

Analisis Dampak Kebijakan Peningkatan Standar Kualitas Bahan Bakar Minyak pada Aspek Lingkungan, Kesehatan, dan Ekonomi



Imprint

Analisis Dampak Kebijakan Peningkatan Standar Kualitas Bahan Bakar Minyak pada Aspek Lingkungan, Kesehatan, dan Ekonomi

Tim Penyusun:

CORE Indonesia

Muhammad Dzaki Fahd Haekal
Risky Priscilia
Sahaya Aulia Azzahra

IESR

Ilham Rizqian Fahreza Surya
Julius Christian Adiatma
Rahmi Puspita Sari

KPBB

Ahmad Safrudin
Amalia S Bendang
Alfred Sitorus

RCCC UI

Prof. Budi Haryanto
Prof. Besral
Eky Pramitha Dwi Putri
Fajar Nugraha
Kurnia Sari
Asti Annisa Utami
Rizka Maulida
Sifa Fauzia
Nabila Gayatri Widayana

November 2024

Daftar Isi

1. Latar Belakang	1
2. Studi Literatur	3
2.1. Karakteristik dan Dampak Polusi Udara Perkotaan	4
Definisi dan Karakteristik Polusi Udara	4
Polusi Udara Perkotaan dan Sektor Transportasi	4
Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan dan Beban Biaya Pengobatan	6
Perbandingan dengan Negara Lain	9
2.2. Strategi Penanganan Polusi Udara Perkotaan dari Sektor Transportasi	9
Strategi <i>Avoid-Shift-Improve</i>	9
<i>Eco Sensitive Traffic Management</i> (ESTM)	10
Transportasi Umum	11
Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor	11
Penggunaan Bahan Bakar Rendah Sulfur	13
Standar Ekonomi Bahan Bakar (<i>Fuel Economy</i>)	16
Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai	16
2.3. Kebijakan Pengetatan Baku Mutu Emisi dan Kualitas Bahan Bakar Kendaraan di Indonesia	17
Perkembangan Kebijakan Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor	17
Penyediaan dan Spesifikasi BBM di Indonesia	18
Kebijakan dan Regulasi Existing Mengenai Standar Emisi Kendaraan Bermotor dan Kualitas Bahan Bakar	19
2.4. Kebijakan Subsidi Bahan Bakar	21
3. Metodologi	24
3.1. Pemodelan Dampak Kebijakan Pengetatan Standar Kualitas BBM	25
3.1.1. Pemodelan Polusi Udara	25
3.1.2. Pemodelan Kesehatan	26
3.1.3. Pemodelan Ekonomi	28
3.2. Kesiapan Pelaku Industri Kendaraan Bermotor	29
4. Hasil Temuan dan Analisis	30
4.1. Dampak Kebijakan terhadap Polusi Udara	31
4.2. Dampak Kebijakan terhadap Kesehatan	35
4.3. Dampak Kebijakan terhadap Ekonomi	40
4.4. Dampak Kebijakan terhadap Industri Kendaraan Bermotor	44
5. Kesimpulan dan Rekomendasi	45
Daftar Pustaka	47

1

Latar Belakang



Polusi udara telah menjadi masalah di wilayah-wilayah perkotaan di Indonesia. Data IQAir menunjukkan tingkat polusi udara di Indonesia pada 2023 berada di peringkat ke-14 tertinggi di dunia, dengan konsentrasi tahunan $PM_{2.5}$ mencapai 7—10 kali lipat dari panduan aman yang direkomendasikan WHO. Beberapa kota seperti Tangerang Selatan dan Tangerang bahkan secara konsisten memiliki konsentrasi $PM_{2.5}$ melampaui 10 kali lipat rekomendasi WHO. Pada 2023, hanya dua dari 46 kota yang dianalisis oleh IQAir yang memiliki konsentrasi tahunan $PM_{2.5}$ di bawah ambang batas WHO. Buruknya kualitas udara di Indonesia meningkatkan risiko kesehatan pada masyarakat. Laporan State of Global Air 2024 menyebutkan polusi udara menyumbang 8,1 juta kematian secara global pada 2021, menjadikannya faktor risiko kematian terbesar kedua di dunia (HEI dan IHME 2024).

Sektor transportasi, terutama kendaraan bermotor, merupakan salah satu kontributor utama pada polusi udara perkotaan. Menurut Safrudin et al. (2020), sumber polusi udara senantiasa berubah dari waktu ke waktu dan memiliki komposisi yang berbeda untuk tiap jenis polutan, tetapi selalu didominasi oleh sektor transportasi. Untuk polutan PM_{10} , misalnya, kendaraan bermotor menyumbang sebesar 49 persen terhadap total PM_{10} di Jakarta, melebihi kontribusi sumber lain, seperti industri (22%), debu (11%), rumah tangga (9%), pembakaran sampah (*open waste burning*) (5%), dan konstruksi (4%).

Indonesia telah mulai meregulasi ambang batas emisi kendaraan bermotor melalui Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 35/1993, yang mengatur emisi CO dan HC untuk kendaraan bensin serta kadar opasitas asap untuk kendaraan diesel. Selanjutnya, Kepmen ini direvisi dengan Kepmen LH 141 Tahun 2003 yang mengadopsi metodologi dan standar Euro 2 yang mengatur tentang baku mutu emisi CO, HC, dan NOx untuk kendaraan bensin dan ditambahkan dengan PM untuk kendaraan diesel. Pada Maret 2009, aturan baku mutu emisi kembali diperbarui dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 4/2009. Selanjutnya, diterbitkan Kepmen No. 10/2012 yang menetapkan baku mutu emisi gas buang setara Euro 3 untuk kendaraan roda dua dan tiga. Yang terbaru, pemerintah menerbitkan PermenLHK No. P20/2017 tentang Standar Emisi Kendaraan Tipe Baru yang menetapkan baku mutu setara Euro 4 untuk kendaraan roda empat atau lebih, yang masih berlaku sampai saat ini.

Meskipun telah mengadopsi standar emisi kendaraan yang setara dengan Euro 4, bahan bakar kendaraan yang digunakan belum sesuai dengan kebutuhan teknologi tersebut. Konsumsi bahan bakar yang memenuhi spesifikasi standar Euro 4, baik bensin maupun diesel, baru mencapai kurang dari satu persen dari total konsumsi BBM nasional (Pertamina 2024). Bahan bakar bensin RON 90 dan solar CN 48 adalah dua jenis BBM yang paling umum digunakan, masing-masing menyumbang 45 persen dari total konsumsi BBM nasional. Sayangnya, kedua jenis BBM tersebut memiliki spesifikasi yang bahkan belum memenuhi standar kendaraan Euro 2. Hal ini membuat teknologi peredam emisi gas buang kendaraan tidak bekerja optimal dan tingkat polusi udara tetap tinggi. Untuk mengurangi polusi udara, dampak negatif terhadap kesehatan manusia, dan meningkatkan kualitas lingkungan, diperlukan peningkatan kualitas BBM hingga memenuhi standar Euro 4.

Meskipun berpotensi mengurangi polusi udara dan dampak buruk pada kesehatan masyarakat, peningkatan kualitas BBM ini membutuhkan biaya tambahan yang akan meningkatkan harga eceran. Tambahan biaya ini bisa ditanggung oleh pemerintah ataupun konsumen. Apabila pemerintah menanggung tambahan biaya, dibutuhkan peningkatan anggaran subsidi dalam Anggaran Pendapatan dan Belanja Nasional (APBN). Di sisi lain, bila kenaikan biaya ditanggung oleh konsumen, berpotensi terjadi dampak pada tingkat inflasi secara nasional.

Kajian ini dilakukan dengan tujuan mengukur potensi dampak dari kebijakan pengetatan kualitas BBM sesuai dengan standar Euro 4, baik pada polusi udara, kesehatan masyarakat, maupun ekonomi. Kajian dilakukan menggunakan metode campuran kualitatif dan kuantitatif. Hasil analisis dampak ini diharapkan dapat membantu pembuat kebijakan dalam menyusun strategi dan langkah-langkah untuk memperbaiki kualitas udara di Indonesia.

2

Studi Literatur



Definisi dan Karakteristik Polusi Udara

Pertumbuhan ekonomi, kepadatan penduduk, urbanisasi, penggunaan energi, dan transportasi menjadi penyebab utama terjadinya polusi udara di negara berkembang. Di beberapa kota besar, seperti Jakarta, lalu lintas kendaraan bermotor mendominasi kehidupan sehari-hari. Hal inilah yang menyebabkan emisi kendaraan bermotor menjadi faktor utama terjadinya polusi udara. Pembakaran bahan bakar minyak yang tidak sempurna menyebabkan mesin-mesinnya menghasilkan polutan, seperti partikel debu (*Particulate Matter/PM*), CO, SO₂, NO₂, dan O₃, yang berbahaya bagi kesehatan manusia (Chambliss et al. 2013).

Partikel debu merupakan suatu campuran dari partikel padat dan cair yang dapat ditemukan di udara. Ukuran dari partikel debu yang terdapat di udara secara langsung dapat berpengaruh terhadap kesehatan manusia. Environmental Protection Agency (EPA) mengelompokkan partikel debu berdasarkan ukurannya menjadi dua kategori, yaitu partikel debu ≤ 10 mikrometer (PM₁₀) dan partikel debu $\leq 2,5$ mikrometer (PM_{2,5}) (EPA 2011). Sumber PM₁₀ berasal dari serbuk sari, debu dari erosi, lahan pertanian, jalan raya, dan pertambangan. Sementara sumber dari PM_{2,5} dapat berasal dari sumber primer (misalnya, pembakaran bahan bakar di fasilitas pembangkit listrik, industri, dan kendaraan) dan sumber sekunder (misalnya, reaksi kimia antargas). PM_{2,5} merupakan polutan yang sangat berbahaya karena partikel ini berukuran lebih kecil dari 2,5 mikron dalam diameter aerodinamis yang mampu menembus jauh ke dalam paru-paru dan masuk ke aliran darah sehingga dapat menyebabkan stres oksidatif dan peradangan. Paparan jangka panjang dari PM_{2,5} dikaitkan dengan berbagai penyakit kronis pada orang dewasa, termasuk penyakit jantung iskemik, kanker paru-paru, serta infeksi saluran pernapasan pada anak-anak (Krewski et al. 2009). Sementara paparan jangka pendek dari PM_{2,5} dikaitkan dengan peningkatan kasus akibat infeksi saluran pernapasan, serangan jantung non-fatal, stroke, dan penyakit akut lainnya (Brook et al. 2010).

Karbon monoksida (CO) adalah gas tidak berwarna dan tidak berbau yang dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna bahan bakar berkarbon, seperti kayu, bensin, batu bara, gas alam, dan minyak tanah dalam kompor. Sumber utama dari CO di udara ambien adalah kendaraan bermotor. CO menyebar melalui jaringan paru-paru dan masuk ke aliran darah sehingga membuat sel-sel tubuh sulit mengikat oksigen. Kekurangan oksigen ini dapat merusak jaringan dan sel. Paparan terhadap CO dapat menyebabkan kesulitan bernapas, kelelahan, pusing, dan gejala flu lainnya. Namun, paparan CO dengan tingkat yang tinggi dapat menyebabkan kematian.

Sulfur dioksida (SO₂) adalah gas tidak berwarna yang berasal dari bahan bakar fosil untuk pemanasan domestik, industri, dan pembangkit listrik. Paparan terhadap SO₂ dapat menyebabkan gangguan kesehatan, yaitu asma (Greenberg et al. 2016).

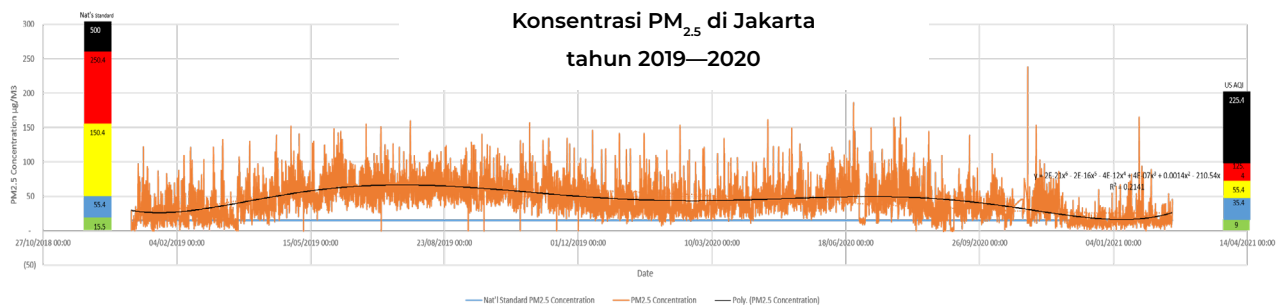
Nitrogen dioksida (NO₂) merupakan gas berwarna cokelat kemerahan yang berasal dari pembakaran bahan bakar pada suhu tinggi dalam proses seperti pemanasan, industri, transportasi, dan pembangkit listrik. Paparan dari NO₂ dalam jangka panjang dapat mengakibatkan risiko kematian akibat saluran pernapasan (Huang et al. 2021).

Ozon adalah suatu polutan sekunder yang juga memberikan dampak negatif bagi kesehatan. Ozon tidak diemisikan secara langsung oleh kendaraan, melainkan terbentuk di atmosfer dari prekursor polutan, seperti CO, HC, dan NO_x. Paparan jangka panjang terhadap ozon dapat meningkatkan risiko kematian akibat pernapasan (Jerrett et al. 2009), sedangkan paparan jangka pendek dapat meningkatkan jumlah kasus rawat inap yang disebabkan oleh asma dan masalah pernapasan lainnya (Burnett et al. 2001).

Polusi Udara Perkotaan dan Sektor Transportasi

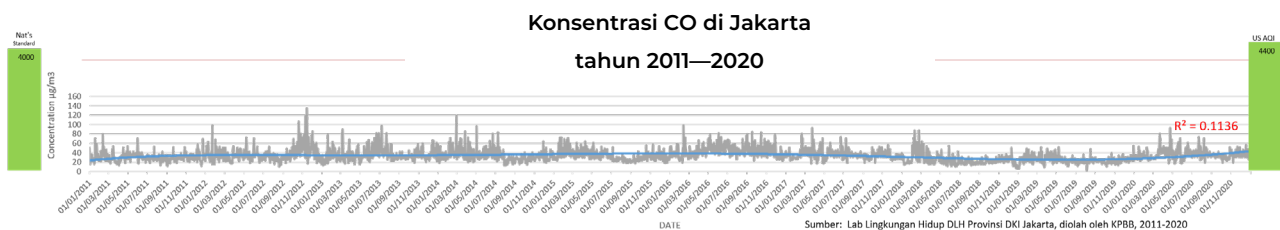
Polusi udara merupakan salah satu masalah kesehatan masyarakat yang serius, terutama di negara berkembang. Berdasarkan laporan terbaru IQAir, Indonesia menduduki peringkat ke-17 sebagai negara dengan tingkat polusi udara tertinggi di dunia, dengan konsentrasi PM_{2,5} mencapai 34,3 µg/m³. Laporan ini juga menyebutkan bahwa Indonesia menduduki peringkat teratas sebagai negara yang memiliki tingkat polusi udara tertinggi di Kawasan Asia Tenggara (IQAir 2022).

Laporan Dinas Lingkungan Hidup menyatakan bahwa beberapa indikator terkait dengan emisi kendaraan bermotor, seperti particulate matter (PM), nitrogen dioksida (NO₂), dan karbon monoksida (CO), mengalami peningkatan setiap tahun hingga melebihi nilai ambang batas normal. Berdasarkan laporan pemantauan kualitas udara dari DLH DKI Jakarta, konsentrasi PM_{2.5} di Jabodetabek mulai 2019 sampai 2020 telah jauh melebihi nilai standar nasional sehingga berada pada kondisi yang tidak sehat (Gambar 2.1.). Begitu pula parameter CO dan SO₂, yang nilai konsentrasinya sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh WHO (Gambar 2.2.).



Sumber: AAQMS, DLH DKI Jakarta 2019—2020

Gambar 2.1. Konsentrasi PM_{2.5} di Jakarta tahun 2019—2020 dibandingkan dengan standar nasional



Sumber: Lab Lingkungan Hidup DLH Provinsi DKI Jakarta, diolah oleh KPBBB, 2011-2020

Gambar 2.2. Konsentrasi CO di Jakarta tahun 2011—2020 dibandingkan dengan ambang batas yang ditetapkan WHO

Emisi PM dari sektor transportasi bisa bersumber dari gas buang kendaraan (*exhaust emissions*) ataupun selain gas buang (*non-exhaust emissions*). Emisi *exhaust* bersumber dari pembakaran bahan bakar (fosil ataupun nonfosil) pada mesin kendaraan. Emisi *exhaust* berupa NO_x, SO₂, CO, dan partikel halus (PM_{2.5}), sedangkan emisi *non-exhaust* dapat bersumber dari pengausan ban, sistem pengereman, dan permukaan jalan serta resuspensi debu jalanan (Air Quality Expert Group 2019). Emisi *non-exhaust* didominasi oleh partikulat kasar (PM₁₀), sedangkan kandungan partikulat halusnya tidak terlalu tinggi. Selain itu, partikulat dari polutan *non-exhaust* memiliki kandungan logam dan mikroplastik yang tinggi, terutama berasal dari pengausan ban dan rem. Roy et al. (2023) menyebutkan bahwa emisi PM dari sumber *non-exhaust* menimbulkan risiko kesehatan yang lebih tinggi dibanding PM dari *exhaust*, antara lain dapat menyebabkan kerusakan DNA, radang paru-paru, dan kematian prematur.

Tabel 2.1. Jenis polutan udara dari transportasi jalan

Jenis kendaraan bermotor	Exhaust			Non-exhaust
	CO (g/km)	NO ₂ (mg/km)	PM ₁₀ (mg/km)	PM ₁₀ (mg/km)
Mobil	29,2	132	19	25,9
Truk	12,9	452	54	97
Bus	0,5	739	70	
Sepeda motor	31,4	1.268	24	7,7

Sumber: JUTPI 2019 untuk *exhaust*, EMEP/EEA untuk *non-exhaust*. Emisi *non-exhaust* bisa mencapai 1,5 kali lebih tinggi pada kondisi berkendara perkotaan yang *stop-go*.

Safrudin et al. (2020) mengestimasi beban polusi udara secara nasional pada 2019 didominasi oleh sepeda motor (69%), diikuti oleh mobil bensin (12%), truk (10%), bus (7%), dan mobil diesel (2%). Profil kontribusi polusi udara ini cukup berbeda pada konteks perkotaan seperti Jakarta, dengan beban polusi udara didominasi oleh sepeda motor (45%), bus (21%), truk (17%), mobil bensin (14%), dan mobil diesel (2%). Beban polusi udara dalam studi tersebut merupakan gabungan total beban emisi CO, HC, NO_x, SO_x, PM₁₀, dan PM_{2,5}.

Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan dan Beban Biaya Pengobatan

Polusi udara merupakan masalah kesehatan masyarakat yang serius. Beberapa penelitian epidemiologi secara konsisten menyoroti dampak kesehatan akibat polusi udara, termasuk peningkatan masalah pernapasan, penyakit tidak menular kronis, hingga kematian dini. Laporan WHO menunjukkan bahwa penyakit yang berhubungan dengan polusi udara merupakan penyebab utama kematian di dunia.

Polusi udara dapat mempengaruhi kesehatan apabila terhirup oleh manusia. Sebuah penelitian menyebutkan bahwa PM_{2,5} yang terhirup akan masuk ke alveoli sehingga menimbulkan reaksi radang yang mengakibatkan daya kembang paru dibatasi (Fordistiko et al. 2002). Salah satu dampak negatif yang timbul akibat pajanan PM_{2,5} adalah penurunan fungsi paru pada manusia (Lagorio et al. 2006). Hasil penelitian yang dilakukan di Roma menyatakan bahwa terdapat korelasi antara peningkatan konsentrasi PM_{2,5} dan gangguan fungsi paru. Penelitian ini juga menemukan bahwa PM_{2,5} merupakan partikel yang mengandung 8 jenis logam, yaitu Fe, Zn, Pb, Pt, Cd, V, Cr, dan Ni (Lagorio et al. 2006). Selain itu, penelitian yang dilakukan pada industri pengolahan kayu menyatakan bahwa gangguan fungsi paru dapat terjadi setelah terpapar selama 5—6 tahun (Borm et al. 2002).

Kerusakan pada paru-paru, terutama bagian alveoli, terlihat pada percobaan hewan uji. Pajanan PM_{2,5} dengan dosis yang berbeda menghasilkan dampak yang berbeda pada paru-paru tikus. Makin tinggi dosis PM_{2,5} yang dipaparkan pada tikus, maka makin tinggi pula penurunan jumlah makrofag pada paru-paru tikus tersebut (Wegesser et al. 2009).

Penelitian lain juga menyatakan bahwa polusi udara dapat menyebabkan kemunculan penyakit asma. Penelitian yang telah dilakukan selama lima tahun (1997—2002) pada anak-anak penderita asma di Hong Kong menyatakan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara NO₂, O₃, PM₁₀, serta PM_{2,5} dan penderita asma di rumah sakit (Lee et al. 2006). Dalam penelitian lain di Kolombia, telah terbukti bahwa polusi udara luar ruangan (SO₂, NO₂, dan PM_{2,5}) secara signifikan dapat menyebabkan kemunculan penyakit asma pada anak-anak (Clark et al. 2010). Penelitian di California menyatakan bahwa polusi udara di jalan raya memberikan kontribusi dalam memperburuk kondisi penderita asma (McConnell et al. 2010).

Konsentrasi PM_{2,5} juga dapat menyebabkan penyakit kardiovaskular. Hal ini dibuktikan pada penelitian di pusat kota Amerika Serikat yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi PM_{2,5} dalam setahun berkaitan dengan jumlah kematian yang disebabkan oleh penyakit kardiovaskular (Puett et al. 2009).

WHO melaporkan 68 ribu orang di Indonesia meninggal akibat paparan polusi udara pada 2008. Di Jakarta, 58,3% dari 9.983.281 penduduknya menderita berbagai penyakit akibat polusi udara. Kasus tersebut menjadi lebih mengkhawatirkan ketika dampaknya dipantau terjadi pada anak-anak, ibu, dan bayi. Berdasarkan hasil kajian Bappenas pada 2022, setiap peningkatan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2.5}$ berkaitan dengan peningkatan kasus pneumonia sebesar 5,7% di Jakarta. Peningkatan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 di Jakarta berkaitan pula dengan peningkatan kasus pneumonia sebesar 6,7%. Begitu pula peningkatan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} berkaitan dengan meningkatnya 1,4% kasus ISPA di Jakarta.

Polusi udara juga merupakan kontributor terbesar terhadap kejadian penyakit tidak menular, yang menyumbang 79% dari total kematian (36 ribu kematian) di Jakarta pada 2019. Penyakit tidak menular tersebut misalnya penyakit kardiovaskular, penyakit pernapasan kronis, dan kanker paru-paru. Selain itu, polusi udara berkontribusi terhadap 168 ribu tahun yang hilang akibat kesehatan buruk, kecacatan, atau kematian dini di Jakarta pada 2019 (Syuhada et al. 2023). Polutan $\text{PM}_{2.5}$ mengurangi 2,4 bulan harapan hidup anak usia 0—4 tahun dan mengakibatkan YLL (*years of life lost*) karena kematian dini sebesar 38.962 (Hanigan et al. 2020). Studi lain mendapatkan peningkatan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2.5}$ di udara akan meningkatkan 0,52% risiko kematian (Seposo et al. 2018). Sementara dampak kesehatan karena PM_{10} di Tiongkok menunjukkan peningkatan $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ konsentrasi PM_{10} tahunan di udara akan meningkatkan 0,2% tingkat kematian karena penyakit kardiovaskular dan 0,48% tingkat kematian karena penyakit respirasi. PM_{10} berkontribusi terhadap total kematian akibat penyakit kardiovaskular dan penyakit respirasi masing-masing sebesar 1,27% dan 1,64% (Zhao et al. 2016). DALY (*disability-adjusted life year*) terkait $\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10} di Tiongkok adalah 7,2 dan 20,66 pada 2014—2015 dengan dampak kesehatan berupa kematian dan bronkitis kronis berkontribusi 93,3% terhadap DALY PM_{10} (Maji et al. 2017).

Kerugian ekonomi dari dampak kesehatan akibat polusi udara dari berbagai literatur diukur menggunakan perspektif sosial, sistem kesehatan, ataupun keduanya. Pengukuran kerugian ekonomi dengan perspektif sosial mempertimbangkan biaya langsung dan tidak langsung akibat penyakit tertentu, mencakup kerugian karena kehilangan produktivitas serta biaya akomodasi total yang dikeluarkan untuk menangani penyakit. Sementara itu, penghitungan dari perspektif sistem kesehatan umumnya hanya memperhitungkan biaya langsung dari penanganan penyakit (Sittimart et al. 2024). Kerugian ekonomi diukur dalam bentuk moneter atau dibandingkan dengan proporsi terhadap produk domestik bruto (PDB atau PDRB). Proporsi kerugian ekonomi akibat kematian prematur serta penyakit respirasi dan kardiovaskular yang disebabkan $\text{PM}_{2.5}$ mencapai 5,9—6,4% dari PDRB Provinsi Gansu, Tiongkok, pada 2015—2017 (Liao et al. 2020). Di Australia, kematian prematur akibat $\text{PM}_{2.5}$ dari seluruh negara bagian dan teritori telah menyebabkan kerugian sebesar Rp59,16 triliun pada 2019. Kota Beijing mengalami kerugian ekonomi setara Rp884,2 miliar (0,03% PDRB) pada 2012 karena kematian prematur dan penyakit akibat PM_{10} (Zhao et al. 2016). Sementara dampak ekonomi akibat penyakit respirasi yang disebabkan PM_{10} di Kota Mumbai, India, menyebabkan kerugian ekonomi setara dengan Rp44,706 triliun pada 2012 (Kumar et al. 2016).

Hasil penelitian UNEP pada 2010 menyebutkan bahwa beban biaya pengobatan akibat polusi udara di Indonesia mencapai hampir Rp3 miliar. Di Provinsi DKI Jakarta, total biaya per tahun dari dampak kesehatan akibat polusi udara mencapai sekitar US\$2943,42 juta, yang setara dengan 2,2% dari PDRB Provinsi DKI Jakarta (Syuhada et al. 2023).

Tabel 2.2. memberikan gambaran mengenai dampak kesehatan dari beberapa penyakit yang terkait dengan polusi udara. Data ini mencakup insiden per 100 ribu penduduk, biaya perawatan per pasien (dengan estimasi biaya minimum dan maksimum), serta estimasi total biaya perawatan di Jakarta. Secara keseluruhan, total estimasi biaya perawatan untuk penyakit-penyakit tersebut di Jakarta berkisar Rp697,9 miliar—38,5 triliun. Angka ini mencerminkan beban finansial yang signifikan yang harus ditanggung oleh sistem kesehatan di Jakarta. Penanganan yang tepat serta upaya pencegahan dapat membantu mengurangi beban ini di masa depan.

Tabel 2.2. Tingkat kejadian beberapa penyakit terkait polusi udara dan biaya yang terkait di Jakarta

Dampak kesehatan	Kejadian per 100.000	Biaya per pasien		Estimasi biaya di Jakarta	
		Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
<i>Asthmatic bronchiale</i>	12.600	173.972	4.418.618	210.607.225.915	5.349.095.712.874
<i>Bronchopneumonia</i>	1.600	91.500	3.650.813	14.065.837.500	561.221.228.425
Infeksi saluran pernapasan akut (ISPA)	25.500	92.141	4.774.843	225.746.580.987	11.698.296.998.123
Pneumonia	3.500	109.738	5.455.359	36.901.876.543	1.834.489.937.007
Penyakit paru obstruktif kronis (PPOK)	1.00	164.161	5.276.800	25.235.582.747	811.176.080.000
Penyakit arteri koroner	12.970	148.763	14.647.900	185.378.033.307	18.253.187.244.690
Total				697.935.136.999	38.507.467.201.119

Sumber: Safrudin et al. (2013)

Tabel 2.3. menggambarkan tren kasus dan total klaim asuransi kesehatan untuk beberapa penyakit pernapasan terkait polusi udara di Jakarta, termasuk asma, *bronchopneumonia*, infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), dan pneumonia, mulai 2016 hingga 2021. Penting dicatat bahwa penurunan jumlah kasus dan total klaim pada 2020—2021 sebagian besar disebabkan oleh beberapa penyakit yang masuk ke kategori Covid-19 dan menerima subsidi dari pemerintah pusat. Secara keseluruhan, dari 2016 hingga 2021, infeksi saluran pernapasan akut (ISPA) menempati posisi dengan jumlah kasus tertinggi, yaitu 598.965 kasus. Di sisi lain, pneumonia mencatatkan total klaim asuransi tertinggi, yaitu di angka Rp1,8 triliun.

Tabel 2.3. Jumlah kasus dan total klaim asuransi kesehatan untuk beberapa penyakit pernapasan terkait polusi udara di Jakarta pada 2016—2019

Tahun	Asthma		<i>Bronchopneumonia</i>		ISPA		Pneumonia	
	Kasus	Klaim total (Rp 1.000)	Kasus	Klaim total (Rp 1.000)	Kasus	Klaim total (Rp 1.000)	Kasus	Klaim total (Rp 1.000)
2016	12.132	8.364.033	6.013	31.859.629	21.394	13.709.906	7.925	83.374.323
2017	58.961	41.580.473	36.271	166.268.240	139.639	80.230.685	41.623	354.404.451
2018	73.736	46.380.761	41.642	173.564.617	141.552	81.613.390	43.434	377.151.508
2019	81.197	46.569.495	45.223	179.326.540	164.182	98.291.934	51.793	442.414.052
2020	54.062	24.170.188	29.958	104.209.999	88.422	47.785.977	42.730	296.621.007
2021	56.780	24.194.341	16.756	61.975.426	43.776	20.725.985	37.780	259.248.127
Total	336.868	191.259.290	175.863	717.204.452	589.965	341.727.877	225.285	1.813.213.468

Sumber: Bappenas (2022)

Kasus penyakit asma pada 2019 mengalami peningkatan yang signifikan, dari 12.132 kasus pada 2016 menjadi 81.179 kasus, dengan total klaim mencapai Rp46,6 miliar. Sementara itu, kasus *bronchopneumonia* juga menunjukkan kenaikan dari 6.013 kasus pada 2016 menjadi 45.223 kasus pada 2019, dengan total klaim sebesar Rp179,3 miliar. Adapun ISPA mencatatkan lonjakan terbesar, dengan peningkatan dari 21.394 kasus pada 2016 menjadi 164.182 kasus pada 2019. Total klaim untuk infeksi saluran pernapasan akut pada tahun tersebut mencapai Rp98,3 miliar. Selain itu, kasus pneumonia meningkat dari 7.925 kasus pada 2016 menjadi 51.793 kasus pada 2019, dengan total klaim mencapai Rp442,4 miliar.

Perbandingan dengan Negara Lain

Banyak penelitian yang telah dilakukan menunjukkan berbagai manfaat dari implementasi peningkatan kualitas bahan bakar minyak. Chambliss et al. (2013) menunjukkan bahwa terjadi penurunan konsentrasi PM dan NO_x secara signifikan dengan percepatan penerapan Euro 4—6. Laporan ini juga menunjukkan bahwa percepatan penerapan Euro 4—6 dapat menurunkan angka kematian dini sebesar 80%. Di Amerika Serikat, harapan hidup rata-rata meningkat sebesar 0,35 tahun untuk setiap penurunan konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ sebesar $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Correia et al. 2013).

Beberapa studi juga menilai manfaat ekonomi yang didapat dari perbaikan kesehatan akibat intervensi menurunkan konsentrasi polusi udara. Pemodelan intervensi di tingkat county di UK berupa transisi bahan bakar Euro 4 ke Euro 6 untuk mengurangi konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ diprediksi dapat mencegah 10 kasus kematian, 5 kasus koroner, 7 BBLR, dan 2,2 kelahiran prematur per tahun yang senilai dengan manfaat ekonomi Rp37,40 triliun per tahun (Lomas et al. 2016). Sebuah studi lain tingkat kota di Tiongkok menunjukkan penurunan konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ menjadi $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ akan menghasilkan manfaat ekonomi 1,48—2,33 kali lebih besar daripada hanya menurunkan konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ menjadi $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Yu et al. 2019). Sejalan dengan temuan tersebut, sebuah studi tingkat kota di Jepang menunjukkan manfaat ekonomi yang didapat dari menurunkan konsentrasi $\text{PM}_{2,5}$ akan 2,5 kali lebih besar jika menyesuaikan dengan standar WHO ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dibanding standar Jepang ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), yaitu sebesar Rp405,51 triliun berbanding Rp156,045 triliun pada 2008 (Seposo et al. 2018).

2.2. Strategi Penanganan Polusi Udara Perkotaan dari Sektor Transportasi

Strategi *Avoid-Shift-Improve*

Salah satu kerangka kerja yang umum digunakan dalam perencanaan transportasi berkelanjutan adalah strategi *avoid-shift-improve* (ASI). Strategi *avoid* (menghindari) menekankan pada pentingnya meningkatkan efisiensi sistem transportasi dengan mengurangi kebutuhan perjalanan. Strategi *shift* (beralih) menekankan pada peningkatan efisiensi perjalanan melalui peralihan menuju moda transportasi yang lebih efisien secara energi dan emisi, yaitu transportasi nonmotor (jalan kaki atau sepeda) dan kendaraan umum. Strategi *improve* (meningkatkan) berfokus pada efisiensi teknologi kendaraan seperti penggunaan teknologi kendaraan ataupun bahan bakar rendah emisi (Dalkmann dan Brannigan 2007). Perencanaan transportasi berkelanjutan yang ideal seharusnya mencakup ketiga strategi tersebut dengan strategi *avoid* yang menjadi prioritas utama, diikuti dengan *shift* dan *improve*.

Kementerian Perhubungan, melalui Keputusan Menteri No. 8/2023 tentang Penetapan Aksi Mitigasi Perubahan Iklim Sektor Transportasi untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan secara Nasional, telah memaparkan 17 rencana aksi mitigasi di sektor transportasi darat (dan perkeretaapian) yang mencakup ketiga strategi ASI di atas. Namun, rencana aksi tersebut belum dilengkapi dengan target penurunan emisi ataupun skala prioritas tiap aksi.

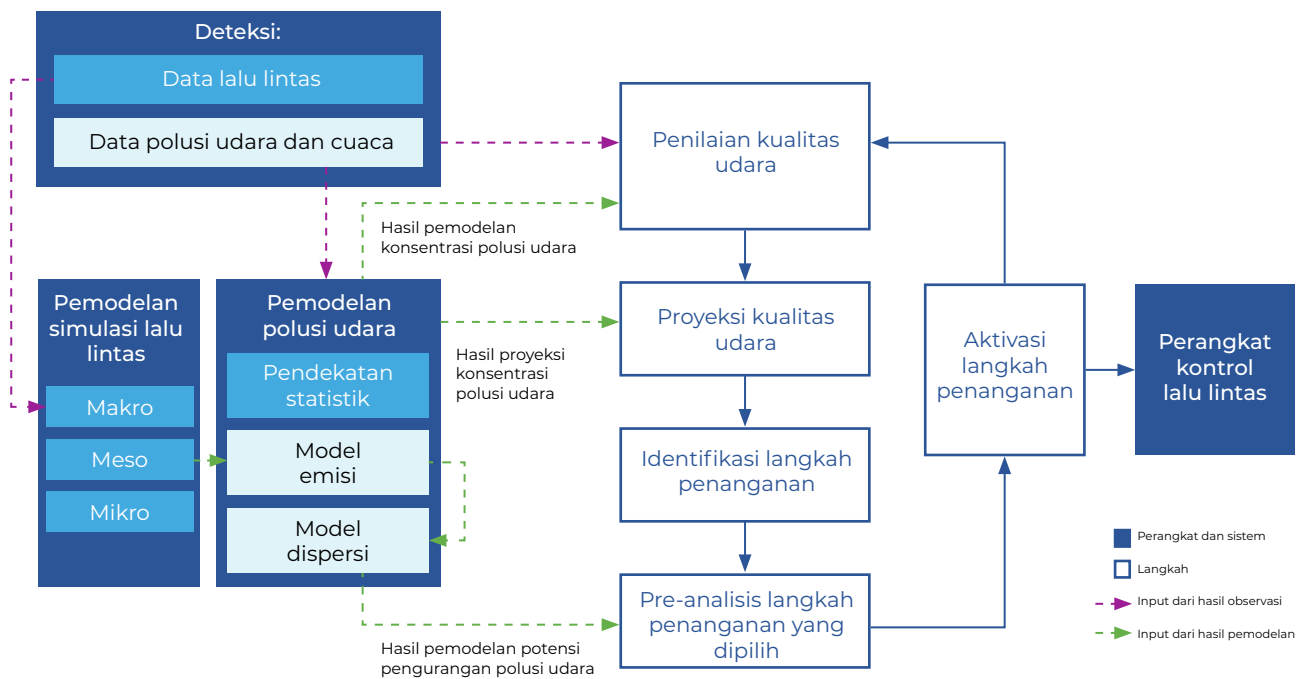
Tabel 2.4. Rencana aksi mitigasi perubahan iklim di sektor transportasi darat yang tercantum dalam Kepmenhub No. 8/2023

Strategi avoid	Pengembangan Kawasan Berorientasi Transit (TOD)
Strategi shift	Pengembangan angkutan umum perkotaan berbasis jalan Pengembangan <i>non-motorized transport</i> di Jabodetabek Pemanfaatan angkutan massal berbasis rel Implementasi <i>long distance ferry</i> Pengembangan <i>bus pool</i> Penerapan <i>electronic road pricing</i>
Strategi improve	Pemanfaatan <i>Area Traffic Control System</i> Pemanfaatan KBLBB dan fasilitas <i>charging station</i> Pemanfaatan penerangan jalan bertenaga surya Pembangkit listrik tenaga surya pada prasarana transportasi Pemanfaatan bahan bakar alternatif pada angkutan penumpang dan barang berbasis jalan Pemanfaatan bahan bakar alternatif pada sarana perkeretaapian Pemanfaatan sarana bantu navigasi pelayaran bertenaga surya Implementasi regulasi uji berkala kendaraan Penanganan perlintasan sebidang di wilayah Jabodetabek Peremajaan angkutan umum

Syahputri et al. (2023) melakukan pemodelan dampak polusi udara dalam berbagai skenario kombinasi kebijakan *avoid*, *shift*, dan *improve*. Pada studi tersebut, kebijakan *avoid* diterjemahkan menjadi penurunan *vehicle kilometer travelled* (VKT) sebanyak 2—3% per tahun untuk kendaraan pribadi melalui *integrated/mixed land-use area development*, penggunaan teknologi informasi untuk menggantikan kebutuhan perjalanan fisik, dan peningkatan fasilitas pejalan kaki. Kebijakan *shift* diterjemahkan dalam peningkatan penggunaan angkutan umum menjadi 28—36% melalui pengembangan sarana transportasi massal dan TOD. Kebijakan *improve* diterjemahkan dalam adopsi kendaraan listrik dan peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar. Hasil pemodelan menunjukkan strategi *shift* memiliki potensi penurunan konsentrasi $PM_{2.5}$ terbesar (57—64%) dibanding *avoid* (40—53%) dan *improve* (39—50%). Namun, kombinasi ketiga strategi tersebut akan menghasilkan penurunan konsentrasi $PM_{2.5}$ yang jauh lebih tinggi, mencapai 86—99%.

Eco Sensitive Traffic Management (ESTM)

Manajemen lalu lintas yang sensitif terhadap lingkungan (*eco-sensitive traffic management* atau ESTM) biasanya melibatkan kombinasi beberapa kebijakan lalu lintas, seperti pembatasan kecepatan untuk harmonisasi lalu lintas, penyesuaian sinyal lalu lintas untuk mengurangi jumlah berhenti, strategi pengalihan jalan untuk mengalihkan volume lalu lintas, penugasan ulang jalur untuk meningkatkan kapasitas, dan penutupan jalan. Implementasi manajemen lalu lintas yang sensitif terhadap lingkungan di Potsdam menunjukkan penurunan konsentrasi puncak PM_{10} dan tidak ada perubahan untuk NO_2 (Celikkaya et al. 2016).



Sumber: Celikkaya et al. (2016)

Gambar 2.3. Skema umum ESTM

Transportasi Umum

Transportasi umum dapat menurunkan polusi udara dengan mengurangi jumlah kendaraan yang ada di jalan melalui peralihan moda, yang kemudian akan menurunkan emisi secara tidak langsung. Dibandingkan dengan mobil pribadi, transportasi umum menghasilkan 90% lebih sedikit senyawa organik volatil (VOC), 95% lebih sedikit karbon monoksida (CO), serta hampir 50% lebih sedikit nitrogen oksida (NO_x) dan karbon dioksida (CO₂) dengan asumsi bahwa penumpang melakukan perjalanan yang sama (Shapiro et al. 2002).

Namun, terdapat sangat sedikit bukti empiris tentang dampak tambahan dari transportasi umum terhadap kualitas udara (Beaudoin et al. 2015). Pembangunan Jubilee Line Extension (JLE) di London pada 1999 berdampak pada perubahan jumlah polusi yang tercatat, dengan hasil untuk NO₂ berkisar dari -2% hingga +1% dan untuk O₃ dari -1% hingga 0%. Meskipun begitu, efek jangka panjang lebih besar, dengan kisaran dari -11% hingga +3% untuk NO₂ dan -2% hingga +2% untuk O₃ di lokasi yang terdampak JLE (Ma et al. 2021).

Kebijakan fiskal pada transportasi umum juga menunjukkan efek pada polusi udara walaupun hanya sedikit. Kebijakan menggratiskan transportasi umum dan meningkatkan kecepatan perjalanan dapat mengurangi polusi sebesar 0,4%. Kota-kota yang memiliki transportasi umum menunjukkan penurunan 1,7% polusi udara dibandingkan dengan kota yang tidak memiliki transportasi umum (Borck 2019). Studi lain menyebutkan bahwa ada hubungan positif pada subsidi besar yang diakibatkan oleh *economy of scale* di transportasi umum dan mengurangi kemacetan, tetapi tidak ada penurunan polusi udara (Parry dan Small 2009).

Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor

Pengetatan baku mutu emisi gas buang kendaraan dapat menekan tingkat polusi udara di suatu wilayah. Chambliss (2013) memproyeksikan bahwa percepatan penerapan standar Euro 4 hingga Euro 6 di berbagai negara dapat menekan rata-rata emisi PM_{2.5} dan NO_x per km secara signifikan. Selaras dengan temuan tersebut, pemodelan yang dilakukan oleh Giannouli et al. (2011) untuk 20 kota di Eropa juga menyimpulkan pengetatan baku mutu emisi NO_x dan PM₁₀ dapat menekan konsentrasi senyawa polutan tersebut di udara di tingkat kota ataupun tingkat jalan. Karena itu, berbagai negara menerapkan pengetatan baku mutu emisi gas buang kendaraan di wilayahnya, dengan standar yang paling ketat saat ini adalah Euro 6 atau setara. Gambar 2.4. menyediakan gambaran penerapan baku mutu emisi di beberapa negara.

	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
EU	E1	Euro 2				Euro 3				Euro 4			Euro 5					Euro 6													
HK/PRC	Euro 1		Euro 2			Euro 3				Euro 4			Euro 5																		
Korea Selatan												Euro 4			Euro 5																
PRC ^a						Euro 1			Euro 2		Euro 3		Euro 4																		
PRC ^c					Euro 1		Euro 2		Euro 3		Euro 4			Euro 5																	
Taipei, Tiongkok					US Tier 1							US Tier 2 Bin 7 ^f																			
Singapur ^a	Euro 1					Euro 2													Euro 5												
Singapur ^b	Euro 1					Euro 2				Euro 4					Euro 5																
India ^c							Euro 1			Euro 2				Euro 3							Euro 4										
India ^d					E1	Euro 2				Euro 3				Euro 4							Euro 6										
Thailand	Euro 1					Euro 2		Euro 3						Euro 4								Euro 6									
Malaysia			Euro 1										Euro 2			Euro 4															
Filipina									Euro 1			Euro 2						Euro 4													
Vietnam													Euro 2						Euro 4			Euro 5									
Indonesia ^a											Euro 2								Euro 4												
Indonesia ^b											Euro 2													Euro 4							
Indonesia ^g											Euro 2						Euro 3														
Bangladesh ^a											Euro 2																				
Bangladesh ^b											Euro 1																				
Pakistan															Euro 2 ^a		Euro 2 ^b														
Srilanka									Euro 1																						
Nepal							Euro 1																								

Catatan:

a - Bensin

b - Diesel

c - Semua negara

d - Delhi, Mumbai, Kolkata, Chennai, Hyderabad, Bangalore, Lucknow, Kanpur, Agra, Surat, Ahmedabad, Pune dan Sholapur

e - Beijing [Euro 1 (Jan 1999); Euro 2 (Aug 2002); Euro 3 (2005); Euro 4 (1 Mar 2008); Euro 5 (2012)], Shanghai [Euro 1 (2000); Euro 2 (Mar 2003); Euro 3 (2007); Euro 4 (2010)] dan Guangzhou [Euro 1 (Jan 2000); Euro 2 (Jul 2004); Euro 3 (Sep-Oct 2006); Euro 4 (2010)]

f - Setara dengan standar emisi Euro 4

Sumber: Berbagai sumber, diolah oleh KPBB (2023)

Gambar 2.4. Baku mutu emisi gas buang kendaraan bermotor di berbagai negara (1995—2025)

Untuk memenuhi ambang batas dari suatu regulasi emisi, teknologi kendaraan yang dipergunakan akan berbeda bergantung pada nilai ambang batas yang ditentukan. Penerapan Euro 4 akan menurunkan emisi secara signifikan untuk kendaraan baru berbahan bakar bensin, terutama parameter CO, HC, dan NO_x, sedangkan untuk kendaraan diesel untuk parameter CO, HC, NO_x, dan PM. Peningkatan teknologi kendaraan ini akan berpengaruh pada kenaikan biaya produksi kendaraan.

Kenaikan biaya dari Euro 1 ke Euro 2 untuk kendaraan kecil umumnya terjadi karena penerapan sistem *multi-point fuel injection* (MPFI), dan untuk kendaraan besar biaya tambahannya relatif kecil. Dari Euro 2 ke Euro 3, kenaikan biaya disebabkan oleh pemasangan katalis untuk semua kendaraan besar, sistem kontrol untuk kondisi *cold start*, dan biaya tambahan untuk persyaratan OBD (*on board unit*). Kenaikan biaya dari Euro 3 dan Euro 4 adalah hasil dari penambahan fasilitas *catalytic converter* untuk semua ukuran mesin dan penerapan EGR serta perbaikan material manifold (kapasitas termal rendah) (Sanchez et al. 2012).

Biaya tambahan untuk setiap level Euro untuk kendaraan berbahan bakar bensin berbeda dengan kendaraan berbahan bakar diesel. Pada kendaraan diesel, pemenuhan standar Euro 1 membutuhkan biaya yang lebih rendah

daripada kendaraan bensin karena hanya membutuhkan teknologi EGR. Namun, untuk standar yang lebih ketat, kenaikan biaya untuk kendaraan diesel lebih tinggi dibanding bensin karena membutuhkan biaya untuk sistem manajemen udara dan katalis. Selain itu, kenaikan signifikan terutama terjadi pada Euro 2 ke Euro 3 karena diperlukan sistem *common rail* dan DOC. Sementara biaya untuk memenuhi regulasi Euro 4 disebabkan oleh penggunaan *diesel particulate filter* (DPF) (Sanchez et al. 2012).

Penggunaan Bahan Bakar Rendah Sulfur

Penggunaan berbagai teknologi untuk meredam emisi gas buang kendaraan mensyaratkan penggunaan bahan bakar dengan spesifikasi tertentu. Salah satu kriteria utama adalah kandungan sulfur pada bahan bakar. Sulfur adalah komponen alami minyak mentah dan dapat ditemukan di bahan bakar, baik bensin maupun diesel. Ketika dibakar, sulfur pada bahan bakar akan menjadi emisi dalam bentuk sulfur dioksida (SO_2) atau PM sulfat. Setiap penurunan kandungan sulfur dalam bahan bakar akan mengurangi senyawa sulfur yang dihasilkan dari proses pembakaran dan bila kandungan sulfur menurun melewati suatu titik tertentu, manfaatnya akan meningkat, termasuk terhadap total emisi yang dihasilkan (Sanchez et al. 2012).

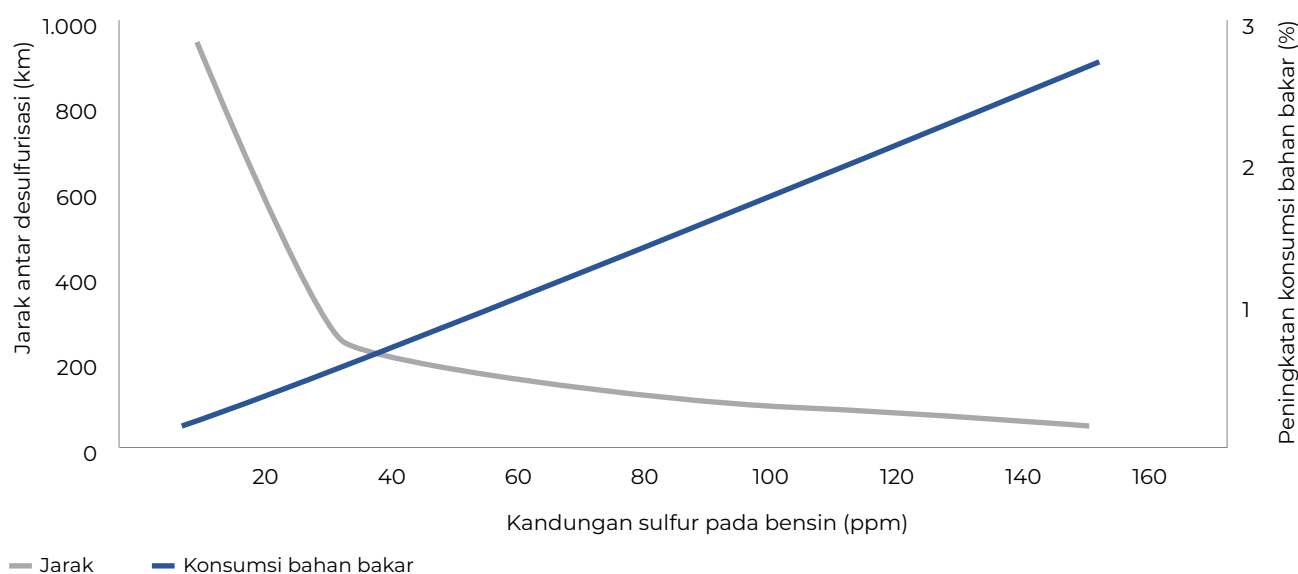
Pengurangan sulfur pada bahan bakar (~150 ppm) membuat kendaraan menjadi lebih bersih. Pengurangan kandungan sulfur pada bahan bakar akan menurunkan emisi CO, HC, dan NO_x dari kendaraan berbahan bakar bensin yang dilengkapi dengan katalitik konverter. Pengurangan kandungan sulfur juga akan menurunkan emisi PM pada kendaraan berbahan bakar diesel, dengan atau tanpa katalis oksidasi.

Bahan bakar rendah sulfur (~50 ppm) bisa digunakan lebih lanjut sebagai kontrol teknologi untuk kendaraan diesel. DPF dapat digunakan dengan bahan bakar rendah sulfur tetapi hanya mencapai efisiensi kontrol 50%. *Selective catalytic reduction* (SCR) dapat digunakan untuk mengontrol lebih dari 80% emisi NO_x .

Bahan bakar dengan sulfur mendekati nol (~10 ppm) memungkinkan penggunaan NO_x absorber untuk meningkatkan kinerja kontrol NO_x pada kendaraan bensin ataupun diesel menjadi lebih dari 90%. Hal ini juga memungkinkan untuk mendesain mesin yang lebih hemat bahan bakar (Sanchez et al. 2012).

Berbagai penelitian menunjukkan kaitan antara kandungan sulfur pada bahan bakar dan tingkat konsumsi bahan bakar, emisi partikulat, CO, NMHC, dan NO_x (Blumberg et al. 2003).

a. Pengaruh sulfur terhadap konsumsi bahan bakar

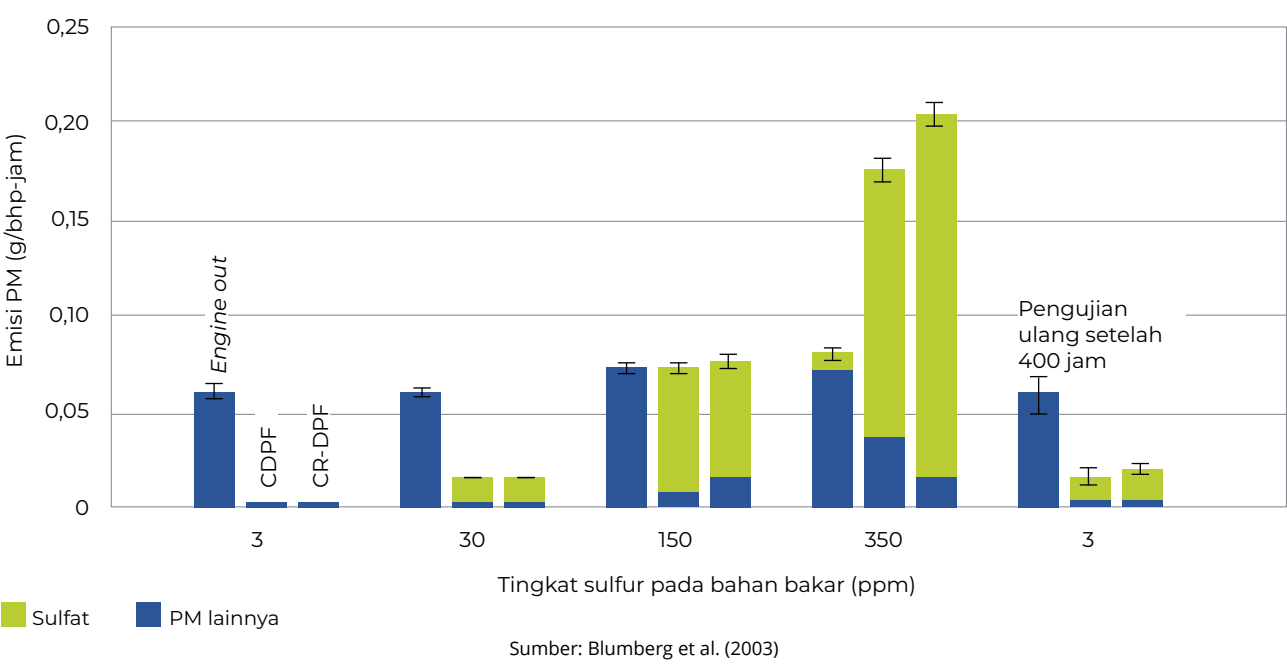


Sumber: Blumberg et al. (2003)

Gambar 2.5. Efek kandungan sulfur pada bahan bakar terhadap konsumsi bahan bakar

Dari Gambar 2.5., terlihat bahwa makin tinggi kandungan sulfur dalam bahan bakar maka akan makin besar konsumsi bahan bakarnya. Menurut penelitian yang dilakukan BMW, kandungan sulfur 140 ppm bisa menaikkan konsumsi bahan bakar hampir 2,5%.

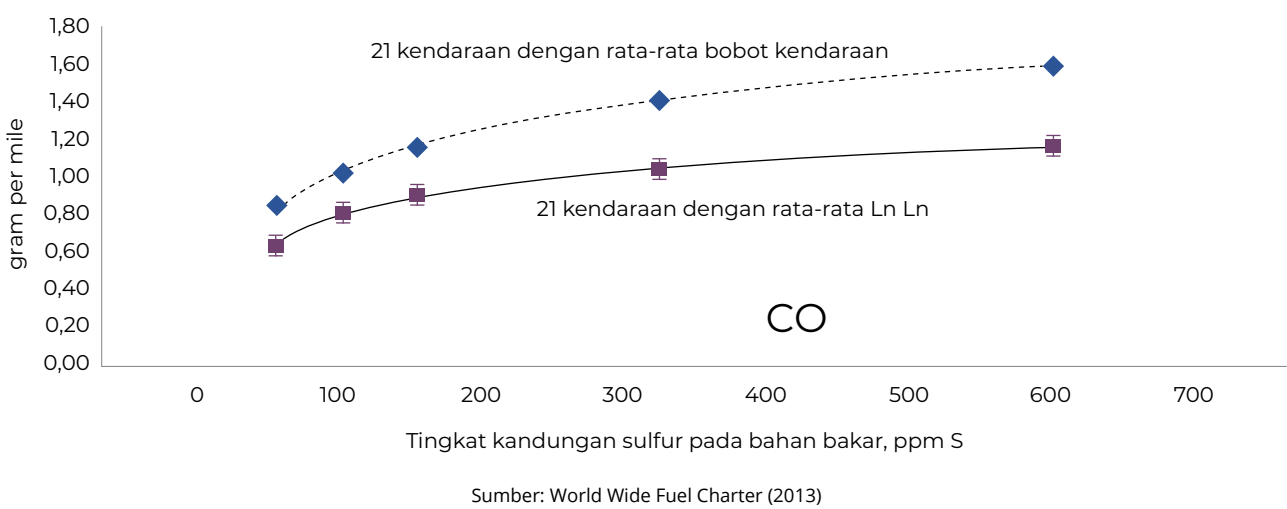
b. Pengaruh sulfur terhadap emisi partikulat (PM)



Gambar 2.6. Efek kandungan sulfur pada bahan bakar terhadap emisi partikulat (PM)

Dari Gambar 2.6., terlihat bahwa makin tinggi kandungan sulfur dalam bahan bakar maka akan makin tinggi juga emisi PM-nya. Sulfur memberikan kontribusi yang besar terhadap pembentukan emisi PM melalui pembentukan sulfat di dalam aliran gas buang dan selanjutnya pada atmosfer. Dari hasil suatu penelitian, dilaporkan penurunan kandungan sulfur dari 500 ppm menjadi 30 ppm akan menurunkan emisi partikulat 7% dari kendaraan ringan dan 4% dari kendaraan berat.

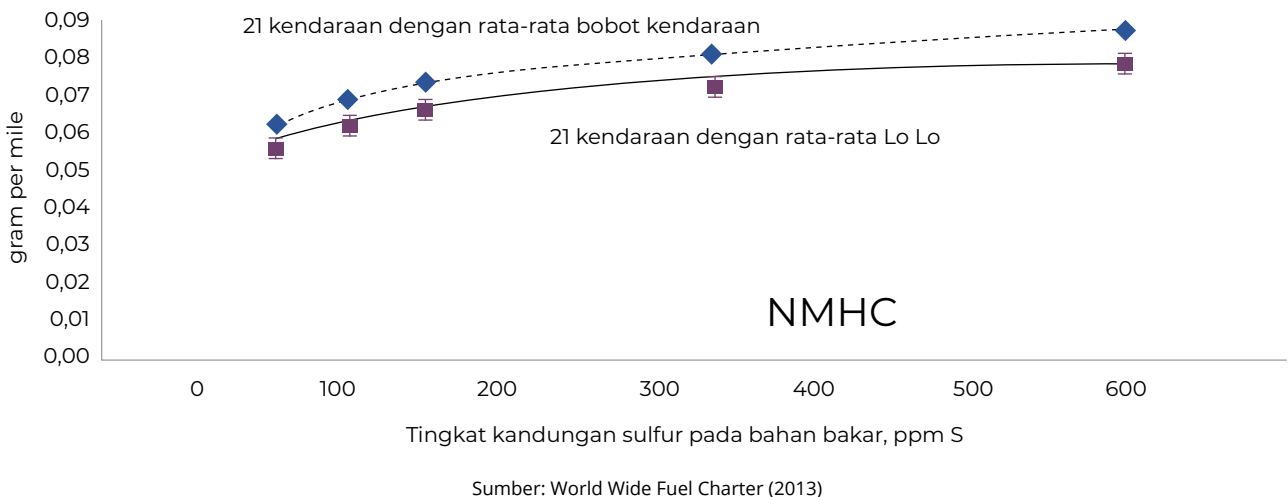
c. Pengaruh sulfur terhadap emisi CO



Gambar 2.7. Efek kandungan sulfur dalam minyak diesel terhadap emisi CO

Dari gambar di atas, terlihat bahwa makin tinggi kandungan sulfur dalam bahan bakar maka emisi CO akan makin naik. Emisi CO terkecil diperoleh pada bahan bakar dengan kandungan sulfur 50 ppm, yaitu sekitar 0,5 gram/mile dan emisi CO terbesar diperoleh pada bahan bakar dengan kandungan sulfur 600 ppm, yaitu 1,2 gram/mile.

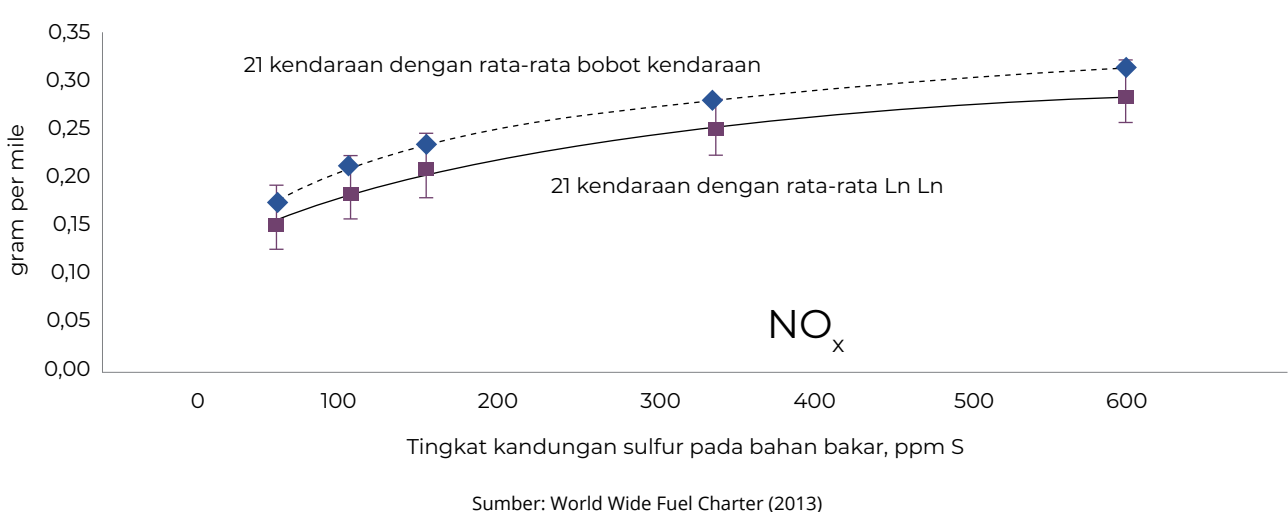
d. Pengaruh sulfur terhadap emisi NMHC



Gambar 2.8. Efek kandungan sulfur dalam minyak solar terhadap emisi NMHC

Dari gambar di atas, terlihat bahwa makin tinggi kandungan sulfur dalam bahan bakar, emisi NMHC juga akan makin naik. Emisi NHMC terkecil diperoleh pada bahan bakar dengan kandungan sulfur 50 ppm, yaitu sekitar 0,055 gram/mile dan emisi NHMC terbesar diperoleh pada bahan bakar dengan kandungan sulfur 600 ppm, yaitu 0,075 gram/mile.

e. Pengaruh sulfur terhadap emisi NO_x



Gambar 2.9. Efek kandungan sulfur dalam minyak solar terhadap emisi NO_x

Emisi NO_x terkecil diperoleh pada bahan bakar dengan kandungan sulfur 50 ppm, yaitu sekitar 0,125 gram/mile, dan emisi NO_x terbesar diperoleh pada bahan bakar dengan kandungan sulfur 600 ppm, yaitu 0,25 gram/mile. Kinerja katalis selalu lebih baik pada bahan bakar diesel yang bebas dari sulfur.

Standar Ekonomi Bahan Bakar (*Fuel Economy*)

Fuel economy adalah standar pengukuran efisiensi jarak tempuh kendaraan (kilometer) tiap unit volume bahan bakar (liter). Satuan *fuel economy* antara lain adalah km/liter dan *litre in gasoline equivalent* (lge)/100 km atau gCO₂/km. Tingkat *fuel economy* ditentukan oleh beberapa faktor, di antaranya berat kendaraan, lebar kendaraan, *powertrain* mesin, silinder mesin, dan jenis (kualitas) bahan bakar yang digunakan. Di Indonesia, pada 2019, tingkat *fuel economy* adalah 8,1 lge/100 km, lebih tinggi 13% dari rata-rata global, yaitu 7,1 lge/100 km (IEA, 2021). Dalam rentang 2005—2019, tingkat *fuel economy* di Indonesia hanya berkurang 0,5 lge/100 km. Meningkatkan efisiensi *fuel economy* merupakan hal yang penting karena dapat meningkatkan kualitas udara.

Karena banyaknya manfaat mengatur *fuel economy*, negara-negara lain sudah meregulasi hal tersebut. Contohnya adalah *corporate average fuel economy* (CAFE). CAFE menetapkan standar *fuel economy* yang harus dipenuhi oleh produsen truk (kecil) serta mobil penumpang dalam jangka waktu tertentu dan setiap beberapa tahun, standar tersebut dinaikkan secara bertahap (US Department of Transportation 2014). Tujuannya adalah mendorong manufaktur untuk memproduksi mobil penumpang dan truk kecil yang makin efisien bahan bakar dari waktu ke waktu. Pemerintah Amerika Serikat (AS) memberikan kebebasan kepada manufaktur dalam mencapai standar *fuel economy* yang ditetapkan, tetapi tetap menguntungkan secara bisnis. Mekanismenya adalah dengan menggunakan perdagangan kredit emisi yang dapat ditabung, dijual, dan ditukarkan dalam periode tertentu. CAFE mulai diimplementasikan pada 1975 dan mampu melipatgandakan efisiensi penggunaan bahan bakar dari 13,5 *miles per gallon* (mpg) pada 1975 menjadi 27,5 mpg pada 1985. Lalu, standar ditingkatkan secara berkala pada 2017 menjadi 35 mpg, 40,3—41,0 mpg pada 2021, dan 54,5 mpg pada 2025 (Union of Concerned Scientists 2017; US Department of Transportation 2014). Dalam perkembangannya, batasan emisi GRK juga diintegrasikan ke dalam CAFE oleh Environmental Protection Agency (EPA) melalui Clean Air Act.

Di Indonesia, ada beberapa tantangan jika standar *fuel economy* diatur. Pertama, meningkatnya tren penggunaan kendaraan berjenis *sports utility vehicle* (SUV) sebesar 21% sejak 2014 (232 ribu kendaraan terjual) hingga 2019 (282 ribu) (Statista 2023). Hal ini juga berpengaruh terhadap komposisi pasar mobil di Indonesia, yang sejak 2005 hingga 2019 pangsa pasar SUV meningkat dari 13% menjadi 23% (IEA 2021). SUV yang lebih berat dan lebar dibanding mobil ukuran medium pada umumnya memerlukan 1/3 bahan bakar yang lebih banyak sehingga secara akumulatif memperlambat progres perbaikan *fuel economy*. Kedua, di antara jenis-jenis *powertrain*, mesin berbahan bakar bensin merupakan jenis *power train* dengan efisiensi bahan bakar paling rendah di antara tipe lain, padahal jenis *power train* inilah yang paling banyak ada di Indonesia. Ketiga, teknologi efisiensi bahan bakar pada mesin, seperti *turbocharging* dan *gasoline direct injection* (GDI), belum menjadi standar di mesin-mesin mobil di negara-negara berkembang seperti Indonesia. Penerapan standar *fuel economy* dapat mendukung upaya peningkatan kualitas udara, tetapi masih tetap harus didukung oleh kebijakan lain.

Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai

Kendaraan listrik berbasis baterai (KBLBB/*battery electric vehicle*) memiliki karakteristik tidak mempunyai emisi gas buang (*exhaust*) yang mengandung gas rumah kaca (GRK) dan memiliki tingkat polusi suara yang lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan konvensional berbahan bakar (EEA 2018). KBLBB juga memungkinkan penggunaan komponen teknologi yang memiliki emisi PM *non-exhaust* yang lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan konvensional berbasis bahan bakar, misalnya teknologi *regenerative braking* (Woo et al. 2022). Saat ini, hampir semua kendaraan listrik yang ada di Indonesia sudah menggunakan *regenerative braking*. Dalam penggunaan dalam kota, *regenerative braking* mampu mengurangi sekitar 26% emisi PM₁₀ dan sekitar 12% pengurangan emisi PM₁₀ dalam penggunaan kecepatan tinggi di daerah pedesaan (Beddows dan Harrison, 2021). Dalam penggunaan dalam kota seperti di DKI Jakarta dengan karakter mengemudi stop-start, penggunaan KBLBB dapat menurunkan emisi PM dibanding kendaraan konvensional (Hooftman et al. 2016). Hal ini terjadi karena *regenerative braking* dapat mengurangi penggunaan pengereman friksi konvensional yang cenderung lebih banyak mengeluarkan partikel PM. *Regenerative braking* juga memiliki tingkat intensitas yang dapat disesuaikan oleh preferensi pengemudi, dengan 100% merupakan intensitas paling tinggi. Makin tinggi tingkatannya, makin banyak pengurangan partikel PM_{2.5} dan PM₁₀ dari pengereman, terlepas dari kondisi jalanan ataupun material kampas rem (*brake pads*) yang digunakan (Woo et al. 2022).

Selain menekan polusi udara, penggunaan KBLBB akan mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan bauran listrik saat ini yang masih didominasi oleh batu bara, emisi GRK sepanjang masa hidup yang dihasilkan oleh KBLBB mobil dan motor yang terjual pada 2023 lebih rendah sekitar 47—54% dan 26—35% dibanding kendaraan konvensional ekuivalennya (ICCT 2023). Penurunan emisi GRK ini akan makin signifikan seiring meningkatnya bauran energi baru terbarukan (EBT) dalam pembangkitan listrik. Keuntungan tambahan ini selaras dengan komitmen pemerintah mencapai *net zero emission* pada 2060 atau lebih cepat.

Namun, penjualan mobil dan motor listrik hanya sekitar 1% dari total penjualan mobil dan motor baru pada 2023, yaitu 12 ribu unit mobil listrik dan 62 ribu motor listrik (Kemenko Bidang Kemaritiman dan Investasi 2024; Kementerian Perindustrian 2024). Berdasarkan survei, kesulitan mencari infrastruktur pengisian daya dan terbatasnya jarak tempuh masih menjadi dua hambatan terbesar di masyarakat untuk membeli KBLBB (IESR 2023). Secara umum, KBLBB memang dapat mengurangi tingkat polusi udara. Namun, melihat skalanya yang masih kecil, adopsi KBLBB untuk mengurangi polusi udara masih perlu dilengkapi dengan kebijakan-kebijakan lainnya (Vidhi dan Shrivastava 2018).

2.3.

Kebijakan Pengetatan Baku Mutu Emisi dan Kualitas Bahan Bakar Kendaraan di Indonesia

Perkembangan Kebijakan Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor

Sejak 1999, Indonesia mendiskusikan standar emisi kendaraan bermotor, yang kala itu Indonesia berusaha mengadopsi Euro Vehicle Standard guna meregulasi produksi dan pemasaran kendaraan bermotor di Indonesia. Hal itu terlontar setelah tiga tahun pelaksanaan Program Langit Biru (PLB), tetapi belum mendapatkan hasil yang berarti dalam pengendalian pencemaran udara, terutama dari subsektor transportasi jalan raya. Emisi kendaraan bermotor sebagai representasi pencemaran udara transportasi jalan raya masih mendominasi situasi pencemaran udara di berbagai kota besar di Indonesia, terutama Jakarta dan sekitarnya.

Setelah proses dialog kebijakan yang cukup panjang, pada 2003, dicapai kata sepakat antara Kementerian Lingkungan Hidup dan anggota Gabungan Industri Kendaraan Bermotor (Gaikindo) untuk menerapkan Euro 2/II pada 1 Juli 2004 untuk produk kendaraan dengan *prototype* baru dan 1 Januari 2005 untuk kendaraan model lama yang sudah/sedang diproduksi. Dalam perjalanannya, regulasi tentang adopsi Euro Vehicle Standard ini mengalami pasang surut sebelum regulasi tersebut ditandatangani oleh Menteri Lingkungan Hidup. Jadwal yang awalnya disepakati 1 Juli 2004 kemudian digeser menjadi 1 Januari 2005 dengan dalih ketidaksiapan industri otomotif.

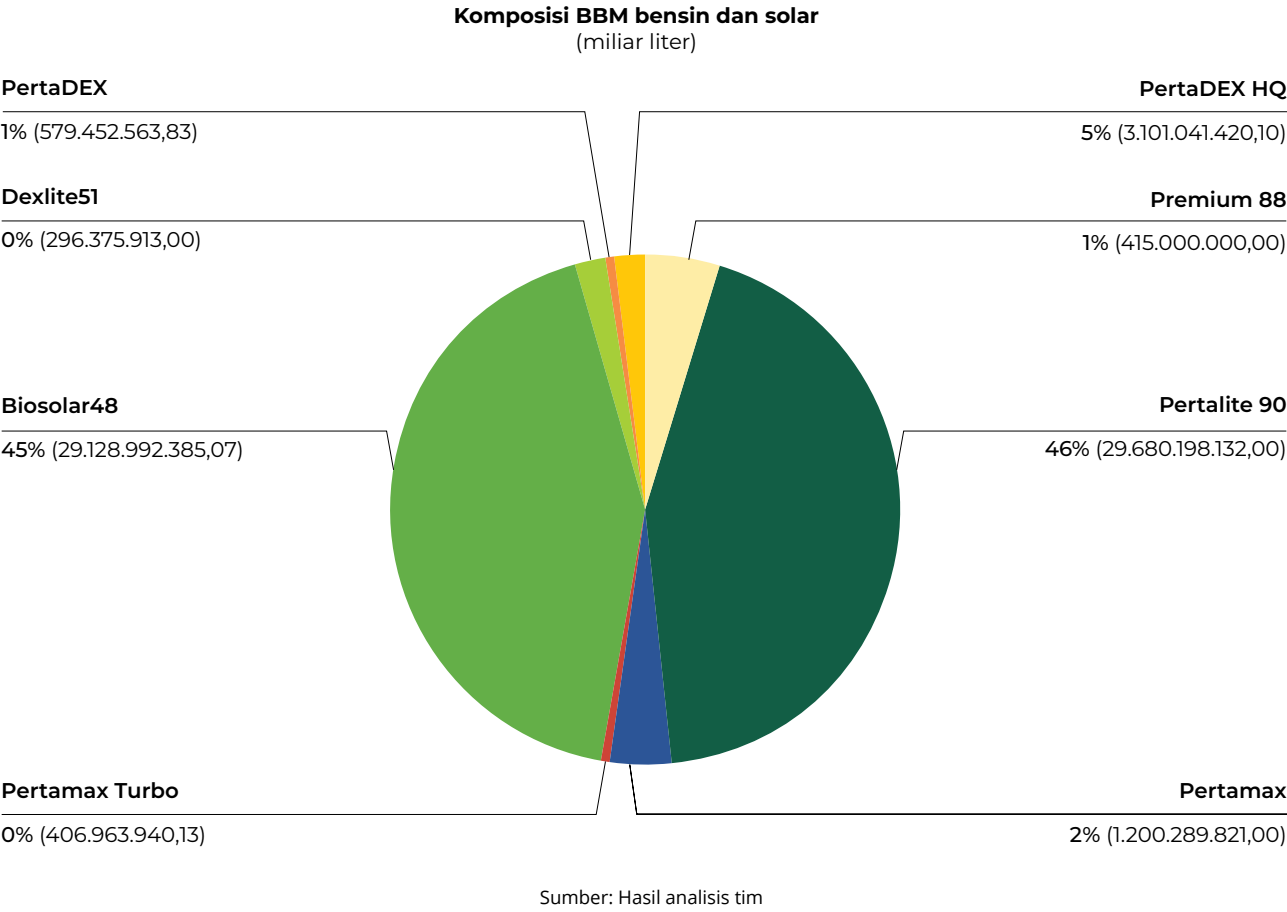
Dalam pelaksanaannya, jadwal ini bergeser menjadi 1 Januari 2007 setelah sebagian produsen kendaraan bermotor meminta penggeseran dengan berbagai dalih, antara lain ketidaksiapan investasi dan ketidaktersediaan BBM yang memenuhi persyaratan untuk kendaraan berstandar Euro 2/II. Ketika BBM yang memenuhi standar tersebut sudah tersedia mulai 1 Juli 2006 pun sebagian produsen masih tidak menjalankan amanat pengendalian emisi kendaraan tersebut sehingga berujung pada revisi PermenLH No. 141/2003 menjadi PermenLH No. 14/2009 tentang Baku Mutu Emisi Kendaraan Tipe Baru dengan jadwal penerapan yang juga mundur menjadi 1 Januari 2010.

Pada perjalanan berikutnya, karena tuntutan pasar global yang menghendaki standar yang lebih ketat untuk teknologi sepeda motor, Euro 3 Standard untuk sepeda motor diterapkan mulai 2014, sesuai dengan regulasi pemerintah yang ditetapkan melalui PermenLH No. 10/2012 tentang Standar Emisi Kendaraan Tipe L (Sepeda Motor). Kemudian, pada 2017, pemerintah menetapkan standar yang lebih ketat bagi kendaraan roda empat atau lebih melalui Permen LHK No. 20/2017 mengenai Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori M, Kategori N, dan Kategori O, yang merujuk pada standar setara Euro 4. Kebijakan terbaru ini mulai berlaku pada 2018 untuk kendaraan bensin dan 2022 untuk kendaraan diesel.

Penyediaan dan Spesifikasi BBM di Indonesia

Saat ini, penyediaan BBM untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri diproduksi oleh Kilang Pertamina dan sisanya dari impor. Menurut ESDM (2023), pada 2022, penjualan bahan bakar di pasar domestik mencapai hampir 78 miliar liter, dan sekitar 35% dari jumlah tersebut berasal dari impor, sedangkan 65% berasal dari kilang domestik. Namun, sekitar 32% dari minyak mentah yang menjadi bahan baku di kilang domestik juga berasal dari impor.

BBM untuk kendaraan bermotor di Indonesia terdiri atas dua macam, yaitu bahan bakar bensin dan bahan bakar diesel. Untuk tiap jenis, terdapat beberapa spesifikasi bahan bakar yang dipasarkan. Pada 2022, penjualan bahan bakar didominasi oleh produk Pertalite (bensin RON 90) dan biosolar (diesel CN 48 dengan bauran biodiesel 30%—meningkat menjadi 35% sejak 2023). Dua produk ini merupakan bahan bakar yang harganya disubsidi oleh pemerintah, baik dalam bentuk anggaran subsidi maupun kompensasi. Keduanya berkontribusi pada lebih dari 90% pangsa pasar BBM. Sisanya adalah Premium (bensin RON 88 yang sudah dihentikan penjualannya sejak 2023) sebesar 5%, Pertamina (bensin RON 92) sebesar 2%, dan diikuti oleh Pertamina Turbo (bensin RON 98), Dexlite (diesel CN 51), dan Pertadex (diesel CN 53) yang masing-masing sekitar 1%.



Gambar 2.10. Komposisi penjualan bahan bakar di Indonesia pada 2022

Saat ini, bahan bakar yang digunakan di Indonesia masih mengacu pada regulasi emisi Euro 2 (minus) atau dengan kata lain masih dengan spesifikasi BBM untuk kendaraan Pre-Euro Standard. Sekalipun Pertamina Turbo dan Pertamina HQ telah diperkenalkan sejak Februari 2017 (Safrudin et al. 2020) dan rencana untuk menerapkan regulasi emisi Euro 4 secara bertahap mulai disusun dengan berbagai pertimbangan, seperti efek emisi terhadap kesehatan, efek emisi terhadap kondisi lingkungan sekitar, efek terhadap penghematan bahan bakar dan sebagainya, tetapi upaya ini tersendat karena permasalahan nonteknis.

Secara spesifikasi, untuk keselarasan dengan teknologi kendaraan Euro 4, dibutuhkan bahan bakar dengan kandungan sulfur maksimum 50 ppm. Namun, mayoritas bahan bakar bensin yang beredar di pasar saat ini, yaitu Pertalite dan Pertamax, masih memiliki kandungan sulfur pada kisaran 150–400 ppm. Pertamax Turbo dengan kandungan sulfur maksimum 50 ppm sudah memenuhi persyaratan untuk kendaraan berstandar Euro 4. Selain itu, Pertamax Green, yang baru diperkenalkan pada 2023, adalah satu-satunya bensin yang memanfaatkan *blendstock octane enhancer* berupa bioetanol (BE5 atau 5% bioetanol).

Selain karena kandungan sulfurnya, Pertalite tidak memenuhi persyaratan untuk Euro 2/II ke atas karena faktor angka oktan dan beberapa parameter lain, seperti kandungan olefin, senyawa aromatik, dan benzena. Sementara Pertamax dan Pertamax Green memenuhi persyaratan untuk kendaraan standar Euro 2/II, tetapi belum sesuai untuk spesifikasi Euro 4/IV.

Sementara itu, untuk bahan bakar diesel, Biosolar, produk yang dominan di pasar, memiliki spesifikasi kandungan sulfur maksimum 2.000 ppm. Dextrite masih memiliki kandungan sulfur maksimum 1.200 ppm sehingga belum memenuhi persyaratan untuk kendaraan Euro 2. Spesifikasi PertaDex sudah memenuhi regulasi Euro 3 dengan kandungan sulfur 300 ppm, tetapi belum memadai untuk Euro 4.

Kebijakan dan Regulasi *Existing* Mengenai Standar Emisi Kendaraan Bermotor dan Kualitas Bahan Bakar

Baku mutu emisi kendaraan bermotor diatur oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Untuk kendaraan roda empat atau lebih, saat ini baku mutu emisi yang berlaku adalah setara dengan baku mutu emisi Euro IV (sejak 2018 untuk kendaraan bensin dan 2021 untuk kendaraan diesel). Untuk kendaraan roda dua, baku mutu yang berlaku setara dengan Euro III sejak 2012. Adapun sejak 2023, KLHK mewajibkan pemilik kendaraan bermotor untuk melakukan uji emisi yang hasilnya digunakan sebagai dasar penetapan pajak kendaraan bermotor (PKB).

Tabel 2.5. Daftar peraturan mengenai baku mutu emisi dan uji emisi kendaraan bermotor

No.	Kebijakan	Poin - poin kunci
1	PermenLH No. 10/2012	- Metode-metode pengujian baku mutu emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru kategori L3 (sepeda motor) - Penanggung jawab penyelenggaraan pengujian emisi kendaraan tipe baru kategori L3 (sepeda motor) - Indikator emisi termasuk konsumsi bahan bakar dan CO₂
2	PermenLH No. 23/2012	- Perubahan lampiran 1 pada Permen LH No. 10/2012 yang mengatur baku mutu gas buang emisi kendaraan bermotor - Kategorisasi (dan subkategori) kendaraan bermotor kategori M, N, O - Metode-metode pengujian baku mutu emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru - Petugas penyelenggaraan pengujian emisi kendaraan - Tembusan dan pelaporan hasil uji emisi (masyarakat)
3	PermenLHK No. 20/2017	- Jenis jenis kendaraan <i>low carbon emission vehicle</i> (LCEV) dengan batas emisi CO₂ maksimal 120 gram/km - LCGC atau KBH2 produksi di atas 2021 harus menggunakan BBM paling rendah RON 92 atau CN 51
4	Permenperin No. 36/2021	- Tata administrasi uji emisi kendaraan bermotor yang sudah beroperasi (permohonan, persyaratan, penggunaan, dan lain-lain) - Tata kelola dan pelaporan hasil uji emisi - Metode-metode dan instrumen pengujian baku mutu emisi

Standar mutu bahan bakar diatur oleh Kementerian ESDM melalui Surat Keputusan Dirjen Migas untuk bahan bakar fosil dan Surat Keputusan Dirjen EBTKE untuk bahan bakar nabati. Hingga saat ini, hanya sebagian jenis bahan bakar yang diwajibkan memenuhi standar bahan bakar rendah sulfur dengan kandungan sulfur maksimal 50 ppm, yaitu diesel (B35) CN 51 dan bensin RON 95, bensin RON 95 dengan campuran etanol 5%, serta bensin RON 98. Bahan bakar rendah sulfur direkomendasikan sebagai bahan bakar untuk kendaraan yang memenuhi standar Euro 4. Bahan bakar lain yang memiliki pangsa pasar terbesar, yaitu bensin RON 90, bensin RON 91, dan diesel CN 48, masih memiliki batas maksimal kandungan sulfur di atas 50 ppm, tetapi ditargetkan untuk mencapai 50 ppm secara bertahap. Bensin RON 88 sudah dihentikan peredarannya sejak 2023.

Tabel 2.6. Daftar peraturan mengenai standar kualitas bahan bakar kendaraan bermotor

No.	Kebijakan	Poin - poin kunci
1	KepDirjen Migas No. 170.K/HK.02/DJM/2023	● Spesifikasi bahan bakar jenis diesel (B35) CN 48 dan CN 51 ○ Kandungan sulfur untuk CN 51 maksimal 50 ppm ○ Kandungan sulfur untuk CN 48 maksimal 2.000 ppm, menjadi 500 ppm per Desember 2024 dan 50 ppm per Desember 2026
2	KepDirjen Migas No. 0486.K/10/DJM.S/2017	● Spesifikasi bahan bakar jenis bensin RON 90 ○ Kandungan sulfur untuk RON 90 maksimal 500 ppm
3	KepDirjen Migas No. 110.K/MG.01/DJM/2022	● Spesifikasi bahan bakar jenis bensin RON 91 dan RON 95 ○ Kandungan sulfur untuk RON 91 maksimal 400 ppm dan menurun bertahap hingga maksimal 50 ppm per Januari 2028 ○ Kandungan sulfur untuk RON 95 maksimal 50 ppm per Januari 2024
4	KepDirjen Migas No. 252.K/HK.02/DJM/2023	● Spesifikasi bahan bakar jenis bensin RON 95 dengan campuran etanol 5% ● Kandungan sulfur maksimal 50 ppm per Januari 2024
5	KepDirjen Migas No. 0177.K/10/DJM.T/2018	● Spesifikasi bahan bakar jenis bensin RON 98 ● Kandungan sulfur maksimal 50 ppm
6	KepDirjen EBTKE No. 95.K/EK.05/DJE/2022	● Spesifikasi bahan bakar jenis diesel nabati (bio hidrokarbon), angka setana minimal 70, kandungan sulfur maksimal 10 ppm atau 50 ppm
7	KepmenESDM No. 245.K/MG.01/MEM.M/2022	● Penghapusan BBM RON 88 dari pasar mulai 1 Januari 2023

Perpres No. 191/2014 mengklasifikasi jenis-jenis bahan bakar apa saja yang berhak menerima subsidi atau kompensasi melalui pengelompokan JBT (subsidi), JBKP (kompensasi), dan JBU. Sudah ada beberapa versi revisi dari perpres tersebut, yang salah satu perubahannya melalui Perpres No. 43/2018 dan Perpres No. 117/2021 adalah membuka akses JBKP RON 88 untuk wilayah yang lebih luas. Melalui gubahan ini, pemerintah juga mengadakan bahan bakar RON 90 untuk tercapainya penggunaan energi bersih dan ramah lingkungan yang mana BBM ini dikelompokkan sebagai JBKP.

Tabel 2.7. Daftar peraturan mengenai pengaturan subsidi dan kompensasi bahan bakar kendaraan bermotor

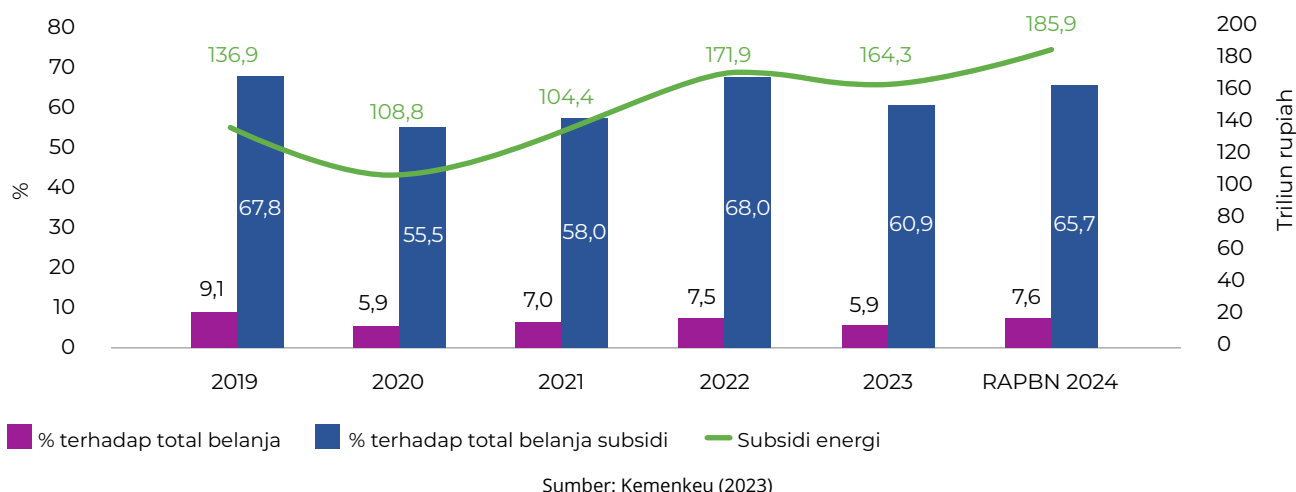
No.	Kebijakan	Poin - poin kunci
1	Perpres No. 191/2014	● Klasifikasi jenis-jenis BBM menjadi JBT, JBKP, dan JBU ● Identifikasi badan usaha dan badan pengatur dalam distribusi BBM ● JBKP adalah seluruh wilayah Indonesia kecuali provinsi-provinsi di Pulau Jawa dan Bali ● Mekanisme perencanaan volume BBM ● Penjelasan, penyediaan, dan pemanfaatan bahan bakar nabati (<i>biofuel</i>) untuk JBT, JBKP, dan JBU ● Penetapan harga dasar dan harga jual BBM
2	Perpres No. 43/2018	● Perubahan atas Perpres No. 191/2014 ● Menteri dapat menentukan daerah distribusi BBM RON 88 di wilayah penugasan yang dikecualikan pada Perpres No. 191/2014 ● Perubahan pertimbangan penentuan harga jual BBM
3	Perpres No. 117/2021	● Perubahan atas Perpres No. 191/2014 ● Penetapan BBM RON 90 sebagai bahan bakar JBKP ● Perubahan cakupan JBKP menjadi seluruh Indonesia ● Metode pembayaran kompensasi JBKP
4	KepmenESDM No. 37/2022	● Penetapan BBM RON 90 sebagai bahan bakar JBKP

2.4. Kebijakan Subsidi Bahan Bakar

Salah satu komoditas strategis yang memperoleh subsidi adalah BBM. BBM menjadi salah satu kebutuhan pokok masyarakat dan menyumbang 9,47 persen terhadap total pengeluaran bukan makanan masyarakat (BPS 2024). Di sisi lain, harga BBM bersifat sensitif terhadap gejolak perekonomian, baik di tingkat domestik maupun global. Sebagai contoh, harga BBM bersubsidi Indonesia mengalami penyesuaian pada September 2022 akibat tekanan geopolitik Rusia-Ukraina yang mengakibatkan tingginya harga minyak dunia hingga menyentuh US\$120 per barel (World Bank 2022). Harga BBM domestik bersubsidi mengalami kenaikan dari Rp7.650 menjadi Rp10.000 untuk bensin dan dari Rp5.150 menjadi Rp6.800 untuk solar (Pertamina 2022).

Adapun subsidi merupakan bantuan dalam bentuk uang yang diberikan oleh pemerintah kepada perusahaan, lembaga pemerintah, atau pihak lain untuk menyediakan barang atau jasa penting kepada masyarakat atau untuk mendukung kebutuhan penting (Kemenkeu 2023). Subsidi menjadi salah satu instrumen fiskal yang menjadi penopang daya beli masyarakat atau pendukung produktivitas usaha mikro, kecil, dan menengah atau UMKM (Leonita et al. 2023). Secara umum, subsidi yang diberikan oleh pemerintah terbagi menjadi dua jenis, yaitu (1) subsidi energi, seperti subsidi bahan bakar minyak (BBM), LPG 3 kg, dan listrik, serta (2) subsidi non-energi, seperti subsidi pupuk, PSO, bunga kredit program, dan pajak (Kemenkeu 2023).

Dalam jangka waktu lima tahun terakhir, realisasi subsidi energi cenderung meningkat meskipun sempat mengalami penurunan saat masa pandemi Covid-19 pada 2020. Berdasarkan data dari Kemenkeu (2023), realisasi subsidi energi meningkat sebesar 20 persen dari Rp136,9 triliun pada 2019 hingga mencapai Rp164,3 triliun pada 2023 (lihat Gambar 2.11.).



Gambar 2.11. Realisasi belanja subsidi energi 2019—2023

Perkembangan realisasi subsidi energi, terutama untuk jenis BBM tertentu (JBT), dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti besaran subsidi tetap, volume kuota subsidi, perkembangan asumsi dasar ekonomi makro, perubahan harga acuan yang menjadi dasar penetapan harga BBM (Mean of Platts Singapore/MOPS), ataupun pembayaran kurang bayar untuk subsidi pada tahun-tahun sebelumnya. Realisasi subsidi BBM salah satunya dipengaruhi oleh fluktuasi besaran subsidi tetap solar. Pada 2019, besaran subsidi tersebut ditetapkan pada angka Rp2.000 per liter, lalu menurun pada 2020 menjadi Rp1.000 per liter, dan menurun kembali pada 2021—2022 menjadi Rp500 per liter, kemudian meningkat kembali menjadi Rp1.000 per liter pada 2023. Selain itu, realisasi subsidi jenis BBM tertentu tersebut dapat dipengaruhi oleh volume kuota subsidi. Berdasarkan data dari Kemenkeu (2023), realisasi subsidi energi diperkirakan meningkat sebesar 4,9 persen dari 16,2 juta kiloliter pada 2019 menjadi 17 juta kiloliter pada 2023 (Kemenkeu 2023).

Pada 2024, pemerintah telah mengalokasikan anggaran untuk subsidi energi sebesar Rp185,9 triliun dengan besaran subsidi tetap untuk solar sebesar Rp1.000 per liter dan kuota solar bersubsidi sebesar 19 juta kiloliter (Kemenkeu 2023). Mengingat besarnya porsi subsidi energi terhadap total belanja subsidi secara keseluruhan (rata-rata sebesar 63,5 persen pada 2019—2023), pemberian subsidi tersebut harus dilakukan secara tepat sasaran agar tidak membebani kapasitas fiskal serta dapat memberikan manfaat kepada masyarakat secara optimal.

Di sisi lain, skema kompensasi menjadi salah satu instrumen kebijakan yang diterapkan untuk mengelola harga bahan bakar minyak (BBM) di pasar domestik. Kompensasi BBM adalah mekanisme penggantian biaya yang diberikan pemerintah kepada Pertamina dan badan usaha lainnya yang menjual BBM dengan harga yang ditetapkan oleh pemerintah, ketika harga tersebut berada di bawah harga keekonomian. Data Kementerian Keuangan RI Tahun 2023 menunjukkan bahwa alokasi anggaran untuk kompensasi BBM mencapai Rp340,4 triliun, jauh melampaui anggaran subsidi energi sebesar Rp208 triliun. Perbedaan signifikan ini mencerminkan pergeseran pendekatan pemerintah dalam mengelola harga energi.

Dartanto (2013) dan ADB (2015) menggarisbawahi potensi jangka pendek dan jangka panjang dari reformasi subsidi BBM serta fleksibilitas skema kompensasi dalam merespons dinamika pasar. Disebutkan bahwa reformasi subsidi BBM dapat memperbaiki neraca fiskal pemerintah secara signifikan dan dapat memberikan ruang untuk investasi di sektor-sektor produktif. Sementara Yusuf et al. (2008) menganalisis dampak reformasi subsidi BBM terhadap ekonomi makro dan distribusi pendapatan di Indonesia. Penggantian subsidi dengan transfer tunai yang lebih tepat sasaran dapat mengurangi ketimpangan sambil tetap menjaga pertumbuhan ekonomi. Skema kompensasi dipandang sebagai alternatif yang lebih fleksibel dan potensial lebih efektif dalam mengelola harga energi. Meski demikian, pengelolaannya perlu kehati-hatian dan tepat sasaran agar tidak menambah beban fiskal, tetapi tetap melindungi kelompok masyarakat yang rentan.

Salah satu bentuk reformasi subsidi BBM adalah kebijakan pemerintah untuk melakukan penyesuaian harga. Di beberapa negara, perubahan harga minyak mentah dan BBM berdampak signifikan terhadap inflasi, dengan variasi dampak bergantung pada kondisi ekonomi dan kebijakan yang diterapkan di tiap negara. Kenaikan harga bahan bakar

umumnya mendorong peningkatan inflasi, terutama melalui saluran harga energi yang memengaruhi biaya produksi dan konsumsi. Abdallah dan Kpodar (2023) menemukan bahwa kenaikan harga energi retail BBM berdampak positif pada tingkat harga konsumen meskipun dampaknya cenderung sementara dan bervariasi antarnegara. Dampak tersebut lebih besar dan persisten di negara-negara dengan pasar tenaga kerja yang kurang fleksibel, intensitas energi yang rendah, kebijakan fiskal yang longgar, dan kebijakan moneter yang kurang kredibel. Selain itu, Husaini dan Lean (2021) meneliti dampak asimetris harga minyak dan nilai tukar terhadap inflasi di Indonesia, Malaysia, dan Thailand. Mereka menemukan bahwa kenaikan harga minyak lebih berdampak pada indeks harga produsen (PPI) dibandingkan dengan indeks harga konsumen (CPI) di ketiga negara tersebut. Sementara itu, dalam konteks Indonesia, kebijakan subsidi harga bahan bakar telah menjadi penghambat bagi program-program energi lainnya, seperti konservasi energi dan diversifikasi energi. Setyawan (2014), yang menggunakan analisis tabel *input-output* (IO) Indonesia, menemukan bahwa kenaikan harga bahan bakar, misalnya sebesar 10%, 20%, dan 30%, akan sangat berdampak negatif pada sektor transportasi.

Metode *vector autoregression* (VAR) banyak digunakan untuk menganalisis hubungan dinamis antara harga bahan bakar dan inflasi. Bhat, Ganaie, dan Sharma (2018) dalam penelitiannya menggunakan kerangka VAR struktural untuk menganalisis dampak kejutan harga minyak dan makanan terhadap perekonomian India. Mereka menemukan bahwa inflasi memberikan respons secara positif terhadap semua jenis kejutan harga minyak dan makanan, dengan tidak adanya tanda-tanda penurunan dalam jangka panjang. Studi lain oleh Basnet dan Upadhyaya (2015) menganalisis dampak kejutan harga minyak terhadap *output* riil, inflasi, dan nilai tukar riil di lima negara ASEAN (Thailand, Malaysia, Singapura, Filipina, dan Indonesia) menggunakan model VAR struktural. Hasilnya menunjukkan bahwa fluktuasi harga minyak tidak memiliki dampak jangka panjang terhadap ekonomi ASEAN-5 dan sebagian besar efeknya terserap dalam lima hingga enam kuartal. Sarmah dan Bal (2021) juga menggunakan kerangka VAR struktural untuk menganalisis dampak harga minyak mentah terhadap tingkat inflasi dan pertumbuhan ekonomi di India. Mereka menemukan bahwa harga minyak mentah memiliki dampak positif terhadap inflasi, sementara hubungan terbalik ditemukan antara harga minyak mentah dan pertumbuhan ekonomi. Ambya et al. (2022) dalam studi mereka, yang menganalisis hubungan dinamis antara harga bensin dan inflasi energi di Indonesia dengan menggunakan model VAR, menemukan bahwa inflasi energi sangat dipengaruhi oleh harga bensin, yaitu fluktuasi harga bensin cenderung meningkatkan inflasi.

3

Metode

3.1. Pemodelan Dampak Kebijakan Pengetatan Standar Kualitas BBM

Analisis mengenai dampak kebijakan terhadap polusi udara, kesehatan, dan ekonomi dilakukan secara kuantitatif melalui pemodelan berdasarkan skenario kebijakan yang ditetapkan.

Untuk melakukan analisis dampak kebijakan peningkatan kualitas BBM, disusun dua skenario kualitas BBM: 1) skenario *business as usual* (BAU), yang mengasumsikan penggunaan BBM dengan kualitas yang sama dengan saat ini sampai waktu yang tidak ditentukan; dan 2) skenario Euro 4, yang mengasumsikan implementasi BBM Euro 4 secara bertahap hingga mencapai 100% pada 2028, dengan mempertimbangkan kesiapan kilang Pertamina untuk menyediakan BBM Euro 4. Skenario BBM Euro 4¹ tersebut disusun dengan asumsi tahapan sebagai berikut.

- 1) 2025: 34% bahan bakar diesel dan 41% bahan bakar bensin memenuhi standar Euro 4
- 2) 2026: 64% bahan bakar diesel dan 66% bahan bakar bensin memenuhi standar Euro 4
- 3) 2027: 64% bahan bakar diesel dan 84% bahan bakar bensin memenuhi standar Euro 4
- 4) 2028: 100% bahan bakar diesel dan 100% bahan bakar bensin memenuhi standar Euro 4

Selain itu, analisis yang dilakukan mempertimbangkan tiga skenario kebijakan subsidi/kompensasi BBM.

Skenario 1: kenaikan harga akibat implementasi BBM Euro 4 akan ditanggung seluruhnya oleh pemerintah, mengakibatkan kenaikan anggaran subsidi. BBM jenis Paltelite dan biosolar bersubsidi akan tetap dijual dengan harga saat ini dan terbuka bagi semua konsumen.

Skenario 2: kenaikan harga akibat implementasi BBM Euro 4 tidak ditanggung oleh pemerintah sehingga anggaran subsidi tetap. Kenaikan harga BBM Euro 4 dari BBM *existing* (PSO dan non-PSO) ditanggung oleh konsumen. Namun, BBM PSO akan tetap mendapat subsidi sesuai dengan besaran *existing*.

Skenario 3: mulai 2025, dilakukan pembatasan penjualan BBM jenis Paltelite hanya kepada pengguna sepeda motor <150 cc dan mobil penumpang berpelat kuning (54%) serta jenis biosolar hanya kepada angkutan umum (bus) serta mobil barang UMKM dan industri tertentu (77%). Penghematan subsidi digunakan untuk membiayai perbedaan harga BBM Euro 4 dengan harga BBM non-PSO *existing* (Pertamax untuk bensin dan Dexlite untuk diesel).

Skenario tahapan implementasi BBM Euro 4 ini akan menjadi acuan bagi penghitungan dampak kebijakan terhadap polusi udara, kesehatan, dan ekonomi. Skenario kebijakan subsidi/kompensasi BBM akan menjadi acuan bagi penghitungan dampak kebijakan terhadap ekonomi (inflasi dan anggaran). Karena alasan ketersediaan data, perhitungan dampak polusi udara hanya dilakukan pada kasus wilayah Jabodetabek dan dampak kesehatan hanya dilakukan pada kasus wilayah Jakarta. Sementara penghitungan dampak ekonomi akan dilakukan untuk cakupan nasional.

3.1.1. Pemodelan Polusi Udara

Penghitungan beban emisi kendaraan bermotor di Jabodetabek mengikuti formula berikut ini.

$$Ea = \sum_{b=1, c=1}^{n,m} (VKT_{b,c} \times FE_{a,b,c} \times 10^{-6})$$

Ea = Beban emisi untuk parameter pencemar a

$VKT_{b,c}$ = Total jarak tempuh kendaraan (*vehicle kilometers traveled*) per tahun untuk kategori kendaraan b yang menggunakan kategori bahan bakar c (km/tahun)

$FE_{a,b,c}$ = Faktor emisi untuk parameter pencemar a yang dihasilkan oleh kendaraan kategori b dengan bahan bakar kategori c (g/km).

¹ Skenario penahapan diperoleh dari hasil diskusi dengan Kementerian Koordinasi Bidang Kemaritiman dan Investasi.

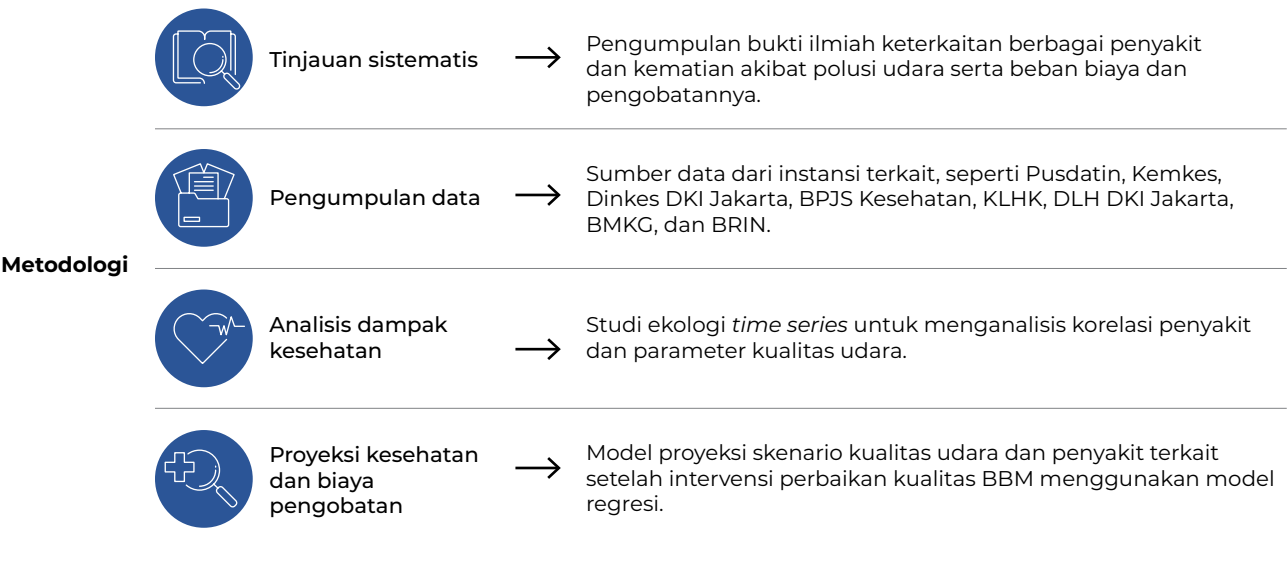
Pemodelan pencemaran udara dengan sumber kendaraan bermotor ini disusun untuk membuat estimasi beban emisi pencemaran udara yang berasal dari kendaraan bermotor, sesuai dengan formula di atas. Penghitungan total jarak tempuh kendaraan (VKT) diperoleh dari total populasi kendaraan bermotor yang dibagi menjadi lima kategori kendaraan, yaitu sepeda motor, mobil penumpang bensin, mobil penumpang diesel, bus, dan truk, berikut dengan rata-rata perjalanan setiap kategori kendaraan tersebut pada periode waktu tertentu. Sementara faktor emisi diambil dari faktor emisi yang ditetapkan pada PermenLH No. 12/2010, selain menggunakan referensi lain untuk mengisi kekosongan faktor emisi yang belum ditetapkan di Indonesia, misalnya faktor emisi yang lebih detail untuk kendaraan kategori Pre-Euro Standard dan kendaraan berstandar Euro 4/IV.

Hasil penghitungan beban emisi dari tiap kategori kendaraan kemudian dijumlahkan sesuai dengan parameter pencemaran (CO , HC , NO_x , SO_2 , PM_{10} , dan $\text{PM}_{2.5}$) sehingga dapat diketahui total beban emisi dari tiap parameter pencemaran udara ini, selain diketahui keseluruhan jumlah beban emisi kendaraan bermotor. Pada penghitungan ini juga dapat diketahui proporsi beban emisi dari kendaraan bensin maupun kendaraan diesel.

Pada penghitungan estimasi beban emisi ini, BAU Pre-Euro Standard dipergunakan sebagai referensi untuk melakukan analisis efek peningkatan/penurunan emisi pada skenario kebijakan penurunan emisi kendaraan bermotor, dengan pertimbangan status kualitas BBM masih seperti di atas. Meskipun standar emisi yang lebih ketat sudah diterapkan (Euro 2/II sejak 1 Januari 2007, Euro 3 untuk sepeda motor mulai 1 Agustus 2013, serta Euro 4/IV mulai 1 Oktober 2018 untuk kendaraan bensin dan 1 April 2021 untuk kendaraan diesel), pada praktiknya mayoritas (99%) BBM yang tersedia di pasar tidak memenuhi persyaratan teknologi kendaraan berstandar Euro tersebut. Karena itu, nilai emisi referensi yang digunakan dalam skenario BAU adalah Pre-Euro Standard.

3.1.2. Pemodelan Kesehatan

Metodologi yang digunakan dalam studi ini berfokus pada upaya pengumpulan data dan analisis bukti-bukti ilmiah terkait dampak polusi udara, khususnya dalam konteks kesehatan masyarakat dan beban biaya pengobatan. Polusi udara telah menjadi isu yang makin mendesak, terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, dengan kendaraan bermotor menjadi penyumbang utama emisi. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan langkah-langkah konkret yang didukung oleh data ilmiah yang kuat, yaitu:



Gambar 3.1. Metodologi kesehatan dan beban biaya pengobatan

1. *Systematic Review* adalah metode penelitian yang dirancang untuk mengumpulkan, mengevaluasi, dan menganalisis hasil penelitian untuk mengumpulkan informasi keberhasilan negara-negara lain dalam menurunkan dampak kesehatan dan beban biaya pengobatan setelah perbaikan kualitas BBM berdasarkan jurnal ilmiah terpublikasi internasional.
2. Pengumpulan data *time series* penyakit terkait polusi udara bersumber dari instansi terkait, seperti Pusdatin Kemkes dan Dinas Kesehatan. Sementara data *time series* parameter polusi udara bersumber dari KLHK, DLH, BMKG, dan BRIN/Lapan. Terakhir, data beban biaya pengobatan dikumpulkan dari instansi BPJS.
3. Studi ekologi *time series* digunakan untuk menganalisis korelasi penyakit akibat polusi udara dan parameter kualitas udara. Adapun rumus korelasi yang digunakan untuk menganalisis hubungan dua variabel ini adalah sebagai berikut.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x) - (\sum y)}{[n\sum x^2 - (\sum x)^2] [n\sum y^2 - (\sum y)^2]}$$

Keterangan:

- r adalah koefisien korelasi
- Y adalah variabel dependen (tingkat kejadian penyakit)
- X adalah variabel independen (tingkat parameter kualitas udara)
- n adalah jumlah data
- $\sum$ adalah simbol penjumlahan

Koefisien korelasi Pearson ini digunakan untuk mengukur kekuatan dan arah hubungan linier di antara dua variabel kontinu.

4. Model proyeksi skenario implementasi Euro 4 terhadap kualitas udara dan penyakit menggunakan model regresi. Analisis regresi ini digunakan untuk memahami hubungan variabel dependen (penyakit) dan variabel independen (parameter kualitas udara). Tujuan analisis regresi adalah membuat pemodelan penyakit dari nilai variabel dependen berdasarkan variabel independen. Adapun rumus regresi yang digunakan adalah sebagai berikut.

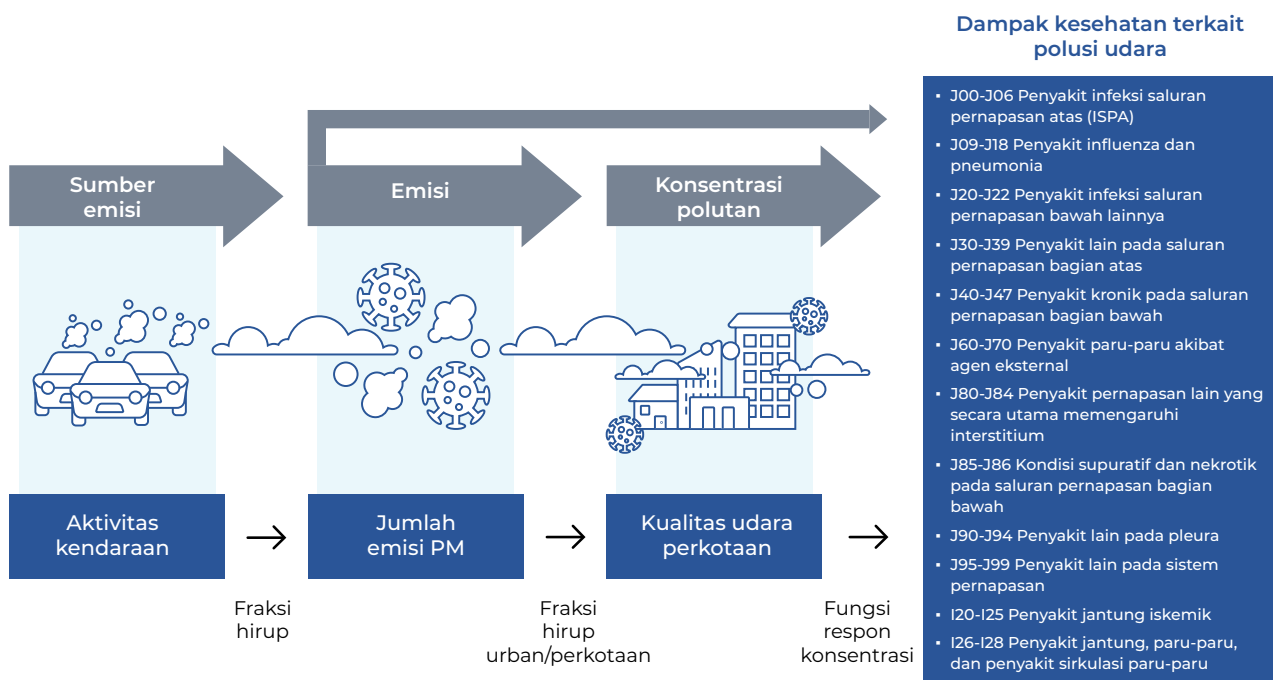
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

Keterangan:

- Y adalah variabel dependen (tingkat kejadian penyakit)
- X adalah variabel independen (tingkat parameter kualitas udara)
- β_0 adalah *intercept* (konstanta)
- β_1 adalah koefisien regresi (kemiringan garis)
- ϵ adalah *error term* (kesalahan model)

Dalam melakukan penilaian dampak kesehatan dari emisi kendaraan, peneliti mengadopsi pendekatan langkah-langkah dasar dari Smith, 1993 (dalam ICCT, 2013) berikut ini.

1. Penentuan total emisi dari setiap polutan dari sumber bergerak (transportasi);
2. Penentuan perubahan konsentrasi polutan di lingkungan;
3. Penentuan populasi yang terpapar pada rentang konsentrasi polutan tersebut; dan
4. Perubahan konsentrasi ambien untuk mendefinisikan efek kesehatan dari suatu polutan.



Gambar 3.2. Kerangka model dampak kesehatan dari emisi transportasi (ICCT, 2013 dengan modifikasi)

3.1.3. Pemodelan Ekonomi

Pemodelan Dampak terhadap Subsidi

Studi ini menggunakan metode deskriptif untuk mengestimasi dampak kenaikan harga bahan bakar terhadap anggaran subsidi dengan mempertimbangkan harga BBM, volume konsumsi BBM, dan variabel lain. Metode ini membantu memahami besaran pengaruh peningkatan kualitas BBM dan peningkatan harga BBM terhadap beban fiskal pemerintah sehingga dapat bermanfaat dalam perencanaan dan penyusunan upaya mitigasi menjaga kestabilan ruang fiskal. Dalam analisis ini, anggaran kompensasi tidak dibedakan dari anggaran subsidi.

Pemodelan Dampak terhadap Inflasi

Studi ini menggunakan model *vector autoregression* (VAR) untuk memperkirakan dampak kenaikan harga bahan bakar terhadap inflasi dengan memperhitungkan variabel-variabel ekonomi makro tambahan. Model VAR sangat cocok untuk analisis ini karena memungkinkan untuk memeriksa hubungan dinamis di antara beberapa variabel deret waktu tanpa memaksakan pembatasan struktural yang kuat (Sims 1980). Spesifikasi model VAR dapat ditulis sebagai berikut.

$$Y_t = A_0 + A_1 * Y_{t-1} + A_2 * Y_{t-2} + \dots + A_p * Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

Keterangan:

- Y_t adalah vektor ($k \times 1$) variabel endogen pada waktu t
- A_0 adalah vektor ($k \times 1$) suku-suku intersep
- A_i adalah matriks koefisien ($k \times k$) untuk $i = 1, 2, \dots, p$
- ε_t adalah vektor ($k \times 1$) dari nilai *error*
- p adalah urutan jeda dari model VAR

Variabel endogen yang dimasukkan dan sumber data pada model ini adalah:

Variabel Endogen	Sumber Data
Harga BBM	Pertamina
Pertumbuhan PDB (Q to Q)	Badan Pusat Statistik
Suku Bunga Kredit	Badan Pusat Statistik
IHK (Indeks Harga Konsumen)	Bank Indonesia/Badan Pusat Statistik
IPR (Indeks Penjualan Riil)	Bank Indonesia
Kurs Nilai Tukar Rupiah	Bank Indonesia

Penelitian ini menggunakan data bulanan yang mencakup periode Januari 2010 hingga Juni 2024. Semua variabel ditransformasikan untuk memastikan stasioneritas, biasanya dengan mengambil perbedaan pertama atau perbedaan logaritmik sebagaimana mestinya (Lütkepohl 2005).

3.2. Kesiapan Pelaku Industri Kendaraan Bermotor

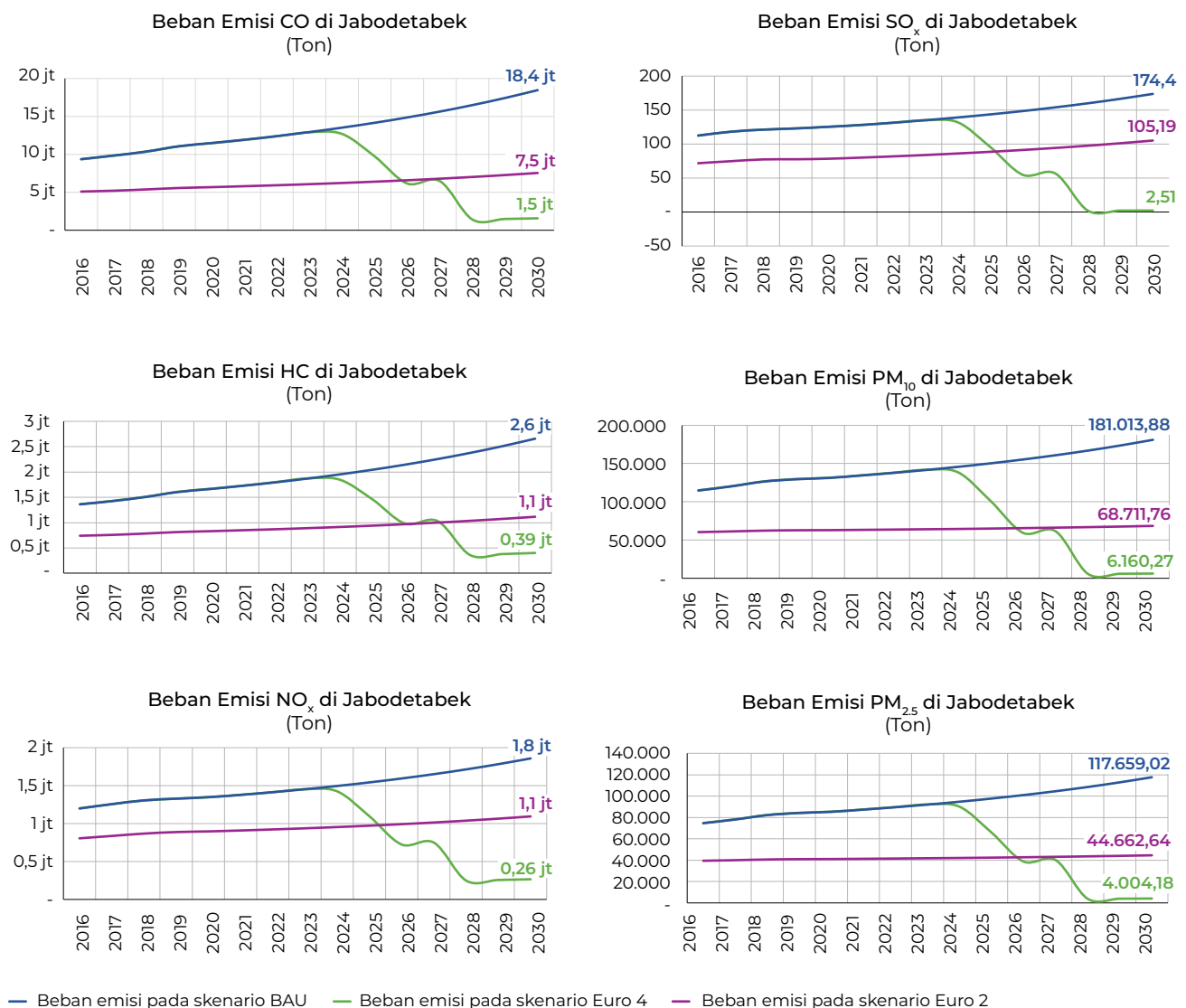
Analisis mengenai kesiapan dan penerimaan industri kendaraan bermotor dilakukan melalui wawancara semi-terstruktur terhadap pelaku industri yang direpresentasikan oleh asosiasi industri kendaraan bermotor roda empat dan asosiasi industri kendaraan bermotor roda dua.

4

Hasil Temuan dan Analisis



4.1. Dampak Kebijakan terhadap Polusi Udara



Sumber: Hasil analisis tim

Gambar 4.1. Proyeksi beban emisi tahunan kendaraan bermotor pada skenario BAU dan skenario Euro 4

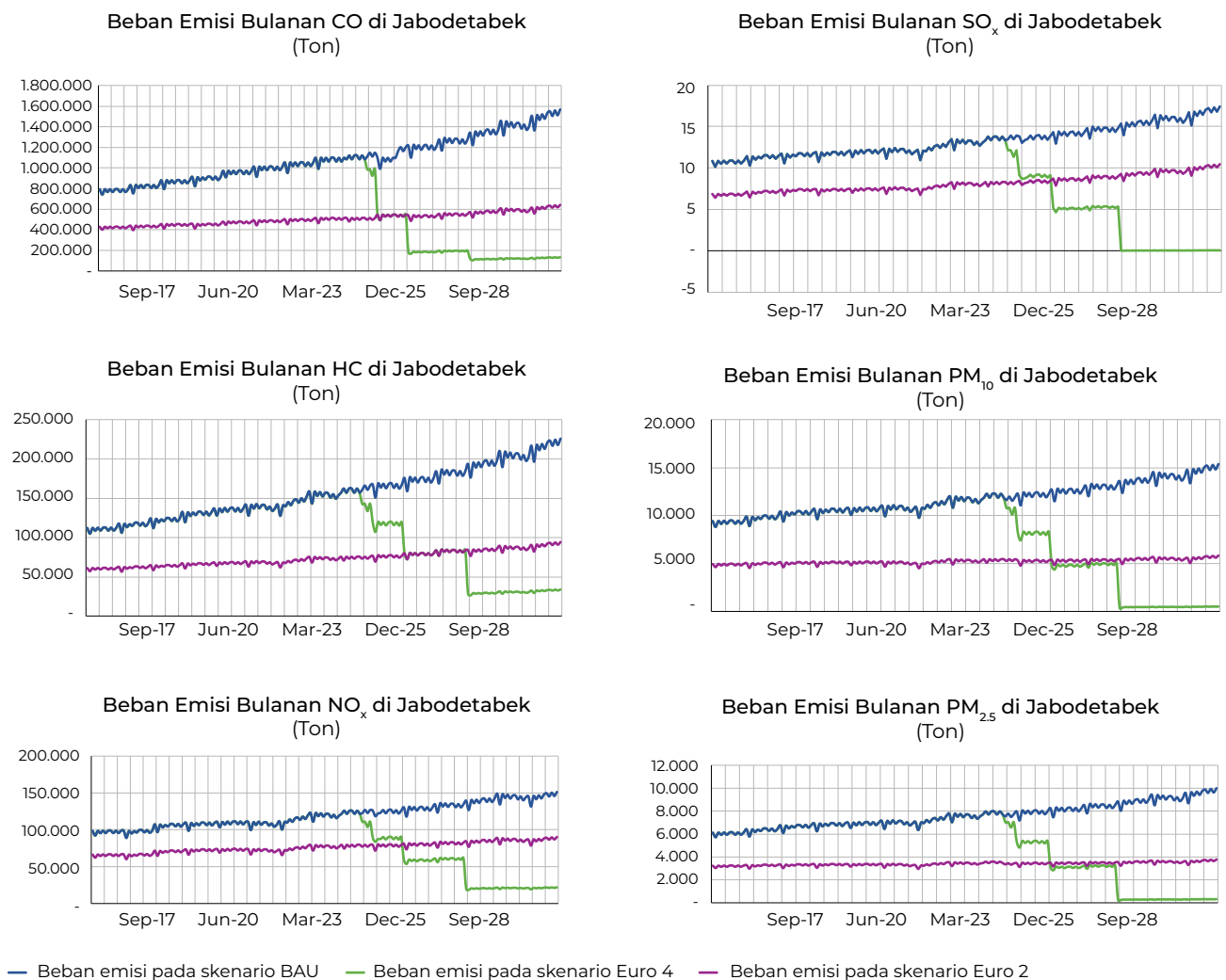
Hasil pemodelan menunjukkan bahwa tanpa tindakan pengendalian (*counter-measure*) atau dalam skenario BAU, pencemaran udara pada 2030 akan meningkat 32,86% dibanding *baseline* 2023 atau bahkan meningkat 69,54% dibandingkan dengan *baseline* 2016. Peningkatan pencemaran udara ini mencakup peningkatan PM_{2.5} dan PM₁₀ sebesar 57,65%, SO_x sebesar 54,47%, NO_x sebesar 55,17%, dan HC sebesar 95,16% serta CO sebesar 97,15%.

Sementara itu, apabila dilakukan pengendalian dengan penerapan BBM Euro 4 secara bertahap sesuai dengan skenario Euro 4, beban emisi PM_{2.5} dan PM₁₀ akan turun sebesar 94,63%, SO_x turun 97,77%, NO_x turun 77,86%, HC turun 70,75%, dan CO turun 82,99% dibanding pada 2023.

Tabel 4.1. Dampak kebijakan penerapan Euro 4 terhadap penurunan emisi kendaraan bermotor dibandingkan dengan BAU

Tahun	Skenario	Parameter polusi udara					
		CO	HC	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
2024	10% Euro 4 pada Sep 2024 BAU Pre-Euro Standard	1,68%	1,48%	1,94%	2,38%	2,34%	2,34%
2025	34% Euro 4 pada 2025 BAU Pre-Euro Standard	24,50%	22,26%	24,59%	29,31%	28,71%	28,71%
2026	64% Euro 4 pada 2026 BAU Pre-Euro Standard	52,22%	47,76%	50,21%	59,41%	58,12%	58,12%
2027	64% Euro 4 pada 2027 BAU Pre-Euro Standard	49,74%	45,08%	48,48%	57,93%	56,63%	56,63%
2028	100% Euro 4 pada 2028 BAU Pre-Euro Standard	88,94%	80,93%	81,95%	98,31%	96,00%	96,00%
2029	100% Euro 4 pada 2029 BAU Pre-Euro Standard	88,34%	79,87%	82,37%	98,23%	95,83%	95,83%
2030	100% Euro 4 pada 2030 BAU Pre-Euro Standard	87,68%	78,71%	81,73%	98,15%	95,65%	95,65%

Sumber: Hasil analisis tim



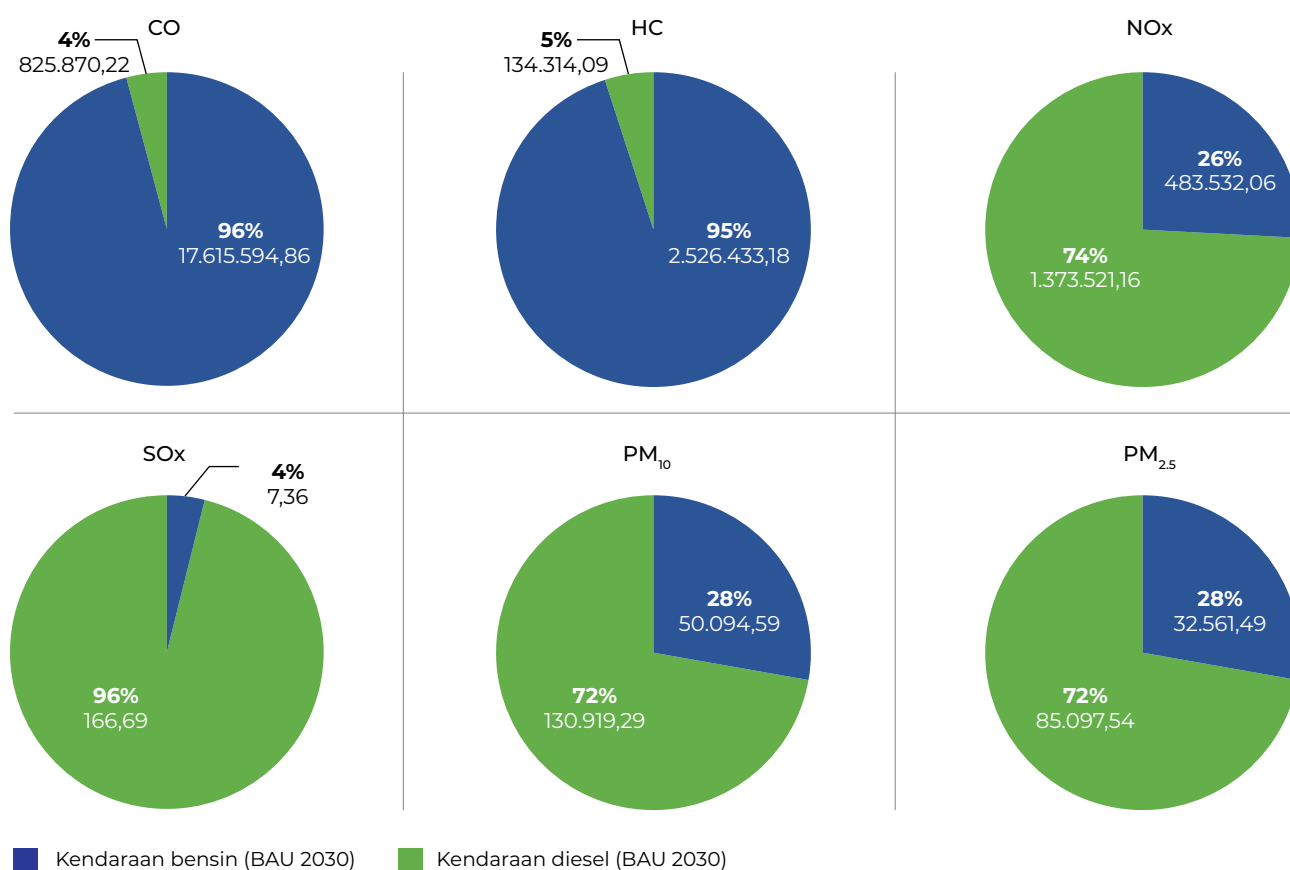
Sumber: Hasil analisis tim

Gambar 4.2. Proyeksi beban emisi bulanan kendaraan bermotor pada skenario BAU dan skenario Euro 4

Karakteristik Emisi Kendaraan Bensin dan Kendaraan Diesel

Pencemaran udara dari kendaraan bermotor sangat bergantung pada jenis kendaraan dan jenis bahan bakar yang digunakan. Karakteristik emisi yang bersumber dari kendaraan bensin berbeda dengan emisi dari kendaraan diesel. Gambar 4.3. menunjukkan perbandingan sumber emisi untuk tiap jenis polutan.

Beban emisi CO dan HC didominasi oleh kendaraan bensin dengan proporsi 96% dan 95% dari total. Di sisi lain, beban emisi NO_x, SO_x, PM₁₀, dan PM_{2.5} justru didominasi oleh kendaraan diesel dengan proporsi beban emisi untuk tiap parameter sebesar 74%, 96%, 72% dan 72%.



Sumber: Hasil analisis tim

Gambar 4.3. Proporsi beban emisi kendaraan bensin dan kendaraan diesel untuk tiap jenis polutan pada 2030 menurut skenario BAU

Kendaraan bensin cenderung dominan dalam mengemisikan polutan berupa CO dan HC, yang disebabkan oleh kurang efektifnya proses pembakaran pada kendaraan bensin dibanding kendaraan diesel. Kendaraan bensin masih bergantung pada percikan api dari busi untuk melakukan proses pembakaran, sementara kendaraan diesel hanya mengandalkan kompresi yang tinggi untuk melakukan proses pembakaran dan didukung oleh karakteristik bahan bakar diesel, yang memiliki titik nyala lebih rendah.

Kendaraan diesel menghasilkan emisi NO_x lebih tinggi karena pembakaran diesel mengharuskan suhu yang lebih tinggi daripada bensin, yang memungkinkan reaksi kimia yang lebih kompleks antara nitrogen dan oksigen sehingga terbentuk senyawa NO_x. Selain itu, kandungan nitrogen pada bahan bakar diesel yang lebih tinggi daripada bensin meningkatkan produksi NO_x. Untuk mengurangi emisi NO_x, industri kendaraan telah mengembangkan teknologi yang dapat membantu mengurangi emisi NO_x dari kendaraan bermotor diesel. Teknologi ini termasuk tata letak motor yang lebih efisien, sistem bahan bakar yang lebih efisien, dan penggunaan katalis (*catalytic converter* dan *diesel particulate filter*) untuk mengubah NO_x menjadi gas yang lebih tidak beracun.

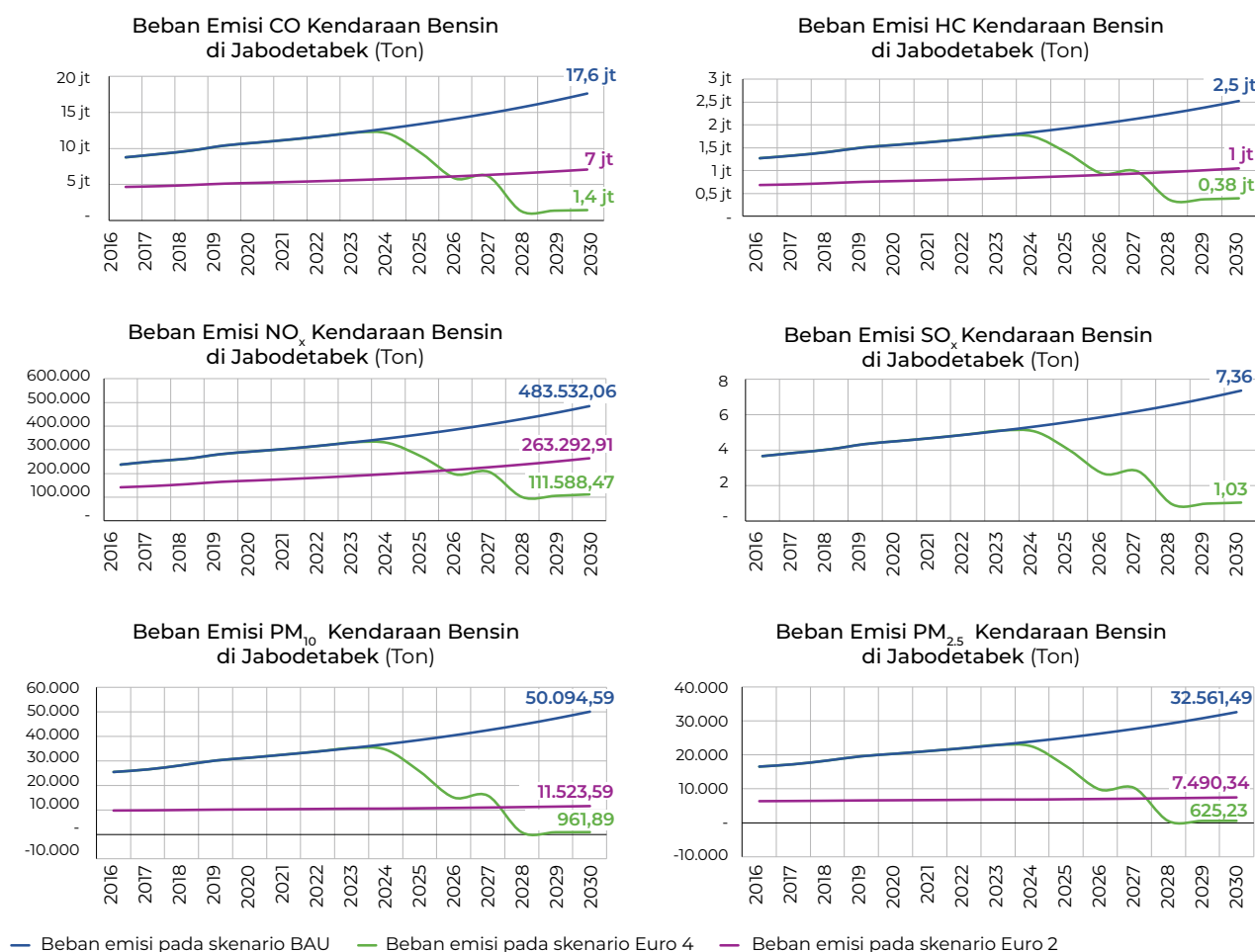
Sementara itu, tingginya beban emisi SO_x kendaraan diesel terjadi karena kadar sulfur pada bahan bakar diesel yang dipasarkan di Indonesia sangat tinggi. Seperti dijelaskan sebelumnya, kadar sulfur pada Biosolar mencapai lebih dari 1.400 ppm, Dexlite mencapai 1.200 ppm, dan Pertamina Dex mencapai 300 ppm.

Beban emisi PM, baik PM_{10} maupun $\text{PM}_{2,5}$, lebih tinggi pada kendaraan diesel akibat kualitas bahan bakar dengan kandungan sulfur tinggi mengotori ruang pembakaran mesin. Kadar sulfur yang lebih tinggi pada kendaraan diesel memicu percepatan timbulnya deposit (kerak/kotoran) pada tangki BBM, saluran BBM, *injector nozzle*, dan ruang pembakaran mesin. Terbakarnya berbagai deposit tersebut di ruang pembakaran mesin akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna, yang ditandai oleh tingginya emisi CO, HC, dan NO_x , sekaligus meningkatkan emisi PM.

Perbandingan Efektivitas Pengendalian Emisi Kendaraan Bensin dan Kendaraan Diesel

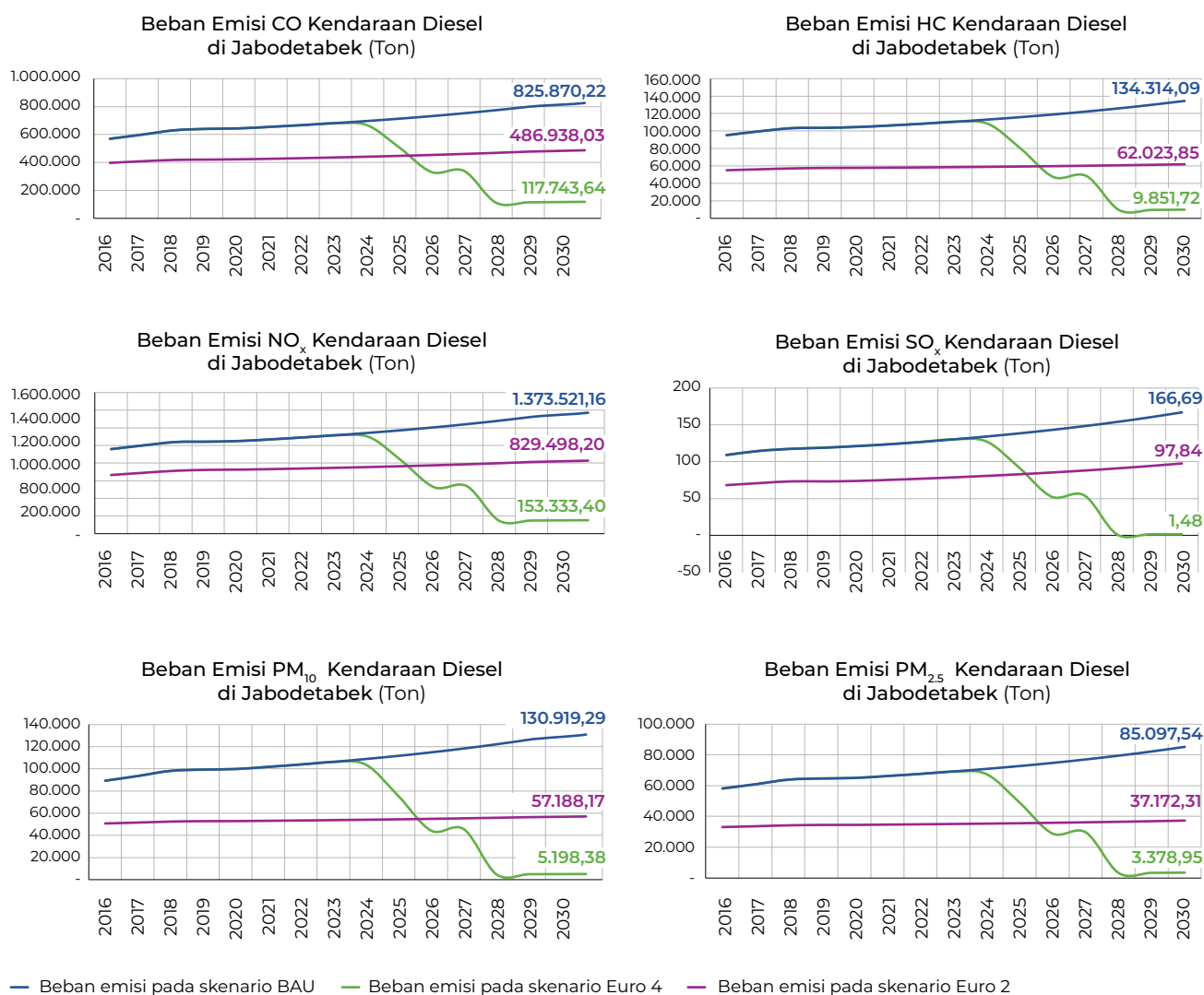
Secara keseluruhan, skenario kebijakan BBM Euro 4 menunjukkan efektivitas penurunan beban emisi yang hampir sama untuk kendaraan bensin dibanding kendaraan diesel. Total beban emisi dari kendaraan bensin pada 2030 diestimasi dapat turun menjadi 13,73% dibanding beban emisi pada *baseline* 2023. Sementara itu, emisi dari kendaraan diesel diperkirakan turun menjadi 13,88% dibanding *baseline* 2023.

Namun, efektivitas penurunan emisi ini berbeda untuk tiap parameter pencemar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa beban emisi SO_x dari kendaraan diesel merupakan yang paling efektif dikendalikan, dengan beban emisi pada 2030 turun menjadi 1,14% dibanding *baseline* 2023. Sementara beban emisi yang paling rendah efektivitasnya untuk dikendalikan adalah NO_x dari kendaraan bensin, dengan beban emisi pada 2030 hanya dapat diturunkan menjadi 33,63% dibanding *baseline* 2023. Selain itu, beban emisi $\text{PM}_{2,5}$ dari kendaraan diesel dan bensin pada 2030 masing-masing hanya dapat ditekan menjadi 4,89% dan 2,73% dibanding *baseline* 2023.



Sumber: Hasil analisis tim

Gambar 4.4. Efektivitas pengendalian emisi kendaraan bensin dengan pasokan BBM yang memenuhi kebutuhan teknologi kendaraan berstandar Euro 4/IV



Sumber: Hasil analisis tim

Gambar 4.5. Efektivitas pengendalian emisi kendaraan diesel dengan pasokan BBM yang memenuhi kebutuhan teknologi kendaraan berstandar Euro 4/IV

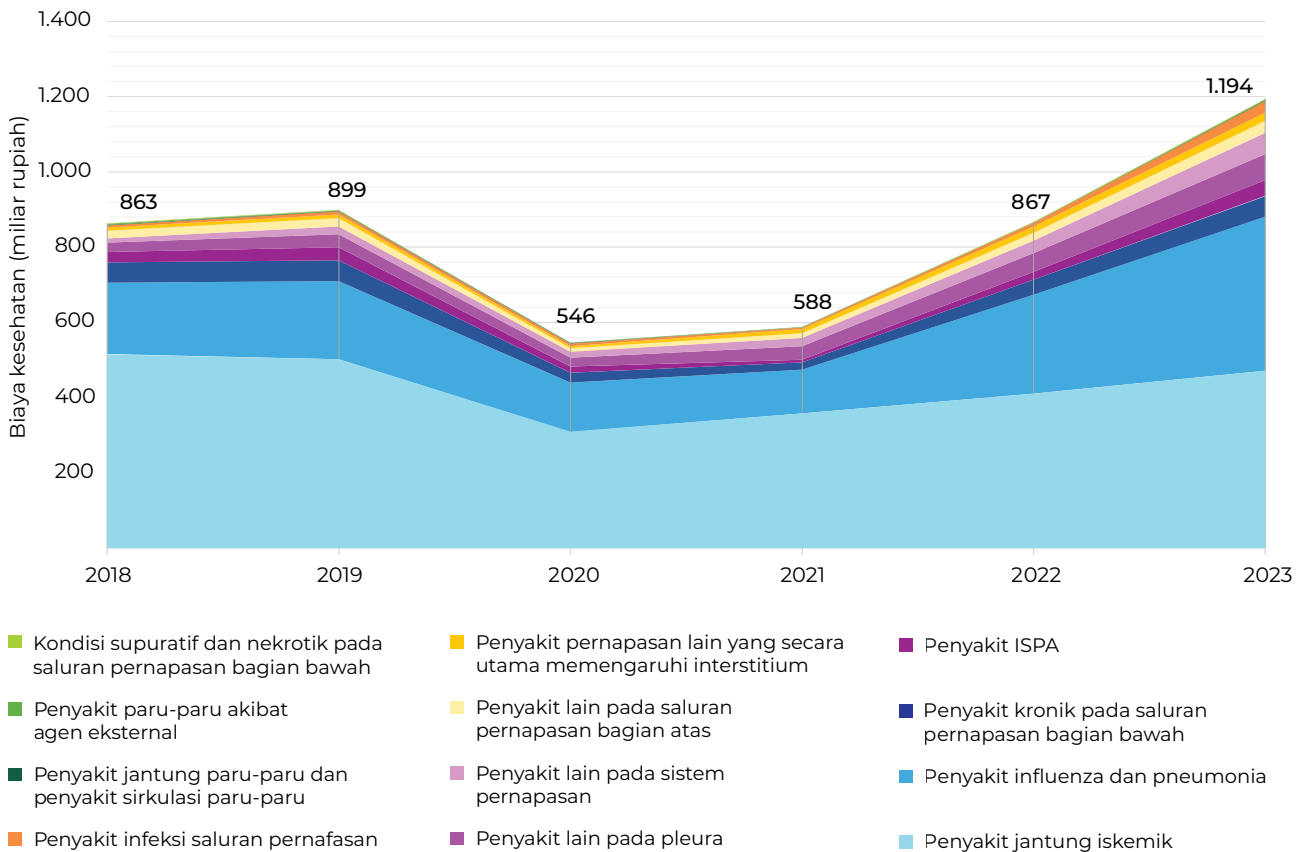
4.2. Dampak Kebijakan terhadap Kesehatan

Emisi kendaraan bermotor merupakan faktor utama terjadinya polusi udara. Paparan polusi udara, khususnya partikulat seperti PM_{2.5} dan PM₁₀, serta gas seperti nitrogen dioksida (NO₂) dan sulfur dioksida (SO₂), telah terbukti secara konsisten meningkatkan risiko kesehatan yang serius. Adapun penyakit yang berkaitan dengan paparan polusi udara berdasarkan ICD 10 adalah

- 1) penyakit infeksi saluran pernapasan atas (ISPA) (J00-J06),
- 2) penyakit influenza dan pneumonia (J09-J18),
- 3) penyakit infeksi saluran pernapasan bawah lainnya (J20-J22),
- 4) penyakit lain pada saluran pernapasan bagian atas (J30-J39),
- 5) penyakit kronik pada saluran pernapasan bagian bawah (J40-J47),
- 6) penyakit paru-paru akibat agen eksternal (J60-J70),
- 7) penyakit pernapasan lain yang secara utama memengaruhi interstitium (J80-J84),

- 8) kondisi supuratif dan nekrotik pada saluran pernapasan bagian bawah (J85-J86),
- 9) penyakit lain pada pleura (J90-J94),
- 10) penyakit lain pada sistem pernapasan (J95-J99),
- 11) penyakit jantung iskemik (I20-I25), serta
- 12) penyakit jantung, paru-paru, dan penyakit sirkulasi paru-paru (I26-I28).

Berdasarkan laporan BPJS, klaim terhadap penyakit yang terkait dengan polusi udara di Jakarta hampir mencapai Rp1,2 triliun pada 2023. Adapun penyakit yang berkontribusi besar pada beban biaya pengobatan BPJS adalah penyakit jantung iskemik sebesar Rp471 miliar serta penyakit influenza dan pneumonia sebesar Rp409 miliar.



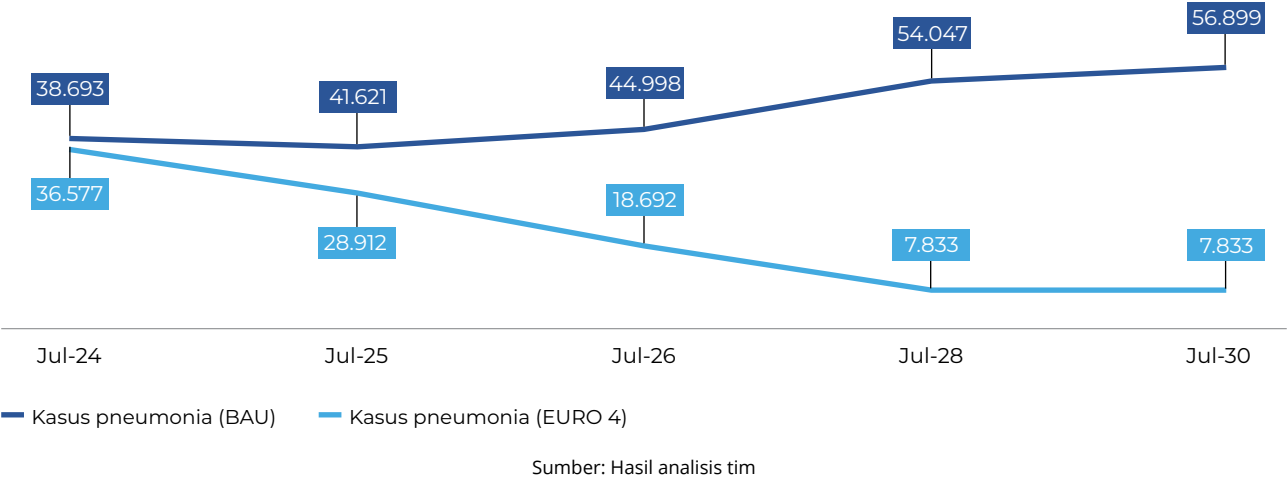
Sumber: Hasil analisis tim

Gambar 4.6. Klaim BPJS terhadap penyakit terkait polusi udara di Jakarta

Secara keseluruhan, Gambar 4.6. di atas menunjukkan bahwa penyakit terkait polusi udara merupakan beban besar bagi sistem kesehatan. Intervensi yang lebih kuat dalam pengendalian polusi udara mungkin diperlukan untuk menekan dampaknya pada kenaikan beban biaya pengobatan. Hasil analisis terkait dampak kesehatan masyarakat sebagai respons terhadap emisi kendaraan dalam skenario implementasi bahan bakar minyak berstandar Euro 4 pada studi kali ini akan difokuskan pada tiga penyakit, yaitu penyakit pneumonia, penyakit paru obstruktif kronis (PPOK), dan penyakit jantung iskemik di wilayah Jakarta.

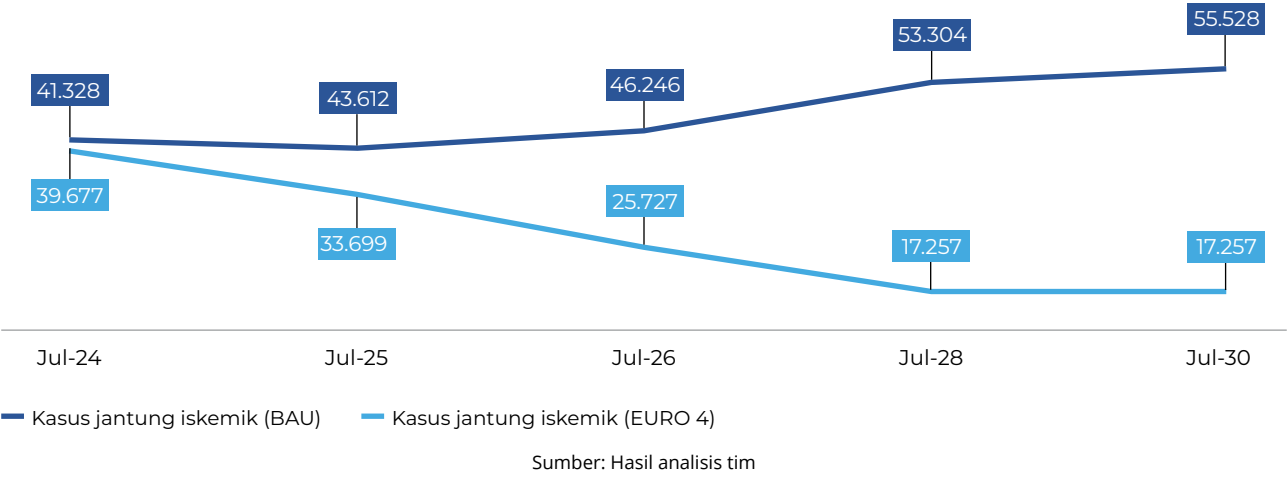
Hasil proyeksi kasus pneumonia di DKI Jakarta mengindikasikan bahwa dalam skenario BAU, jumlah kasus pneumonia diperkirakan akan terus meningkat hingga mencapai 56.899 kasus pada 2030. Sebaliknya, skenario implementasi bertahap BBM standar Euro 4 menunjukkan adanya dampak penurunan pada jumlah kasus pneumonia. Proyeksi menunjukkan bahwa pada 2025, jumlah kasus pneumonia diperkirakan turun sebesar 31%. Dampak lebih lanjut terlihat pada 2026, dengan penurunan mencapai 58%. Pada 2030, saat BBM berstandar Euro 4 diterapkan sepenuhnya, jumlah kasus pneumonia diproyeksikan turun hingga 86% (Gambar 4.7.). Dari hasil studi ini, dapat

disimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi $PM_{2.5}$ sebesar 15 ug/m^3 terasosiasikan dengan kenaikan 20% kasus pneumonia di DKI Jakarta.



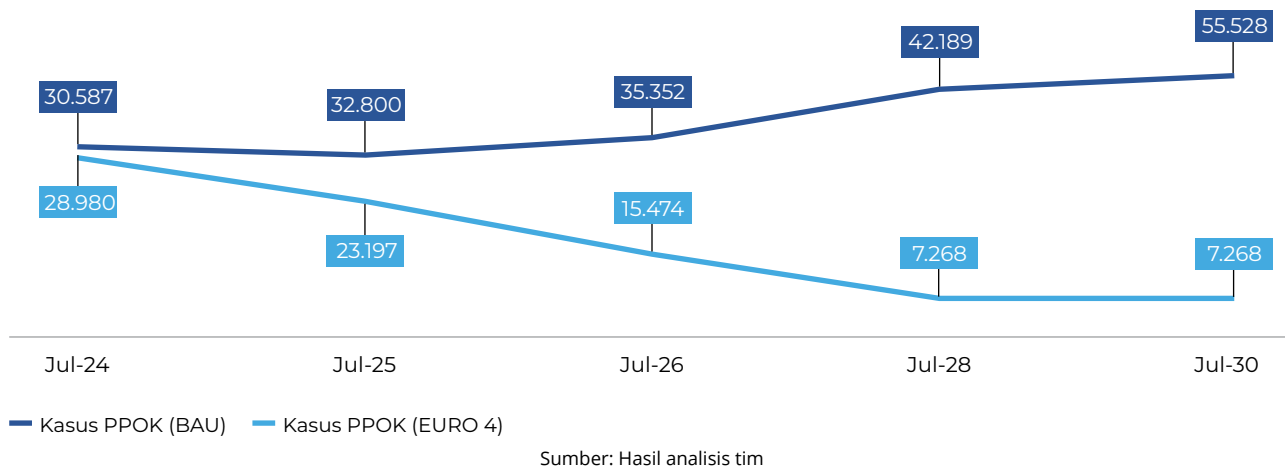
Gambar 4.7. Proyeksi kasus pneumonia di DKI Jakarta berdasarkan skenario BAU dan EURO 4

Proyeksi penyakit jantung iskemik memperlihatkan pola serupa. Peningkatan jumlah kasus diperkirakan akan terus meningkat hingga mencapai 55.528 kasus pada 2030 pada skenario BAU. Sementara itu, penerapan BBM berstandar Euro 4 diproyeksikan menurunkan jumlah kasus sebesar 23% pada 2025. Tren penurunan ini berlanjut hingga 2026 dengan pengurangan jumlah kasus mencapai 44% dan pada 2030 diperkirakan terjadi penurunan lebih lanjut sebesar 69% (Gambar 4.8.). Hasil studi menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi $PM_{2.5}$ sebesar 15 ug/m^3 dapat meningkatkan jumlah kasus jantung iskemik sebesar 37%.



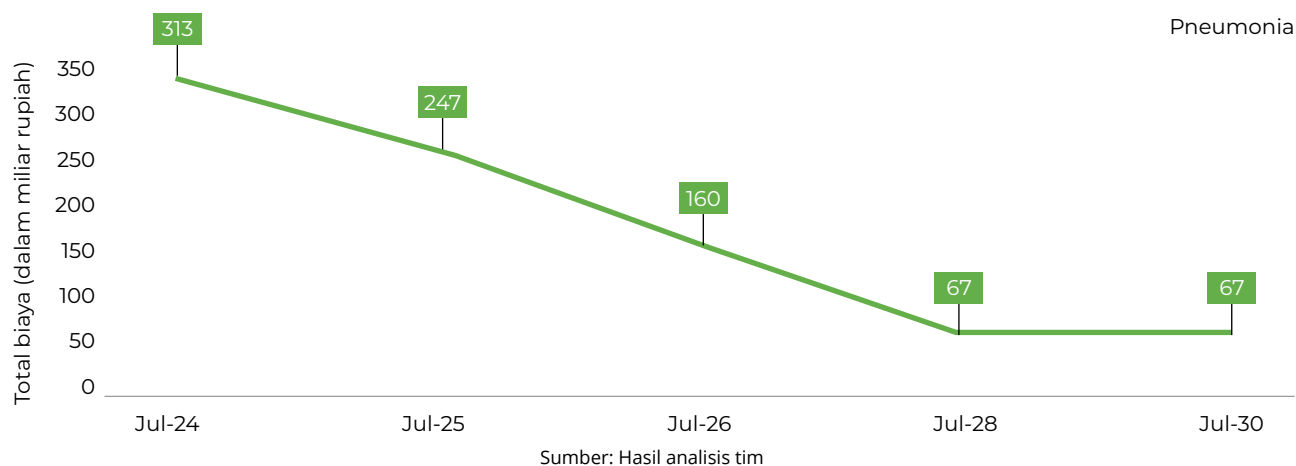
Gambar 4.8. Proyeksi kasus jantung iskemik di DKI Jakarta berdasarkan skenario BAU dan Euro 4

Proyeksi kasus penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) juga memperlihatkan pola serupa dengan kedua penyakit sebelumnya, yaitu peningkatan jumlah kasus hingga mencapai 44.345 kasus pada 2030 dalam skenario BAU. Sebaliknya, penerapan BBM Euro 4 diproyeksikan mengurangi jumlah kasus PPOK. Pada 2025, penurunan kasus diperkirakan mencapai 29%, dilanjutkan dengan penurunan sebesar 56% pada 2026. Penerapan penuh BBM Euro 4 diperkirakan dapat menurunkan kasus PPOK hingga 84% pada 2030 dibanding skenario BAU (Gambar 4.9.). Kesimpulan yang didapat dari studi ini adalah peningkatan 15 ug/m^3 konsentrasi $PM_{2.5}$ terasosiasikan dengan kenaikan kasus PPOK sebesar 27%.

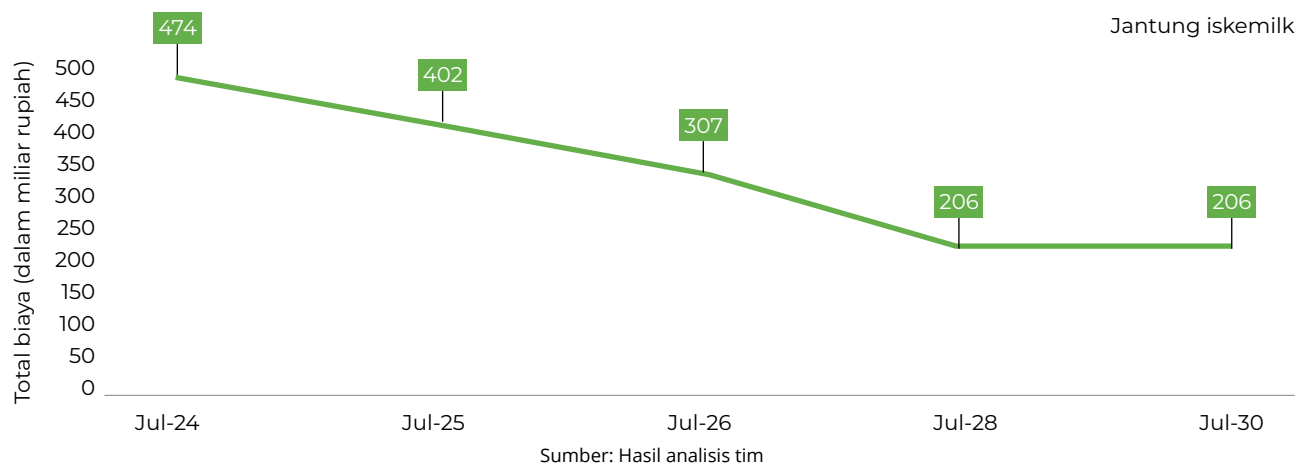


Gambar 4.9. Proyeksi kasus penyakit paru obstruktif kronis (PPOK) di DKI Jakarta berdasarkan skenario BAU dan Euro 4

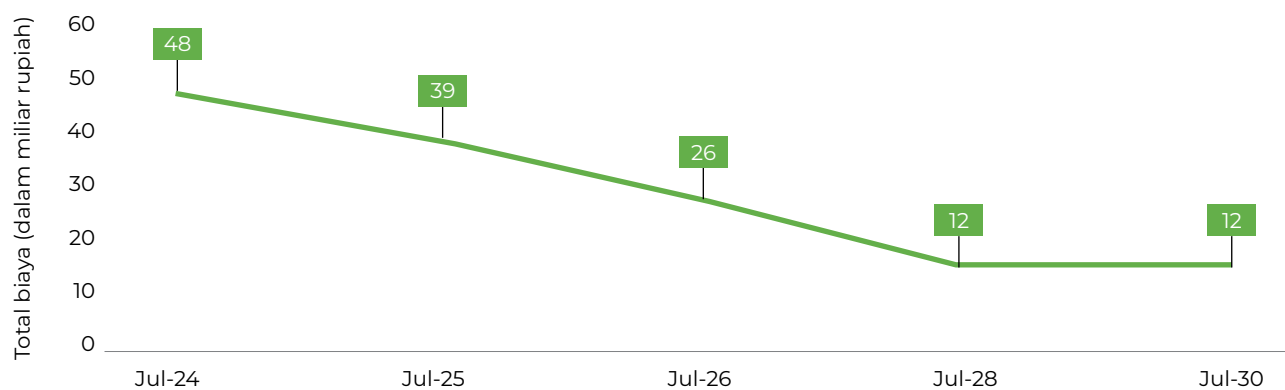
Implementasi skenario Euro 4 juga memberikan dampak positif terhadap beban biaya pengobatan. Berdasarkan hasil pemodelan yang telah dilakukan, penerapan sepenuhnya BBM Euro 4 pada 2028 diproyeksikan dapat menurunkan beban biaya pengobatan di Jakarta hingga mencapai Rp550 miliar per tahun untuk tiga penyakit tersebut dibandingkan dengan beban biaya pada 2024. Penurunan beban biaya untuk pengobatan pneumonia, jantung iskemik, dan PPOK pada 2030 masing-masing diperkirakan sebesar Rp246 miliar, Rp268 miliar, dan Rp36 miliar (Gambar 4.10.—4.12.).



Gambar 4.10. Proyeksi beban biaya pneumonia di DKI Jakarta berdasarkan skenario BAU dan Euro 4



Gambar 4.11. Proyeksi beban biaya jantung iskemik di DKI Jakarta berdasarkan skenario BAU dan Euro 4

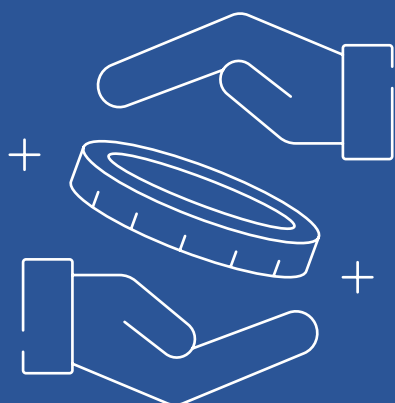


Sumber: Hasil analisis tim

Gambar 4.12. Proyeksi beban biaya penyakit paru obstruktif kronik di DKI Jakarta berdasarkan skenario BAU dan Euro 4

Dampak Positif Penerapan 100% Euro 4

Terhadap Beban Biaya Pengobatan



Penurunan biaya pengobatan di
Jakarta pada 2030 mencapai

Rp550
miliar



Pneumonia

Rp246
miliar



Jantung iskemik

Rp268
miliar



PPOK

Rp36
miliar

4.3. Dampak Kebijakan terhadap Ekonomi

Skenario 1: Subsidi Euro 4 100%

Dampak terhadap Subsidi

Tabel 4.2. Hasil simulasi dampak terhadap subsidi

Kenaikan Anggaran	2025	2026	2027	2028	Kumulatif 2025-2028
Penyediaan BBM Rendah Sulfur					
Proporsi terhadap Kebutuhan Nasional (%)	34% (Biosolar)	64% (Biosolar)	64% (Biosolar)	100% (Biosolar)	-
	41% (Bensin)	66% (Bensin)	84% (Bensin)	100% (Bensin)	
Volume BBM Rendah Sulfur (Jt KL)	11,1 (Biosolar)	21,3 (Biosolar)	21,9 (Biosolar)	34,9 (Biosolar)	-
	16,2 (Bensin)	26,8 (Bensin)	35,7 (Bensin)	44,0 (Bensin)	
Dampak terhadap Subsidi (Rp Triliun)					
Kenaikan Rp200/liter	Rp5,5	Rp9,6	Rp11,5	Rp15,8	Rp42,4
Kenaikan Rp300/liter	Rp8,2	Rp14,4	Rp17,3	Rp23,7	Rp63,6
Kenaikan Rp400/liter	Rp10,9	Rp19,2	Rp23,0	Rp31,6	Rp84,8
Kenaikan Rp500/liter	Rp13,7	Rp24,1	Rp28,8	Rp39,5	Rp106,0

Tabel 4.2. di atas menunjukkan besaran dampak kenaikan harga BBM terhadap subsidi berdasarkan hasil simulasi. Berdasarkan asumsi yang telah ditetapkan sebelumnya terkait peningkatan kualitas BBM secara bertahap sejak 2025 hingga 2028, hal tersebut akan berimplikasi pada kenaikan harga BBM per liter sehingga pemerintah perlu meningkatkan alokasi anggaran subsidi. Apabila kenaikan harga BBM, baik bensin maupun diesel sebesar Rp200 per liter dibebankan kepada pemerintah, akan terjadi kenaikan anggaran subsidi sebesar Rp42,4 triliun secara kumulatif mulai 2025 hingga 2028. Begitu pula jika kenaikan harga BBM mencapai Rp500 per liter, pemerintah akan menanggung kenaikan anggaran subsidi sebesar Rp106 triliun secara kumulatif pada 2025—2028. Dengan demikian, beban anggaran pemerintah untuk subsidi BBM tersebut akan makin meningkat seiring dengan kenaikan harga BBM.

Meski demikian, kenaikan beban anggaran pemerintah tersebut masih lebih kecil jika dibandingkan dengan total anggaran pemerintah untuk belanja subsidi energi yang terus meningkat dalam jangka waktu lima tahun terakhir. Sebagai contoh, total kenaikan beban anggaran pemerintah untuk subsidi BBM akumulatif 2025—2028 dengan asumsi kenaikan harga maksimum (Rp500 per liter) hanya mencapai 66,5 persen dari total realisasi anggaran subsidi energi 2023 sebesar Rp 164,3 triliun. Apabila ditinjau secara lebih detail dengan kenaikan beban anggaran per tahun pada 2025—2028, masing-masing hanya berkontribusi sebesar 8,4—24 persen dari total realisasi anggaran subsidi energi 2023. Bahkan, bila mengikutsertakan realisasi anggaran kompensasi BBM 2023 (sebesar Rp126,9 triliun), total kenaikan beban anggaran pemerintah untuk subsidi BBM akumulatif 2025—2028 dengan asumsi kenaikan harga maksimum (Rp500 per liter) hanya mencapai 36,4 dari total realisasi anggaran subsidi energi dan kompensasi BBM sebesar Rp291,2 triliun. Apabila ditinjau secara lebih detail dengan kenaikan beban anggaran per tahun pada 2025—2028, masing-masing hanya berkontribusi sebesar 4,7—13,6 persen dari total realisasi anggaran subsidi energi dan kompensasi BBM 2023.

Skenario 2: Kenaikan Harga Universal

Dampak terhadap Inflasi

Tabel 4.3. Hasil *Impulse Response Function* (IRF)

Bulan	IRF Coefficient	Kenaikan Harga Rp200	Kenaikan Harga Rp300	Kenaikan Harga Rp400	Kenaikan Harga Rp500
1	0,000507	0,1014	0,1521	0,2028	0,2535
2	-0,000026	-0,0052	-0,0078	-0,0104	-0,013
3	-0,000083	-0,0166	-0,0249	-0,0332	-0,0415
4	0,000102	0,0204	0,0306	0,0408	0,051
5	-0,000049	-0,0098	-0,0147	-0,0196	-0,0245
6	-0,000127	-0,0254	-0,0381	-0,0508	-0,0635
7	-0,000008	-0,0016	-0,0024	-0,0032	-0,004
8	0,000042	0,0084	0,0126	0,0168	0,021
9	0,000047	0,0094	0,0141	0,0188	0,0235
10	0,000011	0,0022	0,0033	0,0044	0,0055
Total	0,000416	0,0832	0,1248	0,1664	0,208

Tabel 4.3. di atas menunjukkan hasil nilai koefisien dari fungsi respons impuls (IRF) dari metode VAR. Nilai tersebut menunjukkan efek dari kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) terhadap inflasi dalam kurun 10 bulan setelah kenaikan awal harga BBM. Dari hasil tersebut, kita dapat melihat efek awal dari kenaikan harga BBM dan efek kumulatif (total) dalam 10 bulan. Dapat dilihat bahwa kenaikan harga BBM pada batas bawah sebesar Rp200 akan berdampak kepada inflasi sebesar 0,1014 poin persen secara signifikan pada bulan pertama setelah kenaikan harga BBM. Setelah dampak positif secara jangka pendek pada bulan pertama, dampak terhadap inflasi berfluktuasi antara berdampak secara negatif dan positif. Hal tersebut menunjukkan hubungan yang bersifat dinamis antara inflasi dan kenaikan harga BBM. Pada bulan ke-10, efek dari kenaikan harga BBM sudah sangat berkurang dan sudah tidak berpengaruh secara signifikan.

Dari hasil tersebut, kita juga dapat melihat efek dari kenaikan harga universal pada kenaikan harga dari rentang Rp200—500. Dapat dilihat bahwa efek langsung dari kenaikan harga BBM dari semua rentang skenario tersebut lebih besar dibandingkan dengan dampak kumulatif selama 10 bulan. Secara pola temporal juga menunjukkan bahwa kenaikan harga pada semua rentang skenario tersebut menunjukkan hasil yang konsisten, yaitu peningkatan secara positif yang besar pada bulan awal yang diikuti efek fluktuatif bersifat kecil pada periode selanjutnya. Hal tersebut menunjukkan adanya penyesuaian ekonomi secara berkala setelah bulan pertama kenaikan harga BBM.

Dari hasil tersebut, dapat diindikasikan bahwa kenaikan harga universal akan berdampak signifikan secara statistik terhadap inflasi meskipun dampaknya relatif kecil pada semua rentang skenario. Perekonomian Indonesia tampaknya memiliki mekanisme yang dapat meredam kenaikan inflasi yang disebabkan oleh kenaikan harga BBM, yang ditunjukkan oleh efek terhadap inflasi yang relatif kecil setelah peningkatan pada bulan pertama. Penurunan dampak dari kenaikan harga BBM pada bulan setelah bulan pertama menunjukkan bahwa kenaikan harga BBM memiliki efek yang bersifat jangka pendek terhadap perekonomian dan penyesuaian perekonomian Indonesia terhadap kenaikan harga BBM relatif lebih cepat.

Skenario 3: Kenaikan Harga bagi Sebagian Jenis Kendaraan

Dampak terhadap Subsidi

Tabel 4.4. Hasil simulasi dampak terhadap subsidi

Penghematan Subsidi Setelah Pengurangan Biaya	2025	2026	2027	2028	Kumulatif 2025-2028
Penurunan Volume BBM Subsidi					
Proporsi terhadap Konsumsi BBM Subsidi Nasional (%)	4,1% (Biosolar)	8,4% (Biosolar)	9,2% (Biosolar)	14,8% (Biosolar)	-
	11,4% (Bensin)	22% (Bensin)	31,5% (Bensin)	36,7% (Bensin)	
Volume BBM Rendah Sulfur (Jt KL)	0,8 (Biosolar)	1,6 (Biosolar)	1,8 (Biosolar)	2,9 (Biosolar)	-
	3,8 (Bensin)	7,5 (Bensin)	11,2 (Bensin)	13,6 (Bensin)	
Penghematan Subsidi (Rp Triliun)					
Penghematan Subsidi Jika Kenaikan Anggaran Sebesar Rp200/Liter	Rp9,4	Rp8,8	Rp8,4	Rp8,0	Rp34,5
Penghematan Subsidi Jika Kenaikan Anggaran Sebesar Rp300/Liter	Rp14,0	Rp13,2	Rp12,5	Rp12,1	Rp51,8
Penghematan Subsidi Jika Kenaikan Anggaran Sebesar Rp400/Liter	Rp18,7	Rp17,6	Rp16,7	Rp16,1	Rp69,1
Penghematan Subsidi Jika Kenaikan Anggaran Sebesar Rp500/Liter	Rp23,4	Rp21,9	Rp20,9	Rp20,1	Rp86,3

Pada skenario pembatasan subsidi, nilai kumulatif dari kenaikan harga BBM lebih rendah dibandingkan dengan dampak kenaikan harga BBM pada skenario pertama. Pada skenario ini, pemerintah berpotensi mendapatkan penghematan anggaran dari adanya pembatasan BBM subsidi untuk kalangan masyarakat tertentu. Secara kumulatif dari 2025 sampai 2028, pemerintah berpotensi menghemat anggaran subsidi BBM sebesar Rp34,5 triliun (apabila kenaikan harga BBM Rp200/liter) hingga Rp86,3 triliun (apabila kenaikan harga BBM Rp400/liter). Nilai penghematan anggaran tersebut tentunya akan makin besar seiring dengan peningkatan harga BBM atau pembatasan subsidi BBM yang semakin ketat serta tepat sasaran.

Skenario 4: Pembatasan Subsidi

Dampak terhadap Inflasi

Tabel 4.5. Hasil *Impulse Response Function* (IRF)

Bulan	IRF Coefficient	Pembatasan Subsidi untuk 15,6% Kendaraan
1	0,000507	0,260598
2	-0,000026	-0,013364
3	-0,000083	-0,042662
4	0,000102	0,052428
5	-0,000049	-0,025186
6	-0,000127	-0,065278
7	-0,000008	-0,004112
8	0,000042	0,021588
9	0,000047	0,024158
10	0,000011	0,005654
Total	0,000416	0,213824

Pada skenario pembatasan subsidi berdasarkan tipe kendaraan, kami menemukan bahwa pembatasan subsidi untuk beberapa tipe kendaraan akan menimbulkan kenaikan rata-rata biaya BBM per kendaraan sebesar Rp514. Nilai tersebut didapatkan dari asumsi adanya pembatasan subsidi BBM untuk 15,6% kendaraan dari total kendaraan di jalan. Dari angka tersebut dapat diasumsikan ada kenaikan harga BBM sebesar Rp514 bagi seluruh masyarakat. Sama seperti sebelumnya, menggunakan hasil IRF dari model VAR yang telah dibentuk, dapat dilihat dampak dari skenario pembatasan subsidi tersebut terhadap inflasi.

Pada skenario pembatasan subsidi, nilai dampak awal dan nilai kumulatif dari kenaikan harga BBM lebih besar dibandingkan dengan nilai kenaikan harga universal meskipun secara pola temporal bersifat sama. Dampak awal kenaikan harga BBM dari penerapan kebijakan pembatasan terhadap inflasi adalah 0,26 poin persen dan secara kumulatif berdampak selama 10 bulan sebesar 0,21 poin persen. Sama dengan skenario sebelumnya, kenaikan pada awal bulan setelah kebijakan diterapkan yang lebih besar dibandingkan dengan nilai kenaikan kumulatif dan pola temporal yang fluktuatif dengan nilai lebih kecil setelah guncangan pada bulan pertama menunjukkan adanya penyesuaian ekonomi secara berkala setelah adanya kenaikan harga BBM.

Meskipun dampak terhadap inflasi pada skenario pembatasan subsidi lebih besar dibandingkan skenario peningkatan harga universal, secara dampak masih moderat dan cenderung rendah. Pola temporal yang sama menunjukkan bahwa pembatasan subsidi hanya berdampak secara jangka pendek terhadap inflasi, sedangkan pola temporal pascakenaikan pada bulan pertama yang bersifat fluktuatif lebih rendah menunjukkan bahwa perekonomian masih dapat menerima peningkatan harga BBM yang sedikit lebih besar.

Melalui PermenLH No. 23/2012 untuk kendaraan roda dua dan PermenLHK No. 20/2017 untuk kendaraan roda empat atau lebih, pemerintah menetapkan standar baku mutu emisi yang harus dipenuhi oleh industri kendaraan bermotor. Dalam peraturan tersebut, sepeda motor yang beredar di Indonesia harus menerapkan baku mutu emisi setara Euro 3, sedangkan mobil harus menerapkan baku mutu emisi setara Euro 4. Secara efektif, standar Euro 4 bagi mobil berbahan bakar bensin mulai berlaku pada 2018 serta mulai berlaku untuk bus dan truk pada 2022. Berdasarkan wawancara dengan Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo) dan Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISII), saat ini semua manufaktur kendaraan bermotor telah memenuhi standar tersebut. Gaikindo memperkirakan, saat ini ada sekitar 6 juta mobil yang sudah memenuhi baku mutu emisi setara Euro 4 dari total 30 juta mobil yang beroperasi.

Secara umum, industri kendaraan bermotor menyanggupi untuk memenuhi kebijakan baku mutu emisi yang ditetapkan pemerintah selama diberi *lead time* yang cukup. Kedua asosiasi tersebut mengakui membutuhkan *lead time* sekitar 2—4 tahun untuk dapat sepenuhnya mengimplementasikan baku mutu emisi yang baru pada kendaraan. *Lead time* ini dibutuhkan karena masih ada stok kendaraan dan perjanjian dengan *supplier* suku cadang yang perlu diselesaikan untuk kendaraan model lama. Selain *lead time*, kenaikan baku mutu emisi mengakibatkan penggantian hampir seluruh komponen mesin akan disertai dengan kenaikan harga kendaraan yang cukup signifikan yang juga menjadi pertimbangan.

Dalam konteks industri mobil, Gaikindo bahkan mengakui akan mendukung pengetatan lebih lanjut baku mutu emisi menjadi setara Euro 6 untuk meningkatkan efisiensi lini produksi. Saat ini, beberapa anggota Gaikindo sudah memproduksi kendaraan setara Euro 6 untuk diekspor sehingga membutuhkan dua lini produksi terpisah antara produksi untuk pasar domestik dan pasar ekspor. Perubahan standar emisi kendaraan domestik menjadi Euro 6 akan menghilangkan kebutuhan untuk memiliki dua line produksi berbeda sehingga dapat meningkatkan efisiensi produksi.

Hal ini belum terlihat pada industri sepeda motor, yang terdiri atas lebih banyak manufaktur dengan model bisnis dan pasar yang berbeda-beda. Selain itu, teknologi kendaraan untuk mencapai target standar Euro menjadi lebih bervariasi. Terlebih, negara-negara tujuan ekspor, seperti Brasil, Filipina, dan Malaysia, yang sudah mengadopsi standar Euro yang lebih tinggi makin banyak meminta ekspor secara *completely knocked down* (CKD) dan makin sedikit permintaan *completely built-up* (CBU). Karena itu, dorongan peningkatan standar emisi untuk efisiensi line produksi menjadi tidak berlaku bagi industri sepeda motor. Kesiapan tiap produsen motor untuk bertransisi ke standar Euro yang lebih tinggi juga berbeda-beda, dipengaruhi oleh perbedaan jenis dan harga komponen yang diganti.

Namun, terlepas dari potensi peningkatan efisiensi produksi, Gaikindo juga mengungkapkan bahwa tidak tersedianya BBM dengan kualitas yang sesuai dengan spesifikasi kendaraan akan menghambat inisiatif industri untuk meningkatkan standar emisi kendaraan produksinya. Penggunaan bahan bakar dengan kualitas yang lebih rendah daripada yang dipersyaratkan dapat menyebabkan beragam gangguan pada performa kendaraan, seperti penyumbatan mesin serta kerusakan injektor dan filter. Akibatnya, kenaikan harga jual kendaraan tidak diimbangi dengan manfaat di sisi operasional

5

Kesimpulan dan Rekomendasi



Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan, diperkirakan pada 2030 beban emisi polusi udara dari sektor transportasi jalan di Jakarta dapat meningkat 32,86% dari beban emisi pada 2023. Kenaikan beban emisi polusi udara ini, terutama $PM_{2.5}$, diprediksi akan berdampak pada kenaikan beragam penyakit terkait polusi, termasuk 47% peningkatan pada jumlah penyakit pneumonia, 34% pada jantung iskemik, dan 45% pada PPOK. Peningkatan kualitas BBM menjadi Euro 4 diproyeksikan dapat menurunkan 90,26% beban emisi polusi udara dan berdampak pada penurunan 86%, 69%, dan 84% jumlah kasus penyakit pneumonia, jantung iskemik, dan PPOK. Penurunan jumlah penyakit ini setara dengan penghematan klaim kesehatan BPJS di Jakarta sekitar Rp550 miliar per tahun jika dibandingkan dengan proyeksi BAU.

Besarnya manfaat terhadap penurunan polusi udara dan penyakit akibat polusi udara menjadikan kebijakan kualitas BBM Euro 4 ini wajib segera dilaksanakan. Kementerian ESDM perlu segera menerbitkan aturan spesifikasi bahan bakar kendaraan bermotor yang selaras dengan Permen LHK No. 20/2017 yang mensyaratkan spesifikasi bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan teknologi mesin kendaraan Euro 4.

Selain itu, pemerintah perlu menyusun regulasi dan peta jalan untuk pengetatan baku mutu emisi kendaraan bermotor lebih lanjut. Pengetatan baku mutu emisi kendaraan bermotor mengikuti standar Euro 6 akan mendukung daya saing industri otomotif di pasar global seiring makin meningkatnya permintaan persyaratan emisi di negara-negara tujuan ekspor Indonesia. Peta jalan baku mutu emisi ini harus disertai dengan peta jalan penyediaan bahan bakar yang memenuhi spesifikasi yang diperlukan. Hal ini penting supaya masalah ketidaktersediaan bahan bakar yang sesuai, seperti pada kasus penerapan baku mutu emisi Euro 4, tidak terulang.

Penyediaan pasokan BBM yang memenuhi persyaratan Euro 4 dapat dilakukan melalui dua jalur, yaitu produksi dalam negeri dan impor. Untuk produksi dalam negeri, Pertamina perlu melakukan investasi untuk meningkatkan kemampuan kilangnya, baik melalui kerja sama dengan badan usaha swasta lewat skema Kerja Sama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) maupun melalui penanaman modal negara (PMN). Selain itu, mengingat sekitar 30% BBM di pasar berasal dari impor, untuk memenuhi kebutuhan jangka pendek, perlu dilakukan pengalihan impor menjadi BBM yang memenuhi persyaratan Euro 4.

Di sisi lain, implementasi kebijakan Euro 4 akan membutuhkan tambahan biaya sebesar Rp200 per liter BBM. Biaya tambahan ini dapat ditanggung pemerintah yang berdampak pada kenaikan anggaran subsidi sebesar Rp5,5 triliun pada tahun awal implementasi dan meningkat hingga Rp16 triliun pada saat implementasi sepenuhnya pada 2028. Dampak kenaikan anggaran subsidi ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan anggaran subsidi dan kompensasi BBM yang dialokasikan setiap tahun. Tambahan anggaran subsidi ini dapat diperoleh dari efisiensi anggaran belanja non-produktif dan kurang mendesak. Selain itu, pemerintah perlu melakukan optimalisasi penerimaan hijau, seperti dari *green bonds*, *green sukuk*, atau *carbon tax*.

Alternatifnya, tambahan biaya tersebut dapat ditanggung langsung oleh konsumen melalui kenaikan harga BBM eceran, yang dapat berdampak pada inflasi sebesar 0,1014 poin persen secara signifikan pada bulan pertama setelah kenaikan harga BBM. Untuk mengantisipasi dampak inflasi pada masyarakat, pemerintah dapat memberikan kompensasi kepada kelompok kelas menengah bawah yang terkena dampak langsung dari kenaikan harga BBM. Kompensasi ini dapat berbentuk tunai ataupun nontunai, seperti voucher BBM bersubsidi.

Opsi lain yang bisa dipertimbangkan adalah membatasi subsidi pada kelompok pengguna tertentu dari kelompok menengah atas. Dengan opsi ini, kelompok menengah bawah tidak terkena dampak langsung kenaikan harga BBM dan dampak kenaikan inflasi umum relatif sangat kecil sehingga pemerintah tidak perlu memberikan kompensasi tambahan. Meski demikian, diperlukan data yang akurat untuk memastikan alokasi kuota subsidi kepada pihak yang berhak menerima subsidi (*targeted subsidiaries*) sehingga tidak terjadi kelangkaan, terutama di daerah-daerah non-Jawa. Selain itu, diperlukan mekanisme distribusi pembatasan BBM bersubsidi berdasarkan jenis kendaraan yang jelas (baik dari SOP, teknologi, penegakan hukum, maupun mekanisme pengaduan konsumen), terutama pada daerah-daerah rural yang relatif sulit diawasi.

Terakhir, meskipun kualitas BBM berdampak besar terhadap beban emisi polusi udara, kebijakan penanganan polusi udara dari sektor transportasi tidak dapat semata-mata mengandalkan pengetatan kualitas BBM. Untuk dapat menekan lebih jauh tingkat polusi udara dalam jangka panjang, termasuk mengurangi polusi yang bersumber dari selain gas buang (*non-exhaust*), perlu ada sinergi dengan berbagai pendekatan lain, termasuk penyediaan transportasi publik, pengetatan baku mutu emisi dan *fuel economy* kendaraan bermotor, pengalihan ke kendaraan bermotor listrik berbasis baterai, serta penerapan *eco sensitive traffic management*.

Daftar Pustaka

- Abdallah, Changi, dan Kangni R. Kpodar. 2023. "How Large and Persistent is the Response of Inflation to Changes in Retail Energy Prices?" *Journal of International Money and Finance* 132: 102806.
- Air Quality Expert Group. 2019. *Non-exhaust Emissions from Road Traffic*. https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/1907101151_20190709_Non_Exhaust_Emissions_typeset_Final.pdf.
- Ambya, Ambya, Edwin Russel, Sipa Paujiah, et al. 2022. "Analysis of Data Inflation Energy and Gasoline Price by Vector Autoregressive Model." *International Journal of Energy Economics and Policy* 12(2): 120—126.
- Asian Development Bank. 2015. *Fossil fuel subsidies in Indonesia: Trends, impacts, and reforms*. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank.
- Bank Indonesia. 2024. "Kurs Transaksi Bank Indonesia." Accessed October 23, 2024. <https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/transaksi-bi/Default.aspx>.
- Bappenas. 2022. "Study Air Pollution and Health Impacts of Energy Emissions in the Transportation Sector." Kajian atas dukungan dari Agence Francaise De Development (AFD) Prancis.
- Basnet, Hem C., dan Kamal P. Upadhyaya. 2015. "Impact of Oil Price Shocks on Output, Inflation and the Real Exchange Rate: Evidence from Selected ASEAN Countries." *Applied Economics* 47(29): 3078—3091.
- Beaudoin, Justin, Y. Hossein Farzin, dan C. Y. Cynthia Lin Lawell. 2015. "Public Transit Investment and Sustainable Transportation: A Review of Studies of Transit's Impact on Traffic Congestion and Air Quality." *Research in Transportation Economics* 52 (2015): 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2015.10.004>.
- Beddows, David C. S., dan Roy M. Harrison. 2021. "PM₁₀ and PM_{2.5} Emission Factors for Non-exhaust Particles from Road Vehicles: Dependence Upon Vehicle Mass and Implications for Battery Electric Vehicles. *Atmospheric Environment* 244: 117886. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117886>.
- Bhat, Javed Ahmad, Aadil Ahmad Ganaie, dan Naresh Kumar Sharma. 2018. "Macroeconomic Response to Oil and Food Price Shocks: A Structural VAR Approach to the Indian Economy." *International Economic Journal* 32(1): 66—90.
- Blumberg, Katherine O., Michael P. Walsh, dan Charlotte Pera. 2003. "Low-sulfur Gasoline & Diesel: The Key to Lower Vehicle Emissions." *International Council on Clean Transportation*.
- Borm, P. J. A., M. Jetten, S. Hidayat, et. al. 2002. "Respiratory Symptoms, Lung Function, and Nasal Cellularity in Indonesian Wood Workers: A Dose Response Analysis." *Occupational Environmental Medicine* 59: 338—344.
- Borck, Rainald. 2019. "Public Transport and Urban Pollution." *Regional Science and Urban Economics* 77 (2019): 356-366. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2019.06.005>.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2024. *Ringkasan Eksekutif Pengeluaran dan Konsumsi Penduduk Indonesia*. Jakarta: BPS.
- Brook, Robert D., Sanjay Rajagopalan, C. Arden Pope 3rd, et al. 2010. "Particulate Matter Air Pollution and Cardiovascular Disease: An Update to the Scientific Statement from the American Heart Association." *Circulation* 121(21): 2331—2378. doi:10.1161/CIR.0b013e3181d8e1.
- Burnett, R. T., Marc Smith-Doiron, Dave Stieb, et al. 2001, March 1. "Association Between Ozone and Hospitalization for Acute Respiratory Diseases in Children Less than 2 Years of Age." *American Journal of Epidemiology* 153(5): 444—452. <https://doi.org/10.1093/aje/153.5.444>.
- Celikkaya, Nihan, Eftychios Papapanagiotou, dan Fritz Busch. 2016. "Eco-sensitive Traffic Management." *Digital Mobility Platforms and Ecosystems State of the Art Report* 182. <https://doi.org/10.14459/2016md1324021>.

- Chambliss, Sarah, Josh Miller, Cristiano Façanha, Ray Minjares, dan Kate Blumberg. 2013. "The Impact of Stringent Fuel and Vehicle Standards on Premature Mortality and Emissions." *The International Council on Clean Transportation*. https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/ICCT_HealthClimateRoadmap_2013_revised.pdf.
- Clark, Nina Annika, Paul A. Demers, Catherine J. Karr, et al. 2010. "Effect of Early Life Exposure to Air Pollution on Development of Childhood Asthma." *Children's Health, Environmental Health Perspective Journal* 118.
- Correia, Andrew W., C. Arden Pope 3rd, Douglas W. Dockery, Yun Wang, Majid Ezzati, dan Francesca Dominici. 2013. "Effect of Air Pollution Control on Life Expectancy in the United States: An Analysis of 545 U.S. Counties for the Period from 2000 to 2007." *Epidemiology* 24(1): 23—31. doi:10.1097/EDE.0b013e3182770237.
- Dalkmann, Holger, dan Charlotte Brannigan. 2007. *Urban Transport and Climate Change, Module 5e: Sustainable Transport, A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities*. GTZ Global, Federal Eschborn, Germany: Ministry for Economic Cooperation and Development.
- Dartanto, T. 2013. "Reducing Fuel Subsidies and the Implication on Fiscal Balance and Poverty in Indonesia: A Simulation Analysis." *Energy Policy* 58: 117—134.
- EEA. 2018. *Electric Vehicles from Life Cycle and Circular Economy Perspectives: TERM 2018: Transport and Environment Reporting Mechanism (TERM) Report*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2800/77428>.
- EPA (Environmental Protection Agency). 2011. "Particulate Matter." Accessed January 28, 2012. <http://www.epa.gov/pm/>.
- Fordistiko. 2002. "Prevalensi Kelainan Foto Toraks dan Penurunan Faal Paru Pekerja di Lingkungan Kerja Pabrik Semen." Skripsi, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia, Salemba.
- Giannouli, Myrsini, Evalengia-Anna Kalognomou, Giorgos Mellios, Nicolas Moussiopoulos, Zissis Samaras, dan Jaroslav Fiala. 2011. "Impact of European Emission Control Strategies on Urban and Local Air Quality." *Atmospheric Environment* 45(27): 4753—4762. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.03.016>.
- Greenberg, Nili, Rafael S. Carel, Estela Derazne, et al. 2016. "Different Effects of Long-term Exposures to SO₂ and NO₂ Air Pollutants on Asthma Severity in Young Adults." *J Toxicol Environ Health A*. 79(8): 342—351. doi:10.1080/15287394.2016.1153548.
- Hanigan, Ivan C., Richard A. Broome, Timothy B. Chaston, et al. 2020. "Avoidable mortality attributable to anthropogenic fine particulate matter (PM_{2.5}) in Australia." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(12).
- HEI dan IHME. 2024. *State of Global Air 2024*. <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024>
- Hooftman, Nils, Luis Oliveira, Maarten Messagie, Thierry Coosemans, dan Joeri Van Mierlo. 2016. "Environmental Analysis of Petrol, Diesel and Electric Passenger Cars in a Belgian Urban Setting." *Energies* 9(2). <https://doi.org/10.3390/en9020084>.
- Huang, Shiwen, Haomin Li, Mingrui Wang, et al. 2021. "Long-term Exposure to Nitrogen Dioxide and Mortality: A Systematic Review and Meta-analysis." *Sci Total Environ.*;776:145968. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.145968
- Husaini, Dzul Hadzwan, dan Hooi Hooi Lean. 2021. "Asymmetric Impact of Oil Price and Exchange Rate on Disaggregation Price Inflation." *Resources Policy* 73: 102175.
- ICCT. 2023. *Comparison of the Life-cycle Greenhouse Gas Emissions of Combustion Engine and Electric Passenger Cars and Two-wheelers in Indonesia*. *The International Council on Clean Transportation*. <https://theicct.org/publication/comparison-life-cycle-ghg-emissions-combustion-engine-and-electric-pv-and-2w-indonesia-sept23>.
- IEA. 2021, December 13. *Fuel Economy in Indonesia—Analysis*. <https://www.iea.org/articles/fuel-economy-in-indonesia>.
- IESR. 2023. *Indonesia Energy Transition Outlook (IETO) 2024*. IESR. <https://iesr.or.id/en/pustaka/indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2024/>

- IQAIR. 2023. <https://www.iqair.com/id/world-most-polluted-countries>.
- Jerrett, Michael, Richard T. Burnett, C. Arden Pope 3rd, et al. 2009. "Long-term Ozone Exposure and Mortality." *N Engl J Med* 360(11): 1085—1095. doi:10.1056/NEJMoa0803894.
- Kementerian Keuangan (Kemenkeu). 2023. *Nota Keuangan beserta RAPBN Tahun Anggaran 2024*. Jakarta: Kemenkeu RI.
- Kemenko Bidang Kemaritiman dan Investasi (Director). 2024. "Sosialisasi Kebijakan Insentif Dalam Rangka Percepatan Investasi KBLBB." Streamed live on Mar 1, 2024, by Kemenko Infrastruktur & Pembangunan Kewilayahan RI. YouTube, 1:39:02. <https://www.youtube.com/watch?v=OWgEOPtS3bU>.
- Kumar, Awkash, Indrani Gupta, Jørgen Brandt, Rakesh Kumar, Anil Kumar Dikshit, dan Rashmi S. Patil. 2016. "Air Quality Mapping Using GIS and Economic Evaluation of Health Impact for Mumbai City, India." *Journal of the Air & Waste Management Association* 66(5): 470—481.
- Krewski, Daniel, Michael Jerrett, Richard T. Burnett, et al. 2009. "Extended Follow-up and Spatial Analysis of the American Cancer Society Study Linking Particulate Air Pollution and Mortality." *Res Rep Health Eff Inst*. 140: 5—136.
- Lagorio, Susanna, Francesco Forastiere, Riccardo Pistelli, et al. 2006. "Air Pollution and Lung Function among Susceptible Adult Subjects: A Panel Study." *Environmental Health: A Global Access Science Source*. BioMed Central Journal.
- Lee, S. L., W. H. S. Wong, dan Y. L. Lau. 2006. "Association Between Air Pollution and Asthma Admission Among Children in Hong Kong." *Journal Compilation, Clinical and Experimental Allergy* 36: 1138—1146.
- Leonita, Afriza, Anissa Uswatunnabila, Debby Amanda Putri, Zuyyina Nur Fadila, Sandra Saputri, dan Siti Nurhaini. 2023. "Analysis of the Effect of Fuel Subsidy Policy on Economic Growth in Indonesia." *Indonesia Journal of Multidisciplinary Sciences (IJoMS)* 2(1): 105—115.
- Liao, Qin, Wangqiang Jin, Yan Tao, Jiansheng Qu, Yong Li, dan Yibo Niu. 2020. "Health and Economic Loss Assessment of PM_{2.5} Pollution During 2015—2017 in Gansu Province, China." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(9).
- Lomas, James, Laetitia Schmitt, Sally Jones, et al. 2016. "A Pharmacoeconomic Approach to Assessing the Costs and Benefits of Air Quality Interventions That Improve Health: A Case Study." *BMJ Open* 6(6): e010686.
- Lütkepohl, Helmut. 2005. *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Berlin: Springer Berlin.
- Ma, Liang, Daniel J. Graham, dan Marc E. J. Stettler. 2021. "Air Quality Impacts of New Public Transport Provision: A Causal Analysis of the Jubilee Line Extension in London." *Atmospheric Environment* 245 (2021): 118025. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118025>
- Maji, Kamal J., Mohit Arora, dan Anil Kumar Dikshit. 2017. "Burden of Disease Attributed to Ambient PM_{2.5} and PM₁₀ Exposure in 190 Cities in China." *Environmental Science and Pollution Research International* 24(12): 11559—11572.
- McConnell, Rob, Talat Islam, Ketan Shankardass, et al. 2010. "Childhood Incident Asthma and Traffic Related Air Pollution at Home and School." *Environmental Health Perspectives Journal* 118(7).
- Parry, Ian W. H., dan Kenneth A. Small. 2009. "Should Urban Transit Subsidies Be Reduced?" *The American Economic Review* 99(3), 700—724. <http://www.jstor.org/stable/25592479>.
- Pertamina. 2022. "Harga BBM Pertamina." Retrieved from <https://mypertamina.id/fuels-harga>.
- Puett, Robin C., Jaime E. Hart, Helen Suh, Murray Mittleman, dan Francine Laden. 2011. "Particulate Matter Exposures, Mortality, and Cardiovascular Disease in the Health Professionals Follow-up Study." *Environ Health Perspect*. 119(8): 1130—1135. doi:10.1289/ehp.1002921.

- Roy, Anamika, Mamun Mandal, Sujit Das, et al. 2024. "Non-exhaust Particulate Pollution in Asian Countries: A Comprehensive Review of Sources, Composition, and Health Effects." *Environmental Engineering Research* 29(3).
- Safrudin, Ahmad, Ade Palguna, Vid Adrison, et al. 2013. *Cost Benefit Analysis for Fuel Quality and Fuel Economy Initiative in Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Safrudin, Ahmad, Alfred Sitorus, Aditya Mahalana, Amalia S. Bendang, dan Mohammad Agung. 2020. *Vehicle Emission Standard in Indonesia*. KPBB.
- Sanchez, Francisco P., Anup Bandivadekar, and John German. 2012. *Estimated Cost of Emission Reduction Technologies for Light-Duty Vehicles*. ICCT.
- Sarmah, Ankita, dan Debi Prasad Bal. 2021. "Does Crude Oil Price Affect the Inflation Rate and Economic Growth in India? A New Insight Based on Structural VAR Framework." *The Indian Economic Journal* 69(1): 123—139.
- Seposo, Xerxes, Masahide Kondo, Kayo Ueda, et al. 2018. "Health Impact Assessment of PM_{2.5}-Related Mitigation Scenarios Using Local Risk Coefficient Estimates in 9 Japanese Cities." *Environmental International* 120: 525—534.
- Setyawan, D. 2014. "The Impacts of the Domestic Fuel Increases on Prices of the Indonesian Economic Sectors." *Energy Procedia* 47: 47—55.
- Shapiro, Robert J., Kevin A. Hassett, dan Frank S. Arnold. 2002. *Conserving Energy and Preserving the Environment: The Role of Public Transportation*. American Public Transportation Association.
- Sims, Christopher A. 1980. "Macroeconomics and Reality." *Econometrica* 1—48.
- Sittimart, Manit, Waranya Rattanaipapong, Andrew J. Mirelman, et al. 2024. "An Overview of the Perspectives Used in Health Economic Evaluations." *Cost Effectiveness and Resource Allocation*, 22(1): 41.
- Syahputri, Jeanly, Egi Bagja Suarga, Irvanu Rahman, Teuku Naraski Zahari, dan Dwiputra Ahmad Ramdani. 2023. *Dampak Polusi Udara dari Transportasi terhadap Kesehatan di Indonesia*. Kementerian PPN/Bappenas. <https://lcdi-indonesia.id/wp-content/uploads/2024/03/1-IND-Policy-Note-2023.10.16.pdf>.
- Syuhada, Ginanjar, Adhadian Akbar, Donny Hardiawan, et al. 2023. "Impacts of Air Pollution on Health and Cost of Illness in Jakarta, Indonesia." *Int J Environ Res Public Health* 20(4): 2916. Published 2023, Feb 7. doi:10.3390/ijerph20042916.
- Union of Concerned Scientists. 2017. "A Brief History of US Fuel Efficiency." Updated December 6, 2017. <https://www.ucsusa.org/resources/brief-history-us-fuel-efficiency>.
- US Department of Transportation. 2014. "Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards." Last updated August 11, 2014. <https://www.transportation.gov/mission/sustainability/corporate-average-fuel-economy-cafe-standards>.
- Vidhi, Rachana, dan Prasanna Shrivastava. 2018. "A Review of Electric Vehicle Lifecycle Emissions and Policy Recommendations to Increase EV Penetration in India." *Energies* 11(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/en11030483>.
- Wegesser, Teresa C., Kent E. Pinkerton, dan Jerold A. Last. 2009. "California Wildfires of 2008: Coarse and Fine Particulate Matter Toxicity." *Environ Health Perspect* 117(6): 893—897. doi:10.1289/ehp.0800166.
- Woo, Sang-Hee, Hyungjoon Jang, Seung-Bok Lee, dan Seokhwan Lee. 2022. "Comparison of Total PM Emissions Emitted from Electric and Internal Combustion Engine Vehicles: An Experimental Analysis." *Science of The Total Environment* 842: 156961. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156961>.
- World Bank. (2022). "World Bank Commodity Prices Data (The Pink Sheet)." Retrieved from <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>.

- World Health Organization Europe. 2006. *Air Quality Guidelines, Global Update 2005, Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide*. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.
- Yu, Guanghui, Feifan Wang, Jing Hu, Yan Liao, dan Xianzhao Liu. 2019. "Value assessment of health losses caused by PM_{2.5} in Changsha City, China." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16(11).
- Yusuf, Arief Anshory, dan Budy P. Resosudarmo. 2008. "Mitigating Distributional Impact of Fuel Pricing Reform: The Indonesian Experiences." *ASEAN Economic Bulletin* 25(1): 32—47.
- Zhao, Xiaoli, Xueying Yu, Ying Wang, dan Chunyang Fan. 2016. "Economic evaluation of health losses from air pollution in Beijing, China." *Environmental Science and Pollution Research International* 23(12): 11716—11728.



Jalan Tebet Timur Raya 48 B
Jakarta Selatan, 12820, Indonesia
T: +62 21 2232 3069 | F: +62 21 8317 073

www.iesr.or.id | iesr@iesr.or.id