



Bloomberg
Philanthropies



Vital
Strategies



itenas
Institut Teknologi Nasional



ANALISIS BIAYA- MANFAAT UNTUK STRATEGI PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DI JAKARTA

2024

ANALISIS BIAYA-MANFAAT UNTUK STRATEGI PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DI JAKARTA

2024

Penelitian ini merupakan hasil kerjasama antara Dinas Lingkungan Hidup Jakarta dan Dinas Kesehatan Jakarta dan Vital Strategies, Institut Teknologi Nasional Bandung, dan Universitas Padjadjaran dengan dukungan dari Bloomberg Philanthropies

Penulis:

Dr. Eng. Didin Agustian Permadi, S.T., M.Eng.
Irlan Adiyatma Rum, ST., M.Sc.
apt. Ginanjar Syuhada, MSc.
Dr. Adiatma Yudistira Manogar Siregar, S.E., M.Econ.St.
Adhadian Akbar, S.E., MBA.
Donny Hardiawan, S.E., M.E.
Chintya Imelda Maidir, MPP.

Penasihat Studi:

Sumi Mehta, MPH, Ph.D.

Kutipan yang disarankan:

Permadi D *et al.* Analisis Biaya-Manfaat Strategi Pengendalian Pencemaran Udara di Jakarta. Vital Strategies, New York NY. 2024. Tersedia di:
www.vitalstrategies.org/resources/cost-benefit-lysis-for-air-pollution-control-strategies-in-jakarta/



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	1
DAFTAR SINGKATAN	3
RINGKASAN EKSEKUTIF	4
PENDAHULUAN	6
METODE	8
Pemodelan Dampak Kualitas Udara dari Skenario Emisi.....	8
Skenario bisnis seperti biasa (BAU).	9
Skenario pengurangan (RED).....	10
Pemodelan distribusi emisi secara spasial	12
Biaya Penerapan Strategi Pengendalian Polusi Udara di Jakarta	12
Kerangka untuk memperkirakan biaya program	14
Pengumpulan data.....	18
Asumsi yang digunakan untuk memperkirakan biaya program	20
Menghitung biaya program	21
Penilaian Manfaat Kesehatan.....	26
Data dasar	26
Proyeksi data kesehatan.....	27
Estimasi manfaat kesehatan.....	27
Penilaian Manfaat Ekonomi.....	29
Memperkirakan hari rawat inap.....	31
Memperkirakan biaya pelayanan kesehatan rawat inap.....	31
Biaya di luar layanan kesehatan	31
Memperkirakan nilai tahun hidup statistik (VSL).....	32
Memperkirakan dampak stunting.....	32
HASIL	33
Pemodelan Dampak Kualitas Udara dari Skenario Emisi.....	33
Proyeksi emisi berdasarkan skenario BAU.....	33
Pengurangan emisi	34
Pemodelan meteorologi.....	35
Distribusi spasial emisi.....	36
Dampak kualitas udara PM _{2.5}	39
Ringkasan pemodelan	41
Biaya Penerapan Strategi Pengendalian Polusi Udara di Jakarta	43
Manfaat dampak kesehatan	54
Nilai ekonomi manfaat dampak kesehatan	56

DISKUSI.....	59
KESIMPULAN	62
IMPLIKASI DAN REKOMENDASI.....	62
REFERENSI.....	63
SUPLEMEN	69
Lampiran 1: Referensi asumsi yang digunakan untuk memperkirakan biaya program.....	69
Lampiran 2: Definisi hasil.....	74
Lampiran 3: Hasil simulasi untuk tahun 2025 (dalam $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	75

DAFTAR SINGKATAN

AERMOD	<i>American Meteorology Society Environmental Protection Agency Regulatory Model</i> (Model Peraturan Badan Perlindungan Lingkungan Masyarakat Meteorologi Amerika)
BAU	<i>Business-as-usual scenario</i> (skenario seperti biasa)
BPJS	Badan Penyelenggara Jaminan Sosial
BPS	Badan Pusat Statistik Indonesia
EV	<i>Electric vehicles</i> (kendaraan listrik)
ICD-10	<i>International Classification of Diseases 10th Revision</i> (Klasifikasi Penyakit Internasional Revisi ke-10)
Rp	Rupiah Indonesia
INHI	<i>Indonesian National Health Insurance</i> (Jaminan Kesehatan Nasional Indonesia/JKN)
KDO	Kendaraan Dinas Oprasional
KRL	Kereta Rel Listrik
LPG	<i>Liquefied petroleum gas</i> (gas minyak cair)
MR-BRT	<i>Meta Regression – Bayesian, Regularized, Trimmed</i>
BMUAN	Baku Mutu Udara Ambien Nasional
PM2.5	Materi partikulat berdiameter aerodinamis 2,5 mikrometer atau kurang
PM10	Materi partikulat berdiameter aerodinamis 10 mikrometer atau kurang
RED	<i>Reduction scenario</i> (skenario pengurangan)
RR	Risiko relatif
VSL	<i>Value of statistical life</i> (nilai umur statistik)
WHO	<i>World Health Organization</i> (Organisasi Kesehatan Dunia)

RINGKASAN EKSEKUTIF

Beberapa langkah telah diidentifikasi untuk mencapai target pengurangan emisi sebagaimana diamanatkan oleh *grand design* pengendalian pencemaran udara Provinsi Jakarta untuk tahun 2030. Lima (5) langkah terkait dengan sumber bergerak, sedangkan tiga (3) langkah lainnya terkait dengan sumber area: pemukiman, konstruksi, dan pembakaran sampah di perkotaan. Inventarisasi dan pemodelan emisi terpadu digunakan untuk menganalisis efektivitas dari tiap upaya pengurangan emisi dan peningkatan kualitas udara PM_{2.5}. Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi diperoleh untuk langkah-langkah berikut: kepatuhan terhadap standar emisi dan peralihan ke transportasi umum.

Untuk semua langkah yang relevan dengan sumber bergerak, peningkatan kualitas udara PM_{2.5} berkisar antara 0,5-5,7 µg/m³ sementara pengurangan emisi untuk sumber area menghasilkan 0,05-2,4 µg/m³ (rata-rata tahunan maksimum). Konsentrasi rata-rata domain untuk peningkatan PM_{2.5} berada dalam kisaran 0,13-1,5 µg/m³ (langkah-langkah yang relevan untuk sumber bergerak) dan 0,01-0,7 µg/m³ (langkah-langkah yang relevan untuk sumber area). Implementasi kolektif dari semua langkah pada tahun 2030 akan membantu mengantisipasi peningkatan konsentrasi PM_{2.5} dibandingkan dengan tingkat yang diukur pada tahun 2019. Opsi tindakan yang lebih agresif masih diperlukan untuk menurunkan tingkat rata-rata tahunan PM_{2.5} di bawah baku mutu udara ambien nasional (BMUAN) sebesar 15 µg/m³.

Kami memperkirakan bahwa biaya keseluruhan dari seluruh program adalah Rp86,5 triliun, atau sekitar 3,1% dari PDRB Jakarta. Peralihan ke transportasi umum, uji emisi untuk kendaraan pribadi, dan program pengalihan energi rumah tangga masing-masing menyumbang 56,5%, 21,2%, dan 8,4% dari total biaya. Angka-angka ini sebanding dengan jumlah total pengguna yang terkena dampak. Walaupun demikian, hasil ini bergantung pada target yang telah ditetapkan oleh Jakarta dan asumsi yang mendasari perhitungan. Beberapa prediksi dilakukan dengan menggunakan tren yang berbeda berdasarkan sifat data yang menggunakan tahun dasar 2019.

Hasil kesehatan terkait PM_{2.5} diperkirakan dengan menggunakan metodologi yang digunakan dalam Global Burden of Disease Study 2019 dan fungsi konsentrasi-respons terbaru. Data historis yang diperoleh dari laporan kesehatan nasional sebelumnya digunakan untuk memproyeksikan tingkat prevalensi pada masa mendatang. Kami

menemukan bahwa, secara keseluruhan, lebih dari 32.000 kematian yang disebabkan oleh penyebab tertentu, hampir 300 kematian bayi, lebih dari 12.000 kasus stunting, dan lebih dari 2.000 kondisi kelahiran yang tidak diinginkan dapat dicegah jika strategi yang tercantum untuk mengendalikan polusi udara dapat diterapkan di Jakarta. Perlu dicatat bahwa kami tidak menyertakan kondisi kesehatan akut, seperti gejala pernapasan, dalam analisis karena terbatasnya data emisi dan bukti ilmiah yang tersedia. Hal ini dapat mengecilkkan manfaat kesehatan dari strategi pengendalian pencemaran udara.

Dengan mempertimbangkan hasil kesehatan, studi ini menemukan bahwa total manfaat dari seluruh intervensi mencapai Rp643 triliun (US\$45,5 miliar, dengan kurs Rp14.136/US\$), yang mencapai 23% dari PDRB Provinsi Jakarta. Manfaat terbesar berasal dari uji emisi, dengan kontribusi sekitar 32% dari total manfaat, yaitu sekitar Rp203 triliun), diikuti oleh peralihan ke transportasi umum (25%, Rp162 triliun).

Harap diperhatikan bahwa hasil yang kami peroleh mungkin kurang dari total manfaat. Sebagai contoh, estimasi kami mengenai manfaat pencegahan stunting hanya mencerminkan manfaat dari terhindarnya biaya pengobatan kondisi tersebut. Kami tidak menghitung potensi manfaat dari menghindari hilangnya produktivitas pada masa depan karena kami merasa akan ada terlalu banyak ketidakpastian untuk estimasi tersebut. Terlepas dari itu, hal ini merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam proses pengambilan keputusan kebijakan pengendalian pencemaran karena kami telah menunjukkan bahwa mencegah stunting merupakan bagian dari manfaat intervensi pengendalian pencemaran.

PENDAHULUAN

Jakarta telah mengalami masalah polusi udara sehingga dirumuskanlah *grand design* usaha pengendalian polusi udara. Target-target tertentu telah ditetapkan untuk meningkatkan kualitas udara dan kesehatan masyarakat serta upaya-upaya pendukung lainnya untuk memberikan bukti berbasis sains untuk pengelolaan kualitas udara. Ada kebutuhan untuk mengevaluasi lebih lanjut dampak yang menguntungkan dari implementasi langkah-langkah yang dapat dilakukan melalui analisis biaya/manfaat (costbenefit analysis/CBA). Konsep ini telah lama diterapkan di Amerika Serikat untuk menganalisis efektivitas biaya dan manfaat dari peraturan kualitas udara[1]. Kerangka kerja ini juga berguna untuk menetapkan target dan perbaikan kebijakan pengendalian pencemaran udara di Eropa [2] atau di Asia [3], [4]. Keterlibatan CBA dalam desain kebijakan pengendalian pencemaran udara menjadi sangat penting terutama untuk membantu para pembuat kebijakan dalam memprioritaskan langkah-langkah yang akan diambil [5]. Saat ini, negara-negara makin menyadari peran penting CBA sebagai bagian dari komponen manajemen kualitas udara bahkan di tingkat kota [6].

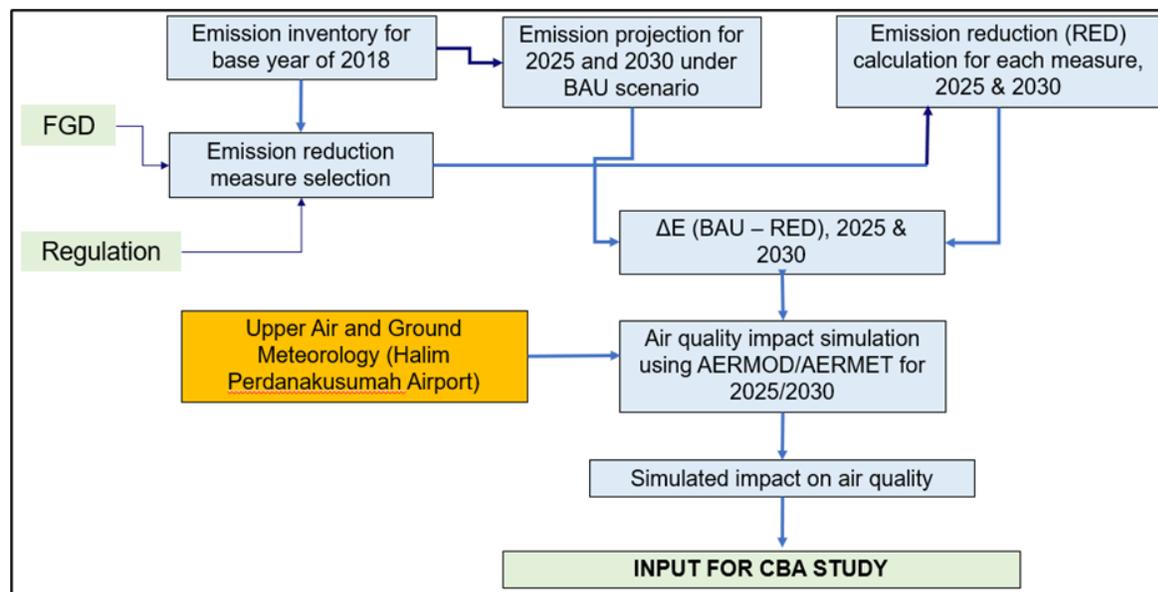
Informasi mengenai sumber emisi polutan udara di Jakarta yang diperoleh melalui studi inventarisasi emisi sangat penting sebagai titik awal analisis ini. Pendekatan ini telah digunakan secara luas untuk memperhitungkan biaya dan manfaat nyata dari kebijakan lingkungan dengan menguantifikasikan dampak pencemaran udara. Bagi para pembuat kebijakan, informasi ini berguna untuk evaluasi awal dalam pengambilan keputusan mengenai langkah-langkah pengurangan emisi. Secara umum, studi ini terdiri dari 3 (tiga) komponen penting untuk memperkirakan manfaat dan biaya langkah-langkah pengendalian pencemaran udara di Jakarta, yaitu: i) dampak langkah-langkah pengendalian terhadap pencemaran udara, ii) manfaat peningkatan kualitas udara, dan iii) biaya pengendalian. Langkah-langkah yang dipilih telah diteliti dan dampak terkait terhadap emisi telah diestimasi dalam studi sebelumnya [7] untuk dibandingkan dengan emisi tanpa kontrol. Model dispersi kualitas udara digunakan untuk memperkirakan dampak pengurangan emisi terhadap kualitas udara "ex ante". Peningkatan kualitas udara (terutama PM_{2.5}) kemudian dikaitkan dengan potensi manfaat dampak kesehatan. Hasilnya kemudian dimonetisasi untuk menunjukkan beban biaya medis aktual yang dapat dihindari yang harus dikeluarkan oleh masyarakat ketika terpapar polusi. Nilai tersebut kemudian Analisis biaya/manfaat dari strategi pengendalian pencemaran udara di Jakarta

2 dibandingkan dengan estimasi biaya program/tindakan. Hasil CBA juga menghasilkan peringkat tindakan terkait besarnya rasio manfaat dan biaya.

METODE

Pemodelan Dampak Kualitas Udara dari Skenario Emisi

Dampak skenario emisi terhadap kualitas udara di Provinsi Jakarta dinilai menggunakan pendekatan pemodelan kualitas udara. Pendekatan ini berguna untuk menghubungkan penurunan atau peningkatan emisi dengan peningkatan atau penurunan kualitas udara di wilayah studi. Kami menggunakan Model Regulasi Badan Perlindungan Lingkungan Masyarakat Meteorologi Amerika (AERMOD)/AERMET, model dispersi pilihan Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (US EPA), untuk mensimulasikan dampak skenario emisi. AERMOD adalah model sebaran spasial kualitas udara yang ditujukan untuk mematuhi peraturan dan dapat memprediksi sebaran kualitas udara hingga dari 50 sumber berbeda (sumber titik, area, atau volume); Selain itu sebaran kualitas udara dari sumber bergerak juga dapat diprediksi dengan software ini[8]. Model yang dipilih dapat mensimulasikan banyak kasus secara efisien dalam sumber daya komputasi yang relatif terjangkau. Gambar 1 menjelaskan kerangka umum pemodelan dampak skenario emisi terhadap kualitas udara di provinsi Jakarta.



Gambar 1. Kerangka umum untuk pemodelan dampak kualitas udara dari skenario emisi. Catatan: Focus Group Discussion, BAU = Bisnis Seperti Biasa

Data inventarisasi emisi tahun dasar untuk jejak gas (yaitu NO_x, SO₂, CO, VOC) dan bahan partikulat (PM) (yaitu PM₁₀, PM_{2.5}, karbon hitam, karbon organik) diambil dari

sumber daring[7], [9]dengan informasi terkini tentang sumber-sumber yang hilang, misalnya pembakaran limbah padat, penguapan VOC dari stasiun bahan bakar, dll. Dua skenario emisi telah dikembangkan sebelumnya untuk jangka waktu tahun 2030—bisnis seperti biasa (BAU) dan pengurangan emisi (RED)—dan rincian tentang metodologi disertakan dalam laporan. Skenario RED mencerminkan beberapa langkah yang telah direncanakan oleh pemerintah provinsi Jakarta dan relevan dengan pengurangan emisi polutan udara. Masukan dan rekomendasi juga dimasukkan dari saran-saran yang diajukan selama diskusi kelompok terfokus publik yang diadakan oleh pemerintah provinsi. Selanjutnya, pengurangan emisi untuk polutan target (yaitu PM_{2.5} dan prekursor gas NO_x dan SO₂) dihitung dan diubah ke dalam format masukan yang siap untuk model.

Implikasi penurunan emisi terhadap peningkatan kualitas udara kemudian disimulasikan menggunakan model AERMOD/AERMET untuk tahun 2025 dan 2030, dimana langkah-langkah tersebut akan dilaksanakan dengan target pencapaian tertentu. Kami menghitung pengurangan emisi menggunakan persamaan berikut:

$$(Persamaan.1) EM_{red} = EM_{BAU2025,2030} - EM_{RED2025,2030}$$

Di mana:

EM_{red}	: Penurunan emisi tahun 2025 dan 2030 dalam ton/tahun
$EM_{BAU2025,2030}$: Proyeksi emisi skenario BAU tahun 2025 dan 2030 dalam ton/tahun
$EM_{RED2025,2030}$: Emisi pada saat dilaksanakannya kebijakan tertentu pada tahun 2025 dan 2030 dalam ton/tahun

Pengurangan emisi untuk setiap pengukuran PM_{2.5}, NO_x dan SO₂ dihitung, dan distribusi spasial dikembangkan untuk disimulasikan menggunakan AERMOD/AERMET. Hasil konsentrasi rata-rata tahunan dalam hal rata-rata domain dan nilai maksimum kemudian digunakan untuk analisis biaya-manfaat.

Skenario bisnis seperti biasa (BAU).

Skenario emisi *business-as-usual* (BAU) mempertimbangkan peraturan perundang-undang saat ini dan tren historis sumber emisi di masa lalu terkait dengan data aktivitas di provinsi tersebut. Tahun yang diproyeksikan adalah tahun 2030 (dengan tahun interim 2025), sebagaimana berpedoman pada dokumen *Grand Design* Pengendalian

Pencemaran Udara. Rincian lebih lanjut tentang metodologi dan perhitungan disajikan di tempat lain [7]. Data aktivitas relevan sumber emisi selama 10 tahun (2008-2018) telah dikumpulkan, dan ringkasan tren historis disajikan pada Tabel 5. Konsumsi bahan bakar gas pada pembangkit listrik diproyeksikan meningkat rata-rata tahunan sebesar 14,9% untuk dua negara besar tersebut. pembangkit listrik yang terletak di bagian utara Jakarta. Konsumsi bahan bakar diesel kecepatan tinggi pada pembangkit listrik menunjukkan tren menurun dan akan berakhir pada tahun 2025. Tren historis kendaraan terdaftar di Jakarta menunjukkan tingkat kenaikan tahunan tertinggi untuk truk, sepeda motor, dan mobil penumpang sebesar 11%, 11%, dan 3,2% masing-masing. Tren tingkat kenaikan tahunan untuk sumber lain juga menunjukkan pola yang meningkat, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perubahan data aktivitas terkait sumber emisi di masa mendatang di Jakarta

Sumber emisi	Data aktivitas	Tren sejarah
<i>I. Pembakaran bahan bakar di sektor energi</i>		
Industri energi	Konsumsi bahan bakar	Bahan Bakar: +14,9%; LKM: -9,7%; HSD: -9,8%
Industri manufaktur	Konsumsi bahan bakar	Minyak solar: -2,6%; bensin: -4,8%; gas dan batu bara juga digunakan pada tahun 2019
Angkutan		
Di jalan	Jumlah kendaraan yang terdaftar	MC: +11%; Komputer: +3,2%; truk: 11%; Lainnya: +2,3%
Penerbangan	Mendarat dan lepas landas	Internasional: +2,9%; domestik: +18,8%
Transportasi laut	Panggilan kapal	+1,2%
Komersial	Pendapatan daerah bruto untuk sektor komersial	+3,5%
<i>Perumahan</i>	konsumsi LPG	+1%
<i>II. Non-pembakaran</i>		
Konstruksi	Indeks konstruksi	+ 2,1%
Emisi buronan*	Penjualan bahan bakar	+3,2%
Limbah padat dengan pembakaran terbuka*	Populasi	+1%

Catatan: HSD = solar kecepatan tinggi, MC = sepeda motor, PC = mobil penumpang.

Sumber: LPPM Itenas dan Strategi Vital (2022)[7]

Skenario pengurangan (RED).

Pada skenario pengurangan (RED), langkah-langkah yang dapat menghasilkan pengurangan emisi serta informasi yang relevan mengenai target pelaksanaan dan

metodologi perhitungan singkat dipilih, seperti yang tercantum pada Tabel 2. Penyaringan langkah dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari dokumen kebijakan dan kemudian dipilih melalui diskusi kelompok terarah (FGD) di antara satuan kerja perangkat daerah (SKPD) provinsi. SKPD terkait memberikan masukan dan saran mengenai kebijakan yang akan diimplementasikan di bawah kewenangan mereka.

Tabel 2. Uraian singkat mengenai langkah-langkah pengurangan emisi yang dipilih

Kode	Keterangan	Target	Perhitungan
OTR1	Kendaraan listrik operasional pemerintah (semua armada)	100% pada tahun 2025 dan 2030	$E = N_{KDO} \times VKT \times EF (BAU - RED)$
OTR2	Standar emisi yang ketat untuk mikrobus agar sesuai dengan Euro4	100% pada tahun 2025 dan 2030	$E = N_{micro} \times VKT \times EF (BAU - RED)$
OTR3	Bus listrik Transjakarta (penambahan unit per tahun)	160 pada tahun 2025 dan 200 pada tahun 2030	$E = N_{bus} \times VKT \times EF_{WTW} (BAU - RED)$
OTR4	Pengujian emisi secara berkala (ditargetkan untuk memenuhi setidaknya Euro2)	50% (2025) 100% (2030) untuk PC & MC	
OTR5	Beralih ke transportasi umum	30% (2025) 60% (2030) untuk armada pribadi	$E = N_{PC,MC} \times VKT \times EF_{PC,MC} (BAU - RED)$
RES	Konversi dari kompor LPG ke kompor listrik	1,9% (2025) 10% (2030) rumah tangga	$E = Fuel Consumption \times EF$
DUST	Pengendalian debu dari aktivitas konstruksi	100% (2025 & 2030)	$\%C = 100 - ((0.8 \times p \times d \times t)/i)$
OB	Larangan pembakaran terbuka untuk limbah padat kota	100% (2025 & 2030)	$Ms = Pc \times P_{frac} \times MSW_{GR} \times \delta \times \eta \times 365$

Catatan: Metodologi perhitungan detail dapat dilihat pada *Vital Strategies dan LPPM Itenas (2022)*. VKT = kilometer perjalanan kendaraan, EF = faktor emisi, N = jumlah kendaraan terdaftar, C = efisiensi pembuangan saluran konstruksi, p = laju penguapan harian, d = jam pengoperasian angkutan, i = intensitas penyemprotan air, Pc = jumlah penduduk, Pfrac = fraksi jumlah penduduk yang membakar sampah, MSWGR = faktor timbulan sampah kota, δ = fraksi sampah yang mudah terbakar, η = efisiensi pembakaran.

Pemodelan distribusi emisi secara spasial

AERMOD membutuhkan distribusi spasial dari data masukan emisi yang dapat dinyatakan sebagai sumber garis, titik, atau area. Kami mempertimbangkan pengukuran transportasi di jalan raya sebagai sumber garis (OTR1 - OTR5) sementara untuk yang lainnya dianggap sebagai sumber area (RES, DUST, dan OB). Untuk sumber garis, emisi dialokasikan di sepanjang jaringan jalan utama, sedangkan untuk sumber area, emisi didistribusikan ke dalam grid berukuran 2 x 2 km². Distribusi spasial emisi untuk tiap pengukuran dilakukan dengan menggunakan proksi spesifik seperti yang disajikan di Tabel 3.

Tabel 3. Proksi yang digunakan untuk distribusi spasial tindakan pengurangan emisi

Kode	Tindakan	Jenis proxy
OTR1	Kendaraan listrik operasional pemerintah (semua armada)	Panjang jalan dan volume lalu lintas
OTR2	Standar emisi yang ketat bagi mikrolet untuk memenuhi Euro 4	Rute mikrolet
OTR3	Bus listrik Transjakarta (tambahan unit setiap tahun)	Rute Bus Transjakarta
OTR4	Uji emisi berkala (target untuk memenuhi setidaknya Euro 2)	Panjang jalan dan volume lalu lintas
OTR5	Peralihan ke angkutan umum	Panjang jalan dan volume lalu lintas
RES	Konversi dari kompor LPG ke kompor listrik	Kepadatan penduduk
DUST	Pengendalian debu dari aktivitas konstruksi	Kawasan yang dibangun berdasarkan peta penggunaan lahan
OB	Larangan pembakaran sampah kota secara terbuka	Kepadatan penduduk

Biaya Penerapan Strategi Pengendalian Polusi Udara di Jakarta

Pemerintah Jakarta menentukan intervensi program dan target dampak, yang memberikan gambaran yang jelas tentang peta jalan untuk mengurangi polusi udara di Jakarta dan menjadi dasar untuk menilai biaya ekonomi dari intervensi program bagi

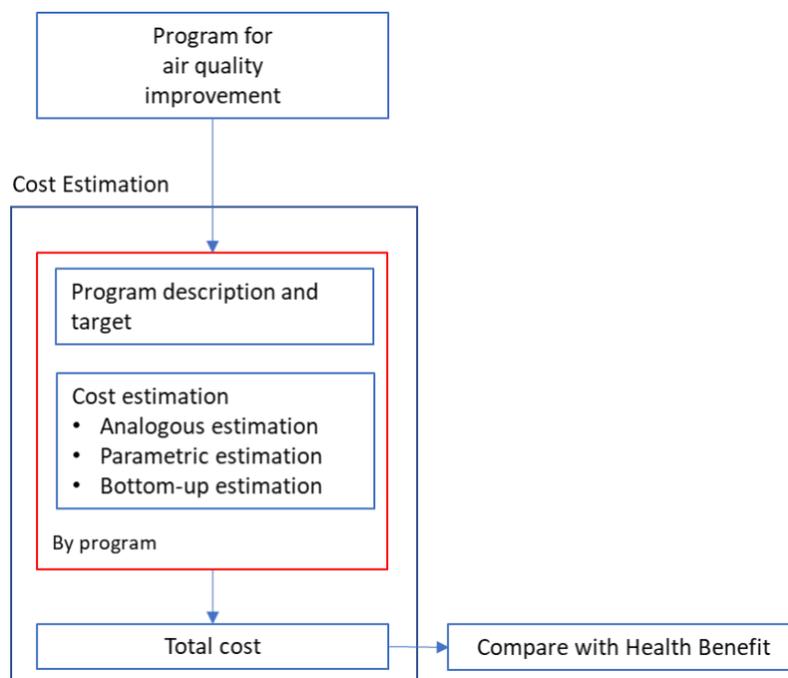
perekonomian Jakarta. Biaya tergantung pada ruang lingkup kegiatan program. Dari biaya langsung hingga biaya tidak langsung, banyak di antaranya yang berada di luar cakupan studi ini. Sebagai gantinya, bab ini berfokus pada apa yang telah direncanakan oleh anggaran pemerintah sejauh ini, termasuk anggaran yang paling menonjol untuk menurunkan biaya publik dengan mengalihkan penggunaan transportasi dan energi yang menimbulkan polusi tinggi.

Kerangka untuk memperkirakan biaya program

Untuk memperkirakan biaya program, ditentukan metode untuk menghitung biaya ekonomi setiap program. Ada lima metode untuk menghitung biaya ekonomi, yang dijelaskan secara singkat sebagai berikut:

- Penilaian ahli: Hal ini bergantung pada pengetahuan dan pengalaman para profesional, dan hasilnya mungkin berbeda-beda di antara para ahli.
- Estimasi analog: Hal ini didasarkan pada nilai program serupa sebelumnya dengan menggunakan adopsi dan penyesuaian. Biaya akan diperkirakan oleh program.
- Estimasi parametrik: Menggunakan biaya historis per unit parameter dari program serupa sebelumnya untuk menentukan biaya yang diharapkan dari program saat ini.
- Estimasi *bottom-up*: Estimasi ini didasarkan pada estimasi biaya yang diharapkan pada tingkat kegiatan dan mengagregasi biaya yang diperlukan untuk keseluruhan program.
- Estimasi tiga poin: Ini menggabungkan estimasi analog, parametrik, atau *bottom-up* untuk mendapatkan estimasi biaya yang disempurnakan.

Dalam studi ini, kami menggunakan tiga jenis estimasi—analog, parametrik, dan *bottom-up*—untuk menghitung biaya ekonomi dari setiap intervensi program, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kami memperkirakan biaya ekonomi tahun dasar dalam studi ini karena pentingnya hal tersebut dalam perbandingan manfaat-biaya.



Gambar 2. Kerangka analisis untuk memperkirakan biaya intervensi.

Kami menggunakan target yang ditentukan dalam GDPPU untuk tiap intervensi program. Unit target dalam persentase dan unit spesifik tergantung pada program. Kami menggunakan periode 12 tahun (dari 2019 hingga 2030) untuk memperkirakan biaya intervensi. Biaya dihitung secara tahunan dengan tahun 2018 sebagai tahun dasar. Kami mengidentifikasi biaya dari beberapa sumber: biaya modal, biaya subsidi, dan biaya berulang. Biaya modal terdiri dari biaya yang dikeluarkan untuk pembelian peralatan, bangunan, dan infrastruktur untuk mengimplementasikan program peningkatan kualitas udara. Biaya subsidi merupakan proksi untuk menghitung berapa biaya sosial yang dibutuhkan untuk melaksanakan program tersebut. Biaya berulang adalah biaya tahunan yang harus dikeluarkan oleh pemerintah dalam perencanaan anggaran.

Tabel 4. Daftar intervensi dan target yang ditetapkan

Kode - Program intervensi	Biaya	Tahun sasaran	Satuan sasaran	Perkiraan satuan sasaran	Tren target (penuh/hilang)
OTR1 – Kendaraan listrik (EV)	Biaya modal	Target tahunan 2022-2030	Dari 70 % pada 2022 menjadi 100% pada	Dari 40% pada tahun 2019 menjadi	Bertahap (penuh)

operasional pemerintah			2025, dan stabil 100% sampai 2030	60% pada tahun 2021	
OTR2 – Standar emisi yang ketat bagi mikrolet untuk memenuhi Euro 4	Biaya modal, biaya subsidi	Target tahunan 2022-2030	Dari 20% pada tahun 2022 menjadi 100% pada tahun 2025, dan stabil 100% hingga tahun 2030	Dari 5% pada tahun 2019 menjadi 15% pada tahun 2021	Bertahap (penuh)
OTR3 – Bus listrik Transjakarta	Biaya modal	Target tahunan 2022-2030	40 unit per tahun mulai tahun 2022	40 unit per tahun mulai 2019	Bertahap (penuh)
OTR4 – Uji emisi untuk kendaraan pribadi	Biaya berulang	Target tahunan 2022-2030	Dari 20% pada tahun 2022 menjadi 100% pada tahun 2026, dan stabil 100% hingga tahun 2030	Dari 5% pada tahun 2019 menjadi 15% pada tahun 2021	Bertahap (penuh)
OTR5 – Peralihan ke angkutan umum	Biaya modal, biaya subsidi	Target tahun 2025 dan 2030	30% pada tahun 2025 dan 60% pada tahun 2030	Dari 13,1% pada tahun 2019 menjadi 17,2% pada tahun 2021, 30% pada tahun 2025, 60% pada tahun 2030	Estimasi (tidak ada)

RES – Konversi dari kompor LPG ke kompor listrik	Biaya modal, biaya subsidi	Target tahun 2024 dan 2030	1,9% pada tahun 2024 dan 10% pada tahun 2030	Dari 0,48% pada tahun 2019 menjadi 1,44% pada tahun 2023, 1,9% pada tahun 2024, 2,5% pada tahun 2025, 10% pada tahun 2030	Hilang (estimasi)
DUST – Pengendalian debu dari aktivitas konstruksi	Biaya berulang	Target tahunan 2022-2030	100% dari tahun 2022	Serupa	Penuh (statis)
OB – Larangan pembakaran sampah kota secara terbuka	Biaya berulang	Target tahunan 2024-2030	100% dari tahun 2024	Serupa	Penuh (statis)

Secara umum, target awal merupakan target kumulatif untuk tahun 2022 hingga 2030. Untuk tahun 2019-2021, kami memperkirakan target dengan menggunakan tren dari tahun 2022-2030. Dari Tabel 4, kami telah melakukan indentifikasi sumber biaya untuk tiap intervensi program. Untuk program-program terkait transportasi:

- OTR1 menggunakan biaya modal, dengan target kumulatif dalam persentase, dan target secara bertahap meningkat hingga tahun 2025; Kendaraan listrik dibeli selama periode tersebut; Terdapat perbedaan biaya operasional antara kendaraan gas dan kendaraan listrik.
- OTR2 menggunakan biaya modal dan biaya subsidi, dengan target kumulatif dalam persentase, dan target secara bertahap meningkat hingga tahun 2025; Jumlah Analisis biaya/manfaat dari strategi pengendalian pencemaran udara di

Jakarta 12 mikrobus dan angkutan umum di Transjakarta diproyeksikan; Jumlah permintaan solar dan selisih harga antara solar bersubsidi dan solar EURO4 tiap tahun dihitung; Uji emisi untuk kendaraan umum juga diperhitungkan.

- OTR3 menggunakan biaya modal, dengan target unit tahunan dalam jumlah kendaraan, dan target konstan hingga tahun 2030; Bus umum listrik dibeli selama periode tersebut; dan biaya pemeliharaan untuk bus umum diperhitungkan.

- OTR4 menggunakan biaya berulang dengan target kumulatif dalam persentase, dan target secara bertahap meningkat hingga tahun 2026; Jumlah kendaraan pribadi, mobil, dan sepeda motor diproyeksikan; Biaya operasional dihitung untuk uji emisi pada kendaraan pribadi; Biaya pengadaan unit uji emisi dan biaya pemeliharaannya dipertimbangkan.

- OTR5 menggunakan biaya modal dan biaya subsidi, dengan target kumulatif dalam persentase, dan target spesifik untuk tahun tertentu; Jumlah penumpang kendaraan pribadi dan jumlah orang yang beralih ke angkutan umum diproyeksikan; Biaya operasional dan pemeliharaan untuk bus umum, Transjakarta, dan KRL Jakarta diproyeksikan.

Untuk program yang tidak berhubungan dengan transportasi:

- RES menggunakan biaya modal dan biaya subsidi, dengan target kumulatif dalam bentuk persentase, dan target tertentu pada tahun tertentu; perkiraan jumlah rumah tangga di Jakarta setiap tahunnya; total biaya konversi ke kompor listrik dihitung; biaya pemeliharaan dipertimbangkan.
- DUST menggunakan biaya berulang, dengan target tahunan dalam persentase dan target konstan; dihitung biaya operasional dan pemeliharaan dampak lingkungan; jumlah perusahaan diproyeksikan.
- OB menggunakan biaya berulang dengan target yang konstan; proyeksi jumlah rumah tangga di Jakarta yang terpakai; biaya operasional dan pemantauan dihitung.

Pengumpulan data

Dalam penelitian ini, kami mengumpulkan data utama dan pendukung dari beberapa sumber. Data utama diambil dari publikasi data resmi, sedangkan data

pendukung berasal dari informasi publik. Beberapa sumber resmi antara lain publikasi data dari: i) peraturan pemerintah, baik di tingkat nasional maupun provinsi; ii) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral; iii) Badan Pusat Statistik, baik di tingkat nasional maupun provinsi; iv) Dinas Lingkungan Hidup Provinsi; v) Dinas Perhubungan Provinsi; dan vi) Perusahaan Kereta Api Indonesia. Kami juga mengambil informasi dari sumber yang tersedia untuk umum, seperti situs berita nasional daring, untuk mendapatkan informasi pendukung tambahan.

Untuk keseluruhan kegiatan program, mengacu pada *Grand Design* Pengendalian Pencemaran Udara dari Pemerintah Jakarta tahun 2022. Untuk program kendaraan listrik pemerintah, mengacu pada Instruksi Presiden Nomor 7 Tahun 2022 tentang Penggunaan Kendaraan Bermotor Listrik pada Instansi Pemerintah. Berdasarkan peraturan tersebut, Pemerintah Jakarta berkewajiban untuk menetapkan regulasi dan alokasi anggaran untuk mempercepat penerapan kendaraan bermotor listrik sebagai kendaraan operasional dinas pemerintah. Data jumlah kendaraan operasional pemerintah di Jakarta diperoleh dari situs data publik Pemerintah Kota. Estimasi jumlah kendaraan di Indonesia berdasarkan data resmi sebelumnya yang diberikan oleh Badan Pusat Statistik Kota. Peningkatan jumlah kendaraan dinas berbanding lurus dengan jumlah pegawai negeri sipil di Jakarta.

Untuk program terkait transportasi umum, kami menggunakan subsidi pemerintah berdasarkan data konsumsi tenaga surya per sektor dan provinsi yang disediakan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Data kuantitas transportasi, seperti jumlah kendaraan di Jakarta, diambil dari statistik transportasi tahun 2016-2021 yang disediakan oleh kantor statistik kota. Tarif retribusi uji emisi dan tarif integrasi seluruh angkutan umum diperoleh dari Dinas Perhubungan Provinsi Jakarta.

Untuk program yang berkaitan dengan rumah tangga, kami memperkirakan jumlah rumah tangga di Jakarta dari data sebelumnya yang diberikan oleh Badan Pusat Statistik. Kami juga mengacu pada program dan anggaran Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jakarta terkait inisiatif peningkatan kualitas udara. Kami mengacu pada perencanaan program dan penganggaran yang dirancang oleh Perusahaan Kereta Api Indonesia untuk menghitung biaya transportasi dengan kereta api umum. Informasi mengenai jumlah kendaraan pemerintah dan bus umum listrik yang akan dibeli diambil dari berita pemerintah, situs berita daring nasional, dan laporan resmi dari organisasi terkait.

Asumsi yang digunakan untuk memperkirakan biaya program

Kami membuat beberapa asumsi yang jelas dalam penelitian ini untuk setiap program, seperti yang dijelaskan di bawah ini. Asumsi ini dijelaskan lebih lanjut dalam Tambahan 1.

- OTR1. Kami asumsikan jumlah kendaraan listrik pemerintah untuk sepeda motor pada tahun 2023 sebanyak 110 unit senilai Rp4,4 miliar. Jumlah kendaraan pemerintah di Jakarta pada tahun 2015 sebanyak 332 unit (139 mobil dan 183 sepeda motor). Tingkat pertumbuhan tahunan kendaraan pemerintah adalah 0,5% untuk mobil dan 1% untuk sepeda motor. Proyeksi tren kendaraan pemerintah diasumsikan linier. Harga mobil EV tahun 2023 Rp299,5 juta, dan harga sepeda motor EV Rp10,3 juta. Biaya operasional per kendaraan konvensional pemerintah sebesar Rp5 juta, sedangkan biaya per EV sebesar Rp10 juta.
- OTR2. Kami ambil jumlah unit angkutan umum (bus dan mikrolet) pada tahun 2019 sebanyak 35.602 unit di Jakarta. Laju pertumbuhan angkutan umum sebesar - 8,12% menurut data 2016-2019. Kami berasumsi bahwa tingkat pertumbuhan negatif akan mencapai pertumbuhan stabil pada tahun 2025, ketika jumlah angkutan umum optimal telah tercapai. Tren angkutan umum yang diproyeksikan adalah linier. Harga solar Dexlite CN51 Rp17.100, dan harga BioSolar CN48 Rp6.800. Pangsa dalam konsumsi nasional penggunaan tenaga surya adalah 15%, dan pangsa angkutan umum dalam total sektor transportasi adalah 10%. Total kebutuhan tenaga surya secara nasional diasumsikan mencapai 14,79 juta liter. Kami berasumsi bahwa pertumbuhan harga minyak akan mencapai sekitar 10%. Harga uji emisi angkutan umum adalah Rp87.000 per kendaraan. Kami juga berasumsi bahwa pada tahun 2025, jumlah angkutan umum akan mencapai jumlah optimal, dimana biaya marjinal sama dengan pendapatan marjinal ($MC=MR$).
- OTR3. Kami ambil harga bus listrik sekitar Rp5 miliar per unit. Tren proyeksi total bus listrik adalah linier. Tingkat pemeliharaan adalah 7,5% dari total biaya tahunan.
- OTR4. Jumlah kendaraan pribadi pada tahun 2019 mencapai 2.805.989 unit mobil dan 8.194.590 unit sepeda motor. Proyeksi tren jumlah kendaraan pribadi diasumsikan linier. Pertumbuhan kendaraan pribadi diasumsikan mencapai 2,59% untuk mobil dan 4,11% untuk sepeda motor. Biaya operasional satuan uji emisi sekitar Rp127.764 per kendaraan. Biaya operasional merupakan biaya sumber daya yang digunakan pemerintah untuk menyelenggarakan program uji emisi

kendaraan pribadi di Jakarta. Peralatan untuk pengujian emisi diadakan setiap 3 tahun. Tingkat pemeliharaan adalah 7,5% dari total biaya tahunan.

- OTR5. Kami mendefinisikan angkutan umum sebagai kereta api dan bus. Jumlah penumpang dalam satu mobil adalah dua, dan untuk sepeda motor adalah satu. Biaya transportasi per hari untuk KRL/Transjakarta diasumsikan sebesar Rp10.000. Cakupan subsidi dimulai dari 50% dari total penduduk yang berpindah pada periode awal hingga 25% pada periode akhir. Tren proyeksi jumlah masyarakat yang beralih ke angkutan umum diasumsikan bersifat eksponensial, sedangkan tren proyeksi penumpang KRL dan Transjakarta bersifat logaritmik. Pertumbuhan total pendapatan di RKL sebesar 15,88%, dan pertumbuhan total pendapatan di Transjakarta sebesar 28,88%. Porsi biaya operasional terhadap total pendapatan KRL/Transjakarta sebesar 80%. Tarif pemeliharaannya adalah 7,5% dari total biaya operasional tahunan.
 - RES. Jumlah rumah tangga pada tahun 2021 diperkirakan sebanyak 2.770.729 rumah tangga. Proyeksi jumlah rumah tangga mengikuti tren eksponensial. Subsidi kompor listrik per rumah tangga diasumsikan sebesar Rp2,5 juta, termasuk biaya operasional (pengadaan, pemasangan, dan sosialisasi). Tingkat pemeliharaan adalah 7,5% dari total biaya operasional tahunan.
 - DUST. Anggaran pengendalian program pada tahun 2022 sebesar Rp256,65 juta, dan jumlah perusahaan di Jakarta pada tahun 2020 sebanyak 1.721 unit. Biaya operasional per unit perusahaan adalah sekitar 10%, dan tingkat pemeliharaan adalah 7,5% dari total biaya operasional tahunan.
- OB. Anggaran untuk pengendalian program pada tahun 2022 adalah Rp544,67 juta. Jumlah total rumah tangga per klaster adalah 1.000 rumah tangga. Biaya operasional per klaster adalah sekitar Rp16 juta, dan biaya pemeliharaan adalah 7,5% dari total biaya tahunan.

Menghitung biaya program

OTR1: Program kendaraan listrik operasional pemerintah

Program ini bertujuan untuk pengadaan kendaraan dinas operasional pemerintah baru (disebut KDO) untuk menggantikan KDO berbahan bakar bensin secara bertahap. Badan Pusat Statistik (selanjutnya disebut BPS) melaporkan statistik transportasi tahunan

untuk semua jenis kendaraan. BPS menunjukkan pertumbuhan tahunan kendaraan di Jakarta sebesar 4,4%[10]. Pemerintah Jakarta mengalokasikan Rp4,4 miliar untuk 110 unit sepeda motor EV dalam perencanaan anggaran 2023[11]. Estimasi harga satuannya adalah Rp40 juta untuk sepeda motor EV dan Rp1 miliar untuk mobil EV[12]. Pada tahun 2022, Pemerintah menargetkan 70% KDO akan bertenaga listrik. Implementasi EV penuh untuk KDO akan ditargetkan pada tahun 2025 hingga 2030[13]. Kami menetapkan target sementara untuk 2019-2021 dari 40 menjadi 60%, dengan asumsi peningkatan sebesar 10% setiap tahun. Dari target tersebut, kami menghitung jumlah pengadaan kendaraan listrik setiap tahunnya dan mengalikannya dengan harga satuan. Untuk mendapatkan total biaya program ini, kami menjumlahkan seluruh biaya yang berasal dari proses pengadaan, pemeliharaan, dan operasional.

OTR2: Standar emisi yang ketat untuk mikrobus agar sesuai dengan Euro4

Program ini bertujuan untuk memberlakukan standar emisi sesuai standar emisi Euro 4 bagi angkutan umum mikrolet dan non Transjakarta (yang nantinya disebut angkutan umum). Target yang ditetapkan adalah 20% angkutan umum harus memenuhi standar tersebut pada tahun 2022. Untuk memenuhi standar tersebut, kandungan N₂O pada kendaraan berbahan bakar bensin tidak boleh melebihi 80 miligram per kilometer, kendaraan diesel 250 miligram per kilometer, dan kendaraan diesel 25 miligram per kilometer. materi partikulat (PM). Untuk memenuhi persyaratan tersebut, dua faktor penting yang menentukan prosesnya: kualitas bahan bakar dan kualitas mesin kendaraan. Hampir seluruh pabrikan otomotif nasional telah mengadopsi teknologi yang menghasilkan mesin yang memenuhi standar emisi Euro 4. Oleh karena itu, cara angkutan umum beralih ke bahan bakar yang lebih baik untuk memenuhi standar juga penting.

BPS menerbitkan data tahunan mengenai mikrolet dan angkutan umum di Jakarta[12], [14]. Angkutan umum meliputi bus besar, sedang dan kecil, bus pengumpan kecil, dan bus antar kota. Berdasarkan laporan, pada tahun 2016 sebanyak 45.900 unit dan pada tahun 2019 sebanyak 35.600 unit, artinya jumlah kendaraan angkutan umum di Jakarta mengalami penurunan sebesar 8,12% per tahun. Untuk memproyeksikan jumlah total angkutan umum yang tersedia pada tahun tertentu, kami menggunakan tren linier. Dari angka-angka ini, kami menghitung total kepatuhan angkutan umum terhadap standar Euro 4 berdasarkan target tahunan yang tercantum pada Tabel 4.

Berdasarkan data Kementerian ESDM[15], total konsumsi solar di Indonesia diperkirakan sebesar 1,59 juta kiloliter pada tahun 2021. Berdasarkan data tersebut, total penggunaan solar pada sektor industri sebesar 571.000 kiloliter, sedangkan sektor transportasi menggunakan 933.600 kiloliter solar atau 62% dari total konsumsi solar. konsumsi solar (dalam penelitian ini kami menggunakan 60%). Dengan menggunakan interval tahun 2011 hingga 2018, rata-rata konsumsi solar bersubsidi di Indonesia berkisar 14,7 juta liter/tahun. Berdasarkan BPS[16], jumlah kendaraan di Jakarta pada tahun 2021 diperkirakan sekitar 21,8 juta unit atau 15% dari total kendaraan nasional. Sumber data lain dari BPS juga menunjukkan jumlah kendaraan angkutan umum dibandingkan total kendaraan di Jakarta yaitu sekitar 10%.[14]. Dari informasi tersebut, kami memperkirakan penggunaan solar untuk angkutan umum di Jakarta setiap tahunnya sekitar 133,1 juta liter atau 3.700 liter per unit.

Sektor angkutan umum mungkin tidak tertarik untuk segera beralih ke bahan bakar yang lebih baik, karena biaya marjinal yang mereka peroleh saat ini lebih tinggi dibandingkan manfaat marjinal dari penggunaan bahan bakar dengan harga yang lebih tinggi. Bahan bakar yang dijual Pertamina ada dua jenis, yakni Pertamina Dex dan Dexlite. Untuk memenuhi standar Euro 4 sebaiknya digunakan Dexlite CN51, mengingat harga per liternya lebih rendah dari Pertamina Dex dan memiliki CN 51 (lebih tinggi dari solar bersubsidi bernama BioSolar). Harga Dexlite CN51 Rp17.100/liter. Untuk memungkinkan peralihan angkutan umum mengkonsumsi Dexlite CN51, diperlukan dukungan subsidi dari pemerintah. Standar harga bensin yang dapat diterima adalah maksimal Rp6.800/liter, yang merupakan harga BioSolar yang biasa digunakan angkutan umum. Dengan demikian, besaran minimal subsidi yang perlu disiapkan pemerintah adalah Rp10.300/liter (60% dari harga eceran).

Kami menghitung total biaya dengan memperkirakan potensi subsidi bagi angkutan umum agar mereka dapat mengonsumsi bahan bakar dengan lebih baik. Jumlah total kendaraan angkutan umum yang memenuhi standar Euro 4 pada tahun masing-masing dikalikan dengan konsumsi solar tahunan dan jumlah subsidi solar yang dibutuhkan per liter. Hasil akhir perhitungan dijumlahkan sehingga diperoleh total biaya pelaksanaan program OTR2.

OTR3: Bus listrik Transjakarta

Program bus listrik umum bertujuan untuk menambah jumlah bus Transjakarta listrik non mikro di Jakarta. Program tersebut menargetkan tersedia 40 unit bus listrik Transjakarta pada tahun 2022, dan meningkat menjadi 360 unit bus listrik pada tahun 2030. Harga satu unit bus listrik diperkirakan mencapai Rp5 miliar [17]. Biaya operasional merupakan total biaya pengadaan bus listrik pada tahun yang bersangkutan. Agar bus listrik ini dapat berfungsi optimal, diperlukan 7,5% biaya operasional tahunan sebagai biaya pemeliharaan. Total biaya pelaksanaan program ini dihitung dengan menjumlahkan biaya operasional dan biaya pemeliharaan.

OTR4: Uji emisi kendaraan pribadi

Tujuan dari program ini adalah untuk menerapkan uji emisi untuk kendaraan pribadi secara berkala. Pada tahun 2022, 20% dari total jumlah kendaraan pribadi ditargetkan untuk memenuhi standar emisi yang ditetapkan oleh DKI Jakarta. Berdasarkan data BPS [18], jumlah sepeda motor pribadi di DKI Jakarta adalah 14,1 juta unit pada tahun 2017 dan 16,5 juta unit pada tahun 2021. Jumlah mobil pribadi pada tahun 2017 dan 2021 masing-masing sekitar 3,7 dan 4,1 juta unit. Pertumbuhan tahunan kendaraan pribadi adalah 4,1% untuk sepeda motor dan 2,59% untuk mobil. Kami memperkirakan jumlah kendaraan pribadi untuk tahun 2022-2030 dengan menggunakan tren linier.

Berdasarkan penganggaran pemerintah untuk tahun 2022 di DKI Jakarta [14], anggaran operasional untuk uji emisi adalah sekitar Rp76 juta dan anggaran pengadaan peralatan uji emisinya sekitar Rp1,2 miliar. Kami mengasumsikan bahwa anggaran tersebut hanya untuk transportasi jalan raya dengan kendaraan pribadi. Menurut Sistem Informasi Uji Emisi, hanya 550.800 mobil pribadi dan 49.700 sepeda motor pribadi yang Analisis biaya/manfaat dari strategi pengendalian pencemaran udara di Jakarta 19 telah diuji emisinya pada tahun 2022 (berbeda dengan jumlah yang ditargetkan pada Gambar 6). Dengan menggunakan informasi ini, biaya operasional per unit kendaraan adalah sekitar Rp127.700. Selain anggaran operasional dan pengadaan, kami juga mempertimbangkan biaya pemeliharaan. Biaya pemeliharaan tahunan diperkirakan sebesar 7,5% dari biaya operasional tahunan. Kami menghitung total biaya untuk melaksanakan program uji emisi di DKI Jakarta dengan menjumlahkan biaya operasional dan pemeliharaan, kemudian mengalikannya dengan jumlah kendaraan pribadi yang ditargetkan untuk diuji emisinya.

OTR5: Peralihan ke angkutan umum

Program tersebut bertujuan untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi dan meningkatkan penggunaan transportasi umum di Jakarta. Menurut data BPS[18], jumlah kendaraan pribadi pada tahun 2021 sebanyak 4,1 juta mobil dan 16,5 juta sepeda motor. Program ini menargetkan 30% jumlah penumpang pribadi akan beralih ke angkutan umum pada tahun 2025. Persentase ini akan meningkat menjadi 60% pada tahun 2030. Asumsi linier digunakan untuk memperkirakan jumlah penumpang pribadi yang beralih ke angkutan umum.

Untuk mengalihkan penumpang pribadi ke angkutan umum, diperlukan program subsidi. Kami memperkirakan total subsidi dengan menghitung kesediaan membayar penggunaan angkutan umum berdasarkan tarif maksimum harian terintegrasi untuk bus yang dikeluarkan oleh Jakarta [19]. Kami berasumsi bahwa hanya separuh penumpang swasta yang akan menerima subsidi pada tahun 2022, yang secara bertahap menurun menjadi 25% pada tahun 2030.

Selain subsidi untuk mengubah perilaku masyarakat dan mendorong mereka beralih ke angkutan umum, transisi ini akan meningkatkan biaya operasional karena jumlah penumpang yang semakin banyak. Oleh karena itu, biaya operasional per penumpang harus ditentukan. Biaya operasional tahunan diperoleh dari laporan tahunan Transjakarta [20] dan perkeretaapian Indonesia[21]. Jumlah penumpang angkutan umum diperoleh dari BPS[12], [14],[22]. Tren logaritmik digunakan untuk memperkirakan jumlah penumpang angkutan umum pada tahun 2020-2030.

Total biaya pelaksanaan program ini terdiri dari total subsidi yang diberikan pemerintah, total biaya operasional, dan total biaya pemeliharaan yang dikeluarkan oleh penyedia angkutan umum.

RES: Konversi kompor LPG ke kompor listrik

Program ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan kompor LPG dan meningkatkan penggunaan kompor listrik pada rumah tangga di wilayah perkotaan Jakarta, dengan target sekitar 1,9% rumah tangga beralih ke kompor listrik pada tahun 2024 dan 10% rumah tangga pada tahun 2030. Berdasarkan data BPS[23], jumlah rumah tangga di Jakarta pada tahun 2020 dan 2021 mencapai 2,7 juta jiwa. Dari data tersebut kami memproyeksikan jumlah rumah tangga hingga tahun 2030 dengan menggunakan

tren eksponensial. Kemudian kami menghitung jumlah rumah tangga sasaran penggunaan kompor listrik sesuai target tahunan program ini.

Oleh karena itu, keseluruhan biaya pelaksanaan program ini merupakan hasil perkalian antara subsidi yang diberikan dan jumlah rumah tangga sasaran pada tahun-tahun yang bersangkutan, ditambah biaya pemeliharaan tahunan. Untuk memastikan program tersebut dapat dilaksanakan dengan sukses, program subsidi kompor listrik harus diberikan oleh pemerintah.

DUST: Pengendalian debu dari aktivitas konstruksi

Program ini bertujuan untuk menerapkan standar emisi pada kegiatan konstruksi di Jakarta. Ditargetkan proses pengendalian ini berhasil mencapai target 100% setiap tahunnya seperti terlihat pada Tabel 4. Dinas Lingkungan Hidup Jakarta memiliki anggaran sekitar Rp241 juta pada tahun 2021 dan Rp256 juta pada tahun 2022 untuk pemantauan pelaksanaan pengendalian lingkungan hidup. program pemantauan[24]. Kami menggunakan angka-angka ini untuk memproyeksikan biaya pemantauan di tahun-tahun mendatang menggunakan tren linier.

OB: Larangan pembakaran sampah kota secara terbuka

Program tersebut bertujuan untuk mengendalikan sampah rumah tangga dan melarang pembakaran terbuka di Jakarta dan diharapkan mencapai target 100% pada tahun 2025. Anggaran yang disiapkan Jakarta sebesar Rp472 juta pada tahun 2021 dan Rp544 juta pada tahun 2022 [24]. Anggaran tersebut mencakup pengendalian sampah plastik sekali pakai, pemantauan sampah rumah tangga, dan fasilitasi bank sampah di Jakarta. Tren linier digunakan untuk memperkirakan kebutuhan anggaran pada tahun 2023-2030.

Penilaian Manfaat Kesehatan

Data dasar

Kami memasukkan dampak kesehatan jangka panjang (kronis) dari polusi udara, yaitu kematian yang disebabkan oleh penyebab tertentu (akibat penyakit jantung koroner, stroke, penyakit paru obstruktif kronik, diabetes melitus tipe 2, infeksi saluran pernapasan bagian bawah, dan kanker paru-paru), kematian bayi, hasil kelahiran yang buruk (berat badan lahir rendah, bayi kecil untuk usia kehamilan, dan bayi prematur), dan kasus

stunting. Hasil kesehatan dijelaskan lebih lanjut dalam Lampiran 2. Agar lebih konsisten, kami menggunakan tahun 2018 sebagai tahun dasar. Data dasar kesehatan diperoleh melalui laporan kesehatan yang diterbitkan baik secara lokal maupun global. Sebagai contoh, data baseline yang terkait dengan hasil kesehatan anak dikumpulkan dari Survei Demografi dan Kesehatan Indonesia, Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas), Status Gizi Balita, dan Buku Saku Nasional Pemantauan Status Gizi.

Proyeksi data kesehatan

Kami menggunakan laporan nasional untuk memproyeksikan populasi Indonesia dari tahun 2018-2030 [25]. Jumlah populasi total dan populasi berdasarkan usia digunakan untuk memperkirakan jumlah hasil kesehatan yang termasuk dalam penelitian ini. Untuk memperkirakan angka-angka tersebut, kami menghitung tingkat prevalensi tahunan tiap hasil kesehatan dari data historis yang dikumpulkan dari laporan kesehatan yang sudah ada dengan menggunakan regresi linier sederhana. Kami mengasumsikan bahwa tingkat prevalensi tahunan konstan sepanjang tahun.

Estimasi manfaat kesehatan

Untuk memperkirakan kematian yang disebabkan oleh polusi $PM_{2.5}$, kami menggunakan metodologi yang direkomendasikan oleh GBD Study 2019 [26]. Metodologi yang lebih terperinci untuk memperkirakan manfaat kesehatan dijelaskan di artikel lain [27]. Tabel 5 menyajikan risiko relatif (RR) yang digunakan untuk memperkirakan manfaat kesehatan dari strategi pengendalian polusi udara.

Tabel 5. Risiko relatif yang digunakan untuk memperkirakan manfaat kesehatan dari strategi pengendalian polusi udara (untuk perubahan paparan $PM_{2.5}$ sebesar $10 \mu g/m^3$)

Titik akhir kesehatan	Usia	RR (95% CI)	Referensi
Hasil kesehatan anak-anak			
Kematian bayi, semua penyebabnya	1-12 bulan	1.09 (1.04, 1.14)	Heft-Neal dkk. 2018 [28]
Pengerdilan	< 5 tahun	1.19 (1.10, 1.29) ^a	Pun dkk. 2021 [29]
Hasil kelahiran yang merugikan			

Berat badan lahir rendah, cukup bulan	Saat lahir	1.18 (1.06, 1.33)	Liu dkk. 2019 [30]
Kelahiran prematur	Saat lahir	1,007 (1,005, 1,08)	Liu dkk. 2019 [30]
Kecil untuk usia kehamilan	Saat lahir	1.08 (1.03, 1.13)	Pun dkk. 2021 [29]

^aEstimasi RR untuk pencemaran udara rumah tangga, dengan asumsi yang mendasari dampak pencemaran udara rumah tangga adalah sama dengan dampak pencemaran udara ambien.

Kecuali total kematian yang disebabkan oleh PM_{2.5}, perkiraan RR diterapkan untuk memperkirakan beban penyakit spesifik yang disebabkan oleh polusi udara menggunakan Persamaan. 2:

$$\Delta y = y_0 [1 - e^{-\beta(\Delta C)}] \quad \text{Persamaan. 2}$$

Di mana:

- Δy = Jumlah hasil kesehatan yang disebabkan oleh faktor risiko
- y_0 = Jumlah titik akhir kesehatan dasar selama periode penelitian
- β = Koefisien sebagai kemiringan hubungan log-linear antara konsentrasi polusi udara ambien dan hasil kesehatan, atau eksponensial RR
- ΔC = Perbedaan konsentrasi PM_{2.5} (BAU-RED) (dalam µg/m³)

Untuk menghitung kematian yang dapat dicegah jika konsentrasi PM_{2.5} menurun, kami menggunakan Persamaan berikut. 3 dan 4:

$$\Delta y^* = y_0 \times PAF_{\Delta C} \quad \text{Persamaan. 3}$$

$$PAF_{\Delta C} = \frac{RR_{MR-BRT}(\Delta C) - 1}{RR_{MR-BRT}(\Delta C)} \quad \text{Persamaan. 4}$$

Di mana:

- Δy^* = Angka kematian yang dapat dihindari
- y_0 = Jumlah dasar kematian selama periode penelitian
- $PAF_{\Delta C}$ = Fraksi yang dapat diatribusikan secara proporsional, yang mewakili fraksi angka kematian yang disebabkan oleh perubahan tingkat PM_{2.5} dalam skenario RED dan BAU (ΔC)

$RR_{MR-BRT}(\Delta C)$ = Risiko relatif (dari model MR-BRT) yang disebabkan oleh paparan $PM_{2.5}$ pada konsentrasi ΔC (BAU-MERAH)

Penilaian Manfaat Ekonomi

Bagian ini menunjukkan metode rinci untuk melakukan estimasi ekonomi. Seluruh asumsi yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 6.

Menentukan biaya satuan per penyakit

Kami menggunakan data sampel BPJS Kesehatan gelombang ketiga tahun 2019 yang dipublikasikan pada tahun 2021 yang berisi sampel data peserta Jaminan Kesehatan Nasional Indonesia (JKN). Sampel dipilih secara acak dari strata peserta JKN periode 2019. Data tersebut antara lain terdiri dari: 1. Kepesertaan; 2. Kunjungan peserta JKN yang berobat ke Fasilitas Kesehatan Tingkat Pertama (FKTP); 3. Kunjungan peserta JKN yang berobat ke Fasilitas Kesehatan Rujukan Tingkat Lanjutan (FKRTL); dan 4. Biaya pengobatan. Kami membandingkan data antara data sampel BPJS gelombang 2 (2018), gelombang 3 (2019), dan gelombang 4 (2020). Kami menemukan bahwa data pada tahun 2020 ada tren yang benar-benar berbeda, kemungkinan besar disebabkan oleh COVID19, sedangkan data tahun 2019 menunjukkan tren yang relatif sama dengan tahun 2018. Oleh karena itu, kami menggunakan data tahun 2019 dalam analisis kami untuk mewakili estimasi yang lebih baru. Dengan menggunakan data peserta JKN yang berobat ke FKRTL, kami memperkirakan bahwa secara nasional terdapat 1.598.642 kunjungan rawat inap atau 138.405.670 kunjungan pasien setelah dilakukan pembobotan. Sampel di Provinsi DKI Jakarta pada tahun 2018 terdiri dari 46.850 kunjungan rawat jalan dan rawat inap (atau 7.227.665 kunjungan setelah dilakukan pembobotan), serta 3.948 kunjungan rawat inap (atau 576.733 kunjungan setelah dilakukan pembobotan).

Tabel 6. Asumsi yang digunakan untuk perkiraan dampak ekonomi

TIDAK	Anggapan	Jumlah
1	Nilai Tukar USD 2019 (Rp) ¹	14.136
2	Rata-rata Inflasi Pelayanan Kesehatan (2014-2019) ²	4,09%
3	Mortalitas* & Kematian bayi	

¹<https://www.exchangerates.org.uk/USD-IDR-spot-exchange-rates-history-2019.html>

²<https://www.statista.com/statistics/1005580/indonesia-annual-inflation-rate-of-healthcare/>

TIDAK	Anggapan	Jumlah
	VSL AS 2019 (USD) ³	10.900.000
	PPP Indonesia ke (USD) ⁴	4.752
	VSL AS 2019 (Rp)	51.796.800.000
	PNB Kapita Indo Saat Ini (Rp) ⁵	56.944.774
	PNB Kapita AS Saat Ini (USD) ⁶	66.289
	PNB Kapita AS Saat Ini (Rp)	315.005.328
	Elastisitas	1.5
	VSL Indonesia 2019 (PNB Capita USA - Indo PPP) (Rp)	3.981.134.876
	VSL Indonesia 2019 (PNB Capita USA - Indo PPP) (USD)	837.781
4	Pengerdilan	
	Biaya Pencegahan Stunting 2013 (USD) ⁷	102,99
	Biaya Pencegahan Stunting 2019 (USD) disesuaikan dengan inflasi layanan kesehatan	128.26
	Biaya Pencegahan Stunting 2019 (Rp) disesuaikan dengan inflasi layanan kesehatan	1.813.189,34
5	Kelahiran prematur	
	<i>Biaya Langsung</i>	
	Biaya/Kasus (2019) (USD) ⁸	675
	<i>Biaya Tidak Langsung</i>	
	Upah Minimum Jakarta (2019)/bulan (USD)	279
	Hari kerja/bulan	20
	Upah Minimum Jakarta (2019)/hari (USD) ⁹	14
	Tempat tinggal orang tua (orang)	2
	Masa rawat inap (hari) ¹⁰	23
	<i>Biaya/kasus Tidak Langsung (2019) (USD)</i>	633.49
	<i>Total Biaya (langsung+tidak langsung) (USD)</i>	1.308,91
6	Low Birth	
	<i>Biaya Langsung</i>	
	Biaya/Kasus (2019) (USD) ¹¹	828
	<i>Biaya Tidak Langsung</i>	
	Upah Minimum Jakarta (2019)/bulan (USD)	279
	Hari kerja/bulan	20

³<https://www.transportation.gov/office-policy/transportation-policy/revised-departmental-guidance-on-valuation-of-a-statistical-life-in-economic-lysis>

⁴<https://data.worldbank.org/indicator/PA.NUS.PPP?locations=ID>

⁵<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.CN?locations=ID>

⁶<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.CN?locations=US>

⁷<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/mcn.12080>

⁸Contoh BPJS 2019

⁹<https://invest.jakarta.go.id/labor>

¹⁰Contoh BPJS 2019

¹¹Contoh BPJS 2019

TIDAK	Anggapan	Jumlah
	Upah Minimum Jakarta (2019)/hari (USD) ¹²	14
	Tempat tinggal orang tua (orang)	2
	Masa rawat inap (hari) ¹³	6
	<i>Biaya/kasus Tidak Langsung (2019) (USD)</i>	159,86
	<i>Total Biaya (langsung+tidak langsung) (USD)</i>	987.54
7	Kecil untuk usia kehamilan	
	<i>Total Biaya (langsung+tidak langsung) (USD)*</i>	1.308,91

*Total biaya untuk usia kehamilan kecil diasumsikan sama dengan kelahiran prematur karena kurangnya data

Memperkirakan hari rawat inap

Rata-rata lama rawat inap dihitung dari data sampel peserta JKN yang berobat di FKRTL. Kami memperkirakan rata-rata lama hari rawat inap pada tahun 2019 untuk tiap penyakit dengan mengikuti kode ICD-10 yang sama dengan yang digunakan dalam memperkirakan dampak kesehatan di Provinsi DKI Jakarta.

Memperkirakan biaya pelayanan kesehatan rawat inap

Kami memperkirakan biaya pengobatan rawat inap per penyakit menggunakan biaya yang tersedia pada data sampel BPJS tahun 2019. Kami membagi total biaya pengobatan per tahun untuk setiap penyakit dengan jumlah kunjungan masing-masing penyakit dari data yang sama untuk memperkirakan biaya satuan pengobatan per kasus. Jenis penyakit tersebut serupa dengan jenis penyakit yang diperkirakan dalam perhitungan dampak kesehatan (menggunakan kode ICD-10 yang sama). Kami mengalikan biaya satuan dengan jumlah kasus per penyakit untuk mendapatkan total biaya pengobatan akibat polusi udara. Nilai nominal biaya pengobatan kami sesuaikan dengan tingkat inflasi biaya kesehatan di Indonesia [31].

Biaya di luar layanan kesehatan

Kami mengasumsikan bahwa pasien yang menjalani rawat inap akan kehilangan produktivitas selama masa inap, yang mengakibatkan adanya biaya di luar perawatan kesehatan. Kami menggunakan upah minimum bulanan Provinsi DKI Jakarta sebagai

¹²<https://invest.jakarta.go.id/labor>
¹³Contoh BPJS 2019

proksi nilai produktivitas. Kami membagi nilai bulanan ini dengan dua puluh hari untuk mendapatkan angka kehilangan produktivitas harian. Kami mengalikan kehilangan produktivitas harian dengan rata-rata hari rawat inap untuk tiap kasus per penyakit untuk mendapatkan kehilangan produktivitas per kasus.

Memperkirakan nilai tahun hidup statistik (VSL)

Estimasi kami terhadap VSL Indonesia didasarkan pada pendekatan yang dikembangkan oleh Robinson *et al* [32], menggunakan Persamaan. 5:

$$VSL_{Target} = VSL_{US} \times \left(\frac{GNI_{Target}}{GNI_{US}} \right)^{elasticity} \quad \text{Persamaan. 5}$$

Selanjutnya, kami menggunakan elastisitas 1,5, mengikuti penelitian yang sama oleh Robinson *et al.* untuk membuatnya konsisten [32]. Kami menemukan VSL 2019 di Indonesia adalah US\$837.781. Kami mengalikan jumlah kematian akibat polusi dengan jumlah VSL untuk menentukan nilai kerugian akibat kematian.

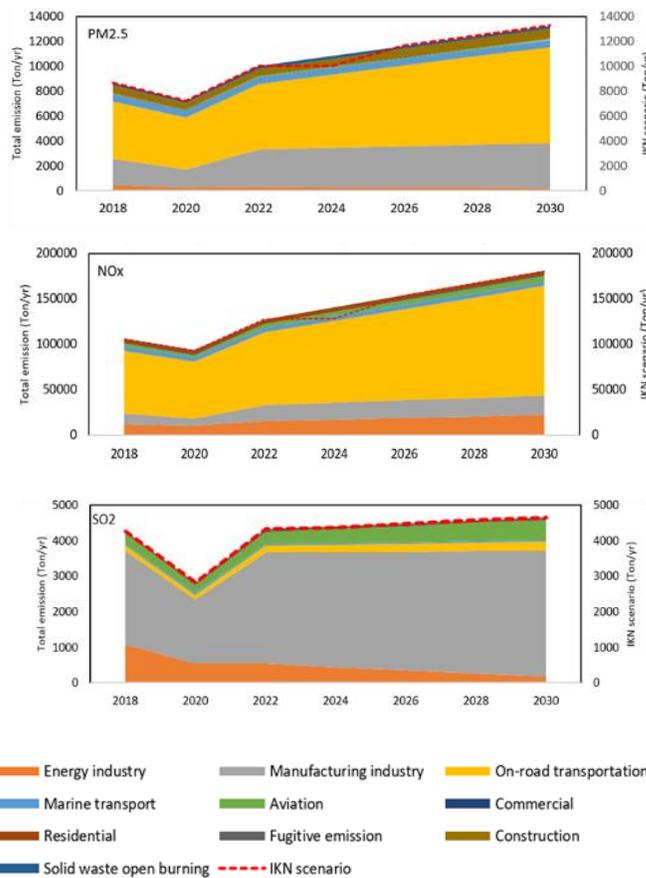
Memperkirakan dampak stunting

Biaya penanganan stunting diproksikan dengan biaya intervensi pencegahan stunting. Hal ini mengikuti penelitian yang dilakukan Hoddinott *et al* [33], dimana biaya pencegahan stunting dianggap sebagai nilai yang kita peroleh dengan mencegah stunting. Kami menyesuaikan biaya pencegahan stunting pada tahun 2013 menjadi nilai tahun 2019 menggunakan perkiraan inflasi layanan kesehatan Indonesia [31].

HASIL

Pemodelan Dampak Kualitas Udara dari Skenario Emisi Proyeksi emisi berdasarkan skenario BAU

Tren emisi PM_{2.5}, NOx dan SO₂ dalam skenario BAU disajikan pada Gambar 3. Perlu diketahui bahwa skenario ini juga telah mempertimbangkan mobilisasi pegawai negeri sipil dari Jakarta ke ibu kota baru di Pulau Kalimantan (skenario IKN). Asumsi perpindahan 1,5 juta orang pada tahun 2024 juga akan mempengaruhi emisi transportasi dan pemukiman. Emisi PM_{2.5}, NOx dan SO₂ meningkat selama periode 2018-2030 namun sedikit penurunan terlihat pada tahun 2020 karena pandemi COVID-19. Peningkatan laju setiap polutan udara sebagian besar didorong oleh peningkatan laju data aktivitas sumber bergerak di jalan raya, kecuali SO₂, yang sebagian besar disumbangkan oleh sumber emisi industri. Dalam skenario BAU-IKN, peningkatan emisi sedikit berkurang karena dampaknya terhadap pengurangan data aktivitas di sektor transportasi dan perumahan.



Gambar 3. Proyeksi emisi PM_{2.5}, NOx, dan SO₂ dalam skenario BAU

Pengurangan emisi

Hasil pengurangan emisi PM_{2.5}, NO_x dan SO₂ disajikan pada Tabel 7. Kisaran pengurangan emisi PM_{2.5} tertinggi pada tahun 2030 terlihat pada OTR4 sebesar 1.245 – 1.316, diikuti oleh OTR5 sebesar 952 – 1.000 Ton/tahun, masing-masing untuk tahun 2025 dan 2030. OTR4 menekankan target ambisius pengujian emisi yang akan dilakukan untuk semua PC yang akan ditindaklanjuti dengan pemeliharaan untuk memenuhi Euro4. Langkah ini menghasilkan pengurangan emisi yang signifikan untuk emisi PM_{2.5} serta emisi NO_x dan SO₂. Hal ini harus disertai dengan peningkatan kualitas bahan bakar untuk mengurangi kandungan sulfur hingga di bawah 50 ppm. OTR5 berfokus pada peralihan kolektif ke sistem transportasi umum (yaitu, MRT, LRT, busway) sebesar 60% pada tahun 2030, yang dapat membantu mengurangi penggunaan kendaraan pribadi, sehingga dapat mengurangi kilometer kendaraan yang ditempuh (VKT) dari MC dan PC.

Tabel 7. Pengurangan emisi seluruh tindakan untuk PM_{2.5}, NO_x dan SO₂ (dalam ton/tahun)

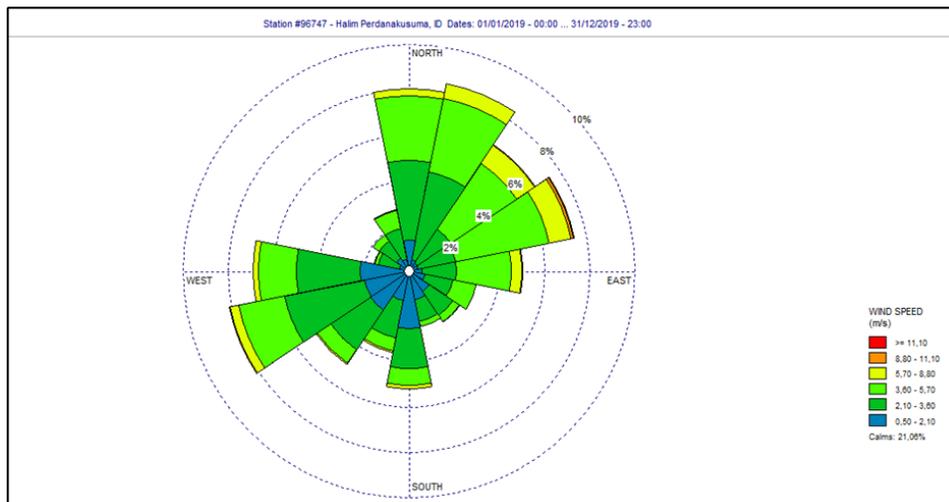
Kode	Tindakan	PM _{2.5}		NO _x		SO ₂	
		2025	2030	2025	2030	2025	2030
OTR1	Kendaraan listrik operasional pemerintah (semua armada)	105	111	207	218	54	58
OTR2	Standar emisi yang ketat bagi mikrolet untuk memenuhi Euro 4	460	486	7.890	8.305	141	152
OTR3	Bus listrik Transjakarta (tambahan unit setiap tahun)	272	288	670	705	111	119
OTR4	Uji emisi rutin (target untuk memenuhi setidaknya Euro 2)	1.245	1.316	5.726	6.027	226	243
OTR5	Peralihan ke angkutan umum	952	1.006	20.614	21.699	40	43
RES	Konversi dari kompor LPG ke kompor listrik	4	4	578	608	6	6
DUST	Pengendalian debu dari aktivitas konstruksi	665	702	NA			

OB	Larangan pembakaran sampah kota secara terbuka	231	244	86	91	14	15
Total pengurangan emisi untuk implementasi kolektif (ton/tahun)		3.935	4.157	35.770	37.653	592	637

Catatan: NA = tidak berlaku, karena langkah ini hanya menargetkan pengurangan emisi PM

Pemodelan meteorologi

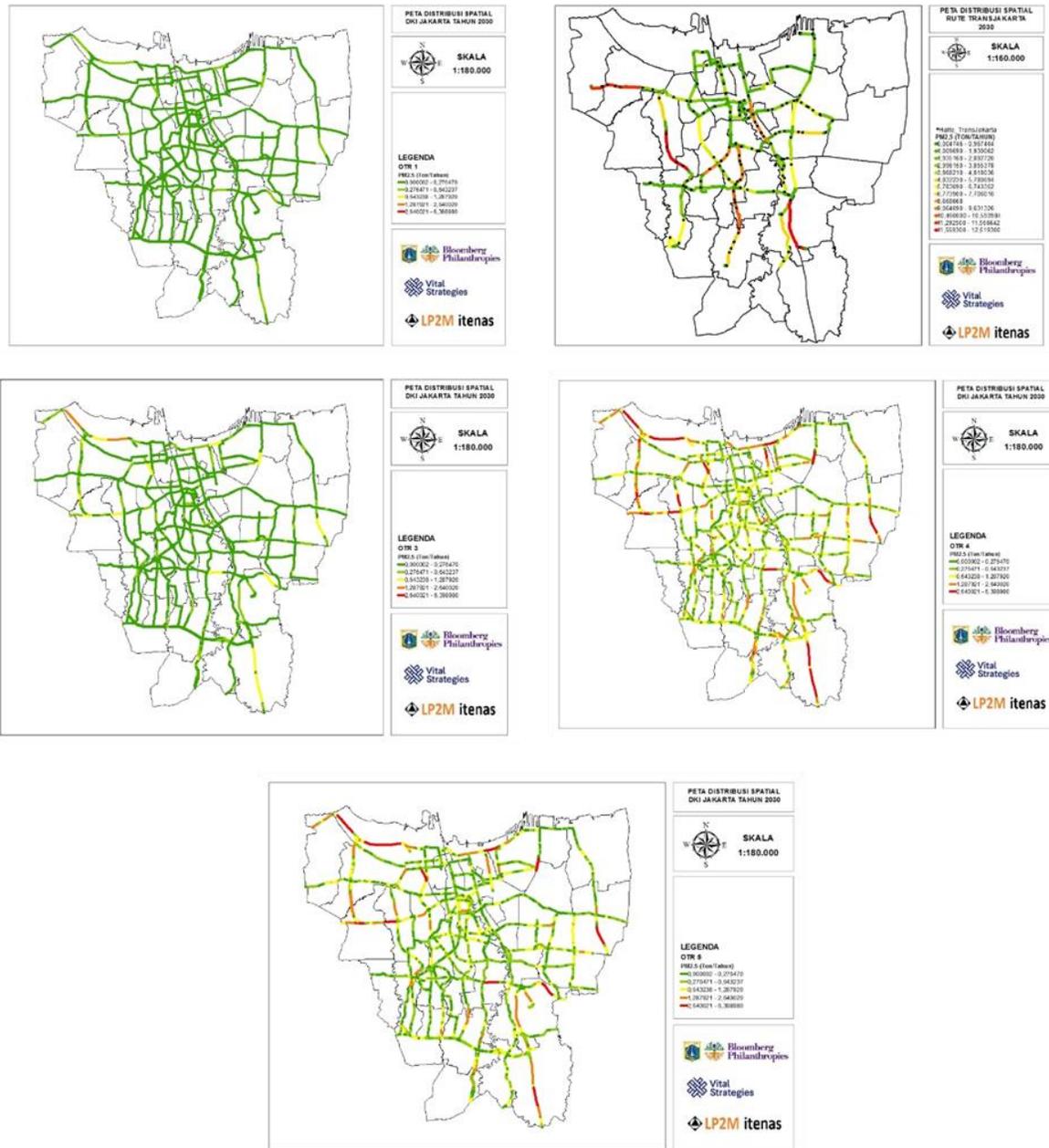
Parameter meteorologi yang diperlukan oleh AERMET terdiri dari dua kelompok: i) parameter meteorologi permukaan (yaitu, kecepatan dan arah angin, suhu, kelembapan relatif, tutupan awan) yang diambil dari stasiun meteorologi standar yang terletak di Bandara Halim Perdanakusuma, ii) parameter udara atas yang diambil dari Bandara Soekarno Hatta (kecepatan dan arah angin, tekanan, suhu embun, kelembapan relatif) untuk tahun 2019. Sebagai catatan, data udara atas tidak diukur di Bandara Halim Perdanakusuma sehingga data yang tersedia di Bandara Soekarno Hatta diambil sebagai gantinya. Kondisi meteorologi permukaan tidak diambil dari bandara Soekarno Hatta karena lokasinya yang dekat dengan daerah pantai, oleh karena itu data tersebut diambil dari Halim Perdanakusuma. Mawar angin untuk tahun 2019 disajikan pada Gambar 4.



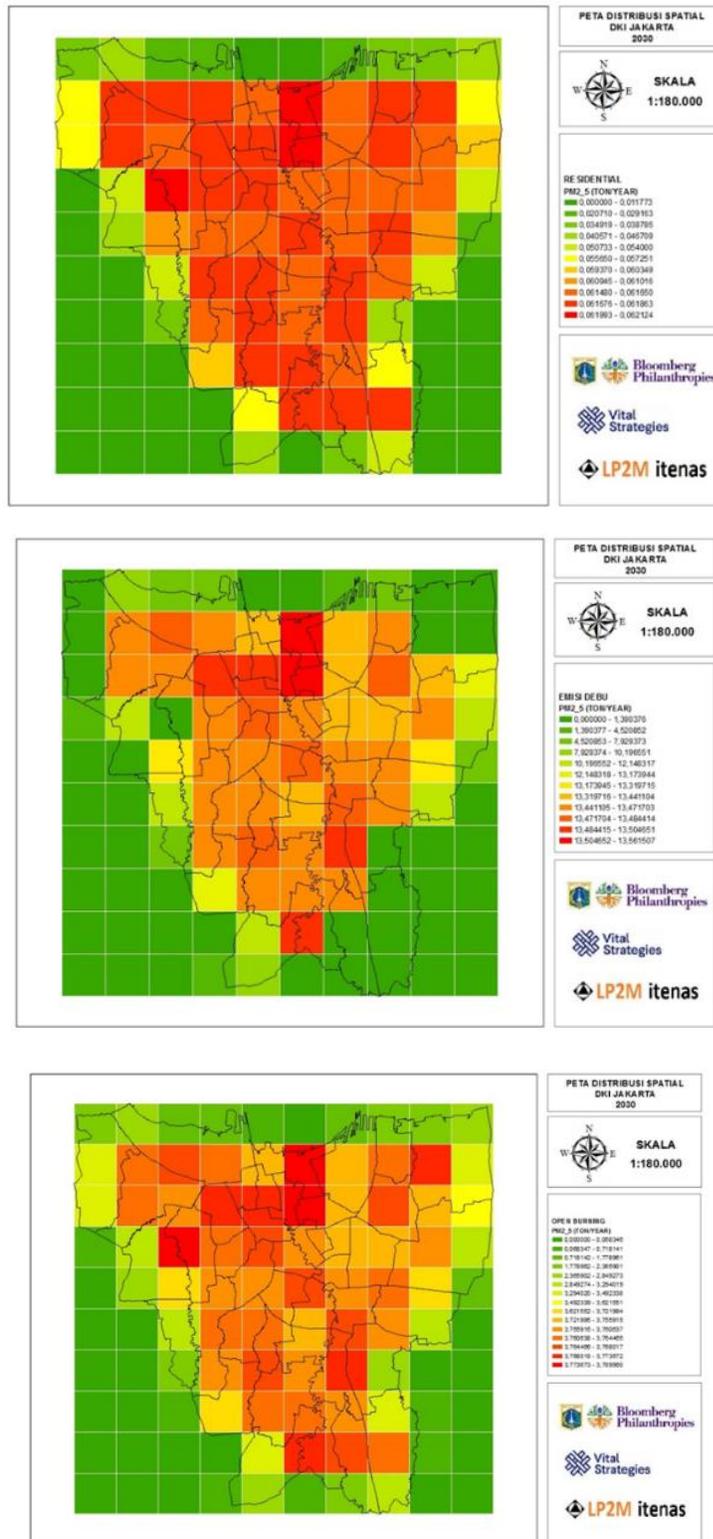
Gambar 4: Angin naik di Bandara Halim Perdanakusuma tahun 2019. Sepanjang tahun, arah angin didominasi oleh angin Timur Laut (NE), diikuti oleh arah angin Barat Daya (SW). Hal ini mencerminkan pengaruh angin sinoptik yang mengikuti sirkulasi monsun. Angin Timur Laut dicirikan oleh kecepatan angin sedang yaitu 3-5,7 m/s, sedangkan angin barat daya memiliki kecepatan angin lebih rendah dibandingkan timur laut.

Distribusi spasial emisi

Distribusi spasial pengukuran emisi yang relevan untuk sumber jalur disajikan pada Gambar 5, sedangkan sumber wilayah disajikan pada Gambar 6. Kepadatan emisi lebih tinggi pada OTR5 dan OTR4 dan tersebar dengan baik di sepanjang jaringan jalan utama di Jakarta. Pengurangan emisi yang lebih sedikit terlihat pada OTR1 dan OTR3, karena keduanya mempunyai pengurangan emisi paling rendah dibandingkan dengan OTR1 dan OTR3 lainnya. Seperti terlihat pada Gambar 6, kepadatan penurunan emisi tertinggi terdapat pada DUST, yang menekankan penerapan langkah-langkah untuk mengendalikan emisi partikel dari kegiatan konstruksi. Hal ini diikuti oleh skenario OB yang melarang pembakaran sampah kota secara terbuka di Jakarta, yang menunjukkan kepadatan emisi yang lebih tinggi terutama di wilayah yang padat penduduk. Catatan: Kepadatan pengurangan emisi ditampilkan dalam skala warna yang berbeda.



Gambar 5. Distribusi spasial pengurangan emisi untuk transportasi jalan raya merupakan tindakan yang relevan.



Gambar 6. Distribusi spasial penurunan emisi menurut sumber wilayah

Dampak kualitas udara PM_{2.5}

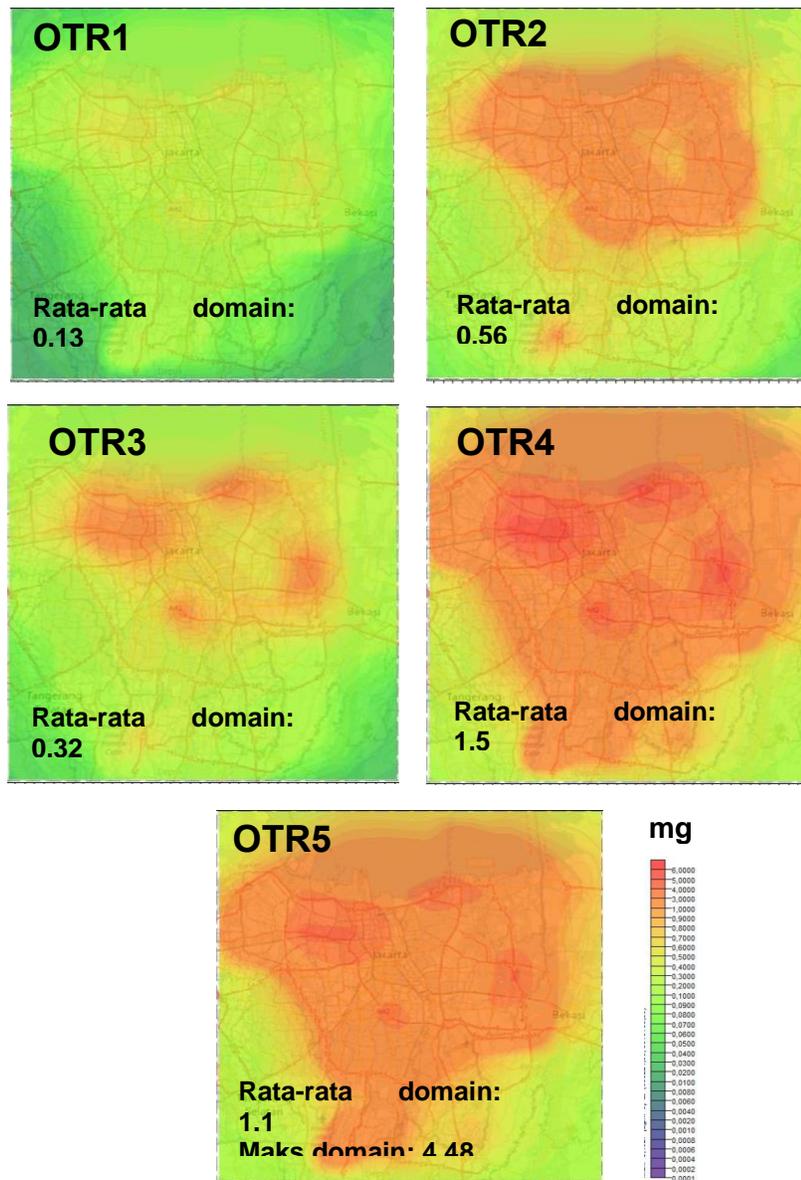
Hasil konsentrasi rata-rata tahunan PM_{2.5} pada tahun 2030 disajikan pada Gambar 7, sedangkan konsentrasi PM_{2.5} pada tahun 2025 disajikan pada Lampiran 3. Selain itu, dampak skenario pengurangan emisi terhadap kualitas udara PM_{2.5} penting untuk mengukur manfaat kesehatan, oleh karena itu hasil untuk semua skenario (dikelompokkan ke dalam sumber bergerak di jalan raya dan sumber area) disorot di bagian ini.

Kami mengekstrak nilai rata-rata tahunan maksimum domain dan nilai rata-rata domain konsentrasi PM_{2.5} untuk semua pengukuran yang disajikan pada Gambar 7 dan 8. Pengurangan emisi yang dicapai dalam skenario OTR4 menghasilkan pengurangan konsentrasi PM_{2.5} rata-rata domain tertinggi sebesar 1,5 µg/m³ sebagai dibandingkan dengan orang lain. Penurunan konsentrasi PM_{2.5} maksimum domain adalah 5,7 µg/m³. Perlu dicatat bahwa nilai ini melebihi nilai pedoman WHO terbaru yaitu rata-rata tahunan sebesar 5 µg/m³. Pola sebaran penurunan konsentrasi PM_{2.5} terlihat pada beberapa jaringan jalan yang penurunan emisinya juga tinggi, hal ini disebabkan oleh dampak penurunan emisi PM_{2.5} primer yang signifikan. Dari segi besaran penurunan konsentrasi PM_{2.5}, OTR5 memberikan kontribusi kedua setelah OTR4. Penurunan emisi PM_{2.5} disebabkan oleh peralihan masyarakat dari kendaraan pribadi ke angkutan umum di Jakarta, sehingga menghasilkan peningkatan konsentrasi PM_{2.5} maksimum sebesar 4,5 µg/m³ pada tahun 2030. Rata-rata penurunan konsentrasi pada domain dalam skenario ini adalah lebih rendah 1,1 µg/m³, seperti terlihat pada Gambar 7. Dampak terendah terlihat pada OTR1, dengan rata-rata pengurangan konsentrasi PM_{2.5} domain sebesar 0,13 µg/m³ dan konsentrasi maksimum domain 0,48 µg/m³. Untuk OTR2 dan OTR3, rata-rata penurunan konsentrasi PM_{2.5} domain masing-masing adalah 0,56 dan 0,32 µg/m³. Konsentrasi maksimum domain disimulasikan masing-masing pada 2,1 dan 1,2 µg/m³. Nilai yang lebih tinggi terlihat secara konsisten di wilayah yang dekat dengan jaringan jalan aktif di kota dengan volume lalu lintas dan kemacetan yang tinggi.

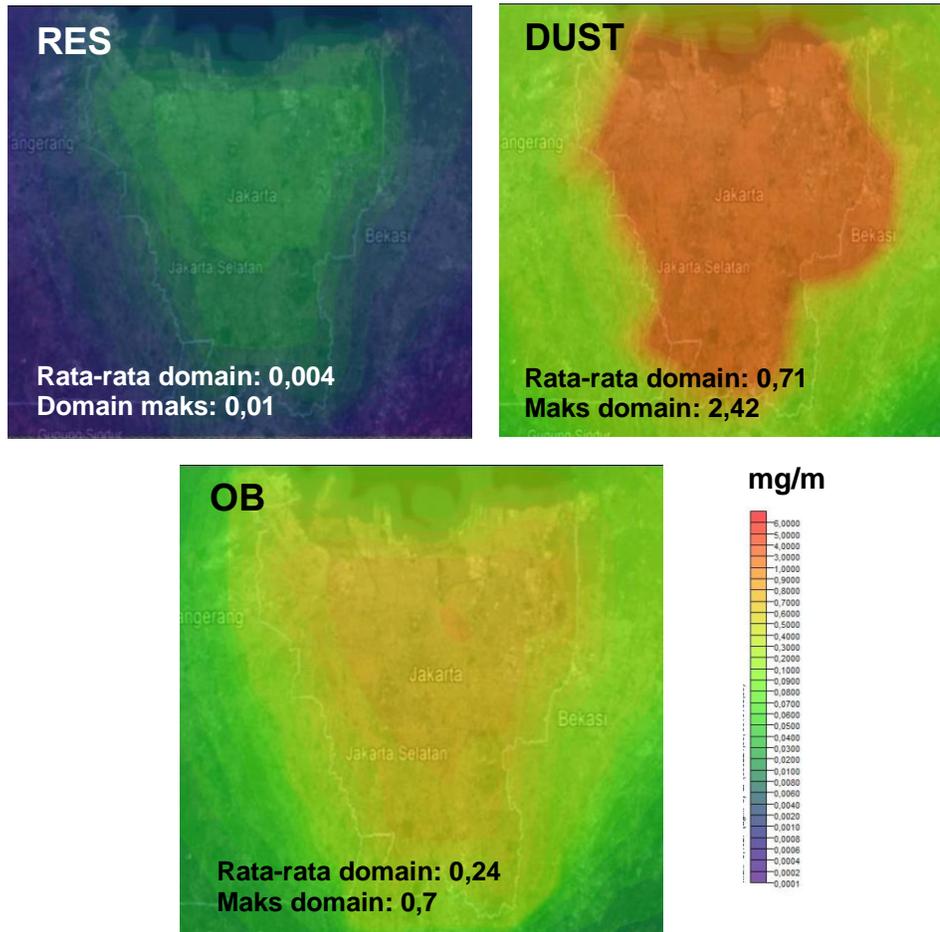
Untuk sumber area yang disajikan pada Gambar 8, besaran penurunan konsentrasi PM_{2.5} tertinggi dicapai oleh skenario DUST, diikuti oleh OB dan RES. Pengendalian debu dari kegiatan konstruksi (DUST) menghasilkan penurunan konsentrasi rata-rata domain PM_{2.5} sebesar 0,71 µg/m³, sedangkan konsentrasi maksimum domain rata-rata tahunan adalah 2,4 µg/m³. Kontribusi signifikan diberikan oleh skenario OB sebesar 0,7 µg/m³ dan 0,24 µg/m³ masing-masing untuk konsentrasi domain maksimum dan rata-rata domain.

Kontribusi skenario RES dapat diabaikan, hanya 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk konsentrasi maksimum domain dan jauh lebih rendah dibandingkan konsentrasi rata-rata domain.

Perlu dicatat bahwa simulasi ini hanya memperhitungkan dampak emisi primer $\text{PM}_{2.5}$ dan mengabaikan pembentukan aerosol sekunder, yang juga berkontribusi terhadap kadar $\text{PM}_{2.5}$ di area studi. Interaksi dengan polusi kabut asap fotokimia tidak memungkinkan, karena hanya dapat dilakukan dengan menggunakan model satu atmosfer.



Gambar 7. Rata-rata tahunan sebesar $\text{PM}_{2.5}$ pada tahun 2030 untuk tindakan yang relevan dengan sumber seluler di jalan raya. Catatan: rata-rata domain dan domain maks. konsentrasi disajikan dalam $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

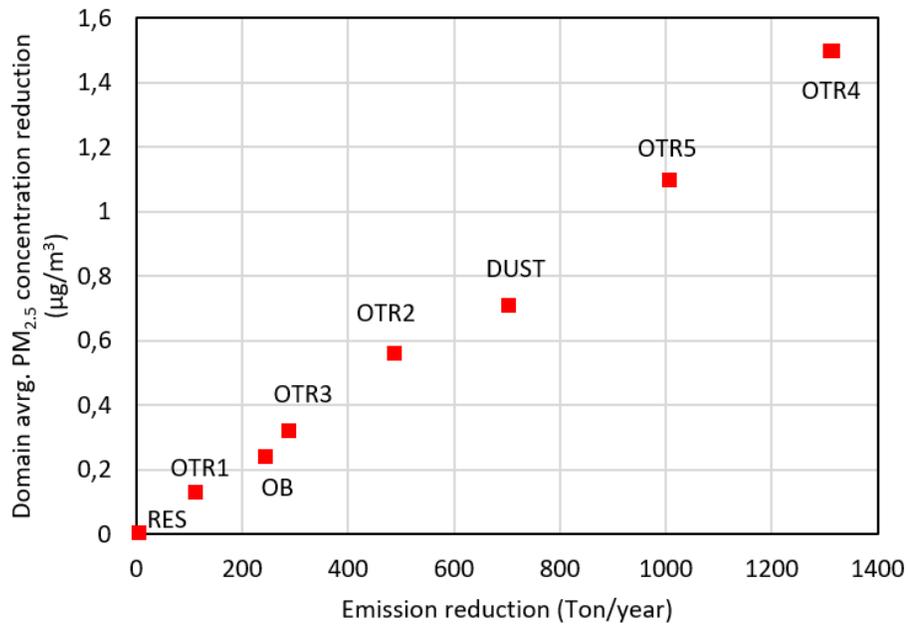
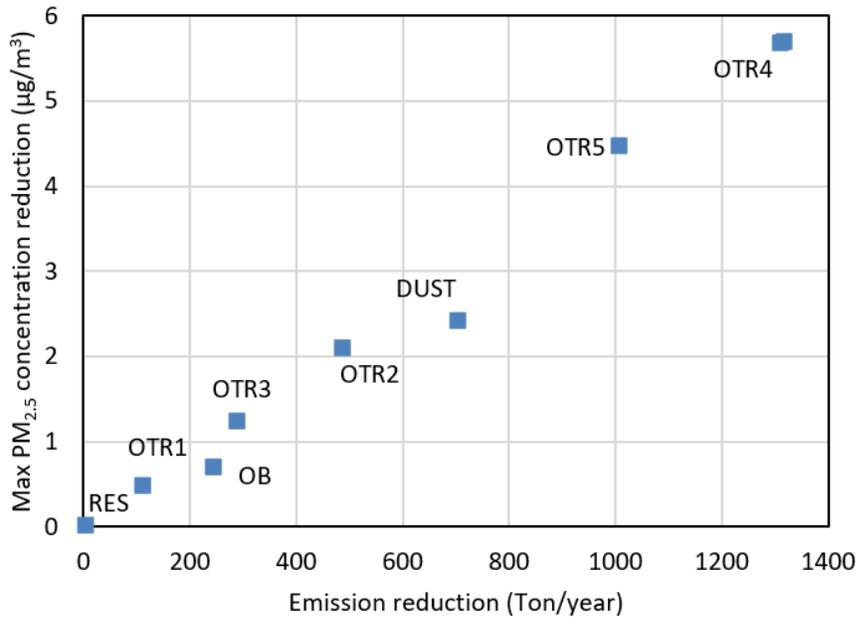


Gambar 8. Rata-rata tahunan $PM_{2.5}$ pada tahun 2030 untuk wilayah terkait sumber: RES, DUST & OB. Catatan: rata-rata domain dan domain maks. konsentrasi disajikan dalam $\mu g/m^3$.

Ringkasan pemodelan

Bagian ini merangkum efisiensi dari semua langkah terkait pengurangan emisi dan konsentrasi. Gambar 10 menjelaskan hubungan antara pengurangan emisi $PM_{2.5}$ untuk semua tindakan dan pengurangan konsentrasi terkait. Berdasarkan hasil pemodelan, OTR4 memiliki efektivitas tertinggi diikuti oleh OTR5 dan skenario DUST. RES memiliki efektivitas terendah diikuti oleh skenario OTR1 dan OB. OTR2 dan OTR3 memiliki efektivitas yang sedang. Penerapan semua skenario secara kolektif akan membantu

memaksimalkan peningkatan kualitas udara $PM_{2.5}$ di Jakarta.

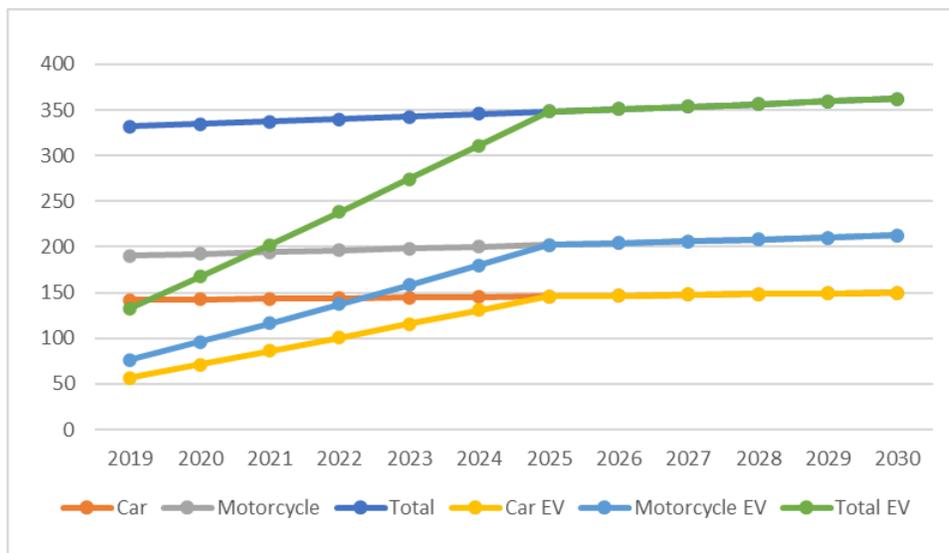


Gambar 9. Ringkasan kemanjuran semua tindakan

Biaya Penerapan Strategi Pengendalian Polusi Udara di Jakarta

OTR1: Program kendaraan listrik operasional pemerintah

Sepeda motor memiliki tingkat pertumbuhan tahunan tertinggi, yaitu 4,7%, diikuti oleh mobil penumpang sebesar 3,6% dan mobil kargo sebesar 2,9%. Seperti yang telah diperkirakan, jumlah bus meningkat dengan laju terendah, yaitu 0,3% per tahun. Jumlah bus umum milik pemerintah di DKI Jakarta pada tahun 2015 adalah 322 unit [34]. Dengan melihat data yang disediakan oleh BPS, pertumbuhan jumlah KDO pemerintah di DKI Jakarta harus lebih rendah dari pertumbuhan tahunan sebesar 4,4%. Oleh karena itu, kami mengasumsikan bahwa pertumbuhan tahunan untuk kendaraan dinas pemerintah adalah 1% untuk sepeda motor dan 0,5% untuk mobil [35]. Dengan menggunakan jumlah kendaraan KDO pemerintah pada tahun 2015 dan pertumbuhannya, kami memproyeksikan jumlah KDO pemerintah di DKI Jakarta dengan menggunakan tren linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.

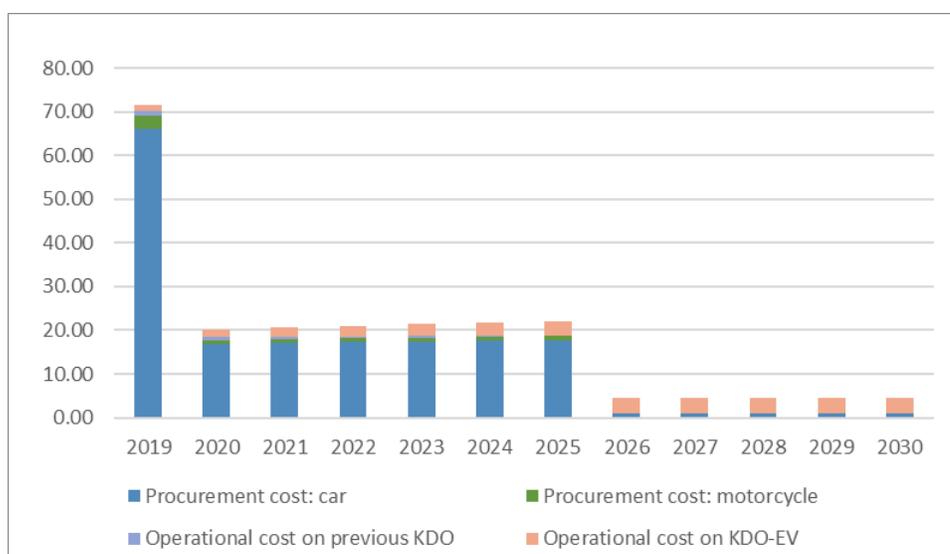


Gambar 10. Proyeksi jumlah KDO dan EV pemerintah di Jakarta 2019-2030 (dalam satuan).

Berdasarkan Gambar 10, jumlah KDO pemerintah di Jakarta diperkirakan mencapai 340 unit pada tahun 2022, terdiri dari 143 mobil dan 196 sepeda motor. Pada tahun 2030, jumlah ini diperkirakan akan meningkat menjadi 362 unit. Pada tahun 2022, kami memperkirakan jumlah kendaraan listrik KDO pemerintah akan mencapai 238 unit,

terdiri dari 101 mobil EV dan 137 sepeda motor EV. Pada tahun 2030, jumlah KDO EV diperkirakan mencapai 362 unit.

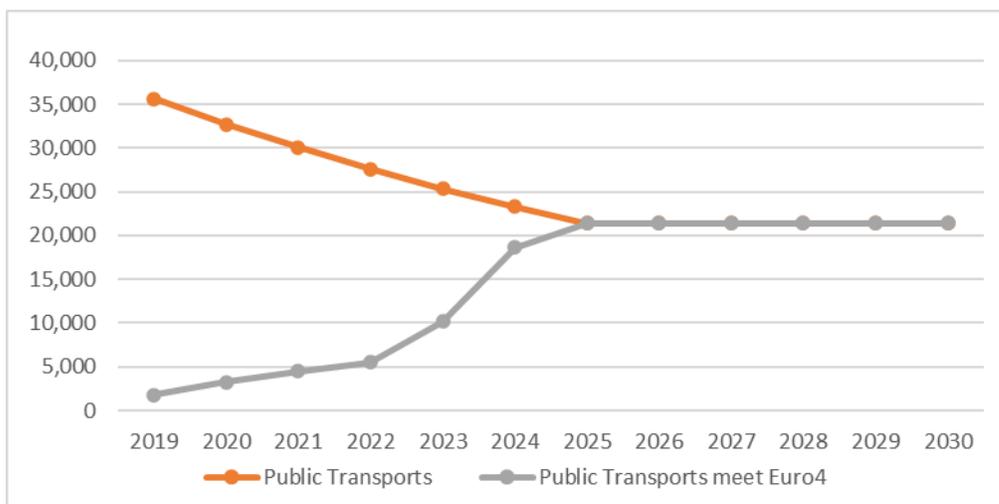
Gambar 11 menunjukkan estimasi biaya tahunan untuk pengadaan kendaraan listrik KDO pemerintah dengan menggunakan target tahunan dari proyeksi jumlah kendaraan listrik KDO pemerintah. Biaya tahunan pada tahun 2022 adalah sebesar Rp18,09 miliar. Sementara pada tahun 2030, biaya tahunan hanya akan menjadi Rp0,9 miliar. Biaya yang lebih tinggi pada tahun awal disebabkan oleh target persentase yang tinggi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Pada tahun-tahun berikutnya, biaya tambahan meningkat secara perlahan.



Gambar 11. Biaya tahunan program EV Pemerintah di Jakarta 2019-2030 (dalam miliar Rp).

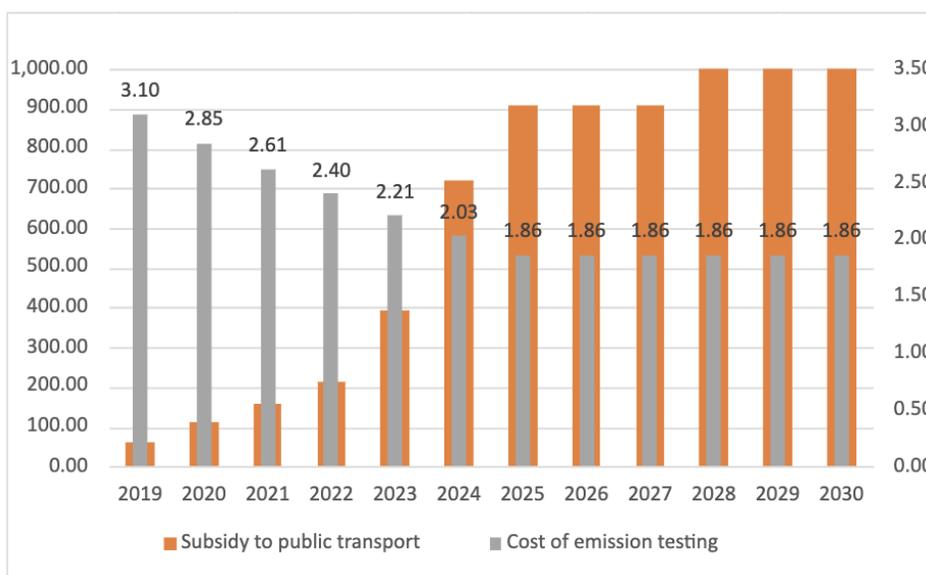
OTR2: Standar emisi yang ketat bagi mikrolet untuk memenuhi Euro 4

Proyeksi jumlah angkutan umum pada tahun 2022-2030 diilustrasikan pada Gambar 12. Jumlah angkutan umum pada tahun 2022 diperkirakan mencapai 27,6 ribu unit dan menurun menjadi 21,4 ribu unit pada tahun 2025. Mengikuti target tahunan (seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4), kami memperkirakan hanya 5,5 ribu unit angkutan umum yang akan memenuhi standar pada tahun 2022 (sekitar 20% dari total jumlah angkutan umum). Pada tahun 2025, semua angkutan umum akan memenuhi standar emisi.



Gambar 12. Jumlah angkutan umum di Jakarta 2019-2030 (dalam ribuan unit).

Pada tahun 2022, proyeksi jumlah angkutan umum yang memenuhi standar Euro4 adalah sebanyak 5,5 ribu unit (Gambar 3). Dengan jumlah tersebut, jumlah total subsidi yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah sebesar Rp212 miliar (dengan subsidi sebesar Rp10.300/liter dan konsumsi solar tahunan sebesar 3,7 ribu liter/tahun). Dengan cara yang sama, total subsidi yang dibutuhkan hingga tahun 2030 adalah sekitar Rp6,2 triliun, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13. Biaya subsidi akan meningkat mulai tahun 2022 dan mencapai puncaknya pada tahun 2025, ketika seluruh angkutan umum telah memenuhi standar Euro4.

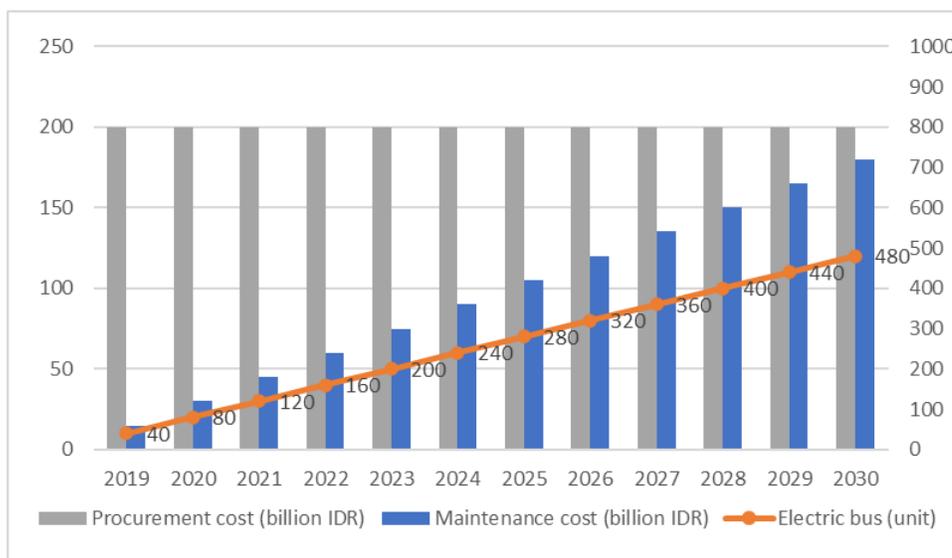


Gambar 13. Biaya tahunan program standar emisi angkutan umum di Jakarta 2019-2030 (dalam miliar Rp). Sumbu y sebelah kanan menunjukkan biaya uji emisi, sumbu y sebelah kiri menunjukkan subsidi angkutan umum.

Selain proses peralihan sumber bahan bakar ke Dexlite CN51, program penerapan standar Euro4 untuk angkutan umum juga dilakukan melalui uji KIR yang melakukan serangkaian pengujian kendaraan sebagai indikator bahwa kendaraan tersebut secara teknis layak digunakan di jalan raya. Uji emisi diperlukan dalam penilaian tersebut. Uji KIR wajib dilakukan untuk semua kendaraan penumpang dan barang. Untuk minibus, biaya uji KIR di DKI Jakarta adalah sekitar Rp87.000 [36]. Jika semua angkutan umum diasumsikan mengikuti uji KIR wajib, maka total biaya yang dibutuhkan untuk pengujian KIR pada periode 2022-2030 adalah sebesar Rp17,8 miliar.

OTR3: Bus listrik Transjakarta

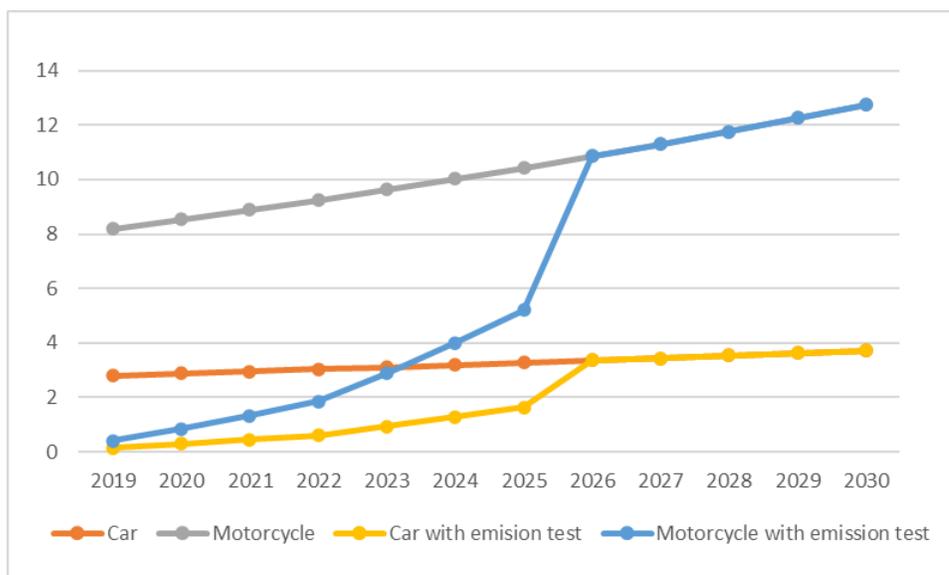
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14, biaya pengadaan bus listrik tahunan diperkirakan mencapai Rp200 miliar tiap tahunnya. Kami memperkirakan peningkatan biaya perawatan tahunan karena jumlah bus listrik yang terus bertambah tiap tahunnya. Total biaya akan mencapai Rp220 miliar pada tahun 2019 dan meningkat menjadi Rp380 miliar pada tahun 2030. Total biaya implementasi untuk program ini adalah Rp3,57 triliun.



Gambar 14. Jumlah bus Transjakarta listrik (dalam satuan) dan biaya tahunannya di Jakarta 2019-2030 (dalam miliar Rp). Sumbu y kiri mewakili biaya pengadaan dan pemeliharaan, sumbu y kanan menunjukkan jumlah bus listrik.

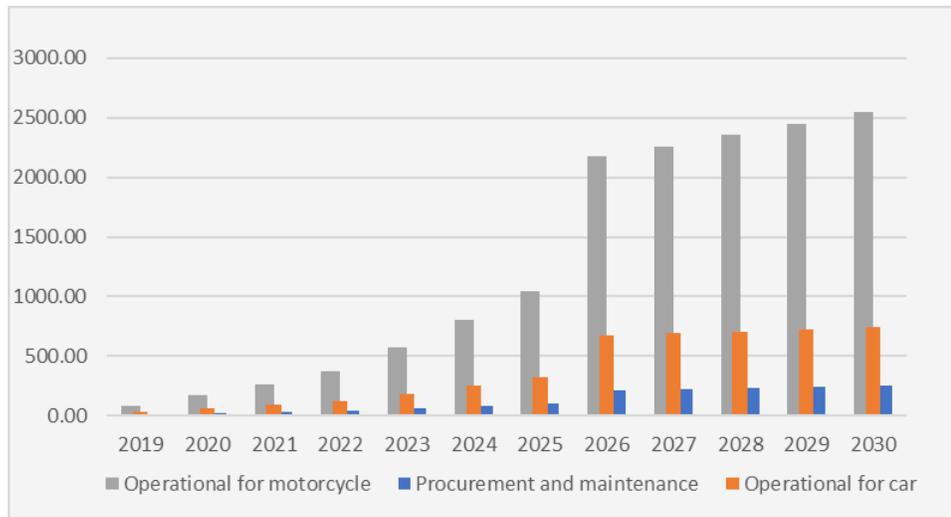
OTR4: Program uji emisi kendaraan pribadi

Gambar 15 menunjukkan proyeksi jumlah kendaraan pribadi di Jakarta pada tahun 2019-2030. Pada tahun 2022, jumlah kendaraan pribadi mencapai 21,4 juta unit, terdiri dari 17,2 sepeda motor dan 4,2 mobil. Pada tahun 2030, jumlah kendaraan pribadi akan mencapai 28,9 juta unit. Dengan menggunakan target yang ditetapkan untuk program ini, kami dapat mengidentifikasi jumlah kendaraan yang telah mengikuti uji emisi. Pada tahun 2022, kendaraan yang telah diuji emisi diperkirakan akan mencapai 4,28 juta unit, yang terdiri dari 3,44 juta sepeda motor dan 0,84 juta mobil. Pada tahun 2030, kendaraan yang telah dilakukan uji emisi diperkirakan akan mencapai 28,90 juta unit.



Gambar 15. Jumlah kendaraan pribadi di Jakarta 2019-2030 (dalam juta unit).

Seperti terlihat pada Gambar 16, pada tahun 2022, biaya pelaksanaan program ini dapat mencapai Rp529 miliar, dan akan meningkat menjadi Rp3,5 triliun pada tahun 2030. Peningkatan yang tinggi ini dimulai pada tahun 2026, ketika kami memproyeksikan 100% kendaraan pribadi telah menggunakan kendaraan pribadi. uji emisi.

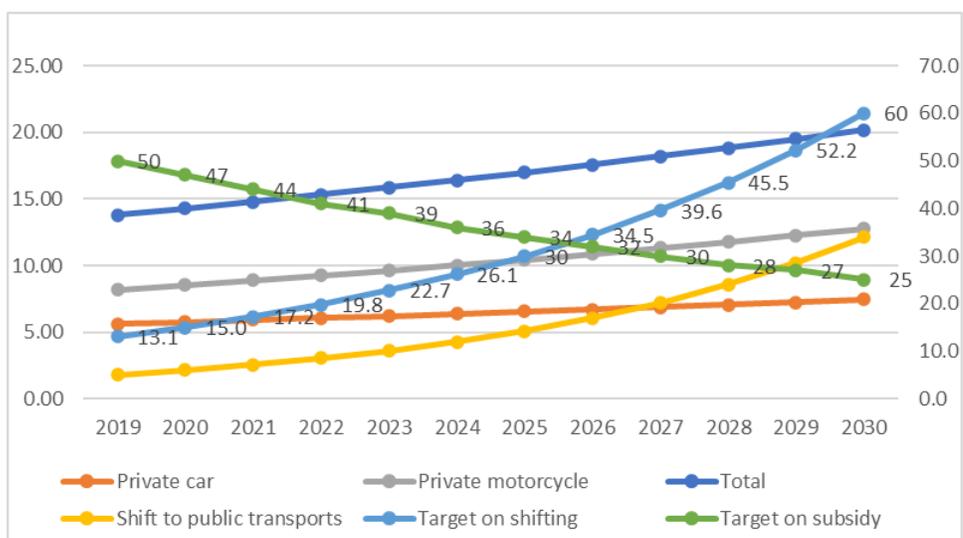


Gambar 16. Biaya tahunan program uji emisi kendaraan pribadi di Jakarta 2019-2030 (dalam miliar Rp).

OTR5: Peralihan ke angkutan umum

Gambar 17 menunjukkan target tahunan persentase perpindahan angkutan umum, proyeksi jumlah kendaraan pribadi, dan jumlah penumpang kendaraan pribadi pada tahun 2019-2030. Pada tahun 2022, 19,8% penumpang pribadi akan beralih ke angkutan umum. Angka ini terus meningkat secara bertahap setiap tahunnya hingga mencapai 30% pada tahun 2025 dan 60% pada tahun 2030.

Jumlah penumpang kendaraan pribadi pada tahun 2022 diperkirakan mencapai 25,6 juta orang dan akan meningkat menjadi 34 juta pada tahun 2030. Pada tahun 2022, 19,8% dari total penumpang atau 5,06 juta orang akan beralih ke angkutan umum. Jumlah ini terus meningkat dan akan mencapai 20,4 juta orang pada tahun 2030.

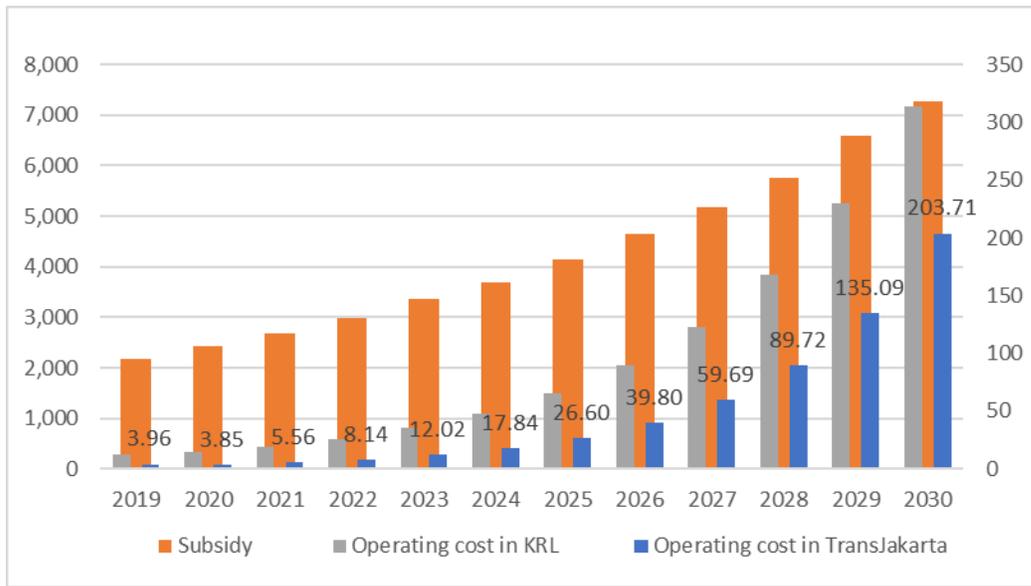


Gambar 17. Target perpindahan penumpang swasta dan target subsidi (%) serta jumlah perpindahan penumpang swasta dan penumpang di Jakarta 2019-2030 (dalam juta orang). Sumbu y kiri untuk jumlah kendaraan pribadi dan jumlah penumpang. Sumbu y kanan untuk target perpindahan dan subsidi.

Proyeksi jumlah penumpang kereta Jabodetabek adalah 413 juta penumpang pada tahun 2022, dan 444 juta penumpang pada tahun 2030 (Gambar 18). Proyeksi biaya tahunan KRL per penumpang adalah Rp7.900 pada tahun 2022 dan akan meningkat menjadi Rp24.100 pada tahun 2030. Dengan menggabungkan semua informasi tersebut, total biaya operasional diperkirakan mencapai Rp40,4 miliar pada tahun 2022 dan Rp493 miliar pada tahun 2030.

Peningkatan biaya operasional akibat meningkatnya jumlah penumpang juga terjadi pada bus Transjakarta. Jumlah penumpang Transjakarta pada tahun 2022 diproyeksikan akan mencapai 460 juta penumpang dan meningkat menjadi 552 juta penumpang pada tahun 2030. Berdasarkan laporan pendapatan Transjakarta pada tahun 2020 dan 2021, mereka mengalami pertumbuhan pendapatan tahunan sebesar 28,66%. Dengan demikian, proyeksi biaya tahunan Transjakarta per penumpang adalah Rp2,5 ribu pada tahun 2022 dan akan meningkat menjadi Rp15,6 ribu pada tahun 2030. Total biaya operasional tambahan pada tahun 2022 akan mencapai Rp12,6 miliar dan meningkat menjadi Rp 319 miliar pada tahun 2030.

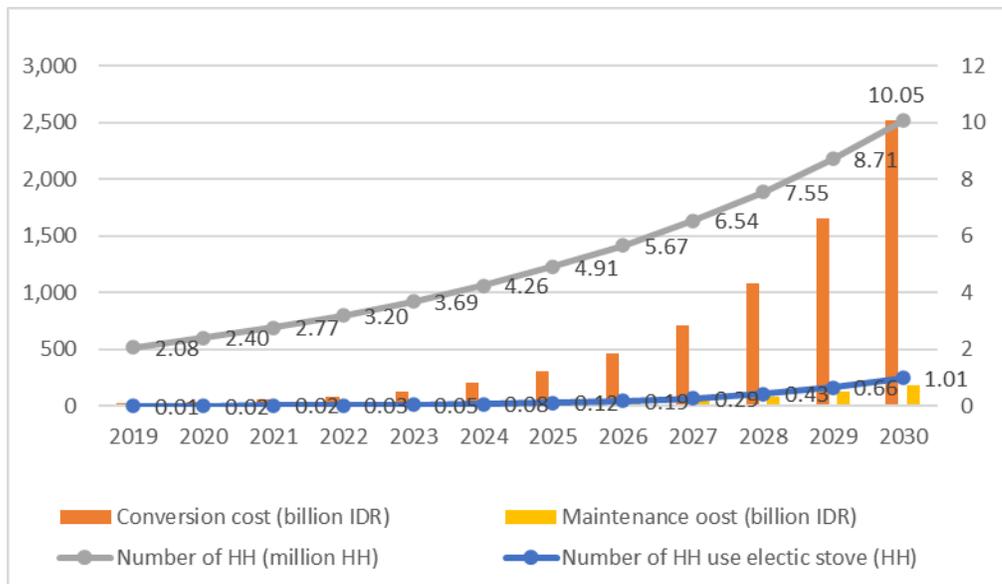
Berdasarkan informasi di atas, kebutuhan biaya subsidi tahunan akan mencapai Rp6 triliun pada tahun 2022 dan Rp12 triliun pada tahun 2030. Dengan demikian, total subsidi tahunan sepanjang periode 2022-2030 akan mencapai Rp79 triliun.



Gambar 18. Biaya tahunan untuk peralihan program ke angkutan umum di Jakarta 2019-2030 (dalam miliar Rp). Sumbu y kiri menunjukkan subsidi, sumbu y kanan menunjukkan biaya operasional.

RES: Konversi kompor LPG ke kompor listrik

Jumlah rumah tangga diproyeksikan mencapai 3,2 juta pada tahun 2022 dan akan meningkat menjadi 10 juta pada tahun 2030 (Gambar 19). Biaya yang diperlukan untuk program konversi ini mencapai Rp87 miliar pada tahun 2020 dan meningkat menjadi Rp2,5 triliun pada tahun 2030. Dengan demikian, perkiraan total biaya pada periode 2022-2030 adalah sebesar Rp7,2 triliun.

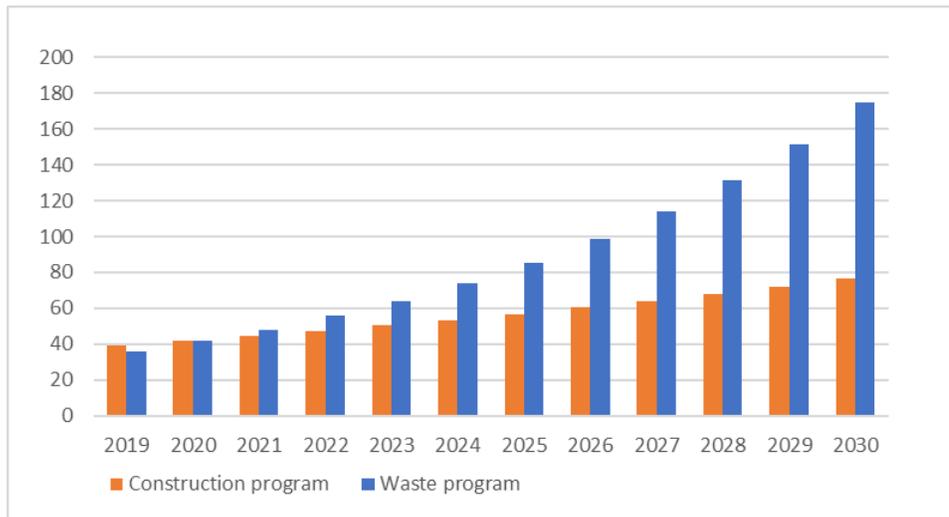


Gambar 19. Jumlah rumah tangga yang menggunakan kompor listrik (dalam jumlah KK) dan biaya tahunan konversi dan pemeliharaan program di Jakarta 2019-2030 (dalam miliar Rp). Sumbu y kiri menunjukkan

biaya konversi dan pemeliharaan, sumbu y kanan menunjukkan jumlah rumah tangga dan rumah tangga yang memiliki kompor listrik.

DUST: Pengendalian debu dari aktivitas konstruksi

Proyeksi biaya pemantauan akan mencapai Rp289 juta pada tahun 2023 dan Rp413 juta pada tahun 2030, seperti terlihat pada Gambar 20. Dengan demikian, total biaya pemantauan standar emisi berupa program pemantauan lingkungan akan mencapai Rp2,9 miliar sepanjang tahun 2022-2030. periode.



Gambar 20. Biaya tahunan pemantauan standar emisi kegiatan konstruksi dan limbah rumah tangga di Jakarta 2019-2030 (dalam miliar Rp).

OB: Larangan pembakaran sampah kota secara terbuka

Total biaya yang diperlukan akan mencapai Rp723 juta pada tahun 2024 dan meningkat menjadi Rp1,7 miliar pada tahun 2030, seperti terlihat pada Gambar 20. Dengan demikian, total biaya pemantauan sampah rumah tangga dan pelarangan pembakaran terbuka akan mencapai Rp8,1 miliar pada tahun 2022-2030.

Total biaya program

Total biaya yang diperlukan untuk melaksanakan kedelapan program strategis tersebut disajikan pada Tabel 8. Dengan menggunakan tahun dasar 2019, total biaya yang dibutuhkan mencapai Rp3,93 triliun pada tahun 2022 dan meningkat menjadi Rp14,54 triliun pada tahun 2030. Secara kumulatif, total biaya yang diperlukan untuk 2022-2030 mencapai Rp87,83 triliun pada tahun dasar 2019. Selanjutnya jika dibandingkan dengan program intervensi, hasilnya ditunjukkan pada kolom terakhir. Program strategis yang

memakan biaya paling besar adalah beralih ke angkutan umum. Disusul program dengan biaya tertinggi kedua dan ketiga, program uji emisi kendaraan pribadi dan pengalihan energi rumah tangga. Program strategis yang biayanya paling rendah adalah program EV pemerintah dan standar emisi untuk kegiatan konstruksi.

Tabel 8. Biaya tahunan untuk setiap intervensi program peningkatan kualitas udara di Provinsi Jakarta 2019-2030 (dalam Rp dan USD).

Program	2019 (dalam triliun Rp)	2020 (dalam triliun Rp)	2021 (dalam triliun Rp)	2022 (dalam triliun Rp)	2023 (dalam triliun Rp)	2024 (dalam triliun Rp)	2025 (dalam triliun Rp)	2026 (dalam triliun Rp)	2027 (dalam triliun Rp)	2028 (dalam triliun Rp)	2029 (dalam triliun Rp)	2030 (dalam triliun Rp)	Total (dalam triliun Rp)	Total (dalam juta USD)
Kendaraan listrik pemerintah	0,071	0,020	0,021	0,021	0,021	0,022	0,022	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,221	15.90
Standar emisi angkutan umum	0,065	0,116	0,159	0,215	0,393	0,720	0,909	0,909	0,909	1.000	1.000	1.000	7.396	532.02
Bus listrik umum	0,215	0,230	0,245	0,260	0,275	0,290	0,305	0,320	0,335	0,350	0,365	0,380	3.570	256.82
Uji emisi kendaraan pribadi	0,119	0,245	0,382	0,529	0,821	1.136	1.474	3.057	3.171	3.291	3.414	3.542	21.182	1,523.77
Peralihan ke angkutan umum	2.179	2.436	2.715	3.015	3.419	3.766	4.248	4.780	5.367	6.013	6.965	7.787	52.690	3,790.40
Pergeseran energi rumah tangga	0,027	0,041	0,062	0,094	0,143	0,217	0,331	0,504	0,766	1.166	1.775	2.701	7.826	562.96
Baku mutu emisi untuk kegiatan konstruksi	0,039	0,042	0,045	0,047	0,050	0,053	0,057	0,060	0,064	0,068	0,072	0,077	0,675	48.56
Pengendalian sampah rumah tangga	0,036	0,042	0,048	0,056	0,064	0,074	0,085	0,099	0,114	0,131	0,151	0,175	1.075	77.31
Total	2.752	3.172	3.676	4.237	5.187	6.279	7.431	9.733	10.731	12.024	13.747	15.666	94.634	6,807.73
Jumlah disesuaikan dengan tingkat inflasi tahun 2019	2.554	2.944	3.412	3.933	4.814	5.828	6.897	9.033	9.960	11.160	12.759	14.540	87.835	6,318.60

Manfaat dampak kesehatan

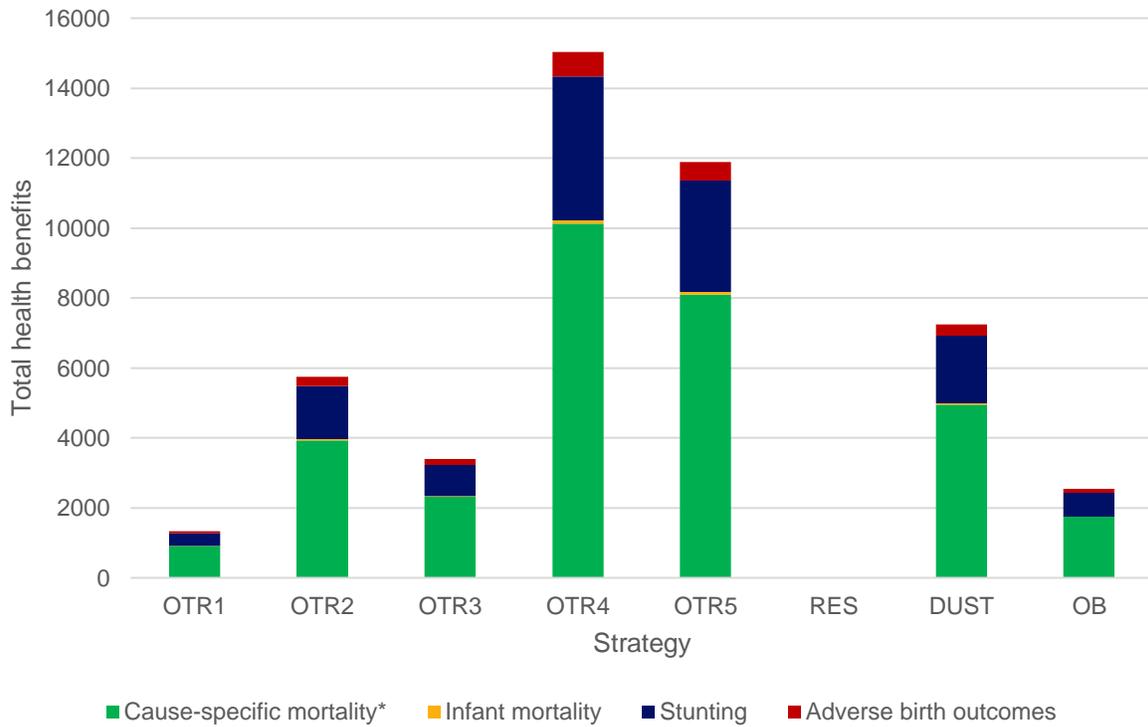
Kami menemukan bahwa, secara total, lebih dari 32.000 kematian yang disebabkan oleh penyebab tertentu, hampir 300 kematian bayi, lebih dari 12.000 kasus stunting dan lebih dari 2.000 kondisi kelahiran yang merugikan dapat dicegah jika strategi pengendalian polusi udara yang tercantum di atas dapat diterapkan di Jakarta pada tahun 2030. Tabel 9 menjelaskan secara lebih rinci manfaat kesehatan yang diperoleh dari masing-masing strategi.

Tabel 9. Jumlah total manfaat kesehatan yang diperoleh dari setiap strategi pengendalian polusi udara di Jakarta (dalam kasus)

	OTR1	OTR2	OTR3	OTR4	OTR5	RES	DUST	OB	Total
Kematian yang spesifik penyebabnya*	910	3.925	2.320	10.131	8.093	0	4.945	1.740	32.064
Kematian bayi	8	35	21	95	73	0	44	15	292
Pengerdilan	349	1.524	896	4.109	3.181	0	1.926	670	12.655
Kondisi kelahiran yang merugikan*	60	260	153	703	544	0	329	114	2.162
Total	1.327	5.745	3.388	15.038	11.892	0	7.245	2.539	47.173

*Kondisi kelahiran yang merugikan termasuk kelahiran prematur, berat badan lahir rendah, dan kasus kecil untuk usia kehamilan.

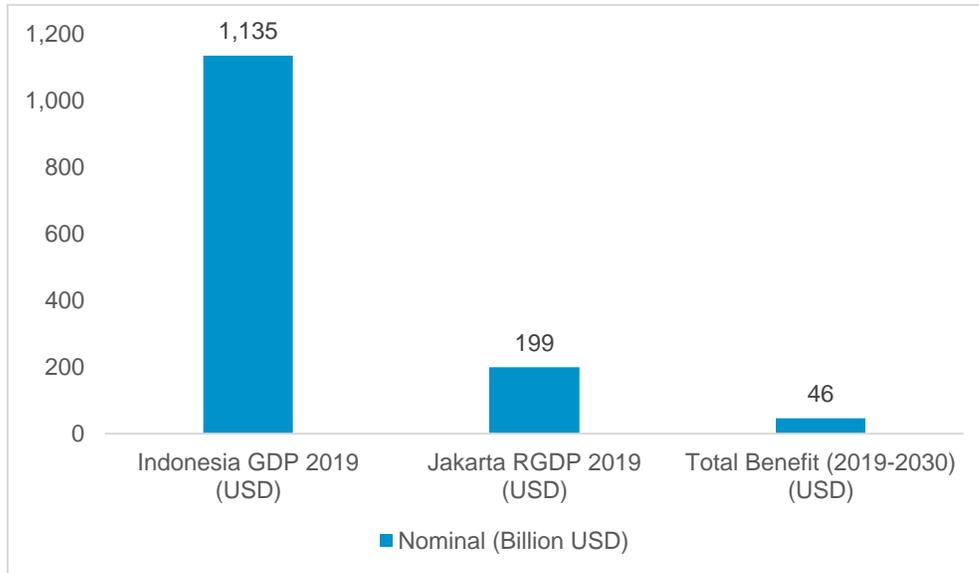
Jika kita membandingkan total manfaat dari masing-masing strategi, OTR4 (pengujian emisi rutin) memiliki manfaat kesehatan tertinggi, diikuti oleh OTR5 (peralihan ke transportasi umum) dan DUST (pengendalian debu dari konstruksi). Gambar 21 mengilustrasikan perbandingan total manfaat kesehatan dari masing-masing strategi.



Gambar 21. Mempertimbangkan semua manfaat kesehatan, OTR4 (pengujian emisi rutin) memiliki jumlah total manfaat kesehatan tertinggi, diikuti oleh OTR5 (peralihan ke transportasi umum) dan DUST (pengendalian debu dari konstruksi). Sedangkan RES (mengubah kompor konvensional menjadi kompor listrik) memiliki manfaat kesehatan yang paling sedikit.

Nilai ekonomi manfaat dampak kesehatan

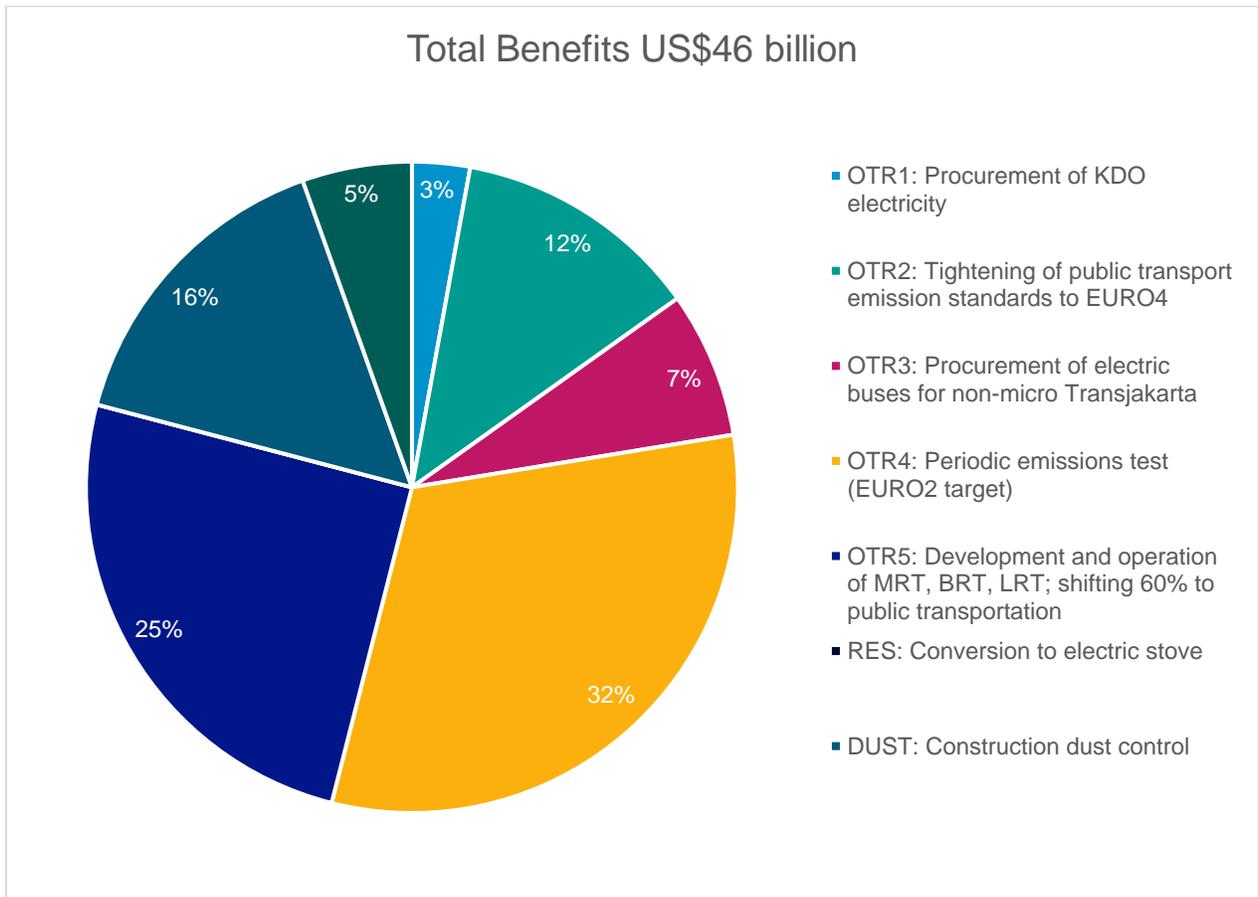
Total manfaat pengurangan polusi udara dari tahun 2019 hingga 2030 mencapai sekitar US\$46 miliar. Jumlah ini setara dengan sekitar 4% dari PDB Indonesia tahun 2019 (US\$1,135 miliar) atau 23% dari PDBRP provinsi Jakarta tahun 2019 (US\$199 miliar), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Nilai ekonomi tahunan manfaat kesehatan yang disebabkan oleh pengurangan polusi udara di Jakarta (dalam miliar Rp)

Manfaat dari pencegahan kematian (yaitu angka kematian dan kematian bayi) secara konsisten mempunyai nilai manfaat terbesar di seluruh intervensi. Hampir 98% dari total manfaat per intervensi dibagi berdasarkan nilai kematian yang dapat dicegah, yang menunjukkan besarnya manfaat yang diperoleh.

Gambar 23 menunjukkan porsi nilai manfaat kesehatan per intervensi. OTR4 (32%) dan OTR5 (25%) adalah dua intervensi dengan nilai manfaat kesehatan tertinggi, diikuti oleh DUST (16%). OTR1 (3%), sebaliknya, memiliki porsi nilai manfaat yang paling rendah. Perlu diperhatikan bahwa OTR4, OTR5 dan DUST memiliki besaran terbesar dalam hal nilai manfaat, karena keduanya berbagi lebih dari 70% total manfaat.



Gambar 23. Pangsa nilai manfaat kesehatan per intervensi.

Rasio biaya-manfaat

Seperti terlihat pada Tabel 11, rasio biaya-manfaat tertinggi berasal dari DUST (145) dan OTR1 (82). Namun nilai manfaat terbesar ditunjukkan oleh OTR4, meskipun rasio manfaat biaya OTR4 adalah 11 karena biaya intervensinya lebih besar. Oleh karena itu, sesuai dengan Gambar 23, perlu dicatat bahwa OTR4 memiliki besaran nilai manfaat terbesar dibandingkan intervensi lainnya. Rasio total biaya-manfaat adalah tujuh, yang menunjukkan nilai manfaat total tujuh kali lebih tinggi dibandingkan total biayanya (Tabel 10).

Tabel 10. Rasio biaya manfaat per intervensi

Intervensi	Biaya (\$000.000)	Manfaat (\$000,000)	rasio B/C
OTR1: Kendaraan listrik operasional pemerintah	15.90	1,304.75	82
OTR2: Pengetatan standar emisi angkutan umum ke Euro 4	532.02	5,588.14	11
OTR3: Pengadaan bus listrik untuk Transjakarta non mikro	256.82	3,306.38	13
OTR4: Uji emisi berkala (target Euro 2)	1,523.77	14,356.04	9
OTR5: Pembangunan dan pengoperasian MRT, BRT, LRT; mengalihkan 60% ke transportasi umum	3,790.40	11,431.38	3
RES: Konversi ke kompor listrik	562.96	-	0
DUST: Pengendalian debu konstruksi	48.56	7,037.21	145
OB: Larangan pembakaran sampah secara terbuka	77.31	2,477.15	32
Total	6,807.74	45,501.06	7

DISKUSI

Studi kami menunjukkan manfaat yang besar dari intervensi pengurangan polusi udara di provinsi Jakarta—tujuh kali lebih besar dibandingkan biaya yang dikeluarkan dari intervensi tersebut. Manfaat signifikan ini dijelaskan oleh tingginya potensi dampak pelaksanaan program terhadap peningkatan kualitas udara $PM_{2.5}$. Kami juga menemukan bahwa intervensi dengan manfaat terbesar adalah pengujian emisi berkala pada kendaraan pribadi untuk setidaknya mematuhi Euro 2, sedangkan intervensi dengan rasio biaya-manfaat terbesar adalah pengendalian debu konstruksi. Temuan kami mengarah pada pengamatan penting berikut.

Pertama, nilai manfaat total dari intervensi polusi udara tujuh kali lebih tinggi dibandingkan total biayanya. Dengan menyesuaikan nilai manfaat yang dapat dicegah dari kematian menjadi nilai rata-rata tahunan dengan menggunakan faktor konversi KPS tahun 2019, temuan kami hampir tiga kali lebih tinggi dibandingkan dengan nilai manfaat yang dapat dicegah dari kematian di Beijing (US\$806.370 vs. US\$283.106), sejalan dengan angka rata-rata tahunan yang jauh lebih besar jumlah kematian yang dapat dihindari (2.697 kematian vs. 797) [37]. Tampaknya intervensi uji emisi berkala mempunyai manfaat yang paling besar, dengan jumlah kematian yang dapat dicegah paling besar, serupa dengan penelitian di Tiongkok [38] dan Brasil [39].

Kedua, program utama intervensi pencemaran udara di Jakarta berbeda-beda tergantung sudut pandang seseorang. Jika dilihat dari rasio biaya-manfaat, maka dua program yang memberikan kontribusi paling besar dengan rasio tertinggi adalah pengadaan kendaraan listrik KDO serta pengendalian dan pemantauan debu di lokasi konstruksi. Jika dilihat dari total biaya, kedua program yang total biaya pelaksanaannya paling rendah memiliki rasio biaya-manfaat yang sama. Jika dilihat dari total manfaatnya, dua program dengan total manfaat ekonomi tertinggi adalah uji emisi berkala (target Euro 2) dan pembangunan serta pengoperasian *Mass Rapid Transit* (MRT), *Bus Rapid Transit* (BRT) dan *Light Rail Transit* (LRT).

Ketiga, total biaya untuk melaksanakan seluruh program intervensi polusi udara di Jakarta diperkirakan mencapai Rp87,8 triliun (atau US\$6,3 miliar), disesuaikan dengan tingkat inflasi pada tahun 2019. Jumlah ini hanya sekitar 3,12% dari total PDBR Jakarta pada tahun 2019 (Rp2,815 triliun atau US\$202 miliar) [40]. Namun jika dibandingkan total biaya tersebut dengan total anggaran Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jakarta pada tahun

2022[24], total biayanya 25 kali lipat dari total anggaran lembaga. Perbandingan ini menunjukkan bahwa dinas lingkungan hidup memerlukan lebih banyak dukungan dan alokasi anggaran dari pemerintah kota untuk melaksanakan seluruh strategi polusi udara secara menyeluruh. Mengingat urgensi pengendalian pencemaran udara di Jakarta dan kemampuan anggaran yang dikelola pemerintah kota dalam setahun, maka program ini layak untuk dilaksanakan.

Keempat, mengingat nilai ekonomi total dari biaya dan manfaat, kami menemukan bahwa manfaat intervensi pengurangan polusi bisa tujuh kali lebih tinggi dibandingkan biayanya, dan beberapa intervensi memiliki rasio yang jauh lebih besar. Bandingkan secara kasar dengan dua penelitian di Tiongkok yang mengeksplorasi paket intervensi untuk mengurangi polusi udara [3], [41], tampaknya rasio biaya-manfaat kami sedikit lebih tinggi (6,32 dan 5,5 vs. 7 dalam penelitian kami). Oleh karena itu, penerapan lebih lanjut paket intervensi dalam penelitian kami mungkin menarik secara ekonomi. Namun, karena total biayanya bisa sangat besar, maka intervensi dengan nilai manfaat terbesar harus diprioritaskan.

Perlu dicatat bahwa penerapan langkah-langkah kolektif didorong, terutama untuk mencapai target Strategi Pengendalian Pencemaran Udara di Jakarta. Target tersebut telah ditetapkan untuk menurunkan tingkat rata-rata tahunan $PM_{2.5}$ saat ini menjadi $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa hal ini tidak akan tercapai hanya dengan menerapkan satu atau beberapa tindakan saja. Selain itu, penerapan kolektif akan membantu memaksimalkan potensi manfaat, terutama bagi kesehatan manusia; pada saat yang sama, efektivitas biaya juga akan terjamin. Sementara itu, analisis biaya-manfaat, yang dikuantifikasi untuk setiap ukuran, akan membantu pembuat kebijakan memprioritaskan program untuk perencanaan jangka pendek, menengah dan panjang dengan mempertimbangkan anggaran dan sumber daya lainnya. Perlu dicatat bahwa, karena tidak tersedianya inventarisasi emisi untuk sumber tidak bergerak, studi analisis biaya-manfaat kami dikembangkan berdasarkan sumber bergerak dan area saja.

Selain itu, biaya yang kami hitung hanya sebatas pada program prioritas intervensi pencemaran udara di Jakarta. Perhitungannya hanya sebatas biaya langsung, yaitu biaya-biaya yang langsung digunakan dalam pelaksanaan program. Studi ini tidak mempertimbangkan biaya tidak langsung dari pelaksanaan program, seperti pengeluaran umum pemerintah. Kami juga mengetahui bahwa manfaat ekonomi dari penerapan produktivitas tenaga kerja belum dipertimbangkan. Dengan hilangnya unsur-unsur

tersebut, kemungkinan besar hasil yang diperoleh kurang dari total manfaat dan biaya yang sebenarnya dari peningkatan kualitas udara di Jakarta. Terdapat juga ketidakpastian dalam analisis ini, terutama dalam hal proyeksi kemajuan dan kinerja masa depan. Namun, keterbatasan dan ketidakpastian dalam studi kuantitatif ini seharusnya tidak menghalangi upaya-upaya intervensi yang dilakukan, karena sebagian besar perhitungannya cukup kuat. Yang paling penting, peningkatan kualitas udara di DKI Jakarta akan berdampak pada kesehatan dan berdampak pada perekonomian.

KESIMPULAN

Studi kami menunjukkan bahwa untuk semua program yang relevan dengan sumber bergerak, peningkatan kualitas udara $PM_{2.5}$ berkisar antara 0,5 hingga 5,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sementara pengurangan emisi untuk sumber area menghasilkan 0,05-2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rata-rata tahunan maksimum). Konsentrasi rata-rata domain peningkatan $PM_{2.5}$ berada dalam kisaran 0,13-1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pengukuran relevan sumber seluler) dan 0,01-0,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pengukuran relevan sumber area). Penerapan strategi pengendalian polusi udara secara kolektif di Jakarta akan menelan biaya lebih dari US\$6 miliar hingga tahun 2030. Namun, total manfaatnya menunjukkan nilai tujuh kali lebih tinggi dibandingkan total biaya program. Manfaat terbesar berasal dari uji emisi, yang memberikan sekitar 32% dari total manfaat, diikuti dengan peralihan ke transportasi umum (25% dari total manfaat). Penerapan seluruh tindakan secara kolektif pada tahun 2030 akan membantu mengantisipasi peningkatan konsentrasi $PM_{2.5}$ dibandingkan dengan tingkat yang diukur pada tahun 2019. Opsi-opsi tindakan yang lebih agresif masih diperlukan untuk menurunkan tingkat rata-rata tahunan $PM_{2.5}$ di bawah NAAQS sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

IMPLIKASI DAN REKOMENDASI

Berdasarkan temuan yang disajikan dalam penelitian kami, menjadi jelas bahwa ukuran kepatuhan standar emisi mempunyai dampak yang signifikan terhadap masyarakat. Studi kami memberikan serangkaian rekomendasi yang dapat secara efektif mendorong kebijakan yang diinginkan. Pertama, penerapan standar emisi sangat penting untuk memastikan kepatuhan dan mendorong penerapan teknologi bersih dan rendah emisi. Hal ini dapat dicapai dengan menetapkan batasan ketat terhadap emisi polutan, seperti nitrogen oksida (NO_x), materi partikulat (PM), dan karbon dioksida (CO_2), dan secara rutin memperbarui standar-standar ini agar dapat mengimbangi perkembangan teknologi. Melalui peraturan menteri PermenLHK 8/2023, Indonesia telah menerapkan pembaruan standar emisi pada beberapa jenis kendaraan. Standar ini setara dengan Euro 4.

Kedua, penerapan program inspeksi dan pemeliharaan yang efektif sangat penting untuk memastikan bahwa kendaraan di jalan memenuhi standar sepanjang masa pakainya. Pengujian emisi yang teratur dan terstandar dapat mengidentifikasi kendaraan yang tidak patuh dan memfasilitasi perbaikan atau retrofit yang diperlukan. Program

inspeksi dan pemeliharaan yang efisien harus mencakup inspeksi acak di tepi jalan, pengujian berkala untuk semua kendaraan, dan penegakan kepatuhan yang ketat. Berkolaborasi dengan penyedia layanan otomotif lokal dan melatih mereka tentang teknologi pengendalian emisi juga dapat meningkatkan efektivitas program inspeksi dan pemeliharaan.

Ketiga, penerapan tarif kemacetan dan zona rendah emisi dapat mendorong kepatuhan terhadap standar emisi dengan mengurangi kendaraan yang menghasilkan emisi tinggi. Terakhir, untuk merancang strategi pengendalian polusi udara yang lebih relevan di masa depan, diperlukan inventarisasi emisi terkini baik dari sumber stasioner maupun non-stasioner. Oleh karena itu, sangat disarankan untuk memperbarui inventaris secara berkala.

REFERENSI

- [1] LJ Perl dan FC Dunbar, “Analisis Efektivitas Biaya dan Manfaat Biaya Peraturan Kualitas Udara,” *Saya Econ Pdt*, jilid. 72, tidak. 2, hal.208–213, 1982, [Daring]. Tersedia: <http://www.jstor.org/stable/1802330>
- [2] S. Åström, “Perspektif penggunaan analisis biaya-manfaat untuk menetapkan target lingkungan – kompilasi dan diskusi argumen yang diinformasikan oleh proses yang mengarah pada target emisi polusi udara UE tahun 2016,” *Penilaian Dampak Lingkungan Rev*, jilid. 98, hal. 106941, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106941>.
- [3] J. Gao, Z. Yuan, X. Liu, X. Xia, X. Huang, dan Z. Dong, “Meningkatkan kebijakan pengendalian polusi udara di Tiongkok—Perspektif berdasarkan analisis biaya-manfaat,” *Ilmu Lingkungan Total*, jilid. 543, hlm. 307–314, Februari 2016, doi: [10.1016/J.SCITOTENV.2015.11.037](https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2015.11.037).
- [4] L.Hsin-Chih, M.-C. Hsiao, J.-L. Liou, L.-W. Lai, P.-C. Wu, dan J. Fu, “Menggunakan Biaya dan Manfaat Kesehatan untuk Memperkirakan Prioritas Rencana Aksi Pengendalian Polusi Udara: Studi Kasus di Taiwan,” *Ilmu Terapan*, jilid. 10, hal. 5970, Agustus 2020, doi: [10.3390/app10175970](https://doi.org/10.3390/app10175970).
- [5] X. Liu *et al.*, “Mengevaluasi biaya dan manfaat kebijakan pengendalian polusi udara di Tiongkok: Tinjauan sistematis,” *Journal of Environmental Sciences*, vol. 123, hlm. 140–155, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.02.043>.

- [6] Y. Chae dan J. Park, "Mengukur biaya dan manfaat dari strategi lingkungan terpadu dalam pengelolaan kualitas udara dan pengurangan gas rumah kaca di Wilayah Metropolitan Seoul," *Kebijakan Energi*, jilid. 39, tidak. 9, hal. 5296–5308, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.034>.
- [7] LPPMItenas, Vital Strategies, dan Dinas Lingkungan Hidup Jakarta, "Studi perhitungan skenario penurunan emisi pencemar udara untuk Provinsi Jakarta," Bandung, 2021.
- [8] A.Venkatram dan W. Qian, "Pemodelan Peraturan: Isu Saat Ini dan Masa Depan," *Kualitas Udara dan Perubahan Iklim*, vol. 43, tidak. 4, hlm.17–23, 2009.
- [9] Nurhayati-Wolff H, "Laju Inflasi Tahunan Sektor Kesehatan di Indonesia dari 2014 hingga 2020.," <https://www.statista.com/statistics/1005580/indonesia-annual-inflation-rate-of-healthcare/#statisticContainer> .
- [10] Badan Pusat Statistik Jakarta, "Statistik Transportasi Provinsi Jakarta 2020," Jakarta, November 2021.[On line]. Tersedia: <https://jakarta.bps.go.id/publication/2021/11/23/1aaaa91a6dd67d24ffeed6cd/statistik-transportasi-provinsi--jakarta-2020.html>
- [11] Kompas, "Dishub Anggarkan Rp 119 Miliar untuk Kendaraan Dinas, Termasuk Motor Listrik ," Jakarta, 2022. Diakses: 25 Mar 2023. [Daring]. Tersedia: <https://megapolitan.kompas.com/read/2022/11/12/06103631/dishub--anggarkan-rp-119-miliar-untuk-kendaraan-dinas-termasuk-motor#>
- [12] Badan Pusat Statistik Jakarta, "Statistik Transportasi Jakarta 2016," Jakarta, Oktober 2017.[On line]. Tersedia: <https://jakarta.bps.go.id/publication/2017/10/11/306f08af1cacc7446e818011/statistik-transportasi--jakarta-2016.html>
- [13] Pemerintah Indonesia, "Instruksi Presiden (INPRES) Nomor 7 Tahun 2022 tentang Penggunaan Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai Sebagai Kendaraan Dinas Operasional dan/atau Kendaraan Perorangan Dinas Instansi Pemerintah Pusat dan Pemerintahan Daerah," 2022. [Daring]. Tersedia: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/225262/inpres-no-7-tahun-2022>

- [14] Statistik Jakarta, “Statistik Transportasi Jakarta 2019,” Jakarta, Oktober 2020.[On line]. Tersedia: <https://jakarta.bps.go.id/publication/2020/10/30/5334ef6b5ef39c73ec068416/statistik-transportasi--jakarta-2019.html>
- [15] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, “Indonesia Energy Outlook 2019,” Jakarta, September 2019. [Daring]. Tersedia: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-indonesia-energy-outlook-2019-english-version.pdf>
- [16] Badan Pusat Statistik Jakarta, “Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Provinsi dan Jenis Kendaraan (unit), 2022.” [On line]. Tersedia: https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view_data_pub/0000/api_pub/V2w4dFkwdFNLNU5mSE95Und2UDRMQT09/da_10/1
- [17] Fasilitas Keuangan Kota C40, “Pengadaan E-Bus (Rute BRT) oleh TransJakarta,” Jerman, 2021. [Daring]. Tersedia: <https://cff-prod.s3.amazonaws.com/storage/files/GMYXvg2BuYxwtf7gLh3X0RRfZq2ouLLeEPjQ1r53.pdf>
- [18] Badan Pusat Statistik Jakarta, “Statistik Transportasi Provinsi Jakarta 2021,” Jakarta, November 2022.[On line]. Tersedia: <https://jakarta.bps.go.id/publication/2022/11/23/7afbea4e4bffe82f2c3e2d7a/statistik-transportasi-provinsi--jakarta-2021.html>
- [19] Kompas, “Tarif Integrasi Rp 10.000 Berlaku di Semua Halte Transjakarta.” Diakses: 04 April 2023. [Daring]. Tersedia: <https://megapolitan.kompas.com/read/2022/08/12/16445101/tarif-integrasi-rp-10000-berlaku-di-semua-halte-transjakarta?page=all>
- [20] PT Transportasi Jakarta, “Laporan Tahunan TransJakarta.” Diakses: 15 Februari 2023. [Daring]. Tersedia: <https://ppid.transjakarta.co.id/informasi-publik/laporan-tahunan-pt-transportasi-jakarta>
- [21] Perusahaan Kereta Api Indonesia, “Rencana Kerja dan Anggaran Perusahaan Tahun 2022,” Jakarta, 2022. [Daring]. Tersedia: https://ppid.kai.id/media/konten/111_rka.pdf
- [22] Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta, “Statistik Transportasi Jakarta 2018,” Jakarta, 2019. [Daring]. Tersedia:

- <https://jakarta.bps.go.id/publication/2018/10/03/cb1285d8dbe8be8754a5830d/statistik-transportasi--jakarta-2018.html>
- [23] Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta, “Jumlah Rumah Tangga menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jakarta 2020-2022.” Diakses: 05 April 2023. [Daring]. Tersedia: <https://jakarta.bps.go.id/indicator/12/1055/1/jumlah-rumah-tangga-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi--jakarta.html>
- [24] Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jakarta, “Program Data dan Anggaran Dinas Lingkungan Hidup Jakarta 2020 - 2022.” Diakses: 03 April 2023. [Daring]. Tersedia: <https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/program/anggaran>
- [25] Badan Pusat Statistik dan Bappenas, “Proyeksi Penduduk Indonesia 2015-2045 Hasil SUPAS 2015-2045,” Jakarta, Indonesia, 2018.
- [26] C. Abbafati *et al.*, “Beban global dari 87 faktor risiko di 204 negara dan wilayah, 1990–2019: analisis sistematis untuk Studi Beban Penyakit Global 2019,” *The Lancet*, vol. 396, tidak. 10258, hlm. 1223–1249, Oktober 2020, doi: 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.
- [27] G. Syuhada *et al.*, “Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan dan Biaya Penyakit di Jakarta, Indonesia,” *Int J Environ Res Public Health*, vol. 20, hal. 2916, Februari 2023, doi: 10.3390/ijerph20042916.
- [28] S. Heft-Neal, J. Burney, E. Bendavid, dan M. Burke, “Hubungan yang kuat antara kualitas udara dan kematian bayi di Afrika,” *Alam*, jilid. 559, tidak. 7713, hlm. 254–258, 2018, doi: 10.1038/s41586-018-0263-3.
- [29] VC Pun, R. Dowling, dan S. Mehta, “Pencemaran udara lingkungan dan rumah tangga terhadap faktor-faktor penentu stunting pada tahap awal kehidupan—tinjauan sistematis dan meta-analisis,” *Penelitian Ilmu Lingkungan dan Polusi*, jilid. 28, tidak. 21, hal.26404–26412, 2021, doi: 10.1007/s11356-021-13719-7.
- [30] Y. Liu, J. Xu, D. Chen, P. Sun, dan X. Ma, “Hubungan antara polusi udara dan kelahiran prematur dan berat badan lahir rendah di Guangdong, Tiongkok,” *Kesehatan Masyarakat BMC*, jilid. 19, tidak. 1, hal. 3 September 2019, doi: 10.1186/s12889-018-6307-7.
- [31] H. Nurhayati-Wolff, “Laju Inflasi Tahunan Sektor Kesehatan di Indonesia Tahun 2014 hingga 2020,” *Statista*. Diakses: 10 September 2021. [Daring].

- Tersedia: <https://www.statista.com/statistics/1005580/indonesia-annual-inflation-rate-of-healthcare/#statisticContainer>
- [32] LA Robinson, JK Hammitt, dan L. O'Keeffe, "Menilai pengurangan risiko kematian dalam analisis manfaat-biaya global," *J Manfaat Biaya Anal*, jilid. 10, hlm. 15–50, Januari 2019, doi: 10.1017/bca.2018.26.
- [33] J. Hoddinott, H. Alderman, JR Behrman, L. Haddad, dan S. Horton, "Alasan ekonomi untuk berinvestasi dalam pengurangan stunting," *Nutrisi Ibu dan Anak*, jilid. 9, hlm. 69–82, September 2013, doi: 10.1111/mcn.12080.
- [34] Pemerintah Provinsi Jakarta, "DataKendaraan Dinas Operasional Di Provinsi Jakarta," Jakarta, 2018. [Daring]. Tersedia: <https://data.jakarta.go.id/dataset/data-kendaraan-dinas-operasional-di-jakarta>
- [35] Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta, "Jumlah Pegawai Negeri Sipil Menurut Provinsi/Kabupaten/Kota dan Jenis Kelamin 2019-2022." Diakses: 03 April 2023. [Daring]. Tersedia: <https://jakarta.bps.go.id/indicator/101/389/1/jumlah-pegawai-negeri-sipil-menurut-provinsi-kabupaten-kota-dan-jenis-kelamin.html>
- [36] Informasi Biaya, "Biaya Perpanjangan KIR Kendaraan & Pengujian," Jakarta, Agustus 2020. Diakses: 20 Maret 2023. [Daring]. Tersedia: <https://biaya.info/biaya-perpanjangan-kir-kendaraan-pengujian/>
- [37] N. Zhao *et al.*, "Upaya Tiongkok untuk memerangi polusi udara selama periode 2015–2018: studi kasus yang menilai manfaat lingkungan, kesehatan, dan ekonomi di wilayah Beijing-Tianjin-Hebei dan sekitarnya '2 + 26'," *Science of The Total Lingkungan Hidup*, jilid. 853, tidak. Agustus, hal. 158437, Desember 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158437.
- [38] Y.-H. Liu, W.-Y. Liao, X.-F. Lin, L. Li, dan X. Zeng, "Penilaian manfaat tambahan dari tindakan pengurangan emisi kendaraan untuk tahun 2015–2020 di wilayah Delta Sungai Mutiara, Tiongkok," *Pencemaran lingkungan*, jilid. 223, tidak. 2017, hlm. 62–72, April 2017, doi: 10.1016/j.envpol.2016.12.031.
- [39] LM Baptista Ventura, F.de Oliveira Pinto, A.Gioda, dan M. de Almeida D'Agosto, "Program inspeksi dan pemeliharaan untuk kendaraan yang sedang bertugas: alat pengendalian polusi udara yang penting," *Sustain*

- Cities Soc, vol. 53, hal. 101956, Februari 2020, doi: 10.1016/j.scs.2019.101956.
- [40] Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta, "PDRB Provinsi Atas Dasar Harga Berlaku menurut Pengeluaran (Milyar Rupiah), 2017-2019." Diakses: 04 Maret 2023. [Daring]. Tersedia: <https://jakarta.bps.go.id/indicator/156/63/2/pdrb-provinsi-atas-dasar-harga-berlaku-menurut-pengeluaran-.html>
- [41] J.Zhang *et al.*, "Analisis biaya-manfaat dari rencana aksi Tiongkok untuk pencegahan dan pengendalian polusi udara," *Frontiers of Engineering Management*, vol. 6, tidak. 4, hlm.524–537, Desember 2019, doi: 10.1007/s42524-019-0074-8.

SUPLEMEN

Lampiran 1: Referensi asumsi yang digunakan untuk memperkirakan biaya program

Program	Barang	Satuan	Nilai	Referensi
OTR1	Jumlah EV: sepeda motor 2023	satuan	110	https://megapolitan.kompas.com/read/2022/11/12/06103631/dish-ub--anggarkan-rp-119-miliar-untuk-kendaraan-dinas-termasuk-motor#
	Anggaran Sepeda Motor EV 2023	juta Rp	4400	https://megapolitan.kompas.com/read/2022/11/12/06103631/dish-ub--anggarkan-rp-119-miliar-untuk-kendaraan-dinas-termasuk-motor#
	Jumlah kendaraan pemerintah	satuan	322	https://data.jakarta.go.id/dataset/data-kendaraan-dinas-operasional-di--jakarta
	Pertumbuhan kendaraan pemerintah: mobil	%	0,5	Asumsi berdasarkan jumlah PNS
	Pertumbuhan kendaraan pemerintah: sepeda motor	%	1	Asumsi berdasarkan jumlah PNS
	Proyeksi kendaraan pemerintah	kecenderungan	linier	Tren bersejarah
	Harga EV: mobil	juta Rp	299,5	https://wuling.id/id/daftar-harga?gclid=CjwKCAiA_6yfBhBNEiwAkmXy50huophgVfhK0qSC1zehC7_2ApnEG62r1-A8B5svwqUv61oa_UE1YBoCZnMQAvD_BwE
	Harga EV: sepeda motor	juta Rp	10.3	https://shopee.co.id/Sepeda-Motor-Listrik-T3-Uwinfly-1200W-Garansi-Resmi-Bonus-Helm-i.171924225.18753757512?sp_atk=3e27339b-5298-49cf-9883-

				9ca8c21e55c6&xptdk=3e2733
				9b-5298- 49cf-9883-
				9ca8c21e55c6
	Biaya operasional per unit kendaraan pemerintah konv	juta Rp	5	Asumsi sendiri
	Biaya operasional per unit EV	juta Rp	10	Asumsi sendiri
OTR2	Jumlah angkutan umum tahun 2019	satuan	35.602	Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta 2019
	Pertumbuhan angkutan umum	%	-8.12	Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta 2016-2019
	Pertumbuhan kondisi stabil	tahun	2025	Asumsi sendiri
	Proyeksi angkutan umum	kecenderungan	linier	Tren sejarah
	Harga solar Dexlite CN51	Rp	17.100	https://www.cnbcindonesia.com/news/20220924062439-4-374615/daftar-lengkap-harga-bbm-indonesia-spbu-swasta-turun-harga
	Harga BioSolar CN48	Rp	6.800	https://www.cnbcindonesia.com/news/20220924062439-4-374615/daftar-lengkap-harga-bbm-indonesia-spbu-swasta-turun-harga
	Persentase Provinsi Jakarta terhadap nasional: penggunaan solar	%	15	https://www.bps.go.id/indikator/indikator/view_data_pub/0000/api_pub/V2w4dFkwdFNLNU5mSE95Und2UDRMQT09/da_10/1
	Persentase angkutan umum terhadap sektor transportasi	%	10	Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta 2019
	Permintaan solar nasional (rata-rata)	juta kliter	14.79	https://dataindonesia.id/sector-riil/detail/konsumsi-solar-di-

	Pertumbuhan harga BBM	%	10	indonesia-capai-159-juta-kiloliter-pada-2021
	Harga uji emisi angkutan umum	Rp	87.000	https://biaya.info/biaya-perpanjangan-kir-kendaraan-pengujian/
OTR3	Harga bus listrik	juta Rp	5.000	Laporan Fasilitas Keuangan Kota C40
	Proyeksi bus listrik	kecenderungan	linier	Asumsi sendiri
	Tingkat pemeliharaan	%	7.5	Asumsi sendiri
OTR4	Jumlah mobil pribadi tahun 2019	satuan	2.805.989	https://statistik.jakarta.go.id/peningkatan-jumlah-kendaraan-bermotor-di-DKI-jakarta/
	Jumlah sepeda motor pribadi tahun 2019	satuan	8.194.590	https://statistik.jakarta.go.id/peningkatan-jumlah-kendaraan-bermotor-di-dki-jakarta/
	Proyeksi kendaraan pribadi	kecenderungan	linier	Tren sejarah
	Pertumbuhan mobil pribadi	%	2.59	Badan Statistika 2017-2019
	Pertumbuhan sepeda motor pribadi	%	4.11	Badan Statistika 2017-2019
	Biaya operasional per unit	Rp	127.764	https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/02/23/capaian-uji-emisi-kendaraan-di-jakarta-masih-sangat-rendah
	Tingkat pemeliharaan	%	7.5	Asumsi sendiri
OTR5	Pengganda untuk mobil	kekuatan	2	Asumsi sendiri
	Pengganda untuk sepeda motor	kekuatan	1	Asumsi sendiri
	Biaya transportasi per hari untuk KRL/Transjakarta	Rp	10.000	https://megapolitan.kompas.com/read/2022/08/12/16445101/tarif-integrasi-rp-10000-berlaku-di-

				semua-halte-Transjakarta?page=all
	Cakupan subsidi	%	50-25	Asumsi sendiri
	Proyeksi jumlah orang yang beralih ke angkutan umum	kecenderungan	eksponensial	Tren sejarah
	Proyeksi penumpang KRL	kecenderungan	logaritma	Tren sejarah
	Proyeksi penumpang Transjakarta	kecenderungan	logaritma	Tren sejarah
	Pertumbuhan total pendapatan KRL	%	15.88	https://ppid.kai.id/media/konten/111_rka.pdf
	Pertumbuhan total pendapatan Transjakarta	%	28.66	https://jakarta.bps.go.id/indicator/17/812/1/jumlah-penumpang-dan-pendapatan-trans-jakarta-menurut-koridor-rute.html
	Pembagian biaya operasional terhadap total pendapatan KRL/Transjakarta	%	80	Asumsi sendiri
	Tingkat pemeliharaan	%	7.5	Asumsi sendiri
RES	Jumlah rumah tangga 2021	KK	2.770.729	https://jakarta.bps.go.id/subject/12/kependudukan.html#subjekViewTab3
	Proyeksi jumlah rumah tangga	tren	Eksponensial	Tren sejarah
	Subsidi per KK	juta Rp	2.5	https://katadata.co.id/happyfajria/berita/63368520ac369/rencana-pembagian-10000-kompord-listrik-gratis-di-jakarta-kandas
	Tingkat pemeliharaan	%	7.5	Asumsi sendiri
DUS	Anggaran pengendalian tahun 2022	juta Rp	256.65	https://lingkunganhidup.jakarta.go.id/program/anggaran
	Jumlah perusahaan tahun 2020	satuan	1721	https://jakarta.bps.go.id/indicator/9/226/1/jumlah-perusahaan-tenaga-kerja-investasi-dan-nilai

				produksi-pada-industri-besar-dan-sedang-menurut-kabupaten- kota.html
	Biaya operasional per unit	%	10	Asumsi sendiri
	Tingkat pemeliharaan	%	7.5	Asumsi sendiri
OB	Anggaran pengendalian tahun 2022	juta Rp	544.67	https://jakarta.bps.go.id/indicator/9/226/1/jumlah-perusahaan-tenaga-kerja-investasi-dan-nilai-produksi-pada-industri-besar-dan-sedang-menurut-kabupaten- kota.html
	Jumlah KK per cluster	KK	1000	Asumsi sendiri
	Biaya operasional per cluster	juta Rp	16	Perhitungan sendiri
	Tingkat pemeliharaan	%	7.5	Asumsi sendiri

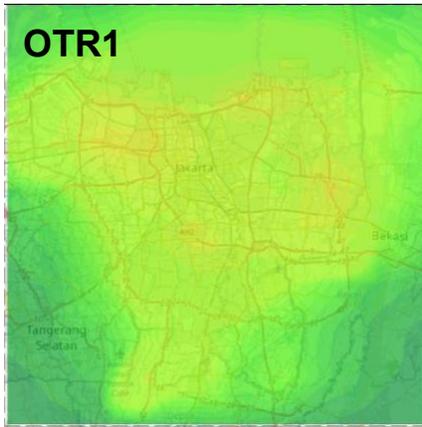
Lampiran 2: Definisi hasil

Tabel berikut menjelaskan definisi hasil kesehatan yang dinilai dalam penelitian ini. Untuk penyebab kematian spesifik, kelompok penyakitnya sesuai dengan kategorisasi ICD-10 yang digunakan dalam Studi GBD 2019.

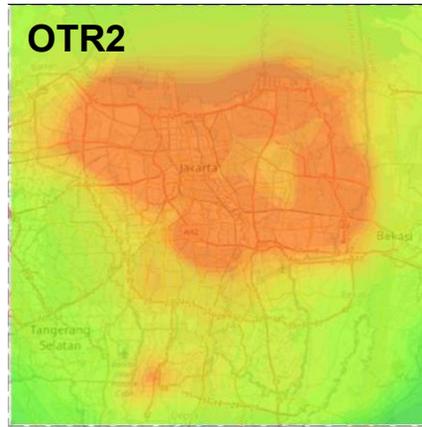
Tabel Suplementasi 1. Ringkasan hasil kesehatan dan definisinya disertakan dalam penelitian ini

Hasil	Definisi (ICD-10 atau ditentukan lain)
<i>Hasil kesehatan anak-anak</i>	
• Kematian bayi	Semua penyebabnya
• Pengerdilan	Tinggi badan menurut usia kurang dari dua standar deviasi median Standar Pertumbuhan Anak WHO
<i>Hasil kelahiran yang merugikan</i>	
• Berat badan lahir rendah, cukup bulan	Berat badan <2.500 g saat lahir setelah usia kehamilan 37 minggu
• Kelahiran prematur	Kelahiran pada usia kehamilan <37 minggu
• Kecil untuk usia kehamilan	Berat badan <persentil ke-10 bayi yang lahir pada usia kehamilan tertentu
<i>Kematian yang disebabkan oleh penyebab tertentu</i>	
• Penyakit jantung iskemik	I20–I25
• Penyakit serebrovaskular (stroke)	I60–I63, I65–I67, I69.0–I69.3
• Penyakit paru obstruktif kronik (PPOK)	J40–J44, J47
• Diabetes melitus tipe 2	E10–E13
• Kanker trakea, bronkus, dan paru-paru	C33–C34. D02.1, D02.2, D38.1
• Infeksi saluran pernapasan bawah	J09–J15.8, J16–J16.9, J20–J21.9, P23–P23.9, dan Z25.1

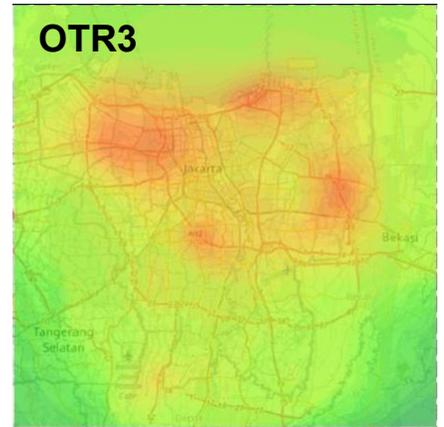
Lampiran 3: Hasil simulasi untuk tahun 2025 (dalam $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



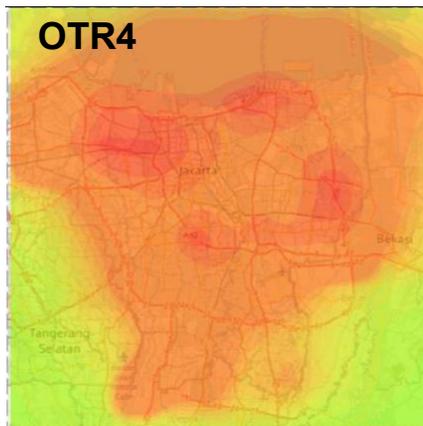
Rata-rata domain: 0,12
Maks domain: 0,46



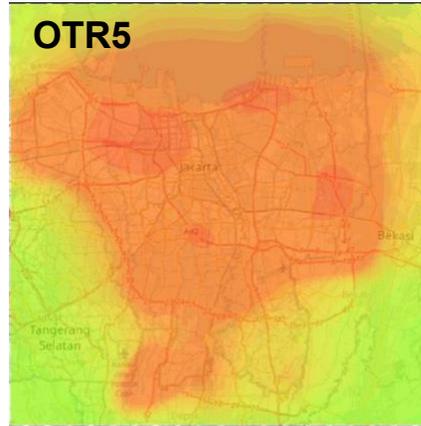
Rata-rata domain: 0,53
Maks domain: 2



Rata-rata domain: 0,3
Maks domain: 1.2



Rata-rata domain: 1.4
Maks domain: 5.4



Rata-rata domain: 1.1
Maks domain: 4.1

