya, dalam skenario MD, batubara akan mengalami puncak permintaan pada tahun 2031, yaitu sebesar 243 juta ton, kemudian akan relatif mendatar hingga 2060, yaitu 220 juta ton. Sementara itu, dalam skenario GT, puncak permintaan batubara secara nasional akan terjadi pada tahun 2029, yaitu 193 juta ton, dan menurun hingga 2045, yaitu 90 juta ton. Namun, setelah itu batubara akan kembali meningkat karena peningkatan teknologi CCS yang memungkinkan pemanfaatan kembali pembangkit batubara, meskipun peningkatan permintaan batubara pada tahun 2060 hanya terbatas sebesar 221 juta ton.

Pemanfaatan batubara terbesar ada dalam skenario LT, dengan asumsi bahwa batubara masih akan menjadi sumber energi termurah untuk menopang pertumbuhan kebutuhan energi karena lambatnya penurunan biaya dari sumber energi terbarukan dan kurangnya

kebijakan disinsentif untuk sumber energi kotor. Dalam skenario ini, permintaan batubara akan terus bertumbuh sebesar 3,7% per tahun atau menjadi sebesar 642 juta ton pada tahun 2060.

### III.2.4 ENERGI BARU DAN ENERGI TERBARUKAN (EBET)

Pemanfaatan EBET dan bioenergi secara nasional dalam setiap skenario diproyeksikan terus mengalami peningkatan, tetapi dalam tingkat pertumbuhan yang berbeda. Dalam skenario LT, porsi EBET dalam bauran energi adalah sebesar 12% pada 2040 atau sebesar 2,1 juta TJ dan meningkat menjadi 14% atau sebesar 3,7 juta TJ pada 2060, sementara bioenergi adalah sebesar 8% atau sebesar 1,4 juta TJ dan turun menjadi 5% atau sebesar 1,3 juta TJ. Secara bauran, bioenergi diproyeksikan akan mengalami penurunan karena terus digunakannya batubara dalam bauran energi primer. Sementara dari segi jumlah energi, bioenergi tidak terlalu berubah signifikan, terutama karena terbatasnya pemanfaatan biodiesel, yaitu B30. Pada skenario MD, porsi EBET dalam bauran energi adalah sebesar 23% pada 2040 atau sebesar 4,1 juta TJ dan meningkat menjadi 40% atau sebesar 10,7 juta TJ pada 2060. Adapun bioenergi adalah sebesar 8% atau sebesar 1,5 juta TJ dan turun menjadi 7% atau sebesar 2 juta TJ.

Dalam skenario ini, EBET dan gas terus bertumbuh dan mendominasi bauran energi primer nasional sehingga porsi bauran bioenergi terlihat menurun, padahal dari sisi pemanfaatan energi mengalami peningkatan. Peningkatan bioenergi salah satunya disebabkan oleh peningkatan pemanfaatan biodiesel menjadi B40. Dalam skenario GT, porsi EBET dalam bauran energi adalah sebesar 44% pada 2040 atau sebesar 8,7 juta TJ dan meningkat menjadi 42% atau sebesar 12,5 juta TJ pada 2060, sedangkan bioenergi adalah sebesar 8% atau sebesar 1,7 juta TJ dan turun menjadi 15% atau sebesar 4,5 juta TJ. Dalam skenario ini, pemanfaatan EBET jauh lebih tinggi dibandingkan dua skenario lainnya disebabkan keekonomian EBET yang lebih baik dan dukungan kebijakan pemerintah yang kuat. Bioenergi mengalami peningkatan karena salah satunya disebabkan oleh pemanfaatan biodiesel menjadi B50 pada tahun 2035 ke depan.

### III.3 OUTLOOK ENERGI FINAL PER SEKTOR

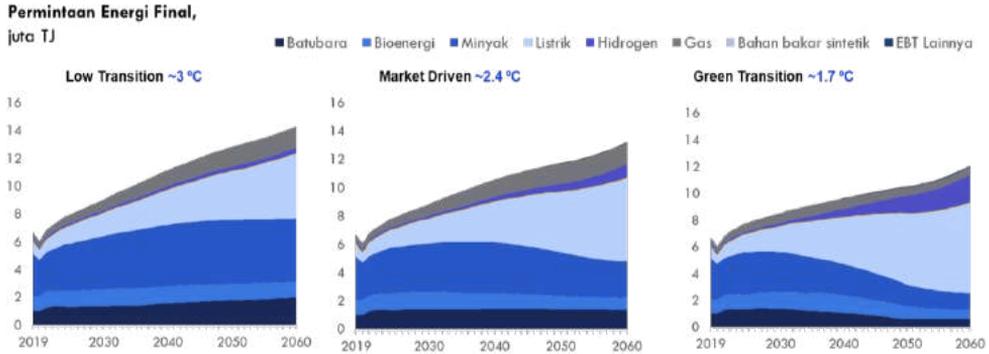
Outlook energi final dalam PEO 2022 dikategorisasikan berdasarkan sektor dan jenis bahan bakarnya. Kelompok sektor utama yang digunakan adalah komersial dan rumah tangga, industri, dan transportasi. Berdasarkan skenario yang dikembangkan dalam pemodelan outlook energi, konsumsi energi final secara nasional untuk skenario LT akan tumbuh rata-rata sebesar 1,9% per tahun hingga tahun 2060, sedangkan MD sebesar 1,7% hingga 2060 dan GT sebesar 1,4%.

Skenario LT memiliki pertumbuhan konsumsi energi final tertinggi disebabkan asumsi transisi energi dan elektrifikasi yang paling rendah di antara semua skenario, sementara skenario GT memiliki pertumbuhan konsumsi energi final terendah didorong oleh elektrifikasi dan peningkatan efisiensi energi dalam teknologi yang digunakan di berbagai sektor. Di setiap skenario terdapat penetrasi EBET yang digunakan dalam konsumsi energi final, tetapi penetrasi tertinggi terdapat pada skenario GT.

### III.3.1 BAURAN ENERGI FINAL

Bauran energi final di setiap skenario terdiri dari batubara, bioenergi, minyak, listrik, hidrogen, dan gas. Khusus untuk skenario GT, bahan bakar sintetis akan masuk pada tahun 2036 di sektor aviasi, sedangkan

EBET lainnya dalam bentuk amonia akan masuk pada tahun 2035 di sektor maritim. Porsi dari kedua bahan bakar tersebut masih sangat kecil atau sekitar 0,6% dari total energi final pada tahun 2060.

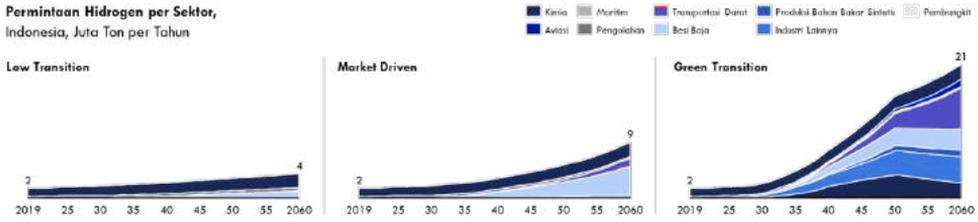


**Gambar 3.2 Outlook Permintaan Energi Final**

Sumber: PEI (2022)

Saat ini hidrogen secara nasional sudah digunakan di dalam konsumsi sektor industri, terutama di industri kimia yang pada tahun 2019 pemanfaatan energinya mencapai 150.000 TJ. Ke depan, hidrogen akan digunakan lebih luas lagi di sektor lainnya. Untuk skenario LT, hidrogen diperkirakan akan bertumbuh rata-rata 1,3% per tahun hingga 2060 di sektor industri kimia. Hidrogen akan mulai digunakan dalam sektor industri besi baja mulai tahun 2031 sebesar 2.000 TJ dan tumbuh hingga 114.000 TJ, dan industri lainnya dengan porsi yang sangat kecil, yaitu 10.000 TJ pada tahun 2060. Pemanfaatan hidrogen untuk transportasi darat di skenario LT diperkirakan baru terjadi pada tahun 2031 dan tumbuh rata-rata 14,5% per tahun hingga 2060 dengan jumlah sebesar 10.000 TJ. Sektor pengguna hidrogen pada skenario MD tidak berbeda jauh pada skenario LT. Perbedaannya hanya pertumbuhan hidrogen yang lebih tinggi pada skenario MD. Dalam skenario MD,

pertumbuhan hidrogen rata-rata 4,6% per tahun hingga tahun 2060 dengan konsumsi sebesar 1 juta TJ, lebih besar dibandingkan pertumbuhan LT sebesar rata-rata 2,3% per tahun dengan konsumsi sebesar 0,4 juta TJ. Pertumbuhan hidrogen dalam skenario MD terutama didorong oleh sektor transportasi, produksi bahan bakar sintetis, dan industri besi baja yang mencapai 90% dari total pertumbuhan permintaan dan mencapai 8,6 juta ton per tahun pada tahun 2060. Pemanfaatan hidrogen di sektor transportasi terutama digunakan pada kendaraan berat. Sementara itu, pertumbuhan hidrogen tertinggi terdapat pada skenario GT, yaitu rata-rata 6,5% per tahun hingga 2060 dengan konsumsi sebesar 2,1 juta TJ pada tahun 2060. Dalam skenario GT, hidrogen tidak hanya digunakan pada sektor transportasi darat, tetapi juga maritim dan aviasi. Perkembangan ini akan dibahas lebih lanjut dalam pembahasan mengenai konsumsi energi final per sektor.

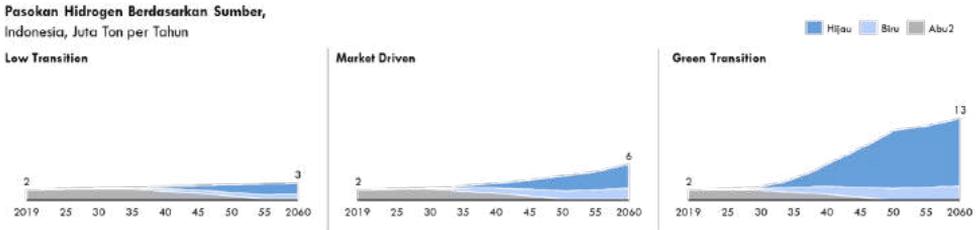


**Gambar 3.3 Outlook Permintaan Hidrogen Per Sektor (Juta Ton Per Tahun)**

Sumber: PEI (2022)

Pemanfaatan hidrogen diproyeksikan akan meningkat di sektor industri terutama didorong oleh pemanfaatan hidrogen secara langsung sebagai bahan bakar dan blending dengan gas alam untuk penghasil panas tinggi, bahan bakar sintetis, dan produksi listrik pada pembangkit panas rendah-menengah. Porsi hidrogen dalam total bahan bakar pemanas di sektor industri mencapai 1% pada 2030,

3% pada 2040, dan 7-8% pada 2050. Dari sisi pasokan, saat ini sumber hidrogen masih berasal dari energi fosil (hidrogen abu-abu). Ke depan, hidrogen akan dipenuhi dari berbagai sumber, terutama hidrogen hijau yang berasal dari sumber energi bersih. Hidrogen hijau diproyeksikan akan mulai masuk setelah 2030 terutama didorong oleh penurunan biaya.

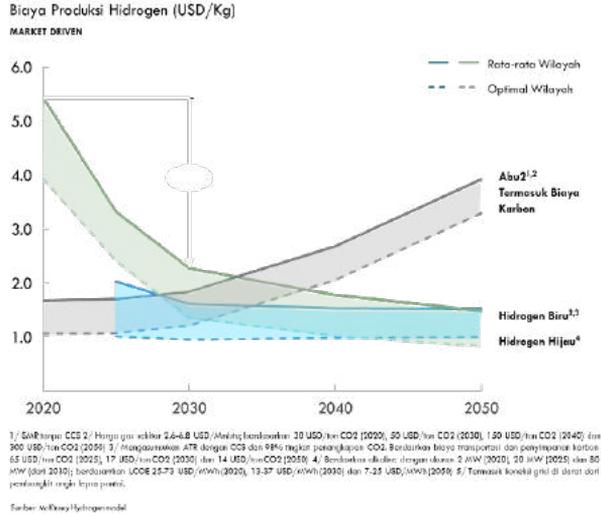


**Gambar 3.3 Outlook Permintaan Hidrogen Per Sektor (Juta Ton Per Tahun)**

Sumber: PEI (2022)

Saat ini hidrogen abu-abu merupakan sumber hidrogen termurah. Namun, dalam skenario MD, ke depan biaya hidrogen abu-abu akan terus meningkat terutama disebabkan oleh peningkatan biaya karbon. Dengan demikian, dalam jangka pendek, hidrogen biru yang berasal dari gas akan mengalahkan biaya hidrogen abu-abu. Adapun hidrogen hijau, yang saat ini biayanya tertinggi, akan terus mengalami penurunan dan setelah 2030 akan mencapai paritas dengan hidrogen biru. Biaya hidrogen biru bergantung pada harga gas alam, yaitu di kisaran 60-80% dari total biaya hidrogen biru. Sementara itu, biaya hidrogen

hijau bergantung pada biaya *electrolyzer* dan pembangkit EBET. Diharapkan dalam satu dekade mendatang biaya EBET akan mengalami perbaikan yang signifikan sehingga menurunkan biaya hidrogen hijau. Lain halnya dengan biaya *electrolyzer* yang penurunannya bergantung pada skala produksi dan perbaikan desain sistem (seperti optimisasi plant, pencarian ukuran optimal, atau memanfaatkan desain modular untuk berbagai pemanfaatan). Ke depan, tingkat pemanfaatan hidrogen di berbagai sektor akan sangat bergantung pada keekonomian, selain juga ambisi dekarbonisasi.



**Gambar 3.5 Biaya Produksi Hidrogen**

Sumber: PEI (2022)

Selain pemanfaatan hidrogen, transisi energi dalam konsumsi energi final terlihat juga dari pemanfaatan listrik. Energi listrik dalam bauran konsumsi energi final secara nasional pada tahun 2019 adalah sekitar 14%. Sementara itu, dalam skenario transisi terendah, yaitu LT, bauran listrik meningkat menjadi 34% pada 2060.

### III.3.2 TRANSPORTASI

Transportasi darat merupakan sektor transportasi dengan konsumsi energi terbesar di antara sektor transportasi lainnya (udara dan laut) meskipun tingkat rata-rata pertumbuhannya paling kecil di antara transportasi lainnya dan mengalami puncak konsumsi. Untuk skenario LT, puncak konsumsi sektor transportasi darat terjadi pada tahun 2041 dan kemudian relatif landai. Sementara untuk skenario MD, puncak konsumsi sektor transportasi darat terjadi pada 2037, kemudian menurun, dan untuk skenario GT, puncak konsumsi sektor transportasi darat terjadi pada 2033. Konsumsi energi sektor transportasi darat untuk skenario LT tumbuh rata-rata per

Selanjutnya, bauran listrik jauh lebih tinggi untuk tahun 2060 pada skenario MD, yaitu sebesar 45%, dan pada skenario GT, yaitu sebesar 56%. Peningkatan bauran ini disebabkan oleh elektrifikasi di berbagai sektor, terutama yang terbesar perbedaan pertumbuhan antarskenarionya terdapat pada sektor transportasi dan industri.

tahun sebesar 0,79% hingga 2060 dengan konsumsi energi pada tahun 2060 sebesar 2,8 juta TJ. Dalam skenario LT, konsumsi energi final sektor transportasi darat secara nasional masih didominasi oleh minyak dengan bauran sebesar 74% pada tahun 2060. Kendaraan listrik menempati bauran kedua pada tahun 2060, yaitu sebesar 15%, dengan tingkat pertumbuhan konsumsi energi rata-rata 29% per tahun hingga 2060. Dalam skenario ini, tidak terdapat dorongan kebijakan kendaraan listrik yang cukup berarti. Sementara itu, dari sisi teknologi, baterai baru mencapai paritas TCO di negara maju pada tahun 2030 dan negara berkembang setelah 2035.

Pada tahun 2030, harga baterai di Asia Tenggara masih sekitar USD 100 per kWh. Infrastruktur pengecasan umum masih terbatas karena kebanyakan pengecasan dilakukan di rumah. Selain itu, kendaraan barang jarak jauh tidak beralih ke kendaraan listrik. Selanjutnya, selain listrik, energi lainnya di sektor transportasi darat adalah bahan bakar nabati dengan bauran sebesar 11% pada 2060. Dalam skenario ini, diasumsikan bahwa kebijakan nasional blending bahan bakar nabati adalah 30% atau B30 hingga 2060, dengan ketersediaan feedstock terbatas pada bahan bakar nabati generasi ke-1 dan ke-2. Pada skenario MD, konsumsi energi final sektor transportasi darat secara nasional tumbuh rata-rata per tahun sebesar 0,03% hingga 2060, dengan konsumsi energi pada tahun 2060 sebesar 2,06 juta TJ. Dalam skenario MD, kendaraan listrik secara nasional diproyeksikan mengalami pertumbuhan yang cukup signifikan, yaitu rata-rata 32% per tahun dengan porsi bauran sebesar 50% pada tahun 2060. Hal ini didorong oleh kebijakan seperti pelarangan penjualan kendaraan konvensional di beberapa negara, seperti Uni Eropa, Tiongkok, dan Amerika Serikat, pada tahun 2035, serta di negara berkembang dan Asia Tenggara setelah 2040.

Dorongan lainnya ialah dari sisi teknologi dengan tercapainya paritas TCO sebelum tahun 2025 di Uni Eropa, Amerika Serikat, dan Tiongkok, serta sekitar tahun 2030 di Asia Tenggara. Hal ini terutama didorong oleh penurunan harga baterai di bawah USD 90 per kWh pada 2030. Dalam skenario ini, sebagian besar pengecasan kendaraan listrik dilakukan di rumah. Namun, dengan meluasnya penggunaan kendaraan listrik, profitabilitas infrastruktur pengecasan untuk perusahaan swasta menjadi semakin menarik. Selanjutnya, bahan bakar nabati mengalami pertumbuhan sekitar 0,9% per tahun hingga 2060. Namun, bahan bakar nabati mengalami puncak pada tahun 2035 disebabkan peningkatan pemanfaatan kendaraan listrik, termasuk di kendaraan berat. Dalam skenario ini, blending bahan bakar nabati meningkat menjadi 35% (B35) pada tahun 2023, kemudian pada tahun 2025 meningkat menjadi 40% (B40) hingga tahun 2060.

Dalam skenario ini, ketersediaan *feedstock* terbatas pada generasi ke-2, terutama di wilayah seperti Asia Tenggara yang memiliki pangsa pasar untuk generasi ke-1. Selanjutnya, pada skenario GT, konsumsi energi sektor transportasi darat tumbuh rata-rata per tahun sebesar 0,26% hingga 2060, dengan konsumsi energi pada tahun 2060 sebesar 2,26 juta TJ. Dalam skenario ini, pada tahun 2060 bauran konsumsi energi final didominasi oleh energi listrik sebesar 62%, kemudian diikuti hidrogen sebesar 34%, bahan bakar minyak hanya sebesar 3%, dan sisanya bahan bakar nabati. Dalam skenario ini, bahan bakar nabati mencapai *blending* sebesar 35% pada 2023, kemudian 40% pada 2025, dan 50% pada 2035 hingga 2060. Namun, kebijakan elektrifikasi kendaraan meningkatkan konsumsi energi listrik dalam bauran energi final.

Penjualan kendaraan berbahan bakar minyak dilarang di sejumlah negara, termasuk Asia Tenggara. Paritas TCO baterai tercapai pada tahun 2025 untuk semua segmen, dengan harga baterai berada di bawah USD 70 per kWh pada tahun 2030. Pemerintah mendukung ekosistem kendaraan listrik dengan berinvestasi pada infrastruktur pengecasan untuk menginisiasi pengembangan ekosistem kendaraan listrik, sehingga mendukung adopsi kendaraan listrik. Sementara itu, hidrogen mulai menjadi sumber energi untuk kendaraan berat. Sekitar 20% truk dan bus di Tiongkok dan negara-negara OECD pada tahun 2030 berbahan bakar *fuel cell*, dan sekitar 50% pada tahun 2050. Sementara penjualan kendaraan *fuel cell* di Asia Tenggara sedikit tertinggal di kisaran 10-20%.

Untuk transportasi udara, konsumsi energi final pada skenario LT dan MD mengalami tingkat pertumbuhan yang sama, yaitu rata-rata 2,3% per tahun hingga 2060, dengan jumlah konsumsi bahan bakar penerbangan pada tahun 2060 diperkirakan sebesar 13 juta KL. Perbedaannya, konsumsi energi dalam skenario LT untuk aviasi adalah minyak (avtur). Hal ini disebabkan dalam skenario LT tidak terdapat dorongan kebijakan terkait *sustainable aviation fuel* (SAF).

Dalam skenario MD, bahan bakar nabati dan sintetis masuk ke dalam bauran. Hal ini disebabkan dalam skenario MD, diproyeksikan terdapat kebijakan SAF terutama di negara maju pada tahun 2035, dan di negara berkembang terutama Asia Tenggara baru dimulai setelah 2045. Bahan bakar nabati diproyeksikan mulai masuk ke dalam konsumsi energi final pada tahun 2040 sebesar 158.000 KL dengan tingkat pertumbuhan hingga tahun 2060 sebesar rata-rata 16,7% per tahun dan mencapai porsi bauran 26% pada tahun 2060 atau sejumlah 3 juta KL. Pertumbuhan ini terutama didorong oleh penguatan kebijakan pemanfaatan bahan bakar nabati dan sintetis di sektor aviasi. Beberapa jenis bahan bakar nabati yang digunakan adalah bioavtur berbasis *hydrotreated vegetable oil* (HVO) dan *hydroprocessed esters and fatty acids* (HEFA).

Permasalahan dari bahan bakar sintetis dalam skenario MD adalah ketersediaan feedstock untuk jelantah (*waste oil*). Diperkirakan secara *global waste oil* akan mencapai puncak pada akhir 2020 sebesar 30 juta ton. Namun, berbeda dengan negara lain seperti Uni Eropa yang meninggalkan *feedstock* pangan dari bahan bakar nabati, beberapa negara seperti Brasil, Tiongkok, Indonesia, dan beberapa negara di Amerika Utara akan mengalami peningkatan permintaan bahan bakar nabati dari sumber pangan karena tidak ada kebijakan yang membatasi.

Selanjutnya, selain bahan bakar nabati, bahan bakar sintetis diproyeksikan akan masuk ke dalam konsumsi energi final pada tahun 2040 sebesar 18.500 KL dengan tingkat pertumbuhan hingga tahun 2060 sebesar rata-rata 18,2% per tahun dan mencapai porsi bauran 4% pada tahun 2060 atau sejumlah 522.000 KL. Jenis bahan bakar sintetis untuk aviasi yang masuk dalam proyeksi adalah kerosene sintetis. Salah satu sumber produksi bahan bakar sintetis adalah dari hidrogen. Dalam skenario GT, konsumsi energi final di sektor aviasi akan tumbuh lebih rendah dibandingkan skenario LT dan MD, yaitu rata-rata 1,6% per tahun hingga 2060 atau sebesar

6 juta KL. Hal ini diasumsikan karena terjadi peningkatan efisiensi penggunaan bahan bakar penerbangan. Dalam skenario ini, bauran energi sektor aviasi sama dengan skenario MD, tetapi dengan tingkat penetrasi yang lebih tinggi. Dalam skenario GT, bioavtur masuk ke dalam bauran pada tahun 2033 sejumlah 302.000 KL dan terus tumbuh hingga tahun 2060 sebesar 1,6 juta KL. Sementara itu, bahan bakar sintetis masuk pada tahun 2036 sebesar 40.000 KL dan tumbuh hingga tahun 2060 sebesar 1,3 juta KL. Dalam skenario ini, hidrogen digunakan baik secara langsung maupun untuk menghasilkan bahan bakar sintetis aviasi. Konsumsi hidrogen di sektor aviasi dalam skenario ini ialah pada tahun 2030 sebesar 149 ton dan meningkat rata-rata 35% per tahun menjadi 1,1 juta ton pada tahun 2060.

Untuk sektor transportasi laut atau maritim nasional, pertumbuhan konsumsi energi di skenario LT dan MD hampir sama pada rata-rata 1,7% per tahun atau sebesar 0,27 juta TJ pada tahun 2060. Perbedaannya, dalam skenario LT diasumsikan tidak ada regulasi efisiensi bahan bakar, efisiensi bahan bakar per tahun pada rata-rata sekitar <1% per tahun disebabkan oleh faktor penurunan biaya.

Dalam skenario LT, bauran bahan bakar rendah karbon pada 2060 adalah sebesar 16%. Untuk skenario MD, diasumsikan terdapat regulasi efisiensi bahan bakar pada pelabuhan utama dunia, seperti Rotterdam dan Singapura, yang mendorong efisiensi bahan bakar sekitar 1% per tahun. Dalam skenario MD, gas/diesel oil akan terus turun selama 2050 dengan pemanfaatan LNG meningkat pasca-2030. Untuk skenario GT, konsumsi energi tumbuh rata-rata 1,1% per tahun hingga 2060 atau sebesar 0,21 juta TJ pada tahun 2060. Hal ini terutama didorong regulasi yang mendorong efisiensi bahan bakar lebih dari 1% per tahun. Dalam skenario GT, bauran bahan bakar rendah emisi adalah sekitar 42% pada tahun 2060, dengan jenis bahan bakar seperti hidrogen dan amonia mulai meningkat pasca-2040 dan menyebabkan penurunan HSFO dan LSFO, dan penurunan lebih jauh lagi untuk *gas/diesel oil*.



**Gambar 3.6 Outlook Permintaan Energi Sektor Maritim**

Sumber: PEI (2022)

Sektor maritim memerlukan berbagai efisiensi yang dapat menurunkan konsumsi total armada di kisaran 23-40% pada tahun 2050. Beberapa langkah efisiensi yang dapat dilakukan, antara lain, perencanaan jelajah, perawatan baling-baling, dan perawatan lambung kapal. Sementara untuk

bahan bakar rendah karbon di sektor maritim sangat dipengaruhi oleh kebijakan dan tidak akan ekonomis tanpa harga karbon yang tinggi. Di sisi lain, TCO bahan bakar kapal alternatif perlu turun 20-40% pada 2030 agar dapat lebih kompetitif dengan *fuel oil*.

### III.3.3 INDUSTRI

Konsumsi energi di sektor industri nasional diproyeksikan akan tumbuh rata-rata 2,2% per tahun dengan total konsumsi pada tahun 2060 sebesar 6,9 juta TJ dalam skenario LT. Sementara rata-rata pertumbuhan konsumsi energi pada skenario MD hampir mendekati skenario LT, yaitu 2,2% per tahun, dan skenario GT lebih rendah lagi, yaitu 1,8% per tahun. Hal ini terutama didorong oleh peningkatan elektrifikasi dan pemanfaatan hidrogen di sektor industri.

Dalam skenario LT, batubara masih digunakan di sektor industri dan terus mengalami pertumbuhan hingga tahun 2060 sebesar rata-rata 1,7% per tahun, dengan porsi bauran sebesar 29% pada tahun 2060 atau dalam jumlah energi sekitar 2 juta TJ. Listrik juga mengalami pertumbuhan hingga tahun 2060 sebesar rata-rata 3,1% per tahun dengan porsi bauran pada 2060 sebesar 18% atau dalam jumlah energi sekitar 1,2 juta TJ.

Hidrogen terus mengalami pertumbuhan sebesar rata-rata 2,3% per tahun hingga 2060 dengan porsi bauran pada 2060 sebesar 6% atau dalam jumlah energi sekitar 0,39 juta TJ. Dalam skenario LT, hidrogen terutama digunakan pada industri kimia, kemudian baru pada tahun 2030 hidrogen mulai digunakan pada industri besi baja dan porsi kecil kemudian digunakan juga di industri lainnya. Minyak dan gas dalam skenario LT masih digunakan dalam sektor industri dengan tingkat pertumbuhan sebesar rata-rata 2,6% hingga 2060 dengan porsi bauran 41% atau dalam jumlah energi sebesar 2,8 juta TJ pada 2060. Dengan porsi tersebut, bauran energi fosil di sektor industri pada skenario LT masih mencapai 70% pada tahun 2060. Bauran energi fosil di sektor industri nasional diproyeksikan berada di sekitar 58% pada tahun 2060 di skenario MD atau dalam jumlah energi sebesar 3,9 juta TJ. Tingkat pertumbuhan energi fosil di sektor industri masih berada dalam rata-rata

1,6% per tahun. Dalam skenario ini, batubara mencapai 20% bauran pada tahun 2060, tetapi pertumbuhannya cenderung menurun dengan rata-rata per tahun sebesar 0,7%. Penurunan konsumsi batubara terutama terjadi di sektor industri besi baja. Dalam skenario MD, batubara mulai digantikan oleh listrik dan hidrogen pada pertengahan 2030-an. Sementara itu, pada skenario GT, bauran energi fosil di sektor industri nasional diproyeksikan berada di sekitar 34% pada tahun 2060 atau dalam jumlah energi sebesar 1,95 juta TJ. Dalam skenario GT, energi fosil

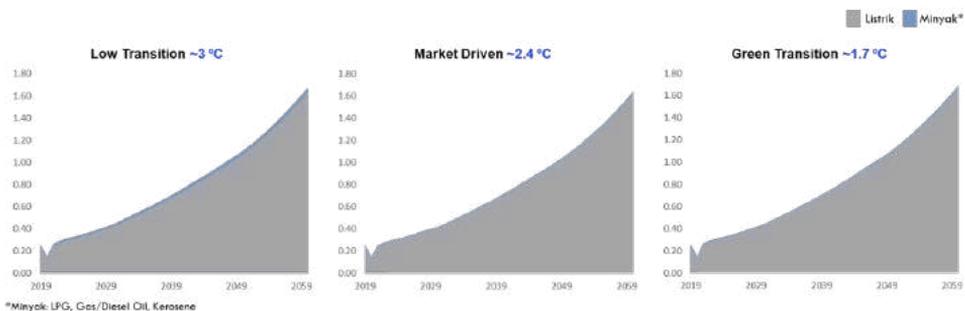
mengalami penurunan sebesar rata-rata -0,1% per tahun hingga 2060, terutama didorong oleh penurunan batubara dan gas yang digantikan listrik dan hidrogen. Adapun minyak masih mengalami pertumbuhan rata-rata 1,4% per tahun hingga 2060 didorong oleh pertumbuhan konsumsi energi di industri kimia rata-rata 3,1% per tahun hingga 2060. Di setiap skenario, konsumsi minyak di sektor industri kimia masih mengalami pertumbuhan dengan LT sebesar rata-rata 4,3% per tahun hingga 2060 dan MD sebesar rata-rata 3,6% per tahun hingga 2060.

### III.3.4 RUMAH TANGGA DAN KOMERSIAL

Sektor komersial dan rumah tangga termasuk sektor yang mengalami transisi energi. Di setiap skenario, bauran energi listrik mengalami peningkatan meskipun dalam tingkat yang berbeda. Meskipun, untuk sektor komersial, energi listrik saat ini dan ke depan akan terus mendominasi konsumsi energi final. Beberapa tahun ke depan, sektor komersial diproyeksikan akan menjadi sektor yang memegang peran kunci dalam pertumbuhan PDB atau ekonomi Indonesia. Sektor komersial merupakan sektor yang mencakup sektor jasa, seperti perkantoran, sekolah, rumah sakit, tempat hiburan, pergudangan, hotel, dan pertokoan. Sektor ini merupakan sektor yang akan berkembang mengikuti pertumbuhan

penduduk dan urbanisasi. Bangunan dalam sektor komersial memerlukan energi untuk pengoperasian pendingin ruangan, lift dan eskalator, penerangan, dan lain-lain. Sebagian besar dari peralatan tersebut memerlukan energi listrik sehingga dapat dipahami bahwa listrik merupakan jenis energi yang paling dominan pada sektor komersial. Di setiap skenario, pertumbuhan konsumsi listrik di sektor komersial ada di sekitar 5% per tahun hingga 2060. Selain listrik, LPG juga masih akan berada dalam bauran konsumsi energi final sektor komersial, meskipun pemanfaatan LPG di skenario MD dan GT diproyeksikan akan terus menurun karena konversi pemanfaatan listrik.

Bauran Energi Komersial



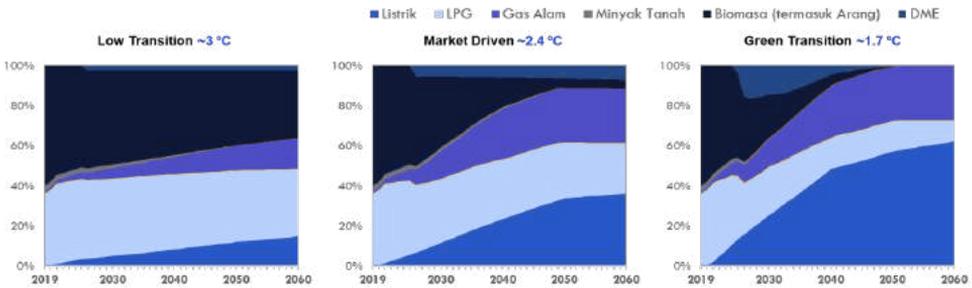
Gambar 3.7 Outlook Bauran Energi Sektor Komersial

Sumber: PEI (2022)

Untuk sektor rumah tangga, diproyeksikan ke depan akan terjadi elektrifikasi di setiap skenario, terutama dalam keperluan memasak dengan adanya konversi kompor listrik. Meskipun demikian, tingkat elektrifikasi berbeda-beda di setiap skenario, dengan skenario LT merupakan skenario dengan tingkat elektrifikasi memasak terendah, yaitu sebesar 15%, MD 45%, dan tertinggi GT sebesar 63% pada 2060. Selain itu, di setiap

skenario, pemanfaatan gas di sektor rumah tangga juga mengalami peningkatan karena adanya perluasan sambungan jaringan gas rumah tangga dengan tingkat perluasan yang berbeda-beda antarskenario, yaitu terendah LT sejumlah 13 juta rumah tangga pada 2060, serta MD dan GT mencapai 23 juta rumah tangga. Asumsi tercapainya konversi kompor listrik dan jaringan gas memerlukan dorongan kebijakan dan pendanaan.

**Bauran Bahan Bakar Memasak**



**Gambar 3.8 Bauran Bahan Bakar Memasak**

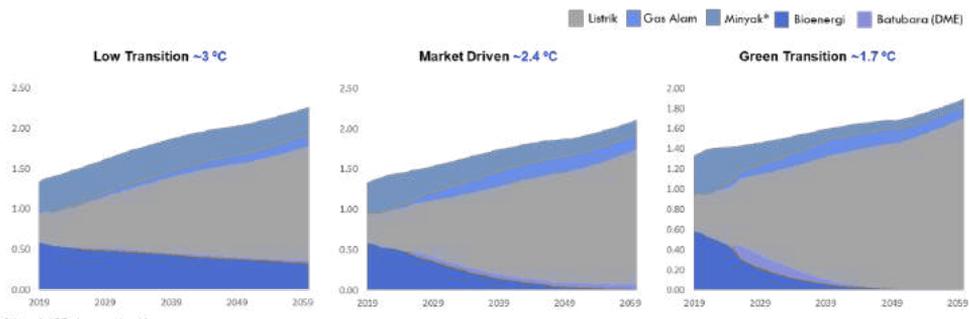
Sumber: PEI (2022)



Saat ini jaringan rumah tangga telah tercapai sekitar 800.000 sambungan dengan target pemerintah sebanyak 4,7 juta pada 2025. Diproyeksikan pada skenario LT, sambungan gas rumah tangga pada 2025 baru akan tercapai 2,5 juta, pada skenario MD tercapai 4,7 juta, dan pada skenario GT tercapai 5 juta. Sementara itu, konversi kompor listrik hingga saat ini masih belum terealisasi. Pada tahun 2025 diperlukan konversi sebesar 3% pada skenario LT, 5% pada MD, dan 13% pada GT. Selain kompor listrik dan jaringan gas, bauran bahan bakar untuk memasak juga terdapat DME, biomassa, arang, dan LPG. Penggunaan listrik di sektor rumah

tangga untuk skenario LT diperkirakan akan tumbuh rata-rata 3,4% per tahun hingga 2060, sedangkan skenario MD dan GT akan tumbuh rata-rata 3,9% per tahun hingga 2060. Pertumbuhan listrik yang tinggi di sektor rumah tangga, selain disebabkan elektrifikasi memasak, juga disebabkan oleh peningkatan penggunaan peralatan rumah tangga lain, seperti AC dan pengecasan kendaraan listrik di rumah. Selain listrik, energi yang masih tetap ada hingga 2060 untuk sektor rumah tangga di setiap skenario adalah LPG (minyak) meskipun porsi LPG dalam skenario GT akan semakin tergantikan oleh kompor listrik dan gas alam dari jaringan gas.

Bauran Energi Rumah Tangga



Gambar 3.9 Outlook Bauran Energi Rumah Tangga

Sumber: PEI (2022)



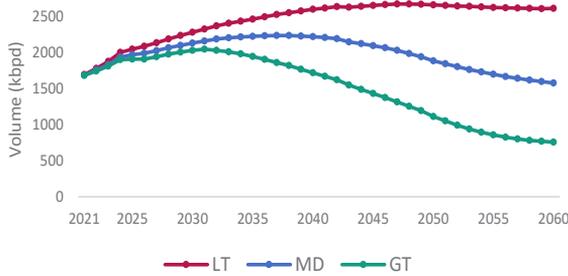
## III.4. OUTLOOK BBM DAN LPG

### III.4.1 OUTLOOK BBM

Pertumbuhan demand BBM merupakan sektor utama yang terdampak dengan transisi energi global menuju NZE. Hal ini dipengaruhi oleh semakin meningkatnya penggunaan kendaraan listrik menggantikan kendaraan bermotor konvensional (*internal combustion engine/ICE*), termasuk juga dampak dari penggunaan *biofuel* sehingga dapat mengurangi penggunaan BBM. Secara umum, berdasarkan hasil pemodelan untuk tiga skenario (LT, MD, GT), semua skenario diproyeksikan akan mencapai puncak penggunaan BBM sebelum tahun 2050 dan setelahnya akan mengalami penurunan permintaan.

Jika dirinci per skenario, pada skenario LT kebutuhan BBM akan meningkat tajam dari semula 1.694 KBPD (97 juta KL) di tahun 2021 menjadi 2.612 KBPD (149 juta KL) di tahun 2060, dengan puncak permintaan BBM terjadi di tahun 2048 sebesar 2.674 KBPD (153 juta KL). Selanjutnya, untuk skenario MD, puncak permintaan BBM akan terjadi lebih cepat dibandingkan dengan skenario LT, yaitu terjadi di tahun 2037 sebesar 2.237

KBPD (128 juta KL), setelah itu akan mengalami penurunan permintaan menjadi 1.578 KBPD (90 juta KL) di tahun 2060. Adapun pada skenario GT, akan terjadi penurunan ekstrem kebutuhan BBM menjadi hanya 758 KBPD (43 juta KL) di tahun 2060, pun halnya dengan puncak permintaan akan terjadi paling awal di tahun 2031 sebesar 117 KBPD dan setelah itu kebutuhan BBM akan menurun secara bertahap.

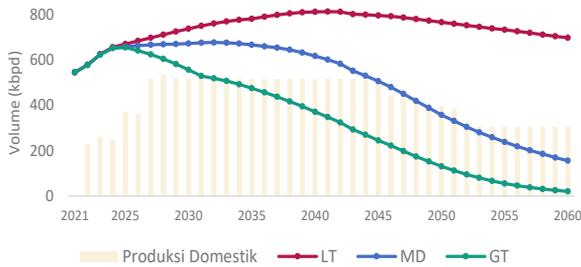


Gambar 3.10. Proyeksi Kebutuhan BBM

Sumber: PEI (2022)

Berdasarkan jenis BBM, produk *gasoline* dan *gasoil* paling terdampak oleh transisi energi, dengan peningkatan penggunaan kendaraan listrik dan peningkatan persentase kewajiban mandatori biodiesel. Adapun untuk BBN jenis

avtur, diprediksi kebutuhannya akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan transportasi udara dan karakteristik bahan bakar avtur yang relatif belum dapat digantikan oleh bahan bakar jenis lain.



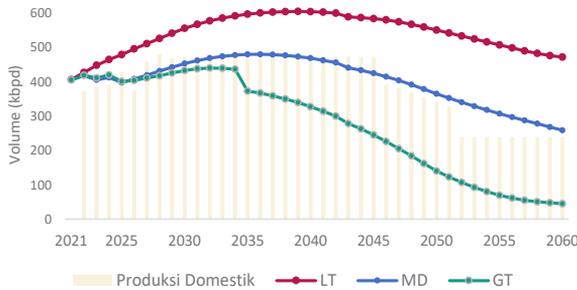
Gambar 3.11. Proyeksi Kebutuhan Gasoline

Sumber: PEI (2022)

Penggunaan kendaraan listrik yang semakin meningkat menggantikan jenis kendaraan konvensional, baik mobil penumpang maupun sepeda motor, akan memengaruhi kebutuhan BBM ke depan, terutama gasoline. Pada skenario LT, diasumsikan penetrasi kendaraan listrik belum terlalu dalam hingga tahun 2040 sehingga sampai dengan tahun 2040 masih terjadi peningkatan kebutuhan gasoline dari 545 KBPD (31 juta KL) di tahun 2021 menjadi 812 KBPD (46 juta KL) di tahun 2040. Pasca-2040, dengan jumlah kendaraan listrik yang sudah signifikan, pertumbuhan *gasoline* akan teredam sehingga pertumbuhan *demand*-nya melambat. Hal ini berdampak pada permintaan gasoline pada tahun 2060, yang akan turun menjadi 697 KBPD (40 juta KL). Untuk skenario MD, hal-hal yang memengaruhi *demand gasoline*, antara lain, penetrasi kendaraan listrik yang lebih masif dibandingkan skenario LT, serta mulai diimplementasikannya penggunaan *biogasoline* berupa bioetanol. Dalam skenario MD ini, diasumsikan penggunaan bioetanol akan dimulai pada tahun 2025 dengan mandatori sebesar 1%, yang kemudian meningkat bertahap hingga

5% pada tahun 2029 dan konstan hingga tahun 2060. Puncak kebutuhan gasoline pada skenario MD akan lebih awal dibandingkan skenario LT, yaitu pada tahun 2032 sebesar 677 KBPD (39 juta KL). Angka ini kemudian akan melambat hingga mencapai 156 KBPD (9 juta KL) di tahun 2060 seiring populasi kendaraan listrik yang semakin meningkat dan juga adanya kebijakan penghentian penjualan kendaraan konvensional, yaitu untuk mobil mulai tahun 2050 dan untuk sepeda motor mulai tahun 2045.

Selanjutnya, untuk skenario GT, puncak kebutuhan gasoline akan terjadi paling awal dibandingkan dua skenario lainnya, yaitu tahun 2025 sebesar 654 KBPD (37 juta KL), kemudian akan turun signifikan hingga menjadi 20 KBPD (1 juta KL) pada tahun 2060. Faktor yang berpengaruh terhadap skenario ini adalah penggunaan biofuel sebesar 4% mulai tahun 2025 yang kemudian naik bertahap hingga 10% di tahun 2030, yang kemudian konstan hingga tahun 2060. Hal itu juga didukung oleh kebijakan penghentian penjualan mobil konvensional mulai tahun 2039.



**Gambar 3.12 Proyeksi Kebutuhan Gasoil/Diesel**

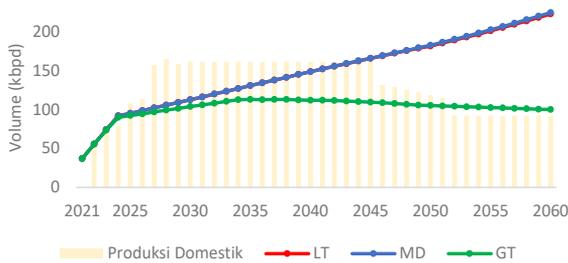
Sumber: PEI (2022)

Proyeksi kebutuhan BBM jenis gasoil/diesel akan dipengaruhi oleh kebijakan transisi energi yang akan diterapkan ke depan. Saat ini gasoil digunakan oleh sektor transportasi (darat dan laut) dan industri, termasuk pembangkit listrik. Kebijakan transisi energi ke depan yang akan memengaruhi kebutuhan gasoil antara lain asumsi persentase kebijakan mandatori

pencampuran biodiesel ke depannya, elektrifikasi untuk sektor transportasi dan sektor industri, gasifikasi pembangkit, serta efisiensi pada industri. Khusus untuk penggunaan BBN (biodiesel) pada skenario LT digunakan asumsi persentase mandatori tidak berubah dengan saat ini, yaitu sebesar 30%. Selanjutnya, untuk skenario MD digunakan asumsi peningkatan

penggunaan biodiesel hingga 40% mulai 2025. Adapun pada skenario GT digunakan asumsi penggunaan 40% biodiesel mulai 2025 yang meningkat hingga 50% di tahun 2035. Pada skenario LT, kebutuhan gasoil akan meningkat dari semula 406 KBPD (23 juta KL) di tahun 2021 menjadi 605 KBPD (35 juta KL) di tahun 2039 saat puncak kebutuhan, yang kemudian akan mengalami pertumbuhan negatif hingga mencapai 472 KBPD (27 juta KL) di tahun 2060. Walaupun belum signifikan, penurunan permintaan kebutuhan gasoil akan dipengaruhi antara lain oleh penjualan truk listrik yang bertahap hingga 27% di tahun 2060, serta pengurangan penggunaan gasoil pada pembangkit dari semula mencapai 6,2 TWh pada tahun 2021 menjadi 129 MWh pada tahun 2060. Untuk skenario MD, puncak kebutuhan terjadi pada tahun 2036 sebesar 480 KBPD (27 juta KL) di tahun 2036, yang

kemudian akan menurun hingga mencapai 259 KBPD (15 juta KL) di tahun 2060. Hal ini disebabkan mulai masifnya penggunaan truk listrik dengan pangsa penjualan mencapai 25% di tahun 2025, kemudian naik hingga 95% di tahun 2060, serta peningkatan efisiensi penggunaan mesin kapal laut hingga 40% di 2060. Adapun untuk skenario GT, permintaan akan mencapai puncaknya pada tahun 2032 sebesar 440 KBPD (25 juta KL), selanjutnya akan turun signifikan menjadi 45 KBPD (3 juta KL) pada tahun 2060. Beberapa hal yang mendorong pengurangan penggunaan gasoil antara lain penghentian penggunaan gasoil untuk pembangkit listrik mulai tahun 2030, pangsa penjualan truk listrik hingga 98% mulai tahun 2035 dan mencapai 100% di tahun 2060, termasuk peningkatan efisiensi penggunaan mesin kapal laut hingga 50% di 2060.



**Gambar 3.13 Proyeksi Kebutuhan Jet Fuel/Avtur**  
Sumber: PEI (2022)

Terkait dengan proyeksi kebutuhan avtur, dalam jangka panjang akan terus meningkat, khususnya untuk skenario LT dan MD, walaupun dipengaruhi oleh efisiensi teknologi dan disrupsi bahan bakar pengganti, seperti *synthetic kerosene* dan bioavtur. Selain itu, dalam jangka panjang, International Air Transport Association (IATA) telah menargetkan mencapai emisi karbon nol bersih pada tahun 2050 dengan strategi mengurangi emisi melalui penggunaan SAF, teknologi baru, serta implementasi offset and *carbon capture*.

Kebutuhan avtur pada skenario LT dan MD menghasilkan angka yang identik, meningkat signifikan dari 37 KBPD (2 juta KL) pada tahun 2021 menjadi 223 KBPD (13 juta KL) pada tahun 2060. Hal yang membedakan adalah pada skenario LT, kebutuhan bahan bakar penerbangan sepenuhnya berasal dari *fossil fuel/jet fuel* konvensional. Adapun pada skenario MD, penggunaan bioavtur sudah dimulai sejak tahun 2040 dengan pangsa 2%, yang kemudian persentasenya akan meningkat hingga 27% di tahun 2060.

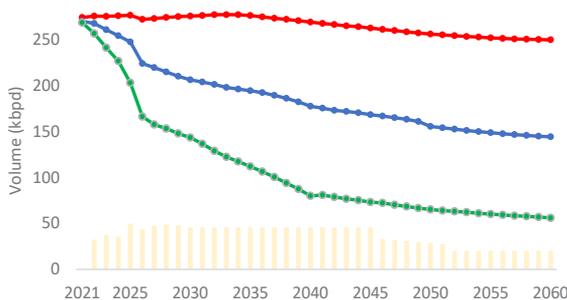
Pada skenario MD juga dimulai penggunaan *synthetic kerosene* sebesar 1% pada tahun 2044, sedangkan di tahun 2060 penggunaannya meningkat hingga 4%. Untuk skenario GT, hal yang memengaruhi kebutuhan demand bahan bakar adalah efisiensi teknologi bahan bakar serta penggunaan *synthetic kerosene* dan bioavtur. Pada skenario GT, dengan semakin berkembangnya teknologi penerbangan, efisiensi meningkat dari 22% di tahun 2035 menjadi 43% di tahun 2050. Pun halnya dengan penggunaan bioavtur dan *synthetic kerosene* pada skenario GT yang lebih tinggi dibandingkan

skenario LT dan MD. Pada skenario GT, penggunaan bioavtur dimulai sejak tahun 2033 sebesar 5% dan meningkat bertahap hingga mencapai 28% di tahun 2060. Adapun penggunaan *synthetic kerosene* dimulai tahun 2036 sebanyak 1% dan meningkat hingga 23% di tahun 2060. Hal-hal tersebut menjadikan kebutuhan bahan bakar penerbangan pada skenario GT diproyeksikan akan mencapai puncaknya pada tahun 2035 dengan kebutuhan sebesar 113 KBPD (6,5 juta KL) pada tahun 2035 yang kemudian akan melambat hingga mencapai 100 KBPD (5,7 juta KL) di tahun 2060.

### III.4.2 OUTLOOK LPG

Secara umum, proyeksi kebutuhan LPG menunjukkan *demand* yang menurun pada semua skenario. Hal itu merupakan dampak penguatan kebijakan pemerintah untuk menekan penggunaan LPG, mempertimbangkan pasokan LPG yang sebagian besar berasal dari impor. Kebijakan pemerintah untuk menekan penggunaan LPG antara lain melalui perluasan jaringan gas bumi untuk rumah tangga (*jargas*) yang telah dimulai sejak tahun 2009, pencampuran *dimetil eter* (DME) yang menurut rencana mulai diimplementasikan tahun 2026 dan penggunaan kompor induksi. Pada skenario LT, kebutuhan LPG akan mencapai puncaknya pada tahun 2032

sebesar 277 KBPD (8,6 juta MT), dan kemudian akan mengalami pelambatan walaupun belum signifikan, sehingga pada tahun 2060 mencapai 250 KBPD (7,7 juta MT). Untuk skenario MD, dengan asumsi penggunaan kompor induksi mencapai 45% dari total rumah tangga dan *jargas* terbangun sebanyak 23 juta sambungan, maka pada 2060 kebutuhan LPG dapat ditekan menjadi 144 KBPD (4,5 juta MT). Sementara untuk periode yang sama pada skenario GT, dengan asumsi penggunaan kompor induksi yang lebih luas dibandingkan skenario MD, kebutuhan LPG diproyeksikan mencapai 56 KBPD (1,7 juta MT).



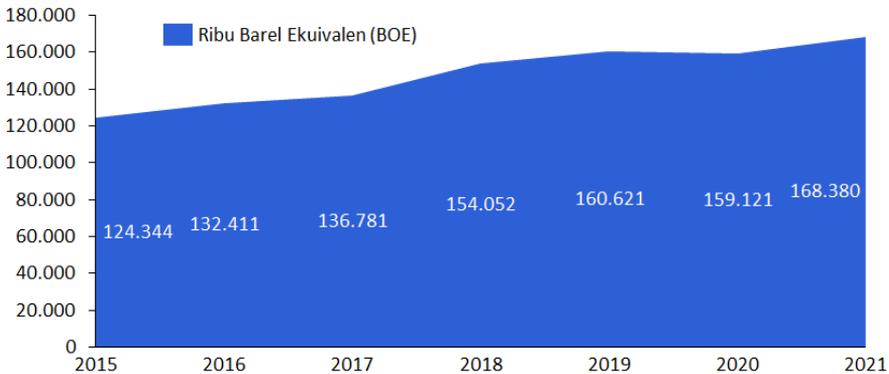
**Gambar 3.14** Proyeksi Kebutuhan LPG

Sumber: PEI (2022)

### III.5 OUTLOOK KETENAGALISTRIKAN

Konsumsi listrik di Indonesia mencapai 168,38 juta barel setara minyak (BOE) pada 2021. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), konsumsi listrik di Indonesia naik 5,82% dibandingkan pada tahun sebelumnya yang sebesar 159,12 juta BOE. Melihat trennya, konsumsi listrik di dalam negeri cenderung meningkat selama satu dekade terakhir. Penurunan jumlah konsumsi hanya terjadi satu kali sebesar 0,93% dari 160,62 juta BOE menjadi 159,12 juta BOE pada tahun 2020. Berdasarkan penggunaannya, konsumsi listrik untuk rumah tangga menjadi yang terbesar

di Indonesia, yakni 70,29 juta BOE pada 2021. Kemudian, konsumsi listrik untuk sektor industri sebanyak 60,97 juta BOE, sedangkan penggunaan listrik untuk komersial sebesar 36,92 juta BOE. Adapun konsumsi listrik untuk transportasi menjadi yang paling rendah, hanya sebesar 194.000 BOE. Konsumsi listrik per kapita di Indonesia mencapai 1.123 kilowatt hour (kWh) pada 2021. Jumlah tersebut meningkat 3,12% jika dibandingkan pada tahun sebelumnya yang sebesar 1.089 kWh. Konsumsi listrik per kapita di Indonesia terus meningkat sejak 2015. Peningkatan tertinggi terjadi pada tahun 2017 sebesar 6,8%.

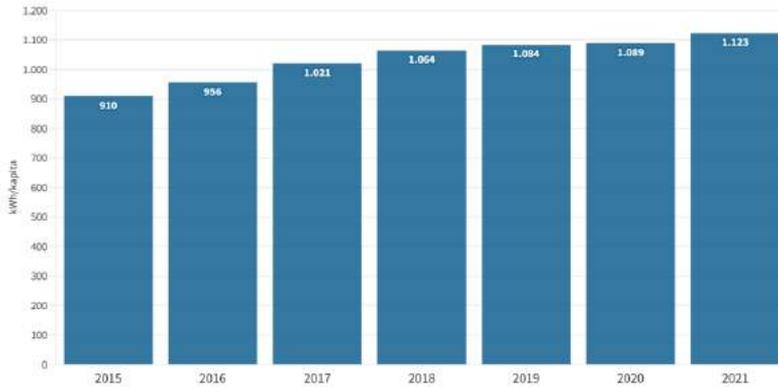


**Gambar 3.15** Pertumbuhan Konsumsi Listrik Indonesia

Sumber: Kementerian ESDM, 2022

Pemerintah pun memperkirakan konsumsi listrik per kapita di dalam negeri meningkat pada 2022. Jumlahnya diproyeksikan tumbuh 12,91% menjadi 1.268 kWh.

Kondisi tersebut tak lepas dari tumbuhnya kapasitas terpasang pembangkit listrik. Selain itu, rasio elektrifikasi pun ditargetkan mencapai 100%.



**Gambar 3.16 Pertumbuhan Konsumsi Listrik Per Kapita (2015-2021)**

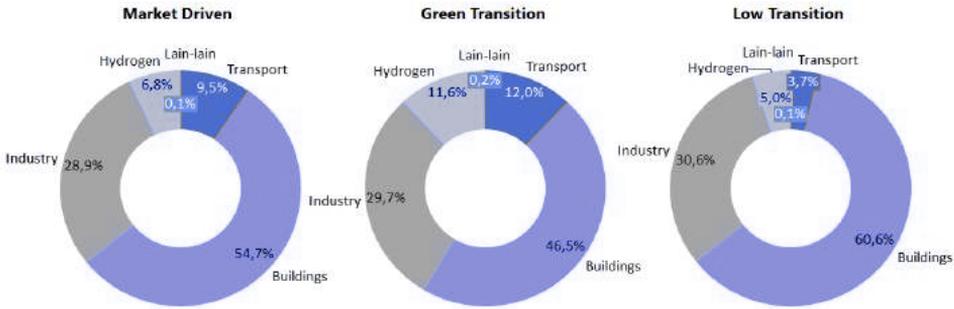
Sumber: Kementerian ESDM

Pada tahun 2021 terdapat penambahan kapasitas pembangkit tenaga listrik sebesar 1.901,74 MW, penambahan transmisi sepanjang 3.820,61 km, penambahan gardu induk sebesar 7.731 MVA, penambahan jaringan distribusi sepanjang 14.480,1 km dan gardu distribusi sebesar 2.775,42 MVA. Selama periode 2021 terdapat tiga faktor utama yang memengaruhi produksi listrik, yakni pemulihan ekonomi karena pandemi, kebijakan dekarbonisasi, dan cuaca ekstrem. Pemulihan ekonomi meningkatkan permintaan energi, sementara cuaca ekstrem dan sebaliknya cuaca ringan (*mild weather*) menyebabkan turunnya pasokan listrik dari EBET.

Penyusunan outlook sektor ketenagalistrikan ini menggunakan tiga skenario, yaitu *Market Driven (MD)*, *Green Transition (GT)*, dan *Low Transition (LT)*. Ketiga skenario tersebut telah mengakomodasi semua potensi bisnis di masa mendatang, seperti kendaraan listrik, pemanfaatan biofuel, elektrifikasi baik di sektor industri maupun rumah tangga, pemanfaatan energi terbarukan, pemanfaatan hidrogen, CCS, dan juga energi lainnya. Skenario MD menekankan pada penetrasi transisi energi

yang mulai didukung sejumlah kebijakan terkait emisi, kendaraan listrik (EV), dan energi terbarukan. Skenario GT merupakan skenario dengan penetrasi tinggi terhadap implementasi transisi energi. Beragam kebijakan guna mengurangi emisi karbon juga menjamin adanya perubahan konsumsi energi.

Setelah mengalami penurunan konsumsi energi baik di level global, regional, maupun nasional, permintaan energi listrik mulai pulih kembali pada tahun 2021 dan terlihat di tahun 2022. Terdapat optimisme yang besar atas pemulihan karena didorong program vaksinasi dan pengelolaan pandemi yang cukup efektif. Bangunan dan perumahan diproyeksikan menjadi sektor dengan permintaan listrik yang paling tinggi, disusul oleh sektor industri dan transportasi. Pertumbuhan permintaan di sektor bangunan dan industri disebabkan oleh pertumbuhan ekonomi dan demografi. Adapun permintaan di sektor transportasi paling dominan pada skenario GT. Hal ini dipengaruhi oleh semakin meningkatnya penggunaan kendaraan listrik menggantikan kendaraan bermotor konvensional (*internal combustion engine/ICE*).

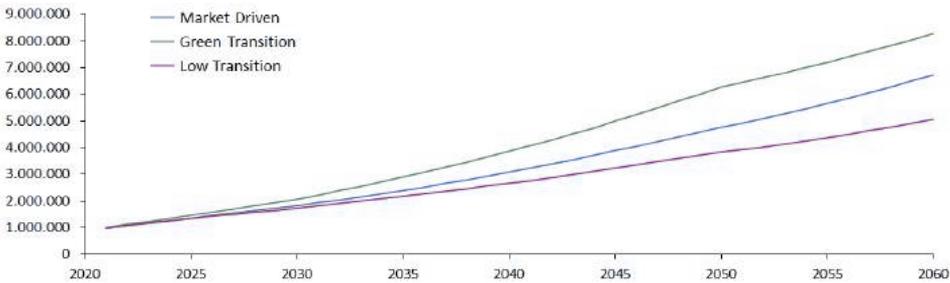


Gambar 3.17 Proyeksi Pemetaan Listrik Per Sektor Tahun 2060

Sumber: PEI (2022)

Secara umum, berdasarkan hasil pemodelan untuk tiga skenario (LT, MD, GT), dalam semua skenario diproyeksikan kebutuhan listrik

Indonesia akan terus meningkat, dengan skenario GT mendorong kebutuhan paling tinggi, disusul oleh skenario MD dan LT.



Gambar 3.18 Proyeksi Demand Ketenagalistrikan Indonesia

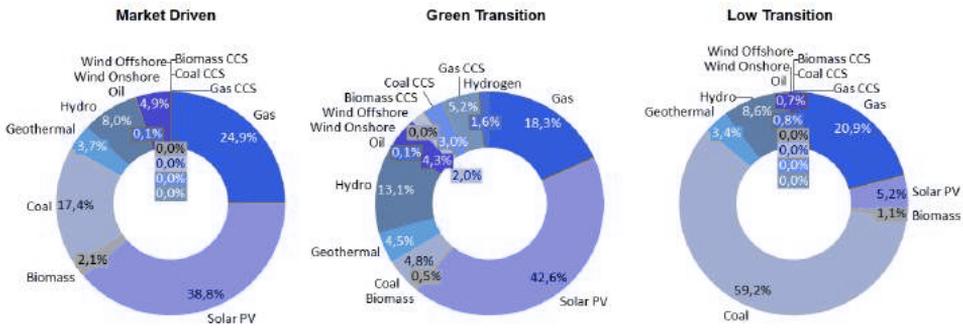
Sumber: PEI (2022)

Dari sisi kapasitas terpasang, beberapa tahun terakhir, pembangkit tenaga fosil masih menjadi tulang punggung dengan porsi terbesar dari batubara dan gas, walaupun gas termasuk dianggap lebih hijau jika dibandingkan dengan batubara. Dari persentase penambahan kapasitas pembangkit listrik, data statistik Irena (2021) menunjukkan bahwa terjadi tren peningkatan penambahan kapasitas pembangkit EBET dibandingkan dengan non-EBET, dengan lonjakan penambahan menjadi 75% hingga mendekati 90% pada tahun 2020 dari sebelumnya berada di kisaran 60% pada 2018. Sementara itu, penambahan kapasitas non-EBET mengalami penurunan dalam tiga tahun terakhir (2018-2020).

Selama periode 2022, secara global terdapat tiga faktor utama yang memengaruhi produksi listrik, yakni pemulihan ekonomi karena pandemi, kebijakan dekarbonisasi, dan cuaca ekstrem. Pemulihan ekonomi meningkatkan permintaan energi, sedangkan cuaca ekstrem dan sebaliknya cuaca ringan (*mild weather*) menyebabkan turunnya pasokan listrik dari EBET. Ditambah dengan penambahan biaya karbon pada sumber listrik fosil, pembangkitan listrik menghadapi tantangan besar. Sumber energi listrik fosil sangat mahal, sementara pembangkit EBET tidak dapat memenuhi pasokan karena disrupsi cuaca. Jika dilihat dari sisi faktor kapasitas (*capacity factor*), pembangkit EBET tenaga

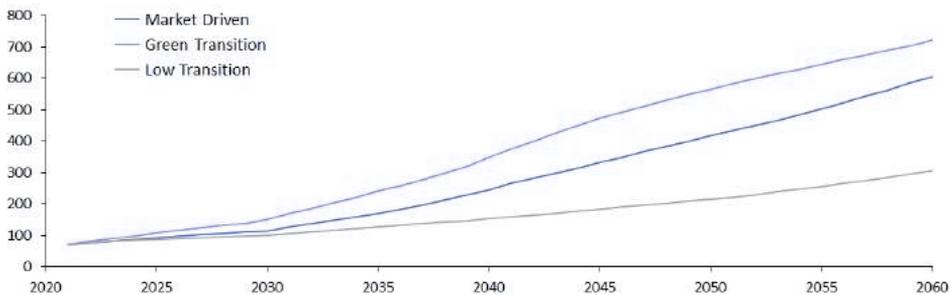
surya, bayu, dan air secara global hanya berada di bawah 60%, dengan tertinggi pembangkit tenaga air di kisaran 40-50%, tenaga bayu lepas pantai fluktuatif di bawah 40%, tenaga bayu di darat 20-30%, dan terendah panel surya di bawah 20%. Faktor kapasitas terbesar untuk EBET ada pada pembangkit panas bumi, yaitu berada di kisaran 80%. Hal ini memungkinkan untuk menjadikan pembangkit panas bumi sebagai baseload. Pada periode sampai dengan tahun 2060, pada skenario MD dan GT, kapasitas berbasis solar PV diproyeksikan akan mendominasi, skenario MD 38,8% dan skenario GT 42,6%. Disusul oleh penggunaan batubara, di mana skenario MD memproyeksikan penggunaan

batubara sebesar 17,4% dan skenario LT batubara malah berkontribusi secara dominan sebesar 59,2%. Semakin seringnya terjadi cuaca ekstrem, di masa mendatang akan diperlukan keandalan sistem pasokan energi, terutama listrik. Sampai dengan sistem penyimpanan energi seperti baterai cukup dapat diandalkan, sumber energi listrik fosil masih sangat diperlukan. Untuk saat ini, teknologi penyimpanan energi listrik adalah *solid-state battery*. Dengan keunggulan lebih aman, lebih ringan, dan kapasitas lebih baik daripada baterai konvensional saat ini (*lithium-ion*), beberapa perusahaan multinasional mulai masuk ke dalam pengembangan *solid-state battery*.



Gambar 3.19 Proyeksi Bauran Per Jenis Pembangkit Tahun 2060 (GW)

Sumber: PEI (2022)



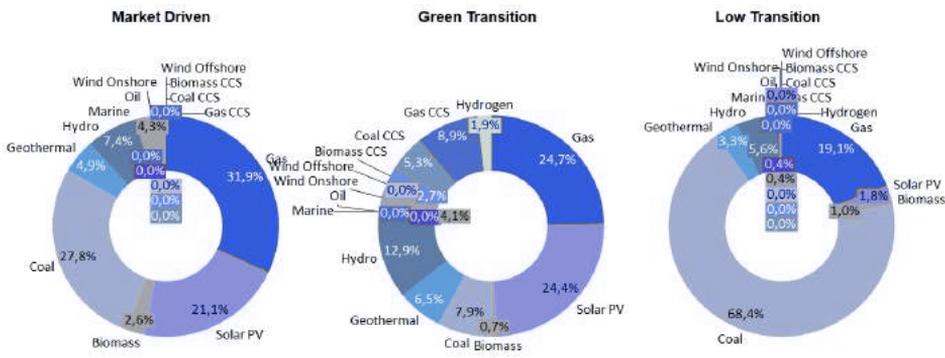
Gambar 3.20 Bauran Kapasitas 2021-2060 (GW)

Sumber: PEI (2022)

Dari sisi pembangkitan terpasang, secara global pembangkit tenaga fosil masih menjadi tulang punggung dengan porsi terbesar dari batubara dan gas, walaupun gas termasuk dianggap lebih hijau jika dibandingkan dengan batubara. Sektor energi merupakan suatu sistem yang kompleks. Outlook sektor energi memiliki tujuan untuk melihat rentang kemungkinan kejadian yang logis di masa mendatang. Namun, hal terpenting dalam suatu skenario bukan mengenai angka ataupun pola, melainkan cakupan kejadian (robustness) yang memungkinkan penggunaannya untuk melihat berbagai risiko dan peluang di masa mendatang sehingga dapat disiapkan strategi untuk menghadapi risiko ataupun untuk menangkap peluang tersebut. Di sektor kelistrikan dan pembangkit EBET, pengembangan skenario yang dikaitkan dengan keberhasilan dunia dalam mencapai Persetujuan Paris ialah menahan peningkatan temperatur global (1,5°C, 2°C, atau gagal), dari perspektif kebijakan atau transisi energi itu sendiri. Pada outlook pembangkitan sampai dengan tahun 2060, skenario MD, penggunaan pembangkitan batubara (27,8%) dan gas (31,9%) masih mendominasi,

disusul oleh pembangkitan yang berasal dari PV (21,1%). Namun, pada skenario GT, pembangkitan batubara turun menjadi 7,9%. Sebaliknya, solar PV meningkat menjadi 24,4%, disusul oleh gas sebesar 24,7%. Selanjutnya, pembangkitan hidro sebesar 12,9%, gas CCS sebesar 8,9%, dan geotermal sebesar 6,5%. Pada skenario LT, pembangkitan batubara sangat mendominasi sebesar 68,4% disusul oleh pembangkitan gas sebesar 19,1%. Beberapa lembaga memberikan perhatian terhadap adanya tren peningkatan sejumlah faktor berikut di sektor kelistrikan dan EBET, dengan kecepatan dan tingkat pertumbuhan yang berbeda bergantung pada skenario yang digunakan, yaitu:

- Tren peningkatan porsi elektrifikasi dalam konsumsi energi final;
- Tren peningkatan porsi EBET di sektor pembangkit listrik, transportasi, industri, bangunan, termasuk juga pasokan energi primer;
- Tren peningkatan produksi kendaraan listrik berbasis baterai (KLBB) dan infrastruktur pendukungnya; dan
- Tren peningkatan konsumsi listrik langsung.

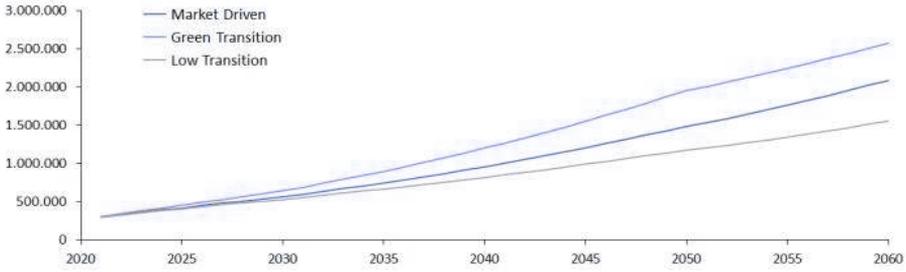


Gambar 3.21 Bauran Pembangkitan 2060 (GWh)

Sumber: PEI (2022)

Selain hal di atas, proyeksi pertumbuhan porsi hidrogen hijau dalam konsumsi energi final juga menjadi perhatian. Hal ini sejalan dengan prioritas beberapa perusahaan dan juga negara dalam pembangunan

ekonomi berbasis hidrogen serta pemanfaatannya untuk sektor yang sulit diturunkan emisinya (seperti kendaraan angkut berat), serta perkembangan riset dan pengembangan hidrogen.



Gambar 3.22 Bauran Pembangkitan 2021-2060 (GWh)

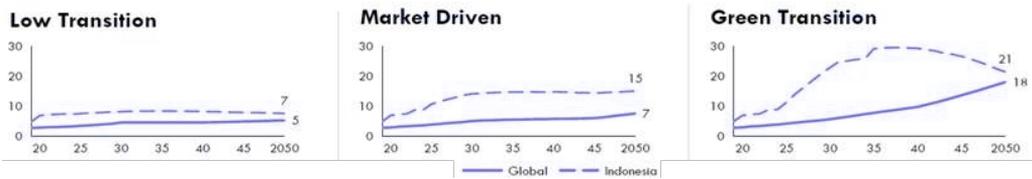
Sumber: PEI (2022)

### III.6. OUTLOOK SUSTAINABLE FUEL, KENDARAAN LISTIK DAN BATERAI, HIDROGEN

#### III.6.1 OUTLOOK SUSTAINABLE FUEL

Pendorong *demand* dari *sustainable fuel* terutama dari kebijakan. Hal ini yang mendasari asumsi dari tiga skenario. Pada skenario LT, diasumsikan dukungan kebijakan terkait *net-zero* cukup minim dan sebatas mempertahankan kebijakan saat ini terkait tingkat pencampuran secara global dan di Asia Tenggara (misalnya B20 di Indonesia). Adapun pada skenario MD, komitmen *net-zero* sesuai dengan saat ini, yaitu Eropa dan AS pada 2050, Tiongkok dan Indonesia pada 2060,

dan Asia Tenggara pada 2060 atau lebih awal. Kebijakan tingkat pencampuran diterapkan secara global dan di Asia Tenggara lebih tinggi dari skenario LT (misalnya B30 di Indonesia dan B10 di Malaysia). Adapun pada skenario GT, kebijakan *net-zero* diterapkan pada tahun 2050 di negara maju dan pada tahun 2060 di negara berkembang. Kebijakan tingkat pencampuran diterapkan lebih tinggi secara global dan di Asia Tenggara (misalnya B40 di Indonesia).

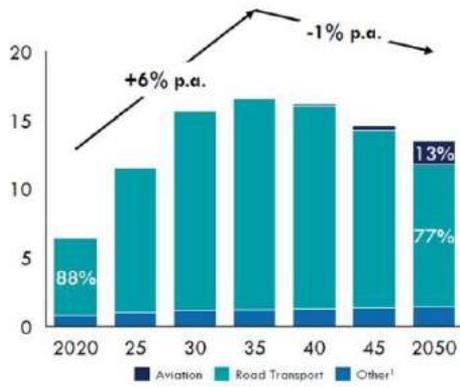


Gambar 3.23 Proyeksi Demand Liquid Sustainable Fuels (dalam %)

Sumber: PEI (2022)

Pada skenario MD, industri biofuel Indonesia didorong oleh ketersediaan minyak nabati, seperti minyak sawit. Konsumsi terkonsentrasi di transportasi darat karena mandat biodiesel dan etanol. Konsumsi SAF diperkirakan akan

terbatas dalam jangka menengah setelah tahun 2035. Peningkatan penetrasi kendaraan listrik dari pasar transportasi pun menyebabkan penurunan penggunaan kendaraan ICE dan penurunan terkait bahan bakar *liquid*.

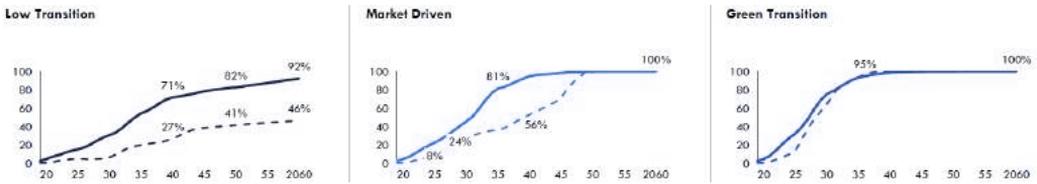


Gambar 3.24 Proyeksi Demand Sustainable Fuel by Sector (MT)  
 Sumber: PEI (2022)

### III.6.2 OUTLOOK KENDARAAN LISTRIK DAN BATERAI

Penyerapan kendaraan listrik berdasarkan beberapa skenario dapat dipengaruhi oleh kebijakan, biaya, dan perilaku konsumen. Pada skenario LT, tidak terdapat kebijakan larangan penggunaan kendaraan ICE baru; kurangnya komitmen terhadap *net-zero*; baterai listrik mencapai paritas TCO di negara maju pada 2030 dan pasca-2035 di negara berkembang; harga baterai di atas USD 100 per kWh pada tahun 2030; infrastruktur pengisian daya atau pengecasan (*charging*) yang terbatas karena sebagian besar pengisian daya dilakukan di rumah; dan pengguna B2C jarak jauh tidak beralih ke kendaraan listrik. Pada skenario MD, larangan kendaraan ICE berpotensi diberlakukan di Uni Eropa, Tiongkok, dan Amerika Serikat pada tahun 2035; larangan

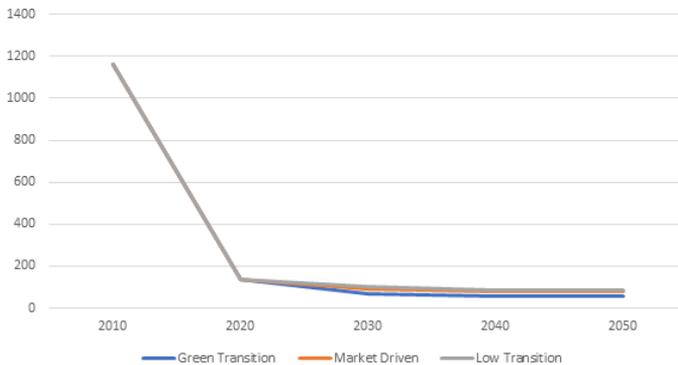
kendaraan ICE di negara berkembang dan Asia Tenggara dilakukan setelah tahun 2040 (misalnya Thailand); komitmen net zero sesuai dengan undang-undang saat ini atau yang diusulkan, misalnya Eropa dan AS pada 2050, Tiongkok dan Indonesia pada 2060, dan Asia Tenggara pada 2060. Baterai kendaraan listrik mencapai paritas TCO sebelum tahun 2025 di Uni Eropa, AS, dan Tiongkok, dan pada tahun 2030 di Asia Tenggara (Indonesia) didorong oleh penurunan harga baterai di bawah USD 90 per kWh pada tahun 2030. Sebagian besar pengisian daya dilakukan di rumah. Namun, banyaknya kendaraan listrik dapat memicu perusahaan untuk berinvestasi pada infrastruktur pengisian daya.



Gambar 3.25 Penjualan EV Global dan Indonesia (BEV+PHEV+FCEV), %  
 Sumber: PEI (2022)

Adapun pada skenario GT, terdapat beberapa larangan kendaraan ICE, termasuk di negara berkembang dan Asia Tenggara (misalnya Indonesia dan Malaysia); kebijakan net zero diterapkan pada tahun 2050 di negara maju dan pada tahun 2060 di negara berkembang. Baterai listrik mencapai paritas TCO pada tahun 2025 di semua wilayah, didorong oleh harga baterai yang turun di bawah USD 70 per kWh pada tahun 2030. Pemerintah global pun berinvestasi pada infrastruktur pengecasan dalam mengadopsi kendaraan listrik. Kebijakan jenis regulasi dapat mendukung adopsi kendaraan listrik dan mempunyai dampak yang berbeda. Kebijakan dengan dampak tertinggi ialah kebijakan *net-zero*, diikuti oleh kebijakan pelarangan kendaraan ICE, dan kebijakan *fuel efficiency/CO<sub>2</sub> emission*. Kebijakan *net-zero* berarti mengurangi hampir nol emisi dari transportasi,

dengan mayoritas penggunaan kendaraan listrik, dan kendaraan ICE yang tersisa menggunakan *bio/synfuels*. Kebijakan pelarangan penjualan kendaraan ICE yang baru dapat mendorong penggunaan kendaraan listrik. Adapun kebijakan *fuel efficiency/CO<sub>2</sub> emission* menerapkan efisiensi bahan bakar/regulasi emisi CO<sub>2</sub>, memungkinkan peningkatan efisiensi untuk kendaraan ICE dan penggunaan kendaraan listrik untuk memenuhi target yang lebih agresif. Harga *battery pack* telah turun signifikan dalam dekade terakhir yang mencapai USD 137 per kWh pada tahun 2020. Tingkat penurunan diperkirakan akan melambat karena manfaat skala biaya ekonomi sebagian besar telah dimanfaatkan, diperkirakan harga baterai akan turun menjadi USD 59 per kWh pada tahun 2050 di skenario GT, USD 80 per kWh di skenario MD, dan USD 88 per kWh di skenario LT.



**Gambar 3.26 Harga Battery Pack (USD/kWh)**

Sumber: PEI (2022)

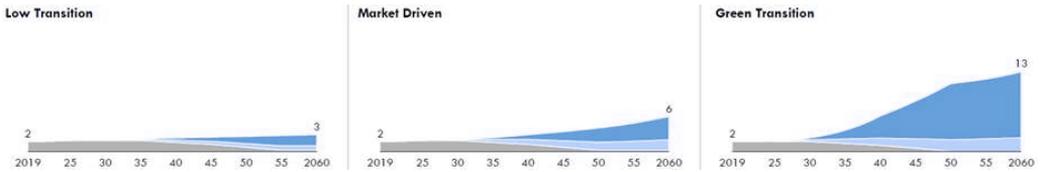
### III.6.3 OUTLOOK HIDROGEN

Penyerapan hidrogen didorong oleh ekonomi dan tingkat ambisi dekarbonisasi dengan tiga skenario. Pada skenario LT, tidak terdapat demand dari sektor heat generation, baja, penerbangan dan maritim, rumah tangga dan komersial, dan *power*. Pada skenario MD, pangsa hidrogen dalam bauran energi industri baja secara global mencapai sekitar 1% pada tahun 2030, 3% pada tahun 2040,

dan menjadi 6% pada tahun 2050. Untuk sektor transportasi darat, sebesar 10% dari penjualan truk dan bus pada tahun 2030 di Tiongkok dan negara OECD adalah fuel cell, dan menjadi 50% pada tahun 2050. Untuk sektor penerbangan dan maritim, hidrogen juga digunakan untuk produksi *synfuel*. Pada tahun 2030 diperkirakan penggunaan hidrogen, *syn-kerosene*, ammonia, dan

syn-methanol mencapai 10% dari konsumsi bahan bakar penerbangan dan maritim global. Adapun untuk rumah tangga dan komersial, volume pencampuran/penggantian H<sub>2</sub> dengan gas alam di negara EU28 mencapai 10% pada tahun 2040, dan 70% pada tahun 2050. Sementara pada skenario GT, pangsa hidrogen dalam bauran energi industri baja secara global dapat mencapai 1% pada tahun 2030, 5% pada tahun 2040, dan 12% pada tahun 2050. Untuk sektor transportasi darat, sebesar 20% penjualan truk dan bus di Tiongkok dan negara OECD pada tahun 2030

adalah *fuel cell*, dan mencapai 50% pada tahun 2050. Penggunaan hidrogen dan turunannya mencapai 10% konsumsi bahan bakar penerbangan dan maritim global pada tahun 2030. Adapun tingkat volume pencampuran/penggantian hidrogen dengan gas alam di negara EU28 mencapai 18% pada tahun 2030, 54% pada tahun 2030, dan 90% pada tahun 2050. Sensitivitas supply dan demand hidrogen didorong oleh biaya dan kebijakan di Indonesia. Suplai hidrogen diperkirakan mencapai 13 MTPA pada tahun 2060 di skenario GT, 6 MTPA di skenario MD, dan 3 MTPA di skenario LT.

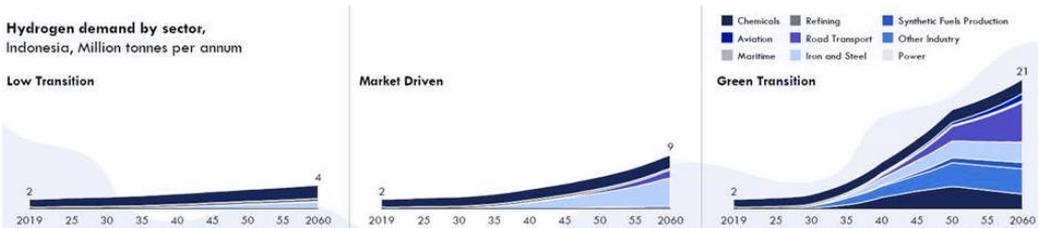


Gambar 3.27 Pasokan Hidrogen di Indonesia (MTPA)

Sumber: PEI (2022)

Adapun demand hidrogen menunjukkan proyeksi 21 MTPA pada tahun 2060

di skenario GT, 9 MTPA di skenario MD, dan 4 MTPA di skenario LT.

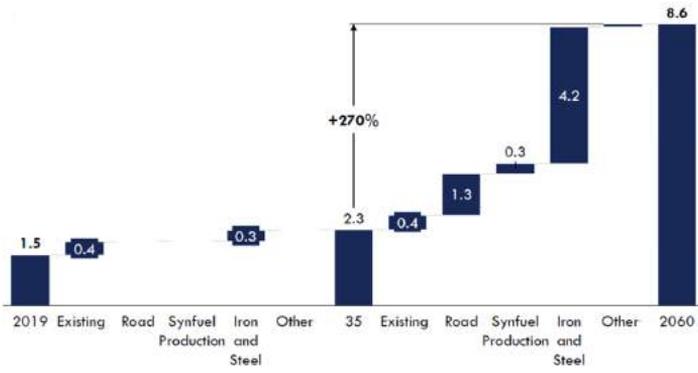


Gambar 3.28 Demand Hidrogen di Indonesia (MTPA)

Sumber: PEI (2022)

Pada skenario MD, pendorong utama demand hidrogen berasal dari transportasi darat, synfuel production, serta besi dan baja. Dalam

beberapa dekade mendatang, kategori ini berkontribusi 90% dari pertumbuhan demand pada tahun 2060.



**Gambar 3.29 Demand Hidrogen Per Sektor (MTPA)**

Sumber: PEI (2022)







# BAB 4

## OUTLOOK CLIMATE-RELATED RISK

## IV.1 RISIKO TRANSISI

### IV.1.1 KEBIJAKAN DAN LEGAL

Risiko transisi dari sisi kebijakan dan regulasi berupa kebijakan dan regulasi yang masih menunggu penetapan oleh pemerintah serta kebijakan subsidi bahan bakar fosil sehingga berpotensi menghambat

pengembangan EBET mencapai target *Nationally Determined Contribution* dan *net-zero emission*, dianalisis dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.1 Perbandingan Risiko Transisi Energi

	RISIKO	KONDISI SAAT INI	POTENSI DAMPAK
Umum	Revisi KEN dan RUEN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bauran EBET sudah tidak sesuai dengan perkembangan kebijakan saat ini dan proyeksi ke depan.</li> <li>Energi nuklir dimanfaatkan sebagai pilihan terakhir dan tidak diatur pemanfaatan energi nuklir dalam bauran energi primer EBET.</li> </ul>	Memberikan arah kebijakan pengembangan EBET nasional.
	Rancangan Undang-Undang tentang EBET	Konsep RUU EBET mengatur: <ul style="list-style-type: none"> <li>Transisi dan peta jalan pengembangan EBET.</li> <li>Ekosistem pengembangan EBET.</li> </ul>	Mendorong terciptanya ekosistem pengembangan EBET.
Sektor Tenaga Listrik	Kebijakan dan regulasi turunan Perpres No 112/2022	Perpres No 112/2022 menetapkan: <ul style="list-style-type: none"> <li>Penyusunan RUPTL yang memprioritaskan pengembangan energi terbarukan.</li> <li>Penyusunan peta jalan percepatan pengakhiran masa operasional PLTU dalam rangka transisi energi sektor ketenagalistrikan.</li> </ul>	Mendorong pemanfaatan EBET sektor tenaga listrik dan elektrifikasi sektor lain.
Sektor Transportasi	Harga BBM bersubsidi ditetapkan oleh pemerintah	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disparitas harga BBM subsidi dan BBM nonsubsidi yang tidak lebar mendorong penggunaan kendaraan bermotor listrik.</li> <li>Kebijakan dan regulasi tentang kendaraan bermotor listrik telah mendorong terciptanya ekosistem penggunaan kendaraan bermotor listrik.</li> </ul>	Mendorong penggunaan kendaraan bermotor listrik secara masif.

Tabel 4.1 Perbandingan Risiko Transisi Energi

	RISIKO	KONDISI SAAT INI	POTENSI DAMPAK
<b>Sektor Rumah Tangga</b>	Harga LPG bersubsidi ditetapkan pemerintah dan belum berubah sejak tahun 2007	<ul style="list-style-type: none"> <li>Harga LPG untuk memasak murah, serta impor dan subsidi LPG masih tinggi.</li> <li>Rancangan Peraturan Presiden tentang <i>Dimethyl Ether</i> (dapat melalui gasifikasi batubara) sebagai substitusi LPG belum ditetapkan.</li> <li>Proyek percontohan konversi LPG ke kompor induksi tahun 2022 sebanyak 1.000 paket di Bali Selatan dan 1.000 paket di Solo kepada rumah tangga daya 450 VA serta rumah tangga miskin dan tidak mampu daya 900 VA, yang didahului dengan pembagian secara gratis paket konversi yang terdiri dari kompor induksi dua tungku, dua unit peralatan masak, dan satu unit penambah daya listrik.</li> </ul>	Menghambat pemanfaatan EBET dan elektrifikasi sektor rumah tangga.
<b>Sektor Industri</b>	Belum ada kebijakan terkait kewajiban pemanfaatan EBET sektor industri	• -	Kontribusi pemanfaatan EBET sektor industri belum terukur.

## IV.1.2 RANTAI PASOK (SUPPLY CHAIN)

Transisi energi akan menimbulkan kebutuhan energi, baik energi fosil selama transisi berjalan maupun energi bersih. Permasalahannya, kebutuhan energi ini akan menimbulkan risiko pasokan jika transisi energi berjalan tidak sesuai dengan rencana. Transisi energi yang lebih cepat akan menimbulkan kebutuhan mineral kritis dan teknologi hijau yang lebih banyak, sementara transisi yang lebih lambat akan meningkatkan kebutuhan energi fosil yang lebih besar.

Oleh karena itu, McKinsey (2022) menyatakan bahwa untuk memastikan agar transisi energi berjalan teratur, diperlukan sembilan syarat kunci yang masuk dalam tiga kategori utama, yaitu infrastruktur fisik, penyesuaian sosial ekonomi, serta tata kelola, institusi, dan komitmen. Rantai pasok termasuk dalam kategori infrastruktur fisik, dan keberhasilan menjalankan transisi energi secara teratur

bergantung pada keberhasilan dalam menciptakan rantai pasok dan infrastruktur pendukungnya. Dalam laporan McKinsey (2022) disebutkan bahwa diperlukan langkah-langkah untuk menghindari kemacetan rantai pasok, terutama dalam situasi geopolitik tahun 2022. Kemacetan rantai pasok meningkatkan risiko terkait kekurangan secara volume, volatilitas harga, ketergantungan pasokan secara geografis, lamanya *lead-time*, dan masalah terkait kualitas.

Tantangan utama dalam rantai pasok adalah terkait pengadaan bahan baku, manufaktur komponen, serta ketersediaan tenaga kerja untuk konstruksi dan instalasi. Masalah terkait rantai pasok juga telah dibahas oleh IEA (2022) dan Forum Ekonomi Dunia (2022), bahwa masalah transisi energi saat ini adalah rantai pasok teknologi hijau yang terkonsentrasi di beberapa wilayah tertentu secara global.

Tabel 4.2 Potensi Risiko Rantai Pasok

KEKURANGAN PASOKAN	VOLATILITAS HARGA	KETERGANTUNGAN SUMBER-GEOGRAFIS	LEAD-TIME PANJANG	KUALITAS
Rantai pasok tidak dapat memenuhi jumlah material atau komponen yang diperlukan secara mencukupi, baik karena <i>lead-time</i> yang diperlukan untuk <i>scaling up</i> maupun keterbatasan fundamental, seperti keterbatasan kapasitas penambangan.	Material atau komponen terpapar kekuatan pasar yang mengarah pada peningkatan harga secara konsisten atau volatilitas harga.	Material atau produksi komponen secara signifikan terkonsentrasi di wilayah yang secara geopolitik, sosial, peraturan, atau faktor lain dapat berdampak pada aliran perdagangan.	Material atau komponen memerlukan waktu lama untuk pengadaan.	Material atau komponen mengalami penurunan kualitas karena peningkatan permintaan secara masif dan penurunan kontrol kualitas untuk mempercepat proses.

Sumber: McKinsey (2022)

Secara umum, mineral kritis dapat didefinisikan sebagai zat alami yang memberikan sifat esensial untuk suatu teknologi atau produk, tidak mudah tersubstitusi, pada umumnya tidak didaur ulang atau didaur ulang pada tingkat rendah, dan bergantung pada risiko rantai pasok sebagai akibat dari berbagai faktor (McNulty dan Jowitt, 2021). Lebih lanjut, McNulty dan Jowitt (2021) dalam kajiannya mengenai pasokan mineral kritis secara global menjelaskan bahwa risiko pasokan mineral kritis dapat berupa variasi geologis, geografis, politik, dan metalurgi. Dengan demikian, bisa jadi jumlah mineral kritis di seluruh dunia mencukupi, tetapi situasi geopolitik di masa mendatang menghambat arus perpindahan mineral kritis dari satu wilayah ke wilayah lain.

Berdasarkan peta sebaran pasokan teknologi bersih dari IEA (2022) dan juga Bank Dunia (2020), rantai nilai teknologi energi bersih tersebar secara tidak merata di berbagai belahan dunia. Bahkan pemrosesan mineral kritis dunia saat ini berpusat di Tiongkok. Hal ini memunculkan beberapa risiko yang salah satunya adalah kurangnya pasokan teknologi energi bersih untuk mendukung pencapaian target *net-zero* di beberapa negara. Berdasarkan situasi tersebut, Komisi Eropa dalam analisisnya menunjukkan bahwa untuk mencapai target transisi energi pada

tahun 2030, pasokan mineral kritis, seperti *dysprosium*, *neodymium*, *praseodymium*, dan *lithium*, di Uni Eropa tidak mencukupi. Terkait hal itu, Komisi Eropa telah menyiapkan beberapa strategi untuk menjaga keamanan pasokan mineral kritis tersebut. Tidak hanya Uni Eropa yang kemudian membuat strategi untuk mengamankan kebutuhan teknologi hijau, Amerika Serikat juga telah memiliki rangkaian kebijakan, seperti Critical Mineral Policy Act dan Defense Policy Act, untuk memastikan keamanan dan keandalan pasokan teknologi hijau dalam mendukung percepatan transisi energi di Amerika Serikat. Dengan adanya isu pasokan mineral kritis, IEA dalam laporannya mengubah paradigma ketahanan energi yang dikaitkan dengan transisi energi bersih. Ke depan, perlombaan dalam mencapai target net zero akan berfokus pada keamanan pasokan teknologi energi bersih, dan disrupsi pasokan teknologi energi bersih ini akan menunda serta meningkatkan biaya transisi energi (IEA, 2022).

Selain masalah konsentrasi geografis dari rantai pasok, terdapat juga masalah disrupsi rantai pasok yang disebabkan oleh cuaca ekstrem karena perubahan iklim sudah terjadi. Pada periode 2021-2022 tercatat beberapa kejadian cuaca ekstrem yang mendisrupsi pasokan energi seperti terlihat dalam tabel berikut:

**Tabel 4.3 Data Disrupsi Cuaca terhadap Rantai Pasok Energi**

LOKASI	DISRUPSI	PASOKAN ENERGI	PERIODE
<b>Tiongkok</b>	Kekeringan Sungai Yangtze karena gelombang panas	Penurunan pasokan listrik PLTA	Agustus 2022
<b>Amerika Serikat</b>	Badai Ida	Terhentinya kilang minyak	Agustus 2021
<b>Eropa</b>	Udara kering kurang angin	Penurunan pasokan listrik turbin angin	Musim panas-gugur 2021
<b>India</b>	Gelombang panas	Peningkatan permintaan listrik, <i>supply shock</i> batubara	Mei 2022

Masalah rantai pasok selama transisi energi tidak hanya terjadi pada energi hijau, tetapi juga pada energi fosil. Sepanjang sejarah, minyak bumi merupakan sumber energi fosil yang erat kaitannya dengan masalah geopolitik. Masalah rantai pasok minyak bumi terutama dalam hal keterjangkauan dan ketersediaan. Konflik Rusia-Ukraina, tekanan transisi energi, dan masalah inflasi akan menimbulkan risiko pasokan untuk minyak bumi. Seperti sudah dibahas dalam bab sebelumnya, kurangnya investasi hulu migas akan meningkatkan risiko pasokan migas.

Secara nasional, berdasarkan *Pertamina Energy Outlook 2022* yang telah dibahas dalam Bab III, transisi energi yang membutuhkan lebih banyak energi terbarukan berada di skenario *Market Driven* (MD) dan *Green Transition* (GT), terutama setelah tahun 2030. Dalam kedua skenario itu, minyak bumi dan gas masih diperlukan selama transisi energi, dan Indonesia masih akan memerlukan pasokan minyak mentah dengan puncak permintaan paling cepat pada tahun 2025 di skenario GT.

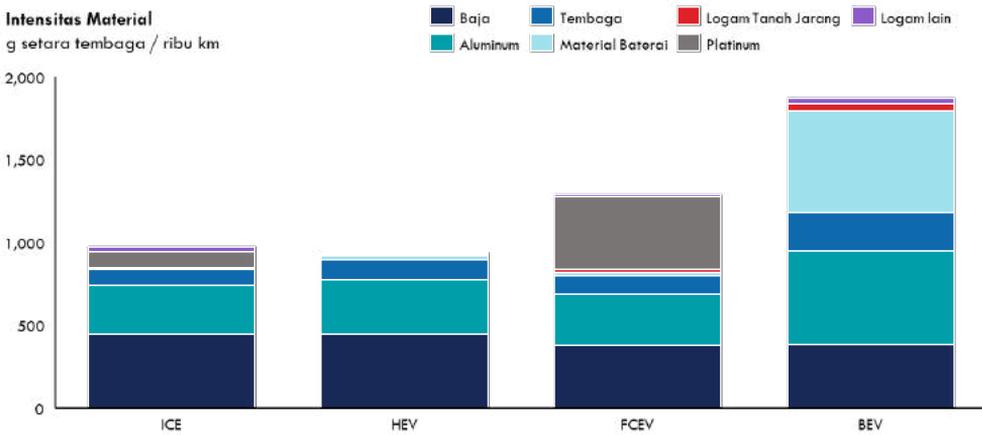
Sementara itu, jika Indonesia mengalami transisi energi yang lebih lambat seperti yang diskenariokan dalam *Low Transition* (LT), energi fosil yang dibutuhkan, terutama batubara, akan terus bertumbuh hingga 2060. Oleh karena itu, berbagai pihak perlu secara bersama-sama memperhatikan kebijakan, perubahan teknologi, perilaku, dan faktor-faktor kunci lainnya dalam transisi energi,

untuk memastikan arah kebutuhan bauran energi dalam transisi energi. Sebagai contoh, jika kebijakan yang mendorong transisi energi masih belum cukup kuat, perlu dipersiapkan bahwa Indonesia masih akan mengarah ke skenario LT. Dalam hal ini, kebutuhan bahan bakar fosil, termasuk rantai pasoknya, perlu dipersiapkan.

Jika terjadi arah penguatan transisi energi atau diharapkan akan terjadi penguatan transisi energi, beberapa faktor terkait rantai pasok energi baru dan energi terbarukan perlu diperhatikan. Sebagai contoh, semakin kuat transisi energi, energi listrik yang diperlukan akan lebih tinggi. Seperti dalam skenario LT, konversi energi primer ke listrik sebesar 16 juta TJ pada 2060. Sementara itu, konversi energi primer ke listrik pada skenario MD adalah sebesar 20 juta TJ pada 2060, dan untuk skenario GT sebesar 26 juta TJ pada 2060. Untuk memastikan elektrifikasi terjadi dalam skala besar, diperlukan dukungan kebijakan dan ekonomi serta penguatan rantai pasok, seperti infrastruktur pengisian ulang listrik dan hidrogen, pasokan baterai, hidrogen, dan kendaraan. Dalam hal pasokan kendaraan, kendaraan listrik secara umum memerlukan material yang lebih banyak daripada kendaraan berbahan bakar fosil. Kebutuhan material tersebut perlu didukung kekuatan rantai pasok untuk memastikan tersedianya bahan baku dan material kendaraan listrik dalam transisi energi.

### Transportasi Darat

Intensitas Material  
g setara tembaga / ribu km



Gambar 4.1 Kebutuhan Material Transportasi Darat

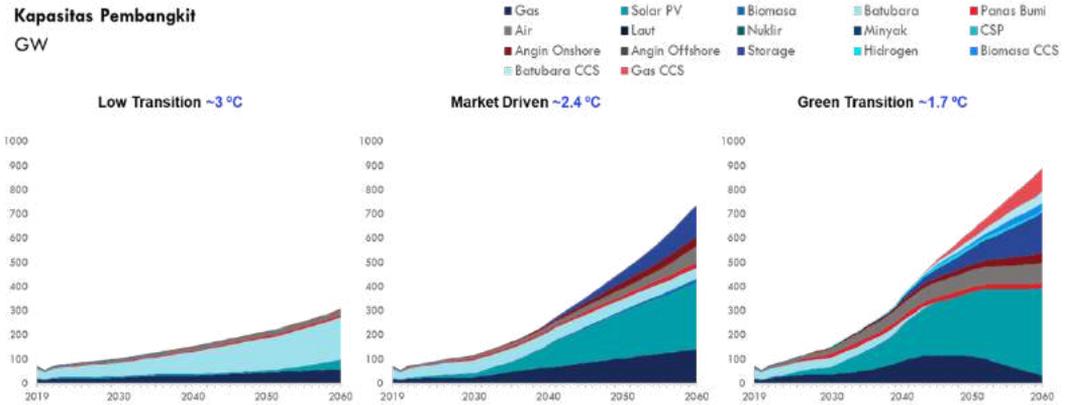
Sumber: PEI (2022)

Terkait dengan grafik di atas, material baterai merupakan bagian terbesar dalam peningkatan material, terutama karena kebutuhan litium, nikel, dan kobalt. Aluminium diperkirakan akan meningkat secara signifikan karena sifatnya yang ringan sehingga dapat mendukung jarak tempuh yang lebih jauh untuk kendaraan listrik. Platinum diperlukan terutama untuk kendaraan berbasis hidrogen karena dapat digunakan sebagai katalis untuk menghasilkan arus listrik (memecah hidrogen menjadi proton dan elektron). Logam tanah jarang (terutama *neodymium*) digunakan sebagai magnet permanen motor listrik. Tembaga digunakan dalam sebagian besar komponen utama kendaraan listrik, mulai dari motor hingga inverter, serta kabel.

Selanjutnya, untuk kebutuhan baterai kendaraan listrik, nikel akan menjadi logam dengan tingkat kebutuhan tinggi, diikuti litium, dan kobalt. Nikel terutama kelas 1 akan semakin dibutuhkan. Namun, secara umum akan muncul risiko kekurangan nikel di masa depan karena *lead-time* penambangan nikel yang panjang (5-7 tahun), memerlukan investasi yang besar, dan kurangnya kemauan berinvestasi dari petambang, kecuali terjadi peningkatan harga secara signifikan.

Di sisi lain, Indonesia merupakan penghasil nikel dan pemilik cadangan nikel terbesar dunia, walaupun saat ini pengolahan nikel terbesar dunia berada di Tiongkok. Oleh karena itu, Indonesia perlu melakukan hilirisasi nikel untuk mengambil manfaat terbesar dari cadangan nikel terbesar dunia dan peluang pengembangan kendaraan listrik berbasis baterai dalam transisi energi.

Selain kendaraan listrik dan baterai, diperlukan juga ketahanan rantai pasok hidrogen dan sumber nabati dalam transisi energi di sektor transportasi. Untuk hidrogen, Indonesia perlu mempersiapkan pasokan kendaraan berbasis *fuel cell* dan ekosistem pengisian bahan bakar hidrogen untuk rantai pasok di sisi konsumen. Sementara, dari sisi pasokan, setelah 2030 diproyeksikan bahwa sumber hidrogen hijau akan masuk ke dalam pasokan dengan biaya yang lebih rendah. Selanjutnya, untuk bahan bakar nabati, diperlukan ketahanan pasokan sumber nabati. Beberapa sumber nabati yang digunakan sebagai campuran bahan bakar adalah sumber nabati dari gula (*molase*), sawit, dan limbah nabati, seperti jelantah. Dalam pengembangan bahan bakar nabati, diperlukan pertimbangan ketersediaan bahan baku yang menjadi sumber pangan.



**Gambar 4.2 Proyeksi Bauran Kapasitas Pembangkit**

Sumber: PEI (2022)

Di sektor pembangkit, dalam skenario LT, batubara masih akan mendominasi bauran pembangkit. Namun, di skenario MD dan GT, bauran EBET sudah masuk ke dalam sistem dengan porsi kapasitas terbesar tenaga surya. Hal ini disebabkan tenaga surya bersifat intermiten dengan *capacity factor* sekitar 23%. Dengan demikian, diperlukan kapasitas besar untuk memasok listrik dari tenaga surya. Di sisi skenario LT, pasokan listrik terkonsentrasi pada batubara sehingga akan muncul risiko pasokan batubara selain faktor emisinya yang tinggi. Jika terjadi disrupsi dalam hal pasokan batubara, skenario LT paling berisiko.

Sementara itu, skenario MD dan GT memiliki bauran pasokan listrik yang lebih banyak dibandingkan skenario LT, dengan bauran terbanyak skenario GT karena dalam skenario ini pembangkit dengan CCS masuk ke dalam sistem, seperti gas dengan CCS. Banyaknya bauran pembangkit menurunkan risiko pasokan. Namun, pembangkit EBET yang intermiten memerlukan mitigasi pasokan karena selain rentan terdisrupsi cuaca, juga rentan terhadap faktor geopolitik.

Dalam skenario MD dan GT, pembangkit tenaga surya, bayu, dan air berisiko terhadap disrupsi cuaca. Khusus untuk pembangkit tenaga air, perlu dilakukan pemetaan risiko pasokan air ke depan karena cuaca ekstrem dan disiapkan adaptasi sumber air untuk menjaga keandalan pasokan pembangkit di masa mendatang. Untuk turbin angin dan panel surya, saat ini Indonesia belum menguasai rantai pasok teknologi pembangkit tersebut. Terlebih lagi, saat ini sebagian besar rantai pasok panel surya dikuasai Tiongkok. Padahal, pembangkit panel surya paling diminati sebagai *quick win* karena LCOE-nya yang rendah dan paling mudah dipasang untuk mencapai target kapasitas pembangkitan. Dengan demikian, untuk saat ini, peningkatan pembangkit panel surya hanya akan menguntungkan negara lain. Oleh karena itu, Indonesia perlu segera melakukan hilirisasi, penguasaan teknologi, dan industrialisasi rantai pasok pembangkit tenaga surya. Dengan demikian, untuk mencapai kapasitas pembangkit seperti yang diskenariokan, ke depan Indonesia dapat memenuhinya dari dalam negeri dan melakukan optimalisasi ekonomi dari rantai pasok tersebut.

### IV.1.3 PREFERENSI PASAR

Menurut laporan *World Energy Outlook 2022* (International Energy Agency, 2022), respons sisi permintaan saat ini berperan lebih penting dalam memastikan keseimbangan sistem energi, terutama di tengah ketidakpastian permintaan jangka panjang dan penawaran jangka panjang dalam bentuk investasi di bahan bakar fosil. Efisiensi energi seharusnya memainkan peranan utama, sebagaimana respons terhadap *oil price shocks* di tahun 1970-an. Namun, sangat disayangkan peningkatan efisiensi melambat, yang ditunjukkan oleh intensitas energi rata-rata menurun sepanjang tahun (2,1% di tahun 2011-2016 menjadi 1% di tahun 2017-2020, dan 0,5% di tahun 2021).

Aspek perilaku juga vital disandingkan dengan upaya efisiensi energi. Kebijakan pemberian insentif dari sisi penawaran tidak cukup tanpa disertai kebijakan untuk mendorong sisi permintaan. Contohnya saja yang terjadi di Mesir dalam hal adopsi panel surya. Walaupun pemerintah sangat mendukung PLTS atap, kenyataannya penerimaan oleh masyarakat sangat kecil (*The Economist*, 2022).

Menurut IEA, Mesir merupakan wilayah terbaik untuk tenaga matahari, dan beberapa perusahaan yang sudah berinvestasi di proyek-proyek seperti Benban Solar Park, salah satu yang terbesar di dunia, terletak 650 kilometer di selatan Kairo. Pemerintah juga sudah memberikan insentif yang baik untuk pemilik rumah. Pada tahun 2014 telah diperkenalkan *feed in tariff* (FiT), dengan menjanjikan pembayaran surplus tenaga matahari yang dihasilkan. Namun, Pemerintah Mesir sulit untuk meyakinkan masyarakatnya.

Menurut *The Economist*, per September 2022 hanya 749 PLTS atap yang terpasang. Salah satu alasan masyarakat yang memasang PLTS atap adalah karena *financial decision* berupa pengurangan *energy bills* dan juga karena tidak mengalami lagi pemadaman listrik yang sering. Kemungkinan alasan ini hanya di golongan ekonomi tertentu, karena bagi sebagian besar masyarakat Mesir, investasi

awal sebesar 65.000 pounds Mesir berada di atas kesanggupan. Di samping masalah finansial, masalah perizinan juga memberatkan. Pengajuan izin untuk memasang PLTS atap dan menghubungkannya ke *national grid* harus dilakukan oleh pemilik properti dan mendapat sertifikasi bahwa tidak akan ada tunggakan ke depannya. Biaya perizinan ini dapat mencapai ribuan pounds sehingga jutaan rumah tereliminasi. Selain itu, 20 juta penduduk juga tinggal di Kairo, yang sebagian besar tinggal di apartemen, yang tidak memungkinkan untuk memasang PLTS atap sendiri. Belajar dari pengalaman Mesir, diperlukan pemahaman atas perilaku dan preferensi masyarakat, untuk mendesain pendekatan *nudging* dalam rangka mendorong adopsi energi bersih.



Krisis energi saat ini dapat dijadikan momentum. Di bawah ini akan dibahas mengenai perbedaan preferensi konsumen di beberapa negara untuk beberapa teknologi energi bersih, antara lain EV dan nuklir. Selanjutnya dibahas faktor-faktor yang memengaruhi *willingness-to-pay* (WTP) masyarakat atas energi bersih, seperti penggunaan EV, penggunaan energi nuklir, dan WTP. Terkait dengan preferensi konsumen untuk adopsi EV difokuskan pada aspek mengenai insentif dan tipe EV sendiri. Pertama, terkait insentif, studi *The Economist* menunjukkan bahwa terdapat perbedaan preferensi insentif yang diinginkan masyarakat untuk mendorong adopsi EV berbeda (*The Economist*, 2022).



### 1 Kebijakan EV di Amerika Serikat

Kebijakan EV di Amerika Serikat dianggap tertinggal. The Inflation Reduction Act (IRA) menawarkan insentif pembelian EV ketika negara kaya lainnya, termasuk Inggris dan Jerman, akan mengurangi insentif mereka, setelah mempertimbangkan cara terbaik untuk mendorong masyarakat.

### 2 Kebijakan EV di Norwegia

Norwegia tidak menggunakan subsidi, tetapi memberikan pengecualian pajak kepada pemilik EV. Efek samping yang bagus dari kebijakan ini adalah kurangnya konsumsi bahan bakar dari kendaraan *internal combustion* karena keberadaan pajak.

### 3 Kebijakan EV di Inggris

Penelitian dari Bank Dunia menunjukkan kebijakan Inggris lebih dapat diterima secara analisis biaya dan manfaat. Pengeluaran negara sebesar USD 1.600 untuk penyediaan infrastruktur pengecasan memberikan hasil yang sama dengan pengeluaran rata-rata USD 10.000 atau lebih yang dibutuhkan untuk mendorong pembelian mobil listrik.

### 4 Kebijakan EV di Tiongkok

Di samping Inggris, cara paling efektif untuk mendorong mobil listrik dengan biaya yang hampir nol adalah di Tiongkok. Tiongkok memberi pemilik EV pelat mobil khusus yang memungkinkan pemerintah lokal untuk memberikan akses parkir khusus atau pengecualian dari biaya kemacetan.

Selanjutnya, dalam studi EIU (*The Economist Intelligence Unit*, 2022) terkait adopsi EV roda dua di Asia menunjukkan bahwa kendaraan listrik roda dua menjadi semakin populer karena dapat menawarkan transportasi jarak pendek yang cepat di perkotaan. EIU memperkirakan Asia tetap menjadi mesin pertumbuhan

untuk *e-bikes* dan *e-scooters* karena polusi perkotaan, kemacetan, dan pendapatan yang relatif lebih rendah. Namun, perusahaan otomotif dan pembuat kebijakan perlu menyelesaikan beberapa hambatan adopsi, mulai dari masalah teknologi dan rantai pasok sampai dengan masalah keamanan dan aturan.

Untuk EV roda empat, studi EIU (The Economist Intelligence Unit, 2022) menunjukkan pergeseran ke mobilitas bersih di Asia selain Tiongkok berlangsung lambat. Salah satu penyebabnya adalah kurangnya infrastruktur pengecasan EV yang menimbulkan kegelisahan pembeli baterai EV yang potensial. *Hybrid EV* (HEV) menawarkan solusi atas hal ini, tetapi pemerintah belum satu suara dalam mendukung adopsi *hybrid EV* sebagai teknologi transisi atau menunda pergeseran ke BEV dalam jangka panjang. Kendaraan hibrida bervariasi dalam spesifikasi mereka dengan keunggulan dan kelemahan masing-masing. Mulai dari kendaraan hibrida yang konvensional (HEV), yang mesin ICE besarnya dapat mengemas kembali mesin listrik yang lebih kecil, sampai dengan *plug-in hybrids* (PHEV) yang mesin elektriknya yang *rechargeable* mendominasi. Variasi demikian dapat menimbulkan kesulitan pengambilan keputusan, termasuk terkait kebutuhan infrastruktur pengecasan yang harus dibangun dan bagaimana membuat struktur subsidi. Berikut beberapa perbandingan antarnegara dalam kebijakan HEV:

**1** Kebijakan HEV India

Pandangan bahwa HEV merupakan pilihan terbaik untuk India dalam mengurangi emisi mendapat dukungan dari ICCT, terutama karena pasokan listrik di India yang masih bergantung pada bahan bakar fosil, khususnya batubara, yang berarti HEV bersaing baik dengan *plug-ins* dalam hal emisi dari awal sampai akhir.

**2** Kebijakan HEV Tiongkok

Di Tiongkok, pada Juni 2020, pemerintah menciptakan kategori HEV yang terpisah, yang akan mendapat perlakuan yang

berbeda dengan kendaraan bensin. Hal ini untuk membantu pasar dalam jangka pendek walaupun dalam jangka panjang tetap akan didominasi oleh BEV.

**3** Kebijakan HEV Korea Selatan

Di Korea Selatan, PHEV telah populer, dengan proporsi terhadap total penjualan EV yang meningkat dari 5% di tahun 2017 menjadi 20% di tahun 2021. Namun, penjualan HEV kemungkinan akan turun seiring rencana pemerintah untuk menarik subsidi pembelian sejak 2025 atau 2026.

**4** Kebijakan HEV Indonesia

Di Indonesia, HEV lebih populer dibandingkan EV karena kurangnya infrastruktur pengecasan, yang saat ini sedang diperbaiki pemerintah dengan mulai menerapkan 15% pajak barang mewah pada pembelian HEV agar permintaan dapat bergeser ke arah BEV.

**5** Kebijakan HEV Malaysia

Di Malaysia, HEV dan PHEV dulunya menarik subsidi impor pemerintah, tetapi subsidi ini dibatasi pada BEV dalam anggaran tahun 2022. Meski demikian, masih ada beberapa insentif untuk mobil hibrida yang dirakit lokal, yang menunjukkan belum satu suaranya pemerintah.

Berikut beberapa perbandingan antarnegara terkait preferensi konsumen untuk adopsi nuklir.

**1** Prancis

Prancis bergantung pada tenaga nuklir lebih dari negara lain. Negara tersebut memiliki pembangkit nuklir yang berkontribusi 66,5% dari penyediaan listriknya di 2020, dan telah mengeksplor 70 TWh listrik setiap tahun (Bass, 2022).

**2** Amerika Serikat

Dukungan publik untuk energi nuklir di AS satu tahun setelah tragedi Fukushima

diukur dengan indikator *attitude* dan diperoleh hasil bahwa masyarakat yang lebih memahami isu energi lebih mendukung energi nuklir. Persepsi risiko juga memengaruhi dukungan (Stoutenborough, Sturgess, dan Vedlitz, 2013).

### 3 Asia

EIU (The Economist Intelligence Unit, 2022) membahas kemungkinan Asia memimpin dalam nuklir. Peran energi nuklir sebagai sumber tenaga yang murah, dapat diandalkan, dan aman telah didengar selama beberapa tahun terakhir. Bencana pembangkit tenaga nuklir di Fukushima pada tahun 2011 telah menjadi peringatan atas keamanan nuklir.

Serangkaian proyek yang *over-budget* dan tertunda, terutama di negara Barat, juga telah menimbulkan keraguan bahwa tenaga nuklir sebagai sumber energi murah. Diperparah oleh masalah yang sedang dialami di Prancis, dengan korosi dan isu lainnya telah menutup banyak reaktor, mendorong kenaikan harga listrik sangat tinggi. Terlepas dari hal-hal tersebut, banyak pemerintah di Asia sekarang melirik energi nuklir sebagai cara untuk meningkatkan keamanan energi dan mengurangi ketergantungan pada energi impor pascaperang Rusia-Ukraina.

#### ● Jepang

Reaktor nuklir di Jepang—yang hanya 10 dari 50 reaktor nuklir domestiknya ditutup setelah tragedi Fukushima—telah diaktifkan kembali, dan telah ada pergeseran sentimen terhadap tenaga nuklir. Perdana Menteri Jepang, Fumio Kishida, juga telah menyuarakan dukungan yang kuat untuk peningkatan penggunaan tenaga nuklir. Survei terkini di Jepang

menunjukkan bahwa sebagian besar masyarakat telah mendukung pengaktifan kembali reaktor nuklir. Jepang saat ini memiliki 23 reaktor nuklir yang beroperasi komersial, tetapi sedang tidak aktif, dengan kapasitas pembangkit 21,7 GW.

#### ● Korea Selatan

Di Korea Selatan, pemerintah yang baru hendak membalikkan rencana *phase-out* nuklir pendahulunya dan meningkatkan porsi tenaga nuklir di bauran energi mereka menjadi 30% atau lebih pada tahun 2030, dari 27% pada tahun 2021. Peran politik ini juga sejalan dengan sebuah studi tentang persepsi publik di Korea terhadap nuklir dan hubungannya dengan perubahan iklim, yang menemukan bahwa strategi untuk memengaruhi masyarakat, bahwa pembangkit tenaga nuklir merupakan salah satu cara untuk memitigasi risiko perubahan iklim, dipandang kurang efektif. Tenaga nuklir mewakili nilai-nilai populasi yang berumur tua, materialis, pro-pengembangan, dan partai politik yang konservatif. Kebijakan energi di Korea dipandang merupakan isu yang sangat politis dibandingkan sekadar isu ilmu pengetahuan ataupun isu ekonomi (Chung dan Kim, 2018).

#### ● Tiongkok

Tiongkok dan India, yang belum pernah memiliki rencana *phase-out*, ingin membangun lebih banyak reaktor. Tiongkok berencana untuk mengekspansi kapasitas nuklirnya dari 50 GW di 2021 menjadi 70 GW di 2025, dan bahkan mencapai 104 GW di 2031 menurut proyeksi EIU, yang menghasilkan sekitar 7,1% dari total listrik Tiongkok di 2031, naik dari 4,8% saat ini.

● India

Di India, 10 reaktor saat ini ada pada berbagai tahap konstruksi dan akan meningkatkan kapasitas terpasang lokal sekitar 8 GW, dari 6,9 GW saat ini. Sebagai tambahan, pemerintah telah mengenakan sanksi atas konstruksi 10 reaktor 700 MW pada 2031, juga telah menyetujui izin prinsip untuk membangun 28 reaktor yang secara potensi dapat mendorong kapasitas nuklir terpasang di India sampai 31,9 GW. Namun, EIU memperkirakan proyek ini tidak akan selesai tepat waktu dan memperkirakan kapasitas terpasang nuklir di India hanya mencapai 14,3 GW di 2031.

Preferensi konsumen dalam transisi energi juga dapat dilihat salah satunya melalui WTP. Berikut faktor-faktor yang kemungkinan memengaruhi WTP masyarakat akan energi bersih:

1 Sumber energi bersih

Sebuah studi menunjukkan bahwa WTP konsumen lebih tinggi untuk energi bersih, tetapi bervariasi berdasarkan preferensi sumber energi bersih, yang memperlihatkan masyarakat lebih memilih tenaga matahari dibandingkan energi hijau secara umum dan dibandingkan angin, sementara biomassa dan metana paling tidak disukai (Borchers, Duke, dan Parsons, 2007).

2 Segmentasi masyarakat

Segmentasi yang dimaksud di sini bukan serta-merta berdasarkan efek pendapatan, melainkan pembagian segmen masyarakat yang lebih mengedepankan nilai (*pro-value*) dengan segmen premium. Sebuah studi terkait pengadopsi PLTS atap menunjukkan bahwa pelanggan premium peduli pada aspek estetika lebih dari pelanggan yang *pro-value*, dan ini bukan karena efek pendapatan. Pengadopsi PLTS atap juga cenderung memiliki rekan yang

memilih PLTS atap (Petrovich, Hille, dan Wüstenhagen, 2019). Segmentasi serupa kemungkinan juga terjadi di adopsi lainnya. Contohnya di kompor induksi, yang kemungkinan besar lebih mudah diadopsi oleh pelanggan yang mengedepankan estetika.

3 Frekuensi pemadaman di masa lampau

Pemadaman listrik di masa lampau mengarah pada WTP yang lebih tinggi di Canary Island untuk mengurangi frekuensi pemadaman (Amador, González, dan Ramos-Real, 2013). Studi di Jerman dan Inggris juga menunjukkan bahwa masyarakat belum siap mengorbankan keamanan pasokan untuk energi hijau, yang memengaruhi WTP mereka (Merk, Rehdanz, dan Schröder, 2019). Demikian juga di Indonesia, sebuah survei di Bandung menunjukkan bahwa masyarakat rela membayar lebih untuk peningkatan layanan listrik. Untuk menurunkan durasi pemadaman listrik 2 jam per tahun, responden rela membayar kenaikan Rp 5.000-Rp 61.500 tagihan listrik per bulan tergantung kapasitas terpasang (Siyaranamual, Amalia, dan Alisjahbana, 2020).

4 Tingkat pendidikan

Penerimaan masyarakat atas energi hijau di Korea tinggi, dan ditemukan bahwa level pendidikan memiliki efek signifikan atas preferensi (Kim, Park, dan Lee, 2018). Demikian juga studi di Canary Island, yang menunjukkan bahwa tingkat pendidikan yang tinggi berkontribusi pada WTP energi terbarukan yang lebih tinggi (Amador, González, dan Ramos-Real, 2013).

5 Kepedulian pada emisi

Studi di Canary Island menunjukkan bahwa masyarakat yang peduli pada emisi dan *energy saver* memiliki WTP energi terbarukan yang lebih tinggi (Amador, González, dan Ramos-Real, 2013).

Namun, terdapat studi di Jepang yang *counterintuitive*, di mana terdapat kenaikan emisi yang tidak diharapkan dari sistem PLTS atap. Emisi naik 1,75% apabila PLTS atap diadopsi dan masyarakat Jepang dengan sistem PLTS atap juga menggunakan 3,02% listrik lebih banyak (Okuyama, Yoo, Kumagai, Keeley, dan Managi, 2022).

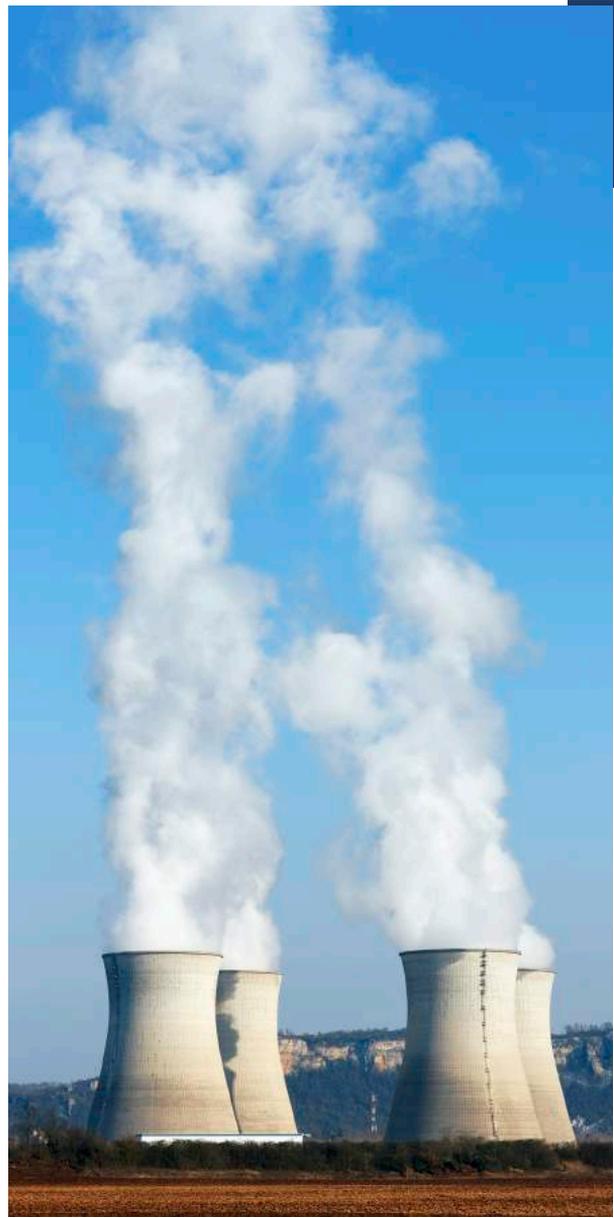
Berdasarkan pembahasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa preferensi masyarakat di beberapa negara atas energi bersih bervariasi. Pemerintah dapat melakukan nudging dengan memanfaatkan informasi terkait faktor-faktor yang memengaruhi WTP masyarakat dalam penggunaan energi bersih.

#### IV.1.4 REPUTASI SEKTOR ENERGI

Perubahan iklim global mendorong dunia berupaya untuk menjalankan langkah strategis guna menekan laju pemanasan global tersebut. Salah satu faktor penyumbang pemanasan iklim global terbesar adalah emisi karbon dari penggunaan energi konvensional/fosil yang menghasilkan karbon atau gas CO<sub>2</sub> di udara. Oleh karena itu, upaya dunia untuk mengatasi perubahan iklim ini tidak lain dengan melakukan transisi energi menuju emisi karbon nol bersih atau dikenal dengan *net-zero emission* (NZE). Namun, misi transisi energi ini masih perlu dikaji lebih reputasinya seiring dengan tantangan yang dihadapi agar ke depan dapat tepat guna dan misi mengatasi laju perubahan iklim dapat tercapai. Tantangan yang dihadapi pada masa transisi energi tersebut menentukan reputasi energi ke depan, terutama di tengah kondisi krisis sumber pasokan energi yang terjadi di sejumlah negara, antara lain sebagai berikut:

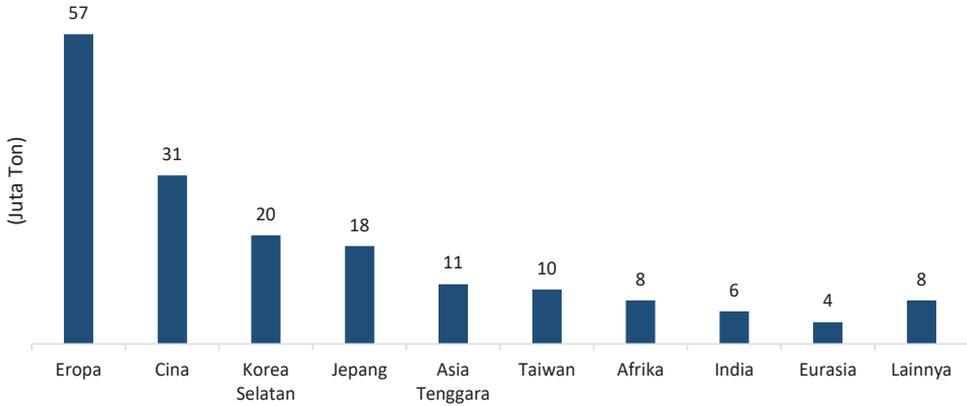
- Krisis energi yang pernah terjadi di Tiongkok dan Inggris menunjukkan bahwa keberlanjutan pasokan menjadi kunci utama transisi energi. Di Tiongkok, krisis energi juga menyebabkan keterbatasan daya listrik sehingga pemadaman terjadi di sejumlah provinsi yang menyebabkan aktivitas masyarakatnya dan operasionalisasi bisnis terganggu.

Kebijakan iklim yang menargetkan konsumsi rumah tangga dan keputusan perilaku merupakan kunci untuk masa depan rendah karbon (Dubois et. al, 2019). Upaya sukarela jangka pendek tidak akan mencukupi untuk mencapai pengurangan drastis yang diperlukan untuk mencapai tujuan 1,5°C. Diperlukan kerangka aturan dari pemerintah untuk mendukung perubahan perilaku masyarakat. Dalam melakukannya, pemerintah dapat menggunakan salah satunya *personalised information* karena potensinya lebih besar untuk mendorong perubahan perilaku dibandingkan informasi yang bersifat *general* terkait perubahan iklim atau aksi rendah karbon (Büchs et. al, 2018).



- Sejumlah negara di Eropa dihadapkan pada pilihan untuk menghentikan impor batubara dari Rusia sebagai kelanjutan dari sanksi terhadap tensi geopolitik di Ukraina.

Hal tersebut dikhawatirkan dapat memicu permasalahan ekonomi lainnya, disebabkan tingginya ketergantungan terhadap sumber energi dari Rusia.



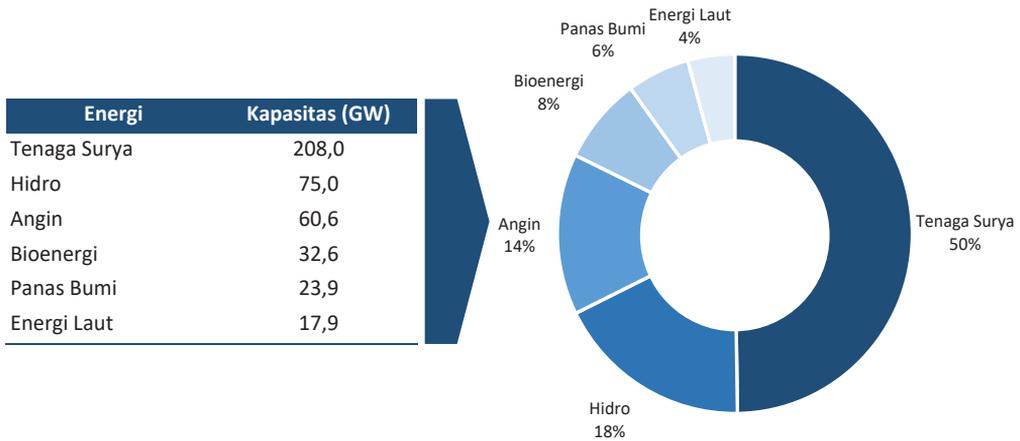
**Gambar 4.3 Porsi Pembelian Batubara Beberapa Negara dari Rusia**

Sumber: AAA, Nymex dan berbagai sumber (diolah)

- Tingginya permintaan energi seiring dengan pemulihan ekonomi di Eropa yang tidak diikuti dengan ketersediaan pasokan yang memadai membuat harga gas alam dan batubara melonjak sehingga pasokan listrik menjadi terganggu.
- India justru melonggarkan izin lingkungan untuk ekspansi tambang batubara demi meningkatkan produksi di tengah kekurangan bahan bakar pembangkit yang telah memicu pemadaman listrik selama berjam-jam.

Kondisi krisis sumber pasokan energi yang terjadi di beberapa negara itu tentu berpengaruh terhadap Indonesia. Meskipun demikian, krisis energi dunia yang terjadi semestinya bisa menjadi peluang sekaligus mengafirmasi komitmen transisi dan investasi menuju energi bersih, apalagi Indonesia

memiliki potensi besar energi baru dan energi terbarukan (EBET). Namun, pemerintah perlu lebih berhati-hati dalam menyikapi proses transisi tersebut agar pasokan energi untuk masyarakat tetap terjamin. Kementerian ESDM menyatakan bahwa potensi EBET di dalam negeri paling besar masih bersumber dari tenaga surya dengan total potensi 208 gigawatt (GW). Kemudian, disusul potensi EBET lainnya, seperti hidro dengan potensi 75 GW, bayu 60,6 GW, bioenergi dengan potensi 32,6 GW, dan panas bumi 23,9 GW, serta energi laut dengan potensi 17,9 GW. Secara garis besar, dalam Peta Jalan Transisi Energi 2021-2030 disebutkan bahwa pemerintah menargetkan pembangunan pembangkit listrik EBET mencapai 20,9 GW, sedangkan PLTS atap sebesar 3,6 GW. Pembangunan PLTS secara masif ditargetkan pada periode 2031-2050 dengan total 279,2 GW.



**Gambar 4.4 Potensi Energi Baru dan Energi Terbarukan di Indonesia**

Sumber: KESDM

Akan tetapi, pengembangan EBET Indonesia ini berpotensi melambat, yaitu ketika harga energi konvensional/fosil, seperti minyak dan batubara, semakin tinggi serta semakin meningkatnya kebutuhan dunia terhadap sumber energi fosil tersebut. Contohnya pada rencana pengembangan pembangkit EBET, sejauh ini masih belum mencapai target yang diharapkan. Realisasi pada tahun 2021, total kapasitas terpasang pembangkit EBET baru mencapai 11.157 megawatt (MW) dari target yang ditetapkan sebesar 11.357 MW. Sementara itu, pada tahun 2022 ini, Kementerian ESDM menargetkan kapasitas terpasang pembangkit EBET sebesar 11.804 MW. Akan tetapi, hal ini juga mendapatkan tantangan, salah satunya terkait harga energi.

Harga energi terbarukan harus bersaing dengan energi konvensional/fosil yang hingga saat ini beberapa di antaranya masih disubsidi. Hal ini juga yang menjadikan subsidi energi fosil terus meningkat setiap tahun bahkan juga menghambat pengembangan energi terbarukan. Sejalan dengan itu, produksi batubara di dalam negeri juga terus ditingkatkan bersamaan dengan implementasi di sejumlah negara Eropa, seperti Italia dan Jerman, yang juga mulai beralih menggunakan batubara sebagai sumber energi.

Di samping itu, dalam rangka menjaga ketahanan energi nasional, terdapat hal yang mungkin masih kontradiksi, khususnya produksi minyak dan gas nasional terus diupayakan secara bersamaan dengan strategi dunia dalam mengakselerasi transisi energi pada penggunaan energi bersih dan ramah lingkungan. Menurut rencana, minyak bumi akan menjadi bahan bakar pembangkit untuk *mem-back up* EBET yang bersifat intermiten ataupun untuk memenuhi kebutuhan domestik, antara lain sebagai bahan bakar transportasi, industri, dan rumah tangga. Oleh karena itu, minyak bumi masih menjadi energi utama untuk transportasi, sebelum digantikan oleh kendaraan listrik, dan gas bumi dapat dimanfaatkan untuk energi transisi sebelum EBET 100% di pembangkit listrik. Itulah sebabnya, pemerintah akan terus berupaya meningkatkan produksi migas nasional untuk mengejar target produksi minyak sebesar 1 BOEPD dan gas bumi 12 BSCFD pada tahun 2030. Menurut Institute for Essential Services Reform (IESR), kendati arah strategi transisi energi Indonesia makin jelas, laju transisi energi perlu dipercepat untuk menurunkan emisi gas rumah kaca serta sejalan dengan Persetujuan Paris untuk menjaga temperatur bumi di bawah 1,5° C. Seperti dikutip dari laman resminya, IESR menilai masih

ada beberapa strategi yang tumpang tindih, seperti pemanfaatan *dimetil eter* (DME), jaringan gas bumi dan kompor induksi, yang seharusnya bisa disusun peta jalan yang lebih fokus. Bagaimanapun, sektor energi khususnya energi fosil menjadi salah satu sektor yang paling banyak menghasilkan polusi sehingga mendapatkan sorotan untuk ditindaklanjuti guna mengurangi emisi gas rumah kaca.

Salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan memilih pembangkit listrik yang rendah emisi ataupun energi terbarukan lainnya untuk memasok kebutuhan energi. Berdasarkan realitas di atas, pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan tidak terlepas dari kendala dan tantangan. Meskipun demikian, pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan ini yang pasti dapat mendukung upaya pencapaian target penurunan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh gas emisi sisa pembakaran dari energi konvensional/fosil.

Seperti telah disampaikan sebelumnya, target penurunan emisi ini ditetapkan secara internasional melalui Persetujuan Paris. Sebagaimana diketahui, Persetujuan Paris merupakan perjanjian internasional yang ditetapkan pada tahun 2016 dengan tujuan untuk mencegah perubahan iklim dengan membatasi pemanasan global hingga di bawah 2°C sampai 1,5°C di atas level praindustri. Mengacu pada Persetujuan Paris tersebut, Indonesia menetapkan *Nationally Determined Contribution* (NDC) yang menargetkan pengurangan emisi gas rumah kaca pada tahun 2030 sebesar 29% (upaya mandiri) atau hingga 41% di bawah kondisi *business as usual* (melalui dukungan internasional).

Selain itu, Indonesia juga telah merencanakan pemanfaatan energi terbarukan dalam rangka meningkatkan ketahanan energi nasional melalui penetapan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional dan kebijakan turunannya, Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional serta menargetkan bauran energi untuk energi terbarukan sebesar 23% dari total penyediaan energi primer di tahun 2025 dan sebesar 31%

di tahun 2050. Sejalan dengan Persetujuan Paris tersebut, ataupun langkah strategis dunia dalam menjalankan strategi transisi energi, upaya yang dilakukan dalam rangka transisi energi tersebut memengaruhi reputasi sektor energi ke depan di berbagai aspek, antara lain adalah sebagai berikut:

**1** *Climate Change*

Sebagaimana diketahui, sektor energi, khususnya energi konvensional/fosil, merupakan kontributor perubahan iklim yang paling dominan, menyumbang hampir 90% emisi CO<sub>2</sub> global. Perubahan iklim dunia diklaim meningkat sejak pertengahan abad ke-20 hingga sekarang akibat pemanfaatan energi fosil tersebut. Sementara itu, Indonesia saat ini masih sangat bergantung pada energi fosil yang merupakan kontributor emisi terbesar kedua setelah sektor lahan dan hutan. Karena itu, dipandang perlu untuk segera bergeser ke arah energi rendah karbon yang berkelanjutan melalui transisi energi menuju energi yang ramah lingkungan.

**2** Perjanjian/Kesepakatan Internasional

Perubahan iklim dunia akibat emisi karbon energi mendorong dunia internasional bersama-sama menggagas adanya perjanjian/kesepakatan global Persetujuan Paris. Perjanjian ini mewajibkan negara-negara anggota melaksanakan peran masing-masing untuk berkomitmen terhadap perubahan iklim melalui penetapan NDC setiap negara. Realisasi NDC juga dapat memengaruhi kedudukan politis tiap-tiap negara di skala internasional. Oleh karena itu, implementasi NDC ataupun kebijakan rendah karbon lainnya sangat penting untuk dilakukan dalam pembangunan suatu negara.

Secara rutin setiap lima tahun sekali (*mid-term*) atau bahkan yang terdekat secara *short-term* (sampai tahun 2023), negara-negara yang telah meratifikasi NDC akan melakukan penilaian terhadap progres kolektif dalam mencapai tujuan

dari Persetujuan Paris tersebut. Selain itu, untuk mendorong partisipasi satu sama lain dalam menurunkan emisi karbon, beberapa negara terlibat dalam perjanjian bilateral ataupun multilateral. Dalam kerja sama ini, Indonesia menjalin kerja sama dengan negara-negara maju, seperti Jepang, Prancis, dan Jerman, dalam proyek energi rendah karbon. Ada pula kerja sama dalam pemberian pinjaman dana/*softloan* untuk pembangunan yang berbasis energi terbarukan, contohnya pemberian pinjaman USD 300 juta oleh Bank Pembangunan Asia (ADB) untuk mendorong peningkatan pembangkitan listrik tenaga geotermal/panas bumi di Indonesia.

### 3 Inovasi Teknologi

Seiring dengan upaya transisi energi global, khususnya dalam pemanfaatan energi terbarukan, upaya pengembangan teknologi ataupun riset-riset terkait energi baru tersebut semakin meningkat. Dengan demikian, adanya inovasi ini menjadikan teknologi energi terbarukan semakin bervariasi, berkualitas, dan efisien. Namun, hal tersebut justru berdampak pada harga teknologi yang semakin murah, terutama teknologi seperti panel surya dan turbin untuk tenaga bayu dan air/hidro.

Saat ini, biaya rata-rata listrik atau *levelized cost of electricity* (LCOE) yang dihasilkan oleh teknologi energi terbarukan sudah kompetitif dibandingkan dengan biaya rata-rata listrik yang dihasilkan oleh teknologi energi konvensional/fosil. Selain itu, teknologi energi terbarukan semakin mudah digunakan oleh individu, dan instalasi pembangkit energi berskala kecil sudah semakin umum dilakukan. Begitu pula dengan penggunaan kendaraan hibrida ataupun kendaraan listrik. Bahkan, di era digital saat ini, teknologi energi terbarukan sedang dikembangkan mengikuti tren digitalisasi dan *internet of things* (IoT), di mana penggunaan teknologi energi terbarukan

akan terintegrasi dengan penggunaan internet.

### 4 Kondisi Geopolitik dan Ekonomi

#### ● Desentralisasi pembangkit listrik

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, perkembangan teknologi energi terbarukan semakin meningkat drastis. Hal ini memungkinkan terjadinya desentralisasi pembangkit listrik, yang tidak dapat dilakukan dengan penggunaan energi konvensional/fosil. Keunggulan energi terbarukan ini memudahkan penyediaan listrik di daerah remote, seperti daerah pelosok/terpencil. Instalasi energi terbarukan juga bermanfaat untuk penyediaan listrik di lokasi yang permintaan listriknya rendah. Penyediaan listrik energi fosil cenderung mahal di lokasi/daerah remote ataupun daerah dengan permintaan listrik rendah dikarenakan tingginya biaya modal, instalasi, dan operasionalisasi pembangkitnya.

#### ● Tren investasi energi terbarukan dan divestasi energi konvensional/fosil

Dalam perkembangannya, terjadi tren peningkatan pada investasi energi terbarukan secara global dalam beberapa tahun terakhir. Adapun sejak tahun 2010, investasi energi terbarukan selalu lebih dari USD 200 miliar per tahun (Irena, 2022). Investasi tersebut meningkat signifikan apabila dibandingkan dengan investasi energi terbarukan di awal tahun 2000-an yang kurang dari USD 50 miliar per tahun. Kenaikan tingkat pertumbuhan investasi dalam waktu sekitar 20 tahun ini didukung dengan penurunan harga energi terbarukan sehingga menyebabkan biaya pembangkitan dari energi terbarukan menjadi kompetitif, bahkan lebih murah dibandingkan dengan energi konvensional/fosil.

Di samping itu, pada saat bersamaan terjadi pergeseran investasi dari energi fosil ke energi terbarukan. Faktanya, pada pertengahan 2019, setidaknya 112 lembaga keuangan utama di seluruh dunia telah memutuskan untuk beralih dari investasi batubara ke energi terbarukan (IEEFA, 2019). Lembaga keuangan ini telah mengidentifikasi risiko aset-aset dari investasi bahan bakar fosil sebagai akibat dari investasi alternatif yang semakin murah dan berkelanjutan untuk memenuhi peningkatan demand energi. Tidak hanya itu, langkah ini dipandang sebagai upaya mendorong pemerintah untuk memenuhi kewajiban dalam Persetujuan Paris.

- Instalasi pembangkit

Beberapa negara maju telah mengupayakan instalasi pembangkit energi terbarukan. Upaya ini dapat meningkatkan partisipasi publik dalam meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan pada bauran energi nasional serta berperan dalam mengefisienkan biaya pembangkitan. Dalam perkembangannya, sejumlah negara maju dan juga negara berkembang telah menjalankan beberapa skema pengadaan. India, misalnya, menyelenggarakan pelelangan terbalik, Singapura menjalankan skema sewa atap, dan Australia melakukan pemberian kredit energi terbarukan (*renewable energy credit*). Tidak hanya itu, skema pengadaan yang diimplementasikan pemerintah adalah dengan memberikan insentif kepada produsen listrik independen untuk menyediakan pembangkit listrik dalam skala yang lebih besar.

- Independensi energi

Pada saat ini, jenis dan sumber energi terbarukan cukup bervariasi dan tersebar hampir di seluruh negara. Hal tersebut membuat biaya margin

pembangkitan dari sumber energi terbarukan menjadi sangat kecil. Hal ini tentu dapat melepaskan ketergantungan negara-negara yang selama ini mengandalkan impor produk bahan bakar fosil pada beberapa negara yang memiliki cadangan fosil memadai. Selain itu, potensi dan sumber energi terbarukan suatu negara berpeluang untuk menjaga kemandirian energinya serta dapat mendorong pertumbuhan ekonominya. Bahkan, negara-negara yang mengadopsi energi terbarukan nantinya dapat menikmati keunggulan kompetitif dibandingkan negara-negara lain yang lambat dalam mengadopsi energi terbarukan.

- 5 Perubahan perilaku masyarakat

- Upaya mereduksi emisi dan pencemaran untuk menjamin kualitas lingkungan dan kesehatan

Peningkatan aktivitas industri ataupun kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil berdampak pada peningkatan emisi dan pencemaran udara, bahkan sampai ke pemanasan temperatur bumi/pemanasan global. Selain itu, sisa pembakaran energi fosil juga dapat menyebabkan pencemaran lahan dan air serta membahayakan lingkungan dan kesehatan makhluk hidup di sekitarnya. Sebagai contoh, batubara dapat mencemarkan lingkungan, mulai dari proses penambangan hingga pembakaran di PLTU. Apabila pencemaran lingkungan terjadi, kualitas tanah dan air menjadi buruk, bahkan berbahaya untuk dikonsumsi makhluk hidup.

- Kesadaran pada perubahan iklim

Perubahan iklim ternyata dapat memengaruhi perilaku setiap orang meskipun dalam cara dan porsi yang berbeda-beda. Apalagi pada era digital saat ini, dengan

kemudahan penyebaran informasi, kesadaran akan penyebab perubahan iklim dan upaya menghindari atau mengatasi implikasinya semakin mudah diakses. Oleh karena itu, bagi masyarakat, transisi energi dari energi konvensional menuju energi terbarukan sangat penting untuk mendukung implementasi energi yang ramah lingkungan.

Selain itu, di sisi produsen energi, mengacu pada perubahan perilaku masyarakat tersebut serta keekonomisan dalam produksi di masa yang akan datang, semakin banyak perusahaan dan juga investor yang menyadari pentingnya transisi energi ke arah energi terbarukan.

Dengan demikian, mereka pun akan beralih untuk memanfaatkan energi bersih dan ramah lingkungan dalam aktivitas produksinya.

- Preferensi

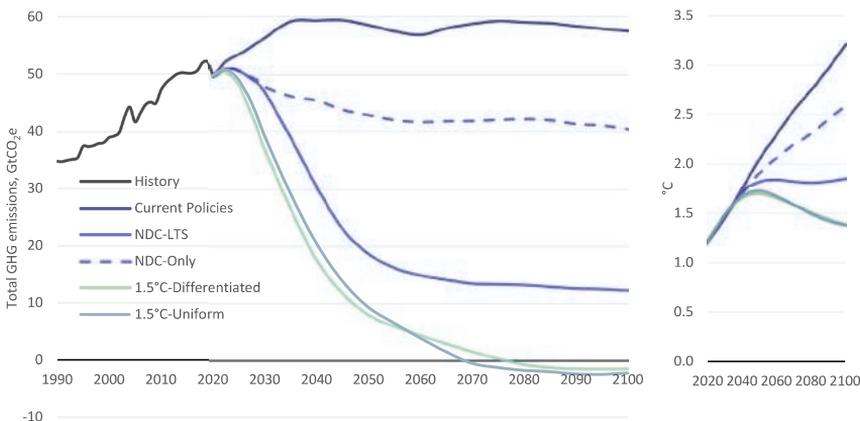
Terjadinya peningkatan kesadaran masyarakat akan perubahan iklim dan upaya penurunan polusi yang disebabkan oleh pembakaran energi fosil membuat energi terbarukan lebih unggul daripada energi fosil. Apalagi dengan adanya pilihan pembangkitan listrik dari energi terbarukan yang lebih mudah diakses dan murah, semakin banyak orang beralih ke energi terbarukan.

## IV.2 RISIKO FISIK IKLIM

### IV.2.1 OUTLOOK PENINGKATAN TEMPERATUR

Berdasarkan Global Energy and Climate Outlook 2021 dari Komisi Eropa, terdapat beberapa *pathways* terkait *respons* implikasi temperatur dan emisi. Kebijakan saat ini relatif tidak memengaruhi secara signifikan emisi hingga tahun 2024, dengan temperatur yang terus meningkat. Dengan demikian,

masih diperlukan kebijakan tambahan untuk mencapai target jalur *Nationally Determined Contributions and the Long-Term Climate Strategies* (NDC-LTS) yang diumumkan UNFCCC. Pada skenario ini, emisi mencapai puncaknya pada awal 2023 dan kemudian stabil pada pertengahan abad.

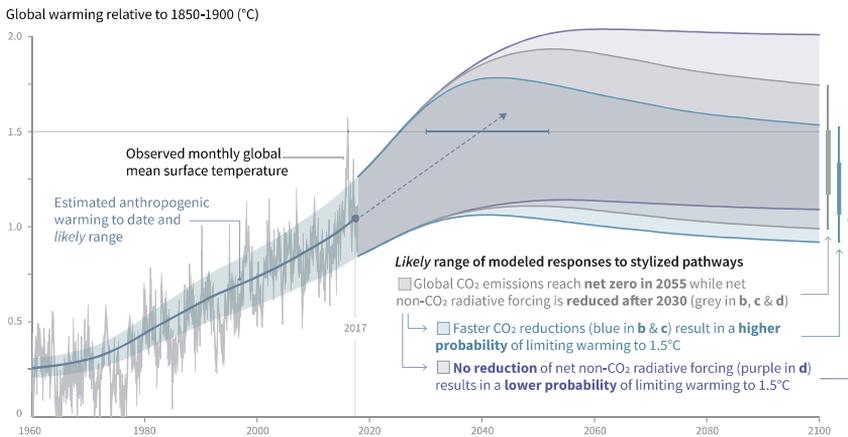


**Gambar 4.5 Global GHG Emission (kiri) dan Global Mean Temperature Increase (kanan)**

Sumber: European Commission

Data lain dari IPCC menunjukkan bahwa aktivitas manusia diperkirakan telah menyebabkan sekitar 1,0°C pemanasan global di atas tingkat praindustri, dengan kemungkinan kisaran 0,8-1,2°C. Pemanasan global kemungkinan akan mencapai 1,5°C antara tahun 2030 dan 2052 jika terus meningkat pada tingkat saat ini. Tren pemanasan jangka panjang sejak periode praindustri menunjukkan *global mean surface temperature* (GMST) periode tahun 2006-2015 adalah 0,87°C (kemungkinan

antara 0,75°C dan 0,99°C) yang lebih tinggi daripada rata-rata selama periode 1850-1900. Perkiraan pemanasan global saat ini meningkat pada 0,2°C per dekade karena emisi masa lalu dan yang sedang berlangsung. Pemanasan yang lebih besar dari rata-rata tahunan global sedang dialami di banyak wilayah daratan dan musim, termasuk dua hingga tiga kali lebih tinggi di Kutub Utara. Pemanasan umumnya lebih tinggi di atas daratan daripada di atas lautan.



**Gambar 4.6 Global Warming Relative terhadap 1850-1900 (°C)**

Sumber: IPCC

Risiko terkait iklim lebih tinggi untuk pemanasan global 1,5°C daripada saat ini, tetapi lebih rendah dari 2°C. Risiko-risiko ini bergantung pada besarnya dan tingkat pemanasan, lokasi geografis, tingkat perkembangan dan kerentanan, serta pada pilihan dan implementasi opsi adaptasi dan mitigasi. Risiko terkait iklim di masa depan bergantung pada laju, puncak, dan durasi pemanasan. Secara agregat, hal ini berpotensi lebih besar jika pemanasan global melebihi 1,5°C sebelum kembali ke tingkat itu pada tahun 2100 daripada jika pemanasan global secara bertahap stabil pada 1,5°C, terutama jika temperatur puncaknya tinggi. Risiko hujan lebat diproyeksikan lebih tinggi pada 2°C dibandingkan dengan 1,5°C dari pemanasan global di beberapa wilayah lintang tinggi dan/atau dataran tinggi belahan bumi

utara, Asia timur, dan Amerika Utara bagian timur. Curah hujan lebat karena *tropical cyclones* diproyeksikan lebih tinggi pada 2°C dibandingkan dengan pemanasan global 1,5°C. Curah hujan lebat apabila digabungkan pada skala global diproyeksikan lebih tinggi pada 2°C daripada 1,5°C dari pemanasan global. Sebagai konsekuensi dari curah hujan yang tinggi, daratan global yang terkena bahaya banjir diproyeksikan lebih besar pada 2°C dibandingkan dengan 1,5°C dari pemanasan global. Proyeksi pada tahun 2100, kenaikan permukaan laut rata-rata global diproyeksikan menjadi sekitar 0,1 meter lebih rendah dengan pemanasan global 1,5°C dibandingkan dengan 2°C. Permukaan laut akan terus meningkat jauh melampaui tahun 2100 dengan tingkat kenaikan bergantung pada jalur emisi di masa depan.

Tingkat kenaikan permukaan laut yang lebih lambat memungkinkan peluang yang lebih besar untuk adaptasi dalam sistem manusia dan ekologi pulau-pulau kecil, daerah pesisir dataran rendah, dan delta. Kenaikan permukaan laut akan terus berlanjut setelah tahun 2100, bahkan jika pemanasan global dibatasi hingga 1,5°C pada abad ke-21.

Ketidakstabilan lapisan es laut di Antartika dan/atau hilangnya lapisan es Greenland secara permanen dapat mengakibatkan kenaikan permukaan laut beberapa meter selama ratusan hingga ribuan tahun. Ketidakstabilan ini dapat dipicu pada pemanasan global di kisaran 1,5°C hingga 2°C.

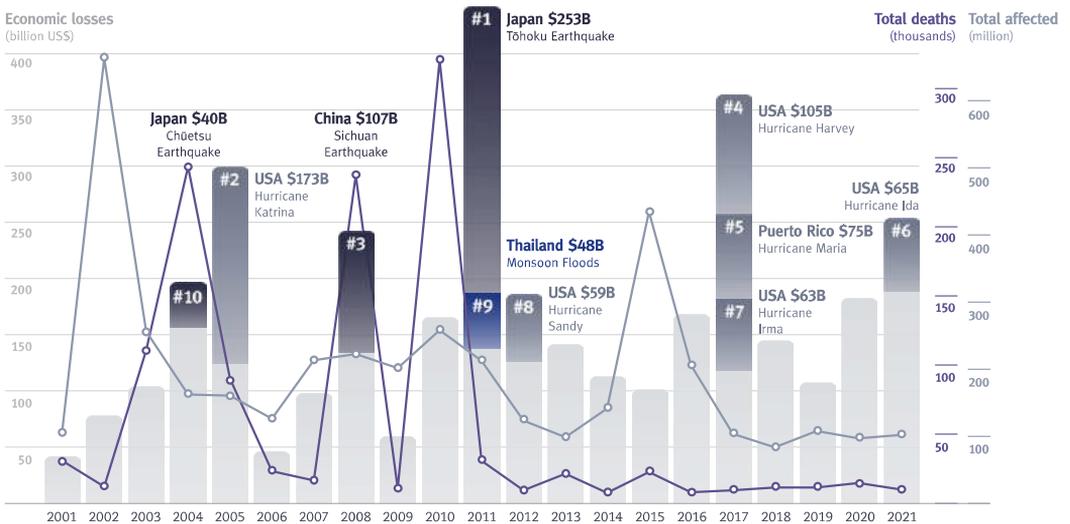
## IV.2.2 CUACA EKSTREM DAN DAMPAK SEKTOR ENERGI

### IV.2.2.1 BENCANA DAN CUACA EKSTREM

Pada tahun 2021, Emergency Event Database (EM-DAT) mencatat 432 kejadian bencana terkait dengan bahaya alam di seluruh dunia. Dari sejumlah kejadian itu, sebanyak 172 bencana terjadi di Asia, dan bencana di Indonesia merupakan yang tertinggi di Asia dengan jumlah 28 kejadian. Secara global, tahun 2021 ditandai dengan meningkatnya jumlah kejadian bencana dan luasnya kerugian ekonomi.

Rangkaian bencana tersebut telah merenggut 10.492 jiwa, berdampak kepada 101,8 juta orang, dan menyebabkan kerugian ekonomi sebesar USD 252,1 miliar. Benua Asia merupakan wilayah yang paling parah terkena dampak bencana alam. Hampir 40% dari semua kejadian bencana alam terjadi di Asia dan menyumbang 49% dari total jumlah kematian serta 66% dari total jumlah orang yang terkena dampak.

Top 10 economic losses and disaster trends (2001-2021)



Gambar 4.7 Tren Bencana dan Kerugian Ekonomi yang Ditimbulkan

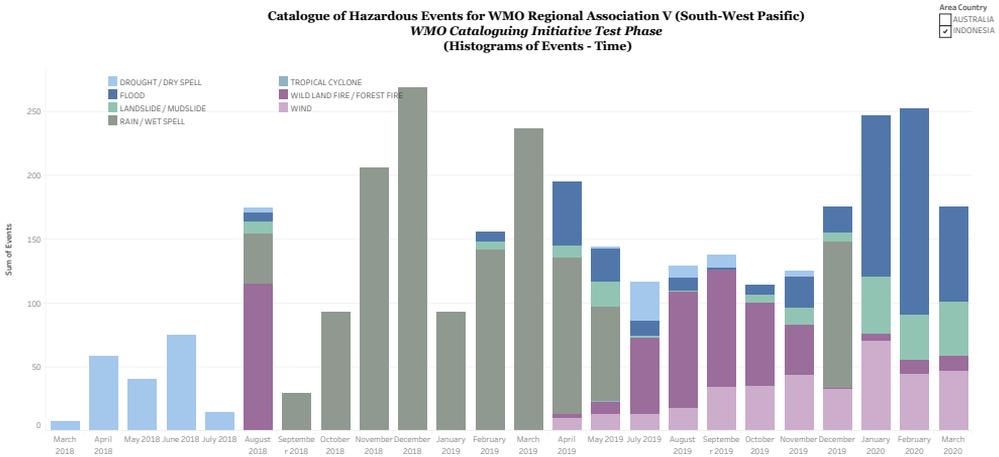
Sumber: CRED (2022)

Bencana alam yang terjadi pada tahun 2021 telah mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar. Peristiwa tersebut banyak diakibatkan oleh badai, disusul oleh banjir dan kekeringan, dengan besar kerugian masing-masing USD 137 miliar, USD 74,4 miliar, dan USD 12,1 miliar. Bencana alam lain yang mengakibatkan

kerugian ekonomi adalah gempa bumi, kebakaran hutan, aktivitas vulkanik, dan tanah longsor. Bencana alam yang terkait dengan perubahan iklim kini semakin meningkat intensitasnya, seperti banjir, badai, kekeringan, dan gelombang panas.



Catalogue of Hazardous Events for WMO Regional Association V (South-West Pacific)  
WMO Cataloguing Initiative Test Phase  
(Histograms of Events - Time)



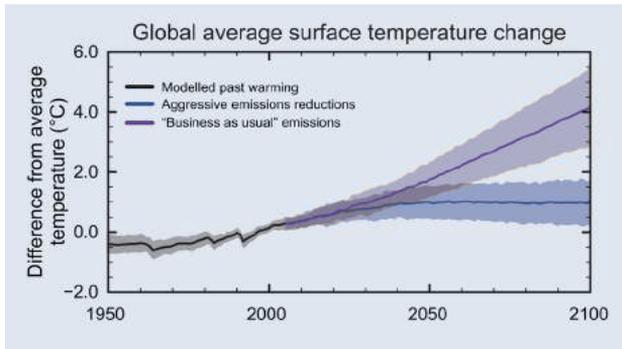
Gambar 4.8 Tren Bencana Alam di Indonesia Periode 2018-2020

Sumber: BMKG (2020)



Data kejadian bencana yang membahayakan di Indonesia sejak 2018 dalam gambar di atas memperlihatkan bahwa banjir serta longsor menjadi semakin sering terjadi. Di sisi lain, angin kencang dan badai serta kebakaran hutan yang didukung oleh kekeringan juga semakin meningkat. Secara umum, potensi kejadian ekstrem yang membayangi secara global antara lain peningkatan temperatur, kenaikan curah hujan, dan kenaikan permukaan air laut.

Sejumlah penelitian telah menyimpulkan bahwa temperatur udara rata-rata permukaan bumi telah meningkat  $1^{\circ}\text{C}$  sejak 1900, dan diproyeksikan akan terus meningkat secara signifikan terutama dalam beberapa dekade mendatang. Apabila tidak ada perubahan dalam bidang teknologi ataupun kebijakan untuk mengurangi emisi dari kondisi saat ini, diperkirakan temperatur permukaan bumi akan meningkat  $2,6-4,8^{\circ}\text{C}$  pada abad ke-21.



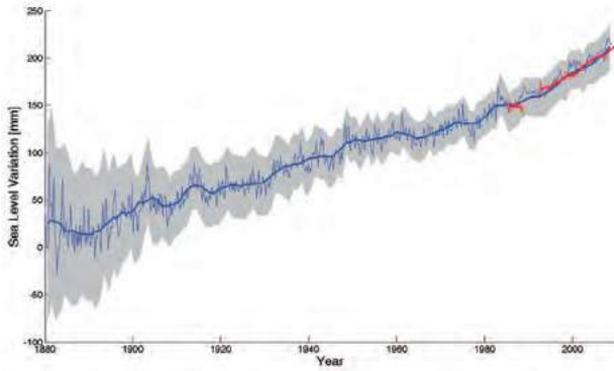
**Gambar 4.9 Rata-rata Perubahan Temperatur Permukaan Global**

Sumber: Climate Change Evidence & Causes (2020)



Ketika terjadi peningkatan temperatur bumi, maka bisa dilihat cuaca ekstrem semakin sering terjadi dan semakin meningkat pula intensitas dampak yang ditimbulkannya. Para peneliti mengategorikan cuaca sebagai cuaca ekstrem apabila memiliki profil yang berbeda dari sebagian besar (90-95%) profil cuaca yang sudah terjadi pada wilayah yang sama. Pada lapisan bawah atmosfer bumi

kini terjadi peningkatan temperatur dan kelembapan akibat dari gas rumah kaca. Hal ini dapat meningkatkan potensi terjadinya badai dan cuaca ekstrem lainnya. Gelombang panas dan cuaca panas yang ekstrem akan semakin sering terjadi. Di sisi lain, hujan badai dan hujan salju juga akan lebih sering terjadi dan meningkatkan potensi risiko banjir.



**Gambar 4.10 Rata-rata Kenaikan Permukaan Air Laut Global**

Sumber: Climate Change Evidence & Causes (2020)

Peningkatan temperatur bumi juga berdampak pada kenaikan level permukaan air. Sejumlah publikasi menunjukkan bahwa permukaan air laut global telah meningkat sebanyak 16 cm sejak abad ke-19 dengan peningkatan terbesar terjadi pada dekade ini. Peningkatan permukaan air laut ini terjadi akibat penambahan jumlah volume air laut yang disebabkan oleh banyaknya

gunung es yang mencair dan berkurangnya volume lapisan es di Greenland dan Arctic. Hal ini tentu saja akan menambah jumlah volume air laut pada saat badai terjadi, ditambah dengan volume hujan dari curah hujan yang tinggi, semua ini dapat mengakibatkan kerusakan yang semakin parah dan bencana banjir pada daerah pesisir pantai yang terdampak.

#### IV.2.2.2 DAMPAK TERHADAP SEKTOR ENERGI

Secara umum, perubahan iklim erat kaitannya dengan penyediaan energi, khususnya energi terbarukan. Seperti halnya pada pengoperasian pembangkit listrik tenaga air (PLTA), jumlah pasokan listrik yang dihasilkan dari PLTA tidak hanya dipengaruhi oleh kapasitas pembangkit, tetapi juga oleh jumlah pasokan/ arus air yang

dialirkan ke PLTA. Perubahan iklim sudah pasti memiliki banyak pengaruh dalam perencanaan dan pengoperasian PLTA, dan bahkan menambah banyak ketidakpastian terhadap dinamika operasi sistem PLTA yang akan menentukan besaran fluktuasi output energi listrik yang dihasilkan.



Pun halnya dengan energi bayu/angin, ketersediaan dan keandalan tenaga bayu bergantung pada kondisi cuaca dan iklim. Dampak perubahan iklim global terhadap energi bayu bergeser mengikuti posisi geografis dan variabilitas kecepatan angin pada suatu wilayah. Sebagaimana perubahan iklim dapat berpengaruh terhadap arus angin, hal ini juga menyebabkan dampak tidak langsung pada pembentukan gelombang. Penurunan kecepatan angin rata-rata sebesar 20% dapat menurunkan daya gelombang sebesar 67%, sementara peningkatan yang setara meningkatkannya 133%.

*Liquid biofuel* juga rentan terhadap dampak perubahan iklim, seperti temperatur, curah hujan, dan tingkat CO<sub>2</sub>, terutama pada tanaman yang digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi etanol dan biodiesel. Ketersediaan air yang terbatas dan rendahnya curah hujan akan mengurangi produktivitas hasil panen tanaman budidaya. Adapun pengaruh peningkatan konsentrasi CO<sub>2</sub> di atmosfer terhadap sektor pertanian adalah terjadinya peningkatan temperatur udara yang dapat menyebabkan berkurangnya kegiatan fotosintesis pada tanaman. Selanjutnya, perubahan iklim dapat memengaruhi sumber energi matahari sebagai akibat dari perubahan

kandungan uap air di atmosfer, kerapatan dan karakteristik awan, yang memengaruhi kemampuan transmisi sinar matahari di atmosfer. Hal ini dapat memiliki efek pada rangkaian pembangkit listrik dari fotovoltaik dan *concentrated solar power* (CSP). Untuk sektor migas, perubahan iklim tidak berdampak pada jumlah cadangan *existing* minyak dan gas bumi, tetapi dapat berpengaruh secara tidak langsung terhadap kegiatan penelitian dan produksi lapangan migas. Sebagai contoh, pasokan minyak dan gas bumi yang berasal dari *offshore* ataupun daerah rawan di pinggir laut lainnya akan terganggu oleh adanya cuaca ekstrem, seperti angin topan, yang dapat mengakibatkan terhentinya produksi untuk menghindari korban dan kerusakan lingkungan. Selain itu, pasokan minyak dan gas juga akan terganggu apabila terdapat kerusakan yang serius pada infrastruktur dari pipa minyak dan gas yang bisa disebabkan cuaca ekstrem tadi.

Pada sektor pertambangan, cuaca ekstrem berpotensi mengakibatkan perubahan tingkat permukaan air sungai dan banjir di banyak tempat sehingga berpengaruh terhadap kualitas dan distribusi batubara. Hal tersebut secara tidak langsung akan berpengaruh terhadap proses eksplorasi dan cadangan batubara ke depan.



# BAB 5

# KESIMPULAN



**T**ransi energi dan penurunan emisi memengaruhi pencapaian target pembatasan peningkatan temperatur global. Semakin lemah transisi energi dan penurunan emisi, semakin tinggi risiko iklim yang akan dihadapi di masa depan. Permasalahannya, transisi energi dan penurunan emisi harus terjadi secara global. Diperlukan kolaborasi, baik dalam hal dorongan kebijakan, aliran pendanaan, maupun pengembangan teknologi dan inovasi. Terlebih lagi, negara maju harus dapat membantu negara berkembang dalam hal mendorong percepatan transisi energi. Dalam situasi saat ini, dunia sudah menghadapi krisis iklim yang semakin meningkat dalam bentuk terjadinya berbagai cuaca ekstrem. Lemahnya transisi energi dan penurunan emisi akan semakin meningkatkan risiko terjadinya cuaca ekstrem. Oleh karena itu, diperlukan langkah adaptasi iklim untuk menghadapi risiko peningkatan cuaca ekstrem selama transisi energi ke depan.

Di sisi lain, krisis geopolitik yang diawali dari konflik Rusia-Ukraina juga memperburuk situasi kerja sama transisi energi. Beberapa negara memfokuskan diri pada isu ketahanan energi nasional yang cakupannya tidak lagi hanya energi, tetapi juga teknologi dan mineral kritis yang diperlukan untuk mendorong transisi energi. Hal ini terlihat dalam beberapa bulan terakhir setelah terjadinya konflik, muncul berbagai kebijakan penguatan ketahanan energi di sejumlah negara, seperti Amerika Serikat dan negara-negara Uni Eropa. Indonesia sendiri termasuk memanfaatkan keunggulan komparatifnya dalam cadangan nikel dengan mencoba melakukan hilirisasi. Hal ini, jika terlaksana, akan mendukung posisi Indonesia dalam transisi energi ke depan, karena manfaat ekonomi sebesar-besarnya akan dinikmati di dalam negeri dibandingkan hanya mengirimkan bahan mentah untuk diproses di negara lain. Secara khusus untuk Indonesia, diperlukan juga perencanaan holistik transisi energi yang memperhatikan

situasi pertumbuhan penduduk dan demografi. Diperkirakan pada 2045 Indonesia akan mendapatkan bonus demografi yang jika tidak dipersiapkan dari sekarang, hal tersebut akan menimbulkan permasalahan yang berdampak juga terhadap transisi energi dan penurunan emisi. Oleh karena itu, berdasarkan perkembangan situasi dan tantangan yang terjadi saat ini, *energy outlook 2022* menambahkan rekomendasi penguatan transisi energi ke depan.

- 1 Aksi Adaptasi Iklim dan Pemetaan Risiko Iklim.** Cuaca ekstrem yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir akan semakin meningkat jika transisi energi tidak berjalan lancar dan target pembatasan temperatur sesuai Persetujuan Paris tidak tercapai. Untuk menghadapi peningkatan risiko iklim, diperlukan penguatan aksi adaptasi yang saat ini jauh tertinggal dibandingkan aksi mitigasi. Beberapa contoh dampak dari risiko iklim terhadap pencapaian target emisi karbon nol bersih (NZE) adalah penurunan efisiensi energi karena diperlukannya energi untuk menjaga ketahanan manusia selama terjadi cuaca ekstrem. Contoh lain adalah disrupsi pada produksi energi baru dan energi terbarukan, seperti dampak kekeringan terhadap PLTA, atau penurunan produktivitas EBET yang intermiten, seperti turbin angin, pelepasan emisi karbon ketika terjadi kekeringan yang memicu kebakaran hutan, serta kerusakan aset-aset penghasil energi atau penyerap emisi karena dampak cuaca ekstrem.
- 2 Penguatan Ketahanan Energi Nasional.** Situasi geopolitik telah meningkatkan kesadaran banyak negara untuk menjaga ketahanan energi nasional. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa cakupan ketahanan energi tidak hanya energinya, tetapi juga hingga rantai pasok teknologi hijau dan mineral kritis yang diperlukan

untuk menghasilkan teknologi hijau. Jika masa depan terjadi seperti skenario *Low Transition*, maka diperlukan ketahanan energi fosil untuk memenuhi kebutuhan energi. Sementara itu, jika masa depan terjadi seperti skenario *Market Driven* dan *Green Transition*, maka diperlukan ketahanan rantai pasok teknologi hijau untuk mencapai target bauran energi bersih dan penurunan emisi. Permasalahan lainnya terjadi jika transisi energi terjadi secara tidak teratur dan sepanjang transisi energi terjadi berbagai disrupsi, seperti konflik atau cuaca. Hal ini akan memerlukan tidak hanya cadangan energi, tetapi juga penguatan sumber energi dari lokasi regional.

Pengembangan cadangan energi fosil, seperti minyak mentah dan gas, diperlukan untuk menjaga kebutuhan energi terhadap disrupsi selama transisi energi berlangsung. Kurangnya investasi migas secara global, seperti yang telah dibahas sebelumnya, menjadi sinyal bahwa *supply shock* dapat terjadi selama transisi energi ke depan, terutama jika transisi energi berjalan lambat. Sementara itu, untuk mendukung percepatan transisi energi, diperlukan hilirisasi mineral dan industri teknologi hijau dalam negeri. Hal ini termasuk juga pabrikasi kendaraan listrik. Untuk memperkuat ketahanan energi nasional, fokus transisi energi menggunakan sumber energi yang melimpah di dalam negeri juga diperlukan. Terutama energi hijau yang tidak bersifat intermiten sehingga lebih tahan terhadap cuaca ekstrem.

**3 Perencanaan Pembangunan Ekonomi dan Pengembangan Sumber Daya Manusia.** Pada dasarnya di negara berkembang kebutuhan energi bergantung pada pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan ekonomi. Sementara itu, untuk menurunkan kebutuhan energi, diperlukan penggunaan energi yang intensitasnya lebih rendah atau teknologi

yang lebih hemat energi. Dalam hal pertumbuhan penduduk, diperlukan perencanaan pembangunan sumber daya manusia yang diselaraskan dengan arah transisi energi. Transisi energi dapat berjalan dengan lancar jika setiap individu memahami pentingnya transisi energi dan bagaimana transisi energi dapat dicapai. Oleh karena itu, pembekalan pengetahuan terkait lingkungan dan emisi perlu mulai dimasukkan di tingkat pendidikan paling dasar dan disosialisasikan ke seluruh lapisan masyarakat. Hal tersebut juga perlu diintegrasikan dalam berbagai aspek kehidupan masyarakat. Sebagai contoh, pengembangan bisnis serta usaha mikro, kecil, dan menengah perlu mulai diarahkan untuk meminimalkan sampah dan meningkatkan efisiensi energi.

Selain itu, diperlukan juga penyelarasan dalam pengelolaan sumber daya manusia dan arah pembangunan ekonomi. Bonus demografi, jika tidak diimbangi dengan pembangunan ekonomi, akan menimbulkan masalah *middle income trap*. Sementara itu, arah pembangunan ekonomi akan berdampak pada tingkat konsumsi energi. Berbeda dengan pembangunan di sektor jasa yang memiliki potensi terjadinya *decoupling* antara ekonomi dan energi, pembangunan ekonomi melalui industrialisasi dan hilirisasi akan memerlukan energi yang besar. Padahal, untuk mendorong pertumbuhan ekonomi dan menghindari *middle income trap*, Indonesia perlu untuk melakukan industrialisasi. Untuk menurunkan emisi dari industrialisasi, diperlukan dukungan teknologi dan sumber energi hijau, yang akan mendukung pertumbuhan ekonomi jika dapat diproduksi di dalam negeri. Oleh karena itu, peran dari penyelarasan rencana pengembangan ekonomi dan sumber daya manusia dengan peta jalan transisi energi dan penurunan emisi menjadi sangat penting.

4 **Pengembangan *Carbon Offset*.** Dalam skenario *Market Driven* dan *Green Transition*, *carbon offset* berperan penting dalam menurunkan sisa emisi. Terutama dalam *Market Driven*, peran dari *natural carbon offset* sangat besar untuk menurunkan emisi yang tidak dapat diturunkan melalui transisi energi. Indonesia saat ini perlu untuk mengembangkan dan mendorong pengelolaan solusi berbasis alam, seperti hutan *mangrove*, hutan hujan, atau lautan, sebagai media penyerapan emisi alamiah. Mengingat adanya cuaca ekstrem dan perubahan iklim, diperlukan juga aksi adaptasi untuk menjaga solusi berbasis alam dari disrupsi iklim. Sebagai contoh, diperlukan aksi adaptasi terhadap risiko kekeringan karena penurunan kelembapan udara dan penurunan curah hujan, peningkatan risiko kebakaran hutan karena kekeringan, termasuk peningkatan curah hujan yang menimbulkan risiko banjir dan merusak solusi berbasis alam.

Selain pengembangan *carbon offset* berbasis alam, skenario *Market Driven* dan *Green Transition* juga memandang bahwa diperlukan peningkatan peran dari *carbon offset* buatan, seperti CCS/CCUS, terutama untuk sektor yang sulit diturunkan emisinya, misalnya industri semen dan sektor pembangkit batubara. Permasalahannya, saat ini CCS/CCUS masih belum mencapai titik keekonomian dan perkembangan terobosannya masih sangat lambat dibandingkan teknologi hijau lainnya. Dengan demikian, muncul pandangan bahwa pengembangan CCS/CCUS berpotensi juga untuk menjadi *sunk cost* di masa mendatang dan hal ini menimbulkan risiko finansial dalam transisi energi jika penurunan emisi sangat mengandalkan pertumbuhan investasi CCS/CCUS.

Oleh karena itu, pengembangan CCS/CCUS saat ini secara keuangan perlu dilakukan dengan hati-hati. Kerja sama dengan mitra dan pencarian dukungan pendanaan dari luar negeri sangat diperlukan bagi Indonesia untuk memitigasi risiko keuangan dari pengembangan CCS/CCUS. Selain itu, untuk menyelesaikan permasalahan utama CCS/CCUS, yaitu faktor keekonomian dan biaya yang tinggi, pengembangan CCS/CCUS perlu didukung dengan terobosan teknologi melalui riset dan pengembangan. Fokus riset dan pengembangan pada rantai CCS/CCUS berbiaya tinggi perlu ditingkatkan, termasuk pencarian solusi alternatif untuk menurunkan biaya tersebut.

5 **Penyusunan Peta Jalan Transisi Energi yang Holistik dan Terintegrasi.** Seperti telah dijelaskan sebelumnya, peta jalan transisi energi perlu dikaitkan dengan arah pembangunan ekonomi nasional, pengembangan sumber daya, ketahanan terhadap iklim, serta pemanfaatan teknologi hijau dan sumber energi bersih. Selain itu, transisi energi juga perlu memperhatikan penguatan keunggulan kompetitif dan memanfaatkan keunggulan komparatif nasional. Oleh karena itu, diperlukan koordinasi dan kerja sama antarinstansi untuk menjamin terlaksananya transisi energi secara teratur dan mendukung pertumbuhan ekonomi nasional. Koordinasi ini perlu didasarkan pada peta jalan pembangunan Indonesia yang holistik dan terintegrasi dari berbagai aspek, termasuk transisi energi dan pencapaian target penurunan emisi. Dengan adanya peta jalan, transisi energi dapat menyesuaikan arah pembangunan nasional dan semua instansi, termasuk masyarakat yang terlibat di dalamnya, dapat mengikuti arah yang sama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Argus. (2022). *Shale Discipline Gears up for Biggest Test Yet*. Diakses dari <https://www.argusmedia.com/en/news/2292744-shale-discipline-gears-up-for-biggest-test-yet>. Argus Media.
- Asmelash, E. dan R. Gorini. (2021). *International Oil Companies and the Energy Transition*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.
- Badan Kebijakan Fiskal Kementerian Keuangan Republik Indonesia. (2022). *Siaran Pers Nomor SP-14 /BKF/2022. Pemerintah Siapkan Pengaturan yang Lengkap untuk Pajak Karbon*.
- Badan Kebijakan Fiskal Kementerian Keuangan Republik Indonesia. (2022). *Siaran Pers Nomor SP-29 /BKF/2022. Indonesia Luncurkan Country Platform untuk Mekanisme Transisi Energi*.
- Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit. (2021). *Bangkitnya Industri HVO dan SAF*. Diakses dari <https://buletin.bpdp.or.id/?p=3347>.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Hasil Sensus Penduduk 2020*. Diakses dari <https://www.bps.go.id/pressrelease/2021/01/21/1854/hasil-sensus-penduduk-2020.html>.
- British Petroleum. (2022). *BP Statistical Review of World Energy 2022, 71st Edition*.
- Chevalier, Jean-Marie. (2009). *The New Energy Crisis: Climate, Economics and Geopolitics*. New York: Palgrave Macmillan.
- CSIS. (2022). *The Geopolitics of Hydrogen in the Indo-Pacific Region*. Washington D.C: CSIS.
- Deloitte. (2022). *Striking the Balance: How and Where will Oil and Gas Producers Deploy their Cash? Deloitte Insights*. Diakses dari <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industri/oil-and-gas/rising-oil-prices-and-oil-company-cash-reserves.html>.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan. (2018). *Surat Edaran Direktur Jenderal Perhubungan Laut Nomor UM.003/93/14/DJPL-18 tentang Batasan Kandungan Sulfur Pada Bahan Bakar dan Kewajiban Penyampaian Konsumsi Bahan Bakar di Kapal*.
- Direktorat Jenderal Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan. (2019). *Surat Edaran Direktur Jenderal Perhubungan Laut Nomor SE.35 Tahun 2019 tentang Kewajiban Penggunaan Bahan Bakar Low Sulfur dan Larangan Mengangkut atau Membawa Bahan Bakar yang tidak Memenuhi Persyaratan serta Pengelolaan Limbah Ha*

## DAFTAR PUSTAKA

- Dirjen Migas. (2022). *Laporan Kinerja 2021*. Direktorat Jenderal Minyak dan Gas. Diakses dari [https://migas.esdm.go.id/uploads/20220216\\_LAKIN-Ditjen-Migas-2021\\_R4.pdf](https://migas.esdm.go.id/uploads/20220216_LAKIN-Ditjen-Migas-2021_R4.pdf).
- European Commission. (2021). *JRC Science for Policy Report*. Global Energy and Climate Outlook 2021: Advancing Towards Climate Neutrality.
- Flint, Colin. (2006). *Introduction to Geopolitics*. New York: Routledge.
- Gielen, Dolf, Francisco Boshell, Deger Saygin, Morgan D. Bazilian, Nicholas Wagner, dan Ricardo Gorini. (2019). "The Role of Renewable Energy in the Global Energy Transformation". *Energy Strategy Reviews* 24.
- IEA. (2022). *An Energy Sektor Roadmap to Net Zero Emissions in Indonesia*. IEA, Paris. Diakses dari <https://www.iea.org/reports/an-energy-sektor-roadmap-to-net-zero-emissions-in-indonesia>, License: CC BY 4.0.
- IEA. (2022). *World Energy Investment 2022*. IEA, Paris. Diakses dari <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2022>, License: CC BY 4.0.
- IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022*. IEA, Paris. Diakses dari <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>, License: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A).
- IEA. (2022, Juli). *Securing Clean Energy Technology Supply Chains*. Diakses dari <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0fe16228-521a-43d9-8da6-bbf08cc9f2b4/SecuringCleanEnergyTechnologySupplyChains.pdf>.
- IEF & IHS Markit. (2021, Desember). *Oil and Gas Investment Outlook*. International Energy Forum. Diakses dari <https://www.ief.org/investment-report-2021/download>.
- IHS Markits. (2022). *In the Race to Diversify and Decarbonize, Most NOCs Remain on the Starting Blocks*. S&P Global Commodity Insights. Diakses dari <https://ihsmarkit.com/research-analysis/in-the-race-to-diversify-and-decarbonize-most-nocs-remain-on-t.html>.
- ING. (2022). *Energy Outlook: Oil and Gas Markets to Tighten on Lack of Upstream Spending*. Diakses dari <https://think.ing.com/articles/oil-and-gas-markets-to-tighten-on-lack-of-upstream-spending>.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2019). *Adapting the Energy Sector to Climate Change*.

## DAFTAR PUSTAKA

- International Energy Agency. (2021). *Carbon Capture, Utilisation and Storage: The Opportunity in Southeast Asia*.
- International Energy Agency. (2022). *Coal Market Update—Juli 2022*. Diakses dari International Energy Agency: <https://www.iea.org/reports/coal-market-update-july-2022>.
- International Maritime Organization. (2022). *IMO's Work to Cut GHG Emissions from Ships*. Diakses dari <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>.
- International Maritime Organization. (2022). *Initial IMO GHG Strategy*. Diakses dari <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>.
- International Maritime Organization. (2022). *Introduction to IMO*. Diakses dari <https://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>.
- IPCC. (2022). *IPCC*. Diakses dari IPCC: <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2021*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2022). *Laporan Kinerja Kementerian ESDM Tahun 2021*.
- Liputan 6. (2022). *Diakses dari Liputan 6: https://www.liputan6.com/bisnis/read/5057039/awas-indonesia-bisa-jadi-negara-paling-terdampak-perubahan-iklim-global*.
- McKinsey & Company. (2022). *Building Resilient Supply Chains for the European Energy Transition*. Diakses dari <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/building-resilient-supply-chains-for-the-european-energy-transition>.
- McNulty, B.A. dan S.M. Jowitt. (2021). "Barriers to and Uncertainties in Understanding and Quantifying Global Critical Mineral and Element Supply". *Science*, 24(7), 102809.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2016). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik yang Disediakan oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2020 tentang Penyediaan Infrastruktur Pengisian Listrik untuk Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai*.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 29 Tahun 2014 tentang Pencegahan Pencemaran Lingkungan Maritim*.
- Menteri Perindustrian Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 27 Tahun 2020 tentang Spesifikasi, Peta Jalan Pengembangan, dan Ketentuan Penghitungan Nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai*.
- Muslemani et. al. (2020). *Business Models for Carbon Capture, Utilization and Storage Technologies in the Steel Sektor: A Qualitative Multi-Method Study*. Diakses dari <https://doi.org/10.3390/pr8050576>.
- Northern Lights. (2022). *How to store CO<sub>2</sub> with Northern Lights-Northern Lights (norlights.com)*.
- OPEC. (2022). *2022 World Oil Outlook 2045*. OPEC Secretariat. Diakses dari [https://www.opec.org/opec\\_web/en/publications/340.htm](https://www.opec.org/opec_web/en/publications/340.htm).
- Pemerintah Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional*.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2016). *Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim)*.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 73 Tahun 2019 tentang Barang Kena Pajak yang Tergolong Mewah Berupa Kendaraan Bermotor yang dikenai Pajak Penjualan atas Barang Mewah*.
- Presiden Republik Indonesia. (2017). *Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional*.
- Presiden Republik Indonesia. (2019). *Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle) Untuk Transportasi Jalan*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Presiden Republik Indonesia. (2021). *Indonesia Long-Term Strategies for Low Carbon and Climate Resilience 2050*.
- Presiden Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional*.
- Presiden Republik Indonesia. (2021). *Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2021 tentang Harmonisasi Peraturan Perpajakan*.
- Presiden Republik Indonesia. (2022). *Instruksi Presiden Nomor 7 Tahun 2022 tentang Penggunaan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle) sebagai Kendaraan Dinas Operasional dan/atau Kendaraan Perorangan Dinas Instansi Pemerintah Pusat dan Pemerintahan Daerah*.
- Presiden Republik Indonesia. (2022). *Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik*.
- Rystad Energy. (2022). *Energy Transition Marathon: Fifty Shades of Hydrogen*.
- S&P Global Commodity Insight. (2022). *Hydrogen Market Monitor: A Global Status Update of the Hydrogen Market*.
- S&P Global Platts. (2021). *Spotlight: Will US shale oil operators forget capital discipline and produce a lot more oil next year as oil prices reach a seven-year high?* Diakses dari <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/102921-spotlight-will-us-shale-oil-operators-forget-capital-discipline-and-produce-a-lot-more-oil-next-year-as-oil-prices-reach->.
- S&P Global Platts. (2022). *Analytics Special Report: September 2022 Commodity Brief*.
- Skyng. (2021). *Sustainable Aviation Fuel Technology Basics*. Diakses dari <https://skyng.com/sustainable-aviation-fuel/technology-basics/>.
- Sztankovics, Linda. (2021). *Shifting powers, prospects and perspectives? A critical reading of the European Union's geopolitical reasoning on critical raw materials*.
- T7 Task Force Climate and Environment. (2022). *Financing A Green Future: The Energy Transition Mechanism (ETM) and the Green Impact Fund for Technology (GIFT)*.
- The Economist. (2022). *Asia*. Diakses dari The Economist: <https://www.economist.com/asia/2022/08/30/pakistan-has-been-hit-by-its-worst-floods-in-recent-memory>.

## DAFTAR PUSTAKA

- The Economist. (2022). *United States*. Diakses dari The Economist: <https://www.economist.com/united-states/2022/09/01/heatwaves-kill-more-americans-than-hurricanes-tornadoes-and-floods>.
- The Economist. (2022, Juli). *The Climate Issue: How to Improve ESG*. Diakses dari *The Economist*.
- The Economist. (2022, September). *The Climate Issue*. Diakses dari *The Economist*.
- The World Bank and Asian Development Bank. (2021). *Climate Risk Country Profile: Indonesia*.
- Wood Mackenzie. (2020, September). *Is Sustainable Aviation Fuel Ready for Take Off*.
- Wood Mackenzie. (2021). *Global Gas 2021 Outlook to 2050*. Diakses dari Woodmac.com.
- Wood Mackenzie. (2021). *Indonesia Gas Market Outlook*. Diakses dari Woodmac.com.
- Wood Mackenzie. (2022). *Q2 2022 Global Hydrogen Market Tracker: Low-carbon Hydrogen Developments in the Past Quarter*.
- Wood Mackenzie. (2022). *Southeast Asia Gas Strategic Planning Outlook, Southeast Asia Gas & Power Service*.
- Wood Mackenzie. (2022, Desember). *Commodity Market Report: Global Gas: Global Demand, Detailed Global gas Demand Data from Our Latest Outlook to 2050*.
- Wood Mackenzie. (2022, November). *Commodity Market Report: Global Gas: LNG Supply Report, New Wave of Projects to Come Online from 2026*.
- Wood Mackenzie. (2022, November). *Commodity Market Report: Global Gas: Asia Regional Market Report October 2022, Outlook for Gas Market Fundamentals in Asia*.
- Wood Mackenzie. (2022, November). *Commodity Market Report: Indonesia Power Market Report 2022*.
- Wood Mackenzie. (2022, Maret). *Macro Oils Strategic Outlook*. Diakses dari <https://my.woodmac.com/document/150017637>.
- Wood Mackenzie. (2022, Mei). *Global Outlook for Sustainable Aviation Fuel*.
- World Bank. (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. Diakses dari <https://pubdocs.worldbank.org/en/961711588875536384/Minerals-for-Climate-Action-The-Mineral-Intensity-of-the-Clean-Energy-Transition.pdf>.
- World Economic Forum. (2022). *Rethinking Global Supply Chains for the Energy Transition*. Diakses dari <https://www.weforum.org/agenda/2022/01/>

**Pertamina Energy Institute**

PT Pertamina (Persero)

Grha Pertamina, Gedung Fastron Lantai 19

Jln. Medan Merdeka Timur No. 6, Jakarta 10110

Email: [energy-institute@pertamina.com](mailto:energy-institute@pertamina.com)

Follow us:

@Pertamina |    