

# Estimasi Emisi Kendaraan Ringan pada Ruas Jalan Perintis Kemerdekaan Kota Makassar

S.N.J. Patunrangi<sup>a\*</sup>, A.I.N.K. Kadir<sup>a</sup> dan M. Sutrisno<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Jl. Soekarno-Hatta Km 9, Palu 94118, Indonesia

\* Corresponding author's e-mail: [iin.nindy@untad.ac.id](mailto:iin.nindy@untad.ac.id)

Received: 28 December 2022; revised: 15 January 2023; accepted: 31 January 2023

**Abstract:** Population growth is increasingly demanding economic growth accompanied by the need for transportation as facilities of movement person and goods. The increase of transport it is not balanced with the right policies will cause various problems appertain the increasing number of motorized vehicles that has an impact on the environment, namely increasing air pollution. Exhaust emissions from motorized vehicles originating from fossil fuels make impact the environment. Various studies on transportation models have been developed by many researchers, various transportation models can also estimate emissions from motorized vehicles included MOVES and IVEM. The aim of this study is to analyze whether there are differences between the results of the emission estimation model in the MOVES and IVEM programs. The method used is using a driving cycle, where the vehicle is tracking on the highway using GPS second per second. Tracking is carried out on the Perintis Kemerdekaan road with a starting point of KM 7.75 to the end point of KM 13.12 as well as for the opposite direction. Tracking done at peak hours of 7-10 am, 11-14 noon, and 11-14 afternoon. The results showed that the concentration of Nox emissions was higher in the MOVES model data analysis than the IVEM model, as the CO emission concentration in the morning and evening was higher in the MOVES model and the CO emission concentration during the day was higher in the IVEM model. Statistically with the t test, the result is 0.13 where the result of the CO concentration for the MOVES and IVEM models are the same and for the t test the NOx concentration is 0.008 that the results of the analysis of the IVEM and MOVES models for NOx are not the same.

**Keywords:** *light vehicle, emission, MOVES, IVEM, driving cycle*

**Abstrak:** Pertumbuhan penduduk semakin menuntut pertumbuhan ekonomi di mana diiringi dengan kebutuhan akan transportasi sebagai sarana pergerakan orang dan barang. Pertumbuhan transportasi apabila tidak diimbangi dengan kebijakan yang tepat maka akan menimbulkan berbagai persoalan diantaranya semakin bertambahnya kendaraan bermotor yang memberi dampak pada lingkungan yaitu polusi udara yang semakin meningkat. Emisi gas buang pada kendaraan bermotor yang bersumber dari bahan bakar fosil memberi dampak pada lingkungan. Berbagai penelitian mengenai model transportasi telah dikembangkan oleh banyak peneliti, beberapa model transportasi juga dapat mengestimasi emisi yang berasal dari kendaraan bermotor diantaranya MOVES dan IVEM. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis apakah terdapat perbedaan antara hasil model estimasi emisi pada program MOVES dan IVEM. Metode yang digunakan dengan menggunakan driving cycle, dimana kendaraan melakukan tracking di jalan raya dengan menggunakan GPS detik per detik. Tracking dilakukan pada ruas jalan Perintis Kemerdekaan dengan titik awal KM 7,75 hingga titik akhir KM 13,12 begitupun untuk arah sebaliknya. Tracking dilakukan pada jam puncak 7-10 pagi, 11- 14 siang, dan 11-14 sore hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi emisi Nox lebih besar pada analisis data model MOVES dibandingkan model IVEM, sedangkan untuk konsentrasi emisi CO pada pagi dan sore hari lebih tinggi pada model MOVES dan konsentrasi emisi CO pada siang hari lebih tinggi pada model IVEM. Secara statistik dengan uji t didapatkan hasil 0,13 yang mana hasil konsentrasi CO untuk model MOVES dan IVEM adalah sama dan untuk hasil uji t konsentrasi NOx sebesar 0,008 sehingga hasil analisis model IVEM dan MOVES untuk NO<sub>x</sub> tidak sama.

**Kata kunci:** *kendaraan ringan, emisi, MOVES, IVEM, driving cycle*

## 1. Pendahuluan

Transportasi adalah salah satu sumber utama polusi atmosfer di kota-kota seluruh dunia. Peningkatan kendaraan yang luar biasa pesat menghasilkan masalah lalu lintas yang serius yang terdiri dari kendaraan sering berhenti dan pola mengemudi yang berbeda (percepatan dan perlambatan kendaraan). Kendaraan berperan penting atas hasil dari hampir semua emisi Karbon Monoksida (CO), sekitar 75% dari emisi Hidrokarbon (HC) dan senyawa organik volatil (VOC), dan sekitar 65% dari emisi Nitrogen Oksida (NOx) [1].

Kota Makassar merupakan kota terbesar keempat di Indonesia dan terbesar di Kawasan Timur Indonesia memiliki luas areal 175,79 km<sup>2</sup> dengan penduduk

1.429.242, sehingga kota ini sudah menjadi kota metropolitan. Sebagai pusat pelayanan di KTI, Kota Makassar berperan sebagai pusat perdagangan dan jasa, pusat kegiatan industri, pusat kegiatan pemerintahan, simpul jasa angkutan barang dan penumpang baik darat, laut maupun udara [2].

Emisi transportasi adalah pancaran atau pelepasan gas buang yang berasal dari sektor transportasi. Gas buang yang dimaksud merupakan gas buang yang diemisikan ke udara ambien berupa gas dari berbagai jenis polutan dan partikel [3].

Emisi dari kendaraan dipengaruhi oleh pola siklus mengemudi yang terutama tergantung pada kondisi lalu lintas. Siklus Mengemudi telah dikembangkan untuk memberikan profil kecepatan-waktu yang mewakili

mengemudi perkotaan. Siklus mengemudi digunakan untuk menganalisis kondisi mengemudi pada dinamometer untuk evaluasi konsumsi bahan bakar, emisi gas buang, dan koefisien emisi [1].

Hasil penelitian menetapkan enam jenis kendaraan sebagai wakil dari 68,10% mayoritas kendaraan yang melintas di kota Makassar. Untuk besaran emisi CO dan HC terbesar diruas jalan Jend. Sudirman pada kendaraan uji 3 yakni 1,810 gram/h dan 0,858 gram/h [4].

Berdasarkan permasalahan di atas, penulis tertarik melakukan penelitian mengenai “Estimasi Emisi Kendaraan Ringan Pada Ruas Jalan Perintis Kemerdekaan Kota Makassar”.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis apakah terdapat perbedaan antara hasil model estimasi emisi pada model MOVES dan IVEM.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Jl. Perintis Kemerdekaan yang masalah satu jalan nasional di kota Makassar. Jalan Perintis Kemerdekaan memiliki panjang 12,5 km dengan dua lajur dan enam jalur di mana tiap lajurnya dipisahkan dengan median.

### 2.2. Data

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah GPS dan kendaraan ringan. GPS digunakan untuk melakukan tracking kecepatan kendaraan selama perjalanan. GPS yang digunakan adalah GPS garmin dan kendaraan ringan yang digunakan adalah Avanza, kendaraan mobil penumpang yang di produksi oleh TOYOTA, yang mana adalah kendaraan yang paling banyak digunakan oleh orang-orang dalam kota.

Pertimbangan memilih kendaraan ringan adalah siklus mengemudi menunjukkan bahwa kendaraan ringan memiliki kecepatan kendaraan rata-rata sekitar 30 km/jam. Secara keseluruhan, fenomena ini dapat dikategorikan sebagai aliran yang stabil pada kecepatan rata-rata yang rendah [5].

### 2.3. Metode dan Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan *driving cycle*, dimana kendaraan melakukan *tracking* di jalan raya dengan menggunakan GPS detik per detik. *Tracking* dilakukan pada ruas jalan Perintis Kemerdekaan dengan titik awal KM 7,75 hingga titik akhir KM 13,12 begitupun untuk arah sebaliknya. *Tracking* dilakukan pada jam puncak 7-10 pagi, 11- 14 siang, dan 11-14 sore hari.

Langkah-langkah dan prosedurnya pengambilan data dan proses analisis dari bangunan sederhana dan metode perbaikan adalah sebagai berikut :

#### 1) Tahap Persiapan

Survei pendahuluan dilakukan untuk menentukan tipe kendaraan ringan yang digunakan dengan memperhatikan kendaraan yang paling banyak terdata pada saat survei.

#### 2) Tahap Pengambilan Data lapangan

Data lapangan yang diambil adalah: kecepatan detik per detik kendaraan saat melakukan *tracking* di ruas jalan Perintis Kemerdekaan, volume lalu lintas kendaraan.

#### 3) Tahap Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan terhadap data primer dan data sekunder hasil asesmen lapangan. Berikutnya data lapangan diolah menggunakan program MOVES dan IVEM. Pembahasan dilakukan setelah dilakukan analisis dan kajian yang relevan.

#### 4) Tahap Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan rangkuman dan ringkasan hasil pembahasan.

### 2.4. Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah untuk mendapatkan gambaran estimasi emisi CO dan NOx menggunakan dua model emisi yaitu MOVES dan IVEM.

MOVES menggabungkan konsumsi energi, informasi geografis, jenis polutan, waktu dalam setahun, karakteristik pengoperasian kendaraan dan jenis jalan raya bersama-sama untuk membangun platform untuk analisis yang lebih komprehensif dari sebelumnya. Selain itu, memungkinkan pembaruan basis data sehingga pengguna fleksibilitas untuk menangkap perubahan karakteristik kendaraan yang bergerak dan untuk mengontrol parameter lokal [6].

MOVES sebagai model emisi sumber mobile seluler generasi baru. Model ini dibangun di atas *Vehicle Specific Power* (VSP), dan yang membuatnya cocok untuk diterapkan di mana saja di dunia selama pengguna memiliki distribusi mode operasi terkait VSP. MOVES dan database akses-terbuka untuk menggantikan tingkat emisi dasar dengan tingkat emisi yang dimodifikasi berdasarkan siklus mengemudi lokal, standar emisi dan bahan bakar [7].

$$VSP = \frac{(A \cdot u + B \cdot u^2) + (C \cdot u^3) + (M \cdot u \cdot n)}{M} \quad (1)$$

Keterangan:

u : kecepatan kendaraan seketika (m/s)

a : percepatan sesaat dari kendaraan termasuk dampak dari grade ( $a = a + \sin(a \cdot \tan(G / 100))$ ) di mana G adalah grade jalan dalam persen ( $m/s^2$ )

A : konstanta berdasarkan ukuran kendaraan ( $kW \cdot s/m$ )

B : konstanta berdasarkan area depan kendaraan ( $kW \cdot s^2/m$ )

C : konstanta berdasarkan ketinggian kendaraan ( $kW \cdot s^3/m$ )

M : massa kendaraan atau massa sumber, dan faktor massa tetap (1000 kg) [6]

*International Vehicle Emission* (IVE) Model *International Vehicle Emission Model* (IVEM) secara khusus dirancang untuk memiliki fleksibilitas yang dibutuhkan oleh negara-negara berkembang dalam upaya mereka untuk mengatasi emisi gas buang dari kendaraan di udara [8].

Model IVEM digunakan untuk mengetahui besaran emisi dengan menginput dan mengolah data berdasarkan pada hasil pengujian karakteristik kendaraan dan juga hasil perhitungan VSP kendaraan pada tiap segmen di setiap lokasi uji [8].

Jimenez merumuskan *Vehicle Specific Power* (VSP) kendaraan sebagai berikut [9]:

$$VSP = v(1.1a + 9.81[\text{atan}\{\sin(\text{grade})\}] + 0.132) + 0.000302v^3 \quad (2)$$

Keterangan:

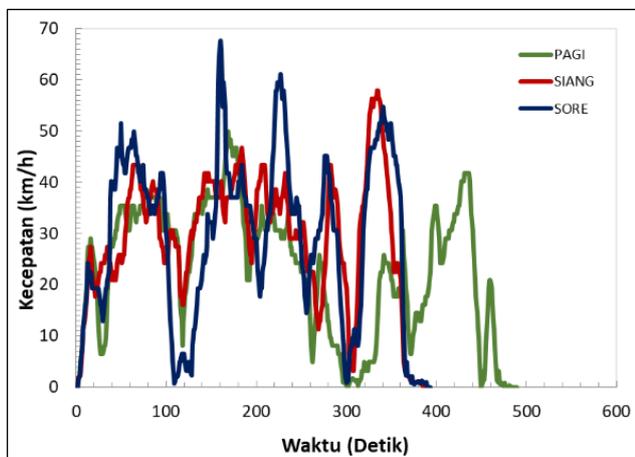
- v = Kecepatan kendaraan (m/s)
- a = Akselerasi kendaraan (m/s<sup>2</sup>)
- h = Altitude jalan (m)
- atan = Archtan
- 9,81 = Koefisien gravitasi
- 0,132 = Koefisien *rolling resistance*
- 0,000302 = Koefisien tarik

Selain VSP, nilai Bin juga menjadi pertimbangan penentuan perkiraan nilai emisi kendaraan yang telah dihitung VSP. Nilai bin yang dihasilkan kemudian dimasukkan dalam aplikasi IVEM untuk dianalisis.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perilaku pengemudi di jalan Perintis Kemerdekaan pada pagi, siang dan sore hari diperoleh pada Gambar 1. Dari grafik dapat dilihat tracking kendaraan roda empat dapat menempuh kecepatan max tidak melampaui 50 km/jam pada jam puncak pagi hari, dan mendekati 60 km/jam pada jam puncak siang hari, serta tidak lebih dari 70 km/jam pada jam puncak sore hari.

Untuk waktu perjalanan pada jam puncak pagi hari tidak melebihi 500 detik, dan untuk jam puncak siang dan sore hari tidak melebihi 400 detik. Hal ini dikarenakan jumlah kendaraan yang melintasi jalan Perintis kemerdekaan lebih banyak pada waktu puncak pagi hari pukul 7-9 sebesar 2048 kend/jam yang menyebabkan dapat menempuh perjalanan lebih lama dan kecepatan yang lebih lambat dari jam puncak siang dan sore.



Gambar 1. Grafik kecepatan pada tiap waktu

Presentasi frekuensi kejadian pada tiap-tiap kondisi kendaraan di jalan dapat dilihat pada Tabel 1. Dapat dilihat

pada Tabel 1 bahwa kondisi diam pada pagi hari lebih besar daripada kondisi siang dan pagi hari, hal ini juga yang menyebabkan kecepatan rata rata kendaraan pada pagi hari lebih lambat dibandingkan siang dan sore hari.

Untuk percepatan dan perlambatan lebih tinggi frekuensinya pada sore hari dibandingkan pada pagi dan siang hari. Untuk frekuensi kejadian meluncur lebih tinggi di waktu pagi hari dibandingkan siang dan sore hari. Hal ini disebabkan juga kendaraan yang melintas pada pagi hari lebih banyak daripada siang dan sore hari.

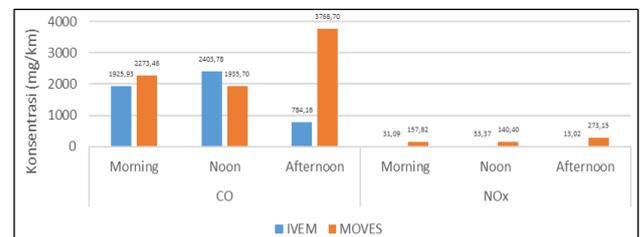
Tabel 1. Frekuensi kejadian tiap kondisi

Kondisi Kendaraan	Frekuensi Kejadian (%)		
	Pagi	Siang	Sore
Diam	2,45	1,29	1,78
Percepatan	29,39	32,65	34,77
Perlambatan	27,14	32,90	34,77
Meluncur	41,02	33,16	28,68
Jumlah	100,00	100,00	100,00

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan di Kota Padang, menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan, maka emisi CO nya pun akan semakin meningkat [10]. Menurut Hobbs (1995), kecepatan merupakan indikator dari kualitas gerakan lalu lintas yang digambarkan sebagai suatu jarak yang dapat ditempuh dalam waktu tertentu dan biasanya dinyatakan dalam km/jam, kecepatan ini menggambarkan nilai gerak dari kendaraan [11].

Jika kendaraan bermotor diperlambat atau dalam keadaan *idling* gas CO akan meningkat, sedangkan gas NOx akan meningkat pada saat kendaraan bermotor dipercepat [12]. Akselerasi dan nilai menunjukkan respons yang lebih rendah terhadap efek utama dan indeks sensitivitas. Laju emisi MOVES versus kurva kecepatan untuk kendaraan ringan menunjukkan bahwa emisi tertinggi terjadi pada kisaran kecepatan yang lebih rendah. Tidak ada perbedaan signifikan pada tingkat emisi di antara kelas peraturan kendaraan berat yang diidentifikasi [13].

Hasil simulasi model dengan aplikasi MOVES dan IVEM untuk emisi CO dan NOx dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil emisi CO dan NOx pada model MOVES dan IVEM

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa konsentrasi emisi CO lebih tinggi dibandingkan konsentrasi emisi NOx. Untuk pagi siang dan sore hari konsentrasi NOx pada pengolahan data model MOVES lebih tinggi dibandingkan pada pengolahan data model IVEM. Untuk model MOVES konsentrasi NOx pada pagi hari sebesar

157,82 mg/km sedangkan pada model IVEM sebesar 31,09 mg/km. Pada siang hari konsentrasi NO<sub>x</sub> pada model MOVES sebesar 140,40 mg/km sedangkan pada IVEM sebesar 33,37 mg/km. Untuk sore hari konsentrasi NO<sub>x</sub> pada MOVES sebesar 273,15 dan pada IVEM sebesar 13,02 mg/km.

Dapat dilihat bahwa konsentrasi NO<sub>x</sub> pada model MOVES selalu lebih tinggi pada pagi, siang dan sore hari dibandingkan dengan model IVEM. Hal ini dapat disebabkan karena dipengaruhi data input yang berbeda antara MOVES dan IVEM.

Untuk Konsentrasi CO pada pagi hari hasil yang didapatkan menggunakan model MOVES adalah 2273,46 mg/km sedangkan untuk model IVEM sebesar 1925,93. Untuk siang hari konsentrasi CO pada pengolahan data model IVEM lebih tinggi dibandingkan pada model MOVES, yaitu sebesar 2403,78 mg/km dan untuk model IVEM sebesar 1935,70 dimana berbanding terbalik pada waktu pagi dan sore hari. Perbedaan ini yang masih perlu diteliti lebih lanjut. Untuk sore hari konsentrasi CO cukup terlihat berbeda signifikan dimana untuk model MOVES sebesar 3768,70 dan IVEM sebesar 784,16 mg/km. Jarak tempuh biasanya dikaitkan dengan umur mesin, sebab pada umumnya umur mesin yang sudah cukup lama memiliki angka jarak tempuh yang tinggi. Hal tersebut akan berdampak pada besarnya emisi CO, HC, NO<sub>x</sub> dan CO<sub>2</sub> yang dihasilkan [14].

Model MOVES memasukkan data input jumlah kendaraan pada ruas jalan sedangkan model IVEM tidak memasukkan jumlah kendaraan pada data input dan pada sore hari jumlah kendaraan yang melewati ruas jalan Perintis sebesar 2852 kendaraan, lebih tinggi dibandingkan jumlah kendaraan pada pagi sebesar 2048 kendaraan. Perbedaan jumlah kendaraan yang melewati jalan Perintis Kemerdekaan mempengaruhi konsentrasi emisi CO dan NO<sub>x</sub> pada pagi, siang dan sore hari. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya dimana peningkatan jumlah kendaraan sebanding dengan peningkatan jumlah emisi yang dihasilkan [15-17].

Hasil pengujian emisi CO dan NO<sub>2</sub> untuk model IVEM dan MOVES dibandingkan secara statistik dengan menggunakan uji t didapatkan hasil untuk CO adalah 0,13 atau lebih besar daripada 0,05 sehingga secara statistik emisi CO yang didapatkan dari analisis model IVEM dan MOVES adalah sama. Untuk NO<sub>x</sub> didapatkan hasil analisis uji t sebesar 0,008 atau lebih kecil daripada 0,05 sehingga secara statistik hasil analisis model IVEM dan MOVES untuk NO<sub>x</sub> tidak sama [18-19].

Dari hasil uji statistik menunjukkan bahwa pada model MOVES dan IVEM hasil estimasi emisi CO meskipun pada sore hari menunjukkan hasil yang cukup berbeda tetapi secara statistik kedua model ini memberikan nilai estimasi yang sama, sedangkan untuk NO<sub>x</sub> hasil analisis model MOVES dan IVEM menunjukkan nilai yang berbeda secara statistik, alasan akurat mengapa konsentrasi NO<sub>x</sub> berbeda secara statistik pada kedua model ini tentu perlu penelitian lebih lanjut.

#### 4. Kesimpulan

- 1). Konsentrasi emisi CO lebih tinggi dibandingkan konsentrasi emisi NO<sub>x</sub> pada ruas jalan Perintis Kemerdekaan.
- 2). Konsentrasi emisi NO<sub>x</sub> untuk model MOVES memberikan nilai yang selalu lebih tinggi pada pagi, siang dan sore hari dibandingkan menggunakan model IVEM.
- 3). Konsentrasi emisi CO pada pagi dan sore hari lebih tinggi pada model MOVES dan konsentrasi emisi CO pada siang hari lebih tinggi pada model IVEM.
- 4). Secara statistik dengan uji t didapatkan hasil 0,13 yang mana hasil konsentrasi CO untuk model MOVES dan IVEM adalah sama dan untuk hasil uji t konsentrasi NO<sub>x</sub> sebesar 0,008 sehingga hasil analisis model IVEM dan MOVES untuk NO<sub>x</sub> tidak sama.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] F.E. Zannikos, "Vehicle Emissions and Driving Cycles: Comparison of the Athens Driving Cycle (ADC) with ECE-15 and European Driving Cycle (EDC)" *Global NEST Journal*, vol. 8, no. 3, p. 282, 2018.
- [2] I.A. Wardani, Djameluddin, and H. Bakri, "Analisis Fundamental Sampling Error Terhadap Quality Assurance dan Quality Control, Kab. Luwutimur, Sulawesi Selatan", *Jurnal Geomine*, vol. 5 no. 3, p. 124, 2017.
- [3] S.A. Aly, *Emisi Transportasi*, Jakarta: Penerbit Plus, 2015.
- [4] M. Dahlan, *Model Faktor Emisi Kendaraan Ringan Pada Jaringan Jalan di Kota Makassar*, Makassar: Jurusan Teknik Sipil UNHAS, 2016.
- [5] R. Hasrul, *The Driving Cycle of Light Vehicles on An Urban Road*, Makassar: ISID, 2013.
- [6] C. Gu, *Emission Estimation of Heavy Duty Diesel Vehicles by Developing Texas Specific Drive Cycle with Moves*, Texas: Texas A&M University, 2013.
- [7] H. Perugu, "Emission Modelling of Light-Duty Vehicles in India using the Revamped VSP-Based MOVES Model: The Case Study of Hyderabad", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 68, p. 150, 2019.
- [8] N. Davis, *IVE Model Users Manual Version 2.0*, California: ISSRC, 2008.
- [9] J.L. Jiménez-Palacios, *Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing*, Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1998.
- [10] V.S. Bachtiar, *Kajian Hubungan Antara Variasi Kecepatan Kendaraan Dengan Emisi Yang Dikeluarkan pada Kendaraan Bermotor Roda Empat*. Padang: Universitas Andalas, 2014.
- [11] F.D. Hobbs, *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 1995.

- [12] Dirjen Guru dan Tenaga Kependidikan, *Memelihara dan Memperbaik Sistem Kontrol Emisi*, Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2018.
- [13] Z. Yao, H. Wei, H. Perugu, H. Liu, and Z. Li, "Sensitivity Analysis of Project Level MOVES Running Emission Rates for Light and Heavy Duty Vehicles", *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 1, no. 2, p. 81, 2014.
- [14] R. Wanudyajati, *Analisis Pengaruh Jarak Tempuh, Periode Servis dan Umur Mesin Terhadap Konsentrasi CO, HC, NO<sub>x</sub>, dan CO<sub>2</sub> Pada Kendaraan Niaga*, Semarang: Departemen Teknik Lingkungan Universitas Diponegoro, 2013.
- [15] Ismiyati, D. Marlita, and D. Saidah, "Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor", *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, vol. 1, no. 3, p. 241, 2014.
- [16] N. Nurdjanah, "Emisi Co2 Akibat Kendaraan Bermotor di Kota Denpasar", *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, vol. 17, no. 1, p. 1, 2015.
- [17] D. Maryanto, S.A. Mulasari, and D. Suryani, "Penurunan Kadar Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (Co) Dengan Penambahan Arang Aktif Pada Kendaraan Bermotor di Yogyakarta", vol. 3, no. 3, p. 198, 2009.
- [18] D. Muziansyah, R. Sulistyorini, and S. Sebayang, "Model Emisi Gas Buangan Kendaraan Bermotor Akibat Aktivitas Transportasi", *JRSDD*, vol. 3, no. 1, p. 57, 2015.
- [19] A. Mokhtar, "Catalityc Converter Jenis Katalis Plat Tembaga berbentuk Sarang Lebah untuk Mengurangi Emisi Kendaraan Bermotor", *Jurnal Gamma*, vol. 10, no. 1, p. 165, 2014.

*This page is intentionally left blank*