



Pengukuran emisi kendaraan bermotor *real-world* di Jakarta, Indonesia

Penulis: Aditya Mahalana, Liuhanzi Yang, Tim Dallmann, Puji Lestari, Khafid Maulana, Nurendra Kusuma

NOVEMBER 2022



UCAPAN TERIMA KASIH:

Penulis* mengucapkan terima kasih kepada Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT), Pemerintah DKI Jakarta, KORLANTAS POLRI, TransJakarta Bus Rapid Transit, Institut Teknologi Bandung (ITB), dan Environmental Technology Consultants (ETC) Hong Kong atas dukungan mereka terhadap proyek ini. Penulis juga berterima kasih kepada para peninjau internal dan eksternal laporan ini, Kaylin Lee, Tenny Kristiana, Adhi Triatmojo, dan Francisco Posada (ICCT). Ulasan mereka tidak menyiratkan dukungan terhadap isi laporan ini. Setiap kesalahan adalah tanggung jawab penulis.

Studi ini didanai melalui dukungan dari Aspen Global Change Institute dan ClimateWorks Foundation.

FIA Foundation dan International Council on Clean Transportation (ICCT) membentuk sebuah inisiatif yang dinamai The Real Urban Emissions (TRUE) Initiative. TRUE Initiative berupaya untuk menyediakan data bagi kota-kota mengenai emisi dunia nyata dari armada kendaraan mereka dan melengkapi mereka dengan informasi teknis yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan strategis.

* Aditya Mahalana, Liuhanzi Yan, dan Tim Dallmann dari International Council on Clean Transportation. Puji Lestari, Khafid Maulana, dan Nurendra Kusuma dari Institut Teknologi Bandung

RINGKASAN EKSEKUTIF

Kendaraan bermotor berkontribusi secara signifikan terhadap kualitas udara yang buruk di Jakarta, Indonesia, dan polusi ini berdampak negatif terhadap kesehatan warganya. Saat ini, masih ada kekurangan pemahaman tentang emisi dunia yang riil dari kendaraan yang terdapat di Jakarta, dan apakah peraturan dan kebijakan transportasi bersih yang ada saat ini sudah memberikan efek penurunan emisi yang diharapkan. Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut, The Real Urban Emissions (TRUE) Initiative, bekerja sama dengan Institut Teknologi Bandung (ITB) dan didukung oleh Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT), melakukan studi pengujian emisi kendaraan yang pertama kali dilakukan di wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi (Jabodetabek) untuk memberikan informasi terkini tentang emisi. Analisis data yang dikumpulkan dimaksudkan untuk memberikan bukti dan dukungan untuk tindakan di masa depan, sehingga dampak kendaraan bermotor terhadap kualitas udara dan kesehatan dapat diatasi.

Studi ini dilakukan dari Januari hingga April 2021. Selama kurun waktu tersebut, para peneliti dari ITB menggunakan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) untuk mengukur tingkat emisi polutan dari lebih dari 93.000 armada kendaraan yang beroperasi. Armada kendaraan yang dijadikan sampel tersebut terdiri dari kendaraan penumpang, bus, truk berat dan ringan, sepeda motor, dan taksi. Data yang didapat dianalisis mengikuti metodologi yang dikembangkan dalam studi inisiatif TRUE sebelumnya untuk memberikan wawasan tentang emisi dunia nyata dari armada kendaraan di Jakarta. Hasil analisis menginformasikan rekomendasi untuk kebijakan dan tindakan yang dapat membatasi emisi dari kendaraan di jalan raya di Jakarta dan Indonesia.

Temuan utama dari studi ini adalah:

- Jenis kendaraan di mana mesin diesel lebih umum digunakan seperti pada bus, truk tugas berat, dan truk tugas ringan-memiliki median emisi nitrogen oksida (NO_x) tertinggi yang diukur selama studi. Median emisi NO_x spesifik-bahan bakar dari truk tugas berat dan ringan adalah 13-14 kali lipat emisi kendaraan penumpang pribadi dan taksi, di mana kendaraan jenis tersebut menggunakan mesin bensin sebagai sumber tenaga yang paling umum. Variasi yang lebih sedikit teramati pada median emisi karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) di seluruh jenis kendaraan.
- Emisi NO_x median kendaraan penumpang diesel dan truk tugas ringan masing-masing 9 dan 10 kali lipat dari emisi kendaraan sebanding yang menggunakan mesin bensin. Untuk jenis kendaraan yang sama, median emisi CO dan HC lebih tinggi untuk kendaraan bensin dibandingkan dengan kendaraan diesel, meskipun besaran relatif perbedaan emisi ini lebih kecil daripada yang diamati untuk emisi NO_x (1,5-2,5 kali untuk emisi CO dan 1,4-1,5 kali untuk emisi HC).
- Bus yang menggunakan bahan bakar gas alam menunjukkan kinerja emisi NO_x yang jauh lebih baik daripada bus diesel, dengan tingkat emisi spesifik-bahan bakar median 3 g/kg dibandingkan dengan 45,5 g/kg untuk bus diesel. Meskipun ukuran sampel untuk bus gas alam relative kecil, temuan ini menunjukkan manfaat emisi NO_x yang signifikan relative terhadap bus solar. Median emisi HC dan CO untuk bus dengan bahan bakar gas alam dan bus diesel adalah sebanding.
- Untuk kendaraan penumpang bensin, penerapan standar emisi Euro 2 pada tahun 2007 berdampak pada penurunan emisi kendaraan yang signifikan. Apabila dinyatakan dalam basis gram per kilometer, emisi NO_x, CO, dan HC dari kendaraan dengan standar emisi Euro 2 yang diukur selama studi ini masing-masing 94%, 77%, dan 72% lebih rendah daripada emisi dari kendaraan yang dibuat sebelum tahun 2007. Penurunan lebih lanjut sebesar 58% untuk emisi NO_x median dan 49% untuk emisi CO median diamati untuk kelompok kendaraan ini dengan diperkenalkannya standar Euro 4 pada tahun 2018.
- Relatif terhadap model bensin, penerapan standar Euro 2 untuk kendaraan penumpang diesel menghasilkan penurunan emisi yang lebih sedikit-45% untuk NO_x, 25% untuk CO, dan 18% untuk HC. Median emisi NO_x dari kendaraan penumpang diesel Euro 2 adalah 8-19 kali emisi versi bensin yang diproduksi pada tahun yang sama. Emisi NO_x dari kendaraan penumpang diesel Euro 2 kira-kira 7 kali lebih tinggi daripada emisi dari model bensin dengan standar emisi Euro 2.
- Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa hanya sedikit peningkatan emisi truk diesel yang dicapai dalam dekade terakhir. Untuk truk diesel tugas berat dan ringan dengan standar emisi Euro 2/II,

median emisi NO_x, CO, dan HC masing-masing 15%-24%, 18-21%, dan 23% lebih rendah daripada emisi kendaraan pra-Euro 2/II. Meskipun beberapa penurunan emisi NO_x median dapat terlihat dengan diperkenalkannya standar Euro II, tingkat emisi masih cukup tinggi dan jauh di atas tingkat yang dapat ditangani oleh sistem pembuangan *aftertreatment* pada mesin diesel modern.

Temuan-temuan tersebut mengarah pada beberapa rekomendasi kebijakan sebagai berikut:

- Untuk mengatasi peningkatan emisi NO_x dari kendaraan diesel dan untuk terus meningkatkan performa emisi *real-world* pada semua jenis kendaraan, kami merekomendasikan agar Indonesia mengembangkan rencana dan jadwal untuk penerapan standar emisi Euro 6/VI. Langkah ini akan memastikan bahwa teknologi pengendalian emisi terbaik yang tersedia, seperti filter partikulat diesel dan sistem reduksi katalitik selektif, dapat digunakan untuk kendaraan dan mesin baru. Yang terpenting, standar kualitas bahan bakar harus sesuai dengan ambisi ini dan rencana untuk membuat bahan bakar dengan kandungan sulfur ultra-rendah tersedia secara luas juga harus dikembangkan.
- Pengembangan lebih lanjut dari kebijakan zona rendah emisi Jakarta akan mendapatkan manfaat lebih dari penetapan pembatasan untuk kelompok kendaraan dengan emisi *real-world* tertinggi yang

telah terbukti, termasuk mobil penumpang bensin pra-Euro 2 dan semua mobil penumpang diesel. Jika perluasan zona rendah emisi Jakarta di masa depan tidak membatasi kendaraan angkutan barang seperti yang terjadi saat ini, hanya kami merekomendasikan kendaraan tugas ringan dan berat Euro 6/VI atau tanpa emisi yang diizinkan masuk ke dalam zona ini.

- Tindakan yang direkomendasikan untuk mendukung peningkatan kinerja emisi bus yang beroperasi di Jakarta di antara lain adalah mewajibkan operator armada untuk membeli bus yang memenuhi standar emisi Euro VI, memperketat persyaratan inspeksi dan pemeliharaan untuk armada, dan mempercepat transisi ke bus listrik tanpa emisi, terutama untuk armada bus perkotaan.
- Untuk mendapatkan manfaat penuh dari program pengujian emisi kendaraan yang ada, Jakarta harus menerapkan ketentuan untuk mendorong partisipasi yang lebih besar dari pemilik kendaraan pribadi. Selain itu, ambang batas yang ada untuk mengidentifikasi kendaraan beremisi tinggi harus ditinjau secara berkala. Program penginderaan jauh (*remote sensing*) di masa depan dapat dikembangkan untuk melengkapi program pengujian kendaraan yang sudah ada, agar dapat mengidentifikasi kendaraan dengan emisi tinggi secara lebih efisien.

TABLE OF CONTENTS

| | |
|---|-----------|
| Ringkasan eksekutif | i |
| Pendahuluan..... | 1 |
| Latar belakang kebijakan | 2 |
| Gambaran umum studi penginderaan jauh TRUE <i>Initiative</i> di Jakarta..... | 5 |
| Pengumpulan data..... | 5 |
| Pemrosesan dan analisis data..... | 7 |
| Ikhtisar sampel..... | 7 |
| Hasil emisi | 10 |
| Emisi menurut jenis kendaraan | 10 |
| Emisi kendaraan penumpang | 13 |
| Perbandingan antara kendaraan penumpang bensin dan taksi | 14 |
| Emisi kendaraan komersial..... | 15 |
| Emisi dari sepeda motor..... | 16 |
| Implikasi dan rekomendasi kebijakan | 17 |
| Standar emisi untuk kendaraan dan mesin baru..... | 18 |
| Zona emisi rendah Jakarta..... | 18 |
| Inspeksi kendaraan pribadi dan pengujian emisi | 19 |
| Tindakan yang ditargetkan untuk armada kendaraan..... | 20 |
| Lampiran | 21 |

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia telah mengakui bahwa pertumbuhan ekonomi juga membawa dampak negatif terhadap lingkungan, khususnya emisi polutan udara dari sektor transportasi. Transportasi jalan di Indonesia di dominasi oleh mobilitas orang dan barang, dan melayani sekitar 85% penumpang dan 90% kebutuhan angkutan barang.¹ Banyaknya jumlah kendaraan, yang dibarengi dengan kurangnya infrastruktur, mengakibatkan kemacetan lalu lintas yang parah yang selanjutnya berkontribusi pada tingginya tingkat emisi polutan udara, yang memiliki efek negatif yang signifikan terhadap kesehatan masyarakat.²

Pada tahun 2019, Jakarta menduduki peringkat pertama sebagai kota dengan kualitas udara terburuk di Asia Tenggara³. Menurut World Air Quality Report 2021 yang dirilis oleh IQ Air, Jakarta menempati peringkat terburuk ke-12 dibandingkan dengan ibu kota lain di seluruh dunia dalam hal konsentrasi PM_{2.5} tahunan rata-rata (39,2 µg/m³). Tingkat emisi tersebut jauh melebihi nilai Pedoman Kualitas Udara Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) sebesar 5 µg/m³.⁴ Sebuah studi yang dilakukan oleh Vital Strategies pada tahun 2019 menginformasikan bahwa emisi knalpot kendaraan adalah sumber utama polusi PM_{2.5} tertinggi di musim hujan dan kemarau di Jakarta.⁵

Reduksi emisi dari transportasi jalan akan sangat penting untuk mencapai tujuan udara bersih di Jakarta dan melindungi kesehatan warganya. Standar emisi nasional saat ini untuk kendaraan baru yang dijual di Indonesia masih cenderung tertinggal dari praktik-praktik terbaik internasional dan masih belum jelas apakah tindakan-tindakan yang diambil oleh

Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, seperti program pengujian emisi kendaraan secara mandatori, dapat secara efektif mengendalikan emisi dari kendaraan-kendaraan dengan emisi tertinggi. Pemahaman yang lebih baik tentang emisi *real-world* dari kendaraan yang saat ini beroperasi di Jakarta diperlukan untuk menilai efektivitas kebijakan yang ada dan untuk mengembangkan basis bukti yang dapat mendukung langkah-langkah dan tindakan lebih lanjut untuk mengatasi dampak merugikan dari emisi transportasi terhadap lingkungan hidup dan kesehatan masyarakat.

The Real Urban Emissions (TRUE) Initiative, sebuah kemitraan antara the International Council on Clean Transportation dan FIA Foundation, bekerja untuk menyediakan informasi kepada kota-kota tentang emisi *real-world* dari armada kendaraan untuk mendukung pengambilan kebijakan yang berbasis bukti ilmiah. TRUE menerapkan teknologi pengujian emisi kendaraan *real-world* yang inovatif untuk mengukur emisi kendaraan bermotor yang sebenarnya di jalan raya. Data ini dianalisis untuk menghasilkan gambaran terkini tentang emisi armada kendaraan perkotaan dan memberikan informasi kepada pejabat pemerintah untuk mengambil langkah-langkah untuk mengurangi dampak negatif emisi kendaraan terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat. Sejak didirikan pada tahun 2017, TRUE telah melakukan studi pengujian emisi secara terperinci di kota-kota seperti London, Paris, Brussels, Warsawa, dan Mexico City dan telah mendukung kota-kota lain dengan proyek analisis data dunia nyata yang terperinci.

Laporan ini merinci hasil survei emisi kendaraan *real-world* yang ekstensif yang dilakukan oleh TRUE di Jakarta, Indonesia dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Studi ini dilakukan dari periode Januari hingga April 2021 bekerjasama dengan Institut Teknologi Bandung (ITB) dan didukung oleh Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT). Para peneliti mengukur emisi lebih dari 93.000 kendaraan di 20 lokasi di seluruh wilayah DKI Jakarta. Sepengetahuan kami, ini merupakan penerapan pertama teknologi penginderaan jauh di Indonesia dan merupakan salah satu studi pertama yang dilakukan di wilayah ini. Dalam laporan ini kami mendokumentasikan studi pengumpulan data, menyajikan analisis data emisi dunia nyata, dan memberikan rekomendasi kebijakan.

- 1 Kang Hang Leung, "Ringkasan Penilaian Transportasi Indonesia," (Asian Development Bank, 2016), <https://www.adb.org/publications/indonesia-summary-transport-assessment>
- 2 Haryanto, B. (2018). Perubahan Iklim dan Dampak Kesehatan Polusi Udara Perkotaan di Indonesia. Dalam: Akhtar, R., Palagiano, C. (eds) Perubahan Iklim dan Polusi Udara. Springer Climate. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61346-8_14
- 3 "Jakarta memiliki udara paling tercemar di Asia Tenggara: Studi", *The Jakarta Post*, 8 Maret 2019, <https://www.thejakartapost.com/news/2019/03/08/jakarta-has-most-polluted-air-in-southeast-asia-study.html>
- 4 IQAir, "Laporan Kualitas Udara Dunia 2021: Wilayah & Kota PM2.5 Ranking," (2021), <https://www.google.com/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0CAQQw7AJahcKEwilooou5w5P5AhUAAAAAHQAAAAAQAg&url=https%3A%2F%2Fwww.iqair.com%2Fworld-most-polluted-cities%2Fworld-air-quality-report-2021-en.pdf&psig=AOvVawOsBIVjtPWwjNo0DaXfpJff&ust=1658820470016765>
- 5 Vital Strategies, "Sumber Utama Polusi Udara di Jakarta," (2019), <https://www.vitalstrategies.org/resources/identifying-the-main-sources-of-air-pollution-in-jakarta-a-source-apportionment-study/>

LATAR BELAKANG KEBIJAKAN

Standar emisi untuk kendaraan dan mesin baru.

Otoritas yang bertanggung jawab untuk menetapkan standar emisi kendaraan baru di Indonesia adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Tabel 1 merangkum sejarah penerapan standar emisi untuk kendaraan dan mesin baru di Indonesia. Pada tahun 2017, KLHK memperkenalkan standar emisi setara Euro 4/IV untuk kendaraan penumpang bensin dan diesel serta kendaraan tugas berat. Semua kendaraan penumpang bensin baru dan kendaraan tugas ringan yang dijual di Indonesia telah diwajibkan untuk memenuhi standar Euro 4 sejak September 2018.⁶ Sebelum tanggal ini, kendaraan baru diharuskan memenuhi standar setara Euro 2, yang diadopsi pada tahun 2003 dan berlaku efektif sepenuhnya pada tahun 2007. Rencana penerapan standar Euro 4/IV untuk kendaraan diesel sempat ditunda selama satu tahun hingga April 2022 karena pandemi COVID 19. Sebagai perbandingan, standar Euro 4/IV diadopsi di Eropa pada tahun 2005 dan digantikan oleh Euro 5/V pada tahun 2009.⁷ Standar emisi saat ini di Eropa adalah Euro 6/VI E, dan

Euro 7/VII sedang dalam pengembangan, dengan estimasi penerapan pada tahun 2025.⁸

Untuk sepeda motor, standar emisi saat ini adalah Euro 3, yang telah berlaku sejak tahun 2013, meskipun telah ada diskusi mengenai penerapan Euro 4 dalam waktu dekat.⁹

Standar kualitas bahan bakar. Meskipun standar emisi Euro 4/IV telah diterapkan di Indonesia, masih ada tantangan terkait ketersediaan bahan bakar rendah sulfur. Misalnya, bahan bakar diesel dengan kandungan sulfur 50 ppm, yang diwajibkan untuk pengoperasian kendaraan Euro IV, baru akan tersedia secara luas mulai tahun 2026.¹⁰ Indonesia mengizinkan penjualan bahan bakar berkualitas rendah, sebagian besar karena ketidakmampuan kilang-kilang tua yang dioperasikan oleh Pertamina, untuk memproduksi bahan bakar berkualitas tinggi yang kompatibel dengan standar emisi yang lebih ketat. Kategori bensin tertinggi yang didistribusikan oleh Pertamina adalah Pertamina Turbo dengan sulfur kandungan 50 ppm dan kelas diesel tertingginya adalah Pertadex high quality 50 ppm, namun demikian sebagian besar bahan bakar yang dikonsumsi publik saat ini tidak kompatibel dengan kendaraan bensin Euro 3/III.¹¹ Terdapat risiko kerusakan sistem kontrol emisi dan potensi emisi yang lebih tinggi

Tabel 1. Penerapan standar emisi di Indonesia

| Standar emisi | Tahun adopsi | Kategori kendaraan | Tahun efektif untuk mesin bensin | Tahun efektif untuk mesin diesel |
|------------------|--------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| Euro 2/II | 2003 | Kendaraan tugas ringan Kendaraan tugas berat | 2007 | 2011 |
| Euro 3 | 2013 | Sepeda Motor | 2015 | - |
| Euro 4/IV | 2017 | Kendaraan tugas ringan Kendaraan tugas berat | 2018 | 2022 |

6 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2017 Tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori M, Kategori N, dan Kategori O [Minister of Environment and Forestry Regulation Number P.20/MENLHK/SETJEN/KUM.1/3/2017 tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori M, Kategori N, dan Kategori O]," (2017), https://ditppu.menlhk.go.id/portal/uploads/laporan/1593657998_Peraturan%20Menteri%20LHK%20Nomor%20P%2020%20Tentang%20Baku%20Mutu%20Emisi%20Gas%20Buang%20Kendaraan%20Bermotor%20Tipe%20Baru%20Kategori%20M%20Katagori%20N%20dan%20Katagori%20O.PDF

7 Lingzhi Jin, Caleb Braun, Joshua Miller, Claire Buysee, "Kualitas Udara dan Dampak Kesehatan dari Kendaraan Tugas Berat di Ekonomi G20," (Washington, DC: ICCT 2021), https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/12/g20-hdv-impacts-jul2021_0.pdf

8 Transportasi & Lingkungan, "Euro 7," diakses pada 19 Oktober 2022, <https://www.transportenvironment.org/challenges/air-quality/the-euro-7/>

9 Wawan Priyanto, "AISI Siap Berdiskusi Soal Penerapan Euro 4 Untuk Sepeda Motor," *tempo.co*, 19 Juni 2020, <https://otomotif.tempo.co/read/1355450/aisi-siap-berdiskusi-soal-penerapan-euro-4-untuk-sepeda-motor>

10 K/10/DJM/2020 Tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Solar Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri], (2020), <https://migas.esdm.go.id/uploads/regulasi/regulasi-kkkl/2020/146.K-10-DJM-2020.pdf>

11 Yihao Xie dan Marietta Harjono, "Pasar bahan bakar ritel di Indonesia," (Washington, DC: ICCT, 2020), <https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Retail-fuels-indonesia-oct2020.pdf>

Tabel 2. Kebijakan dan peraturan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta terkait polusi udara dan emisi dari sektor transportasi

| Peraturan | Badan yang bertanggung jawab | Tujuan atau target | Implementasi status |
|--|---|--|--|
| Peraturan Daerah No.2/2005 | Dinas Lingkungan Hidup | Mencegah, mengendalikan, memantau, dan menanggulangi polusi udara di DKI Jakarta | Sejak diberlakukan pada tahun 2005, peraturan tersebut telah memberikan dasar hukum bagi Jakarta untuk menetapkan standar kualitas udara ambien dan langkah-langkah lain untuk mengendalikan polusi udara, termasuk pemantauan emisi kendaraan. Undang-Undang Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 22/2001, yang diimplementasikan pada tahun 2021, menetapkan standar kualitas udara ambien untuk semua wilayah di Indonesia, tetapi masih memungkinkan pemerintah provinsi untuk menentukan strategi pengendalian polusi udara dan inventarisasi emisi mereka sendiri. |
| Peraturan Daerah No. 5/2014 | Dinas Perhubungan | Perbaiki sistem transportasi di Jakarta | Peraturan ini memungkinkan perpanjangan koridor bus rapid transit (BRT) untuk meningkatkan jumlah penumpangnya. Peraturan ini juga menetapkan batas usia 10 tahun untuk armada angkutan umum. |
| Peraturan Gubernur No. 155/2018 | Dinas Perhubungan | Penerapan pembatasan lalu lintas untuk meningkatkan arus lalu lintas di arteri utama Jakarta | Peraturan ini bertujuan untuk meningkatkan kelancaran arus lalu lintas dan mengurangi polusi udara akibat kemacetan dengan membatasi kendaraan dari beberapa jalan arteri berdasarkan plat nomor kendaraan. Plat nomor ganjil hanya diperbolehkan untuk melakukan perjalanan pada tanggal ganjil, dan sebaliknya, selama jam sibuk pagi dan sore hari (pukul 06.00 - 10.00 pagi dan 16.00 - 21.00 sore) dari hari Senin sampai Jumat. Denda maksimum Rp500.000 (~ 33 USD) dinilai untuk pelanggaran. Sepeda motor dan kendaraan listrik baterai dikecualikan. |
| Instruksi Gubernur No. 66/2019 | Lintas Agensi | Mengoptimalkan langkah-langkah pengendalian polusi udara yang ada, termasuk dari sektor transportasi | Untuk sektor transportasi, kebijakan ini bertujuan untuk: Memastikan bahwa usia kendaraan maksimum untuk armada umum dan kendaraan pribadi di Jakarta menjadi 10 tahun dan harus lulus uji emisi berkala paling lambat 2025. Mendorong partisipasi publik yang lebih luas untuk mendukung pengendalian polusi udara melalui beberapa langkah, seperti memperkenalkan <i>congestion pricing</i> , memperluas sistem akses "ganjil-genap", dan membedakan biaya parkir berdasarkan kinerja emisi. |
| Peraturan Gubernur No. 66/2020 | Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Perhubungan | Mengatur pelaksanaan wajib uji emisi kendaraan di Jakarta | Peraturan ini memberikan dasar untuk memberlakukan kewajiban uji emisi kendaraan untuk kendaraan pribadi, termasuk kendaraan penumpang, sepeda motor, dan kendaraan roda tiga. Peraturan ini juga menetapkan persyaratan bagi bengkel berlisensi untuk melakukan uji emisi, termasuk sertifikasi instrumen untuk melakukan uji emisi, dan mengatur basis data emisi kendaraan untuk insentif dan disinsentif berdasarkan kinerja emisi kendaraan. |

jika bahan bakar sulfur rendah tidak digunakan pada kendaraan Euro 4/IV.

Kebijakan tingkat daerah di Jakarta. Selain standar emisi nasional untuk kendaraan dan mesin baru, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta telah menerapkan atau mengumumkan sejumlah kebijakan dan langkah-langkah tambahan yang bertujuan untuk mengendalikan emisi dari kendaraan yang beroperasi di Jakarta (Tabel 2). Sebagai contoh, Pemerintah Jakarta telah menetapkan batas usia kendaraan

maksimum untuk kendaraan angkutan umum adalah 10 tahun. Lebih lanjut, batas usia 10 tahun untuk kendaraan pribadi telah tuangkan dalam Instruksi Gubernur No. 66/2019 tentang Pengendalian Kualitas Udara, yang akan sepenuhnya efektif pada tahun 2025.¹² Namun, belum jelas apakah batas usia

¹² Gubernur Daerah Khusus Ibukota Jakarta, "Instruksi Gubernur Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 66 Tahun 2019 tentang Pengendalian Kualitas Udara," (2019), https://jdih.jakarta.go.id/uploads/default/produk hukum/INGUB_NO_66_TAHUN_2019.pdf

Tabel 3. Ambang batas emisi untuk kendaraan yang sedang digunakan di Jakarta

| Kategori kendaraan | Model tahun | Karbon Monoksida (CO) (%) | Hidrokarbon (HC) (ppm) | Opasitas (%HSU)* | Metode pengujian |
|---|--------------------|---------------------------|------------------------|------------------|------------------|
| Sepeda motor (2 tak) | sebelum tahun 2010 | 4,5 | 12000 | | idle |
| Sepeda motor (4 tak) | sebelum tahun 2010 | 5,5 | 2400 | | idle |
| Sepeda motor (2 & 4 tak) | setelah tahun 2010 | 4,5 | 2000 | | idle |
| Kendaraan penumpang Bensin dan kendaraan komersial | sebelum tahun 2007 | 3,0 | 700 | | idle |
| | setelah tahun 2007 | 1,5 | 200 | | idle |
| Kendaraan penumpang diesel dan kendaraan komersial | | | | | |
| | | | | | |
| GVW < 3,5 Ton | sebelum tahun 2010 | | | 50 | Akselerasi bebas |
| | setelah tahun 2010 | | | 40 | Akselerasi bebas |
| GVW > 3,5 Ton | sebelum tahun 2010 | | | 60 | Akselerasi bebas |
| | setelah tahun 2010 | | | 50 | Akselerasi bebas |

* Hartridge smoke unit

kendaraan pribadi dapat sepenuhnya diterapkan karena belum selaras dengan peraturan di tingkat nasional (UU No 22/2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan). Hal ini menunjukkan perlunya penyesuaian yang lebih baik antara peraturan di tingkat nasional dan di tingkat lokal untuk kendaraan yang sedang digunakan (in use vehicle).¹³

Provinsi DKI Jakarta menerapkan aturan terkait ambang batas emisi untuk kendaraan yang sedang digunakan pada tahun 2008. Ambang batas emisi HC dan CO ditetapkan untuk kendaraan bensin, sementara opasitas ditetapkan untuk kendaraan diesel. ¹⁴ Tabel 3 mencantumkan ambang batas emisi untuk sepeda motor, kendaraan penumpang, dan kendaraan komersial. Upaya lebih lanjut oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta untuk mengatasi emisi kendaraan tercantum dalam Peraturan Gubernur No.66/2020 tentang Pengujian Emisi Gas Buang

Kendaraan Bermotor.¹⁵ Berdasarkan peraturan ini, semua kendaraan bermotor pribadi (roda dua dan empat) diwajibkan untuk menjalani uji emisi gas buang setidaknya sekali setiap tahun dan hasil pengujian harus diintegrasikan dengan data kendaraan. Kendaraan yang tidak mematuhi persyaratan pengujian akan dikenakan sanksi jika ditemukan beroperasi di dalam wilayah kota. Lebih lanjut, kendaraan yang tidak lulus uji akan dikenakan disinsentif, seperti membayar tarif parkir tertinggi, dan akan dilarang memasuki zona rendah emisi. Badan Lingkungan Hidup Jakarta bertanggung jawab untuk mengawasi pelaksanaan pengujian emisi gas buang. Hingga saat ini, implementasi penuh dari program pengujian emisi secara mandatori masih tertunda, yang disebabkan oleh kurangnya partisipasi dari pemilik kendaraan, dan juga sanksi untuk kendaraan yang tidak lolos uji emisi juga belum sepenuhnya ditegakkan.

Peraturan Gubernur No.66/2020 juga menetapkan persyaratan untuk bengkel mobil yang tersertifikasi untuk melakukan pengujian emisi kendaraan. Bengkel-bengkel ini harus memiliki peralatan pengujian yang

13 Arifin Ridwan, "Pemprov DKI Jadi Batasi Mobil Pribadi Usia 10 Tahun ke Atas? [Pemprov DKI Jadi Batasi Mobil Pribadi Usia 10 Tahun ke Atas? Detik Oto, 24 Maret 2021, <https://oto.detik.com/berita/d-5506543/pemprov-dki-jadi-batasi-mobil-pribadi-usia-10-tahun-ke-atas>

14 Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta, "Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 31 Tahun 2008 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," (2008), https://jdih.jakarta.go.id/uploads/default/produkhukum/Jakarta_31_2008.pdf

15 Gubernur Daerah Khusus Ibukota Jakarta, "Peraturan Gubernur Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 66 Tahun 2020 Tentang Uji Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," (2020), https://jdih.jakarta.go.id/uploads/default/produkhukum/PERGUB_NO_66_TAHUN_2020.pdf

diperlukan untuk melakukan uji emisi untuk kendaraan bensin dan diesel, dan peralatan ini harus disertifikasi dan dikalibrasi setidaknya setahun sekali. Hasil pengujian harus diinput ke dalam sistem database yang dikelola oleh pemerintah Jakarta, yang secara otomatis terhubung ke dalam database registrasi kendaraan.

Pada awal tahun 2021, Jakarta menetapkan zona emisi rendah (LEZ) di kawasan Kota Tua di Jakarta Utara, dengan tujuan untuk mengurangi emisi kendaraan dan meningkatkan kualitas udara di daerah tersebut. Hanya kendaraan yang telah lulus persyaratan pengujian emisi, terlepas dari standar emisi mereka (pra- Euro sampai Euro IV), yang diizinkan melintas di dalam zona LEZ. Pemerintah Provinsi DKI Jakarta berencana untuk memperluas zona LEZ di beberapa wilayah kota lainnya dalam waktu dekat, dan untuk mendukung rencana ini, Jakarta telah mengambil langkah-langkah untuk merevitalisasi area pejalan kaki dan membangun pusat transportasi untuk meningkatkan akses ke transportasi publik.¹⁶

GAMBARAN UMUM STUDI PENGINDERAAN JAUH TRUE INITIATIVE DI JAKARTA

TRUE *Initiative* melakukan studi pengujian emisi kendaraan *real-world* di Jakarta untuk memberikan wawasan tentang tingkat emisi dari jenis kendaraan umum yang beroperasi di kota, dan untuk memberikan informasi kepada pejabat pemerintah untuk mendukung pengembangan lebih lanjut dari program pengendalian emisi kendaraan. Sepengetahuan kami, ini adalah kali pertama teknologi penginderaan jauh diaplikasikan untuk mengukur emisi dari kendaraan di Indonesia. Bab ini memberikan deskripsi kegiatan mulai dari pengumpulan data, rincian prosedur pasca-pemrosesan data dan *quality assurance* (QA), serta gambaran umum tentang karakteristik kendaraan yang emisinya diukur selama studi.

PENGUMPULAN DATA

Studi penginderaan jarak jauh emisi kendaraan TRUE Initiative di Jakarta dilaksanakan antara bulan Januari hingga April 2021. Perencanaan kegiatan pengambilan data di lapangan, termasuk pemilihan lokasi dan koordinasi dengan BPJT dan otoritas terkait, dilakukan pada kuartal 4 tahun 2020. Beberapa peneliti dari Institut Teknologi Bandung (ITB) di bawah supervisi Profesor Puji Lestari, yang tunjuk oleh ICCT untuk melakukan pengumpulan data lapangan, berkoordinasi dengan otoritas terkait, dan mendapatkan informasi karakteristik kendaraan untuk kendaraan yang akan diukur. Tim ITB menggunakan peralatan penginderaan jauh yang diproduksi oleh Environmental Technology Consultants Limited (ETC). Instrumen yang disediakan oleh ETC untuk pekerjaan ini adalah Model M752, yang mampu mengukur emisi sejumlah gas buang kendaraan bermotor yang umum, termasuk CO, HC, NO_x dan NO₂. Peralatan ini juga mengukur kecepatan dan akselerasi kendaraan yang diuji pada saat pengukuran emisi dan merekam gambar plat nomor kendaraan.

Para peneliti melakukan pengujian emisi di 18 lokasi di wilayah DKI Jakarta dan 2 lokasi tambahan di Jawa Barat. Gambar 1 menunjukkan 18 lokasi lokasi pengambilan sampel yang digunakan untuk studi ini di wilayah DKI Jakarta, beserta rincian jumlah total pengukuran dan kemiringan jalan (road slope) untuk setiap lokasi. Sebagian besar lokasi ini terletak di dekat gerbang tol yang dikelola oleh Badan Pengatur Jalan Tol (BPJT). Lokasi gerbang tol sangat cocok untuk penggunaan peralatan penginderaan jarak jauh karena arus lalu lintas yang stabil, jalur jalan tunggal, dan kemiringan jalan yang positif. Gambar 2 menunjukkan contoh peralatan pengukuran yang dipasang di lokasi pengambilan sampel gerbang tol. Lokasi-lokasi tersebut dipilih untuk memberikan cakupan geografis yang luas dan diversifikasi armada kendaraan sampel.

¹⁶ Komaruddin Bagja Arjawanungun, "Selain Kota Tua, 3 Lokasi Ini Bakal Jadi Kawasan Zona Rendah Emisi di Jakarta," *Sindonews.com*, 17 November 2021, <https://metro.sindonews.com/read/602427/171/selain-kota-tua-3-lokasi-ini-bakal-jadi-kawasan-zona-rendah-emisi-di-jakarta-1637154676>



Gambar 1. Lokasi lokasi pengambilan sampel di Jakarta. Tabel dalam gambar menunjukkan jumlah total percobaan pengukuran dan kemiringan jalan untuk setiap lokasi.



Gambar 2. Peralatan penginderaan jauh yang dipasang di lokasi JKT 01 (gerbang tol Cempaka putih). Kredit foto: Aditya Mahalana - ICCT/2021.

Kegiatan pengumpulan data dibagi menjadi dua fase yang berbeda. Selama fase pertama, para peneliti berkonsentrasi pada pengumpulan data emisi dari semua armada, namun kendaraan sampel didominasi oleh kendaraan penumpang, truk ringan, dan taksi. Tahap kedua dari studi ini bertujuan untuk mengumpulkan data emisi untuk truk dan

bus tugas berat, dan lokasi pengambilan sampel memprioritaskan lokasi dengan tingkat aktivitas kendaraan tugas berat yang lebih tinggi. Sebagai contoh, tahap kedua studi ini mencakup tujuh hari pengambilan sampel di jalur khusus bus BRT TransJakarta (lihat Gambar 4).

Setelah kegiatan pengumpulan data selesai, peneliti ITB memberikan daftar plat nomor kendaraan yang diukur selama studi kepada Korlantas Polri. Korlantas Polri kemudian memberikan informasi teknis yang diperoleh dari database registrasi kendaraan untuk setiap kendaraan yang diuji, termasuk jenis kendaraan, jenis bahan bakar, tahun pembuatan, merek, model, dan kapasitas mesin.

Uraian lengkap tentang kegiatan pengumpulan data lapangan dapat ditemukan dalam laporan pendamping yang disiapkan oleh ITB.¹⁷

17 PT. Ganesha Environmental & Energy Services, "Fieldwork and methodology of remote sensing monitoring at Jakarta," (2021), https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/11/RSR-01-GEES_Fieldwork-and-methodology-report_final-180821-PL.pdf



Gambar 3. Peralatan penginderaan jauh yang dipasang di jalur khusus BRT TransJakarta. Kredit foto: ICCT, 2021.

PEMROSESAN DAN ANALISIS DATA

Basis data untuk penginderaan jauh Jakarta disediakan oleh ITB. Total ukuran sampel data mentah adalah 187.642 pengukuran, yang mencakup jumlah total percobaan pengukuran emisi kendaraan yang dilakukan selama studi ini. Sebagai langkah pertama dalam memproses dataset, kami menghapus data yang ditandai tidak valid oleh perangkat lunak instrumen dan juga data yang tidak mencakup informasi teknis kendaraan. Pada langkah ini, sekitar 30% dari total pengukuran dianggap sebagai data yang tidak valid dan kemudian dihapus. Setelah validasi dan pembersihan data, 93.188 data emisi kendaraan kemudian dipertimbangkan untuk dimasukkan dalam analisis yang disajikan dalam laporan ini. Pemrosesan data lebih lanjut dan analisis statistik dilanjutkan dengan mengikuti metode standar yang dijelaskan dalam publikasi ICCT dan TRUE Initiative sebelumnya.¹⁸

Laporan ini berfokus pada jenis kendaraan yang paling umum dalam kumpulan data: kendaraan penumpang, taksi, bus, truk tugas berat, truk tugas ringan, dan sepeda motor. Jenis kendaraan lain seperti truk sampah, ambulans, dan kendaraan roda tiga tidak terwakili dengan baik dalam kumpulan data dan, dengan demikian, kelompok-kelompok ini tidak dimasukkan dalam analisis yang disajikan di sini.

¹⁸ Yoann Bernard, Uwe Tietge, John German, Rachel Muncrief, Determination of Real-World Emissions from Passenger Vehicles Using Remote Sensing Data, (ICCT: Washington, DC, 5 Juni 2018), <https://www.theicct.org/publications/real-world-emissions-using-remote-sensing-data>. Dallmann dkk., Penginderaan jarak jauh emisi kendaraan di London. Uwe Tietge, Yoann Bernard, John German, Rachel Muncrief, Perbandingan emisi NO_x kendaraan ringan yang diukur dengan penginderaan jauh di Zurich dan Eropa, (ICCT: Washington, DC, Juni 2019), https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LDV_NOx_emissions_Zurich_20190626.pdf

Jenis bodi kendaraan, pabrikan, model, dan ukuran mesin (*displacement*) yang disediakan oleh Korlantas digunakan untuk mengelompokkan data individual berdasarkan jenis kendaraan. Rincian metode klasifikasi kendaraan yang diterapkan di sini dapat dilihat pada Tabel A1 pada Lampiran.

Selama pemrosesan data dan langkah-langkah analisis awal, kami menemukan bahwa pengaturan perangkat lunak instrumen yang digunakan dalam studi ini memotong jumlah data emisi mentah (*truncation*) dalam rentang berikut: -1% hingga 2,5% untuk CO, -100 ppm hingga 3.000 ppm untuk HC, dan -150 ppm hingga 3.500 ppm untuk NO_x.¹⁹ Hal ini berarti bahwa kami tidak dapat secara akurat mengukur pembacaan emisi di luar ambang batas ini, sehingga berdampak pada kemampuan kami untuk mengevaluasi emisi rata-rata untuk masing-masing kelompok kendaraan. Untuk alasan ini, kami menyajikan nilai median tingkat emisi untuk setiap kelompok kendaraan yang dipertimbangkan di sini, karena median tidak terpengaruh oleh masalah pemotongan data sampai pada tingkat yang sama dengan *mean*.

IKHTISAR SAMPEL

Gambar 4 menyajikan rincian pengukuran emisi yang valid berdasarkan jenis kendaraan dan jenis bahan bakar yang dikumpulkan selama kampanye pengujian penginderaan jauh TRUE di Jakarta. Data ini mencakup 93.188 catatan lengkap di mana emisi yang valid dan informasi teknis kendaraan tersedia. Kendaraan penumpang (PV) adalah jenis kendaraan yang paling umum, terhitung 84% dari total sampel.²⁰ Dari sampel PV tersebut, 88% menggunakan mesin bensin dan 12% menggunakan mesin diesel. Truk tugas ringan (LDT), termasuk truk pick-up, blind van, dump truck tugas ringan, dan truk boks tugas ringan, menyumbang 12% dari total armada sampel. Sampel LDT dibagi hampir merata antara kendaraan dengan mesin diesel dan bensin, dengan sedikit lebih banyak catatan untuk kendaraan diesel. Meskipun ukuran sampel untuk jenis kendaraan lain lebih kecil, sejumlah besar data juga dikumpulkan untuk bus (2338 kendaraan), kendaraan tugas berat (848 kendaraan), sepeda motor (297 kendaraan), dan taksi (512 kendaraan). Sekitar 98% dari bus dalam dataset menggunakan mesin diesel.

¹⁹ Pemasok peralatan, ETC, mengindikasikan bahwa ambang batas ini ditetapkan dalam perangkat lunak instrumen untuk menyelaraskan dengan yang digunakan dalam program identifikasi kendaraan dengan emisi tinggi EPD Hong Kong.

²⁰ Dalam studi ini, mobil penumpang pribadi dan taksi saling terpisah.

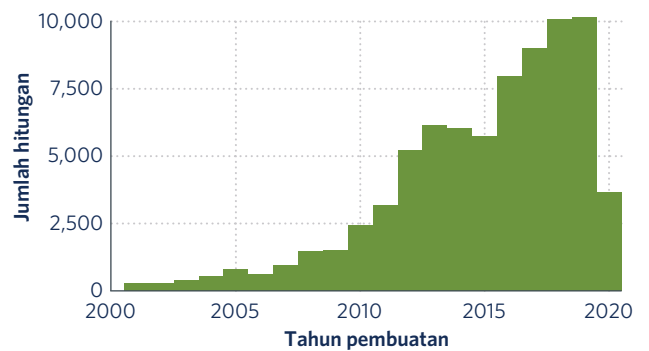
Hampir semua truk heavy-duty (HDT) yang diukur menggunakan mesin diesel, sementara semua taksi dan sepeda motor menggunakan mesin bensin.

Jumlah relatif sepeda motor yang diukur dalam sampel lebih rendah dibandingkan dengan komposisi armada aktual di Jakarta. Hal ini sebagian besar disebabkan oleh pemilihan lokasi jalan tol untuk sebagian besar kegiatan pengambilan sampel, di mana sepeda motor dilarang untuk melintas. Selain itu, emisi sepeda motor lebih sulit diukur dengan menggunakan teknologi penginderaan jarak jauh daripada jenis kendaraan lainnya. Mengingat kendala-kendala ini, kami lebih fokus pada emisi dari kendaraan roda 4 dalam laporan ini. Namun, mengingat pentingnya kendaraan roda 2 terhadap emisi transportasi jalan di Jakarta, kami merekomendasikan agar studi pengujian emisi *real-world* di masa depan memprioritaskan metode pengujian dan pendekatan pengambilan sampel yang lebih cocok untuk jenis kendaraan ini.



Gambar 4. Pengukuran emisi berdasarkan jenis kendaraan dan jenis bahan bakar.

Gambar 5 menunjukkan distribusi tahun model dari sampel armada PV di Jakarta. Kendaraan dengan usia tertua yang diamati selama studi ini diproduksi pada tahun 1940-an, meskipun jumlahnya sangat terbatas. Mayoritas kendaraan sampel diproduksi setelah tahun 2000, dengan 90% diproduksi setelah tahun 2010, 67% setelah tahun 2015, dan 6% setelah tahun 2020.



Gambar 5. Distribusi tahun model untuk kendaraan penumpang yang diukur di Jakarta.

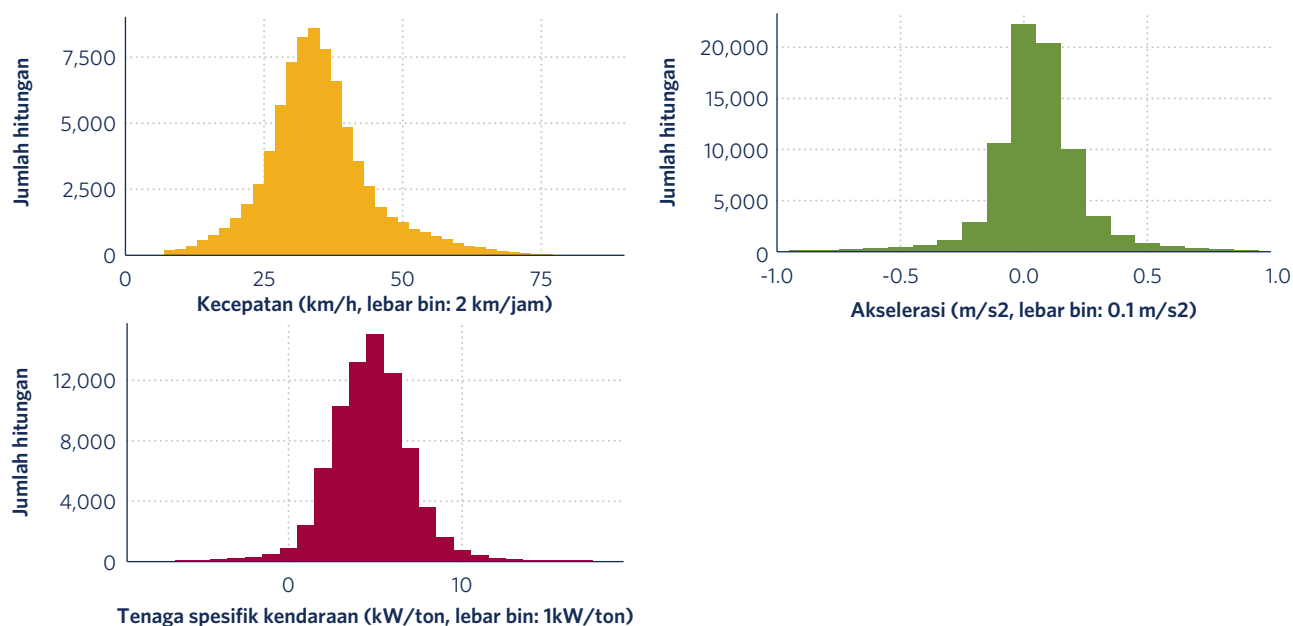
Informasi mengenai usia jenis kendaraan lain yang diukur di Jakarta terdapat pada Tabel 4. Tabel tersebut menunjukkan usia rata-rata kendaraan untuk setiap kelompok, serta persentase kendaraan dalam sampel yang berusia kurang dari 10 tahun pada saat pengambilan sampel. Usia 10 tahun dipilih karena sesuai dengan batas usia kendaraan yang sedang dipertimbangkan oleh Pemerintah Jakarta sebagai bagian dari upaya mereka untuk mengurangi emisi transportasi di kota. Di seluruh jenis kendaraan, taksi memiliki usia rata-rata terendah yaitu 3,5 tahun, diikuti oleh bus angkutan umum. Semua bus angkutan umum berusia kurang dari 10 tahun, seperti yang disyaratkan oleh peraturan di Jakarta. Sebaliknya, bus non-angkutan umum (misalnya, bus sewaan dan bus yang dioperasikan oleh perusahaan untuk mengangkut karyawan mereka), sebagian besar tidak mematuhi peraturan batasan usia, kategori ini merupakan kendaraan tertua yang diukur secara rata-rata, dan hampir setengahnya berusia lebih dari 10 tahun pada saat pengukuran. Truk beban berat memiliki usia rata-rata tertinggi kedua (9,7 tahun) di antara kelompok kendaraan. Jika Jakarta menerapkan batas usia 10 tahun untuk kendaraan pribadi, sekitar 14% kendaraan penumpang dan 23% sepeda motor yang diukur akan dikenakan pembatasan. Memperluas batas usia yang sama untuk jenis kendaraan lain, seperti HDT dan LDT, akan berdampak pada 20%-30% kendaraan dalam kelompok-kelompok ini.

Tabel 4. Usia rata-rata dan persentase kendaraan yang berusia kurang dari 10 tahun berdasarkan jenis kendaraan

| Jenis kendaraan | Usia rata-rata (tahun) | % kendaraan berusia <10 tahun |
|-------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Bus - non angkutan umum | 11.3 | 54% |
| Bus - angkutan umum | 4.4 | 100% |
| Truk tugas berat | 9.7 | 71% |
| Truk tugas ringan | 7.6 | 80% |
| Sepeda Motor | 9 | 77% |
| Kendaraan penumpang | 6.6 | 86% |
| Taksi | 3.5 | 99% |

Gambar 6 merangkum kondisi pengujian untuk pengukuran kendaraan penumpang di database Jakarta, termasuk kecepatan, akselerasi, dan distribusi *vehicle specific power* (VSP). Kecepatan, akselerasi, dan VSP semuanya menunjukkan distribusi normal di sekitar nilai rata-rata populasi. Median kecepatan dan akselerasi rata-rata kendaraan penumpang pada saat pengujian masing-masing adalah 34,1 km/jam dan 0,05 m/s², dan 0,05 m/s. Nilai-nilai ini lebih rendah

daripada yang diamati dalam studi pengujian emisi TRUE serupa yang dilakukan di kota-kota Eropa. Hal ini menyebabkan kebutuhan daya yang lebih rendah pada kendaraan di database Jakarta, dengan median VSP sebesar 4,8 kW/ton dibandingkan dengan rata-rata 5,5 kW/ton dalam database TRUE Eropa. Ini berarti kondisi mengemudi di lokasi pengambilan sampel Jakarta cenderung lebih ringan daripada yang diamati dalam studi penginderaan jauh Eropa.



Gambar 6. Distribusi kondisi pengujian yang terekam dalam pengukuran penginderaan jauh Jakarta

HASIL EMISI

Bagian ini menyajikan hasil pengukuran emisi berdasarkan jenis kendaraan, jenis bahan bakar, dan tahun model.

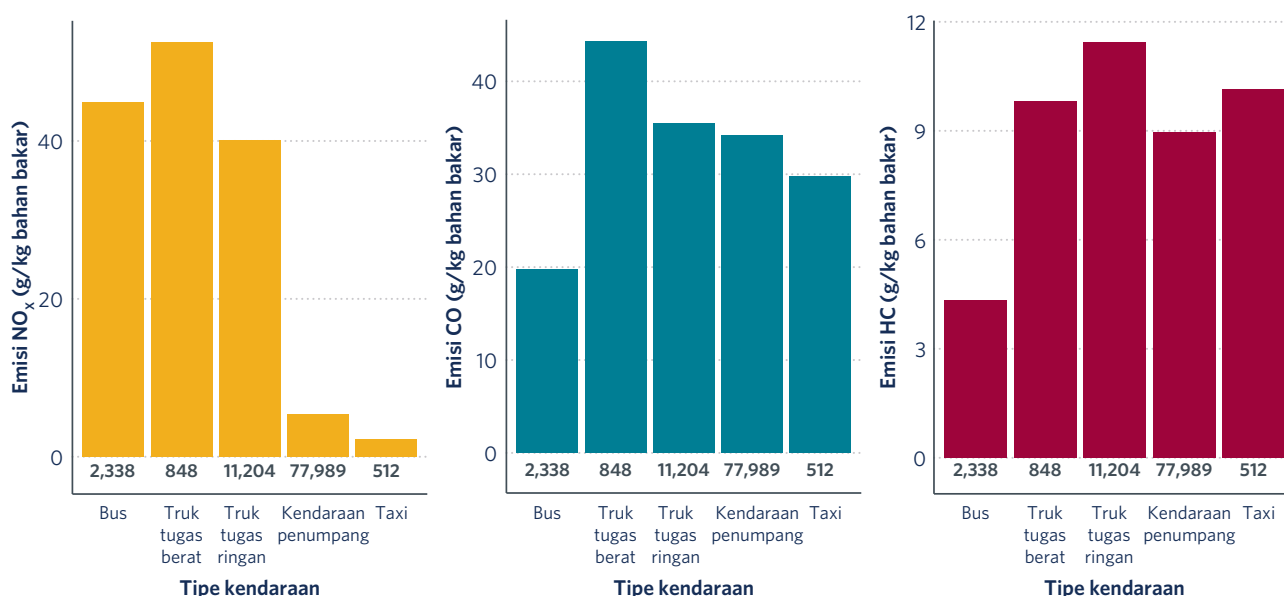
EMISI MENURUT JENIS KENDARAAN

Gambar 7 menyajikan median emisi NO_x, CO, dan HC kendaraan yang diukur di Jakarta berdasarkan jenis kendaraan. Data dilaporkan dalam satuan gram polutan yang diemisikan per kilogram bahan bakar yang dibakar (g/kg bahan bakar). Emisi NO_x median tertinggi diamati untuk kelompok dengan persentase terbesar kendaraan diesel dalam armadanya masing-masing-bus, HDT, dan LDT. Emisi dari dua kelompok kendaraan dengan emisi tertinggi, HDT dan LDT, masing-masing adalah 13,5 dan 13,9 kali emisi NO_x dari kendaraan penumpang. Dibandingkan dengan emisi NO_x, perbedaan yang lebih kecil antar kelompok kendaraan terlihat pada median emisi CO dan HC. Untuk bus, emisi CO dan HC relatif rendah dibandingkan dengan HDT dan LDT. Perlu dicatat bahwa perbedaan tingkat emisi sangat dipengaruhi oleh standar emisi yang dominan dan usia kendaraan di setiap kelompok. Sebagai contoh, usia rata-rata bus umum secara signifikan lebih rendah daripada HDT dalam sampel.

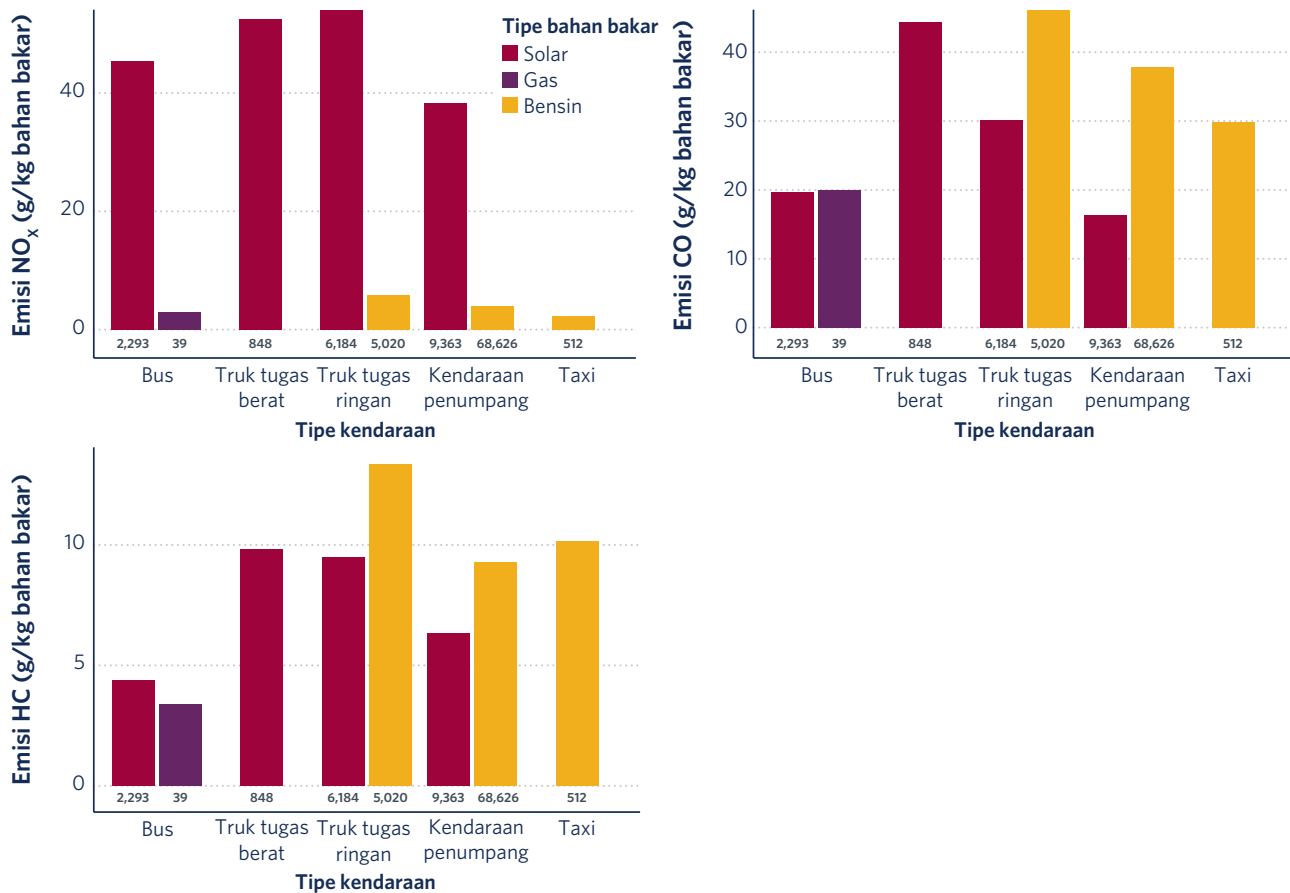
Untuk mengilustrasikan lebih lanjut pengaruh jenis mesin terhadap emisi, Gambar 8 menyajikan emisi NO_x, CO, dan HC berdasarkan jenis kendaraan dan

jenis bahan bakar. Untuk kendaraan diesel, termasuk bus diesel, HDT, LDT, dan PV, emisi NO_x secara signifikan lebih tinggi daripada emisi dari kendaraan berbahan bakar bensin dengan jenis kendaraan yang sama. Untuk LDT, median emisi NO_x dari kendaraan diesel 9 kali lipat emisi dari kendaraan bensin. Demikian pula, median emisi NO_x dari kendaraan penumpang diesel 10 kali lipat emisi dari kendaraan penumpang bensin. Median emisi CO dan HC lebih tinggi untuk kendaraan berbahan bakar bensin dibandingkan dengan kendaraan diesel, meskipun besaran relatif perbedaan emisi ini lebih kecil daripada yang diamati untuk emisi NO_x (1,5-2,5 kali untuk emisi CO dan 1,4-1,5 kali untuk emisi HC). Median emisi HC dan CO untuk bus dengan bahan bakar (CNG) dan diesel adalah sebanding. Namun, bus CNG menunjukkan kinerja emisi NO_x yang jauh lebih baik, dengan tingkat emisi median 3 g/kg dibandingkan dengan 45,5 g/kg untuk bus diesel. Meskipun ukuran sampel untuk bus CNG relatif kecil, temuan ini menunjukkan manfaat emisi NO_x yang signifikan relatif terhadap bus diesel.

Studi emisi *real-world* yang dilakukan oleh TRUE Initiative di Amerika Serikat dan Eropa memberikan poin-poin referensi untuk menambahkan konteks pada hasil emisi Jakarta. Perbandingan langsung antara hasil studi di Jakarta dengan studi TRUE sebelumnya dipersulit oleh sejumlah faktor, seperti perbedaan instrumentasi dan kualitas data, sehingga di sini kami berfokus pada tingkat relatif emisi median yang diamati di Jakarta dibandingkan dengan kendaraan



Gambar 7. Median emisi NO_x, CO, dan HC berdasarkan jenis kendaraan.



Gambar 8. Median emisi NO_x, CO, dan HC spesifik bahan bakar berdasarkan jenis kendaraan dan jenis bahan bakar.

dari berbagai kelompok usia dan tingkat pengendalian emisi di Amerika Serikat dan Eropa. Kami menemukan bahwa median emisi NO_x, CO, dan HC dari kendaraan berbahan bakar diesel di Jakarta semuanya lebih tinggi daripada tingkat emisi kendaraan diesel pra-Euro (model tahun 1992 dan yang lebih tua) di Eropa dan kendaraan model tahun sebelum 2000 di Amerika Serikat. Untuk kendaraan bensin, NO_x dan CO dari kendaraan berbahan bakar bensin di Jakarta sebanding dengan kendaraan berbahan bakar bensin model tahun 2000 di Amerika Serikat, sedangkan untuk emisi HC sebanding dengan kendaraan berbahan bakar bensin model tahun 1993.

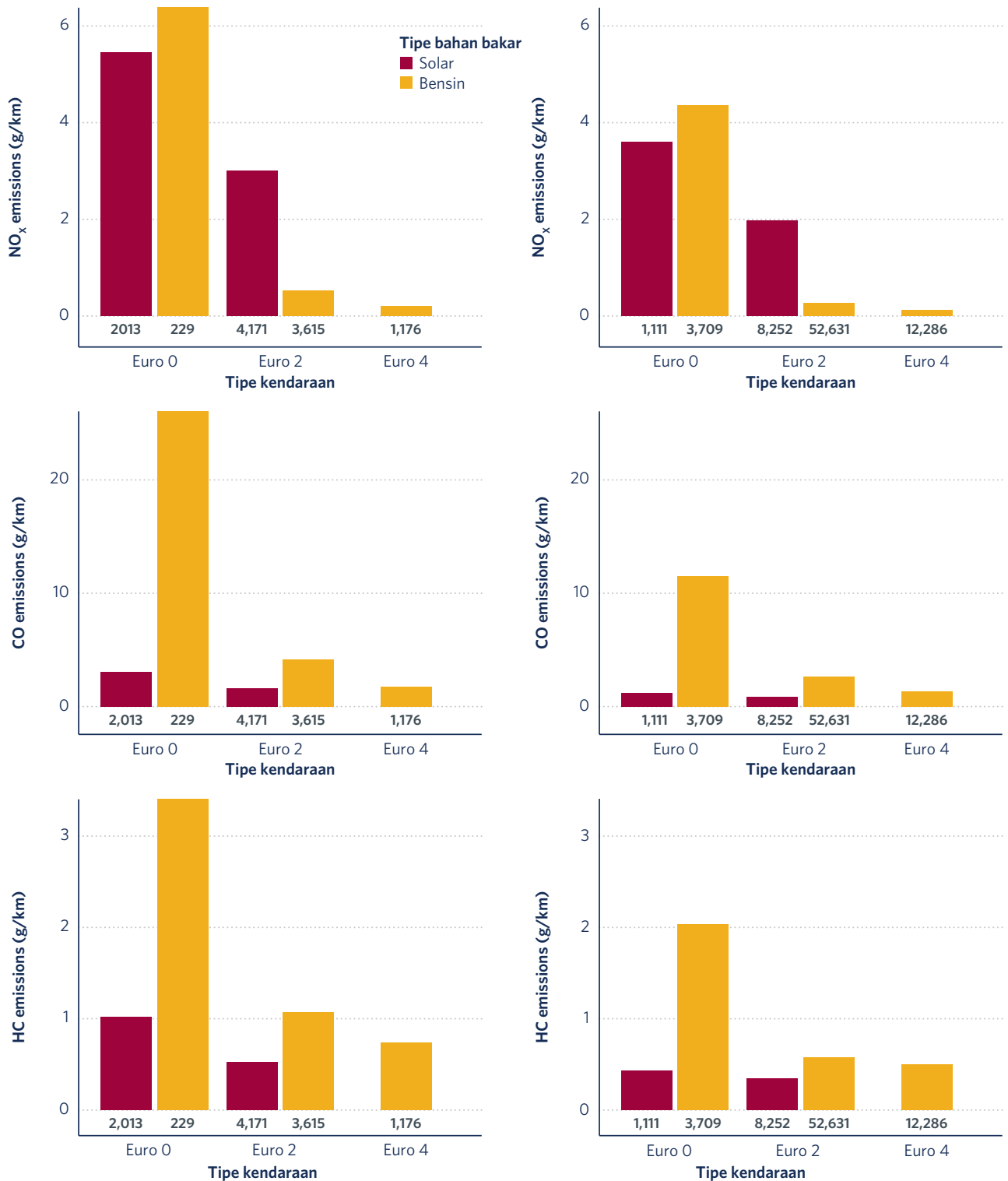
Emisi spesifik jarak dalam satuan gram per kilometer dapat diprediksi dengan menggabungkan faktor emisi spesifik bahan bakar penginderaan jarak jauh dengan perkiraan konsumsi bahan bakar rata-rata *real-world* dari kelompok kendaraan tertentu, sebagaimana dirinci

dalam studi TRUE sebelumnya.²¹ Di Indonesia, database konsumsi bahan bakar dunia nyata tidak tersedia. Oleh karena itu, kami menggunakan data konsumsi bahan bakar berdasarkan jenis kendaraan dan model tahun yang berasal dari model ICCT ROADMAP untuk memperkirakan konsumsi bahan bakar rata-rata untuk kendaraan di Indonesia.²² Untuk kendaraan berat, termasuk bus dan truk berat, nilai konsumsi bahan bakar sangat bervariasi karena berat kotor kendaraan yang berbeda. Oleh karena itu, hanya emisi spesifik jarak untuk kendaraan ringan yang dihitung, termasuk LDT, kendaraan penumpang, dan taksi.

Menyajikan *plotting* perkiraan median emisi NO_x, CO, dan HC spesifik jarak tempuh dari kendaraan ringan berdasarkan standar emisi dan jenis bahan bakar. Seperti yang ditunjukkan, emisi secara umum

21 Yoann Bernard, Uwe Tietge, John German, dan Rachel Muncrief, R. "Penentuan emisi dunia nyata dari kendaraan penumpang dengan menggunakan data penginderaan jauh," (TRUE Initiative, 2018), <https://theicct.org/publication/determination-of-real-world-emissions-from-passenger-vehicles-using-remote-sensing-data/>

22 Dokumentasi model peta jalan ICCT. <https://theicct.github.io/roadmap-doc/>



Gambar 9. Median emisi NO_x, CO, dan HC spesifik jarak tempuh dari truk ringan dan mobil penumpang berdasarkan standar emisi dan jenis bahan bakar.

menurun, baik untuk kendaraan bensin maupun diesel dengan penerapan standar emisi baru, tetapi besaran relatif dari pengurangan emisi ini bervariasi berdasarkan jenis bahan bakar dan polutan gas buang.

Manfaat emisi terbesar dari standar terbaru yang diberlakukan dapat diamati pada kendaraan bensin. Emisi NO_x spesifik jarak jauh *real-world* dari PV dan LDT bensin Euro 4 terbaru sekitar 8% dari emisi

kendaraan bensin pra-Euro yang belum terkontrol dan hanya sekitar 30% lebih tinggi daripada batas emisi NOx laboratorium untuk mobil bensin Euro 4. Emisi CO dan HC dari kendaraan bensin Euro 4 yang tidak terkontrol hanya sekitar 30% lebih tinggi daripada batas emisi NOx laboratorium untuk mobil bensin Euro 4. Emisi CO dan HC dari PV dan LDT bensin Euro 4 lebih rendah 5-15 kali lipat dibandingkan dengan kendaraan pra-Euro. Untuk LDV bensin Euro 4, emisi CO *real-world* sekitar 30% lebih tinggi daripada batas laboratorium, sementara emisi HC *real-world* 5 kali lipat dari batas laboratorium.

Standar Euro 4 belum diterapkan untuk kendaraan diesel ketika pengukuran penginderaan jarak jauh dilakukan, sehingga hanya kendaraan pra-Euro dan Euro 2 yang dianalisis dalam studi ini. Relatif terhadap kendaraan bensin dengan tipe yang sama, kami mengamati efek penurunan emisi yang lebih kecil untuk kendaraan diesel dengan diperkenalkannya standar Euro 2. Emisi NOx dari kendaraan LDV diesel Euro 2 (termasuk truk tugas ringan dan mobil penumpang), mengeluarkan emisi sekitar setengah dari emisi LDV diesel pra-Euro, tetapi masih sekitar 5-7 kali lebih tinggi daripada emisi dari kendaraan bensin dan dua kali lipat dari batas uji tipe. Emisi CO dari LDV diesel umumnya rendah emisi CO diesel Euro 2 sekitar sepertiga CO dari LDV bensin dan bahkan lebih rendah dari batas laboratorium untuk Euro 2.

EMISI KENDARAAN PENUMPANG

Pada bagian ini, kami menyajikan penilaian yang lebih rinci tentang emisi armada kendaraan penumpang Jakarta. Gambar 10 menunjukkan median emisi NOx, CO, dan HC kendaraan penumpang berdasarkan jenis bahan bakar dan tahun model. Untuk kendaraan penumpang berbahan bakar bensin, penurunan bertahap dalam median emisi NOx, CO, dan HC terlihat pada tahun 2007, ketika standar emisi pertama untuk kelompok kendaraan ini, yaitu Euro 2, diterapkan sepenuhnya di Indonesia. Penerapan standar-standar ini mengikuti penghapusan bensin bertimbal di Indonesia pada tahun 2006, yang memungkinkan penerapan teknologi pengendalian emisi secara luas seperti katalis tiga arah. Membandingkan emisi PV bensin yang dibuat pada tahun 2007 dengan yang dibuat pada tahun 2006 menunjukkan bahwa penerapan standar Euro 2 mengurangi median emisi NOx, CO, dan HC masing-masing sebesar 78%, 40%, dan 60%.

Standar emisi Euro 4 untuk mobil penumpang bensin diterapkan mulai tahun 2018 dan berlaku sepenuhnya pada tahun 2019. Batas emisi HC dan NOx bensin Euro 4 adalah sekitar sepertiga dari batas Euro 2, dan batas Euro 4 CO adalah sekitar setengah dari batas Euro 2. Hasil dari studi penginderaan jauh Jakarta menunjukkan median emisi NOx dan CO dari PV bensin semakin berkurang ketika standar Euro 4 diterapkan, tetapi tidak ada penurunan yang signifikan dalam median emisi HC yang diamati hingga model tahun 2021. Tingkat emisi NOx dari PV bensin yang diproduksi pada tahun 2021 sebanding dengan PV bensin Euro 6, dan emisi CO dan HC sebanding dengan PV bensin Euro 5 yang dikumpulkan dalam database TRUE.²³

Hasil yang disajikan pada Gambar 10 menunjukkan bahwa median emisi NOx *real-world* dari kendaraan penumpang diesel dan bensin pra-Euro yang beroperasi di Jakarta adalah serupa. Namun, meskipun penerapan standar Euro 2 secara dramatis menurunkan emisi NOx dari PV bensin, manfaat yang sama tidak terlihat dengan penerapan standar Euro 2 untuk kendaraan penumpang diesel pada tahun 2011. Bahkan dengan penerapan standar Euro 2 untuk setiap kelompok PV, median emisi NOx dari PV diesel tetap 8 hingga 19 kali lipat emisi PV bensin yang diproduksi pada tahun yang sama. Untuk PV diesel terbaru, median emisi NOx masih lebih dari 30 g/kg bahan bakar dan lebih tinggi daripada PV diesel pra-Euro Eropa dan PV diesel Amerika Serikat model tahun 2002. Tingkat emisi ini masih sangat tinggi dan kemungkinan besar jauh di atas batas uji tipenya.

Hasilnya analisis ini menunjukkan bahwa membatasi kendaraan bensin kategori usia kendaraan tertua melalui pembatasan usia atau akses dapat berdampak signifikan terhadap emisi NOx dari kelompok kendaraan ini. Misalnya, memberlakukan batas usia 10 tahun untuk kendaraan pribadi di Jakarta akan secara efektif menghilangkan kendaraan penumpang bensin dengan emisi tertinggi (pra Euro) dari armada yang ada. Namun, kebijakan serupa tidak akan terlalu berdampak pada emisi NOx dari PV diesel. Temuan ini menunjukkan perlunya pemantauan berkelanjutan terhadap efektivitas standar Euro 4 dalam mengurangi emisi NOx diesel.

²³ Kaylin Lee, Yoann Bernard, Tim Dallmann, Uwe Tietge, Izabela Pniewska, dan Isabel Rintanen, "Evaluasi emisi kendaraan *real-world* di Warsawa," (TRUE Initiative, 2022), <https://theicct.org/publication/true-warsaw-emissions-apr22/>

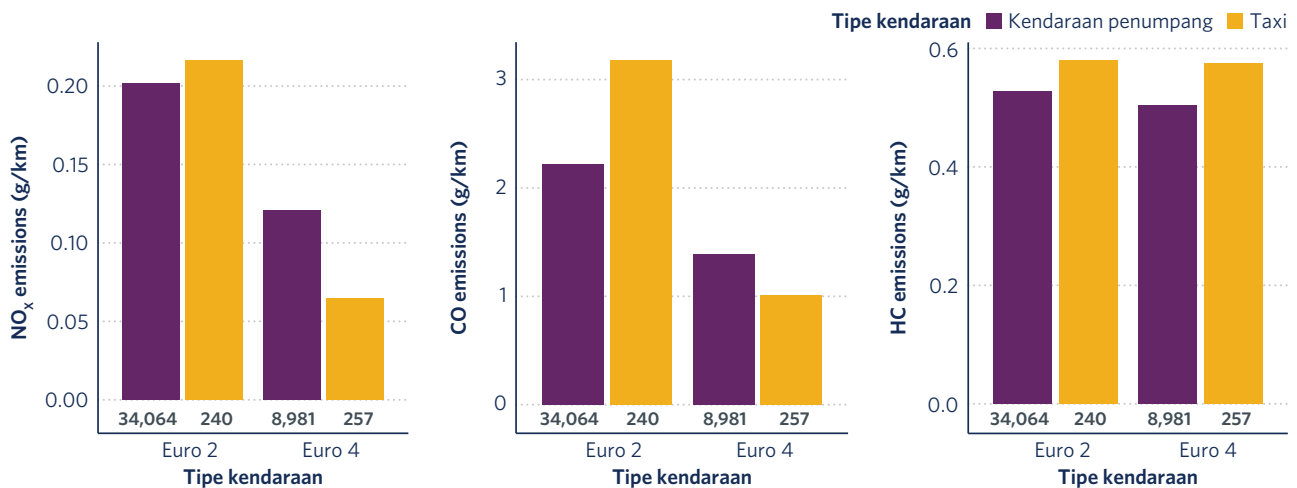


Gambar 10. Median NO_x, CO, dan emisi HC kendaraan penumpang berdasarkan jenis bahan bakar dan tahun pembuatan.

PERBANDINGAN ANTARA KENDARAAN PENUMPANG BENSIN DAN TAKSI

Karena taksi menempuh jarak tahunan lebih besar daripada PV pribadi, usia produktif taksi biasanya lebih sedikit daripada mobil penumpang. Dalam dataset Jakarta, 97% taksi diproduksi setelah tahun 2013. Untuk membandingkan emisi antara kendaraan

penumpang bensin dan taksi dengan usia kendaraan yang sama secara langsung, kami memilih PV dan taksi yang diproduksi setelah tahun 2013 dan menaruh *plot* median emisi NO_x, CO, dan HC spesifik bahan bakar dari kendaraan Euro 2 dan Euro 4 (lihat Gambar 11). Untuk kendaraan Euro 2, median emisi NO_x, CO, HC dari taksi sedikit lebih tinggi daripada mobil pribadi. Tetapi untuk kendaraan yang lebih baru, emisi NO_x



Gambar 11. Median emisi NO_x, CO, dan HC dari kendaraan penumpang bensin dan taksi yang diproduksi setelah tahun 2013.

dan CO dari taksi Euro 4 lebih rendah daripada emisi dari PV Euro 4. Hal ini mungkin disebabkan oleh fakta bahwa emisi NO_x dan CO dari taksi Euro 4 lebih rendah daripada emisi dari PV Euro 4. Hal ini mungkin disebabkan oleh fakta bahwa tingkat partisipasi PV pribadi dalam inspeksi teknis berkala lebih rendah daripada taksi, sehingga taksi yang lebih baru dirawat dengan baik dibandingkan dengan PV pribadi.²⁴ Lebih lanjut, taksi diharuskan untuk lulus inspeksi teknis berkala untuk memperbarui izin mereka.

EMISI KENDARAAN KOMERSIAL

Untuk kendaraan niaga diesel, termasuk HDT dan LDT, standar emisi Euro II diterapkan pada bulan Maret 2011, dan standar Euro IV telah diberlakukan sejak April 2022. Pengukuran penginderaan jauh di Jakarta diperoleh sebelum Euro IV diterapkan sehingga tidak ada kendaraan komersial diesel Euro IV dalam dataset. Gambar 12 menyajikan median emisi NO_x, CO, dan HC dari HDT dan LDT diesel di Jakarta. Untuk HDT dan LDT diesel, keempat polutan tersebut menurun dari sebelum Euro ke Euro 2/II, dengan NO_x berkurang 15%-24%, CO berkurang 18%-21%, dan HC berkurang 23%. Hasilnya menunjukkan bahwa hanya terdapat sedikit penurunan emisi truk diesel yang dicapai dalam dekade terakhir. Mengingat bahwa penerapan Euro IV tertunda, masih banyak truk diesel beremisi tinggi di jalan raya. Selain itu, meskipun ada beberapa perbaikan dalam median emisi NO_x yang diamati

dengan diperkenalkannya standar Euro II, namun besarnya tetap cukup tinggi dan jauh di atas tingkat emisi yang dapat dicapai dengan sistem *aftertreatment* pembuangan diesel modern. Sebagai konteks, tingkat emisi NO_x median truk diesel di Jakarta, 48-63 g/kg, jauh lebih besar daripada ambang batas penghasil emisi NO yang tinggi yang ditetapkan dalam peraturan penginderaan jarak jauh di Cina (~32 g/kg).²⁵ Apabila program pengendalian emisi dalam penggunaan yang serupa diberlakukan di Jakarta pada saat penelitian kami, lebih dari 50% truk diesel yang beroperasi di kota akan ditandai sebagai penghasil emisi tinggi dan dapat dikenakan tindakan penegakan hukum lanjutan. Meskipun beberapa perbaikan diharapkan terjadi dengan diperkenalkannya standar Euro IV pada tahun 2022, pengalaman masa lalu dengan penerapan standar serupa di Eropa seharusnya membatasi harapan akan penurunan emisi NO_x yang signifikan.²⁶ Teknologi kontrol emisi canggih tidak akan diperlukan untuk memenuhi standar emisi NO_x Euro IV yang relatif lemah, dan emisi yang dihasilkan kemungkinan akan tetap tinggi.

Gambar 13 menunjukkan hasil emisi LDT bensin dan diesel berdasarkan standar emisi. Untuk LDT bensin, standar emisi Euro 2 sepenuhnya diterapkan pada tahun 2007 dan standar Euro 4 telah sepenuhnya

24 "Minat Uji Emisi Warga Jakarta Masih Rendah, PSI Salahkan Kebijakan Pemprov DKI," *Voi.id*, 5 Maret 2022, <https://voi.id/en/news/141804/interest-in-jakarta-residents-emission-test-still-low-psi-blames-dki-provincial-government-policy>

25 Liuhanzi Yang, Yoann Bernard, dan Tim Dallmann, "Pertimbangan teknis untuk memilih metrik untuk peraturan penginderaan jarak jauh kendaraan," (Washington, DC: ICCT, 2019), https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/China_remotensing.FINAL_.pdf

26 Kazemi Bakhshmand, Sina, Eamonn Mulholland, Uwe Tietge, dan Felipe Rodríguez, "Penginderaan Jarak Jauh Emisi Kendaraan Tugas Berat di Eropa," (Washington, D.C.: ICCT, 2022), <https://theicct.org/publication/remotesensing-of-heavy-duty-vehicle-emissions-in-europe/>

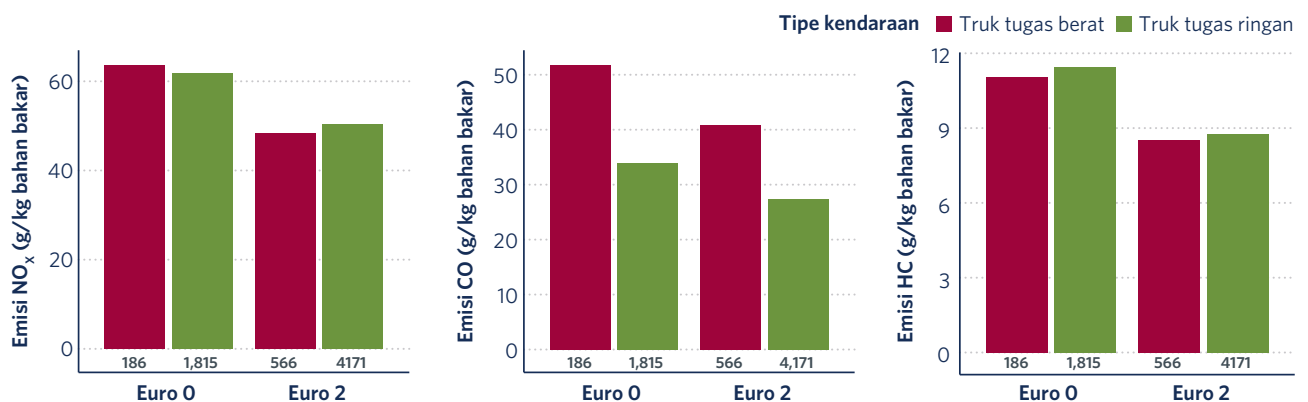
diterapkan secara bertahap sejak tahun 2019 di Indonesia. Seperti yang ditunjukkan, CO dan HC dari LDT bensin meningkat seiring dengan peningkatan standar emisi. Meskipun penerapan standar Euro 2 sangat efektif dalam mengurangi emisi NO_x dari LDT bensin, emisi NO_x dari LDT diesel Euro 2 adalah 7,8 kali lipat dari emisi LDT bensin Euro 2.

Beberapa operator melayani jalur bus di Jakarta. Bus angkutan umum dioperasikan terutama oleh TransJakarta, dan beberapa operator bus swasta juga menjalankan armadanya untuk melayani komuter dari wilayah Jabodetabek. Dalam dataset Jakarta, bus antar kota juga dapat diwakili. Gambar 14 membandingkan median emisi NO_x, CO, dan HC dari bus-bus diesel yang dioperasikan oleh perusahaan-perusahaan yang berbeda. Seperti yang ditunjukkan, emisi dari setiap jenis polutan dari bus diesel telah menurun sejak Euro 2 diterapkan. Armada bus TransJakarta, di mana

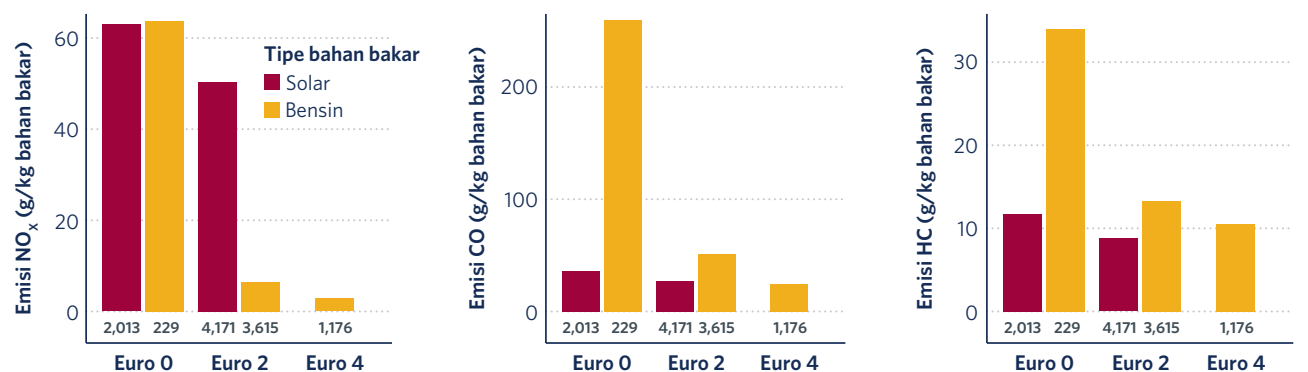
semua bus memenuhi standar Euro 2, berkinerja lebih baik dalam segi berkendara *real-world* (real world emission) dibandingkan dengan bus dari operator lain. Secara khusus, NO_x, CO, dan HC dari bus TransJakarta masing-masing 50%, 13%, dan 41% lebih rendah dibandingkan dengan bus dari operator lain.

EMISI DARI SEPEDA MOTOR

Sepeda motor merupakan komponen terbesar dari arus lalu lintas di Indonesia, yaitu 63% dari total volume lalu lintas.²⁷ Dibandingkan dengan kelompok kendaraan lain, emisi *real-world* dari sepeda motor belum banyak diteliti. Dalam studi ini, 297 catatan emisi yang valid untuk sepeda motor dikumpulkan. Sejak penerapan standar emisi Euro 3 untuk sepeda motor pada tahun 2013, produsen secara bertahap telah menghapus model 2 tak mereka. Gambar 15 menyajikan perbandingan emisi spesifik bahan

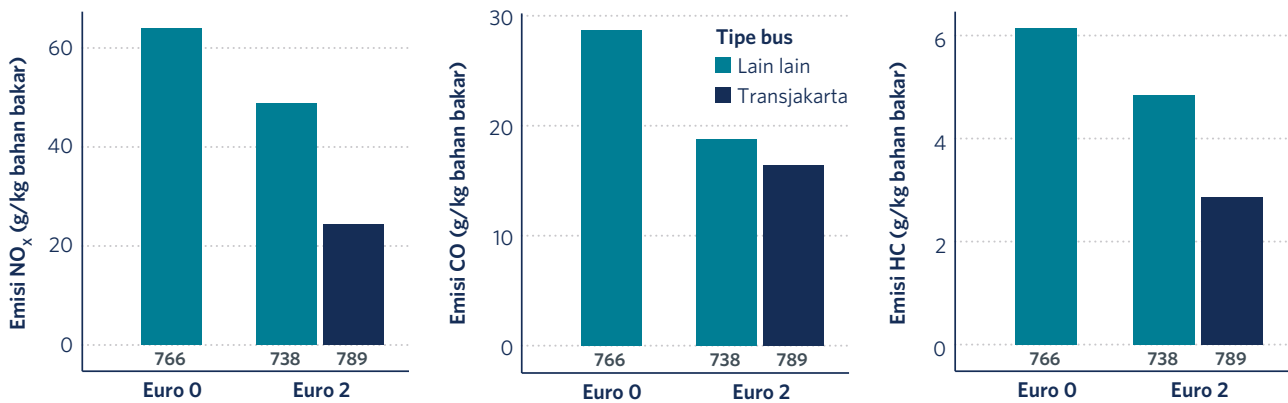


Gambar 12. Median NO_x, CO, dan HC diesel HDT dan LDT berdasarkan standar emisi.



Gambar 13. Median NO_x, CO, dan HC spesifik terhadap bahan bakar dari LDT berdasarkan standar emisi dan jenis bahan bakar.

27 Japan International Cooperation Agency (JICA) & ALMEC Corporation, "Proyek Integrasi Kebijakan Transportasi Perkotaan Tahap 2 di Republik Indonesia," (2019), <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12356390.pdf>

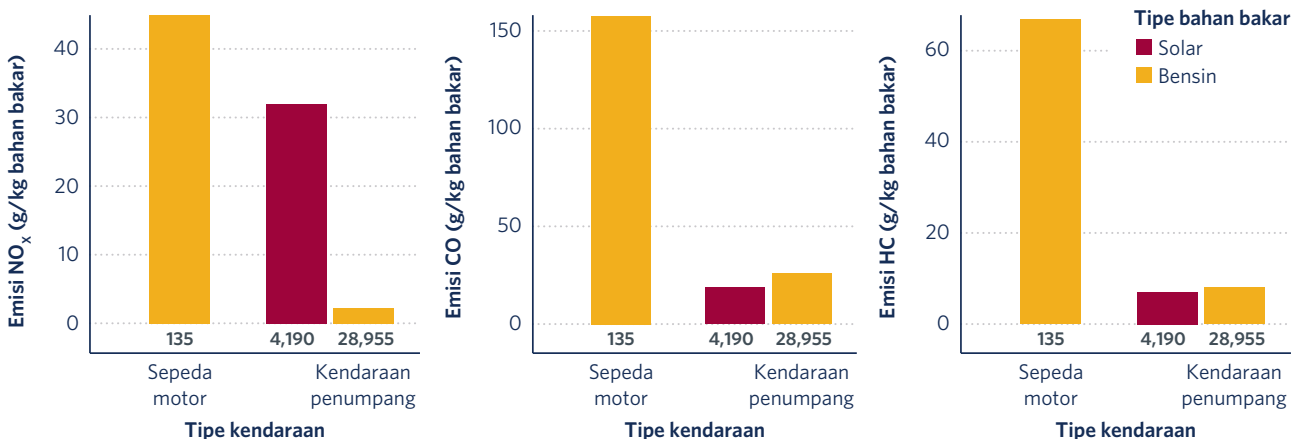


Gambar 14. Median NO_x, CO, dan HC bus diesel berdasarkan standar emisi dan operator

bakar antara sepeda motor bensin dan kendaraan penumpang yang diproduksi antara tahun 2017 dan 2021. Dalam hal emisi spesifik bahan bakar, median emisi NO_x, CO, dan HC dari sepeda motor masing-masing 20 kali, 6 kali, dan 8 kali lebih tinggi daripada emisi dari mobil penumpang bensin. Emisi spesifik bahan bakar yang lebih tinggi dari sepeda motor juga diamati dalam studi penginderaan jauh TRUE Paris.²⁸ Meskipun kesenjangan ini akan berkurang jika emisi dibandingkan dengan perbandingan jarak tertentu, sepeda motor mengkonsumsi lebih sedikit bahan bakar per kilometer daripada mobil penumpang. Emisi spesifik bahan bakar yang lebih tinggi dari sepeda motor ini menunjukkan bahwa diperlukan lebih banyak tindakan untuk mengatasi emisi sepeda motor.

IMPLIKASI DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN

Kendaraan bermotor berkontribusi secara signifikan terhadap masalah polusi udara yang telah dialami Jakarta selama beberapa dekade. Data yang dikumpulkan selama studi pengujian emisi kendaraan *real-world* TRUE Jakarta memberikan wawasan tentang efektivitas kebijakan dan langkah-langkah yang diterapkan oleh Pemerintah Indonesia dan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta yang bertujuan untuk mengurangi emisi dan dampak kesehatan dan lingkungan dari kendaraan di jalan raya. Data tersebut juga memberikan bukti penting untuk mendukung pendekatan baru untuk terus meningkatkan kinerja emisi armada Jakarta.



Gambar 15. Median emisi NO_x, CO, dan HC spesifik bahan bakar dari sepeda motor dan kendaraan penumpang yang diproduksi setelah tahun 2016.

²⁸ Tim Dallmann, Yoann Bernard, UweTietge, dan Rachel Muncrief, "Penginderaan jarak jauh emisi kendaraan bermotor di Paris," (Washington, DC: ICCT, 2019), <https://theicct.org/publication/remote-sensing-of-motor-vehicle-emissions-in-paris/>

STANDAR EMISI UNTUK KENDARAAN DAN MESIN BARU

Data emisi kendaraan yang dikumpulkan selama dilaksanakannya pengukuran TRUE Jakarta menunjukkan keefektifan secara real-world dari berbagai tahap standar emisi untuk kendaraan dan mesin baru dan menyarankan bagaimana standar-standar ini dapat diperkuat di masa depan untuk mendorong peningkatan kinerja emisi. Temuan kami menunjukkan bahwa, untuk mobil penumpang bensin, penerapan standar emisi Euro 2 pada tahun 2007 dan standar Euro 4 pada tahun 2018 telah menyebabkan penurunan signifikan dalam median *real-world* emisi NO_x, CO, dan HC. Untuk PV bensin terbaru di armada kendaraan Jakarta, kinerja emisi median setara dengan tingkat yang diamati dari PV Eropa yang berstandar Euro 5 dan 6. Sebaliknya, hasil penelitian kami menunjukkan peningkatan yang relatif kecil dalam emisi kendaraan diesel dari semua jenis dengan penerapan standar emisi Euro 2/II. Di semua jenis kendaraan, emisi NO_x dari kendaraan diesel di Jakarta tetap jauh lebih tinggi daripada kendaraan bensin yang sebanding. Selain itu, median emisi NO_x bahkan untuk kendaraan diesel terbaru yang diukur dalam studi ini jauh lebih besar daripada kendaraan yang diukur di daerah yang telah menerapkan standar emisi yang lebih ketat. Sejak saat penelitian kami, Indonesia telah menerapkan standar Euro 4/IV untuk kendaraan diesel. Standar-standar ini dapat dipenuhi tanpa menggunakan strategi dan teknologi kontrol *aftertreatment* yang canggih, sehingga manfaat *real-world* diperkirakan tidak terlalu besar.

Untuk lebih meningkatkan performa emisi kendaraan, kami merekomendasikan agar Indonesia mengembangkan rencana dan jadwal untuk menerapkan standar emisi Euro 6/VI.²⁹ Sebuah studi ICCT tahun 2020 memproyeksikan apabila standar Euro 6/VI diterapkan pada tahun 2023, biaya sosial yang terkait dengan emisi kendaraan akan lebih besar daripada biaya transisi ke teknologi kendaraan yang lebih maju dan peningkatan bahan bakar dengan rasio

9,2:1 antara tahun 2020 dan 2050.³⁰ Pengalaman sebelumnya di Eropa dan negara-negara lain yang telah mengadopsi standar Euro 5/V telah menunjukkan bahwa standar-standar ini belum memberikan manfaat emisi *real-world* yang diharapkan, terutama untuk kendaraan diesel. Bukti ini telah mendorong negara-negara lain, seperti India, untuk beralih dari Euro 4/IV langsung ke standar emisi Euro 6/VI. Indonesia akan mendapatkan manfaat dari jalur yang sama. Yang terpenting, standar kualitas bahan bakar harus sesuai dengan ambisi ini, dan rencana untuk memproduksi bahan bakar dengan kadar sulfur ultra-rendah yang tersedia secara luas juga akan diperlukan. Terakhir, kami merekomendasikan agar Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia mempertimbangkan untuk melanjutkan pengujian emisi *real-world* dengan menggunakan teknologi penginderaan jarak jauh di kota-kota dan wilayah lain untuk terus membangun pemahaman tentang emisi *real-world* kendaraan di seluruh wilayah Indonesia dan melacak perubahan emisi dari waktu ke waktu.

ZONA EMISI RENDAH JAKARTA

Pengenalan zona rendah emisi (LEZ) di Jakarta merupakan langkah penting dalam mengurangi polusi udara perkotaan. Studi sebelumnya dari TRUE Initiative telah menunjukkan bagaimana pengukuran emisi dunia nyata dapat membantu mengevaluasi efektivitas desain pembatasan LEZ dalam menargetkan kendaraan dengan emisi tertinggi.³¹ Hasil dari kampanye penginderaan jarak jauh memberikan informasi tambahan yang dapat membantu pemerintah Provinsi DKI Jakarta dalam membuat keputusan tentang pengembangan LEZ Jakarta. Seperti yang sudah diterapkan saat ini, LEZ Jakarta membatasi kendaraan angkutan barang, kendaraan angkutan umum non-TransJakarta, dan kendaraan pribadi yang tidak lulus uji emisi. Temuan dari studi ini menunjukkan bahwa kendaraan angkutan barang (HDT dan LDT) dan bus non-TransJakarta memiliki median emisi *real-world* tertinggi dari semua jenis kendaraan. Membatasi

29 Indonesia masih tertinggal dari negara lain dalam hal standar emisi, Indonesia baru mengadopsi standar Euro 4/IV pada tahun 2017 dan ada penundaan yang signifikan untuk kendaraan diesel. Jadwal penerapan standar Euro IV di Indonesia sedikit tertinggal dari negara-negara lain di kawasan ini, misalnya Thailand (2012), Filipina (2016), dan Vietnam (awal 2017). Pada Januari 2022, Vietnam telah mengadopsi Euro 5/V dan Thailand berencana untuk mengadopsi Euro 5/VI pada tahun 2024.

30 Zhenying Shao, Josh Miller, dan Lingzhi Jin, "Transportasi jalan bebas jelaga di Indonesia: Analisis biaya-manfaat dan implikasi untuk kebijakan bahan bakar," (Washington, DC: ICCT, 2020), <https://theicct.org/sites/default/files/publications/Indonesia-sootfree-CBA-02182020.pdf>

31 Kaylin Lee, Yoann Bernard, Tim Dallmann, Caleb Braun, dan Josh Miller, "Dampak zona emisi rendah di Sofia," (TRUE Initiative, 2021), <https://www.trueinitiative.org/data/publications/the-impact-of-a-low-emission-zone-in-sofia>; Yoann Bernard, Joshua Miller, Sandra Wappelhorst, dan Caleb Braun, "Dampak zona emisi rendah Paris dan implikasinya bagi kota-kota lain," (TRUE Initiative, 2020), <https://www.trueinitiative.org/data/publications/impacts-of-the-paris-low-emission-zone-and-implications-for-other-cities>

akses kendaraan-kendaraan ini ke LEZ secara efektif menargetkan beberapa kendaraan yang paling berpolusi dalam armada kendaraan di Jakarta. Karena perluasan LEZ Jakarta di masa depan mungkin tidak dapat membatasi kendaraan-kendaraan ini sepenuhnya, seperti yang terjadi saat ini, kami merekomendasikan bahwa hanya kendaraan Euro 6/VI atau kendaraan tanpa emisi yang diizinkan masuk ke dalam zona-zona ini.

Kendaraan penumpang pribadi yang telah lulus uji emisi saat ini diizinkan dalam LEZ Jakarta. Temuan kami menunjukkan bahwa emisi kendaraan penumpang bensin pra-Euro 2 secara signifikan lebih besar daripada kendaraan dengan standar Euro 2 dan Euro 4. Pembatasan dapat diperluas untuk semua kendaraan yang lebih tua dari model tahun 2007 untuk mencerminkan perbedaan emisi ini. Demikian pula, median emisi NO_x dari mobil diesel ditemukan 8-19 kali emisi mobil bensin dari kelompok usia yang sama, yang mengindikasikan bahwa pembatasan juga dapat diperluas ke kelompok ini.

Melalui desain LEZ, pemerintah Jakarta mendorong warganya untuk menggunakan transportasi umum ketika mengakses area LEZ. Saat ini, bus TransJakarta yang melakukan perjalanan melalui LEZ didukung oleh mesin diesel dan CNG dengan standar Euro II. Data penginderaan jauh menunjukkan bahwa polutan yang dipancarkan oleh bus telah menurun sejak diperkenalkannya Euro II. Lebih lanjut, emisi NO_x, CO, dan HC dari armada bus TransJakarta lebih rendah daripada bus-bus lainnya. Untuk mempromosikan opsi transportasi umum rendah emisi, kami merekomendasikan pemerintah kota untuk terus mendorong transformasi armada angkutan umum yang lebih ambisius dengan menargetkan Euro VI atau kendaraan listrik. Pada bulan Maret 2022, TransJakarta mulai mengoperasikan 30 bus sebagai bagian dari komitmen mereka untuk berkontribusi pada peningkatan kualitas udara. TransJakarta harus berkomitmen pada sumber daya yang diperlukan untuk mengimplementasikan rencana yang ada untuk mengelektrifikasi 20% armada BRT-nya pada tahun

2025 dan seluruh sistem BRT pada tahun 2030.³² Selain itu, kami mendorong pemerintah Jakarta untuk mempertimbangkan perluasan LEZ ke lokasi lain yang memiliki akses yang baik ke pilihan transportasi umum.

INSPEKSI KENDARAAN PRIBADI DAN PENGUJIAN EMISI

Jakarta telah mengesahkan kebijakan untuk pengujian emisi kendaraan secara tahunan untuk kendaraan pribadi (roda 2 dan 4) dan armada angkutan umum. Namun, efektivitas program ini dalam mengidentifikasi kendaraan-kendaraan dengan tingkat polusi tinggi masih terbatas karena rendahnya partisipasi pemilik kendaraan pribadi. Untuk meningkatkan partisipasi, program ini dapat memberikan disinsentif bagi kendaraan dengan emisi tertinggi atau kendaraan yang tidak lulus pemeriksaan emisi tahunan. Misalnya, kendaraan dengan emisi tinggi dapat membayar biaya parkir tertinggi, dikenakan biaya tol yang lebih tinggi, atau dapat dilarang memasuki zona emisi rendah di Jakarta. Selain itu, penyerahan hasil uji emisi dan jarak tempuh tahunan sebaiknya diwajibkan untuk registrasi tahunan semua armada kendaraan di Jakarta. Selain itu, ambang batas yang ada untuk mengidentifikasi kendaraan beremisi tinggi harus ditinjau secara teratur.

Hingga akhir tahun 2021, terdapat lebih dari 250 bengkel di Jakarta yang berwenang untuk melakukan uji emisi kendaraan.³³ Jumlah bengkel resmi ini mungkin tidak cukup untuk menguji seluruh jumlah kendaraan yang terdaftar di Jakarta, yang melampaui 20 juta pada akhir tahun 2020. Oleh karena itu, pengujian penginderaan jauh dapat dianggap sebagai solusi alternatif untuk mengukur emisi kendaraan yang digunakan dan mengidentifikasi kendaraan dengan emisi tertinggi dalam armada, seperti yang telah dipraktikkan di negara lain seperti Cina, Amerika Serikat, dan Eropa.³⁴

32 Dinas Komunikasi, Informatika, dan Statistik Provinsi DKI Jakarta, "Jakarta E-Mobility Event Day2: Webinar tentang Studi Kasus Global dan Tinjauan Kebijakan Lokal tentang Penerapan Bus Listrik [siaran pers]" March 2, 2022, <https://g20sideevents.id/assets/upload/press-release/2022/3d2ab33183dc818863c1de2b764123ba.pdf>

33 Dewa Ketut S W dan Mecca Yumna, "Uji emisi: Kisah perjuangan memperbaiki udara Jakarta," *Antara News*, 7 November 2021, <https://en.antaraneews.com/news/198233/emission-test-a-tale-of-struggle-to-improve-jakartas-air>

34 Zifei Yang, "Peraturan penginderaan jarak jauh untuk mengukur polutan gas buang dari kendaraan diesel yang sedang digunakan di Tiongkok," (Washington, DC: ICCT, 2017), <https://theicct.org/publication/remotesensing-regulation-for-measuring-exhaust-pollutants-from-in-use-diesel-vehicles-in-china/>

TINDAKAN YANG DITARGETKAN UNTUK ARMADA KENDARAAN

BUS

Emisi NO_x rata-rata dari kendaraan diesel tugas berat dan tugas ringan masing-masing 13,5 dan 13,9 kali lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan bensin. Namun, bus diesel memiliki emisi CO dan HC yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan kendaraan tugas berat dan ringan lainnya. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16, emisi NO_x, CO, dan HC dari bus diesel telah menurun setelah diperkenalkannya standar Euro II, dan bus TransJakarta memiliki emisi median yang lebih rendah dari semua polutan yang diukur daripada bus-bus operator lain. Kinerja emisi *real-world* yang lebih baik dari armada bus TransJakarta terjadi karena ketaatan yang lebih baik terhadap prosedur inspeksi dan perawatan, serta penggunaan bahan bakar yang lebih bersih. Untuk meningkatkan kinerja emisi dunia nyata armada bus lainnya, Kementerian Perhubungan dapat mempertimbangkan untuk memberikan insentif kepada semua operator bus yang melakukan pemeliharaan armada secara teratur.

Tindakan tambahan untuk mendukung perawatan kinerja emisi bus yang beroperasi di Jakarta termasuk mewajibkan TransJakarta dan operator armada lainnya untuk membeli bus yang memenuhi standar emisi yang lebih ketat (misalnya Euro VI), memperketat persyaratan inspeksi dan pemeliharaan untuk armada-armada ini, dan mempercepat transisi ke bus listrik tanpa emisi, terutama untuk armada bus perkotaan. Terakhir, meskipun tidak banyak yang dapat dilakukan oleh pemerintah Jakarta untuk mendorong kepatuhan

operator bus lainnya, terutama bus antar kota jarak jauh, pemerintah Jakarta dapat melakukan uji emisi di stasiun bus antar kota dan hanya mengizinkan bus yang lulus tes ini untuk masuk ke kota. Lebih lanjut, pemerintah kota dapat menawarkan insentif untuk peremajaan armada bus kota dengan syarat bahwa kendaraan baru harus memenuhi standar emisi Euro VI atau kendaraan tanpa emisi (kendaraan listrik).

SEPEDA MOTOR

Sepeda motor di Indonesia merupakan mayoritas kendaraan di kota-kota di Indonesia. Meskipun kami hanya mengumpulkan sedikit data emisi untuk sepeda motor selama studi ini, hasilnya menunjukkan bahwa diperlukan lebih banyak tindakan untuk mengatasi emisi sepeda motor. Salah satu kemungkinan penyebab tingginya emisi beberapa polutan adalah bahwa pemilik sepeda motor tidak memberikan perhatian yang sama terhadap inspeksi dan perawatan dibandingkan dengan mobil penumpang atau bus umum. Selain itu, standar emisi sepeda motor saat ini adalah Euro 3, sedangkan Euro 5 sekarang sedang diadopsi di Eropa dan beberapa negara lain. Rekomendasi untuk mengatasi masalah ini termasuk memberlakukan inspeksi dan pemeliharaan wajib dan melakukan lebih banyak tes yang ditujukan untuk sepeda motor. Lebih lanjut, pemerintah Jakarta dapat mendorong penyedia layanan transportasi online untuk mempromosikan inspeksi dan perawatan dan menawarkan insentif untuk mengganti armada sepeda motor lama mereka dengan kendaraan roda dua listrik. Terakhir, Indonesia harus merencanakan penerapan standar Euro 5 untuk sepeda motor.

LAMPIRAN

Tabel A1. Klasifikasi kendaraan

| Nama kendaraan | Catatan | Jenis kendaraan |
|------------------------------|--|------------------------|
| Blind van | Mobil van penumpang yang dimodifikasi untuk mengangkut kargo, mis. | LDT |
| Bus | Bus | BUS |
| Delivery van | Mobil van pengiriman | LDT |
| Jeep | Kendaraan 4X4 bagian atas keras | PV |
| Jeep kanvas | Kendaraan 4X4 bagian atas kanvas | PV |
| Truk ringan | Truk ringan | LDT |
| Truk box ringan | Truk ringan dengan box | LDT |
| Truk sampah ringan | Truk sampah ringan | LDT |
| Truk tronton ringan | Truk ringan 3-sumbu | LDT |
| Microbus | Microbus | PV |
| Minibus | Minibus (kendaraan penumpang) | MINIBUS |
| Pick up | Mobil pick up | LDT |
| Pick up box | Mobil pick up dengan box | LDT |
| Pick up dbl cabin box | Mobil pick up dobel kabin dengan box | LDT |
| Pick up doble cabin | Mobil pick up dobel kabin | LDT |
| Sedan | Sedan | PV |
| Bus tunggal 12 m | Bus tunggal 12 M | BUS |
| Spd motor solo | Sepeda motor solo (tanpa sespan) | MOTOR |
| St. Wagon | Station wagon | PV |
| Taksi | Taksi | TAXI |
| Tronton bestelwagon | Truk 3 sumbu dengan kotak tertutup yang mirip dengan blind van | LDT |
| Truk sampah tronton | Truk sampah dengan 3 sumbu atau lebih | HDT |
| Tronton tangki | Truk tangki dengan 3 sumbu atau lebih | HDT |
| Truk | Truk | HDT |
| Truk box | Truk dengan box | HDT |
| Truk car carrier | Truk pengangkut mobil | HDT |
| Truk derek | Truk derek | HDT |
| Truk delivery van | Truk delivery van | HDT |
| Truk load bak | Setara dengan truk sampah | HDT |
| Truk tangki | Truk tangki | HDT |
| Truk kepala traktor | Truk kepala traktor | HDT |
| Truk trailer tangki | Truk tangki trailer | HDT |



TRUE—The Real Urban Emissions Initiative
FIA Foundation, 60 Trafalgar Square, London WC2N 5DS, United Kingdom
For more information contact: true@fiafoundation.org
[@TRUE_Emissions](https://twitter.com/TRUE_Emissions)
www.trueinitiative.org