



Pengaruh Hari Bebas Kendaraan Bermotor terhadap Emisi Polutan di Jalan Alternatif (Studi Kasus: Jalan RE Martadinata, Kota Bogor)

The Effect of Car Free Day (CFD) on Pollutant Emissions at Alternative Roads (Case Study: RE Martadinata Street, Bogor City)

Rachmawati Aida*, Fithriya Yuliasih Rohmawati, dan Ana Turyanti

Departemen Geofisika dan Meteorologi, Gedung FMIPA, IPB, Jl. Meranti Wing 19 Lv.4 Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 November 2018

Received in revised from 9 April 2019

Accepted 28 April 2019

doi: 10.29244/j.agromet.33.1.8-19

Keywords:

Air quality

Fixed-box model

Pollutant concentration

Vehicle emission

Weekend non-CFD

ABSTRACT

Car Free Day (CFD) is a social campaign aimed to reduce the dependence of people on vehicle uses, which occurs once per week in Bogor. The idea intends to decrease the vehicle emissions. However, CFD is often to cause a new problem like the congestions, which are found on the nearby alternative roads, as happened in RE Martadinata Street, Bogor City. This study aims to compare the emission load and the concentrations of pollutants in ambient air during CFD (06.00-09.00 am) and non-CFD days in alternative road. We measured the following pollutants: CO, HC, NO_x, PM₁₀ and SO₂. This research first applied Fixed-Box Model to estimate concentration of pollutants, then we used the Finite Length Line Source (FLLS) to estimate dispersion of pollutants. The results showed that there was no substantial difference in pollutant emissions between CFD and non-CFD days. But if we separate between weekdays and weekend, our analysis revealed that emissions during the weekend are bigger than that of weekdays. This was consistent with an increase of number of vehicles during the weekends by 17.2%. Based on our analysis, motorcycle contributes to an increased of CO, HC, PM₁₀ pollutants, whereas SO₂ and NO_x pollutants were generated by cars. Our findings suggest that a short time of CFD does not contribute a lot to reduce the emissions.

PENDAHULUAN

Bogor sebagai salah satu kota tujuan wisata sering mengalami kemacetan akibat jumlah kendaraan bermotor yang tinggi. Berdasarkan data Jasa Marga periode Januari 2017 hingga April 2018, rata-rata volume kendaraan yang melalui tol menuju Bogor berjumlah lebih dari 0.9 juta unit per bulan. Jumlah kendaraan motor yang tinggi mampu mengakibatkan peningkatan polutan udara (Ferrero et al., 2016; Lang et al., 2014; May et al., 2014; Reşitoğlu et al., 2015), sehingga menurunkan kualitas udara. Di sisi lain, pemerintah kota Bogor mempunyai kebijakan untuk menanggulangi dampak buruk kendaraan bermotor terhadap kualitas udara. Salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan memberlakukan kebijakan Hari Bebas Kendaraan Bermotor (HBKB). HBKB atau *Car Free Day* merupakan sebuah kegiatan kampanye yang

bertujuan mengurangi pencemaran udara di kota-kota besar (Masiol et al., 2014; Nagy et al., 2014; Nieuwenhuijsen dan Khreis, 2016).

Kegiatan HBKB di Indonesia bertujuan mengedukasi masyarakat untuk menggunakan angkutan umum massal yang ramah lingkungan (Gusnita, 2010). Hal tersebut diharapkan dapat mendukung dan meningkatkan kualitas udara. Penelitian mengenai program HBKB di Indonesia telah dilaksanakan di beberapa kota, antara lain Kota Denpasar, Bali (Arwini et al., 2015), Kota Bandung, Jawa Barat (Farda dan Balijepalli, 2018), dan Kota Jakarta (Gusnita, 2010). Namun, penelitian tersebut belum dilaksanakan di Kota Bogor. Program HBKB di Kota Bogor dilaksanakan setiap hari Minggu pukul 06.00-09.00 WIB di Jalan Sudirman. HBKB di Kota Bogor semula bertempat di Jalan Jalak Harupat yang diresmikan sejak Desember 2009. Namun, pada April 2016 dipindahkan ke Jalan

* Corresponding author: rachmawataidaa@gmail.com

Sudirman yaitu mulai dari depan Jalan Sarwojajar hingga persimpangan Air Mancur sepanjang 1 303 m. Keputusan tersebut diambil setelah diberlakukannya sistem satu arah (SSA) di seputar Kebun Raya Bogor (KRB) serta mengikuti kota lainnya yang mengadakan HBKB di jalur-jalur protokol (DISKOMINFOSTANDI, 2016).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemberlakuan HBKB mengurangi emisi polutan di jalan utama tempat HBKB berlangsung namun di sisi lain meningkatkan emisi polutan di jalan alternatif. Menurut Gusnita (2010), HBKB tahun 2007 sampai 2009 di Jakarta mengakibatkan penurunan konsentrasi polutan (CO, NO, PM₁₀) sebesar 30-80% dibandingkan hari kerja. Penelitian oleh Sasmita (2015) menemukan bahwa HBKB di Kota Pekanbaru mengalami penurunan emisi Karbon dioksida sebesar 237 kg selama kegiatan HBKB. Di sisi lain, menurut Damara et al. (2017) terjadi peningkatan konsentrasi CO di jalan alternatif arus saat terjadi HBKB di kota Semarang. Hal tersebut, dapat berpotensi juga terjadi di kota Bogor, dimana HBKB berlangsung di Jalan Sudirman, sedangkan jalan alternatif berada di Jalan RE Martadinata. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk menduga pengaruh HBKB terhadap emisi polutan di jalan alternatif (yaitu Jalan RE Martadinata), sehingga pengaruh pemberlakuan kebijakan HBKB dapat diketahui secara komprehensif.

METODE PENELITIAN

Data Penelitian

Data yang digunakan meliputi data jumlah dan jenis kendaraan, data panjang jalan, data kondisi atmosfer, dan data faktor emisi. Data jenis dan jumlah kendaraan didapatkan dengan cara melakukan penghitungan langsung menggunakan *counter* di Jalan RE Martadinata pada tanggal 25-26 Februari 2018; 4-5

dan 30-31 Maret 2018; 1, 3-6 April 2018 serta 19-20 Mei 2018 pada jam 06.00-09.00 WIB. Rute Jalan RE Martadinata dapat dilihat pada Gambar 1. Data tersebut mewakili hari libur non-HBKB, hari kerja (Senin-Jumat), serta ketika HBKB berlangsung. Data panjang jalan diduga dari *Google Maps* menggunakan fungsi *measure distance*.

Data kondisi atmosfer meliputi data stabilitas atmosfer, data *mixing height*, data kecepatan angin, data arah angin dari *Real-time Environmental Applications and Display System National Oceanic and Atmospheric Administration* (READY NOAA) (Rolph et al., 2017): <https://ready.arl.noaa.gov/READYamet.php>. Data kondisi atmosfer tersebut menggunakan data sekunder dikarenakan tidak memerlukan biaya serta memberikan solusi terhadap ketiadaan alat ukur yang memadai. Data faktor emisi mengacu pada ketentuan Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) yakni Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010 (KLH, 2013).

Pendugaan Beban Emisi Kendaraan Bermotor

Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dapat meningkatkan polutan yang diemisikan ke atmosfer. Perhitungan beban emisi kendaraan menggunakan data faktor emisi yang bersumber dari KLH (Tabel 1). Faktor emisi menunjukkan besarnya emisi per satuan unit kegiatan yang dilakukan, dapat berupa volume yang diproduksi atau volume yang dikonsumsi. Faktor emisi akan berbeda untuk setiap jenis kendaraan. Rumus yang digunakan untuk menghitung beban emisi disajikan pada Persamaan (1).

$$E_p = \sum_{i=1}^n L N_i F_{pi} \quad (1)$$

dimana E_p emisi polutan jenis-p (g jam⁻¹), L panjang jalan (km), N_i jumlah kendaraan bermotor tipe- i yang melintasi ruas jalan (unit jam⁻¹), F_{pi} faktor emisi kendaraan tipe i (g jam⁻¹).

Tabel 1 Faktor emisi kendaraan bermotor di Indonesia Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010.

Kategori	Faktor Emisi Polutan				
	CO (g km ⁻¹)	HC (g km ⁻¹)	NOx (g km ⁻¹)	PM10 (g km ⁻¹)	SO ₂ (g km ⁻¹)
Sepeda motor	14.0	5.9	0.29	0.24	0.008
Mobil penumpang (bensin)	40.0	4.0	2.0	0.01	0.026
Mobil penumpang (solar)	2.8	0.2	3.5	0.53	0.440
Mobil penumpang	32.4	3.2	2.3	0.12	0.110
Bus	11.0	1.3	11.9	1.40	0.930
Truk	8.4	1.8	17.7	1.40	0.820
Angkutan kota (minibus)	43.1	5.08	2.1	0.006	0.029

Pendugaan Konsentrasi Polutan menggunakan *Fixed-Box Model*

Data hasil perhitungan beban emisi selanjutnya dijadikan acuan untuk menghitung besarnya

konsentrasi polutan menggunakan *Fixed-Box Model*. *Fixed-Box Model* dipilih dalam penelitian ini dikarenakan relatif lebih sederhana dan telah digunakan berbagai penelitian pencemaran udara di

berbagai negara (Chen dan He, 2014; De Nevers, 2010; He dan Qiu, 2016; Mareddy, 2017; Yang dan He, 2016). Model tersebut mengasumsikan area dalam bentuk kotak untuk menduga konsentrasi polutan dari beberapa sumber pencemar dalam skala kecil. Asumsi yang digunakan dalam model adalah laju polutan konstan, kondisi emisi, kecepatan angin dan karakteristik udara selalu tetap serta pelepasan polutan tercampur sempurna dan seketika. Rumus perhitungan konsentrasi menggunakan metode *fixed-box model* disajikan pada Persamaan (2).

$$C = b + \frac{(qp)}{\bar{u}_x H} \quad (2)$$

dimana C besar konsentrasi polutan di dalam kotak ($\mu\text{g m}^{-3}$), b konsentrasi polutan yang masuk ($\mu\text{g m}^{-3}$), q laju emisi per satuan luas ($\text{g s}^{-1} \text{m}^{-2}$), p panjang jalan (m), \bar{u}_x kecepatan angin searah sumbu-x (m s^{-1}), H *mixing height* (m).

Penelitian ini mengasumsikan nilai b = 0, hal tersebut dapat terjadi jika udara yang masuk ke dalam kotak merupakan udara bersih. Data *mixing height* dari READY NOAA, dengan luas jalan kajian sebesar 8 000 m². Laju emisi polutan per satuan luas (q) didapatkan dari Persamaan (3).

$$q = \frac{E_p}{A} \quad (3)$$

dimana, q laju emisi per satuan luas ($\text{g s}^{-1} \text{m}^{-2}$), E_p emisi polutan jenis-p (g jam^{-1}), A luas jalan kajian (m^2).

Arah angin dominan di Jalan RE Martadinata selama pengamatan adalah angin Barat-Barat Laut (292.5°) berdasarkan data arah angin dari READY NOAA. Kecepatan angin dalam pendugaan konsentrasi polutan menggunakan *Fixed-Box Model* diasumsikan searah sumbu-x (Gambar 1). Oleh karena itu, kecepatan angin dihitung dengan Persamaan (4).

$$\bar{u}_x = v \cos(\beta) \quad (4)$$

dimana, \bar{u}_x kecepatan angin searah sumbu-x (m s^{-1}), v kecepatan angin (m s^{-1}), β sudut antara arah angin dominan dengan sumbu-x ($\beta = 67.5^\circ$).

Pendugaan Dispersi Polutan menggunakan FLLS

Dispersi polutan dalam penelitian ini diduga dengan FLLS (*Finite Length Line Source*). Metode FLLS digunakan untuk menentukan konsentrasi polutan dan penyebarannya dengan membagi daerah sumber emisi menjadi segmen-segmen terkecilnya. FLLS merupakan modifikasi dari *infinite length line source* yang digunakan dalam perhitungan *line source gaussian*. Paramitadevi (2014) menggunakan model *line source gaussian* dengan berasumsi bahwa sebuah *line source* adalah sebuah deret *point source* yang saling tergantung dan masing-masing menghasilkan keputulan polutan.



Gambar 1 Lokasi pengamatan kondisi kepadatan lalu lintas di Jalan RE Martadinata Bogor (garis warna merah).

Tabel 2 Konstanta untuk menghitung koefisien dispersi.

Kestabilan	a	b*	x < 1 km			x > 1 km		
			c	d	f	c	d	f
A	213	0.894	440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156	0.894	106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2.0
C	104	0.894	61.0	0.911	0.0	61.0	0.911	0.0
D	58	0.894	33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13.0
E	50.5	0.894	22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34.0
F	34	0.894	14.35	0.740	-0.35	62.6	0.180	-48.6

*b = 0.894 untuk semua kelas atmosfer dan semua jarak x

Hal tersebut berarti konsentrasi suatu titik di jalan dihitung sebagai jumlah konsentrasi dari deret titik-titik sumber pada jalan tersebut. Persamaan yang digunakan dalam FLLS disajikan pada Persamaan (5-7) (Cooper dan Alley, 2010).

$$C_{(x,z)} = \frac{K}{(2\pi)^{1/2}} (G2 - G1) \tag{5}$$

$$K = \frac{Q}{\bar{u}_y \sigma_z} \left\{ \exp \left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2} \right] + \exp \left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2} \right] \right\} \tag{6}$$

$$G2 - G1 = \int_{B1}^{B2} \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \exp \left(-\frac{B^2}{2} \right) dB \tag{7}$$

dimana, Q laju emisi sumber polutan ($g \text{ m s}^{-1}$), π 3.14, \bar{u}_y kecepatan angin searah sumbu-y (m s^{-1}), σ_z parameter dispersi konsentrasi pada posisi z (m), z posisi arah z pada koordinat kartesius (pada penelitian ini z = 0), H Ketinggian efektif sumber emisi (pada penelitian ini H = 0), B Rasio panjang ruas jalan terhadap parameter dispersi (σ_y), $B2 = \frac{y_2}{\sigma_y}$; $B1 = \frac{y_1}{\sigma_y}$.

Segmen jalan sepanjang titik AC (Gambar 1) yang digunakan dalam penelitian ini memiliki panjang jalan 350 m dengan AB = 210 m dan BC = 140 m, serta kemiringan jalan terhadap arah Utara sebesar 45°. Pemilihan segmen jalan AC disebabkan oleh terdapatnya rel *Commuter Line* yang terletak bersebelahan dengan titik A. Penutupan jalan ketika kereta lewat akan menyebabkan tertahannya kendaraan bermotor di sepanjang segmen jalan AC, sehingga emisi polutan akan terkumpul di segmen jalan tersebut.

Lokasi reseptor yang dianalisis kualitas udaranya ditentukan dari hasil analisis *windrose* menggunakan data arah dan kecepatan angin dari READY NOAA. Nilai x adalah jarak tegak lurus (*downwind*) sesuai arah angin dari titik sumber emisi. Nilai y1 dan y2 merupakan jarak reseptor sejajar (*crosswind*) dengan ruas jalan (Paramitadevi, 2014). Penelitian ini mengasumsikan arah angin dominan di Jalan RE Martadinata selama pengamatan adalah angin Barat-Barat Laut (292.5°), berdasarkan data arah angin dari READY NOAA.

Dalam model FLLS, arah angin dihitung agar tegak lurus terhadap masing-masing ruas jalan.

Perhitungan kecepatan angin untuk model FLLS menggunakan rumus pada Persamaan (8). Sedangkan nilai sigma (σ_y dan σ_z) ditentukan dari Tabel 2 dan dihitung menggunakan Persamaan (9-10) (Cooper dan Alley, 2010). Konstanta yang digunakan dalam persamaan di atas tersedia dalam Tabel 2.

$$\bar{u}_y = v \cos(90-\beta) \tag{8}$$

$$\sigma_y = ax^b \tag{9}$$

$$\sigma_z = cx^d + f \tag{10}$$

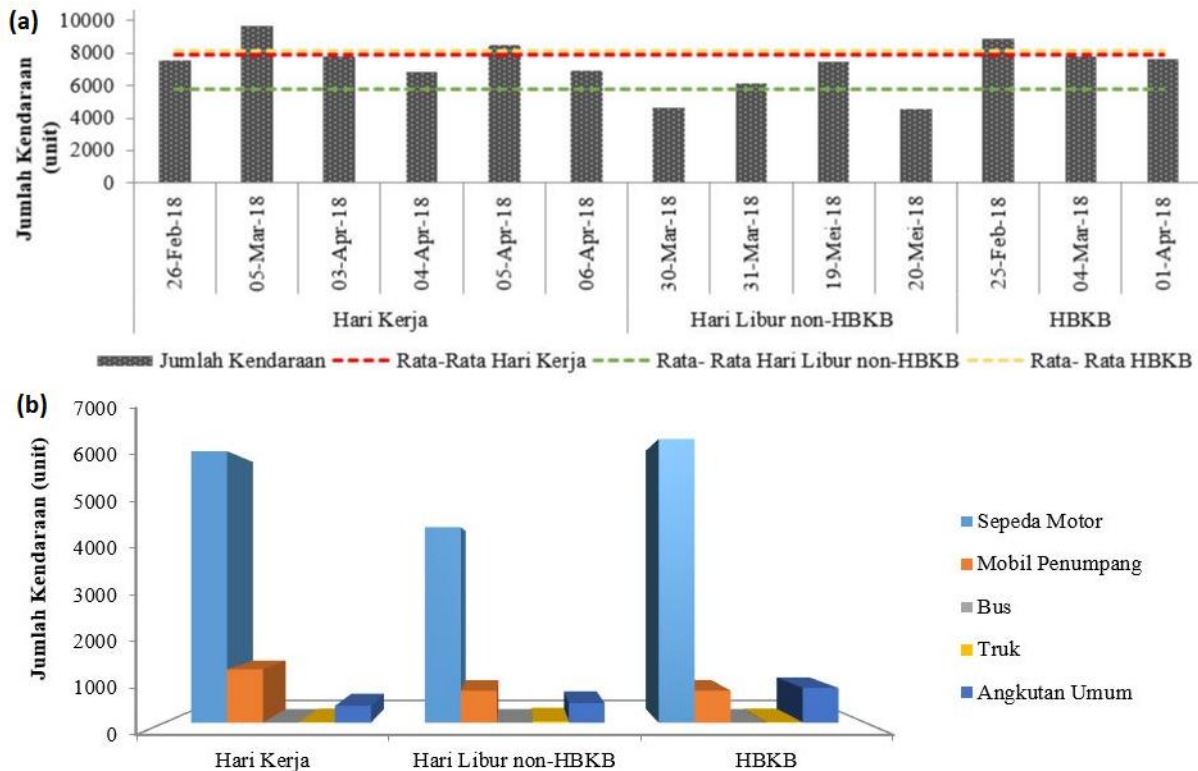
dimana \bar{u}_y kecepatan angin searah sumbu-y (m s^{-1}), v kecepatan angin (m s^{-1}), β sudut antara arah angin dominan dengan sumbu-x ($\beta = 67.5^\circ$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Jumlah Kendaraan

Total kendaraan yang melalui ruas Jalan RE Martadinata pada pukul 06.00–09.00 WIB paling tinggi terjadi ketika berlangsungnya kegiatan HBKB dengan rata-rata 8 124 unit kendaraan, sedangkan rata-rata jumlah kendaraan di hari kerja dan hari libur non-HBKB masing-masing yaitu 7 916 dan 5 743 unit (Gambar 2a). Hal tersebut berarti terjadi peningkatan jumlah kendaraan di Jalan RE Martadinata ketika HBKB berlangsung yaitu sebesar 1.3% dan 17.2% jika dibandingkan dengan hari kerja dan hari libur non-HBKB.

Jenis kendaraan yang melintasi ruas Jalan RE Martadinata didominasi oleh sepeda motor dengan rata-rata sebesar 6 280 unit saat hari kerja, 4 522 unit ketika hari libur non-HBKB, dan 6 562 unit ketika HBKB berlangsung (Gambar 2b). Peningkatan jumlah kendaraan dengan jenis angkutan umum ketika HBKB disebabkan oleh adanya perubahan jalur angkutan umum selama berlangsungnya HBKB. Peningkatan jumlah kendaraan di Jalan RE Martadinata ketika HBKB berlangsung menyebabkan kemacetan pada ruas jalan tersebut. Kemacetan diperparah dengan digunakannya bahu jalan sebagai tempat parkir yang menyebabkan badan jalan menjadi lebih sempit.



Gambar 2 Grafik perbandingan: (a) jumlah kendaraan, dan (b) rata-rata jumlah kendaraan berdasarkan jenis kendaraan.

Kedaaan jalan mengalami kemacetan, maka pembakaran bahan bakar menjadi tidak efisien serta akan mengakibatkan pengumpulan emisi polutan pada satu tempat (Purwanto, 2015). Sebaliknya, pembakaran bahan bakar pada kendaraan bermotor akan lebih efisien jika kendaraan bermotor tersebut melaju dengan kecepatan konstan.

Beban Emisi Kendaraan

Hasil perhitungan beban emisi menunjukkan jumlah polutan yang paling tinggi dilepaskan ke atmosfer yaitu CO sebesar 144 716 g jam⁻¹, 106 911 g jam⁻¹, 150 756 g jam⁻¹ pada hari kerja, hari libur non-HBKB, dan ketika HBKB karena nilai faktor emisi untuk CO lebih tinggi dari polutan lainnya (Gambar 3). Emisi untuk masing-masing polutan dibahas sebagai berikut.

Karbon Monoksida (CO)

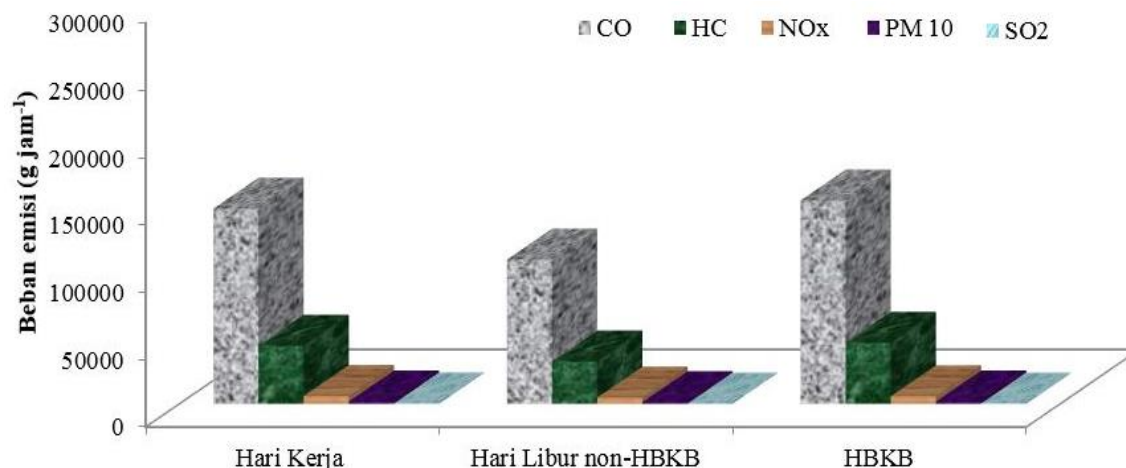
Karbon monoksida (CO) merupakan gas beracun yang tidak berbau dan tidak berasa, dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna gas alam dan material lain yang mengandung karbon (Saputra dan Dharmawan, 2013). KLH (2013) mengemukakan lebih dari 75% emisi CO dihasilkan dari sisa pembuangan kendaraan bermotor. Pada kondisi macet, mesin kendaraan beroperasi pada beban yang tinggi dan putaran rendah. Akibatnya saat macet emisi polutan dari kendaraan bermotor akan mengalami peningkatan (Adiang et al., 2017; Bhautmage dan Gokhale, 2016). Karbon

monoksida mengubah hemoglobin menjadi karboksi-hemoglobin sehingga kemampuan darah mengangkut oksigen menjadi berkurang dan menimbulkan gangguan kesehatan (Levy, 2015).

Emisi CO tertinggi di Jalan RE Martadinata terjadi pada saat HBKB dengan rata-rata sebesar 150 756 g jam⁻¹, sedangkan hari kerja dan hari libur non-HBKB memiliki beban emisi sebesar 144 716 g jam⁻¹ dan 85 267 g jam⁻¹. Dengan kata lain, terjadi peningkatan sebesar 27.7% jika dibandingkan dengan hari libur non-HBKB dan meningkat sebesar 2.0% jika dibandingkan dengan hari kerja. Hasil penelitian juga menunjukkan polutan CO di Jalan RE Martadinata saat HBKB, hari kerja dan hari libur non-HBKB sebagian besar diemisikan oleh sepeda motor yaitu sebesar 59%-61% dengan rata-rata 81 032 g jam⁻¹. Hal tersebut disebabkan banyak sepeda motor yang melintasi jalan tersebut, sedangkan untuk bus dan truk memiliki tingkat emisi CO yang sangat kecil.

Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) merupakan gas penyebab terjadinya kabut campuran asap (*smog*), serta dapat menyebabkan penyakit Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), iritasi mata, dan bronkhitis. Senyawa HC yang terdapat pada gas buang kendaraan menunjukkan bahwa terdapat bahan bakar bensin yang tidak terbakar dan langsung terbuang bersama sisa pembakaran (Purwanto, 2015).



Gambar 3 Perbandingan jumlah polutan CO, HC, NO_x, PM₁₀, dan SO₂.

Rata-rata beban emisi HC yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor di Jalan RE Martadinata saat HBKB, hari kerja, dan hari libur non-HBKB masing-masing sebesar 45 207 g jam⁻¹, 42 995 g jam⁻¹, dan 31 389 g jam⁻¹. Emisi HC ketika HBKB jika dibandingkan dengan hari kerja mengalami peningkatan sebesar 2.5%, dan 18.0% jika dibandingkan dengan hari kerja dan hari libur non-HBKB. Emisi HC tertinggi disumbangkan oleh sepeda motor dengan rata-rata sebesar 34 149 g jam⁻¹ atau 86% dari total emisi polutan HC, sedangkan untuk kendaraan jenis lainnya hanya menyumbang 14%-15% emisi HC. Emisi HC dari sepeda motor yang tinggi disebabkan oleh banyak sepeda motor yang melintasi Jalan RE Martadinata.

Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen oksida (NO_x) adalah kelompok gas yang terdapat di atmosfer terdiri atas NO dan NO₂. Walaupun terdapat bentuk lain dari nitrogen oksida, tetapi kedua gas tersebut yang paling banyak ditemui sebagai polutan udara. Ciri dari gas NO yaitu tidak berwarna dan tidak berbau, sedangkan NO₂ memiliki warna cokelat kemerahan dan berbau tajam. Udara yang tercemar gas NO_x tidak hanya berbahaya bagi manusia dan hewan, tetapi juga bagi tanaman dan lingkungan (Boningari dan Smirniotis, 2016; Jonson et al., 2017).

Emisi NO_x di Jalan RE Martadinata lebih tinggi ketika hari kerja dengan rerata sebesar 5 738 g jam⁻¹, sedangkan emisi NO_x untuk HBKB dan hari libur non-HBKB masing-masing yaitu 5 538 g jam⁻¹ dan 4 526 g jam⁻¹. Persentase kenaikan emisi NO_x selama HBKB sebesar 0.1% jika dibandingkan dengan hari libur non-HBKB, sedangkan jumlah emisi NO_x ketika HBKB dan hari kerja tidak berbeda jauh.

Jenis kendaraan yang paling banyak mengemisikan NO_x di Jalan RE Martadinata selama pengukuran yaitu mobil penumpang. Walaupun jumlah

sepeda motor yang melintasi Jalan RE Martadinata lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan lain, namun nilai faktor emisi sepeda motor untuk polutan NO_x tergolong kecil yaitu sebesar 0.29. Hal tersebut menyebabkan emisi NO_x oleh mobil penumpang lebih tinggi dari sepeda motor. Kendaraan bermotor dengan jenis bus memiliki peran yang sangat kecil dalam emisi polutan NO_x karena jumlah bus yang melintasi Jalan RE Martadinata sangat sedikit.

Particulate Matter-10 (PM₁₀)

Particulate matter-10 (PM₁₀) merupakan partikulat yang berukuran kurang dari 10 μm. Partikulat terdiri dari unsur karbon yang dihasilkan oleh adanya residu dalam bahan bakar. Residu tersebut tidak ikut terbakar dalam ruang bakar, tetapi terbuang melalui pipa gas buang (Purwanto, 2015). Pencemaran udara berbentuk partikel (debu, aerosol, timah hitam) dapat menyebabkan masalah kesehatan (umumnya penyakit saluran pernapasan) yang berbeda tingkatan dan jenisnya, bergantung pada macam, ukuran, dan komposisi kimiawi polutan. Beberapa dampak yang ditimbulkan oleh PM₁₀ yaitu berkurangnya jarak pandang, timbulnya kerusakan lingkungan akibat pengendapan partikel yang mengandung asam, serta kerusakan bangunan atau monumen yang mengganggu keindahan (KLH, 2013).

Rata-rata emisi PM₁₀ paling tinggi ketika HBKB yaitu sebesar 338 g jam⁻¹, sedangkan hari kerja 336 g jam⁻¹ dan hari libur non-HBKB sebesar 244 g jam⁻¹. Emisi PM₁₀ mengalami peningkatan ketika HBKB jika dibandingkan dengan hari kerja dan hari libur non-HBKB masing-masing sebesar 0.3% dan 16.0%. Selama pengukuran berlangsung, lebih dari 90% emisi PM₁₀ di Jalan RE Martadinata dihasilkan oleh sepeda motor. Dominasi sepeda motor terhadap emisi polutan PM₁₀ disebabkan oleh tingginya jumlah sepeda motor yang

melintasi Jalan RE Martadinata jika dibandingkan dengan kendaraan bermotor lainnya.

Sulfur dioksida (SO₂)

Sulfur dioksida (SO₂) merupakan salah satu bentuk dari gas-gas oksida sulfur, gas ini mudah terlarut dalam air, dan tidak berwarna. Gas SO₂ dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan seperti selaput lendir hidung, tenggorokan, dan paru-paru yang menimbulkan kesulitan bernapas terutama pada kelompok orang yang sensitif seperti penderita asma, anak-anak, dan orang lanjut usia.

Berbeda dengan polutan lainnya, emisi SO₂ di Jalan RE Martadinata paling tinggi dihasilkan ketika hari kerja dengan rata-rata sebesar 209.7 g jam⁻¹, sedangkan untuk HBKB dan hari libur non-HBKB masing-masing sebesar 169.2 g jam⁻¹, dan 157.3 g jam⁻¹. Dengan kata lain, emisi SO₂ ketika HBKB mengalami penurunan sebesar 10.7% jika dibandingkan dengan hari kerja serta mengalami peningkatan 3.7% jika dibandingkan dengan hari libur non-HBKB.

Emisi SO₂ paling tinggi diemisikan oleh mobil penumpang yaitu sebesar 48%, 65%, dan 52% masing-masing ketika HBKB, hari kerja, dan hari libur non-HBKB. Nilai faktor emisi SO₂ mobil penumpang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sepeda motor (Tabel 1). Nilai faktor emisi SO₂ paling tinggi dimiliki oleh kendaraan bermotor dengan jenis bus namun karena jumlahnya yang sangat sedikit, maka pengaruhnya juga sangat kecil. Hal tersebut menyebabkan emisi SO₂ lebih didominasi oleh kendaraan bermotor dengan jenis mobil penumpang, walaupun jumlah sepeda motor yang melintasi Jalan RE Martadinata jauh lebih tinggi dari mobil penumpang.

Pendugaan Konsentrasi Polutan berdasarkan Hasil *Fixed-Box Model*

Dalam pendugaan konsentrasi polutan menggunakan *fixed-box model*, kondisi atmosfer yang mempengaruhi antara lain kecepatan angin dan *mixing height*. Kecepatan (dan arah) angin mempengaruhi dispersi polutan. Sementara untuk *mixing height*, penyebaran polutan secara vertikal sangat dipengaruhi oleh *mixing height*, apabila *mixing height* tinggi maka pencampuran polutan dengan parcel udara akan semakin besar (Tang et al., 2016; Wagner dan Schäfer, 2017). Hal tersebut dapat membantu menurunkan konsentrasi polutan. *Mixing layer* atau lapisan perbatas (*atmospheric boundary layer*) merupakan lapisan atmosfer yang sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan, lapisan ini juga menjadi tempat bertukarnya momentum, panas ataupun massa yang disebabkan oleh interaksi antara permukaan dengan

lapisan udara di atasnya. Ketinggian dari lapisan perbatas atmosfer dipengaruhi oleh stratifikasi termal. Dalam kondisi stabilitas atmosfer yang stabil atau netral, ketinggian lapisan perbatas dianggap tidak bergantung terhadap waktu dan dapat diduga dari fungsi faktor meteorologi. Saat kondisi atmosfer tidak stabil, ketinggian lapisan perbatas bervariasi terhadap waktu karena adanya gaya dorong yang berasal dari fluks termal permukaan (Soulhac et al., 2017).

Hasil pendugaan konsentrasi polutan di Jalan RE Martadinata menggunakan *Fixed-Box Model* menunjukkan emisi CO, HC, NO_x, PM₁₀, SO₂ masih di bawah nilai baku mutu udara ambien baik hari kerja, hari libur non-HBKB, ataupun saat HBKB (Tabel 3). Walaupun terjadi peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan emisi polutan ketika HBKB, tetapi jumlah konsentrasi polutan yang diemisikan ketika HBKB masih jauh di bawah nilai baku mutu. Baku mutu udara ambien yang digunakan sebagai perbandingan konsentrasi polutan merupakan baku mutu dengan periode pengukuran 1 jam. Sebagai contoh konsentrasi CO tertinggi sebesar 300 µg/m³ pada saat HBKB (4 Maret 2018) masih di bawah baku mutu udara ambien untuk CO yakni sebesar 30 000 µg/m³, konsentrasi HC tertinggi sebesar 122 µg/m³ pada saat HBKB (4 Maret 2018) masih di bawah baku mutu udara ambien untuk HC yakni sebesar 160 µg/m³, konsentrasi NO_x tertinggi sebesar 15 µg/m³ pada saat HBKB (4 Maret 2018) masih di bawah baku mutu udara ambien untuk NO_x yakni sebesar 400 µg/m³, konsentrasi PM₁₀ tertinggi sebesar 4.6 µg/m³ pada saat HBKB (4 Maret 2018) masih di bawah baku mutu udara ambien untuk PM₁₀ yakni sebesar 150 µg/m³, konsentrasi SO₂ tertinggi sebesar 0.46 µg/m³ pada saat HBKB (4 Maret 2018) masih di bawah baku mutu udara ambien untuk SO₂ yakni sebesar 900 µg/m³ (Tabel 3). Penelitian ini mengasumsikan tidak ada konsentrasi polutan yang masuk ke ruas Jalan RE Martadinata selama pengukuran ($b = 0$). Asumsi tersebut menyebabkan nilai konsentrasi polutan yang dihasilkan dalam penelitian ini merupakan konsentrasi polutan minimum yang terbentuk di lokasi kajian. Dengan kata lain, nilai konsentrasi polutan yang sebenarnya lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil pendugaan dalam penelitian ini.

Analisis Dispersi Polutan menggunakan FLLS

Salah satu faktor meteorologis yang berpengaruh terhadap dispersi atau penyebaran polutan adalah stabilitas atmosfer. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan Stabilitas Pasquill untuk menentukan stabilitas atmosfer. Stabilitas Pasquill digolongkan ke dalam tujuh kategori yaitu A (sangat tidak stabil), B (cukup tidak stabil), C (agak tidak stabil),

Tabel 3 Perbandingan hasil perhitungan konsentrasi polutan dengan baku mutu udara ambien (PPRI No. 41 Tahun 1999).

Tanggal	Polutan	CO	HC	NO _x	PM ₁₀	SO ₂
	Baku Mutu ^a	30 000	160	400	150	900
25-Feb-18	HBKB	112	33	4	1.2	0.12
4-Mar-18	HBKB	399	122	15	4.6	0.46
1-Apr-18	HBKB	67	20	3	0.8	0.08
26-Feb-18	Senin	109	30	5	1.2	0.18
5-Mar-18	Senin	126	38	5	1.4	0.17
3-Apr-18	Selasa	67	20	3	0.8	0.1
4-Apr-18	Rabu	75	21	3	0.8	0.12
5-Apr-18	Kamis	159	49	6	1.9	0.22
6-Apr-18	Jumat	129	41	5	1.6	0.17
30-Mar-18	Libur non- <i>weekend</i>	33	9	1	0.4	0.05
31-Mar-18	<i>Weekend</i> non-HBKB	49	15	2	0.6	0.07
19-Mei-18	<i>Weekend</i> non-HBKB	155	48	7	2	0.26
20-Mei-18	Minggu non-HBKB	99	27	4	1	0.14

D (netral), E (agak stabil), F (cukup stabil), dan G (sangat stabil). Pada kondisi atmosfer berada dalam keadaan tidak stabil, kandungan massa udara akan diangkat naik yang dipercepat oleh perbedaan tekanan antara lapisan udara di bawah dengan lapisan yang lebih tinggi (Syaiyullah, 2013). Hal tersebut akan membantu dispersi polutan yang dapat menurunkan konsentrasi polutan di suatu tempat. Stabilitas atmosfer di Jalan RE Martadinata ketika dilakukan pengukuran berdasarkan Stabilitas Pasquill didominasi oleh kondisi netral hingga stabil yang dapat menghambat dispersi polutan (Tabel 4). Namun, karena konsentrasi seluruh polutan yang diemisikan di Jalan RE Martadinata saat pengukuran masih jauh di bawah baku mutu, maka kualitas udara masih baik untuk kesehatan. Penyebaran polutan juga dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin.

Pergerakan aliran polutan dapat diperkirakan berdasarkan pergerakan angin (Ai dan Mak, 2014; Heist et al., 2013), dan keberadaan vegetasi (Abhijith dan Gokhale, 2015; Amorim et al., 2013; Janhäll, 2015). Arah angin akan menentukan arah pergerakan polutan, sedangkan kecepatan angin dapat mempengaruhi besarnya konsentrasi polutan pencemar udara. Berdasarkan data dari READY NOAA arah angin dominan di Jalan RE Martadinata selama pengukuran yaitu Barat-Barat Laut atau 292.5° dengan kecepatan angin berkisar antara 0.05 ms⁻¹ hingga 0.32 ms⁻¹. Artinya lokasi yang berpotensi untuk terpapar polutan yang dihasilkan dari kendaraan bermotor di Jalan RE Martadinata adalah daerah di sebelah Barat-Barat Laut dari ruas jalan tersebut.

Tabel 4 Kondisi atmosfer di Jalan RE Martadinata berdasarkan Stabilitas Pasquill.

Kategori	Tanggal	<i>Mixing height</i> (m)	Kecepatan angin (m s ⁻¹)	Arah angin	Stabilitas Pasquill
Hari kerja	26-Feb-18	500	0.18	315	D
	5-Mar-18	571	0.16	315	D
	3-Apr-18	656	0.22	292.5	D-C
	4-Apr-18	764	0.15	292.5	D
	5-Apr-18	804	0.08	45	D
	6-Apr-18	918	0.07	45	E-D
Hari libur non-HBKB	30-Mar-18	643	0.29	270	C
	31-Mar-18	494	0.31	270	C
	19-Mei-18	897	0.06	22.5	D
	20-Mei-18	868	0.07	67.5	D
HBKB	25-Feb-18	644	0.15	292.5	D
	4-Mar-18	438	0.05	337.5	E-D
	1-Apr-18	444	0.32	292.5	C

Pada jarak 60 m dari ruas Jalan RE Martadinata searah angin dominan, terdapat SDN Perwira yang menjadi tempat berkumpulnya anak-anak untuk bersekolah. Pencemaran udara dikatakan berbahaya apabila terdapat reseptor yang potensial terdampak, dan anak-anak adalah salah satu yang rentan mengalami gangguan kesehatan akibat terpapar polutan. Oleh karena itu, daerah tersebut dijadikan sebagai lokasi reseptor.

Hasil pendugaan konsentrasi polutan menggunakan FLLS menunjukkan tingkat pencemaran udara di lokasi reseptor masih berada di bawah nilai baku mutu udara ambien nasional dengan rata-rata konsentrasi polutan tertinggi terjadi saat HBKB (Tabel 5). Dari Tabel 5, terlihat rata-rata konsentrasi polutan CO di lokasi reseptor pada saat hari kerja, hari libur non-HBKB dan HBKB masing-masing sebesar $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ masih di bawah baku mutu udara ambien untuk CO yakni sebesar $30\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rata-rata konsentrasi polutan HC di lokasi reseptor pada saat hari kerja, hari libur non-HBKB dan HBKB masing-masing sebesar $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ masih di bawah baku mutu udara ambien untuk HC yakni sebesar $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Rata-rata konsentrasi polutan NO_x di lokasi reseptor pada saat hari kerja, hari libur non-HBKB dan HBKB masing-masing sebesar $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ masih di bawah baku mutu udara ambien untuk NO_x yakni sebesar $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rata-rata konsentrasi polutan PM_{10} di lokasi reseptor pada saat hari kerja, hari libur non-HBKB dan HBKB sebesar $1.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $1.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Angka tersebut

masih di bawah baku mutu udara ambien untuk PM_{10} yakni sebesar $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Rata-rata konsentrasi polutan SO_2 di lokasi reseptor pada saat hari kerja, hari libur non-HBKB dan HBKB masing-masing sebesar $0.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ masih di bawah baku mutu udara ambien untuk SO_2 yakni sebesar $900 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Secara umum konsentrasi polutan di lokasi reseptor lebih rendah jika dibandingkan dengan konsentrasi polutan di ruas Jalan RE Martadinata. Sebagai contoh, tanggal 4 maret 2018 konsentrasi CO di jalan RE Martadinata sebesar $399 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan konsentrasi CO di lokasi reseptor sebesar $191 \mu\text{g}/\text{m}^3$, konsentrasi HC di jalan RE Martadinata sebesar $122 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan konsentrasi HC di lokasi reseptor sebesar $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, konsentrasi NO_x di jalan RE Martadinata sebesar $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan konsentrasi NO_x di lokasi reseptor sebesar $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, konsentrasi PM_{10} di jalan RE Martadinata sebesar $4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan konsentrasi PM_{10} di lokasi reseptor sebesar $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, konsentrasi SO_2 di jalan RE Martadinata sebesar $0.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan konsentrasi SO_2 di lokasi reseptor sebesar $0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal ini dimungkinkan karena terjadi pencampuran konsentrasi polutan dalam perjalanan menuju reseptor sehingga konsentrasi polutan di lokasi reseptor menjadi berkurang.

KESIMPULAN

Pelaksanaan HBKB di Kota Bogor menyebabkan berpindahnya volume kendaraan dari Jalan Sudirman ke Jalan RE Martadinata, sehingga meningkatkan jum-

Tabel 5 Konsentrasi polutan di lokasi reseptor pukul 06.00 - 09.00 WIB.

Kategori	Tanggal	Konsentrasi polutan ($\mu\text{g m}^{-3}$)				
		CO	HC	NO_x	PM_{10}	SO_2
Hari kerja	26-Feb-18	102	28	4	1.1	0.17
	5-Mar-18	46	14	2	0.5	0.06
	3-Apr-18	43	13	1	0.5	0.06
	4-Apr-18	116	32	4	1.3	0.19
	5-Apr-18	147	45	5	1.8	0.2
	6-Apr-18	114	37	4	1.4	0.15
	Rata-rata	95	28	4	1.11	0.14
Hari libur non-HBKB	30-Mar-18	20	6	1	0.2	0.03
	31-Mar-18	24	7	1	0.3	0.03
	19-Mei-18	145	45	6	1.8	0.24
	20-Mei-18	199	54	7	2	0.28
	Rata-rata	97	28	4	1.08	0.14
HBKB	25-Feb-18	125	37	4	1.4	0.13
	4-Mar-18	191	58	6	2.2	0.22
	1-Apr-18	30	9	1	0.3	0.04
	Rata-rata	115	35	4	1.3	0.13

lah kendaraan yang melintasi Jalan RE Martadinata. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kendaraan bermotor selama berlangsungnya HBKB di Jalan RE Martadinata yaitu sebesar 1.3% dan 17.2% jika dibandingkan dengan hari kerja dan hari libur non-HBKB. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor berbanding lurus dengan tingginya emisi polutan, terdapat peningkatan jumlah beban emisi polutan CO, HC, PM₁₀, SO₂, NO_x masing-masing sebesar 27.7%, 18.0%, 16.0%, 3.6% dan 0.1% jika dibandingkan dengan hari libur non-HBKB. Jumlah beban emisi polutan ketika HBKB tidak terlalu berbeda jauh dengan hari kerja.

Hasil pendugaan konsentrasi polutan di Jalan RE Martadinata menggunakan *Fixed-Box Model* menunjukkan emisi CO, HC, NO_x, PM₁₀, SO₂ masih di bawah nilai baku mutu udara ambien baik hari kerja, hari libur non-HBKB, ataupun saat HBKB. Nilai pendugaan konsentrasi tersebut merupakan konsentrasi polutan minimum yang diemisikan di lokasi kajian. Konsentrasi polutan berdasarkan perhitungan dispersi polutan dengan FLLS juga menunjukkan jumlah konsentrasi polutan di lokasi reseptor masih berada di bawah baku mutu udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhijith, K., Gokhale, S., 2015. Passive control potentials of trees and on-street parked cars in reduction of air pollution exposure in urban street canyons. *Environmental pollution* 204, 99–108.
- Adiang, C.M., Monkam, D., Lenouo, A., Njeugna, E., Gokhale, S., 2017. Evaluating impacts of two-wheeler emissions on roadside air quality in the vicinity of a busy traffic intersection in Douala, Cameroon. *Air Quality, Atmosphere & Health* 10, 521–532. <https://doi.org/10.1007/s11869-016-0445-9>
- Ai, Z.T., Mak, C.M., 2014. A study of interunit dispersion around multistory buildings with single-sided ventilation under different wind directions. *Atmospheric Environment* 88, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.049>
- Amorim, J.H., Rodrigues, V., Tavares, R., Valente, J., Borrego, C., 2013. CFD modelling of the aerodynamic effect of trees on urban air pollution dispersion. *Science of The Total Environment* 461–462, 541–551. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.031>
- Arwini, N.P.D., Negara, I.N.W., Suthanaya, I.P.A., 2015. ANALISIS DAMPAK PELAKSANAAN CAR FREE DAY DI KOTA DENPASAR Studi kasus: Jalan Raya Puputan Niti Mandala Renon. *Jurnal Spektran* 3. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRAN.2015.v03.i01.p07>
- Bhautmage, U., Gokhale, S., 2016. Effects of moving-vehicle wakes on pollutant dispersion inside a highway road tunnel. *Environmental Pollution* 218, 783–793. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.002>
- Boningari, T., Smirniotis, P.G., 2016. Impact of nitrogen oxides on the environment and human health: Mn-based materials for the NO_x abatement. *Current Opinion in Chemical Engineering* 13, 133–141.
- Chen, S.-M., He, L.-Y., 2014. Welfare loss of China's air pollution: How to make personal vehicle transportation policy. *China Economic Review* 31, 106–118.
- Cooper, C.D., Alley, F.C., 2010. *Air pollution control: A design approach*. Waveland Press.
- Damara, D., Wardhana, I., Sutrisno, E., 2017. Analisis dampak kualitas udara karbon monoksida (CO) di sekitar Jl. Pemuda akibat kegiatan car free day menggunakan program CALINE4 dan Surfer (studi kasus: Kota Semarang). *Jurnal Teknik Lingkungan* 6, 1–14.
- De Nevers, N., 2010. *Air pollution control engineering*. Waveland press.
- DISKOMINFOSTANDI, 2016. *Analisis Strategi Smart City Kota Bogor*.
- Farda, M., Balijepalli, C., 2018. Exploring the effectiveness of demand management policy in reducing traffic congestion and environmental pollution: Car-free day and odd-even plate measures for Bandung city in Indonesia. *Case Studies on Transport Policy* 6, 577–590. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.07.008>
- Ferrero, E., Alessandrini, S., Balanzino, A., 2016. Impact of the electric vehicles on the air pollution from a highway. *Applied Energy* 169, 450–459. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.098>
- Gusnita, D., 2010. Green transport: transportasi ramah lingkungan dan kontribusinya dalam mengurangi polusi udara. *Berita Dirgantara* 11, 66–77.
- He, L.-Y., Qiu, L.-Y., 2016. Transport demand, harmful emissions, environment and health co-benefits in China. *Energy Policy* 97, 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.037>
- Heist, D., Isakov, V., Perry, S., Snyder, M., Venkatram, A., Hood, C., Stocker, J., Carruthers, D., Arunachalam, S., Owen, R.C., 2013. Estimating

- near-road pollutant dispersion: A model inter-comparison. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 25, 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.09.003>
- Janhäll, S., 2015. Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. *Atmospheric Environment* 105, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.052>
- Jonson, J.E., Borken-Kleefeld, J., Simpson, D., Nyíri, A., Posch, M., Heyes, C., 2017. Impact of excess NO_x emissions from diesel cars on air quality, public health and eutrophication in Europe. *Environmental Research Letters* 12, 094017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8850>
- KLH, 2013. Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi.
- Lang, J., Cheng, S., Zhou, Y., Zhang, Y., Wang, G., 2014. Air pollutant emissions from on-road vehicles in China, 1999–2011. *Science of The Total Environment* 496, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.021>
- Levy, R.J., 2015. Carbon monoxide pollution and neurodevelopment: A public health concern. *Neurotoxicology and Teratology* 49, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2015.03.001>
- Mareddy, A.R., 2017. 5 - Impacts on air environment, in: Mareddy, A.R. (Ed.), *Environmental Impact Assessment*. Butterworth-Heinemann, pp. 171–216. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811139-0.00005-0>
- Masiol, M., Agostinelli, C., Formenton, G., Tarabotti, E., Pavoni, B., 2014. Thirteen years of air pollution hourly monitoring in a large city: Potential sources, trends, cycles and effects of car-free days. *Science of The Total Environment* 494–495, 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.122>
- May, A.A., Nguyen, N.T., Presto, A.A., Gordon, T.D., Lipsky, E.M., Karve, M., Gutierrez, A., Robertson, W.H., Zhang, M., Brandow, C., Chang, O., Chen, S., Cicero-Fernandez, P., Dinkins, L., Fuentes, M., Huang, S.-M., Ling, R., Long, J., Maddox, C., Masetti, J., McCauley, E., Miguel, A., Na, K., Ong, R., Pang, Y., Rieger, P., Sax, T., Truong, T., Vo, T., Chattopadhyay, S., Maldonado, H., Maricq, M.M., Robinson, A.L., 2014. Gas- and particle-phase primary emissions from in-use, on-road gasoline and diesel vehicles. *Atmospheric Environment* 88, 247–260. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.046>
- Nagy, G., Merényi, A., Domokos, E., Rédey, Á., Yuzhakova, T., 2014. Monitoring of air pollution spread on the car-free day in the city of Veszprém. *Journal homepage: www. IEE. IEEFoundation.org* 5, 679–684.
- Nieuwenhuijsen, M.J., Khreis, H., 2016. Car free cities: Pathway to healthy urban living. *Environment International* 94, 251–262. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.05.032>
- Paramitadevi, Y., 2014. Simulasi dan validasi model dispersi karbon monoksida (CO) di sekitar pintu tol Baranangsiang Bogor. Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.
- Purwanto, C.P., 2015. Inventarisasi emisi sumber bergerak di jalan (on road) Kota Denpasar. *ECOTHROPIC: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)* 9, 1–9.
- Reşitoğlu, İ.A., Altinişik, K., Keskin, A., 2015. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy* 17, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0793-9>
- Rolph, G., Stein, A., Stunder, B., 2017. Real-time Environmental Applications and Display sYstem: READY. *Environmental Modelling & Software* 95, 210–228. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025>
- Saputra, A.A., Dharmawan, A., 2013. Rancang Bangun Quadcopter untuk Pemantauan Kadar Karbon Monoksida di Udara. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentations System)* 3, 11–12.
- Sasmita, A., 2015. Pengaruh kegiatan car free day (CFD) di Kota Pekanbaru untuk pengurangan emisi karbon dari kegiatan transportasi. *Jurnal Purifikasi* 15, 75–79.
- Soulhac, L., Nguyen, C.V., Volta, P., Salizzoni, P., 2017. The model SIRANE for atmospheric urban pollutant dispersion. PART III: Validation against NO₂ yearly concentration measurements in a large urban agglomeration. *Atmospheric Environment* 167, 377–388. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.034>
- Syaifullah, M.D., 2013. Kondisi curah hujan pada kejadian banjir Jakarta dan analisis kondisi udara atas wilayah Jakarta bulan Januari-Februari 2013. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca* 14, 19–27.
- Tang, G., Zhang, J., Zhu, X., Song, T., Münkler, C., Hu, B., Schäfer, K., Liu, Z., Zhang, J., Wang, L., Xin, J.,

- Suppan, P., Wang, Y., 2016. Mixing layer height and its implications for air pollution over Beijing, China. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 2459–2475. <https://doi.org/10.5194/acp-16-2459-2016>
- Wagner, P., Schäfer, K., 2017. Influence of mixing layer height on air pollutant concentrations in an urban street canyon. *Urban Climate* 22, 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.11.001>
- Yang, S., He, L.-Y., 2016. Fuel demand, road transport pollution emissions and residents' health losses in the transitional China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 42, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.10.019>