



Kementerian Perhubungan
Republik Indonesia

Draft Peta Jalan Dekarbonisasi Transportasi

**UKPACT Transportasi Rendah
Karbon**

Konsultasi Publik

Jakarta, 30 April 2026

UKPACT



WRI INDONESIA



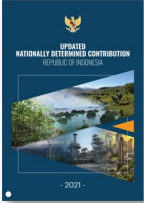
Kementerian Perhubungan berkomitmen dalam pencapaian net-zero emission 2060

KOMITMEN INDONESIA DALAM ISU IKLIM

01



Updated NDC (2021)
Komitmen awal pengurangan emisi GRK nasional dalam kerangka Paris Agreement.



02



Enhanced NDC (2022)
Target unconditional 31,89% dan conditional 43,2% pengurangan emisi GRK.



03



Second NDC (2025–2035)
Peta jalan implementasi dekarbonisasi 2030–2035 pasca Global Stocktake.





Target pengurangan emisi Sektor Transportasi tahun 2030 sebesar

6,33juta ton CO₂e

PERAN SEKTOR TRANSPORTASI DALAM MENCAPAI TARGET NDC



12%

Kontribusi transportasi terhadap emisi nasional



21%

Kontribusi terhadap emisi sektor energi



~5%

Target kontribusi dalam NDC 2030



Amanat NDC 2030

Sektor transportasi berkontribusi ~5% dari total target Pengurangan Emisi GRK Nasional pada tahun 2030, dalam kerangka LCCP_L (unconditional) dan LCCP_H (conditional).



Kontribusi ke Net-Zero 2060

Transportasi berkontribusi 12% dari total emisi nasional dan 21% dari sektor energi. Peta Jalan Dekarbonisasi Transportasi memandu strategi transisi menuju net-zero emission 2060.



Peran Strategis Ekonomi

Sektor transportasi mendukung target pertumbuhan ekonomi 8% sekaligus menjadi instrumen kunci transisi energi. Target pengurangan emisi: 6,33 juta ton CO₂e pada 2030 (Permen LH 23/2025).

Kementerian Perhubungan menyusun **Peta Jalan Dekarbonisasi Sektor Transportasi** untuk memfasilitasi transisi ke transportasi berkelanjutan untuk lingkungan dan perekonomian.

*Target berdasarkan Permen LH 23/2025, tanpa kebijakan terkait sektor energi

UKPACT

 WRI INDONESIA



Materi ini merupakan bahan diskusi, bukan untuk disebarluaskan

2

Peta Jalan Dekarbonisasi Transportasi, langkah awal yang akan memandu aksi dan strategi menuju Transportasi Berkelanjutan

 Dokumen Peta Jalan Dekarbonisasi dan Transisi Energi Sektor Transportasi	Tujuan	Terwujudnya transportasi yang berkelanjutan yang mendukung pencapaian NDC 2030 dan <i>net-zero emission</i> Indonesia 2060			
	Sektor	Transportasi Darat	Transportasi KA	Transportasi Laut	Transportasi Udara
	Ruang lingkup emisi	Energi (<i>direct emission</i>) – <i>Scope 1 emission</i> + Pembelian Listrik - <i>Scope 2 Emission</i>			
	Output	 Inventarisasi Kondisi Eksiting: • Inventarisasi peraturan • Inventarisasi emisi 2024 • Identifikasi hotspot emisi di sektor transportasi	 Peta Jalan Dekarbonisasi 2030: • Inventarisasi aksi mitigasi 2025-2030 • Penurunan emisi 2025-2030	 Peta Jalan Dekarbonisasi dan Transisi Energi 2060: • Proyeksi aktivitas transportasi • Trayektori penurunan emisi • Trayektori transisi energi • Kebutuhan energi dan pembangunan infrastruktur	 Arah kebijakan mendukung capaian peta jalan: • Perumusan kerangka kebijakan • Perumusan strategi dan aksi

Metodologi Perumusan Peta Jalan Dekarbonisasi Transportasi



INVENTARISASI EMISI

- Mencakup **aktivitas transportasi per subsektor** (darat, perkeretaapian, laut, dan udara).
- Menggunakan **pendekatan aktivitas transportasi yang mengacu pada IPCC**, sehingga terdapat pengategorian kendaraan yang disesuaikan dengan BPS dan GAIKINDO.
- Perhitungan dilakukan untuk **emisi lingkup 1**.

Pendekatan Bottom-up
(Aktivitas Transportasi
dan Data Survei)

Kalibrasi dengan
Pendekatan Top-
down (Data HEESI)



PETA JALAN 2030

- Mencakup **target potensi penurunan emisi dari aksi mitigasi per subsektor transportasi**.
- Basis **target** mencakup **dokumen resmi pemerintah**, baik **nasional** maupun **subnasional**, dan target operator.
- Metode perhitungan potensi penurunan emisi diadaptasi dari metodologi IPCC.

$$Emisi = Data Aktivitas^1 \times Faktor Emisi$$

¹ Berdasarkan subsektor

$$Potensi Penurunan Emisi = Emisi_{BaU} - Emisi_{aksi}$$



PETA JALAN 2060

- Menyusun skenario penurunan emisi 2031-2060.
- Melakukan **kalibrasi, optimasi dan proyeksi aktivitas, emisi, dan energi**.

Data
Input:
Activity
Baseline

Kalibrasi
Data HEESI
dan
Data Survei

Skenario
2031-2060
Optimis
Moderat
Pesimis

Ouput
2031-2060
Aktivitas
Emisi
Energi

- Menggunakan **Model Input-Output dan AIM ExSS** untuk mensimulasikan proyeksi aktivitas transportasi dan trayektori emisi.



Perumusan Kebijakan Untuk Mendukung Realisasi Dekarbonisasi Transportasi



Ekosistem



Infrastruktur



Operasional



Fiskal



Tata Ruang



Pengendalian



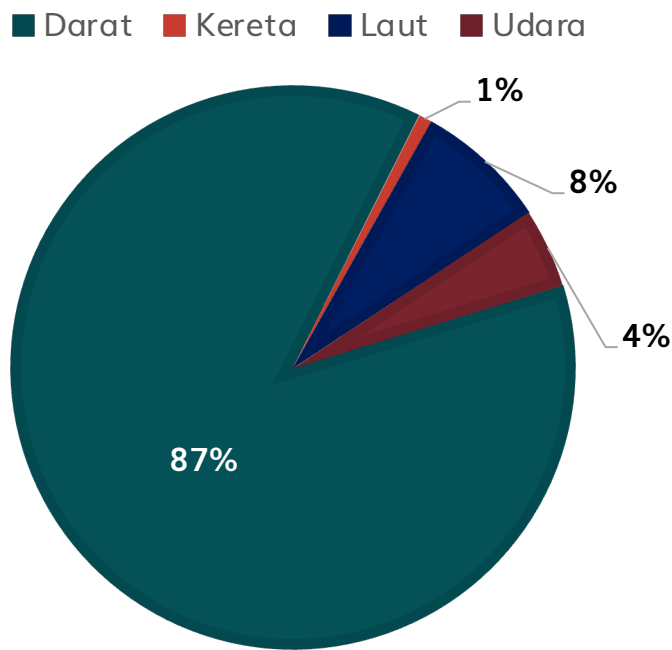
Tata Kelola



Pembiayaan

Inventarisasi emisi sektor transportasi sebagai langkah awal dalam upaya dekarbonisasi transportasi telah selesai dilakukan di tahun 2024

EMISI GRK SEKTOR TRANSPORTASI TAHUN 2024



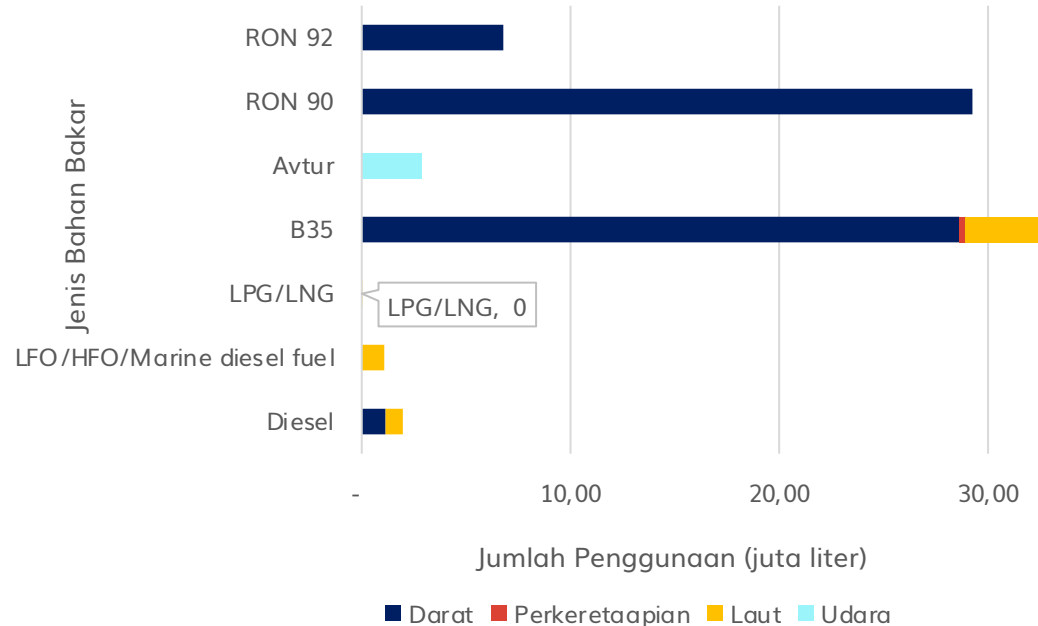
Subsektor transportasi darat sebagai emitor terbesar, menghasilkan 87% emisi sektor transportasi

Subsektor	Emisi GRK (ton CO ₂) Direct + Indirect
Darat	137.455.211
Kereta	947.147
Laut	11.977.325
Udara	7.184.995
Total	157.564.678

Keterangan:

- Data Ditjen Perkeretaapian inventarisasi WRI tahun 2024
- Data Ditjen Perhubungan Darat inventarisasi WRI tahun 2024.
- Data Ditjen Perhubungan Udara dihitung menggunakan tools CERT 2024.
- Data Ditjen Laut dan Direktorat TSDP inventarisasi WRI tahun 2024.

Bauran Penggunaan Energi Nasional (juta liter)



Pendekatan inventarisasi emisi berdasarkan aktivitas ini memungkinkan pemisahan bahan bakar B35 yang digunakan transportasi darat dan laut.

Bauran Penggunaan Energi Nasional (juta kWh)



86% Emisi Transportasi Darat Tahun 2024 Berasal dari RON 90 dan Biosolar

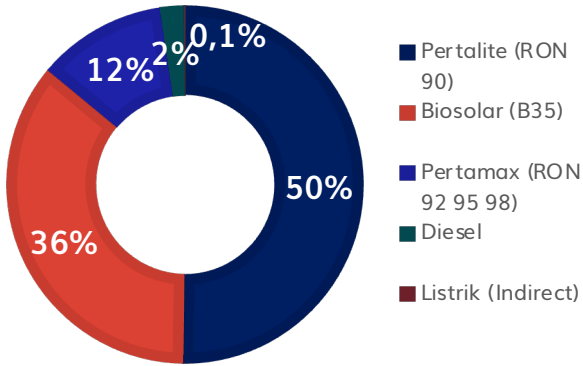
Hasil Inventarisasi Transportasi Darat

No	Jenis/Kategori Kendaraan	Jumlah Kendaraan 2024 (BPS)	Kendaraan Aktif 2024*	Faktor Emisi	Efisiensi BBM/EV **	VKT** Kota (km/th)	VKT** Kab (km/th)	BBM (Juta L) / EV (MWh)	Emisi CO ₂ Per Tahun (Ton)
1	Mobil Kecil Pribadi Pertalite	12.697.344	12.062.477	2,36	11,6	14.991	7.586	10.294,5	24.295.077
2	Mobil Kecil Pribadi Listrik	20.011	19.011	0,87	5,0	12.988	–	49.383	42.963
3	Mobil Kecil Umum Pertalite	875.845	832.053	2,36	11,2	36.200	18.319	1.780,8	4.202.758
4	Mobil Kecil Umum Listrik	3.250	3.087	0,87	3,6	35.846	–	30.655	26.669
5	Mobil Sedang Pribadi Pertamina	5.469.625	5.196.144	2,36	11,9	18.101	14.001	6.787,5	16.018.485
6	Mobil Sedang Pribadi Diesel	1.367.406	1.299.036	2,65	13,4	16.549	10.035	1.126,3	2.984.779
7	Mobil Sedang Pribadi Listrik	9.275	8.812	0,87	4,1	10.058	–	21.564	18.761
8	Mobil Sedang Umum Listrik	1.750	1.662	0,87	3,6	35.846	–	16.506	14.360
9	Truk Ringan Biosolar	5.649.663	3.954.764	1,72	5,3	43.205	20.910	21.025,3	36.216.105
10	Bus Sedang Biosolar	196.974	195.004	1,72	3,2	50.244	23.268	2.017,1	3.474.399
11	Bus Besar Biosolar	97.017	96.047	1,72	2,6	54.435	26.075	1.289,2	2.220.584
12	Truk Berat Biosolar	420.586	294.410	1,72	3,3	42.577	19.975	2.493,5	4.295.043
13	Truk Sangat Berat Biosolar	207.154	145.008	1,72	2,4	45.878	23.023	1.768,1	3.045.562
14	Motor Pribadi Pertalite	133.442.806	66.721.403	2,36	35,3	12.605	6.378	15.742,3	37.151.776
15	Motor Pribadi Listrik	163.885	163.885	0,87	42,0	11.822	–	23.081	40.161
16	Motor Online Pertalite	5.836.154	2.918.077	2,36	35,4	26.548	13.434	1.442,3	3.403.875
17	Motor Online Listrik	7.168	7.168	0,87	43,4	26.769	–	2.211	3.847
Total Emisi Tahun 2024									137.455.211

*Kendaraan Aktif berdasarkan perbandingan antara sample data BPS dengan Bapenda di beberapa daerah
**Hasil Survey tim WRI-ITB bersama UGM dan Pinnacle Analytics
***Metode IPCC

$$Emisi = Jml. Kendaraan \times \frac{VKT}{Efisiensi} \times FE$$

Proporsi Emisi Per Jenis BBM/Energi



Motor Pribadi Pertalite adalah sumber emisi terbesar
~37 juta ton, 27% dari total emisi jalan — didorong oleh jumlah sepeda motor yang sangat besar di Indonesia

Biosolar (B35) menyumbang 36% emisi, hampir seluruhnya berasal dari truk pengangkut barang, mencerminkan intensitas karbon yang tinggi dari sektor logistic

Sektor Kereta Api sebagai Aksi Mitigasi Transportasi Darat tetap Menghasilkan Emisi

Hasil Inventarisasi Kereta Api

Jaringan Kereta Api	Emisi (kg CO ₂)	Energi
Kereta Api Penumpang Jarak Jauh		
Lintas Utara Jawa	90.292.660	B35
Lintas Tengah Jawa	96.266.197	B35
Lintas Selatan Jawa	81.998.524	B35
Lintas Sumatera	16.943.199	B35
Lintas Sulawesi	279.045	B35
Kereta Cepat Jakarta Bandung	78.287.590	Listrik
Kereta Api Perkotaan		
KRL Jabodetabek	281.115.296	Listrik
KRL Jogjakarta-Solo	10.167.117	Listrik
MRT Jakarta	18.019.518	Listrik
LRT Jabodebek	29.288.664	Listrik
LRT Jakarta	4.704.712	Listrik
LRT Palembang	4.530.205	Listrik
Kereta Api Bandara		
Soekarno Hatta	3.241.108	Listrik
Kualanamu	442.404	B35
Yogyakarta International Airport	2.323.272	B35
Adisoemarmo	452.759	B35
Minangkabau	369.473	B35
Kereta Api Barang	228.426.190	B35
Total Emisi (Direct & Indirect)	947.147.931,90	



$$\text{Emisi} = \text{Penggunaan BBM/Listrik} \times \text{FE}$$

Emisi dan Penggunaan Bahan Bakar KA

Tipe Energi	B35 (direct)*	Listrik (indirect)**
Bauran Energi	300.605,93 kL	493.510,58 GWh
Emisi	517.793 ton CO ₂	429.354 ton CO ₂

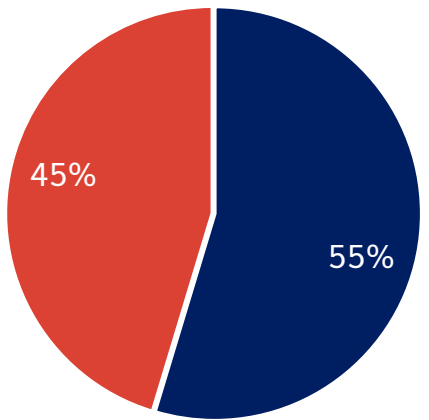


Pada tahun 2024, operasional kereta didominasi konsumsi BBM jenis B35 (kereta diesel), sementara sebagian layanan lain menggunakan listrik (emisi tidak langsung/indirect dari pembangkit).



Emisi tidak langsung dari listrik menyumbang ~45% dari total emisi perkeretaapian, sehingga jika komponen indirect ini tidak dihitung, angka emisi perkeretaapian akan terlihat jauh lebih kecil.

Proporsi Emisi per Tipe Bahan Bakar



■ B35 ■ Listrik (Indirect)



Emisi kereta terbesar berasal dari Kereta Antar Kota dan Kereta Barang, menyumbang 54% dari 947.148 ton CO₂ di tahun 2024. Keduanya masih sepenuhnya bergantung pada bahan bakar B35.

*Indirect Emission: Data kWh x FE Grid JAMALI (0,87 kg CO₂/kWh)
Direct Emission: Data liter BBM x FE B35 Lemigas (1,72 kg CO₂/liter)

Trip Domestik sebagai Kontribusi Utama Emisi Transportasi Laut Indonesia

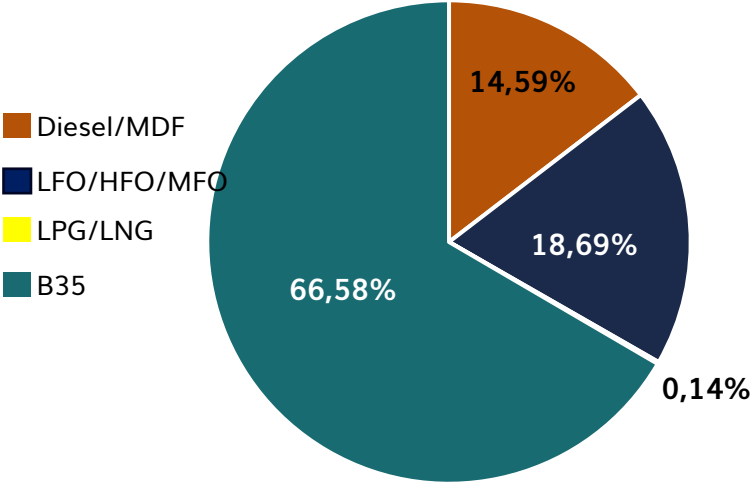
Hasil Inventarisasi Transportasi Laut

Metode perhitungan dan sumber data

1 	2 	3 	4 
Identifikasi Kapal & Rute	Proporsi Bahan Bakar	Hitung Konsumsi BBM	Hitung Total Emisi
- Pemisahan bendera kapal Indonesia dan non-Indonesia - O-D trip per kapal yang dipisahkan menjadi trip internasional dan domestik - Perhitungan jarak (NM) per trip	- Pengelompokan klasifikasi tipe kapal untuk proses perhitungan emisi - Proporsi tipe BBM yang digunakan per klasifikasi kapal (Diesel/MDF, MFO/HFO/LFO, LGP/LNG, B35)	- Tes statistik; Regresi linear: $\text{ton/NM} = \text{GT} \times \text{Konstanta}$ untuk setiap tipe kapal - Total BBM = $\text{Jarak} \times \text{ton/NM}$	$\text{Emisi} = \text{Total BBM} \times \text{Faktor Emisi}^{**}$ - FE spesifik per jenis bahan bakar
Sumber: Inaportnet*	Sumber: Data DCS	Sumber: Data DCS	Sumber: Lemigas-ESDM

*total kapal benderan Indonesia dalam inaportnet 2024: 14.592; **Faktor emisi yang digunakan ton CO₂/ ton bahan bakar: Diesel: 3,177 ; LFO/HFO: 3,171 ; LPG/LNG: 3,017; B35: 2,061

Proporsi Penggunaan per Tipe Bahan Bakar



Hasil inventarisasi emisi transportasi laut tahun 2024

Trip	Total emisi (ton CO2)
Domestik	11.537.596 (96%)
Internasional	439.729 (4%)
Total tahun 2024	11.977.325



Hasil inventarisasi ini menegaskan pentingnya fokus kebijakan mitigasi pada aktivitas pelayaran domestik dan penggunaan bahan bakar kapal.

Materi ini merupakan bahan diskusi, bukan untuk disebarluaskan

69% Emisi yang dihasilkan di Transportasi Udara Indonesia pada tahun 2024 berasal dari Penerbangan Domestik

Hasil Inventarisasi Transportasi Udara

1

Input data

- Pemisahan pesawat registrasi Indonesia dan non-Indonesia
 - O-D trip per pesawat yang dipisahkan menjadi trip internasional dan domestik
 - Jenis pesawat
 - Frekuensi trip per pesawat
- Sumber: data produksi penerbangan Indonesia, Dit. Angud

2

ICAO CERT

© ICAO 2024

CORSA CO₂ Estimation & Reporting Tool (CERT) Version 2024

CO₂ Emissions Estimation & Data Gap Filling

Back

Home

Next

Step:

A

Collect flight information (aircraft type, aerodromes of origin and destination) for all flights during the relevant time period.

B

Enter the information for all flights by double clicking on the green cells below. Data should be entered using decimals separated by ".".
Note: For a given aerodrome pair flown by a particular aircraft type, all flights can be entered as a single entry by entering total number of flights during the relevant time period.
Note: Data can also be copied and pasted across input cells as needed
Note: Data can also be imported from a csv file, structured to match the contents under the INPUT section below, by clicking on →

C

After entering input, compute CO₂ emissions. Click on →

D

After computing CO₂ emissions, continue to fill the necessary information for the Emissions Report. Click on →

Import Input File (.csv)

Estimate CO₂ Emissions

Populate ER with CO₂ Information

INPUT						OUTPUT									
Date (Opt.)	Flight ID (Opt.)	ICAO Aircraft Type Designator Search Aircraft Code Custom AC	Origin Aerodrome Search Aerodrome Code Custom AP	Destination Aerodrome	Total Number of Flights	Total Block Time for all flights (in min.)	Total Fuel Use for all flights (in tonnes)	Type of Fuel	Data Gap Ref. (Opt.)	Aerodrome Pair Great Circle Distance (in km)	Fuel (in tonnes)	CO ₂ Emissions (in tonnes of CO ₂)	Flight(s) subject to Scope of Applicability of CORSIA	Warnings	
		B773	BHAM	WIII	9					No	11.353	963	3.044	Yes	
		B737	YSCB	WADD	5					No	4.539	69	218	Yes	
		B733	WALL	WSSS	3					No	1.465	16	51	Yes	
		B733	WALL	WSSS	6					No	1.465	32	103	Yes	
		A320	WITT	WARR	27					No	761	93	293	Yes	
		B734	WBSB	WALL	4					No	721	13	42	Yes	
		B738	VTBS	WIII	31					No	2.286	247	782	Yes	
		A320	VTBD	WADD	4					No	2.978	42	133	Yes	
		A320	VTBD	WADD	20					No	2.978	211	666	Yes	
		B737	VTBD	WADD	7					No	2.978	65	205	Yes	
		A320	VTBD	WIII	9					No	2.315	75	236	Yes	
		A320	VTBD	WIII	29					No	2.315	240	760	Yes	

3

Hasil inventarisasi emisi

Penerbangan	Total emisi (ton CO2)
Internasional	2.208.950 (31%)
Domestik	4.976.045 (69%)
Total tahun 2024	7.184.995

Dihitung dengan menggunakan Faktor Emisi = 3,16 kg co₂/kg fuel

ICAO CO₂ Estimation and Reporting Tool digunakan untuk memastikan konsistensi metode dan asumsi perhitungan emisi subsektor transportasi udara dengan standar ICAO.



Kementerian Perhubungan
Republik Indonesia

Aksi Mitigasi 2030

UKPACT



WRI INDONESIA



Potensi penurunan emisi skenario moderat (KM 8/2023 dan Renstra Kementerian Perhubungan 2025-2029) dan skenario optimis (untuk mencapai target ENDC 2030)

Sub sektor	Aksi Mitigasi	Skenario Moderat (ton CO ₂)	Skenario Optimis (ton CO ₂)
Terkait aktivitas transportasi			
Darat			
	Peralihan moda transportasi ke bus/BRT	731.466	786.631
	Pemanfaatan manajemen lalu lintas (ATCS)	493.452	tetap
	Penerapan Transit-Oriented Development (TOD)	48.056	tetap
	Ferry Logistik	14.840	tetap
Kereta Api			
	Peralihan moda transportasi ke kereta (penumpang & barang)	3.342.623	4.155.586
	Elektrifikasi kereta komuter regional	20.327	65.509
Udara			
	Modernisasi pesawat dan teknologi	117.109	tetap
	Efisiensi operasional penerbangan	41.669	tetap
Laut			
	Modernisasi kapal dan teknologi	69.808	tetap
	Efisiensi operasional pelayaran	593.232	tetap
Terkait sektor energi			
Darat			
	Elektrifikasi kendaraan (KBLBB)	2.176.607	7.807.368
	Peningkatan bauran biodiesel (B50)	22.495.436	tetap
	Pemanfaatan Pertamina Green (E5)	1.221.399	tetap
Kereta Api			
	Peningkatan bauran biodiesel (B50)	629.089	tetap
Udara			
	Peningkatan bauran Sustainable Aviation Fuel (SAF)	142.760	tetap
Laut			
	Peningkatan bauran biodiesel (B50) untuk transportasi laut	4.392.007	tetap
Total potensi penurunan emisi keseluruhan		36.529.880	43.073.951
Total potensi penurunan emisi tanpa B50, SAF, Pertamina E5, dan KBLBB		5.472.581	6.385.892

Target penurunan emisi sektor transportasi berdasarkan Permen LH 23/2025 tanpa B50, SAF, dan KBLBB

6,33 juta ton CO₂

Target eksisting (skenario moderat)

5,4 juta ton CO₂
belum mencapai target

- Target KM 8/2023 dapat dicapai dengan upaya lebih ambisius:
- Penambahan tingkat peralihan ke moda bus/BRT
 - Penambahan elektrifikasi KA Regional
 - Penambahan target tonase kereta barang per tahun
 - Penambahan elektrifikasi kendaraan
 - Penambahan bauran biodiesel

Skenario Optimis berhasil menambah potensi penurunan menjadi

6,38 juta ton CO₂

Aksi Mitigasi Transportasi Darat Tahun 2030 (1/2)

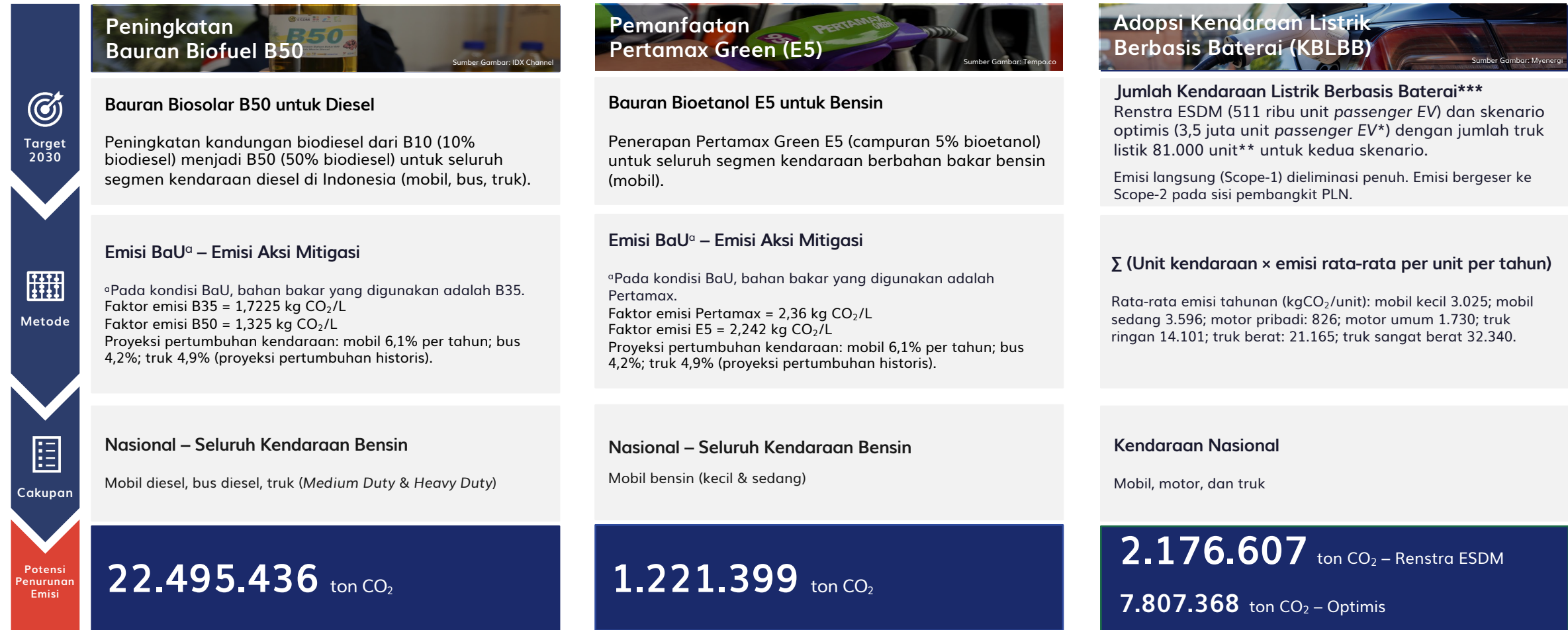
Subsektor transportasi darat berperan dalam mitigasi melalui penataan perilaku perjalanan: menarik penumpang dari kendaraan pribadi ke angkutan massal perkotaan, peralihan logistik darat ke ferry, serta mengoptimalkan arus lalu lintas, dengan total potensi reduksi ~1,4 juta ton CO₂ (Optimis).



*Emisi rata-rata tahunan (kgCO₂/unit): mobil kecil 3.025; mobil sedang 3.596; motor pribadi: 826; motor umum 1.730 bus ICE 38.394; EV 0.
**Sumber: Renstra DJPD 2024-2029; Permen ATR/BPN No. 16/2017; TOD Standard 3.0; Irsal et al. (2022); Ewing et al. (2019); Karina et al. (2015); Inventarisasi PPTB Kemenhub (2026); Huboyo et al. (2017)

Aksi Mitigasi Transportasi Darat Tahun 2030 (2/2)

Energi transportasi berperan dalam mitigasi melalui penurunan intensitas karbon bahan bakar melalui biofuel dan bioetanol, sekaligus mengeliminasi emisi langsung kendaraan melalui elektrifikasi - dengan total potensi reduksi ~25,9 juta ton CO₂ (Renstra) hingga ~31,5 juta ton CO₂ (Optimis) pada 2030.



*Jumlah mobil dan motor berdasarkan tren aktual (Data SRUT Kemenhub 2025).

** Jumlah target truk listrik mengikuti proyeksi RUKN ESDM.

***Perhitungan potensi penurunan emisi dari bus listrik telah dihitung dalam Aksi Mitigasi Perpindahan Moda ke BRT.

TOTAL — SKENARIO RENSTRA 2030

~25.893.442 ton CO₂

TOTAL — SKENARIO OPTIMIS 2030

~ 31.524.203 ton CO₂

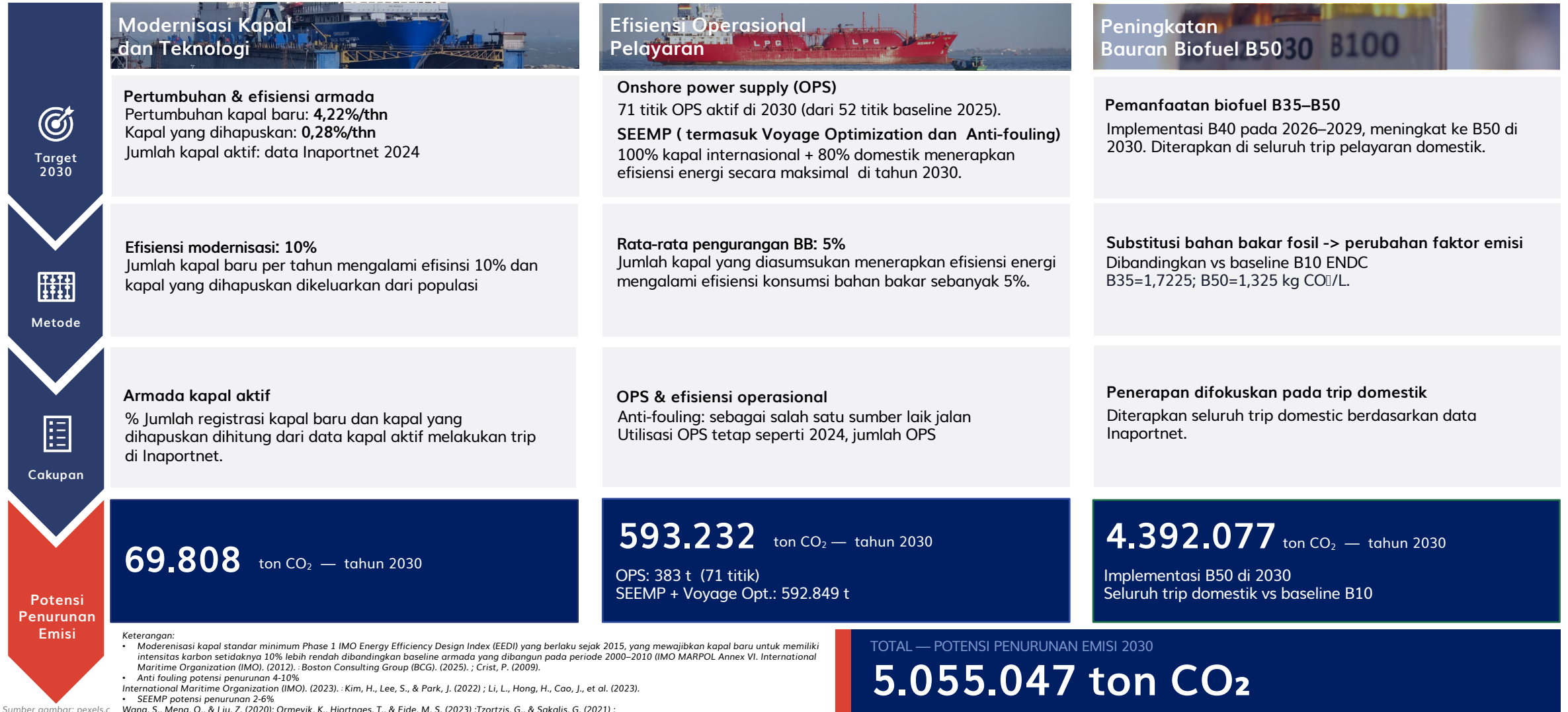
Aksi Mitigasi Perkeretaapian Tahun 2030

Sektor perkeretaapian berperan ganda dalam mitigasi: menarik penumpang dan barang dari angkutan jalan, sekaligus memangkas emisi operasionalnya sendiri melalui elektrifikasi dan peningkatan biofuel — dengan total potensi reduksi hingga ~4,9 juta ton CO₂ pada 2030.

Target 2030	Peralihan Moda Penumpang Jalan	Peralihan Moda Barang	Elektrifikasi KA Komuter Regional	Peningkatan Bauran Biofuel B50
	Peralihan Moda Penumpang 667,8 juta total penumpang KA pada 2030 atau 445,83 juta penumpang baru beralih ke KA pada 2030, dibanding baseline moda darat	Peralihan Moda Barang Jawa: 5,6–22,1 juta ton Sumatera: 54–60 juta ton beralih dari truk ke KA Barang	3 Jaringan KRD Diesel → Listrik Emisi langsung (Scope-1) dieliminasi penuh. Emisi bergeser ke Scope-2 pada sisi pembangkit PLN.	Seluruh Armada KA Diesel B10 → B50 Peningkatan kandungan biodiesel dari 10% ke 50% pada seluruh segmen armada diesel KA.
	Emisi Darat – Emisi KA $\Sigma(\text{proporsi moda} \times \text{jarak} \times \text{EF_BBM} \div \text{FE})$ dikurangi emisi KA per 100 penumpang	Σ Emisi Truk – Σ Emisi KA $(\text{BBM_Truk} \times \text{EF_Solar}) - (\text{BBM_KA} \times \text{EF_B35})$, diakumulasi seluruh perjalanan per tahun	Emisi BAU Diesel 2030 → 0 $\text{Pax}_{\text{diesel}} = \text{Pax}_{\text{diesel}} \times (1+5\%)$ Emisi BAU = Pax × EF_diesel × jarak Pasca elektrifikasi: Scope-1 = 0	Emisi B10 × 44,44% B10 = 90% fossil · B50 = 50% fossil Selisih 40 poin → EF turun 44,44% Penurunan = Emisi B10 BAU × 44,44%
	15 Jaringan KA Penumpang KRL · MRT · LRT · KA Antar Kota KCJB · KA Regional · KCI Lokalan · Bandara Railink KA Metropolitan · KA Regional SRRL	2 Koridor, 4 Skenario Jawa: Renstra & Optimis Sumatera: Renstra & Optimis SF: 1.200 ton/rangkaian (Jawa) 3.000 ton/rangkaian (Sumatera)	3 Jaringan KRD A1 — Yogya Railink (YIA), 40 km A2 — Prambanan Ekspres (Yogya–Solo), 64 km A3 — Padalarang–Cicalengka (Bandung), 40 km	4 Segmen Armada Diesel Komuter Diesel (KRD Kualananamu) KA Antarkota & Regional Diesel KA Lokal Diesel KA Barang (KAI Cargo)
Metode	969.085 ton CO ₂ 507.777 ton — Perkotaan Listrik (52%) 366.825 ton — Jarak Jauh (38%) 94.483 ton — Lokal & Baru (10%)	2.373.538 ton CO ₂ — Renstra 3.186.501 ton CO ₂ — Optimis	20.327 2 jaringan KRD – A1 + A2 ton CO ₂ /tahun – Renstra 65.510 3 jaringan KRD – A1, A2, A3 ton CO ₂ /tahun - Optimis	629.090 ton CO ₂ /tahun 44,44% dari total emisi B10 BAU seluruh armada diesel KA
	Cakupan			
Potensi Penurunan Emisi				
<i>*Sumber Target 2030: Renstra DJKA, Informasi Perencanaan Dit LLAKA, Operator Perkeretaapian, Kebijakan Bauran Energi Kementerian ESDM</i> <i>*Peralihan moda penumpang dan barang baru mengacu pada NDC, yaitu peningkatan teknologi dari tahun 2010</i>			TOTAL — SKENARIO RENSTRA 2030 ~4.037.000 ton CO₂	
			TOTAL — SKENARIO OPTIMIS 2030 ~4.850.000 ton CO₂	

Aksi Mitigasi Transportasi Laut Tahun 2030

Efisiensi operasional sektor transportasi laut pada pelayaran domestik memiliki pengaruh yang sangat besar dalam proses dekarbonisasi, hingga 590 ribu ton CO₂ di tahun 2030.



Sumber gambar: pexels.

Aksi Mitigasi Transportasi Udara Tahun 2030

Penyelarasan dengan target State Action Plan 2025 dilakukan untuk memastikan kesesuaian dengan arah kebijakan subsektor udara



Sumber target: State Action Plan Indonesia 2025 dan Peta Jalan SAF Indonesia
Sumber gambar: pexels.com



Kementerian Perhubungan
Republik Indonesia

Skenario dan Strategi 2031 - 2060



UKPACT



WRI INDONESIA



Skenario Penurunan Emisi Transportasi Darat (1/2)

Agenda	Strategi	Referensi	Unit*	Baseline 2019	TAHUN (KUMULATIF)		
					2031–2040	2041–2050	2051–2060
TRLA Teknologi Ramah Lingkungan Alternatif	Pembangunan jaringan BRT	Renstra DJPD 2025-2029	Jumlah kota (1 rute)	1	8 7 4	14 11 8	20 15 12
	Pembangunan Rute Bus Perkotaan Baru	Renstra DJPD 2025-2029	Jumlah kota (rute per kota)	14	32 (4) 32 (3) 24 (3)	44 (4) 44 (3) 28 (3)	56 (4) 56 (3) 32 (3)
	Optimalisasi rute angkutan umum darat	Permenhub PM 15/2019 (Mandat)	% pengurangan km	0%	4% 3% 3%	7% 5% 5%	10% 7% 7%
	Pengembangan Kawasan Berorientasi Transit	Permen ATR/BPN 16/2017 (Mandat)	Jml titik	0	15 15 11	25 25 17	35 35 23
EEPP Efisiensi Energi dengan Perubahan Perilaku	Eco Driving — mobil & motor	Keputusan Menakertrans Nomor 269 Tahun 2014 UN Framework	% kendaraan	0	7% 7% 7%	9% 9% 9%	11% 11% 11%
	Eco Driving — bus & truk	Keputusan Menakertrans Nomor 269 Tahun 2014 UN Framework	% kendaraan	0	15% 15% 10%	20% 20% 14%	25% 25% 18%
	Area Traffic Controlled System (ATCS)	Renstra DJPD 2020-2024	Jumlah kota	1 (25 titik)	16 16 16	26 26 26	36 36 36

*Setiap sel menampilkan tiga angka skenario

1.264

1.242

1.220

Optimis

Moderat

Pesimis

Skenario Penurunan Emisi Transportasi Darat (2/2)

Agenda	Strategi	Referensi	Unit*	Baseline 2019	TAHUN (KUMULATIF)		
					2031-2040	2041-2050	2051-2060
PT Peningkatan Teknologi	Pembatasan usia/ peremajaan kendaraan	Sesuai pembatasan usia kendaraan berdasarkan peraturan daerah (10–20 tahun)					
	Fuel economy standard	Analisis ICCT	% kenaikan baseline	0%	4%	7%	10%
					3%	5%	7%
PBB Perubahan Bahan Bakar	Hybrid (HEV & PHEV)	Kebijakan Energi Nasional (KEN)					
	EV						
	Hydrogen						
	Biofuel						
	Other alternatives (E10/20)						
	CNG						

*Setiap sel menampilkan tiga angka skenario

1.264

1.242

1.220

Optimis

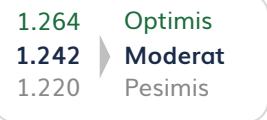
Moderat

Pesimis

Skenario Penurunan Emisi Transportasi KA

Agenda	Strategi	Referensi	Unit*	Baseline 2019	TAHUN (KUMULATIF)		
					2031–2040	2041–2050	2051–2060
TRLA Teknologi Ramah Lingkungan Alternatif	Pembangunan Kereta Api Perkotaan	Renstra DJKA 2025–2029*	Jumlah km	1.061	1.264 1.242 1.220	1.376 1.332 1.288	1.488 1.422 1.356
	Pembangunan Kereta Cepat Antar Kota	Renstra DJKA 2025–2029	Jumlah km	0	800 800 800	1.500 1.100 1.100	1.800 1.100 1.100
	Pembangunan KA Penumpang dan Barang Antar Kota	Renstra DJKA 2025–2029*	Jumlah km	6.325	7.829 7.661 7.491	8.673 8.337 7.997	9.517 9.013 8.503
EEPP Efisiensi Energi dengan Perubahan Perilaku	Pembangunan simpang tak sebidang baru**		Jumlah titik	384	509 459 444	609 509 484	709 559 524
	Double track	Renstra DJKA 2025–2029	Jumlah km	3.367	4.180 4.180 4.180	4.380 4.380 4.380	4.580 4.580 4.580
	Persinyalan & optimalisasi Gapeka	Renstra DJKA 2025–2029	% rute	58	82 80 78	94 90 86	100 100 94
PT Peningkatan Teknologi	Pembatasan usia untuk teknologi tertentu	PM Kemenhub No. 175 Tahun 2015			Sesuai PM Kemenhub No. 175 Tahun 2015 tentang Standar Spesifikasi Teknis Kereta Kecepatan Normal dengan Penggerak Sendiri		
PBB Perubahan Bahan Bakar	Elektrifikasi jalur kereta baru	Renstra DJKA 2025–2029***	Jumlah km	701	2.130 1.391 1.335	2.537 1.681 1.431	2.918 1.947 1.633
	B50 / Biofuel	KEN – Kebijakan Energi Nasional					

*Setiap sel menampilkan tiga angka skenario



*Mengacu pada rata-rata peningkatan capaian 2020-2024 dan target 2025-2029
**Membutuhkan masukan/data tambahan
***Laju penambahan mengacu pada peningkatan jalur terelektrifikasi di 2025-2030 (seperti: elektrifikasi jalur Cikarang-Cikampek, Padalarang-Cicalengka dan Surabaya-Sidoarjo), dengan penyesuaian untuk skenario optimis

Skenario Penurunan Emisi Transportasi Laut

Agenda	Strategi	Referensi	Unit*	Baseline 2019	TAHUN (KUMULATIF)		
					2031–2040	2041–2050	2051–2060
EEPP Efisiensi Energi dengan Perubahan Perilaku	SEEMP – Ship Energy Efficiency Management Plan - Voyage optimization - Anti fouling	Diskusi dengan DJPL	% unit kapal berizin internasional yang meng-implementasikan SEEMP	100%	100% 100%	100% 100%	100% 100%
			% unit kapal domestik yang mengimplemen-tasikan SEEMP	10%*	90% 80%	100% 80%	100% 90%
PT Peningkatan Teknologi	Peremajaan kapal	Data registrasi dan penghapusan kapal baru DJPL tahun 2008-2025	% peremajaan	4,22%	4,22% 4,22%	4,22% 4,22%	4,22% 4,22%
			% kapal dihapus per tahun (scrapping)	0,28%	0,28% 0,28%	0,28% 0,28%	0,28% 0,28%
	On-shore Power Supply (termasuk smart/green port)	Data rencana pengembangan OPS Pelindo s.d. 2030 dan realisasi implementasi OPS Pelindo s.d. 2024	% intensitas penggunaan OPS**	0	60% 40% 30%	80% 60% 50%	100% 80% 70%
PBB Perubahan Bahan Bakar	Biofuel	Kebijakan Energi Nasional (KEN)					
	Hidrogen						
	Amonia						
	Elektrik						
	Bio LNG						

*Setiap sel menampilkan tiga angka skenario

1.264

1.242

1.220

Optimis

Moderat

Pesimis





Keterangan:
*membutuhkan masukan/data tambahan
**berdasarkan data Pelindo, diasumsikan sampai tahun 2024, intensitas penggunaan OPS ada di 11%. Skenario jangka panjang tidak menghitung penambahan OPS karena menjadi wewenang operator, namun kebijakan terkait utilisasi OPS diusulkan untuk dimasukkan ke dalam arah kebijakan untuk mencapai target dekarbonisasi jangka panjang

Skenario Penurunan Emisi Transportasi Udara (1/2)

Sejalan dengan keberadaan target dalam State Action Plan 2025, studi ini tidak menggunakan skenario optimis/pesimis untuk transportasi udara.

Agenda	Strategi	Referensi	Unit	Baseline 2019	Tahun*					
					2035	2040	2045	2050	2055	2060
EEPP Efisiensi Energi dengan Perubahan Perilaku	Direct Routes	State Action Plan 2025	Konsumsi bahan bakar setelah diterapkan aksi mitigasi (ton)	3.881.753	4.240.155	5.891.472	7.323.981	8.916.316	10.854.847**	13.214.841**
	PBN – Performance-based Navigation									
	UPR – User Preferred Route									
	ATFM – Air Traffic Flow Management									
	Single engine taxi									
	Continuous descent arrival									
	Optimum flight level									
	Reducing landing flaps									
	Idle reverse thrust on landing									
	Optimum climb									
	Optimise centre of gravity									
	Reduce unnecessary extra weight									
	Penggunaan GPU (Ground Power Unit) dan mengurangi penggunaan APU									
	Fuel tankering									
	PACKs OFF saat take off									
	Water management									
	Penggunaan bandara alternatif terdekat									
	Optimisasi cost indeks									
	Reduction of contingency fuel from 10% to 6% for international flights									
	Drone Barang	Kemenperin (Peta Jalan Industri 4.0)	Jumlah kota	0	0	1	2	5	8	8
	Urban Air Mobility	Asta Cita Presiden Prabowo (Mandat)	Jumlah kota	0	0	1	2	3	4	5

*Implementasi aksi bertahap untuk mencapai level emisi sesuai regulasi Ditjen Perhubungan Udara, State Action Plan 2025

**dihitung dengan menggunakan laju pertumbuhan sampai 2050 pada SAP

Skenario Penurunan Emisi Transportasi Udara (2/2)

Sejalan dengan keberadaan target dalam State Action Plan 2025, studi ini tidak menggunakan skenario optimis/pesimis untuk transportasi udara.

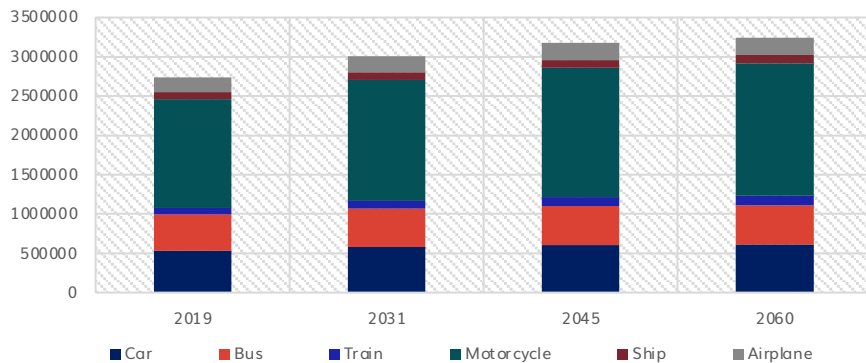
Agenda	Strategi	Referensi	Unit	Baseline 2019	Tahun*					
					2035	2040	2045	2050	2055	2060
PT Peningkatan Teknologi	Peremajaan Pesawat	State Action Plan 2025	Konsumsi bahan bakar setelah diterapkan aksi mitigasi (ton)	Target kuantitatif mengacu pada State Action Plan 2025 yang terintegrasi dalam capaian konsumsi bahan bakar setelah diterapkan aksi mitigasi dalam Agenda EEPP						
PBB Perubahan Bahan Bakar	SAF – Sustainable Aviation Fuel	KEN – Kebijakan Energi Nasional dan Peta Jalan SAF Indonesia								
	Hydrogen	KEN – Kebijakan Energi Nasional								

*Implementasi aksi bertahap untuk mencapai level emisi sesuai regulasi Ditjen Perhubungan Udara, State Action Plan 2025

Proyeksi Aktivitas Transportasi Angkutan Penumpang dan Barang

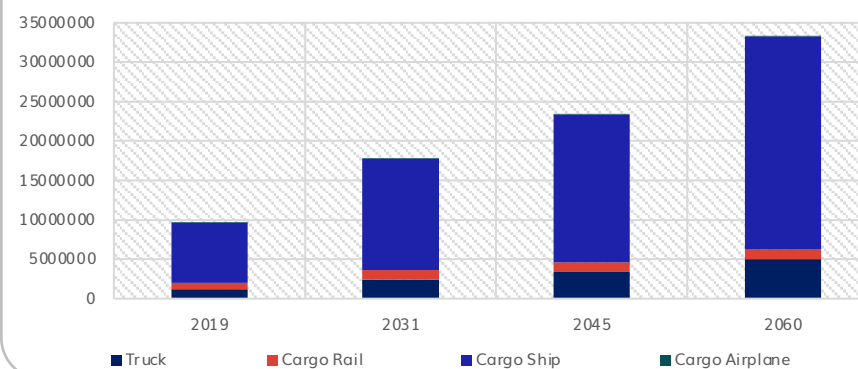
Jumlah penumpang per km (passenger-km)

Dominasi sepeda motor dan mobil (+25% dari 2019 -> 2060)



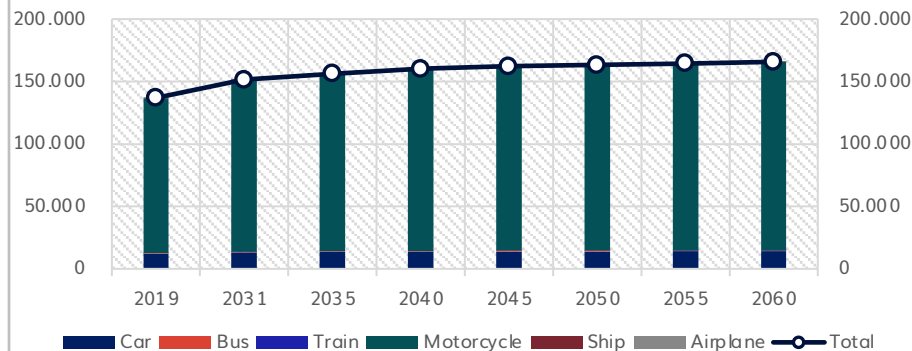
Ton barang per km (ton-km)

Jumlah ton barang dengan kapal mendominasi disusul truk



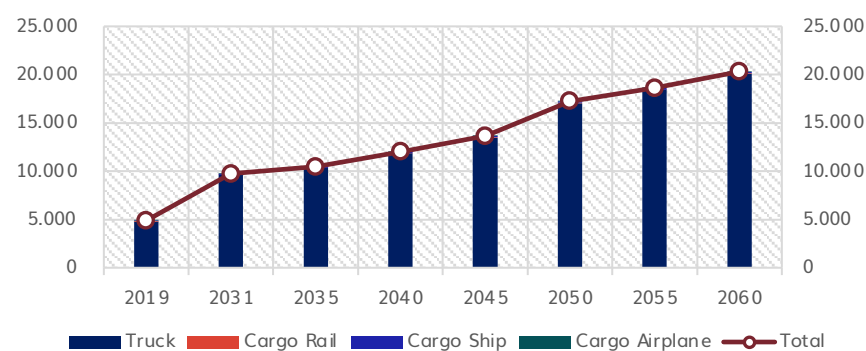
Demand pergerakan penumpang (juta trip)

Total trip stabil dari 140 juta (2019) ke 160 juta (2060)



Demand pergerakan barang (juta trip)

Berdasarkan trip, truk mendominasi 95% pergerakan



HIGHLIGHT STRATEGIS

3x Demand Barang
Demand barang meningkat tiga kali lipat dari 2019 ke 2060

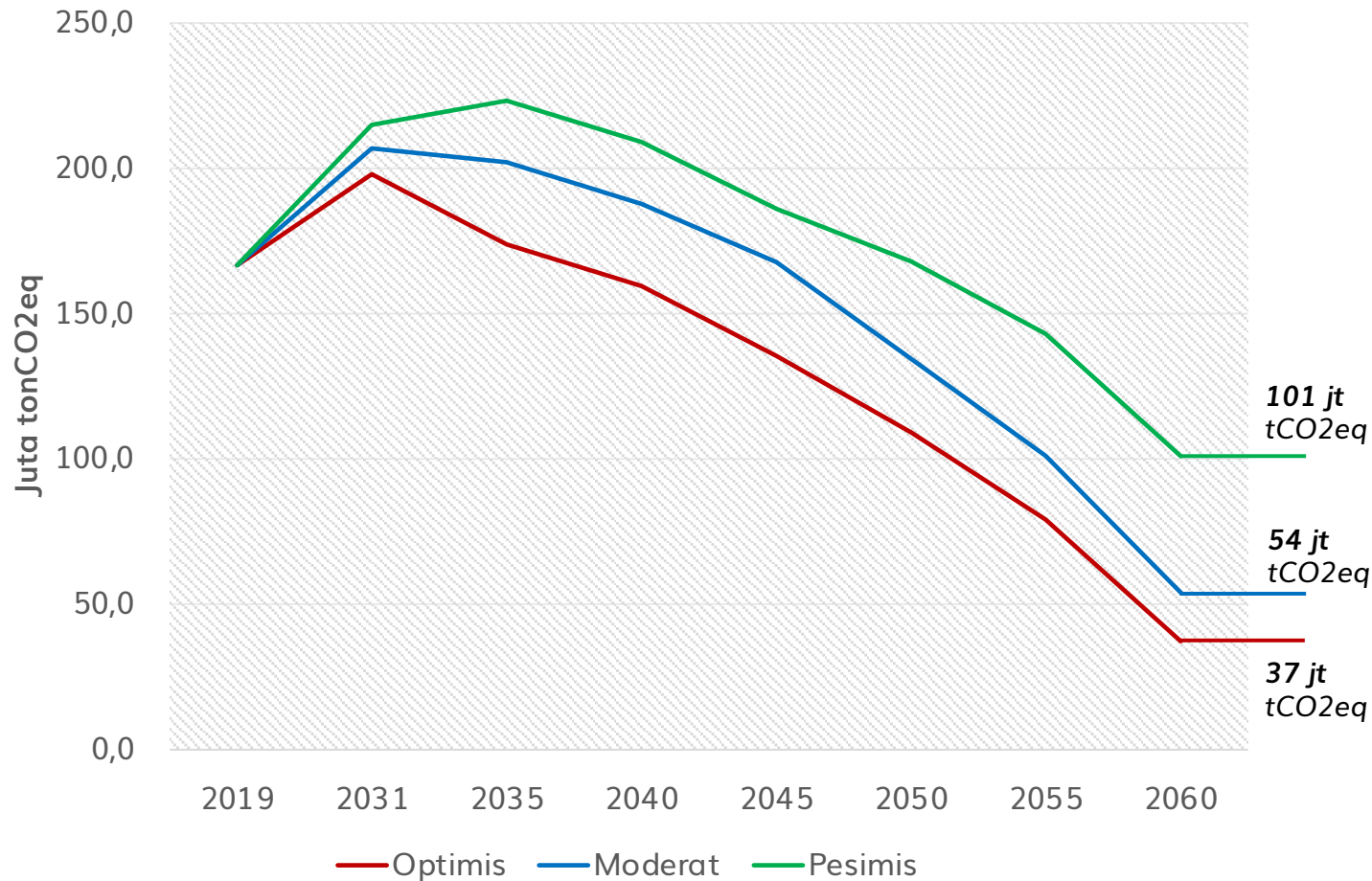
>95% truk
Truk mendominasi pergerakan, meskipun jumlah barang yang didistribusikan kapal lebih besar.

54 jt tCO₂eq
Sisa emisi dari skenario moderat

>70% kend. pribadi
Dominasi kendaraan pribadi tetap tinggi dalam skala nasional

Pertumbuhan stabil
Angkutan penumpang bertumbuh secara stabil

Trayektori Emisi Transportasi – Pesimis Moderat Optimis



HIGHLIGHT STRATEGIS

101 jt tCO₂eq

Emisi tersisa untuk skenario pesimis, ~80% lebih besar dari moderat

-60%

Emisi optimis lebih rendah dari pesimis

54 jt tCO₂eq

Sisa emisi dari skenario moderat

STRATEGI KRUSIAL



Fuel economy standard kendaraan



Elektrifikasi kendaraan (EV & PHEV)



Pengembangan kendaraan hidrogen

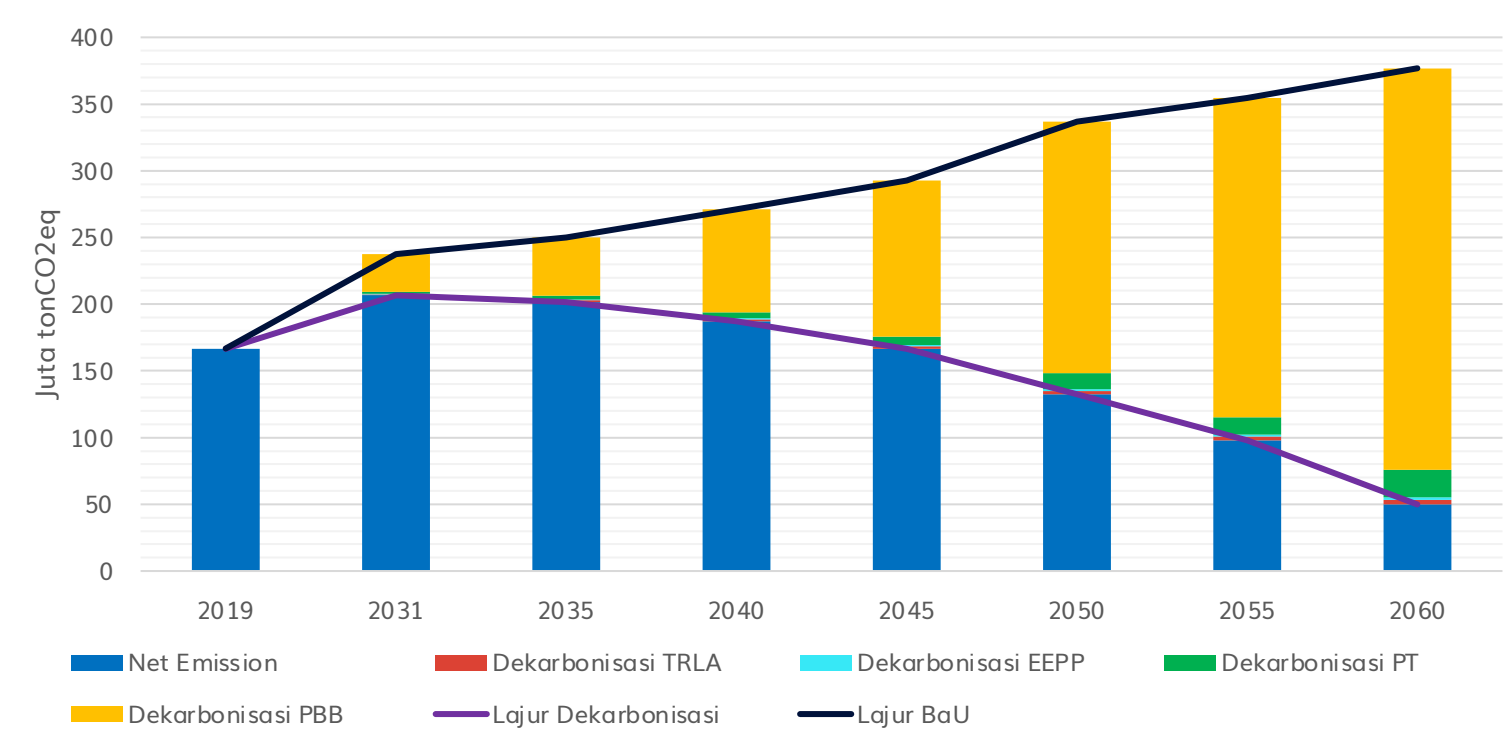


Pembangunan angkutan umum massal



Biofuel & SAF penerbangan

Trayektori Emisi Transportasi



Intensitas	2019	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Penumpang: ton CO ₂ eq/pass-km	39.1	36.4	33.0	29.7	26.3	19.4	12.4	5.5
Barang: ton CO ₂ eq/ton-km	6.6	6.6	5.1	3.7	2.3	1.7	1.1	0.5

TRLA: Teknologi Ramah Lingkungan Alternatif ; EEPP: Efisiensi Energi dengan Perubahan Perilaku; PT: Peningkatan Teknologi; PBB: Perubahan Bahan Bakar

HIGHLIGHT PENURUNAN EMISI (2060)

79,9%

~300 Jt tCO₂eq

Perubahan
Bahan Bakar (PBB)

0,9%

~3,3 Jt tCO₂eq

Teknologi Ramah
Lingkungan Alternatif

CAPAIAN PADA TAHUN 2060

86,76%

~326 juta tCO₂eq

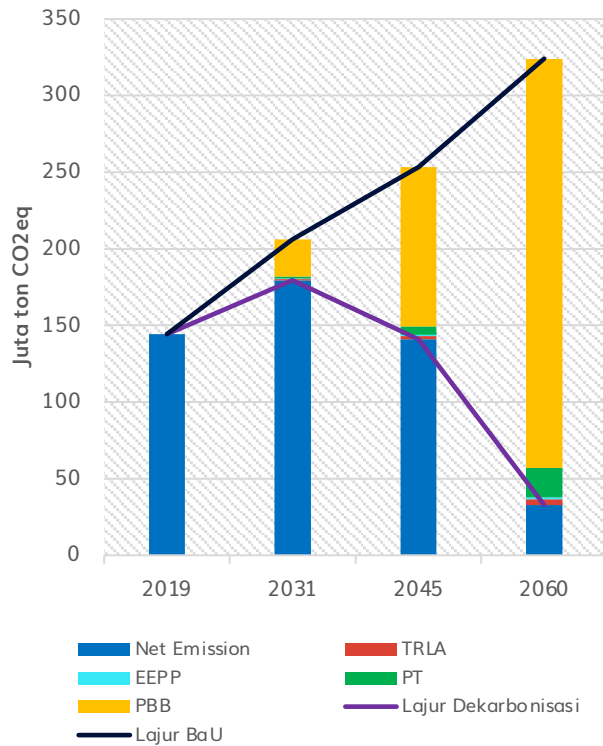
emisi berkurang
dibanding BaU

STRATEGI KRUSIAL

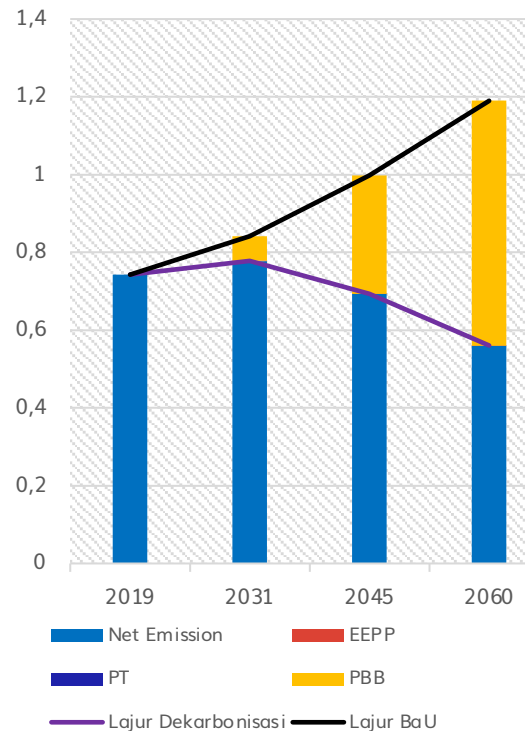
- Fuel economy standard
- Elektrifikasi kendaraan (EV & PHEV)
- Hydrogen vehicle
- Pembangunan angkutan umum (barang & penumpang)
- Alternatif fuel lainnya (biofuel, SAF)

Trayektori Emisi Transportasi Berdasarkan Sub-Sektor

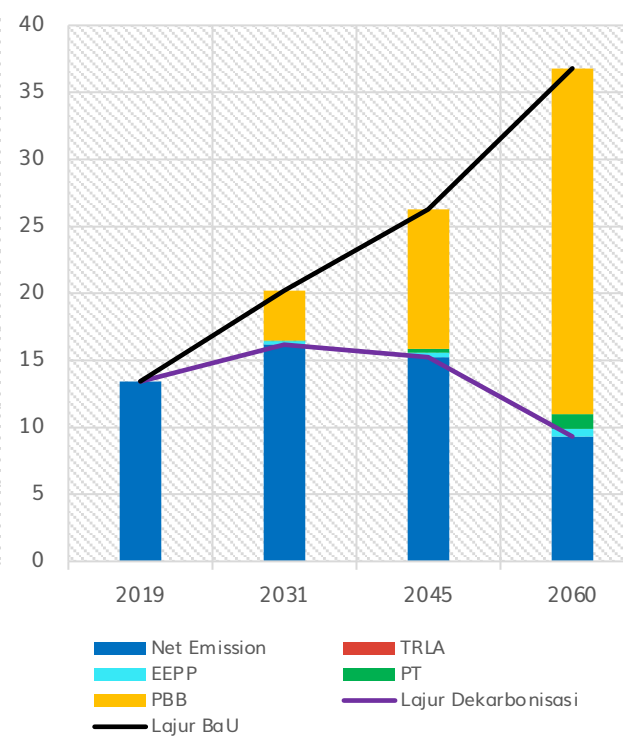
Darat



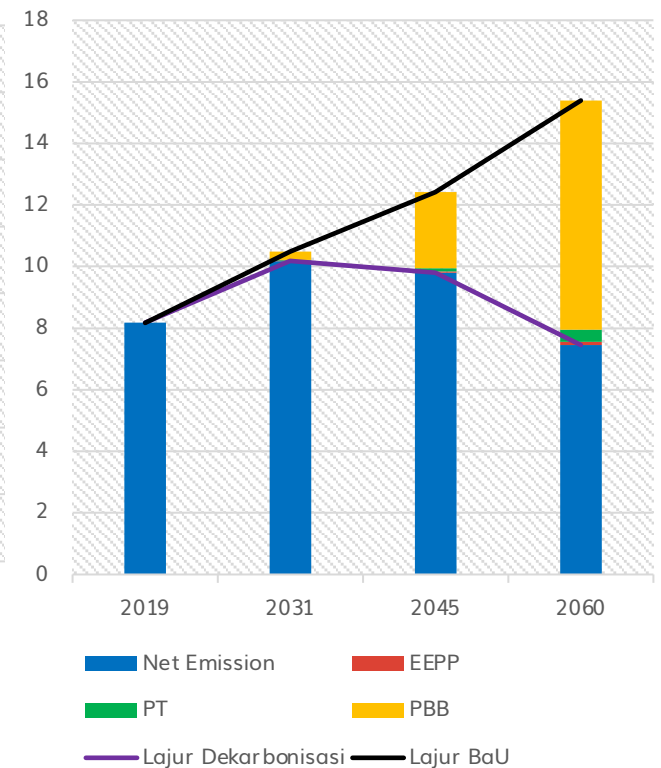
KA



Laut



Udara



–90% vs BaU

Emisi dan penurunan tertinggi terjadi untuk angkutan darat (~90% dari BaU).

–52% vs BaU

Emisi KA meningkat dengan pembangunan infrastruktur dan sebagai enabler penurunan emisi darat.

–74% vs BaU

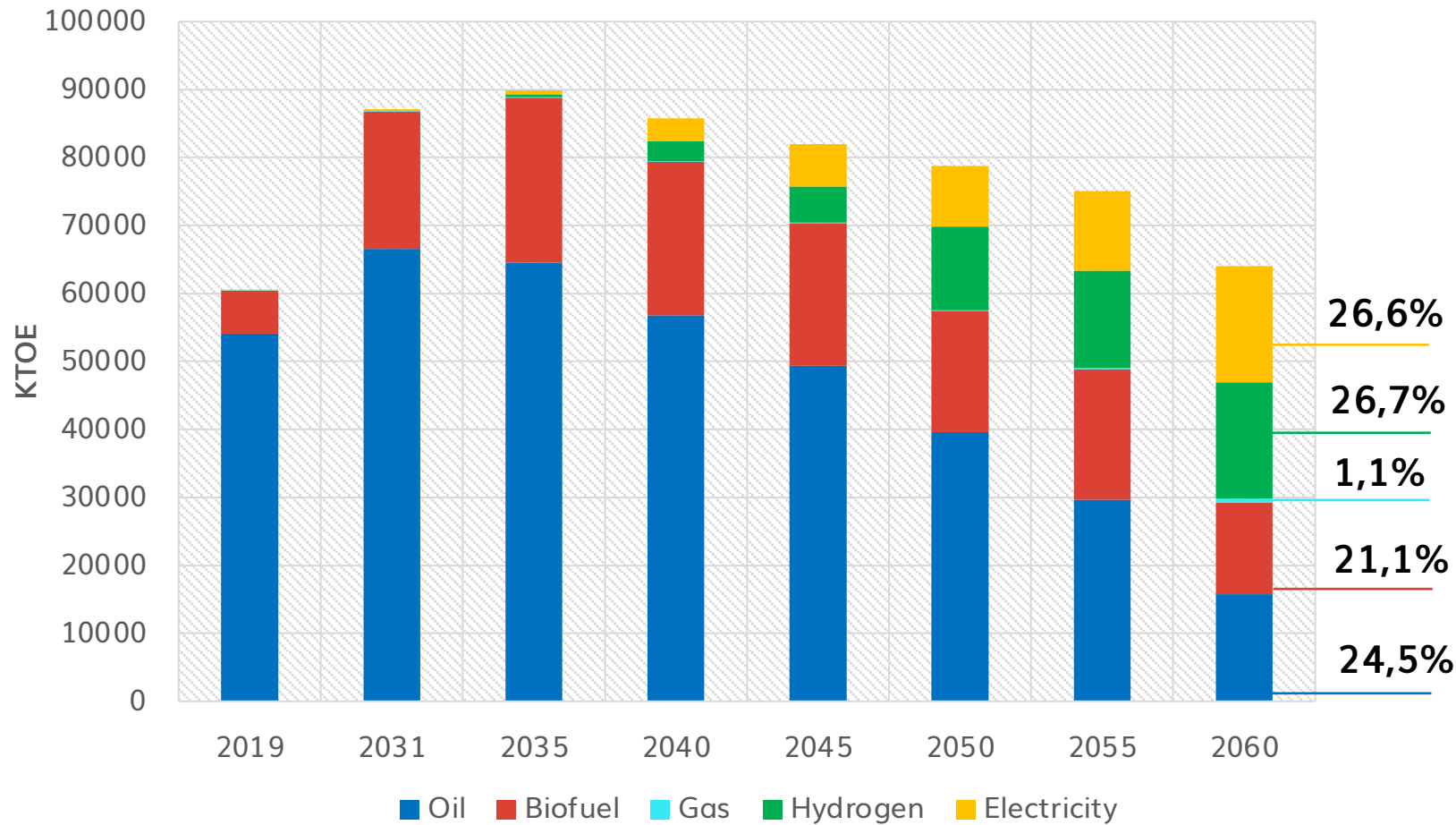
Emisi laut meningkat didorong perannya untuk akselerasi ekonomi (ekspor dan impor).

–51% vs BaU

Emisi udara menurun dengan dukungan implementasi SAF (~51%).

TRLA: Teknologi Ramah Lingkungan Alternatif ; EEPP: Efisiensi Energi dengan Perubahan Perilaku; PT: Peningkatan Teknologi; PBB: Perubahan Bahan Bakar

Trayektori Bauran Energi 2019-2060 Sektor Transportasi



HIGHLIGHT PERUBAHAN BAURAN ENERGI

Perubahan Fossil Fuel (Oil+biofuel) **99,9%** di 2019
~60 juta TOE

46,6% di 2060
~29 juta TOE

HIGHLIGHT PENGGUNAAN LISTRIK

Penggunaan Listrik **0%** di 2019
~0

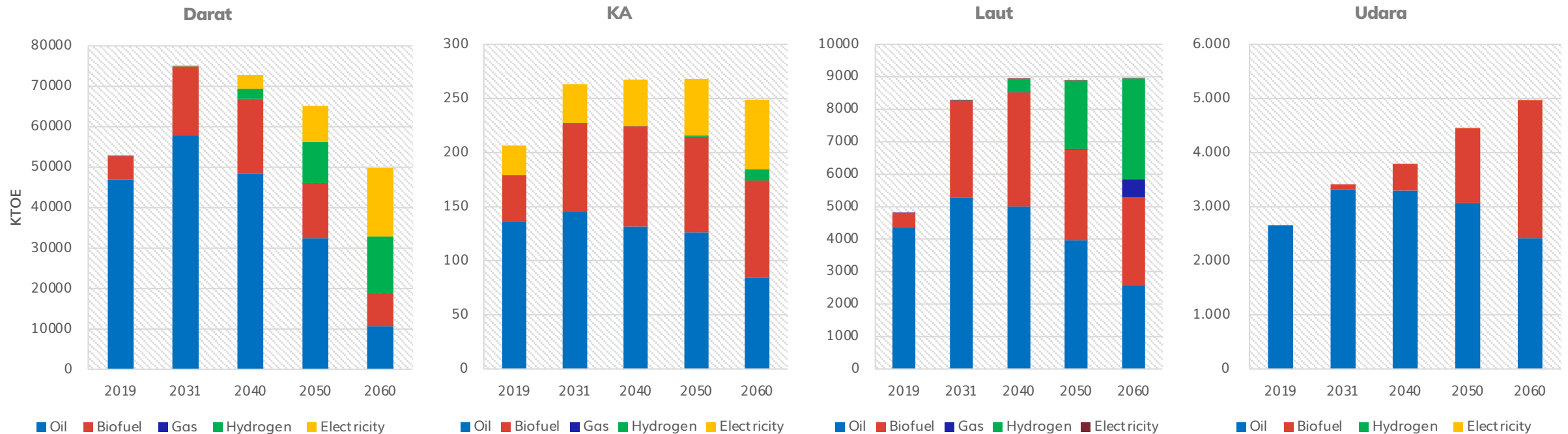
26,6% di 2060
~17 juta TOE

HIGHLIGHT PENGGUNAAN HIDROGEN

Penggunaan Hidrogen **0%** di 2019
~0

26,7% di 2060
~17 juta TOE

Trayektori Bauran Energi 2019-2060 Berdasarkan Sub-Sektor



Transformasi Paling Drastis

Sektor darat menunjukkan transformasi paling drastis — BBM digantikan oleh listrik dan mulai didukung hidrogen.

Listrik dan hidrogen Makin Dominan

Energi listrik dan biofuel menjadi dominan secara konsisten hingga 2060, menandakan arah jelas menuju sistem transportasi rel yang rendah emisi.

Transisi BBM

Minyak dan biofuel tetap mendominasi hingga 2060 untuk laut, dengan transisi energi bersih (hidrogen/listrik) berjalan lebih lambat.

SAF & Hidrogen Naik Bertahap

Penggunaan hidrogen meningkat di beberapa sektor (terutama darat dan laut), namun porsinya masih relatif kecil dibanding listrik dan biofuel.

8 Arah Kebijakan Dekarbonisasi dan Transisi Energi Transportasi (1/2)

ARAH KEBIJAKAN	2026–2030	2031–2040	2041–2050	2051–2060
	Potensi Penurunan Emisi: ~36-43-jt tCO ₂ eq	Potensi Penurunan Emisi: ~83-104jt tCO ₂ eq	Potensi Penurunan Emisi: ~204-221jt tCO ₂ eq	Potensi Penurunan Emisi: ~326-357jt tCO ₂ eq
01 Ekosistem  Percepatan ekosistem teknologi rendah karbon	– Pengembangan industri kendaraan rendah karbon (EV, hybrid, biofuel) – Penguatan riset, inovasi & ekosistem SPKLU/SPBG – Peningkatan kapasitas industri SAF	– Pengembangan ekosistem daur ulang baterai – Peningkatan kapasitas industri sel bahan bakar dan hidrogen	– Ekspansi ekosistem hidrogen, SAF, ammonia & wind-assisted propulsion	– Ekosistem teknologi rendah karbon penuh lintas moda – Standardisasi & sertifikasi teknologi rendah karbon
02 Infrastruktur  Transisi infrastruktur pergerakan berkelanjutan	– Pembangunan angkutan umum, mobilitas aktif & elektrifikasi kereta – DT&DDT, persimpangan tidak sebidang – Dry port & Pembangunan onshore power supply pelabuhan	– Jaringan kereta perkotaan dan HSR – Perluasan ekosistem angkutan umum (NMT dan Integrasi Antar Moda) – peningkatan utilitas onshore power supply	– Perluasan green port – Infrastruktur ekosistem bandara rendah karbon – Pengembangan UAM (barang & orang)	– Integrasi penuh infrastruktur antarmoda rendah karbon – Ekspansi angkutan umum terintegrasi nasional
03 Operasi  Optimalisasi efisiensi energi dalam kegiatan operasi	– Penerapan eco-driving, ATCS & optimalisasi operasional angkutan – Implementasi SEEMP dan 100% anti fouling	– Optimasi energi kereta & PBN/ATM penerbangan – SOP efisiensi operasional (single engine taxi, optimum CG)	– Voyage optimization & otomatisasi bongkar muat pelabuhan – Direct routes & user preferred routes penerbangan	– Manajemen energi digital terintegrasi seluruh moda – Audit & pelaporan efisiensi energi wajib seluruh operator
04 Fiskal  Permintaan transportasi rendah karbon	– Insentif kendaraan rendah karbon (subsidi, PPnBM, monetary incentive) – Dukungan subsidi angkutan umum perkotaan	– Skema tarif angkutan umum inovatif berbasis mobility-as-a-service – Skema demand aggregation angkutan rendah emisi	– Penghapusan subsidi BBM bertahap – Insentif green corridor & operasional rendah emisi	– Net-zero incentive scheme & pembiayaan transformasi nasional

8 Arah Kebijakan Dekarbonisasi dan Transisi Energi Transportasi (2/2)

ARAH KEBIJAKAN	2025–2030	2031–2040	2041–2050	2051–2060
	Potensi Penurunan Emisi: ~36-43-jt tCO ₂ eq	Potensi Penurunan Emisi: ~83-104jt tCO ₂ eq	Potensi Penurunan Emisi: ~204-221jt tCO ₂ eq	Potensi Penurunan Emisi: ~326-357jt tCO ₂ eq
05  Tata Ruang Tata ruang berorientasi mobilitas berkelanjutan	– Kebijakan tata ruang mendukung transportasi rendah karbon – Pengembangan TOD, mixed-use & kawasan industri berkelanjutan	– Tata ruang mengakomodasi infrastruktur pendukung EV/H₂ – Perluasan TOD berbasis angkutan massal – Kawasan industri berbasis mobilitas rendah karbon	– Smart city berbasis mobilitas berkelanjutan – Penerapan zero-emission zone di kawasan perkotaan	– Tata ruang net-zero mobility penuh – Seluruh kawasan baru wajib terintegrasi angkutan publik
06  Pengendalian Pengendalian transportasi berbahan bakar fosil	– Penerapan standar emisi kendaraan – Pengendalian BBM (LEZ dan ERP) dan penerapan zero ODOL – Roadmap <i>fuel economy standard</i>	– Sales mandate kendaraan rendah karbon – Pembatasan usia kendaraan & pengendalian kereta diesel	– Phase-out kendaraan BBM di segmen tertentu – Penerapan ZEV (Zero Emission Vehicle) mandate	– Larangan penjualan kendaraan BBM baru – Fleet rendah karbon nasional penuh
07  Tata Kelola Perbaikan tata kelola dekarbonisasi	– Sistem inventarisasi & MRV transportasi – Regulasi EV/H₂ & roadmap dekarbonisasi transportasi	– MRV pelayaran & penerbangan internasional/domestik – Koordinasi kelembagaan perdagangan karbon	– MRV digital terintegrasi seluruh moda – Regulasi ZEV, audit emisi & pembaruan SNDC	– Integrasi pelaporan emisi dengan UNFCCC
08  Pembiayaan Pembiayaan inovatif dan kreatif	– Skema pembiayaan kreatif (PPP, LVC, blended finance, dan skema lainnya)	– Akses climate fund & KPS angkutan rendah emisi – Pengembangan H₂ fund & mekanisme pembiayaan SAF	– Perluasan green finance & instrumen berbasis karbon – Blended finance skala besar infrastruktur net-zero	– Transition finance penuh & net-zero investment plan – Transparansi & pelaporan green finance transportasi



Kementerian Perhubungan
Republik Indonesia

Terima kasih

UKPACT



WRI INDONESIA

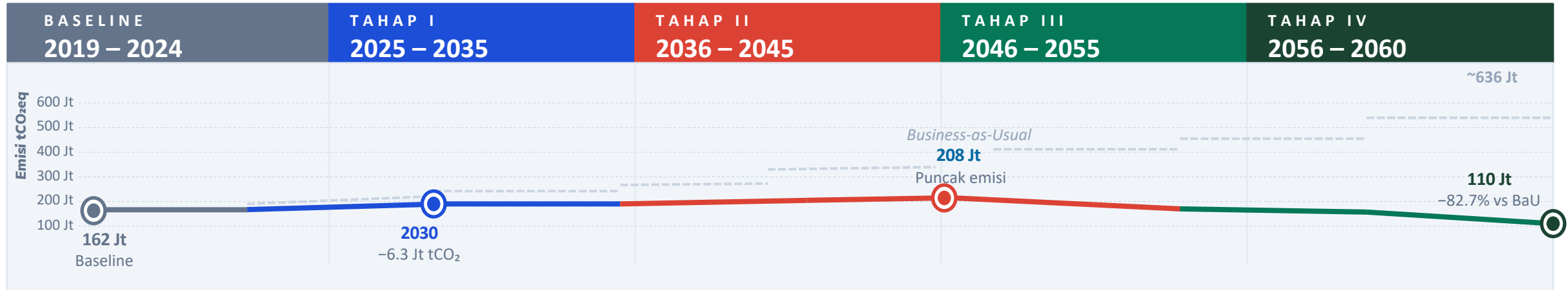


Tanggapan dapat diisi pada link/QR berikut:



bit.ly/TanggapanPetaJalan

Jalur Kebijakan Transisi Dekarbonisasi Transportasi



BBM 99% · Biofuel 1%

Kondisi Awal

Transportasi bertumpu hampir sepenuhnya pada BBM fosil. Emisi 162 Jt tCO₂eq, 12% dari emisi nasional. Belum ada kerangka dekarbonisasi sistemik.

KEBIJAKAN KUNCI

Angkutan berbahan bakar minyak mendominasi seluruh moda. Tidak ada standar emisi yang ketat, insentif transisi energi, maupun regulasi phase-out. Angkutan umum belum terintegrasi.

BBM 80% · Biofuel 12% · Listrik 5%

Konsolidasi & Optimalisasi

Meletakkan fondasi regulasi, ekosistem EV, dan infrastruktur angkutan massal. Target NDC 2030 menjadi tonggak pertama.

KEBIJAKAN KUNCI

Penetapan regulasi EV & standar emisi Euro 4/5. Pembangunan BRT, LRT/MRT, dan ekosistem SPKLU. Insentif kendaraan rendah karbon diperkenalkan. Sistem MRV transportasi diinisiasi.

BBM 55% · Biofuel 22% · Listrik 15% · H₂ 3%

Akselerasi Transisi

Elektrifikasi massal, ekspansi angkutan umum terintegrasi, dan mekanisme pasar karbon diaktifkan. Emisi mulai berbalik turun.

KEBIJAKAN KUNCI

Pengendalian ICE dan mandat penjualan EV diberlakukan. Jaringan rel perkotaan & HSR diperluas. Carbon market & ETS transportasi. SAF 10% untuk penerbangan.

BBM 35% · Biofuel 25% · Listrik 26% · H₂ 14%

Transformasi Penuh

Teknologi hidrogen dan zero-emission memasuki skala komersial. Phase-out BBM dimulai. Emisi turun tajam ke bawah separuh puncak.

KEBIJAKAN KUNCI

Kendaraan hidrogen & fuel cell beroperasi komersial. ZEV mandate & zero-emission zone di kota besar. Subsidi BBM dihapus. ETS penuh. SAF 30%. Green port penuh beroperasi.

BBM 9% · Biofuel 21% · Listrik 26% · H₂ 16%

Dekarbonisasi Berkelanjutan

Seluruh sistem transportasi berkonvergensi menuju nol emisi. Teknologi bersih menjadi satu-satunya pilihan baru yang tersedia.

KEBIJAKAN KUNCI

Larangan penjualan kendaraan BBM baru. Seluruh armada publik zero-emission. Full carbon pricing lintas moda. SAF 40%. Net-zero investment plan dieksekusi. Pelaporan emisi terintegrasi UNFCCC.

Rekapitulasi kebutuhan energi, teknologi, dan parameter kunci sektor transportasi

PARAMETER	Baseline 2019	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
KEBUTUHAN ENERGI SEKTOR TRANSPORTASI								
Kebutuhan BBM (juta liter)	61.856	71.212	70.415	70.056	69.809	56.905	52.839	37.291
Kebutuhan biofuel (juta liter)	5.894	17.426	32.211	38.938	43.558	36.751	37.621	31.257
Kebutuhan listrik (GWh)	301	4.008	8.063	48.649	99.805	147.907	215.634	336.307
Kebutuhan gas (juta MMBtu)	1.105	11.608	19.270	33.421	55.764	79.012	123.478	189.696
Kebutuhan hidrogen (juta ton)	–	–	65	514	1.190	2.931	4.046	5.523
Bauran SAF – bahan bakar penerbangan (%)	0%	2%	4%	9%	18%	28%	37%	47%
MODE SHARE & TOTAL DEMAND TRANSPORTASI								
Mode share angkutan umum – Bus (%)	17,08%	16,60%	16,51%	16,59%	16,83%	17,23%	17,56%	18,04%
Mode share angkutan umum – Kereta (%)	3,00%	4,93%	6,02%	7,19%	8,59%	10,13%	11,59%	13,48%
Total passenger-km angkutan umum (miliar p-km)	550.119	647.346	695.520	748.151	808.839	875.791	939.189	1.023.218
Mode share angkutan barang berbasis KA (%)	8,47%	6,43%	4,93%	3,63%	2,77%	2,36%	1,90%	1,57%
Total ton-km angkutan barang KA (miliar t-km)	762.292	954.269	966.814	974.078	982.296	991.594	1.002.114	1.014.016

Peralihan Moda ke Bus Rapid Transit (1/2)

Tabel Target Aksi Peralihan Moda ke BRT**

No	Nama Aksi	Target Penumpang Tahun 2030 (juta)
1	Transjakarta	588,18
2	E-BRT Sarbagita	8,1
3	Trans Sarbagita & Trans Metro Dewata	2,8
4	Trans Metro Deli	7,2
	BRT Mebidang	-
5	Trans Surabaya (Suroboyo Bus)	7,0
6	Trans Jatim	14,7
7	Trans Semarang	18,7
8	Trans Jateng	18,6
9	TemanBus — Bandung	3,4
10	TemanBus — Solo	5,5
11	TemanBus — Denpasar	2,5

No	Nama Aksi	Target Penumpang Tahun 2030 (juta)
12	TemanBus — Yogyakarta	1,8
13	TemanBus — Banyumas	2,4
14	TemanBus — Medan	1,8
15	TemanBus — Palembang	1,2
16	TemanBus — Balikpapan	1,1
17	TemanBus — Surabaya	1
18	TemanBus — Makassar	1,8
19	TemanBus — Banjarmasin	0,6
20	TemanBus — Manado	1,1
21	TemanBus — Pontianak	1,2
22	TemanBus — Samarinda	1,2
23	TemanBus — Malang	1,2

Sumber: Hasil konsultasi dengan Pemerintah Daerah, operator, dan DJPD

**Nama Aksi to be updated dengan rencana Teman Bus dan BRT Pemerintah Daerah



780 juta
target penumpang angkutan massal perkotaan 2030

Sumber: Renstra DJPD 2024-2029

Penumpang baru beralih ke BRT

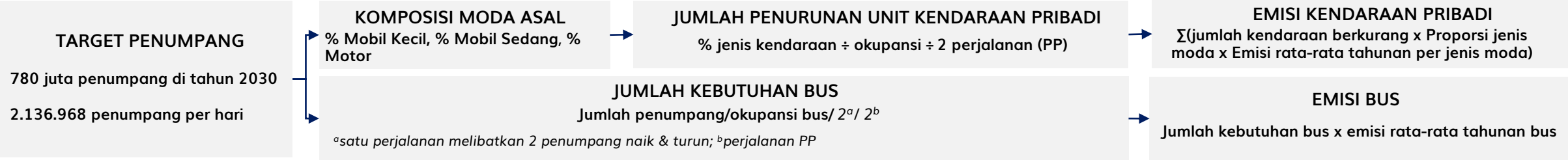
693 juta pnp per tahun atau 1,89 juta pnp/hari dibandingkan baseline 2010^a

^aBaseline 2010: Pnp Transjakarta (~87 jt); BRT lain belum ada

Asumsi Dasar	Parameter	Mobil Kecil	Mobil Sedang	Sepeda Motor	Bus
	Share/ Proporsi Beralih*	81% (dari total 28,4% mobil penumpang)	19% (dari total 28,4% mobil penumpang)	71,6% dari total kendaraan	-
	Emisi (kg CO ₂ / unit/ tahun)*	3.052	3.596	826	38.394
	Okupansi (pnp/kendaraan)	1,8*	1,8*	1,55*	50

*Hasil survei di 6 kota Indonesia

Peralihan Moda ke Bus Rapid Transit (2/2)



Moda Asal	Penumpang Beralih (pnp/hari)	Jumlah Kendaraan Berkurang/ Kebutuhan Bus (unit/hari)	Emisi Rata-rata Kendaraan (kg CO ₂ /unit/tahun)	Potensi Penurunan Emisi Kendaraan Pribadi (ton CO ₂ /tahun)	Emisi Bus (ton CO ₂ /tahun)
Mobil Kecil	539.260	121.333	3.052	370.369.511	—
Mobil Sedang		28.461	3.596	102.342.945	—
Sepeda Motor	1.359.542	453.181	826	313.918.203	—
Kebutuhan Bus ICE – Moderat	—	1.437	38.394	—	55.164
Kebutuhan Bus Listrik – Moderat	—	8.057	—	—	—
Kebutuhan Bus Listrik – Optimis	—	9.494	—	—	—

POTENSI PENURUNAN EMISI
Emisi kendaraan pribadi – Emisi bus
ton CO₂/tahun

Skenario Moderat
Emisi kendaraan pribadi – Emisi bus ICE

731.466 ton CO₂

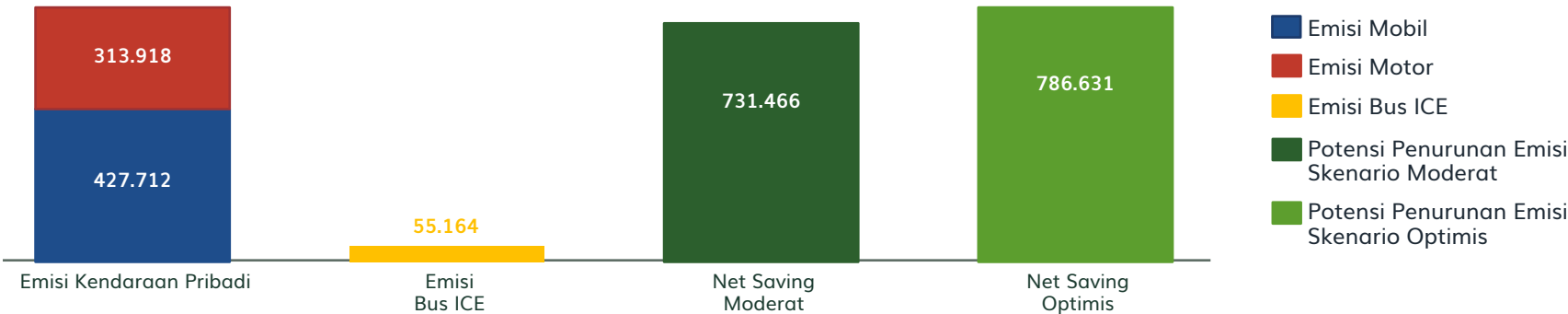
~80% bus listrik, dengan anggapan emisi langsung = 0

Skenario Optimis
Emisi kendaraan pribadi

786.631 ton CO₂

100% bus listrik, dengan anggapan emisi langsung = 0

Estimasi Penurunan Emisi Peralihan Moda ke BRT Tahun 2030 (ton CO₂/tahun)



Pengembangan Transit Oriented Development (TOD)

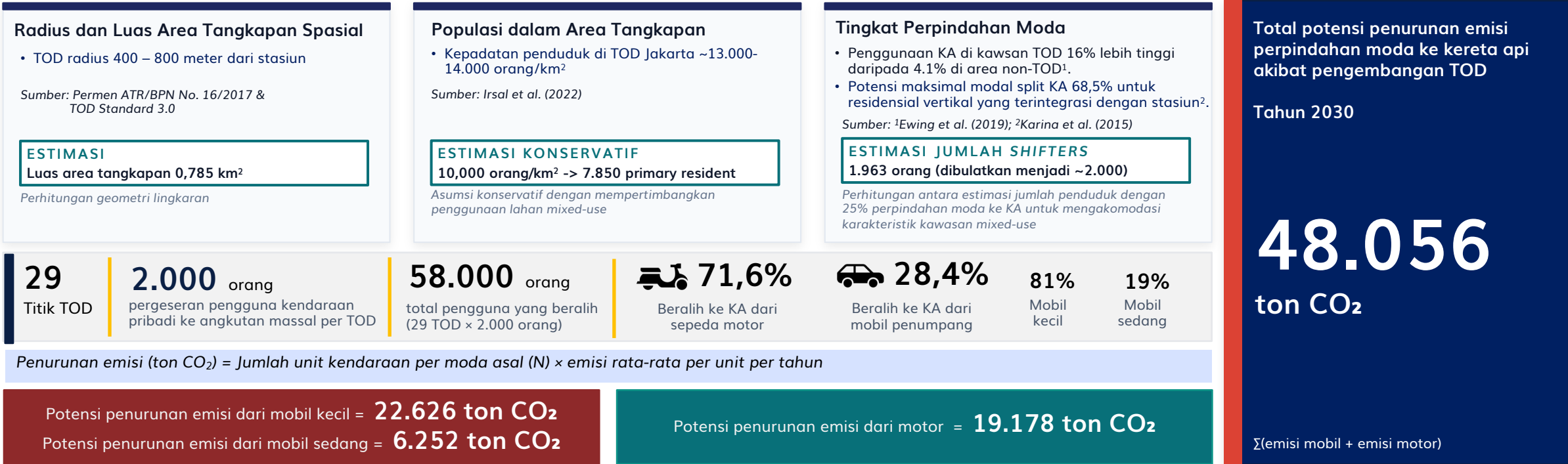
Tabel Target Aksi Pengembangan TOD

Program	Aktivitas	Target Akumulasi per Tahun 2030
TOD Jabodetabek	Pengembangan TOD baru Jabodetabek**	Terbangunnya 16 TOD di Jabodetabek
TOD Medan	Pengembangan TOD baru Medan*	Terbangunnya 13 TOD di Medan

*Data berdasarkan hasil konsultasi dengan Pemerintah Daerah

**Data dari BPTJ

Metode dan Perhitungan



Implementasi Area Traffic Control System (ATCS)

Tabel Target Aksi ATCS

Program	Aktivitas	Target Akumulasi per Tahun 2030
Peremajaan ATCS	Peremajaan ATCS pada beberapa persimpangan di Jabodetabek	Peremajaan 88 ATCS
Pembangunan ATCS	Pembangunan ATCS pada persimpangan di Medan*	Pembangunan 242 ATCS
	Pembangunan ATCS pada persimpangan di Surabaya*	Pembangunan 98 ATCS

*Data berdasarkan hasil konsultasi dengan Pemerintah Daerah

Metode dan Perhitungan



Peningkatan Bauran Biofuel (B50) dan Pemanfaatan Pertamina Green (E5) di Transportasi Darat

Metode Perhitungan



BIOSOLAR B50

Jenis kendaraan yang mnggunakan biosolar	Jumlah kendaraan (tahun 2024)	Asumsi jumlah kendaraan aktif	Jumlah kendaraan aktif (tahun 2024)	Jumlah kendaraan (tahun 2030)	Asumsi jumlah kendaraan aktif	Jumlah kendaraan aktif (tahun 2030)
truk ringan	5.649.663	70%	3.954.764	7.273.171	70%	5.091.220
truk berat	420.586	70%	294.410	541.447	70%	379.013
truk sangat berat	207.154	70%	145.008	266.683	70%	186.678
bus sedang	196.974	99%	195.004	246.998	99%	244.528
bus besar	97.017	99%	96.047	121.655	99%	120.439

Faktor emisi B35 = 1,7225 Kg CO₂/liter
Faktor emisi B50 = 1,325 Kg CO₂ /liter

22.495.436 ton CO₂
Potensi penurunan dari penggunaan B50 di 2030

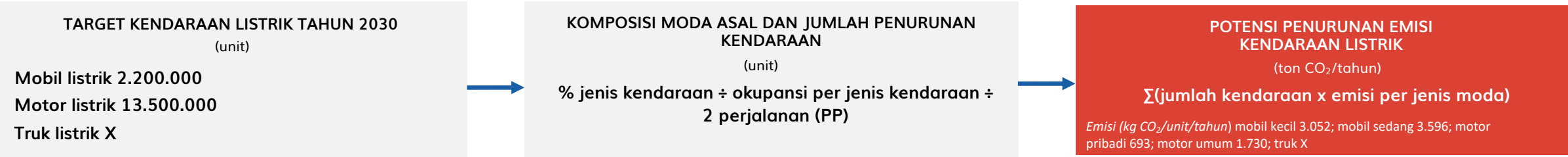
PERTAMAX E5

Jenis kendaraan yang mnggunakan pertamax	Jumlah kendaraan (tahun 2024)	Asumsi jumlah kendaraan aktif	Jumlah kendaraan aktif (tahun 2024)	Jumlah kendaraan (tahun 2030)	Asumsi jumlah kendaraan aktif	Jumlah kendaraan aktif (tahun 2030)
Mobil sedang pribadi	5.469.625	95%	5.196.144	7.150.811	95%	6.793.271

Faktor emisi Pertamina = 2,36 Kg CO₂/liter
Faktor emisi Pertamina E5 = 2,242 Kg CO₂ /liter

1.221.399 ton CO₂
Potensi penurunan dari penggunaan E5 di 2030

Kendaraan Listrik Berbasis Baterai (KBLBB)



Sumber: Target KemenESDM dan Hasil Analisis WRI

Penurunan Emisi (ton CO₂) = Jumlah Kendaraan (N) × Emisi Rata-rata per Unit per Tahun | Asumsi emisi KBLBB = 0 (sudah dihitung di pembangkit listrik)

Mobil Listrik Kecil	Mobil Listrik Sedang	Motor Listrik Pribadi	Motor Listrik Umum	Truk Listrik	TOTAL POTENSI PENURUNAN EMISI KBLBB
Jumlah target (Renstra ESDM): 96.345 unit <i>50% dari 192.260 mobil</i>	Jumlah target (Renstra ESDM): 96.345 unit <i>50% dari 192.260 mobil</i>	Jumlah target (Renstra ESDM): 248.219 unit	Jumlah target (Renstra ESDM): 70.010 unit	Jumlah Target: 81.000 unit	
Jumlah target (Tren Aktual*): 604.232 unit <i>50% dari 1,2 juta mobil</i>	Jumlah target (Tren Aktual*): 604.232 unit <i>50% dari 1,2 juta mobil</i>	Jumlah target (Tren Aktual): 1.963.751 unit <i>78% dari 2,5 juta motor</i>	Jumlah target (Tren Aktual): 553.878 <i>22% dari 2,5 juta motor</i>	<i>90% Truk Ringan</i> <i>10% Truk Berat</i>	
Rata-rata emisi tahunan (kg CO ₂ /unit): 3.052	Rata-rata emisi tahunan (kg CO ₂ /unit): 3.596	Rata-rata emisi tahunan (kg CO ₂ /unit): 826	Rata-rata emisi tahunan (kg CO ₂ /unit): 1.730	Rata-rata emisi tahunan (kg CO ₂ /unit): 14.101 Truk Ringan 22.464 Truk Berat	
Skenario Renstra 294.092 ton CO ₂	Skenario Renstra 346.447 ton CO ₂	Skenario Renstra 205.029 ton CO ₂	Skenario Renstra 121.118 ton CO ₂	1.209.921 ton CO ₂	
Skenario Optimis 1.844.414 ton CO ₂	Skenario Optimis 2.172.764 ton CO ₂	Skenario Optimis 1.622.058 ton CO ₂	Skenario Optimis 958.210 ton CO ₂		Skenario Renstra ESDM 2.176.607 ton CO ₂
					Skenario Optimis 7.807.368 ton CO ₂
					Scope 1 = 0 setelah beralih ke EV

Peralihan Moda ke Ferry Logistik



Formula: Penurunan Emisi = 2N truk × e truk = 400 × 37.100 kg CO₂ = 14.840.000 kg CO₂ = 14.840 ton CO₂/tahun (2030)

KAPAL RO-RO	ASUMSI EMISI TRUK	RUTE & CAKUPAN
Bobot kapal: ≥5.000 GT	Unit emisi: 37.100 kg CO ₂ /truk/tahun	Contoh rute: Jakarta – Surabaya
Kapasitas: 200 truk berat/perjalanan	Jenis: Truk berat & sangat berat	Jenis aksi: Pembukaan rute baru SSS
Frekuensi: 2 perjalanan/hari	BAU: Angkutan darat jarak jauh	Pertumbuhan: Linear 2026–2030
Total truk: 400 truk/hari/rute	Scope: Emisi langsung (Scope-1)	Catatan: Rute eksisting tidak dihitung

- Ferry logistik mendorong pergeseran angkutan barang antarkota jarak jauh dari truk ke kapal ferry Ro-Ro.
- Efisiensi energi angkutan laut per ton-km jauh lebih baik dari angkutan darat, sehingga setiap truk yang beralih menghasilkan penurunan emisi signifikan.

14.480

ton CO₂/tahun

Penurunan emisi dari shifting truk ke ferry logistik

Sumber: Hasil Analisis (2025) | Kapal Ro-Ro ≥5.000 GT | Rute: Jakarta–Surabaya (contoh)

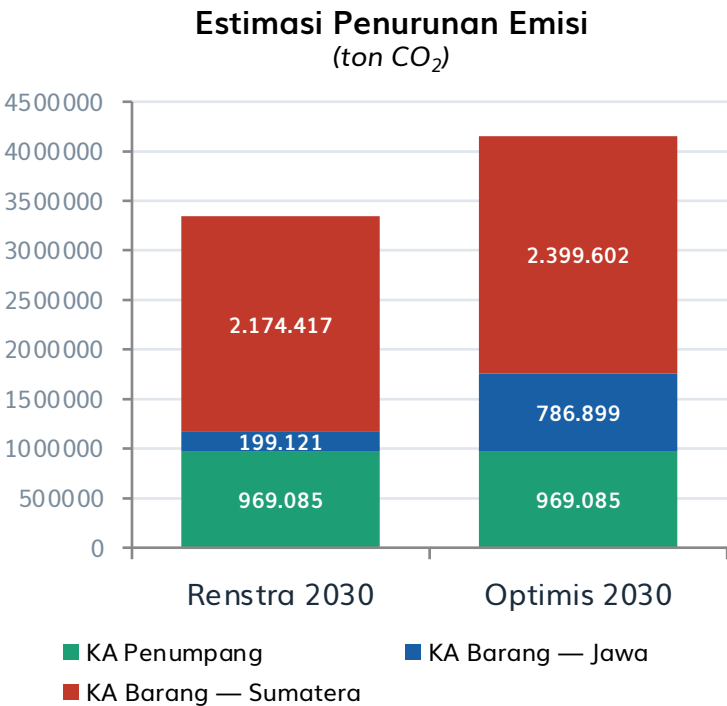
Peralihan Moda ke Kereta Api

Tabel Target Aksi Peralihan Moda ke Kereta Api Penumpang (dalam juta penumpang)*

No	Jaringan	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Beralih 2030	Metode
1	KRL Jabodetabek	328,15	335,59	345,66	356,03	366,71	377,71	389,04	264,73	Δ vs 2010
2	MRT Jakarta (Fase 1)	40,82	42,31	44,43	46,65	48,98	51,43	54,01	54,01	Total 2030
3	MRT Jakarta (Fase 2)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,63	22,63	22,63	Total 2030
4	LRT Jakarta (F1A & F1B)	1,23	1,30	1,60	5,40	7,90	8,30	8,70	8,70	Total 2030
5	LRT Jabodebek	21,06	21,21	22,27	23,38	24,55	25,78	27,07	27,07	Total 2030
6	KA Regional (SRRL Surabaya)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,52	3,52	Total 2030
7	KA Metropolitan Bandung	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,50	12,50	Total 2030
8	KA Lokal Perkotaan	12,12	12,27	12,89	13,53	14,21	14,92	15,67	3,54	Total 2030
9	KCI Lokalan	37,61	39,49	41,47	43,54	45,72	48,00	50,40	12,79	Total 2030
10	KRL Jogja-Solo	7,82	8,21	8,62	9,05	9,50	9,98	10,48	2,66	Inkremental
11	KA Bandara Railink	5,95	6,25	6,56	6,89	7,23	7,60	7,98	2,02	Inkremental
12	Subway Bali	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,47	1,47	Inkremental
13	KA Antar Kota	44,23	46,90	49,24	51,70	54,29	57,00	59,85	15,62	Total 2030
14	Kereta Cepat Jakarta Bandung	5,99	6,08	6,39	6,71	7,04	7,40	7,77	7,77	Inkremental
15	LRT Palembang (Sumsel)	4,35	4,63	5,00	5,40	5,83	6,29	6,80	6,80	Total 2030
Total		509,33	524,24	544,13	568,28	591,96	637,04	677,89	445,83	

Tabel Target Aksi Peralihan Moda ke Kereta Api Barang (dalam ton barang)*

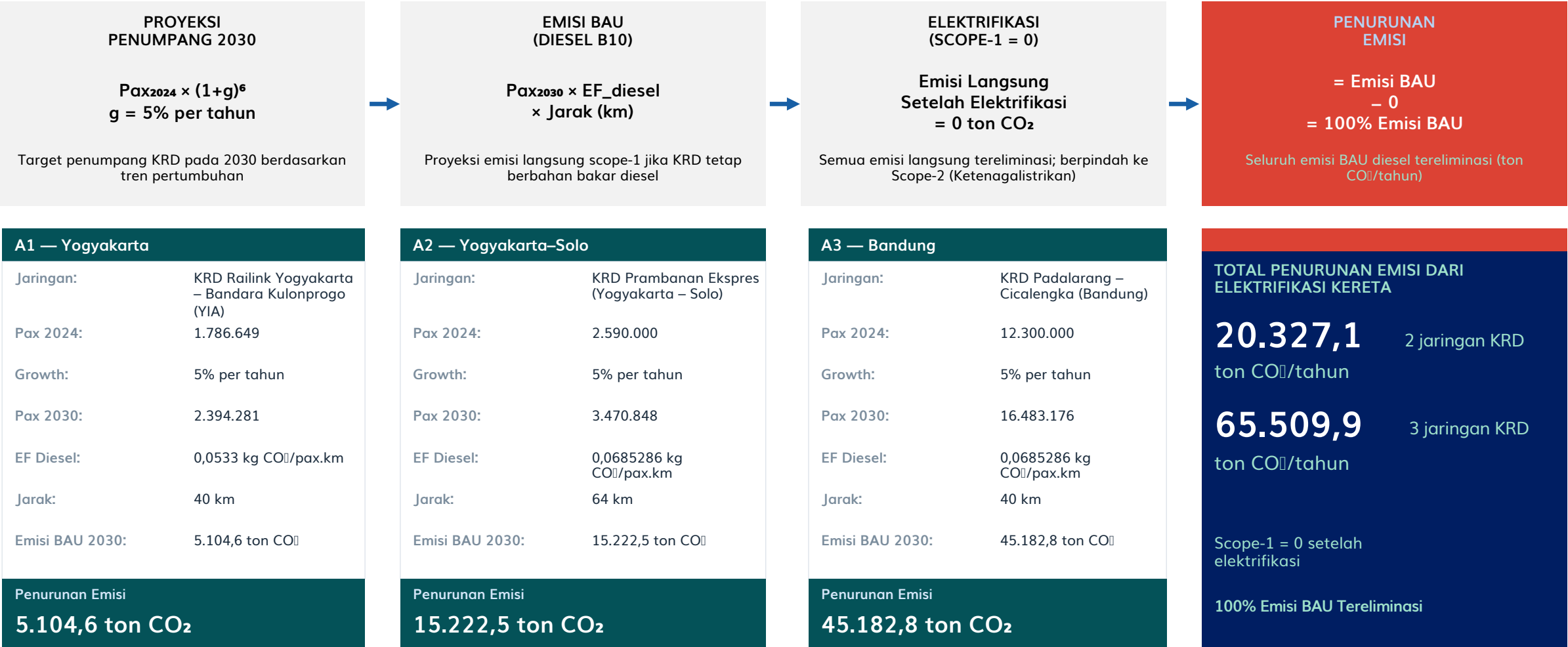
Wilayah — Skenario	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Jawa — Renstra	8.162.748	8.407.631	8.659.860	8.919.656	9.187.245	9.462.863
Jawa — Optimis	—	—	—	—	—	26.000.000
Sumatera — Renstra	59.860.155	61.655.960	63.505.638	65.410.808	67.373.132	69.394.326
Sumatera — Optimis	—	—	—	—	—	75.000.000



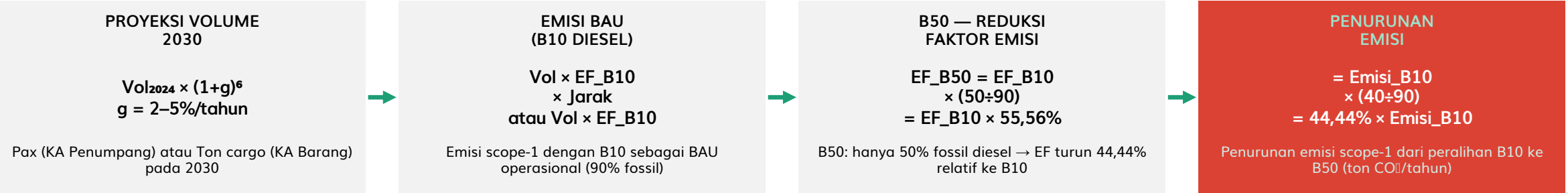
GRAND TOTAL — SKENARIO RENSTRA 2030
3.342.623 ton CO ₂
KA Penumpang: 969.085 ton (29%) KA Barang: 3.123.471 ton (71%)
GRAND TOTAL — SKENARIO OPTIMIS 2030
4.155.586 ton CO ₂
KA Penumpang: 969.085 ton (23%) KA Barang: 3.186.501 ton (77%)

Elektrifikasi Kereta Komuter Regional

Elektrifikasi KRD komuter diesel menghilangkan seluruh emisi langsung (Scope-1) karena sumber energi berpindah dari BBM fosil ke listrik PLN. Emisi operasional menjadi emisi tidak langsung (Scope-2) yang ditanggung pada sisi pembangkit PLN, bukan pada unit KA. Proyeksi penurunan dihitung dari emisi BAU diesel 2030 yang seluruhnya menjadi nol setelah elektrifikasi.



Peningkatan Bauran Biofuel (B50) Kereta Api



Formula Penurunan B10→B50: $Penurunan\ (ton\ CO_2) = Emisi\ B10\ (BAU) \times (40/90) = Emisi\ B10 \times 44,44\%$ | Dasar: B10 = 90% fossil, B50 = 50% fossil → selisih 40 poin persentase fossil diesel

A2 — Komuter Diesel		A3 — Antarkota		A4 — KA Lokal		A5 — Barang	
Jaringan:	KRD Bandara Diesel (Kualanamu)	Jaringan:	KA Antarkota & Regional Diesel	Jaringan:	KA Lokal Diesel	Jaringan:	KA Barang (KAI Cargo)
Vol 2024 (pax):	826.525	Vol 2024 (pax):	56.352.502	Vol 2024 (pax):	37.611.772	Vol 2024 (ton):	69.401.017
Growth:	5% per tahun	Growth:	5% per tahun	Growth:	5% per tahun (adjusted)	Growth:	2% per tahun (adjusted)
Vol 2030 (pax):	1.107.623	Vol 2030 (pax):	75.517.742	Vol 2030 (pax):	73.677.448	Vol 2030 (ton):	78.857.189
EF B10:	0,0685 kg CO ₂ /pax.km	EF B10:	0,0244 kg CO ₂ /pax.km	EF B10:	0,0244 kg CO ₂ /pax.km	EF B10:	6,73 kg CO ₂ /ton
Jarak (km):	30	Jarak (km):	400	Jarak (km):	80	EF B50:	0,00524 t/ton
Emisi B10 BAU:	2.277,1 ton CO ₂	Emisi B10 BAU:	737.916,2 ton CO ₂	Emisi B10 BAU:	143.986,8 ton CO ₂	Emisi B10 BAU:	531.272,1 ton CO ₂
Penurunan (44,44%)		Penurunan (44,44%)		Penurunan (44,44%)		Penurunan (44,44%)	
1.012,1		327.962,8		63.994,1		236.121	

TOTAL PENURUNAN EMISI DARI PENINGKATAN BIOFUEL B50:
629.089,9 ton CO₂/tahun | 44,44% dari Emisi B10 BAU seluruh armada KA diesel | Potensi Emisi B10 total: 1.415.452 ton CO₂

Progress Penyusunan Peta Jalan Subsektor Laut tahun 2030

Program	Aksi Mitigasi	Detail aktivitas (Target penurunan emisi (ton CO2))				
		2026	2027	2028	2029	2030
Modernisasi Kapal dan teknologi	Modernisasi dan peremajaan kapal	~653 Kapal (58.896)	~682 Kapal (61.536)	~705 Kapal (64.387)	~744 Kapal (66.900)	~776 Kapal (69.808)
Efisiensi operasional pelayaran	• Implementasi onshore power supply	59 titik OPS (318)	62 titik OPS (334)	65 titik OPS (351)	68 titik OPS (367)	71 titik OPS (383)
	• Implementasi <i>Ship Energy Efficiency Management Plan</i> (SEEMP) • Peningkatan pengelolaan energi yang efisien dalam merencanakan kegiatan operasional kapal (include <i>Voyage Optimization</i>) • <i>Anti fouling</i>	100% kapal internasional + 40% domestik (302.768)	100% kapal internasional + 50% domestik (370.396)	100% kapal internasional + 60% domestik (441.143)	100% kapal internasional + 70% domestik (515.209)	100% kapal internasional + 80% domestik (592.849)
Penggunaan energi terbarukan	Pemanfaatan Biofuel B35-B50	Implementasi B40 (2.981.225)	Implementasi B40 (3.056.385)	Implementasi B40 (3.133.273)	Implementasi B40 (3.212.454)	Implementasi B50 (4.392.007)

TOTAL — POTENSI PENURUNAN EMISI 2030 (3 PROGRAM AKSI MITIGASI)

5.055.047 ton CO₂

■ Peremajaan Kapal: 69.808 ton

■ Efisiensi Operasional: 593.232 ton

■ Biofuel: 4.392.077 ton

Metode perhitungan intervensi aktivitas per aksi transportasi laut

Asumsi Perhitungan Aksi Mitigasi

Asumsi Dasar Rata rata pertumbuhan registrasi baru kapal dari tahun 2008-2025 4,22 % .	Asumsi Dasar Rata rata jumlah kapal yang dihapuskan dari tahun 2008-2025 0,28% .	Asumsi Dasar Jumlah kapal baru dihitung dari jumlah kapal yang aktif berdasarkan data inaportnet tahun 2024.	10 % Efisiensi yang dihasilkan dari implementasi aksi modernisasi kapal	Potensi Penurunan Emisi Peremajaan Kapal – Tahun 2030 69.808 ton CO ₂
Asumsi Dasar • Anti fouling diasumsikan sebagai praktik standar berdasarkan PM Perhub no 29/2014, dan diasumsikan telah diimplementasikan secara luas. Literatur menunjukan penurunan penggunaan bahan bakar di 4-10%.* • Implementasi SEEMP pada literatur menunjukan potensi pengurangan konsumsi bahan bakar di 2-6%.** • Distribusi implementasi bersifat heterogen; ada kapal yang menerapkan intervensi secara minimal, ada yang telah mengimplementasikan beberapa aksi sekaligus.	5% Rata rata pengurangan bahan bakar dari penerapan efisiensi operasional. merupakan rata-rata tingkat implementasi pada level populasi, bukan kondisi per kapal.	71 titik OPS Rencana pembangunan titik OPS oleh Pelindo di tahun 2030, dengan baseline 52 titik di 20 terminal pada tahun 2025. Dengan level utilisasi dianggap tetap seperti tahun 2024.	Potensi Penurunan Emisi Efisiensi Operasional– Tahun 2030 593.232 ton CO ₂	
Asumsi Dasar Diterapkan di seluruh trip domestik dan dibandingkan dengan B10 di 2010 (baseline ENDC).	B40 Implementasi B40 di tahun 2026-2029.	B50 Implementasi B50 di tahun 2030.	Potensi Penurunan Emisi Implementasi Biofuel– Tahun 2030 4.392.077 ton CO ₂	

*[https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.378\(80\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.378(80).pdf)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801822023216>
<https://www.mdpi.com/2079-6412/13/11/1893>
Siti Nur Hafidha (2023) Wulandari, D. (2023) Wulandari,

*[https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.378\(80\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.378(80).pdf)
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0029801822023216>
<https://www.mdpi.com/2079-6412/13/11/1893>

** Wang et al. (2020); Ormevik et al. (2023); Tzortzis & Sakalis (2021); Weather Routing (Armstrong, 2013); Optimasi Autopilot/Heading Control (IMO 2009); Taskar et al. (2023).