

FEBRUARI 2025

Peta Jalan Menuju Nol Emisi Bersih

Laju Transisi Kendaraan Bermotor Listrik Indonesia

JOSH MILLER, JEANLY SYAHPUTRI, DALE HALL, ADITYA MAHALANA,
DAN FRANCISCO POSADA



KATA PENGANTAR

Indonesia berkomitmen mencapai target emisi nol bersih pada tahun 2060 atau lebih cepat sebagai bagian dari upaya global untuk mengurangi dampak negatif perubahan iklim. Dalam mencapai target tersebut, sektor transportasi—sebagai kontributor emisi terbesar kedua di Indonesia—membutuhkan transformasi agar trajektori emisinya selaras dengan jalur menuju emisi nol bersih. Kendaraan Bermotor Listrik (KBL) merupakan salah satu komponen penting untuk mencapai target ini, mengingat KBL tidak memiliki emisi dari knalpot serta perannya sebagai masa depan mobilitas bersih. Indonesia telah mencatat pertumbuhan pasar KBL dalam beberapa tahun terakhir, yang menjadi indikasi positif bahwa negara ini berada di jalur tepat dalam dekarbonisasi sektor transportasi.

Namun, transisi menuju KBL memerlukan visi dan aksi nyata. Untuk memulainya, penyusunan peta jalan strategis yang jelas sangat penting guna menghadapi tantangan dan peluang yang ada. Dokumen ini dapat berfungsi sebagai panduan komprehensif karena memuat langkah-langkah kunci dan tonggak pencapaian yang diperlukan untuk mendekarbonisasi sektor transportasi Indonesia. Pengembangan peta jalan ini merupakan hasil kolaborasi antara Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi (Kemenkomarves), tempat saya sebelumnya menjabat sebagai Deputi Koordinator Infrastruktur dan Transportasi, dan International Council on Clean Transportation (ICCT). Kolaborasi ini juga mencerminkan komitmen kami untuk mendorong transformasi KBL secara menyeluruh di Indonesia.

Terakhir, saya berharap peta jalan ini tidak hanya dapat memotivasi para pemangku kepentingan dan pembuat kebijakan untuk terus menyusun regulasi yang mempercepat adopsi KBL, tetapi juga menjadi acuan dalam aksi dekarbonisasi transportasi sebagai kontribusi pencapaian target emisi nol bersih.

Jakarta, Februari 2025

Rachmat Kaimuddin
Deputi Bidang Infrastruktur Dasar,
Kementerian Koordinator Bidang Infrastruktur dan Pembangunan Wilayah

Deputi Koordinator Bidang Infrastruktur dan Transportasi,
Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi
Republik Indonesia
2022-2024

Ucapan Terima Kasih: Kami menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada tim Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi (Kemenkomarves), khususnya Rachmat Kaimuddin, yang kepemimpinan dan inisiatifnya membuat studi ini memungkinkan untuk terlaksana, dan M. Firdausi Manti, Arianto Wibowo, Kreiton Sitorus, Giotama Lokanta, Geovani Susanto, dan Naufal Faiz. Kami juga berterima kasih kepada perwakilan dari berbagai kementerian, pemerintah daerah, lembaga pemikir, perusahaan swasta, BUMN, dan industri otomotif beserta asosiasinya atas partisipasi dan wawasan berharga mereka selama rangkaian diskusi kelompok terfokus tentang strategi transisi otomotif Indonesia yang difasilitasi oleh Kemenkomarves antara Agustus dan Oktober 2024 di Jakarta. Mereka sangat berperan dalam membentuk penelitian ini. Dari ICCT, kami berterima kasih kepada Ray Minjares, Stephanie Searle, Tim Dallmann, Zifei Yang, Pete Slowik, dan Yihao Xie yang telah meninjau draf sebelumnya, dan Arijit Sen dan Gabe Alvarez atas kontribusi mereka terhadap versi Peta Jalan ICCT yang digunakan untuk analisis ini.

PENDAHULUAN

Transportasi berbasis jalan memberikan kontribusi signifikan terhadap tantangan lingkungan hidup dan kesehatan masyarakat di Indonesia. Sektor ini menyumbang sekitar 22% dari total emisi gas rumah kaca (GRK) dari penggunaan energi di Indonesia sekaligus menjadi sumber utama polusi udara (International Energy Agency, 2022; Republik Indonesia, 2021). Pada tahun 2015, transportasi berbasis jalan diperkirakan menyebabkan 4.500 kematian prematur setiap tahunnya (Anenberg et al., 2019). Dengan pertumbuhan populasi kendaraan bermotor di Indonesia yang mencapai rata-rata 5% per tahun dari 2015 hingga 2024 (meskipun sempat melambat selama pandemi global) (Badan Pusat Statistik, 2016, 2022, 2024), emisi GRK dan polusi udara diproyeksikan akan terus meningkat tanpa adanya peralihan ke teknologi kendaraan bersih.

Tabel 1 merangkum karakteristik transportasi berbasis jalan di Indonesia berdasarkan jenis kendaraan.¹ Analisis dalam studi ini dilakukan pada tahun 2024, dengan tahun 2023 sebagai dasar acuan asumsi. Kendaraan roda dua memang mendominasi jumlah kendaraan di Indonesia, namun kendaraan roda empat (mobil penumpang dan kendaraan barang ringan atau *light commercial vehicle* [LCV]) serta truk sedang menyumbang porsi terbesar dalam konsumsi bahan bakar transportasi dan emisi karbon dioksida (CO₂). Meskipun data menunjukkan kendaraan nol emisi atau *zero-emission vehicle* (ZEV) masih memiliki pangsa kecil dalam penjualan kendaraan baru tahun 2023, terjadi peningkatan penjualan kendaraan listrik untuk semua jenis kendaraan pada tahun 2024 (Kurniawan & Kurniawan, 2024; KumparanOTO, 2024).

Tabel 1
Karakteristik sektor transportasi berbasis jalan Indonesia per tahun 2023

Segmen	Kendaraan roda dua dan tiga	Mobil penumpang	Kendaraan komersial ringan dan truk sedang dan berat	Bus
Pangsa penggunaan energi transportasi jalan	15%	28%	56%	1%
Jumlah kendaraan teregistrasi (juta)	133	19,7	6,1	0,27
Jumlah penjualan kendaraan baru (ribu)	6.185	791	77,6	6,3
Jumlah yang diproduksi di Indonesia (ribu)	6.807	1.180	209	6,7
Pangsa ZEV dari penjualan kendaraan baru	1%	2%	<1%	1%

^a Menggunakan *Roadmap Model* yang dikembangkan oleh ICCT (2024)
^b Badan Pusat Statistik (2024)
^c Data kendaraan roda dua dan tiga diperoleh dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Sedangkan data lainnya berdasarkan data Gaikindo (2024)
^d Asian Automotive Analysis (2024a) dan Asian Automotive Analysis (2024b)
^e Diperoleh dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

1 Jenis kendaraan didefinisikan sebagai: kendaraan beroda dua dan tiga; mobil penumpang (kendaraan penumpang beroda empat dengan berat total kendaraan [GVW] < 3,5 ton); kendaraan komersial ringan atau truk ringan (kendaraan komersial dengan GVW < 3,5 ton); truk menengah (kendaraan komersial dengan GVW 3,5–15 ton); truk berat (kendaraan komersial dengan GVW >15 ton); dan bus (kendaraan penumpang dengan GVW ≥ 3,5 ton). GVW mencakup berat total kendaraan, berat kosong, serta kapasitas penumpang/muatan.

Transisi menuju ZEV merupakan strategi utama yang, jika diperluas dan dipercepat, dapat berkontribusi besar bagi pencapaian target Indonesia dalam mencapai emisi nol bersih pada tahun 2060 (Republik Indonesia, 2021; Sen & Miller, 2023). Pemerintah juga berkomitmen menjadikan manufaktur ZEV sebagai bagian dari strategi pengembangan industri dalam negeri melalui penetapan target produksi ZEV di berbagai segmen kendaraan (Kementerian Perindustrian, 2022). Variasi karakteristik teknis, pola penggunaan, dan tingkat emisi antartipe kendaraan di Indonesia akan menghasilkan proses transisi yang berbeda untuk setiap jenis kendaraan. Studi ini menyajikan garis waktu transisi yang ambisius namun realistis menuju kendaraan nol emisi untuk kendaraan roda dua dan tiga, roda empat (mobil penumpang dan LCV, termasuk van dan *pick up*), bus, serta truk sedang dan berat di Indonesia. Untuk setiap jenis kendaraan, disajikan tinjauan pasar singkat dan faktor-faktor kunci penentu kecepatan transisi (seperti biaya kendaraan dan kebutuhan infrastruktur). Selanjutnya dipaparkan proyeksi pangsa penjualan kendaraan baru ZEV di Indonesia dari 2025 hingga 2060 dalam empat skenario berbeda.²

Berdasarkan keempat skenario tersebut, dilakukan proyeksi penjualan dan populasi ZEV untuk setiap jenis kendaraan, serta total konsumsi energi dan emisi CO₂ menggunakan model ICCT Roadmap versi 2.9 (2024). Analisis dilengkapi dengan kajian tentang penghematan konsumsi bahan bakar fosil dan subsidi energi. Studi ini merupakan yang pertama dalam serangkaian publikasi yang menyusun peta jalan untuk transisi ambisius menuju ZEV di Indonesia.

DESKRIPSI SKENARIO

Terdapat empat skenario yang dimodelkan: dua trajektori yang mencerminkan pertumbuhan ZEV yang mendorong Indonesia mencapai emisi nol bersih sektor transportasi berbasis jalan pada tahun 2060 (skenario *Net Zero* dan *Best Practice*), dan dua trajektori referensi (skenario *Reference* dan *Announced Targets 2050*) yang secara umum konsisten dengan tingkat penetrasi ZEV dalam *Stated Policies Scenario* (STEPS) dan *Announced Pledges Scenario* (APS) dalam publikasi IEA dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2022, “An Energy Sector Roadmap to Net Zero Emissions in Indonesia”.

Skenario *Reference* pada umumnya sejalan dengan ambisi skenario STEPS 2022 dan mencerminkan prospek konservatif untuk penyerapan ZEV dengan hanya kendaraan roda dua dan bus yang mencapai pangsa penjualan ZEV yang substansial pada tahun 2060. Skenario *Announced Targets 2050* secara umum konsisten dengan ambisi APS 2022 dan menggambarkan aspirasi pemerintah Indonesia saat itu untuk mencapai 100% penjualan ZEV pada tahun 2050 untuk semua jenis kendaraan selain truk sedang dan berat. Skenario ini mengasumsikan kendaraan berbasis bahan bakar bensin atau *gasoline* bertransisi ke teknologi ZEV dan mencapai 100% penjualan ZEV pada tahun 2050, sementara truk terus didominasi kendaraan konvensional dengan mesin pembakaran internal atau *internal combustion engine* (ICE).

Dua skenario lainnya menghasilkan transisi yang lebih cepat ke ZEV dibandingkan skenario *Reference* dan *Announced Targets 2050*. Skenario *Best Practice* menetapkan trajektori pangsa penjualan ZEV yang ambisius namun memungkinkan untuk dicapai, agar menyelaraskan Indonesia dengan negara pasar utama lainnya serta dengan komitmen internasional untuk mencapai 100% penjualan ZEV. Dalam skenario ini, trajektori ZEV naik dengan cepat untuk mencapai 100% pangsa penjualan untuk semua

² Dalam semua skenario, kendaraan ZEV dianggap hanya mencakup kendaraan tanpa emisi dari knalpot: kendaraan bermotor listrik berbasis baterai dan sel bahan bakar hidrogen. *Hybrid* dan *plug-in hybrid* tidak termasuk, meskipun keduanya mungkin berperan dalam memberikan pengurangan emisi bertahap dari armada non-ZEV. Selain itu, diasumsikan tidak ada jenis mesin penggerak apa pun yang akan dilarang sebelum mencapai penjualan ZEV 100%.

jenis kendaraan paling lambat pada tahun 2040. Trajektori pangsa penjualan ZEV ini secara umum konsisten dengan ambisi skenario *Ambitious* dalam model global ICCT, sebagai upaya pembatasan pemanasan global di bawah 2°C (Sen & Miller, 2023).

Penetrasi ZEV kendaraan roda empat, bus, dan truk, dimodelkan dengan mengasumsikan jalur kurva-S. Selain target pemerintah, faktor krusial yang membentuk trajektori skenario ini mencakup: total biaya kepemilikan atau *total cost of ownership* (TCO), pembayaran muka atau *upfront cost*, serta tantangan pembangunan infrastruktur pengisian daya. Untuk mencapai emisi nol bersih transportasi berbasis jalan pada tahun 2060, skenario *Best Practice* mengasumsikan adanya penerapan pembatasan usia kendaraan dengan implementasi bertahap pada 2055–2060 untuk memastikan penghapusan menyeluruh kendaraan ICE pada tahun 2060.

Skenario *Net Zero* merupakan pendekatan yang lebih bertahap dengan peningkatan penjualan ZEV yang lebih lambat daripada skenario *Best Practice*, namun tetap dengan penjualan 100% ZEV yang tepat waktu untuk mencapai target emisi nol bersih Indonesia 2060. Skenario ini tidak dirancang untuk memenuhi target pemerintah lainnya seperti target jumlah ZEV 2030, dan tidak mempertimbangkan komitmen internasional tentang adopsi ZEV. Dalam skenario ini, trajektori pangsa penjualan ZEV untuk semua jenis kendaraan mengikuti jalur kurva-S dan mencapai 100% penjualan pada tahun terakhir yang memungkinkan pencapaian target emisi nol bersih 2060 Indonesia.

Pada skenario *Net Zero*, Kendaraan roda empat, bus, dan truk diasumsikan mencapai 100% penjualan ZEV paling lambat pada tahun 2045, dan asumsi batas usia 15 tahun diberlakukan untuk menggantikan kendaraan ICE yang tersisa pada tahun 2060. Kendaraan roda dua dan tiga diasumsikan mencapai 100% penjualan ZEV pada tahun 2040, lebih awal dari mobil, bus, dan truk. Hal ini dikarenakan harga yang lebih terjangkau dan kebutuhan infrastruktur yang lebih sederhana.

TRAJEKTORI TRANSISI ZEV BERDASARKAN JENIS KENDARAAN

KENDARAAN RODA DUA DAN TIGA

Kendaraan roda dua merupakan tulang punggung mobilitas masyarakat Indonesia, mendominasi lebih dari 80% populasi kendaraan bermotor. Meskipun kendaraan roda dua mengkonsumsi lebih sedikit bahan bakar per kilometer dibandingkan mobil atau truk, kendaraan roda dua secara kolektif menyumbang sekitar seperempat dari GRK transportasi berbasis jalan, dan menjadi sumber utama polusi udara di lingkungan perkotaan (IEA, 2022; Institute for Transport & Development Policy, 2024a).

Pasar kendaraan roda dua nol emisi di Indonesia sedang berkembang—dengan penjualan sepeda motor listrik meningkat tiga kali lipat pada 2023 dibanding tahun sebelumnya—jumlah ini masih berkisar di 1% dari total penjualan kendaraan roda dua baru pada tahun 2023. Di negara lain, pasar kendaraan roda dua listrik lebih maju. Di India, kendaraan roda dua listrik mencapai 5% dari penjualan kendaraan roda dua baru pada tahun 2023. Vietnam mencapai pangsa 9% penjualan kendaraan roda dua listrik pada tahun yang sama berkat kuatnya penjualan skuter listrik, sementara China mencatatkan pertumbuhan pesat hingga 35% dari penjualan baru pada tahun 2023 (IEA, 2024).

Kementerian Perindustrian (2022) telah menetapkan target produksi untuk KBL roda dua dan tiga untuk periode 2020–2035, untuk memperkuat implementasi Peraturan Presiden 55/2019 tentang percepatan adopsi kendaraan bermotor listrik berbasis baterai (KBLBB). Kementerian Perindustrian menargetkan produksi tahunan sebanyak

12 juta KBL roda dua dan tiga pada tahun 2035. Untuk memulainya, pemerintah memperkenalkan insentif pembelian sebesar Rp 7 juta (sekitar US\$450, berdasarkan nilai tukar Oktober 2024) untuk kendaraan roda dua melalui Peraturan Menteri Perindustrian 6/2023 *juncto* 28/2023. Kriteria untuk insentif ini kemudian diperluas pada tahun 2024 karena minat awal yang rendah (El Rizani, 2024).

PERTIMBANGAN LAJU ELEKTRIFIKASI

Per tahun 2023, KBL roda dua di Indonesia memiliki harga awal sekitar 50% lebih mahal dibandingkan kendaraan roda dua konvensional. Namun, dengan kebijakan saat ini, *Institute for Essential Services Reform* (2023) memperkirakan bahwa kendaraan roda dua listrik sudah memiliki TCO yang sedikit lebih rendah untuk penggunaan 40.000 km. Hal ini disebabkan oleh biaya bahan bakar dan pemeliharaan yang lebih rendah serta pembebasan dari biaya balik nama. Kendaraan roda dua yang telah dikonversi dari berbahan bakar bensin ke listrik memiliki TCO yang bahkan lebih rendah lagi jika memasukkan subsidi pemerintah (*Institute for Essential Services Reform*, 2023). Laporan Asian Development Bank (2022) memproyeksikan bahwa TCO KBL roda dua diproyeksikan menurun sebesar 9% per tahun hingga 2030, dan juga mencapai harga pembelian lebih murah dibandingkan ICE pada tahun 2030.

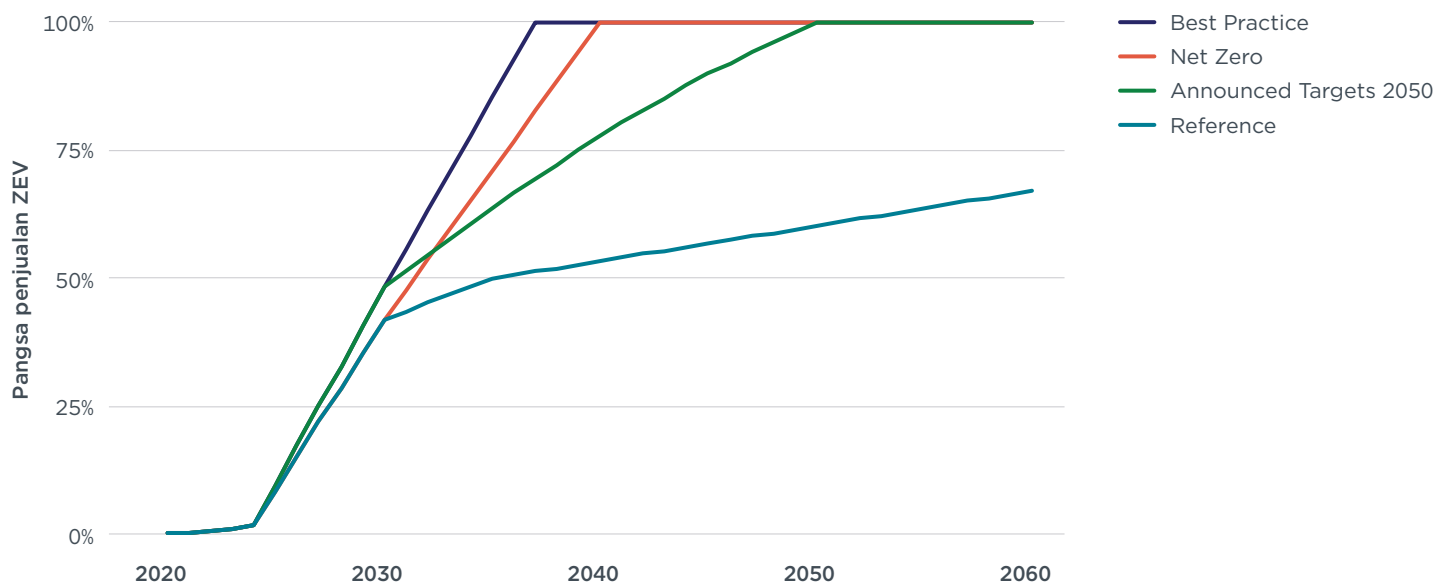
Di antara semua jenis kendaraan, kendaraan roda dua menghadapi paling sedikit hambatan dalam melakukan pengisian daya. KBL roda dua dapat menggunakan sistem penukaran baterai dan/atau pengisian langsung, dan baik keduanya dapat memanfaatkan stopkontak daya rumah tangga standar yaitu 230V. Sejumlah perusahaan juga membangun stasiun penukaran baterai untuk pengemudi komersial, khususnya layanan *ride-hailing* atau ojek *online* dan pengiriman (*Asian Development Bank*, 2022). Hal ini menunjukkan bahwa segmen ini berpotensi berelektrifikasi dengan cepat.

TRAJEKTORI ELEKTRIFIKASI

Gambar 1 menunjukkan empat trajektori yang dimodelkan untuk pangsa penjualan kendaraan bermotor listrik roda dua dan tiga baru dari 2020 hingga 2060. Tingkat pertumbuhan konstan diproyeksikan untuk semua skenario setelah tahun 2025. Dalam skenario *Reference*, penjualan tumbuh hingga 40% pada tahun 2030, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai pangsa 67% pada tahun 2060. Skenario lainnya menunjukkan pertumbuhan yang lebih cepat, dengan pangsa penjualan mendekati 50% pada tahun 2030 (pada titik dimana opsi kendaraan listrik diproyeksikan memiliki harga pembelian yang hampir sama) dan meningkat secara linear hingga mencapai 100% pada tahun 2037 untuk skenario *Best Practice*, 2040 untuk skenario *Net Zero*, dan 2050 *Announced Targets* 2050.

Gambar 1

Pangsa penjualan yang dimodelkan untuk kendaraan nol emisi roda dua dan tiga



THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION [THEICCT.ORG](https://theicct.org)

KENDARAAN RODA EMPAT

Kendaraan roda empat—mobil penumpang, dan mobil barang ringan atau *light commercial vehicle* (LCV)—mendominasi konsumsi energi transportasi berbasis jalan dan emisi GRK di Indonesia. Segmen kendaraan ini berkembang pesat dengan penjualan baru diproyeksikan meningkat hingga 6% per tahun hingga 2030 (Hall et al., 2024).

PERTIMBANGAN LAJU ELEKTRIFIKASI

Produsen kendaraan asing mendominasi pasar kendaraan bermotor listrik roda empat di Indonesia pada tahun 2023. Setidaknya empat produsen yang berkantor pusat di Tiongkok dan dua produsen asal Korea Selatan telah berkomitmen untuk mendirikan atau meningkatkan fasilitas manufaktur kendaraan tanpa emisi (ZEV) mereka di Indonesia (Antara, 2024). Produsen Tiongkok menawarkan harga kendaraan listrik terendah secara global, sehingga dinamika ini memungkinkan Indonesia memperoleh kendaraan bermotor listrik yang lebih terjangkau sembari mengembangkan lapangan kerja dalam negeri dan rantai pasok kendaraan bermotor listrik (KBL), seperti yang telah terjadi di Thailand (JATO Dynamics, 2025; Wakabayashi & Fu, 2024).

Pada tahun 2023, 60% KBL baru yang dijual di Tiongkok lebih murah dibandingkan kendaraan berbahan bakar bensin yang paling sebanding (IEA, 2024). Studi memproyeksikan bahwa KBL roda empat, termasuk *sport utility vehicle* (SUV), dengan jangkauan hingga 600 km akan memiliki harga jual lebih murah dibandingkan kendaraan bertenaga bensin di Tiongkok pada akhir dekade 2020-an (Lutsey et al., 2021). Di Indonesia, biaya listrik per kilometer untuk kendaraan roda empat listrik hanya 31% dari biaya bahan bakar kendaraan bensin (Mahalana et al., 2023).

Perumahan di Indonesia didominasi oleh rumah tapak tunggal dibandingkan hunian vertikal atau apartemen. Oleh karena itu, sebagian besar pengguna KBL dapat mengisi daya di rumah melalui stopkontak standar menggunakan pengisi daya portabel yang umum disertakan saat pembelian kendaraan. Pengisian daya juga dapat dilakukan lebih cepat menggunakan wall charger yang dapat dibeli dengan biaya tambahan (Kristiana et al., 2024). Meskipun demikian, jaringan pengisian baterai umum yang handal tetap

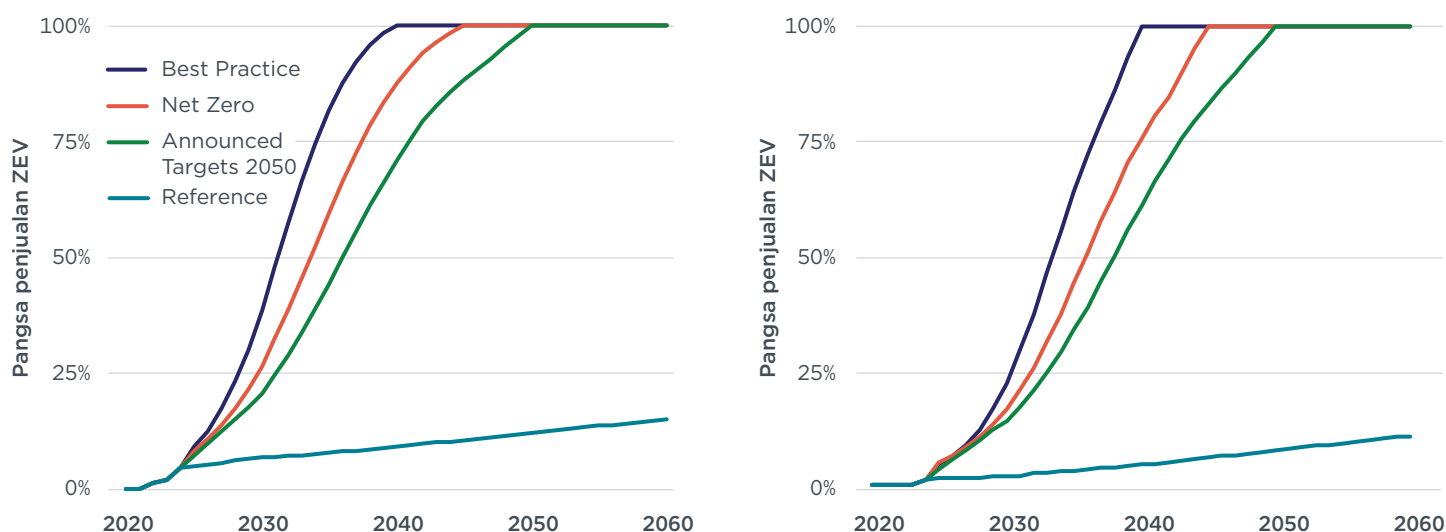
diperlukan untuk perjalanan jarak jauh dan mendukung pengguna yang tidak memiliki akses ke pengisian daya di rumah.

TRAJEKTORI ELEKTRIFIKASI

Agar kendaraan roda empat dapat berkontribusi untuk mencapai emisi nol bersih pada sektor transportasi berbasis jalan pada tahun 2060, pangsa penjualan kendaraan nol emisi (ZEV) harus terus meningkat dan mencapai 100% pada tahun 2040 atau sesaat setelahnya. Gambar 2 menunjukkan empat model lintasan pangsa penjualan ZEV untuk dua segmen kendaraan roda empat di Indonesia: mobil penumpang di sebelah kiri dan kendaraan barang ringan (LCV) di sebelah kanan. Meskipun mobil penumpang dan LCV mencapai 100% penjualan ZEV pada tahun yang sama (2040 dalam skenario *Best Practice*, 2045 dalam skenario *Net Zero*, dan 2050 dalam skenario *Announced Targets 2050*), mobil penumpang memiliki pangsa penjualan ZEV yang sedikit lebih tinggi dibandingkan LCV menjelang tahun pencapaian 100% tersebut, seperti halnya tren yang terjadi di pasar-pasar lain. Dalam skenario *Reference*, transisi elektifikasi mobil penumpang dan LCV berjalan lebih lambat, dengan keduanya tidak mencapai 20% hingga tahun 2060.

Gambar 2

Pangsa penjualan kendaraan nol emisi yang dimodelkan untuk mobil penumpang (kiri) dan mobil barang ringan (kanan)



THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION [THEICCT.ORG](https://theicct.org)

Dalam skenario *Best Practice*, mobil penumpang melampaui 50% penjualan ZEV pada tahun 2032, yakni setelah mencapai paritas TCO dengan mobil mesin pembakaran konvensional pada pertengahan 2020-an. Paritas harga pembelian juga diharapkan terjadi sekitar tahun 2030, tergantung pada segmen dan jangkauan tempuh. Hal ini membuka jalan bagi pertumbuhan yang berkesinambungan hingga mencapai 100% penjualan ZEV pada tahun 2040. Trajektori ini akan menempatkan Indonesia beberapa tahun di belakang pasar terkemuka seperti Uni Eropa, Inggris, Kanada, dan California, yang telah berkomitmen untuk mencapai 100% penjualan ZEV untuk mobil pada tahun 2035 (beberapa pemerintah ini juga mengizinkan hybrid plug-in tertentu; EV-Volumes, 2025; Accelerating to Zero Coalition, n.d.; ZEV Transition Council, n.d.).

Meskipun Tiongkok belum menetapkan target jangka panjang, pasar kendaraan bermotor listriknya kemungkinan akan bergerak dengan laju yang konstan atau lebih cepat setidaknya hingga 2030. Hal ini merupakan hasil dari penurunan harga dan dukungan kebijakan yang konsisten dari pemerintah nasional, provinsi, dan lokal.

Skenario *Net Zero* menunjukkan laju elektrifikasi mobil penumpang berelektrifikasi yang lebih lambat, melampaui 50% penjualan ZEV pada tahun 2034 dan mencapai 100% penjualan ZEV pada tahun 2045.

TRUK SEDANG DAN BERAT

Meskipun proporsi populasi truk sedang dan berat lebih sedikit di Indonesia, segmen kendaraan ini mendominasi konsumsi bahan bakar, emisi GRK, dan polusi udara (IEA, 2022). Seperti halnya kendaraan roda empat, aktivitas truk sedang dan berat diproyeksikan akan bertumbuh pesat seiring dengan ekspansi ekonomi Indonesia dalam dekade mendatang. Dalam pemodelan ini, jumlah truk di jalan Indonesia meningkat mencapai lebih dari 300% pada tahun 2060. Truk juga cenderung memiliki usia pemakaian lebih panjang dibandingkan kendaraan yang lebih kecil.

PERTIMBANGAN LAJU ELEKTRIFIKASI

Kategori kendaraan ini (didefinisikan sebagai N2 dan N3 dalam sistem klasifikasi kendaraan Komisi Ekonomi PBB untuk Eropa) mencakup berbagai subsegmen dan peruntukan. Elektrifikasi setiap subsegmen akan berlangsung dengan laju yang berbeda. Industri truk listrik di Indonesia masih dalam tahap awal: model yang tersedia terbatas, dan belum ada analisis total biaya kepemilikan (TCO) berbasis data pemakaian aktual. Di negara-negara Asia lainnya, truk listrik umumnya lebih mahal di awal dibandingkan versi diesel, tetapi menawarkan penghematan dalam biaya bahan bakar dan pemeliharaan (Kaur et al., 2024; Mao et al., 2021).

Berbagai studi menunjukkan bahwa biaya operasional melebihi biaya pembelian selama masa pakai truk diesel (Basma et al., 2021; Mao et al., 2021), sehingga pemilik/operator armada lebih termotivasi oleh TCO daripada harga awal. Di Indonesia, adopsi truk listrik diperkirakan akan dimulai dari segmen seperti kendaraan pengiriman perkotaan dan truk jarak pendek. Segmen ini diproyeksikan memerlukan biaya awal lebih rendah, jarak tempuh lebih pendek, serta akses lebih mudah ke pengisian daya berbasis depot. Di pasar lain, segmen ini telah menunjukkan kinerja setara dengan truk diesel, dengan variasi model lebih banyak dibandingkan truk berukuran besar (CALSTART, 2024a).

Di Tiongkok, puluhan ribu truk listrik beroperasi untuk berbagai kebutuhan dan telah mencapai daya saing biaya di banyak segmen. Untuk truk pengangkut material (dump truck), meski harganya lebih tinggi, titik balik modal dapat tercapai dalam 5 tahun. Paritas TCO tanpa subsidi diproyeksikan terwujud di hampir semua segmen truk pada 2030 (Liu, 2024; Mao et al., 2021).

Di luar Tiongkok, truk nol emisi diproduksi oleh hampir semua produsen besar, seperti Mitsubishi (eCanter), Isuzu (NRR EV), Tata (Ultra T7), Hino (L6e dan M5e), Daimler (eActros dan merek Rizon), serta Volvo (FM dan FMX Electric), ditambah sejumlah produsen baru yang berupaya berekspansi global (CALSTART, 2024b; Shen et al., 2024). Meskipun lebih banyak didistribusikan ke negara dengan regulasi ketat seperti Uni Eropa dan AS, ratusan truk listrik kelas menengah dan berat telah terjual di Brasil, Jepang, India, Selandia Baru, dan Thailand (EV-Volumes, 2025).

Infrastruktur pengisian daya untuk truk listrik sedang dan berat lebih kompleks dibandingkan dengan kendaraan listrik roda empat. Sementara kendaraan bermotor listrik (KBL) roda empat biasanya menggunakan pengisi daya berkekuatan 3–200 kW, truk listrik berat umumnya memerlukan pengisi daya 50–1.000 kW yang lebih mahal dan lebih rumit untuk dihubungkan ke jaringan listrik. Di Tiongkok, sistem penukaran baterai juga semakin populer sebagai solusi untuk truk listrik; perlu ditekankan bahwa penerapan teknologi ini memerlukan koordinasi intensif antara pemerintah dan pelaku industri untuk menetapkan standar fasilitas penukaran baterai.

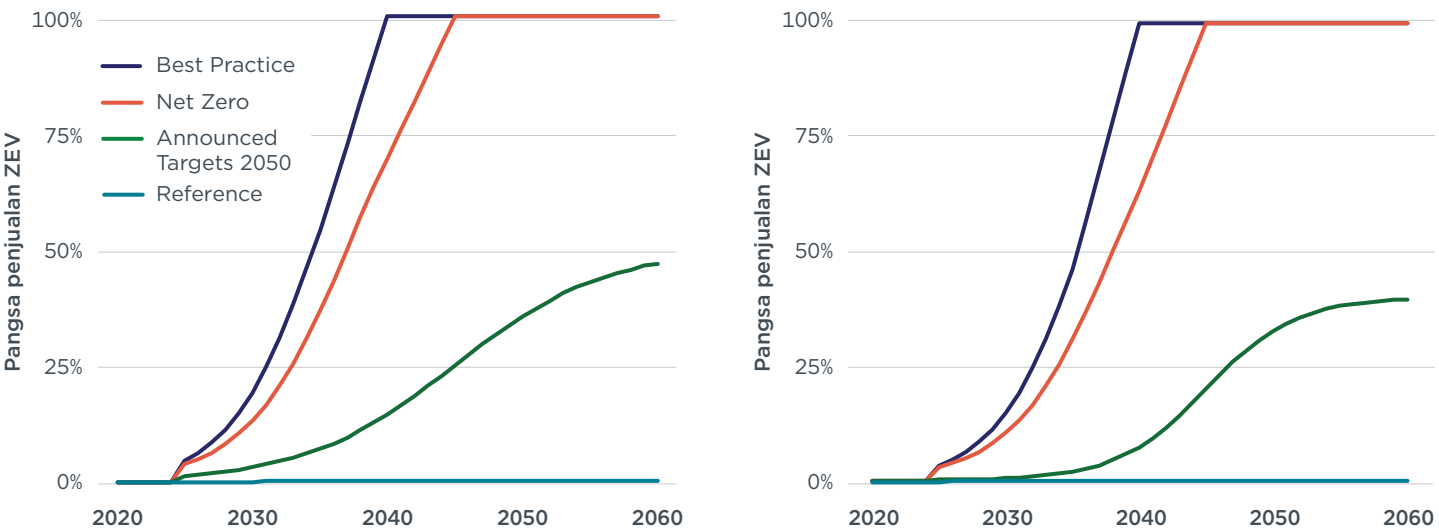
Setelah Tiongkok mencatatkan pangsa pasar 14% untuk truk listrik baterai kelas sedang dan berat pada Juni 2024, jumlah armada truk yang mendukung penukaran baterai meningkat menjadi 2.500 kendaraan—naik 87% dibandingkan tahun sebelumnya dan menunjukkan pertumbuhan signifikan dari kurang dari 100 kendaraan di awal 2021 (Mao et al., 2024). Peningkatan ini didorong oleh kebijakan tahun 2024 yang menetapkan target penyebaran stasiun penukaran baterai dan kendaraan kompatibel, serta standar teknis dan keselamatan (Mao et al., 2024). Berbeda dengan stasiun pengisian, fasilitas penukaran baterai beroperasi dengan model bisnis *battery-as-a-service* (BaaS). Perusahaan sektor energi umumnya menunjukkan kapabilitas dan minat lebih besar untuk berpartisipasi dalam model layanan ini dibandingkan produsen kendaraan, yang biasanya tidak memproduksi baterai atau mengoperasikan stasiun penukaran.

Dalam skenario yang dianalisis, armada yang pertama kali bertransisi diperkirakan adalah truk sedang, khususnya yang menempuh jarak lebih pendek di area perkotaan, karena truk ini membutuhkan baterai yang lebih kecil dan koneksi jaringan listrik yang lebih kecil. Transisi diperkirakan akan berlangsung dengan laju yang lebih lambat di tahun 2020-an untuk kendaraan yang mengangkut muatan terberat dan menempuh jarak terpanjang. Namun laju ini kemudian akan meningkat seiring dengan semakin terbentuknya bisnis untuk elektrifikasi segmen-segmen tersebut.

TRAJEKTORI ELEKTRIFIKASI

Gambar 3 menunjukkan trajektori pangsa penjualan ZEV yang dimodelkan untuk truk sedang dan berat di Indonesia. Sebagaimana halnya mobil penumpang, penjualan truk sedang dan berat nol emisi mencapai 100% pada tahun 2040 untuk Skenario *Best Practice* dan 2045 dalam skenario *Net Zero*. Meskipun kedua segmen ini mencapai 100% pada waktu yang sama, truk sedang memiliki pangsa penjualan ZEV yang lebih tinggi dibandingkan truk berat selama periode transisi (misalnya, 54% vs. 46% pada 2035 dalam skenario *Best Practice*). Dalam skenario *Announced Targets 2050*, truk sedang dan berat mengalami peningkatan adopsi secara bertahap; pangsa penjualan ZEV masih di bawah 10% hingga 2037, kemudian perlahan naik mencapai 47% untuk truk sedang dan 40% untuk truk berat pada 2060. Dalam skenario *Reference*, truk sedang dan berat hanya mengalami sedikit peningkatan ZEV hingga 2060.

Gambar 3
Pangsa penjualan nol emisi yang dimodelkan untuk truk sedang (kiri) dan truk berat (kanan)



THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION [THEICCT.ORG](https://www.theicct.org)

Dalam skenario *Net Zero* dan *Best Practice*, penyerapan ZEV untuk truk sedang dan berat mulai meningkat setelah paritas TCO tercapai pada akhir dekade 2020; ZEV mencapai 10% (*Net Zero*) dan 15% (*Best Practice*) dari penjualan truk pada 2030 dan mencapai 50% pada pertengahan 2030-an (*Best Practice*) dan akhir 2030-an (*Net Zero*). Penyerapan di pertengahan 2030-an dimungkinkan oleh karena manfaat TCO yang semakin meningkat (ZEV Transition Council, 2024), berkurangnya perbedaan harga pembelian, dan peningkatan ketersediaan infrastruktur pengisian daya. Truk sedang dan berat mencapai pangsa penjualan ZEV 100% pada 2040 dalam skenario *Best Practice*. Hal ini dikarenakan sebagian truk dengan peruntukkan tertentu beroperasi dengan rute yang panjang dan tidak terprediksi. Sehingga, membutuhkan waktu lebih lama untuk berelektrifikasi, terlepas dari ukuran truk.

Trajektori *Best Practice* ini lebih lambat dibandingkan *Advanced Clean Trucks* California, regulasi ZEV terdepan di dunia yang mencapai 100% penjualan truk nol emisi pada 2036 (California Air Resources Board, 2023). Namun, trajektori tersebut masih selaras dengan kesepakatan negara-negara yang menandatangani *Global Memorandum of Understanding on Zero-Emission Medium- and Heavy-Duty Vehicles*, yang menargetkan pangsa penjualan 30% pada 2030 dan 100% pada 2040 (Global Commercial Vehicle Drive to Zero, n.d.).

Truk sedang dan berat dengan tipe berbeda akan berelektrifikasi pada kecepatan yang bervariasi, tergantung pada siklus operasional, berat, dan kebutuhan daya tambahan. Untuk mencapai target ambisius dalam dua skenario emisi nol bersih yang telah dikembangkan, penting untuk mendorong kemajuan pesat di segmen yang berkembang cepat (seperti truk pengiriman, traktor perkebunan, truk pengangkut kontainer, dan kendaraan khusus dengan depot), sekaligus berinvestasi dalam infrastruktur pendukung untuk kendaraan bermuatan terberat dan rute terpanjang. Perencanaan dan investasi infrastruktur memegang peran kunci dalam mewujudkan skenario-skenario ini. Dalam jangka pendek, prioritas infrastruktur dapat diberikan kepada industri yang telah menunjukkan transisi menuju KBL yang menjanjikan, seperti pelabuhan utama, kawasan industri, dan koridor angkutan barang.

BUS

Bus merupakan salah satu segmen kendaraan nol emisi yang tumbuh paling cepat secara global. Tiongkok menjadi pemimpin dalam transisi ini, dengan hampir 800.000 bus listrik yang telah beroperasi hingga paruh pertama 2024. Kota-kota besar seperti Guangzhou, Shanghai, dan Shenzhen bahkan telah berhasil mengelektifikasi seluruh armada bus mereka (EV-Volumes, 2025). Negara-negara lain seperti India, Korea Selatan, Thailand, dan Chili juga mulai mengikuti jejak Tiongkok dengan mengoperasikan ribuan bus listrik. Bus perkotaan, khususnya, lebih mudah diubah menjadi listrik dibandingkan kendaraan berat lainnya karena memiliki rute dan lokasi parkir yang tetap, serta model kepemilikan yang memungkinkan pertimbangan biaya siklus hidup. Selain itu, bus listrik memberikan peluang untuk mengurangi polusi udara di perkotaan sekaligus meningkatkan kepuasan pengguna transportasi publik berkat pengurangan kebisingan dan getaran mesin. Dengan potensi yang besar, bus listrik juga dapat berperan sebagai pelopor transisi elektrifikasi di Indonesia.

PERTIMBANGAN LAJU ELEKTRIFIKASI

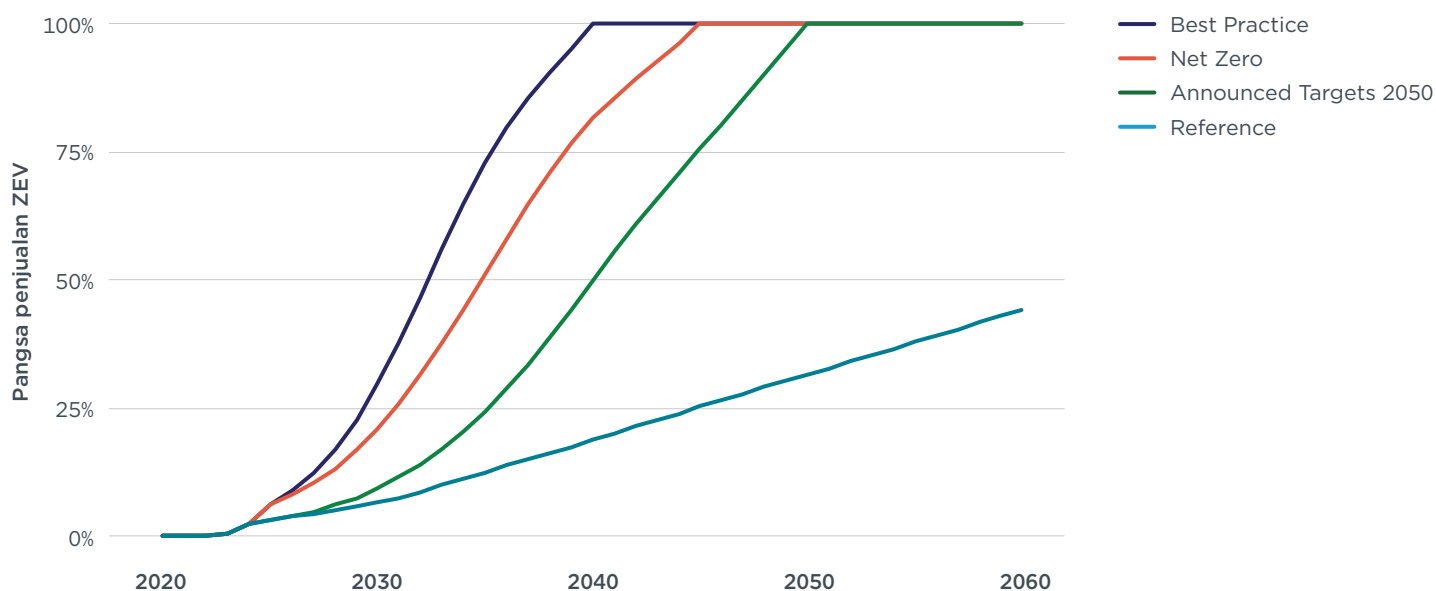
Di Indonesia, Transjakarta telah menjadi pelopor dalam pengembangan bus listrik. Lebih dari 100 bus listrik telah dioperasikan sejauh ini, dan Transjakarta berkomitmen untuk mengelektifikasi seluruh armadanya pada 2030 (Institute for Transportation & Development, 2024; United Nations Environment Programme, 2023). Analisis ICCT menunjukkan bahwa elektrifikasi sebagian besar rute Transjakarta pada 2024 dapat dilakukan dengan teknologi yang tersedia, dimana bus listrik lebih kompetitif secara biaya dibandingkan bus diesel dalam kontrak dengan durasi 15 tahun (Triatmojo et al., 2024).

Dengan dukungan kerangka pembiayaan dan pengadaan yang memadai, serta perencanaan infrastruktur dari lembaga pemerintah dan PT Perusahaan Listrik Negara (PLN), armada bus perkotaan lainnya dapat mengikuti jejak Transjakarta dan mendominasi pengadaan selanjutnya dengan bus listrik mulai pertengahan 2020-an (Xie et al., 2023). Hal ini sejalan dengan target pemerintah agar 90% pengadaan bus baru berbasis listrik pada 2030. Namun, bus antarkota yang menempuh jarak lebih jauh dengan kecepatan lebih tinggi memiliki karakteristik mirip truk berat, sehingga menghadapi tantangan seperti biaya awal yang lebih tinggi dan kebutuhan investasi infrastruktur pengisian daya yang lebih besar. Akibatnya, pasar bus dapat terbagi dua: bus perkotaan mencapai hampir 100% penjualan kendaraan emisi nol (ZEV) pada 2030, sementara bus antarkota belum mencapai penetrasi signifikan hingga pertengahan 2030-an.

TRAJEKTORI ELEKTRIFIKASI

Gambar 4 menunjukkan trajektori pangsa penjualan ZEV yang dimodelkan untuk bus baru. Tidak seperti truk sedang dan berat, skenario *Reference* untuk bus tumbuh secara konsisten setelah 2030 dan mencapai hampir 50% pada 2060. Trajektori seperti ini dapat terwujud jika bus perkotaan mengalami tingkat elektrifikasi yang tinggi, sementara beberapa bus antarkota dan bus besar (*coach bus*) masih mengandalkan mesin diesel. Dalam skenario *Announced Targets 2050*, adopsi ZEV mulai meningkat setelah 2030 dan naik secara linear hingga 100% pada 2050. Sementara itu, dalam skenario *Best Practice* dan *Net Zero*, adopsi mengikuti pola kurva-S, dengan bus listrik mencapai 50% penjualan baru pada 2033 dan 2035, masing-masing. Pertumbuhan awal ini diperkirakan didorong oleh bus perkotaan, yang memiliki potensi disparitas TCO yang menjanjikan. Seperti truk sedang dan berat, bus mencapai elektrifikasi 100% pada 2040 dalam skenario *Best Practice* dan pada 2045 dalam skenario *Net Zero*. Linimasa memberikan waktu untuk membangun infrastruktur yang diperlukan untuk aplikasi yang lebih menantang, seperti bus antarkota.

Gambar 4
Pangsa penjualan kendaraan nol emisi yang dimodelkan untuk bus

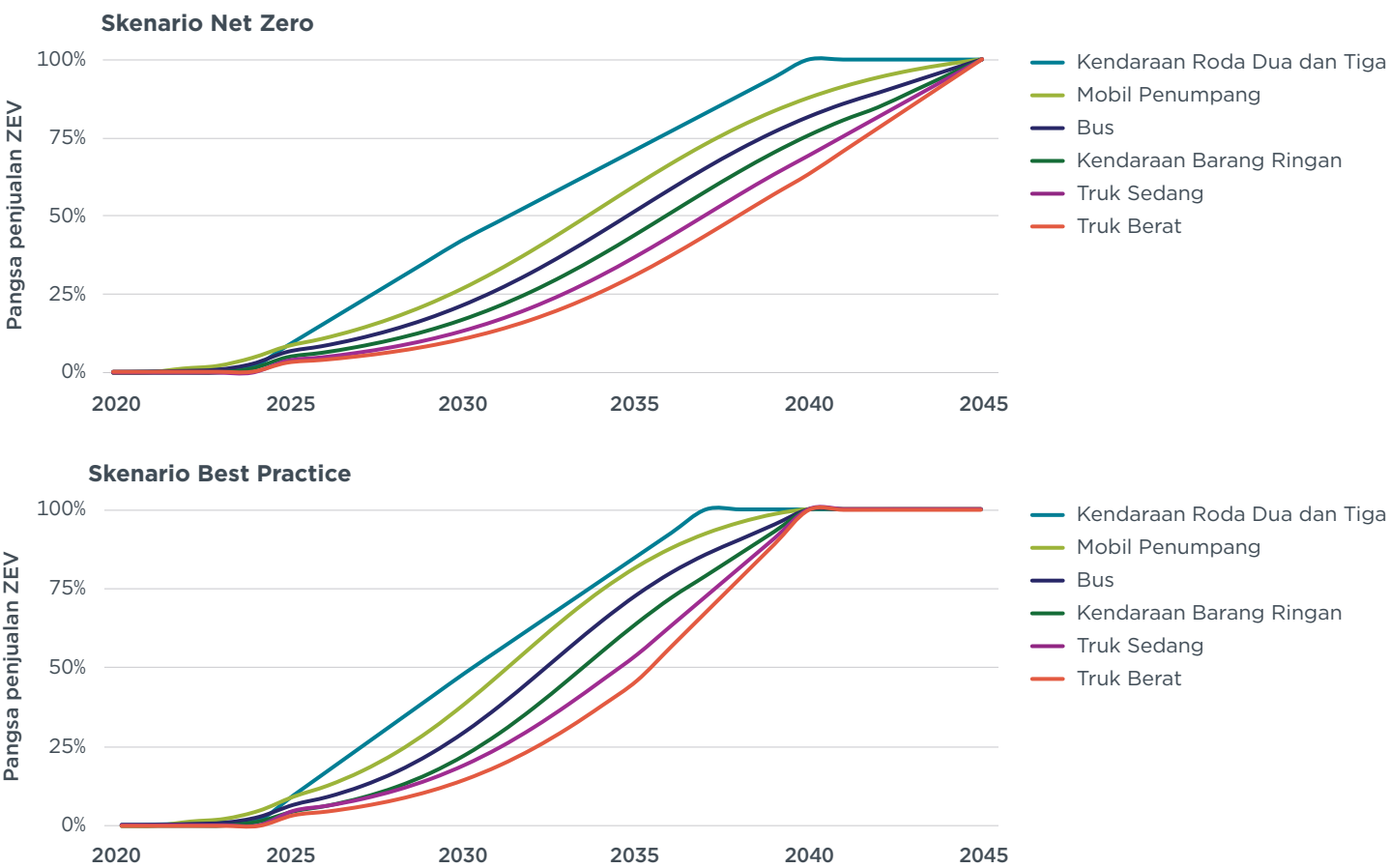


THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION [THEICCT.ORG](https://www.theicct.org)

RINGKASAN PENJUALAN DAN JUMLAH ZEV

Gambar 5 membandingkan trajektori setiap segmen kendaraan dalam skenario *Net Zero* (atas) dan skenario *Best Practice* (bawah). Pangsa penjualan tahunan ZEV untuk setiap jenis kendaraan berdasarkan skenario dirinci lebih lanjut dalam Tabel A1-A4 Lampiran. Untuk kendaraan roda dua dan tiga, skenario *Net Zero* tertinggal satu tahun dibandingkan skenario *Best Practice* dalam mencapai 50% ZEV (2032 vs. 2031). Sementara itu, untuk mobil penumpang, skenario *Best Practice* mencapai hampir 40% penjualan ZEV pada 2030, sedangkan skenario *Net Zero* hanya mencapai sedikit di atas 25%. Namun, dalam kedua skenario, kendaraan roda dua dan mobil penumpang mencatat pertumbuhan tercepat, diikuti oleh bus, sementara truk sedang dan berat baru memulai transisi cepat ke ZEV pada tahun 2030-an. Dalam kedua skenario nol emisi, semua jenis kendaraan mencapai 100% penjualan ZEV sebelum 2045.

Gambar 5
Pangsa penjualan kendaraan nol emisi (ZEV) yang dimodelkan untuk semua jenis kendaraan di Indonesia dalam skenario *Best Practice* dan *Net Zero*



THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION [THEICCT.ORG](https://www.theicct.org)

Tabel 2 merangkum tahun pencapaian 100% penjualan ZEV untuk berbagai segmen kendaraan dalam skenario *Best Practice*, *Net Zero*, dan *Announced Targets 2050*. Tahun penghapusan kendaraan ICE disetarakan dengan tahun 100% penjualan ZEV, dengan asumsi bahwa kendaraan ICE (termasuk *hybrid* dan *plug-in hybrid*) masih dapat dijual hingga tahun tersebut. Sebaliknya, dalam skenario *Reference*, tidak ada segmen kendaraan yang mencapai 100% penjualan ZEV hingga 2060.

Tabel 2
Ringkasan tahun 100% penjualan ZEV dalam skenario berbeda

Jenis kendaraan	Net Zero	Best Practice	Announced Targets 2050
Kendaraan roda dua dan tiga	2040	2037	2050
Kendaraan roda empat (mobil penumpang dan kendaraan komersial ringan)	2045	2040	2050
Bus	2045	2040	2050
Truk sedang	2045	2040	—
Truk berat	2045	2040	—

Keempat skenario adopsi ZEV menggunakan proyeksi yang sama untuk total penjualan kendaraan, stok, dan jarak tempuh. Tabel 3 memuat asumsi laju pertumbuhan tahunan penjualan kendaraan baru serta persentase perubahan total stok kendaraan (yakni kendaraan yang aktif digunakan) dari 2023–2060. Detail lebih lanjut tentang asumsi pemodelan dapat dilihat pada Tabel A5 Lampiran.

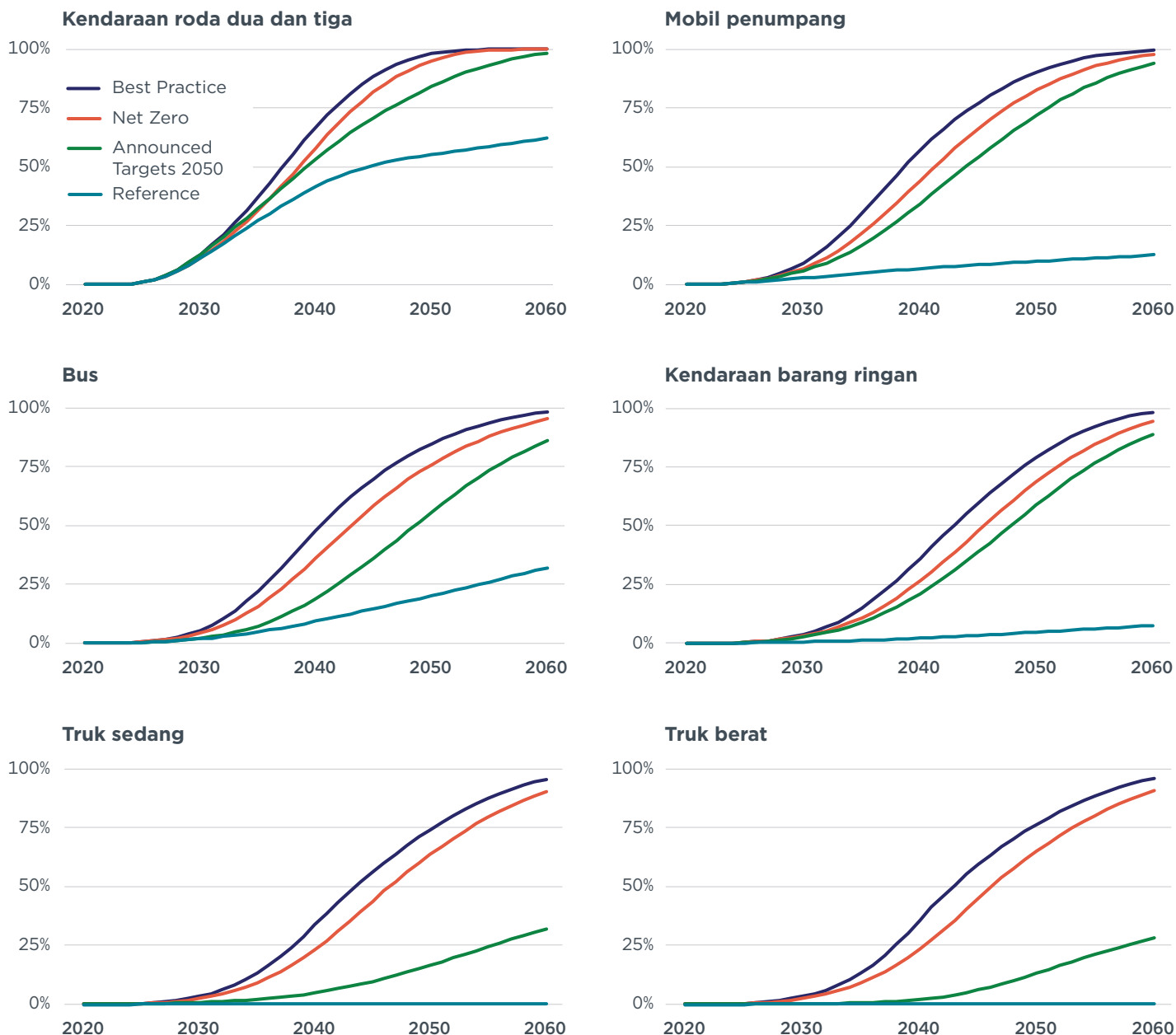
Tabel 3
Asumsi untuk pertumbuhan tahunan penjualan kendaraan baru dan persentase perubahan Jumlah kendaraan dari 2023–2060

Segmen	Laju pertumbuhan tahunan penjualan kendaraan baru	Perubahan jumlah kendaraan pada 2060 dari 2023
Kendaraan roda dua dan tiga	-1% 2025–2050; 0% 2051–2060	–13%
Mobil penumpang	7% pada 2025, menurun hingga 2,6% pada 2060	+376%
Kendaraan komersial ringan	1% 2025–2050, 0,3% 2051–2060	+33%
Truk sedang	3% pada 2025 menurun hingga 1,2% pada 2060	+120%
Truk berat	9% pada 2025 menurun hingga 2,3% pada 2060	+413%
Bus	10% pada 2025, menurun hingga 2,4% pada 2060	+210%

Gambar 6 dan Gambar 7 masing-masing menampilkan proyeksi persentase dan jumlah ZEV yang beroperasi di jalan Indonesia pada periode 2020–2060 untuk keempat skenario, mencakup enam jenis kendaraan.

Gambar 6

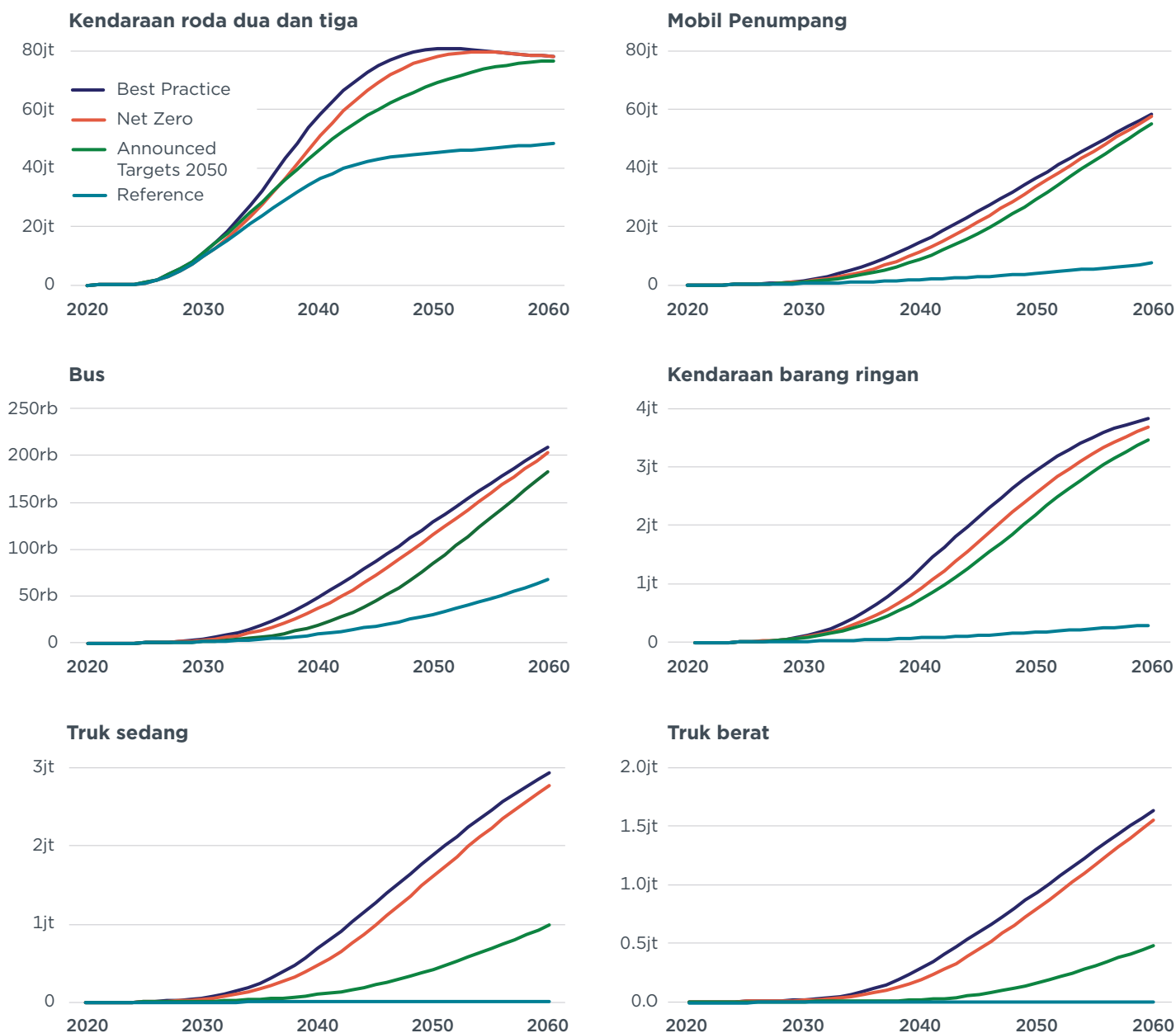
Pangsa jumlah kendaraan ZEV yang diproyeksikan di Indonesia berdasarkan jenis kendaraan pada setiap skenario



THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION [THEICCT.ORG](https://theicct.org)

Gambar 7

Jumlah ZEV yang diproyeksikan di Indonesia berdasarkan jenis kendaraan pada setiap skenario



THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION [THEICCT.ORG](https://theicct.org)

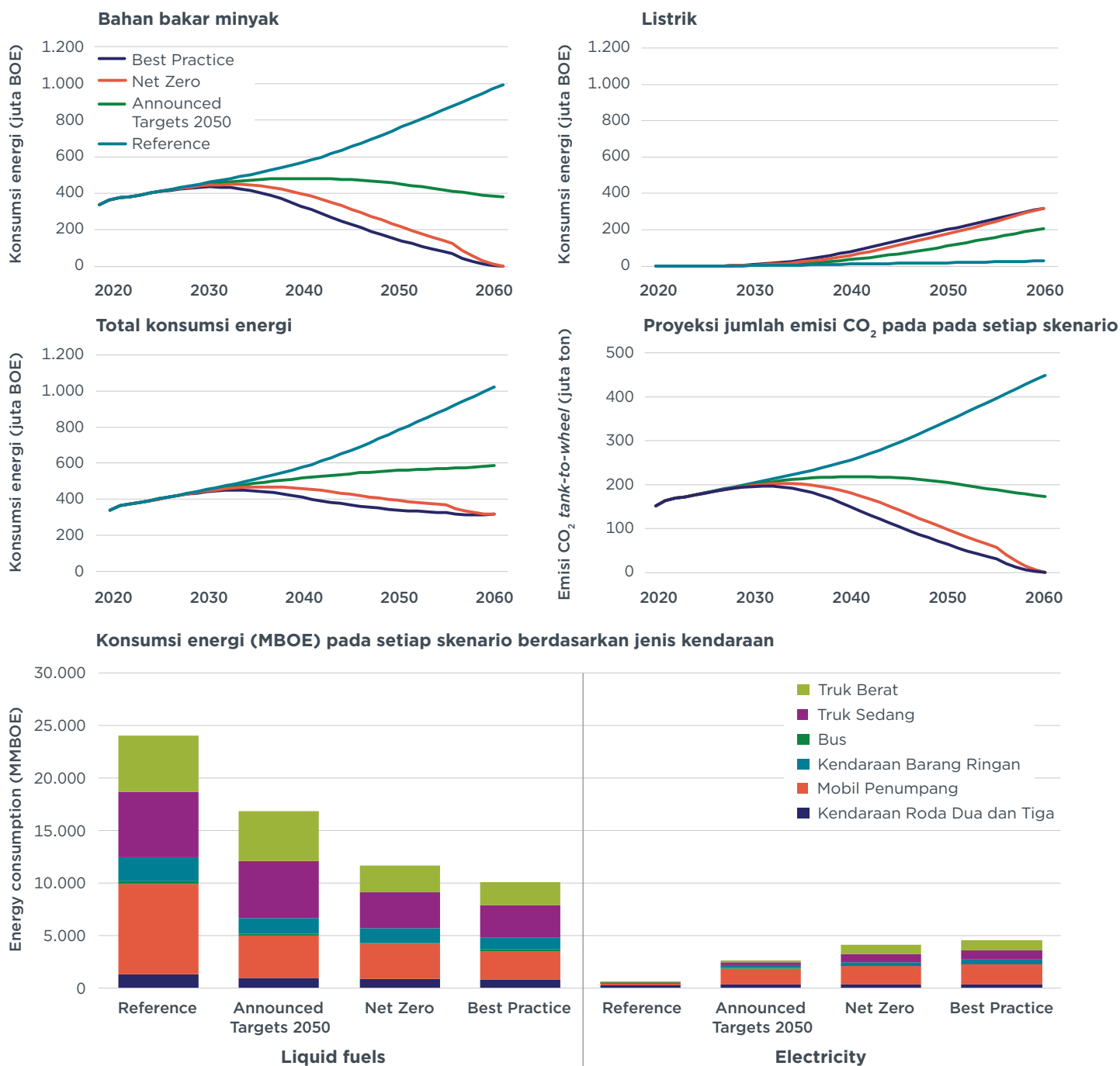
KONSUMSI ENERGI

Antara periode 2015 hingga 2024, stok kendaraan di Indonesia tumbuh dengan rata-rata 5% per tahun (Badan Pusat Statistik, 2023), yang menyebabkan peningkatan impor produk minyak olahan. Pada 2022, Indonesia mengimpor produk minyak olahan senilai Rp340 triliun (US\$23,2 miliar menggunakan nilai tukar rata-rata 2022), menjadikan Indonesia importir terbesar ke-12 di dunia tahun tersebut (The Observatory of Economic Complexity, n.d.).

Percepatan transisi ke Kendaraan Emisi Nol (ZEV) akan berdampak signifikan terhadap konsumsi energi dan cadangan bahan bakar minyak sektor transportasi berbasis jalan di Indonesia. Panel atas Gambar 8 membandingkan konsumsi energi transportasi jalan dalam empat skenario untuk bahan bakar minyak (panel kiri), listrik (panel tengah),

dan total (panel kanan)—semuanya dikonversi dalam juta barel setara minyak atau *barrel oil equivalent* (BOE). Panel kiri bawah menampilkan permintaan energi kumulatif bahan bakar cair dan listrik periode 2023–2060 pada keempat skenario, dipisahkan berdasarkan tipe kendaraan. Sementara itu, panel kanan bawah menunjukkan emisi CO₂ tahunan transportasi jalan (gabungan semua tipe kendaraan) dalam setiap skenario. Patut dicermati bahwa angka CO₂ hanya mencakup emisi *tank-to-wheel*, atau emisi langsung dari kendaraan dan tidak termasuk emisi pembangkitan listrik atau emisi hulu produksi dan pengolahan minyak bumi atau *biofuel*. Semua skenario menggunakan proyeksi yang seragam untuk total kendaraan dan jarak tempuh tahunan (lihat Tabel 3).

Gambar 8
Permintaan energi yang diproyeksikan untuk bahan bakar minyak dan listrik serta emisi CO₂ *tank-to-wheel* tahunan berdasarkan skenario

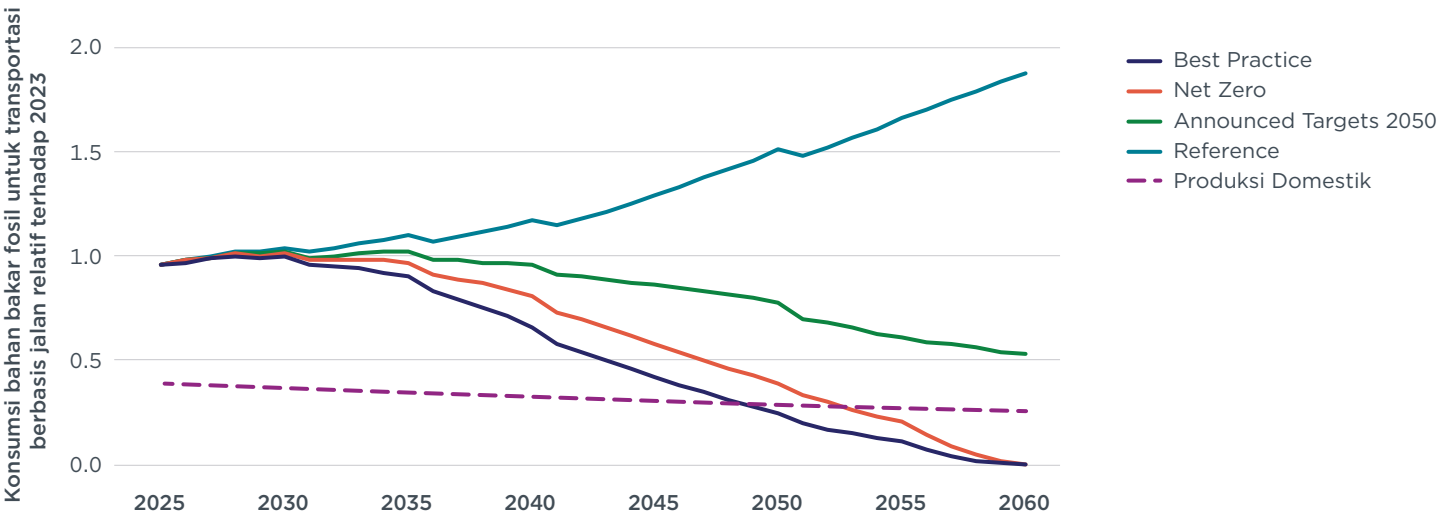


Label data pada grafik kiri bawah menunjukkan konsumsi energi kumulatif dari tahun 2023 hingga 2060, sedangkan label data pada grafik kanan bawah menunjukkan persentase perubahan emisi CO₂ tank-to-wheel tahunan dari tahun 2023 hingga 2060.

Pada Skenario *Reference*, adopsi ZEV yang terbatas—khususnya untuk kendaraan roda empat dan truk—menyebabkan emisi CO₂ *tank-to-wheel* transportasi jalan berlipat hampir tiga kali lipat (2020–2060). Di Skenario *Announced Targets 2050*, emisi memuncak pada sekitar tahun 2040 lalu turun mendekati level 2023 pada 2060. Sebaliknya, dalam kedua skenario pada trajektori emisi nol bersih, puncak emisi CO₂ terjadi awal 2030-an dan turun ke nol pada 2060, yang dapat terwujud dengan implementasi program penghapusan kendaraan konvensional secara bertahap (20% pada 2056, 40% pada 2057, hingga 100% pada 2060). Tanpa program ini, emisi CO₂ pada 2060 hanya turun 84%–94% dari level 2023.

Gambar 9 mengilustrasikan dampak adopsi ZEV terhadap konsumsi bahan bakar fosil di sektor transportasi berbasis jalan pada empat skenario yang dikembangkan, dengan pengecualian *biofuel* yang digunakan dalam kendaraan ICE. Nilai konsumsi ditampilkan dalam indeks relatif terhadap tingkat konsumsi tahun 2023, dengan semua skenario bermula pada titik baseline. Skenario *Reference* menunjukkan peningkatan konsumsi hingga hampir dua kali lipat pada tahun 2060, sementara tiga skenario lainnya menunjukkan tren penurunan. Pada tahun 2023, 60% kebutuhan bahan bakar fosil untuk transportasi berbasis jalan dipenuhi melalui impor (Perdana, 2023), dengan produksi domestik menyumbang 40% sisanya. Produksi domestik ini diproyeksikan mengalami penurunan sebesar 1,2% per tahun (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024a; Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024b). Garis putus-putus pada grafik menunjukkan proyeksi produksi domestik bahan bakar fosil untuk transportasi berbasis jalan yang juga menggunakan indeks relatif terhadap konsumsi tahun 2023.

Gambar 9
Konsumsi bahan bakar fosil transportasi berbasis jalan dalam setiap skenario dan produksi domestik bahan bakar fosil untuk transportasi berbasis jalan, relatif terhadap 2023



THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION [THEICCT.ORG](https://www.theicct.org)

Analisis ini menghasilkan beberapa temuan kunci. Pertama, transisi ke ZEV berdampak terhadap penghematan energi secara absolut yang signifikan berkat efisiensi ZEV yang jauh lebih tinggi dibandingkan kendaraan konvensional. Pada Skenario *Reference*, konsumsi bahan bakar fosil terus meningkat hingga 90% di atas level 2023 pada 2060,

dengan fluktuasi akibat peningkatan bertahap campuran biodiesel dan etanol. Skenario *Announced Targets* 2050 menunjukkan stabilitas konsumsi hingga 2040 sebelum turun menjadi separuh level 2023 pada 2060.

Pemerintah Indonesia menargetkan swasembada energi melalui eliminasi impor bahan bakar fosil pada 2045 (Republik Indonesia, 2024; Tempo, 2023). Namun, baik Skenario *Reference* maupun *Announced Targets* 2050 diperkirakan belum cukup untuk memenuhi target ini. Skenario *Net Zero* diperkirakan mencapai target dengan keterlambatan 8 tahun (2053), sementara Skenario *Best Practice* yang lebih agresif hanya terlambat 3 tahun (2048). Implementasi strategi komplementer seperti peningkatan efisiensi kendaraan konvensional dan percepatan pensiun kendaraan tua berpotensi memenuhi target secara tepat waktu jika dikombinasikan dengan Skenario *Best Practice*.

Proyeksi permintaan listrik menunjukkan peningkatan di semua skenario. Kelebihan pasokan listrik tahunan atau surplus kapasitas pembangkit pada level tahun 2023, diperkirakan tercapai oleh tambahan kebutuhan listrik untuk KBL pada 2029 untuk skenario *Best Practice*, dan 2030 untuk skenario *Net Zero* (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024a). Pada 2060, konsumsi listrik tahunan dalam skenario *Best Practice* diperkirakan mencapai 288 juta BOE (489 TWh) lebih tinggi dibanding skenario *Reference*—setara dengan 138% dari total produksi listrik nasional tahun 2023 (350,6 TWh).

Meskipun kendaraan roda dua dan tiga mendominasi jumlah ZEV, kendaraan roda empat dan truk memberikan kontribusi lebih besar dalam penghematan bahan bakar hingga 2060. Namun, hingga 2035, mayoritas penghematan justru berasal dari kendaraan roda dua tiga, dan empat karena adopsi truk listrik yang lebih lambat.

Sebagaimana ditunjukkan pada panel kiri bawah Gambar 8, Skenario *Net Zero* mengurangi konsumsi bahan bakar minyak kumulatif sebesar 5,1–6,7 miliar BOE hingga 2060 dibandingkan *Announced Targets* 2050, setara dengan penurunan emisi CO₂ sebesar 2,4–3,1 Gt. Penghematan emisi lebih signifikan lagi ketika dibandingkan dengan Skenario *Reference*: akselerasi transisi ZEV (skenario *Best Practice*) berpotensi mengurangi emisi *tank-to-wheel* sebesar 5,6 Gt selama 2025–2060. Sebagian penurunan akan diimbangi oleh emisi tambahan dari pembangkit listrik, bergantung pada proyeksi intensitas karbon jaringan listrik, yaitu antara 0,6 Gt CO₂ menggunakan perkiraan skenario APS dari IEA dan 1,0 Gt CO₂ jika menggunakan proyeksi PLN. Skenario jangka Panjang *Accelerated Renewable Energy Development* (ARED) PLN (2024) memperkirakan penurunan intensitas karbon jaringan listrik 25% (2024–2035) dan 100% pada 2060, sementara proyeksi IEA APS lebih ambisius dengan penurunan 38% (2024–2035) dan 83% (2060).

PENGHEMATAN SUBSIDI ENERGI

Indonesia telah mengadopsi kebijakan subsidi bahan bakar minyak (BBM) sejak akhir 1970-an, dan Bank Dunia telah mengidentifikasinya sebagai salah satu tantangan utama dalam kebijakan fiskal negara (Ihsan et al., 2024). Meskipun reformasi subsidi telah dilakukan pada 2015 dan penyesuaian harga BBM diberlakukan pada 2022, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) melaporkan bahwa alokasi subsidi energi pada 2024 meningkat 17% dibandingkan tahun sebelumnya, mencapai Rp187 triliun (US\$12 miliar) (Argus Media, 2024). Subsidi bahan bakar fosil—meliputi bensin, solar, dan *liquefied petroleum gas* (LPG)—menyumbang sekitar 60% dari total subsidi energi di Indonesia (Badan Pemeriksa Keuangan, 2024).

Sejak 2023, BBM di Indonesia dipasarkan dalam tujuh tingkatan yang diklasifikasikan ke dalam tiga kategori: bensin, solar, dan campuran biodiesel. Dalam setiap kategori,

satu tingkatan bahan bakar menerima pendanaan subsidi dari pemerintah (Tabel 4). Menurut Badan Pemeriksa Keuangan (2024), pemerintah mengalokasikan Rp143 triliun pada 2023 untuk mensubsidi dan mengkompensasi sebagian konsumsi bahan bakar transportasi darat. Alokasi ini mencakup 30 juta kiloliter (KL) bensin dan 31 juta KL kombinasi solar dan biodiesel (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024a). Pada 2024, solar murni bersubsidi menerima subsidi tetap Rp1.000 per liter dan kompensasi solar sebesar Rp3.966 per liter.³ Sementara itu, solar yang dicampur biodiesel juga memperoleh insentif dari Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) (Ihsan et al., 2024). Pemerintah tidak memberikan subsidi tetap untuk bensin, tetapi memberikan kompensasi sebesar Rp1.596 per liter.⁴ Saat ini, pasar bensin masih menerapkan pencampuran etanol dalam skala terbatas sebagai proyek percontohan. Namun, pemerintah berencana mengalihkan kompensasi bensin ke etanol (Wahyudi, 2024). Berdasarkan analisis indeks harga etanol Kementerian ESDM, rata-rata subsidi untuk bahan bakar campuran diperkirakan mencapai Rp5.491 per liter.⁵

Tabel 4
Jenis bahan bakar, klasifikasi harga, dan volume di Indonesia pada tahun 2023

Kategori bahan bakar	Tingkatan bahan bakar	Klasifikasi harga	Volume konsumsi 2023 (juta KL)	Pangsa kategori bahan bakar bersubsidi pada 2023
Bensin	RON 90	Bersubsidi	30,22	84%
	RON 92	Tidak bersubsidi	5,44	
	RON 95+98+100	Tidak bersubsidi	0,36	
Diesel	CN 48	Bersubsidi	0,33	22%
	CN 51	Tidak bersubsidi	0,83	
	CN 53	Tidak bersubsidi	0,37	
Campuran biodiesel	Campuran diesel dan minimal 30% biodiesel	Bersubsidi	31,19	100%

Sumber: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2024a)

Implementasi skenario *Net Zero* dan *Best Practice* akan mengurangi konsumsi BBM (fosil dan biofuel) masing-masing sebesar 0,9 miliar KL dan 1,2 miliar KL dibandingkan dengan skenario *Announced Targets* 2050. Pengurangan ini bahkan lebih dari dua kali lipat jika dibandingkan dengan skenario *Reference*. Dengan menerapkan perhitungan subsidi per liter (Rp/L) untuk solar, biodiesel, dan campuran bensin-etanol, total subsidi yang dapat dihemat selama periode 2025–2060 diperkirakan mencapai Rp3.960 triliun (US\$255 miliar) untuk skenario *Net Zero* dan Rp4.984triliun (US\$321 miliar) untuk skenario *Best Practice*. Dibandingkan dengan skenario *Reference*, penghematan subsidi total mencapai Rp7.617 triliun (US\$490 miliar) dan Rp8.641triliun (US\$556 miliar) masing-masing untuk skenario *Net Zero* dan *Best Practice*.

Analisis ini juga mempertimbangkan subsidi listrik yang akan dialokasikan untuk kendaraan listrik, dengan asumsi tidak ada perubahan dalam skema subsidi saat ini. Sistem tarif listrik saat ini mengkategorikan konsumen rumah tangga ke dalam 13 golongan berdasarkan kapasitas daya dalam volt-ampere (VA). Seperti yang telah

3 Berdasarkan perhitungan yang dilakukan oleh Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi pada Oktober 2024. Pemerintah Indonesia memberikan subsidi bahan bakar dalam dua bentuk: (1) pengembalian tetap per liter kepada Pertamina, perusahaan minyak dan gas milik negara, yang memungkinkan harga bahan bakar fosil lebih rendah untuk rumah tangga berpenghasilan rendah dan industri; dan (2) kompensasi kepada Pertamina untuk selisih antara biaya pengadaan pasar dan harga konsumen yang diatur untuk bahan bakar baik yang disubsidi maupun yang tidak disubsidi.

4 Sama seperti di atas, berdasarkan perhitungan Kemenko Marves yang dilakukan pada Oktober 2024.

5 Berdasarkan perbandingan harga indeks etanol pasar dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2024c) dengan harga gasoline MOPS di tingkat grosir. Harga gasoline kami ambil dari Pertamina (2024).

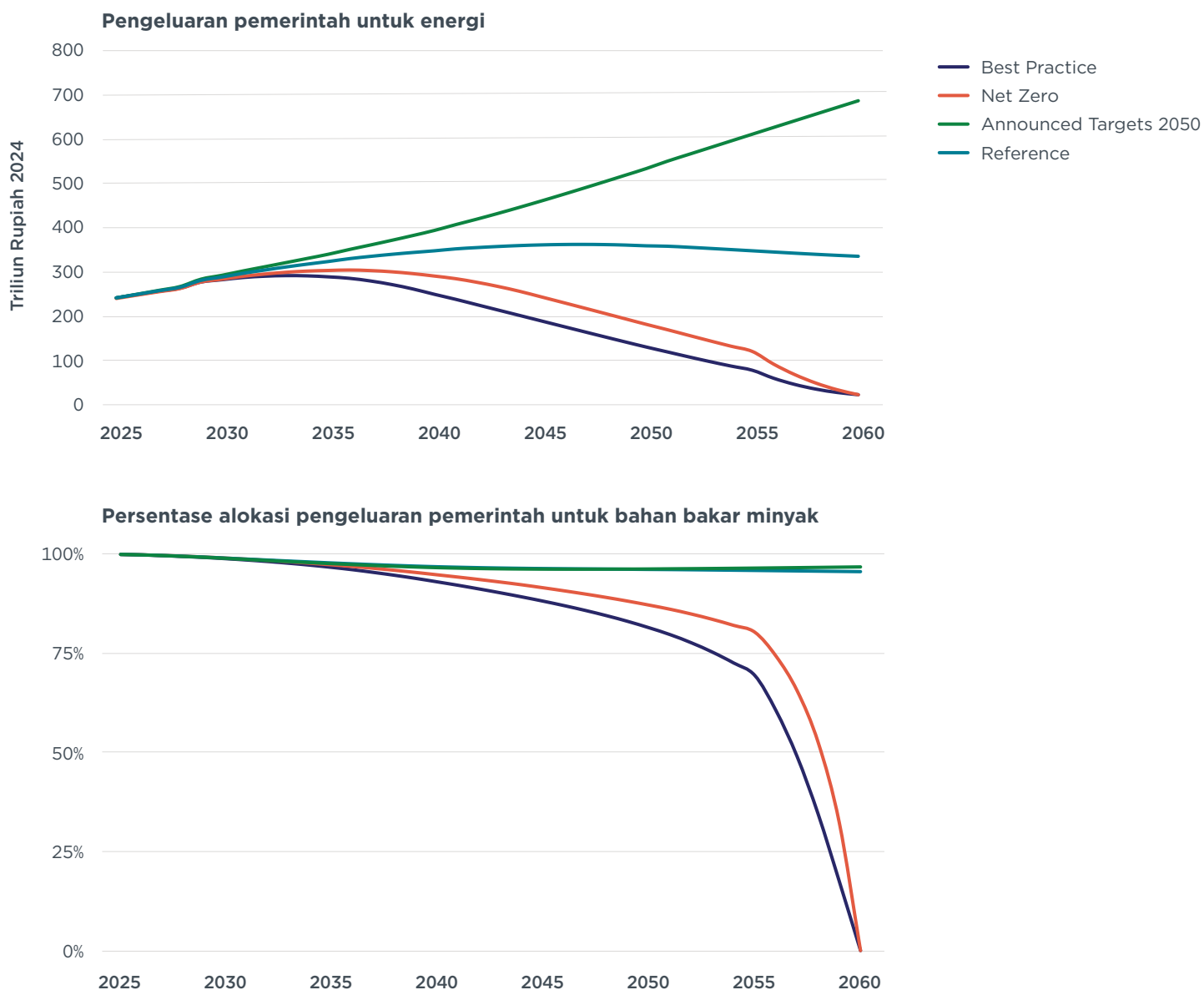
diatur oleh Kementerian ESDM (2024d), seluruh konsumen rumah tangga berdaya 450 VA berhak menerima tarif bersubsidi sekitar Rp1.000/kWh dan Rp700/kWh untuk sebagian konsumen dengan golongan daya 900 VA. Data statistik PLN (2022) menunjukkan bahwa mayoritas konsumen di Indonesia termasuk dalam kedua kategori ini.

Berbeda dengan mobil yang umumnya memerlukan pengisian daya pada 3.300 VA atau lebih, kendaraan roda dua dan tiga diproyeksikan memenuhi syarat subsidi listrik karena dapat menggunakan pengisian daya rumah tangga berkapasitas 900 VA atau lebih rendah (PLN, 2023). Dalam analisis ini, perkiraan subsidi listrik menggunakan pendekatan konservatif dengan asumsi subsidi Rp1.000/kWh untuk seluruh konsumsi listrik kendaraan roda dua dan tiga. Namun, dalam praktiknya, kendaraan roda dua dan tiga sering kali mengisi ulang daya di lokasi tanpa subsidi (seperti rumah tangga non-subsidi, stasiun pengisian listrik umum, stasiun penukaran baterai kendaraan listrik umum) yang tidak menerima subsidi, serta di tempat tinggal berdaya 900 VA dengan subsidi yang lebih rendah (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2024d; CNN Indonesia, 2023).

Gambar 10 menggambarkan proyeksi anggaran pemerintah untuk sektor transportasi berbasis jalan, dengan asumsi tidak ada perubahan dalam struktur dukungan fiskal. Sementara total keperluan anggaran dalam skenario *Reference* diproyeksikan terus meningkat hingga 2060, skenario *Announced Targets* 2050 menunjukkan tren penurunan bertahap setelah 2046, dengan stabilisasi pengeluaran di Rp333 triliun pada 2060—masih 58% lebih tinggi daripada level 2023. Sebaliknya, skenario *Net Zero* dan *Best Practice* mencapai puncak pengeluaran lebih awal, masing-masing pada 2036 dan 2033, dengan penurunan signifikan hingga sekitar Rp24 triliun pada 2060—atau 89% di bawah level 2023.

Gambar 10

Pengeluaran pemerintah untuk energi, bahan bakar minyak dan listrik (atas), dan persentase alokasi untuk bahan bakar cair dari 2025 hingga 2060 (bawah)



THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION [THEICCT.ORG](https://theicct.org)

KESIMPULAN

Analisis pada studi ini memaparkan dua skenario pengembangan Kendaraan Nol Emisi (ZEV) yang dapat menempatkan Indonesia pada jalur dekarbonisasi transportasi darat menuju target nol emisi tahun 2060 sekaligus memantapkan posisi Indonesia sebagai pemimpin global dalam implementasi ZEV: skenario *Net Zero* dan *Best Practice*. Pada kedua skenario tersebut, kendaraan roda dua dan tiga diproyeksikan menjadi pelopor adopsi ZEV, mencapai 100% penjualan pada tahun 2040 dalam skenario *Net Zero* dan lebih cepat pada tahun 2037 dalam skenario *Best Practice* yang lebih ambisius. Sementara untuk kendaraan roda empat (mobil penumpang dan kendaraan barang ringan/LCV), bus, serta truk (muatan sedang dan berat), target 100% penjualan ZEV baru tercapai pada tahun 2045 dalam skenario *Net Zero* dan tahun 2040 dalam skenario *Best Practice*.

Kedua skenario nol emisi ini memerlukan pertumbuhan penjualan ZEV yang konsisten di semua segmen kendaraan—khususnya kendaraan roda dua-tiga, bus perkotaan, dan kendaraan roda empat—yang harus dimulai sejak tahun 2025. Skenario-skenario ini kemudian dibandingkan dengan skenario *Announced Targets* 2050, yakni saat kendaraan roda dua-tiga, kendaraan roda empat, dan bus baru mencapai 100% penjualan ZEV pada 2050, sedangkan truk sedang dan berat masih berada di bawah 50% penjualan ZEV hingga 2060. Sebagai pembanding, analisis ini juga mempertimbangkan skenario *Reference* yang menggambarkan adopsi ZEV terbatas dan tidak ada satupun segmen kendaraan yang mencapai 100% penjualan ZEV hingga tahun 2060.

Implementasi kedua skenario nol emisi ini akan memberikan manfaat ganda bagi iklim dan perekonomian. Dibandingkan dengan skenario *Announced Targets* 2050, trajektori emisi nol bersih (skenario *Net Zero* dan *Best Practice*) diproyeksikan mampu mengurangi konsumsi BBM kumulatif hingga 2060 sebesar 5,1–6,7 miliar BOE, menghilangkan kebutuhan subsidi energi senilai Rp3.960–Rp4.984 triliun (US\$255–321 miliar), serta menekan emisi CO₂ *tank-to-wheel* sebesar 2,4–3,1 gigaton (Gt). Manfaat ini akan semakin signifikan ketika dibandingkan dengan skenario *Reference* yang hanya mengasumsikan adopsi ZEV minimal.

Studi ini merupakan bagian pertama dari serangkaian kajian transisi otomotif menuju emisi nol bersih di Indonesia. Bagian selanjutnya akan menguraikan bagaimana perkembangan teknologi ZEV global tidak hanya mendukung pencapaian target emisi nol bersih, tetapi juga menurunkan beban biaya bagi pengguna kendaraan bermotor di Indonesia serta membuka peluang pengembangan industri manufaktur dalam negeri. Untuk implementasi efektif trajektori emisi nol bersih (skenario *Net Zero* dan *Best Practice*), diperlukan integrasi kebijakan yang mencakup aspek regulasi, fiskal, dan pengembangan infrastruktur pendukung. Kajian ICCT berikutnya akan mengkaji strategi pengembangan kebijakan *fuel economy* atau ZEV, perencanaan infrastruktur pengisian daya, serta berbagai kebijakan pendukung lain yang diperlukan untuk mewujudkan trajektori yang ditampilkan dalam studi ini, serta mencapai visi emisi nol bersih transportasi berbasis jalan pada tahun 2060.

REFERENSI

- Accelerating to Zero Coalition. (n.d.). *Signatories*. <https://acceleratingtozero.org/signatories/>
- Anenberg, S., Miller, J., Henze, D., & Minjares, R. (2019). *A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/a-global-snapshot-of-the-air-pollution-related-health-impacts-of-transportation-sector-emissions-in-2010-and-2015/>
- Antara. (2024, June 14). Neta, Wuling, Chery, and Sokon to make Indonesia an EV export hub. *Jakarta Globe*. <https://jakartaglobe.id/business/neta-wuling-chery-and-sokon-to-make-indonesia-an-ev-export-hub>
- Argus Media. (2024, January 19). Indonesia targets \$12bn in energy subsidies for 2024. <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2529379-indonesia-targets-12bn-in-energy-subsidies-for-2024>
- Asian Automotive Analysis. (2024a). Indonesia's automobile production results in 2023. <https://aaa.fourin.com/reports/08250810-f70d-11ee-9c9b-738c1e9b58b1/indonesias-automobile-production-results-in-2023>
- Asian Automotive Analysis. (2024b). ASEAN's motorcycle production results in 2023. <https://aaa.fourin.com/reports/d94b2220-f7be-11ee-b463-bda94474cdae/aseans-motorcycle-production-results-in-2023>
- Asian Development Bank. (2022). *Electric motorcycle charging infrastructure roadmap for Indonesia*. <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/830831/electric-motorcycle-charging-infrastructure-indonesia.pdf>
- Badan Pemeriksa Keuangan. (2024). Laporan Keuangan Pemerintah Pusat Tahun 2023. https://www.bpk.go.id/assets/files/lkpp/2023/lkpp_2023_1717473846.pdf
- Badan Pusat Statistik. (2023). Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis. Diakses 30 Januari, 2025, dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTcjMg==/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis-unit.html>
- Badan Pusat Statistik. (2022). Statistik Transportasi Darat Land Transportation Statistics 2021. Badan Pusat Statistik Indonesia. <https://www.bps.go.id/id/publication/2022/11/28/a2ae6b2aa8c5651063f45dfc/statistik-transportasi-darat-2021.html>
- Badan Pusat Statistik. (2024). Statistik Transportasi Darat 2023. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/id/publication/2024/11/25/cdcf9b5e74dd2e9bb3458ee4/statistik-transportasi-darat-2023.html>
- Basma, H., Saboori, A., & Rodríguez, F. (2021). *Total cost of ownership for tractor-trailers in Europe: Battery electric versus diesel*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/total-cost-of-ownership-for-tractor-trailers-in-europe-battery-electric-versus-diesel/>
- California Air Resources Board. (2023, April 28). California approves groundbreaking regulation that accelerates the deployment of heavy-duty ZEVs to protect public health [Press release]. <https://ww2.arb.ca.gov/news/california-approves-groundbreaking-regulation-accelerates-deployment-heavy-duty-zevs-protect>
- CALSTART. (2024a). *Zero-emission technology inventory (ZETI) tool (Version 9.0)*. Drive to Zero. Retrieved February 5, 2025, <https://globaldrivetozero.org/tools/zeti/>
- CALSTART. (2024b). *Drive to Zero's Zero-Emission Technology Inventory Data Explorer. Version 1.5*. <https://globaldrivetozero.org/zeti-data-explorer/>
- CNN Indonesia. (2023). Biaya cas motor listrik subsidi di rumah daya 450 VA dan 900 VA. <https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20230901094557-603-993333/biaya-cas-motor-listrik-subsidi-di-rumah-daya-450-va-dan-900-va>
- CNN Indonesia. (2024). Jokowi bicara peluang besar motor listrik di Indonesia. <https://www.cnnindonesia.com/otomotif/20240503183034-579-1093715/jokowi-bicara-peluang-besar-motor-listrik-di-indonesia>
- El Rizani, N. G. (2024, January 4). Indonesia's electric motorcycle subsidy program off to a slow start. *Jakarta Globe*. <https://jakartaglobe.id/business/indonesias-electric-motorcycle-subsidy-program-off-to-a-slow-start>
- EV-Volumes. (2025). *EV data center*. <https://ev-volumes.com/product/ev-volumes/>
- Fadhil, I., & Shen, C. (2024). *Electric vehicles market monitor for light-duty vehicles: China, Europe, United States, and India, 2023*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/ev-ldv-major-markets-monitor-2023-may24/>
- Gaikindo. (2024). Wholesales Kendaraan 2024 [Dataset]. <https://www.gaikindo.or.id/indonesian-automobile-industry-data/>
- Global Commercial Vehicle Drive to Zero. (n.d.). *Global MOU policy tracker Progress dashboard*. Global Drive to Zero. Retrieved February 7, 2025, from <https://globaldrivetozero.org/progress-dashboard/>
- Hall, D., Posada, F., Syahputri, J., Miller, J., & Yang, Z. (2024). *The role of supply-side regulations in meeting Indonesia's 2030 electric vehicle target*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/role-of-supply-side-regulations-in-meeting-indonesias-2030-ev-target-jul24/>

- Ihsan, A., Abriningrun, D.E., Sjahrir, B.S., & Giannozzi, S. (2024). *Indonesia's fuel subsidies reforms*. World Bank Group. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099748505212431959/ide31e5e531f16114baa1b62c1b3201c9c2e68>
- Badan Pusat Statistik. (2016). Statistik Transportasi Darat 2015. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/id/publication/2016/11/21/fdd38bc5a2f1b12931ba2396/statistik-transportasi-darat-2015.html>
- Institute for Essential Services Reform. (2023). Indonesia Electric Vehicle Outlook 2023 Electrifying Transport Sector: Tracking Indonesia EV Industries and Ecosystem Readiness. <https://iesr.or.id/en/pustaka/indonesia-electric-vehicle-outlook-2023/>.
- Institute for Transportation & Development. (2024). Peta Jalan dan Program Insentif Nasional untuk Elektrifikasi Transportasi Publik Perkotaan berbasis Jalan. <https://itdp-indonesia.org/publication/peta-jalan-dan-program-insentif-nasional-untuk-elektrifikasi-transportasi-publik-perkotaan-berbasis-jalan/>
- International Council on Clean Transportation. (2024). *Roadmap Model Documentation* [Computer software]. <https://theicct.github.io/roadmap-doc/>
- International Energy Agency (2022). *An energy sector roadmap to net zero emissions in Indonesia*. <https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-net-zero-emissions-in-indonesia>
- International Energy Agency. (2024). *Global EV outlook 2024: Moving towards increased affordability*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>
- JATO Dynamics. (2025). *Battery electric vehicles: Global trends, Chinese OEMs, and price challenges*. <https://www.jato.com/resources/reports-and-whitepapers/closing-the-gap-the-progress-towards-affordable-evs-and-the-rising-competition-from-china>
- Kaur, H., Yadav, A., & Deo, A. (2024). *Total cost of ownership parity between battery electric trucks and diesel trucks in India*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/tco-bet-hdde-india-aug24/>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024a). *Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2023*. <https://esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2023.pdf>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024b). Pemerintah Sukses Tekan Laju Penurunan Produksi Minyak Bumi [Siaran Pers]. <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/pemerintah-sukses-tekan-laju-penurunan-produksi-minyak-bumi>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2024c). Siaran Pers T-1378/EK.05/DJE.B/2024 tentang jumlah HIP BBN untuk jenis bioetanol pada Mei 2024. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hip-bbn-bioetanol-bulan-mei-2024-dipatok-rp14528-per-liter>
- Kementerian Energi dan Sumber Daya. (2024d). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 3 Tahun 2024 tentang Pemberian Subsidi Tarif Tenaga Listrik Untuk Rumah Tangga Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/288515/permen-esdm-no-3-tahun-2024>
- Kementerian Perindustrian. (2022). Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 6 Tahun 2022 tentang Spesifikasi, Peta Jalan Pengembangan, dan Ketentuan Penghitungan Nilai Tingkat Komponen Dalam Negeri Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (Battery Electric Vehicle). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/227541/permenperin-no-6-tahun-2022>
- Kementerian Perindustrian.Ministry of Industry. (2023). Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 6 Tahun 2023 tentang Pedoman Pemberian Bantuan Pemerintah untuk Pembelian Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai Roda Dua. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/254545/permenperin-no-6-tahun-2023>
- Kristiana, T., Pierce, L., Baldino, C., & Schmidt, J. (2024). *Charging Indonesia's vehicle transition: Infrastructure needs for electric passenger cars in 2030*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/charging-indonesias-vehicle-transition-infrastructure-needs-for-electric-pv-2030-feb24/>
- KumparanOTO. (2024). Penjualan Motor Listrik 2024 Tembus 62 Ribu Unit, Mayoritas dari Subsidi. <https://kumparan.com/kumparanoto/penjualan-motor-listrik-2024-tembus-62-ribu-unit-mayoritas-dari-subsidi-24LYiC3ZNK7/1>
- Kurniawan, R., Kurniawan, A. (2024). Analisis Penjualan Mobil Listrik Indonesia Januari November 2024. <https://otomotif.kompas.com/read/2024/12/30/080200315/analisis-penjualan-mobil-listrik-indonesia--januari-november-2024>
- Liu, X. (2024, March 20). In China, a growing body of real-world data on electric trucks. *International Council on Clean Transportation Staff Blog*. <https://theicct.org/china-growing-rw-electric-trucks-mar24/>
- Lutsey, N., Cui, H., & Yu, R. (2021). *Evaluating electric vehicle costs and benefits in China in the 2020–2035 time frame*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/ev-costs-benefits-china-EN-apr2021>

- Mahalana, A., Yang, Z., & Posada, F. (2023). *The consumer cost of ownership of electric passenger cars in Indonesia*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/asia-pacific-evs-cco-evs-indonesia-jan23/>
- Mao, S., Basma, H., Ragon, P.-L., Zhou, Y., & Rodriguez, F. (2021). *Total cost of ownership for heavy trucks in China: Battery electric, fuel cell, and diesel trucks*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publications/ze-hdvs-china-tco-EN-nov21>
- Mao, S., Xu, L., & Rodriguez, F. (2024). *Zero-emission medium- and heavy-duty vehicle market in China (January–June 2024)*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/ze-mhdv-market-china-january-june-2024-nov24/>
- Perdana, A. P. (2023). Ketergantungan pada Impor Perlu Dikurangi. *Kompas*. <https://www.kompas.id/baca/ekonomi/2023/09/10/kurangi-kebergantungan-impor-minyak-mentah>
- Pertamina. (2024). Harga Minyak Pertamina. Diakses 24 September, 2024, dari <https://mypertamina.id/fuels-harga>
- PLN. (2022). PLN Statistik PLN 2022. <https://web.pln.co.id/statics/uploads/2023/05/Statistik-PLN-2022-Final-2.pdf>
- PLN. (2023). Home Charging Produk Layanan PLN untuk Kebutuhan Pengisian Baterai Kendaraan Listrik di Rumah. [Siaran Pers]. <https://web.pln.co.id/cms/media/siaran-pers/2023/02/home-charging-produk-layanan-pln-untuk-kebutuhan-pengisian-baterai-kendaraan-listrik-di-rumah/>
- PLN. (2024). Akselerasi Elektrifikasi Sektor Transportasi dalam Mendukung Target *Net Zero Emission* Tahun 2060 [Slide presentasi]. Perusahaan Listrik Negara. Jakarta, Indonesia.
- Republik Indonesia. (2019). Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/116973/perpres-no-55-tahun-2019>
- Republik Indonesia. (2021). *Biennial update report (BUR3)*. United Nations Framework Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/documents/403577>
- Republik Indonesia. (2024). Undang-undang Nomor 59 Tahun 2024 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional Tahun 2025-2045. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/299728/uu-no-59-tahun-2024>
- Sen, A., & Miller, J. (2023). *Vision 2050: Update on the global zero-emission vehicle transition in 2023*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/vision-2050-global-zev-update-sept23/>
- Shah, J., & Dalal, N. (2023). *ASEAN mobility: Poised for EV acceleration*. Maybank IBG Sustainability Research. <https://www.maybank.com/iwov-resources/documents/pdf/blogs/2023/20230728-ASEAN-Mobility.pdf>
- Shen, C., Fadhil, I., Yang, Z., & Searle, S. (2024). *The Global Automaker Rating 2023: Who is leading the transition to electric vehicles?* International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/global-automaker-rating-2023>
- Tempo. (2023). Komitmen Indonesia Hentikan Impor Bahan Bakar Fosil pada 2045, ini Hitungan Luhut. *Tempo.co*. Diakses 30 Januari 2025, dari <https://www.tempo.co/ekonomi/yakin-indonesia-pada-2045-stop-impor-bahan-bakar-fosil-ini-hitungan-luhut-228113>
- The Observatory of Economic Complexity. (n.d.). *Refined petroleum in Indonesia*, <https://oec.world/en/profile/bilateral-product/refined-petroleum/reporter/idn>
- Triatmojo, A., Posada, F., Jin, L., & Bueno, C. (2024). *Planning the adoption of battery electric buses in Transjakarta: Route-level energy consumption, driving range, and total cost of ownership*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/analysis-of-zero-emission-bus-in-transjakarta-fleet-feb24/>
- United Nations Environment Programme. (2023). Switching over: Transjakarta to electrify bus fleet, with support from UNEP. <https://indonesia.un.org/en/255945-switching-over-transjakarta-electrify-bus-fleet-support-unep#:~:text=Provincial%20authorities%20are%20looking%20to,with%20electric%20buses%20by%202030>
- Wahyudi, N. A. (2024). Peluang Peralihan diganti Bioetanol, Luhut Bicara Potensi & Subsidi. *Bisnis.com*. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20240503/44/1762615/peluang-pertalite-diganti-bioetanol-luhut-bicara-potensi-subsidinya>
- Wakabayashi, D., & Fu, C. (2024, 4 July 30). Chinese EV makers rush in and upend a country's entire auto market. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2024/07/30/business/chinese-electric-vehicles-thailand.html>
- Xie, Y., Posada, F., & Triatmojo, A. (2023). *Policy roadmap for accelerating public transit bus electrification in Indonesia*. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/heavy-vehicles-indonesia-electrification-june23/>
- ZEV Transition Council. (2024). *ZEV cost: Total cost of ownership*. <https://zevtc.org/tracking-progress/zev-cost-total-cost-of-ownership/>
- ZEV Transition Council. (n.d.). *Tracking progress*. <https://zevtc.org/tracking-progress/>

LAMPIRAN

Tabel A1-A4. Pangsa penjualan tahunan ZEV untuk setiap jenis kendaraan dan skenario

Tabel A1
Skenario *Best Practice*

Tahun	Bus	Truk Berat	Kendaraan Barang Ringan	Kendaraan Roda Dua dan Tiga	Truk Sedang	Mobil Penumpang
2025	6%	3%	5%	9%	5%	9%
2026	9%	5%	6%	17%	6%	13%
2027	12%	6%	9%	25%	8%	17%
2028	17%	8%	12%	33%	11%	23%
2029	23%	11%	17%	41%	15%	30%
2030	30%	15%	22%	48%	19%	39%
2031	38%	19%	29%	56%	25%	48%
2032	47%	25%	37%	63%	31%	57%
2033	56%	31%	46%	70%	38%	66%
2034	65%	38%	55%	78%	46%	75%
2035	73%	46%	64%	85%	54%	82%
2036	80%	57%	72%	93%	63%	88%
2037	86%	68%	79%	100%	72%	92%
2038	91%	78%	86%	100%	82%	96%
2039	95%	89%	93%	100%	91%	98%
2040	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabel A2
Skenario Net Zero

Tahun	Bus	Truk Berat	Kendaraan Barang Ringan	Kendaraan Roda Dua dan Tiga	Truk Sedang	Mobil Penumpang
2025	6%	3%	5%	8%	4%	9%
2026	8%	4%	6%	15%	5%	11%
2027	11%	5%	8%	22%	6%	14%
2028	13%	6%	10%	28%	8%	17%
2029	17%	8%	13%	35%	10%	22%
2030	21%	10%	17%	42%	13%	27%
2031	26%	13%	21%	48%	17%	32%
2032	32%	17%	26%	54%	21%	39%
2033	38%	21%	31%	59%	25%	45%
2034	44%	25%	37%	65%	31%	53%
2035	51%	31%	44%	71%	37%	60%
2036	58%	37%	51%	77%	43%	66%
2037	65%	43%	58%	83%	50%	73%
2038	71%	50%	64%	88%	57%	78%
2039	77%	57%	70%	94%	63%	83%
2040	82%	63%	76%	100%	69%	88%
2041	86%	71%	81%	100%	75%	91%
2042	89%	78%	85%	100%	82%	94%
2043	93%	85%	90%	100%	88%	97%
2044	96%	93%	95%	100%	94%	98%
2045	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabel A3
Skenario Announced Targets 2050

Tahun	Bus	Truk Berat	Kendaraan Barang Ringan	Kendaraan Roda Dua dan Tiga	Truk Sedang	Mobil Penumpang
2020	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2021	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2022	0%	0%	0%	0%	0%	1%
2023	1%	0%	0%	1%	0%	2%
2024	3%	0%	1%	2%	0%	5%
2025	3%	0%	4%	9%	1%	7%
2026	4%	0%	6%	17%	2%	10%
2027	5%	0%	8%	25%	2%	13%
2028	6%	0%	10%	33%	2%	15%
2029	8%	0%	12%	41%	3%	18%
2030	10%	0%	14%	48%	3%	21%
2031	12%	1%	17%	51%	4%	25%
2032	14%	1%	21%	54%	4%	29%
2033	17%	1%	25%	58%	5%	34%
2034	21%	1%	29%	61%	6%	39%
2035	25%	2%	34%	64%	7%	44%
2036	29%	3%	39%	67%	8%	50%
2037	34%	3%	44%	69%	10%	56%
2038	39%	4%	50%	72%	11%	61%
2039	44%	6%	56%	75%	13%	66%
2040	50%	7%	61%	78%	14%	71%
2041	56%	9%	66%	80%	16%	75%
2042	61%	12%	71%	83%	18%	79%
2043	66%	14%	75%	85%	21%	83%
2044	71%	17%	79%	88%	23%	86%
2045	75%	20%	83%	90%	25%	88%
2046	80%	23%	86%	92%	27%	91%
2047	85%	26%	90%	94%	29%	93%
2048	90%	28%	93%	96%	32%	95%
2049	95%	31%	97%	98%	34%	98%
2050	100%	33%	100%	100%	36%	100%
2051	100%	34%	100%	100%	37%	100%
2052	100%	36%	100%	100%	39%	100%
2053	100%	37%	100%	100%	40%	100%
2054	100%	37%	100%	100%	42%	100%
2055	100%	38%	100%	100%	43%	100%
2056	100%	39%	100%	100%	44%	100%
2057	100%	39%	100%	100%	45%	100%
2058	100%	39%	100%	100%	46%	100%
2059	100%	39%	100%	100%	46%	100%
2060	100%	40%	100%	100%	47%	100%

A4

Skenario Reference

Tahun	Bus	Truk Berat	Kendaraan Barang Ringan	Kendaraan Roda Dua dan Tiga	Truk Sedang	Mobil Penumpang
2020	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2021	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2022	0%	0%	0%	0%	0%	1%
2023	1%	0%	0%	1%	0%	2%
2024	3%	0%	1%	2%	0%	5%
2025	3%	0%	1%	8%	0%	5%
2026	4%	0%	2%	15%	0%	6%
2027	5%	0%	2%	22%	0%	6%
2028	5%	0%	2%	28%	0%	6%
2029	6%	0%	2%	35%	0%	7%
2030	7%	0%	2%	42%	0%	7%
2031	8%	0%	2%	44%	0%	7%
2032	9%	0%	3%	45%	0%	7%
2033	10%	0%	3%	47%	0%	8%
2034	11%	0%	3%	48%	0%	8%
2035	13%	0%	3%	50%	0%	8%
2036	14%	0%	3%	51%	0%	8%
2037	15%	0%	4%	51%	0%	8%
2038	16%	0%	4%	52%	0%	9%
2039	18%	0%	4%	53%	0%	9%
2040	19%	0%	5%	53%	0%	9%
2041	20%	0%	5%	54%	0%	10%
2042	22%	0%	5%	55%	0%	10%
2043	23%	0%	5%	55%	0%	10%
2044	24%	0%	6%	56%	0%	10%
2045	25%	0%	6%	57%	0%	11%
2046	27%	0%	6%	57%	0%	11%
2047	28%	0%	7%	58%	0%	11%
2048	29%	0%	7%	59%	0%	12%
2049	30%	0%	7%	59%	0%	12%
2050	32%	0%	8%	60%	0%	12%
2051	33%	0%	8%	61%	0%	13%
2052	34%	0%	8%	62%	0%	13%
2053	36%	0%	9%	62%	0%	13%
2054	37%	0%	9%	63%	0%	13%
2055	38%	0%	9%	64%	0%	14%
2056	39%	0%	10%	64%	0%	14%
2057	41%	0%	10%	65%	0%	14%
2058	42%	0%	10%	66%	0%	15%
2059	43%	0%	10%	66%	0%	15%
2060	44%	0%	11%	67%	0%	15%

A5

Input Perhitungan Konsumsi Energi dan Emisi CO₂

Parameter	Sumber and Deskripsi
Pangsa pasar penjualan kendaraan baru berdasarkan jenis pembakaran	Skenario <i>Reference</i>: Secara umum sejalan dengan ambisi skenario STEPS 2022 yang diterbitkan oleh Badan Energi Internasional (IEA) dan laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), “An Energy Sector Roadmap to Net Zero Emissions in Indonesia,” pada tahun 2022. Skenario <i>Announced Targets</i> 2050 scenario: Secara umum sejalan dengan ambisi skenario APS 2022 yang diterbitkan oleh IEA dan laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, “An Energy Sector Roadmap to Net Zero Emissions in Indonesia,” pada tahun 2022, menunjukkan aspirasi pemerintah Indonesia pada saat itu untuk mencapai 100% penjualan ZEV pada 2050 untuk semua jenis kendaraan kecuali truk sedang dan berat. Skenario <i>Net Zero</i>: Menyelaraskan sektor transportasi darat Indonesia dengan komitmennya untuk mencapai emisi nol bersih pada 2060 dan dengan Perjanjian Paris. Adopsi ZEV dimodelkan dengan asumsi jalur berbentuk kurva-S. Skenario <i>Best Practice</i>: Menetapkan target penjualan ZEV yang ambisius namun memungkinkan serta menyelaraskan Indonesia dengan pasar utama lainnya dan komitmen internasional untuk mencapai 100% penjualan ZEV.
Penjualan kendaraan baru	Data historis: Gaikindo, AISI, EV-Volumes, IEA. Proyeksi: Hasil kalibrasi data historis untuk mencapai target kepemilikan mobil penumpang pemerintah Indonesia; jenis kendaraan lainnya disesuaikan dengan proyeksi IEA World Energy Outlook.
Rata-rata kilometer tempuh kendaraan per tahun berdasarkan jenis kendaraan	Data historis: Dikalibrasi untuk mencocokkan statistik konsumsi energi; tidak ada perubahan yang diasumsikan untuk tahun-tahun mendatang.
Usia pensiun rata-rata kendaraan	Dihitung berdasarkan penjualan historis dan stok kendaraan tahun dasar (2023) dengan batas usia (batas bawah dan atas) yang diterapkan untuk memastikan konsistensi dengan tren regional dan global. Usia pensiun rata-rata yang digunakan adalah 15 tahun untuk kendaraan roda dua dan tiga, 22 tahun untuk roda empat, 25 tahun untuk truk, dan 24 tahun untuk bus.
Intensitas energi kendaraan baru dalam megajoule per km	IEA Mobility Model database
Intensitas karbon listrik	IEA World Energy Outlook dan Proyeksi Jangka Panjang PLN
Persentase campuran biofuel tahunan untuk solar dan bensin	Peta Jalan NZE 2060 dan Peta Jalan Bioetanol Kementerian ESDM. Biodiesel: 45% pada 2031; 50% pada 2036; 55% pada 2041; 60% pada 2051. Bioetanol: 5% pada 2023; 10% pada 2029.



www.theicct.org

communications@theicct.org

[@theicct.org](https://twitter.com/theicct.org)

