



Peran Vegetasi dalam Mengurangi Konsentrasi CO₂ Antropogenik di Kota Bogor

The Role of Vegetation in Reducing Anthropogenic CO₂ in Bogor City

Ariesta Kusuma Wardhani, Bregas Budianto* dan Yon Sugiarto

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

ARTICLE INFO

Article history:

Received 2 May 2018

Received in revised from 8 June 2018

Accepted 14 June 2018

doi: 10.29244/j.agromet.32.1.42-50

Keywords:

Absorption capability

Air pollution

Fuel combustion

Greenspace area

Transportation

ABSTRACT

Vegetation has a role in reducing CO₂ from anthropogenic activities through photosynthesis. Fuel combustion is one of the activities that greatly contribute to CO₂ emissions. As a city with many destinations, the possibility of CO₂ emissions will increase in Bogor especially on holidays because of motorized vehicle from other cities. This research aims to determine the absorption capability of vegetation in Bogor City in reducing CO₂ emitted from fuel combustion. We analyzed CO₂ data for 2017 by day to obtain traffic levels in the city assuming that people mobility using vehicle was influenced by day. Then we separated CO₂ data into slow and fast photosynthesis rate based on air temperature. We determined the absorption capability of vegetation at daily basis by calculating the difference between the min and the max of CO₂ concentration divided by the min of CO₂. Our results showed that the lowest CO₂ level was in Sunday. On that day, the average air temperature was high indicating the less CO₂ concentration. Our one-way Anova test confirmed this finding. The finding revealed that the absorption capability of vegetation to reduce anthropogenic CO₂ was still limited. To implement Bogor as green city, more vegetations and gardens are needed to balance an increased CO₂.

PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan lingkungan saat ini yang menjadi isu penting adalah pemanasan global (Cook et al., 2014; Jang and Hart, 2015; Lee et al., 2013; Zaval et al., 2014). Pemanasan global merupakan peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi yang terjadi akibat peningkatan kadar gas rumah kaca di atmosfer (Anderson et al., 2016; Galdos et al., 2013; Gillett et al., 2013; James and Washington, 2013). Gas rumah kaca utama di atmosfer terdiri dari CO₂, CH₄, dan N₂O (Anderson et al., 2016; Knox et al., 2014; Wordsworth and Pierrehumbert, 2013). Sebagian besar peningkatan suhu rata-rata global sejak pertengahan abad ke-20 kemungkinan besar disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca akibat aktivitas manusia.

Gas CO₂ merupakan salah satu gas rumah kaca penyebab utama kenaikan suhu di bumi. Konsentrasi CO₂ di atmosfer semakin meningkat dengan kontribusi paling besar dari aktivitas antropogenik (Gattuso et al., 2015; MacDougall et al., 2013; Nassar et al., 2013). Salah

satu aktivitas antropogenik penyumbang emisi gas CO₂ yaitu transportasi (Cristea et al., 2013; Pongthanaisawan and Sorapipatana, 2013; Popa et al., 2015; Solís and Sheinbaum, 2013). Sektor transportasi sangat berkaitan dengan jumlah penduduk yang tinggal pada suatu wilayah. Peningkatan jumlah penduduk terutama di daerah perkotaan akan meningkatkan jumlah penggunaan kendaraan bermotor sehingga konsentrasi gas CO₂ di atmosfer wilayah tersebut juga meningkat.

Penyediaan area bervegetasi atau ruang terbuka hijau merupakan salah satu cara mitigasi peningkatan kenaikan suhu bumi sehingga dianggap sebagai penanganan terhadap peningkatan gas rumah kaca (Kulak et al., 2013; Weissert et al., 2014; Zhang et al., 2014). Area bervegetasi atau ruang terbuka hijau mempunyai kemampuan untuk menyerap gas CO₂ dari buangan kendaraan bermotor dan akan merubah kembali menjadi O₂ melalui proses fotosintesis. Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Bogor Nomor 8 Tahun 2011, Ruang Terbuka Hijau (RTH) adalah area memanjang/jalur dan/atau mengelompok, dengan

* Corresponding author: bregasb@yahoo.com

penggunaan lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam.

Hutan kota merupakan ruang terbuka hijau atau area bervegetasi yang dapat menyerap emisi CO₂ hasil aktivitas manusia. Kebun Raya Bogor dipilih sebagai fokus utama dalam penelitian karena lokasi tersebut merupakan salah satu hutan kota di Kota Bogor, yang dianggap mempunyai peran penting dalam penyerapan gas CO₂. Selain itu instalasi alat pemantau gas rumah kaca yang digunakan dalam penelitian ini berada tidak jauh dari Kebun Raya Bogor, yaitu di Kampus IPB Baranang Siang. Data tersebut dapat dikaji untuk menganalisis seberapa besar kemampuan tutupan bervegetasi dalam mereduksi CO₂. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan vegetasi di Kota Bogor yang didominasi oleh Kebun Raya Bogor dalam mengurangi emisi CO₂ hasil kegiatan antropogenik dari sektor transportasi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Data

Alat yang digunakan penelitian ini terdiri dari *Picarro CO₂/CH₄/H₂O System* untuk pengukuran konsentrasi CO₂ dan *Vaisala Compact Weather System* untuk pengukuran data cuaca. Data yang digunakan selama satu tahun pada periode Januari-Desember 2017. Data yang diukur dalam resolusi temporal dan satuan yang diuraikan pada Tabel 1.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data dengan resolusi menit selama satu

tahun. Data satu tahun tersebut dibagi kedalam 365 file. Untuk mempermudah pengolahan data, maka data menitan yang terdiri dari beberapa file, kemudian digabung menjadi satu file menggunakan perangkat lunak *Visual Basic* 2010.

Tabel 1 Informasi data penelitian

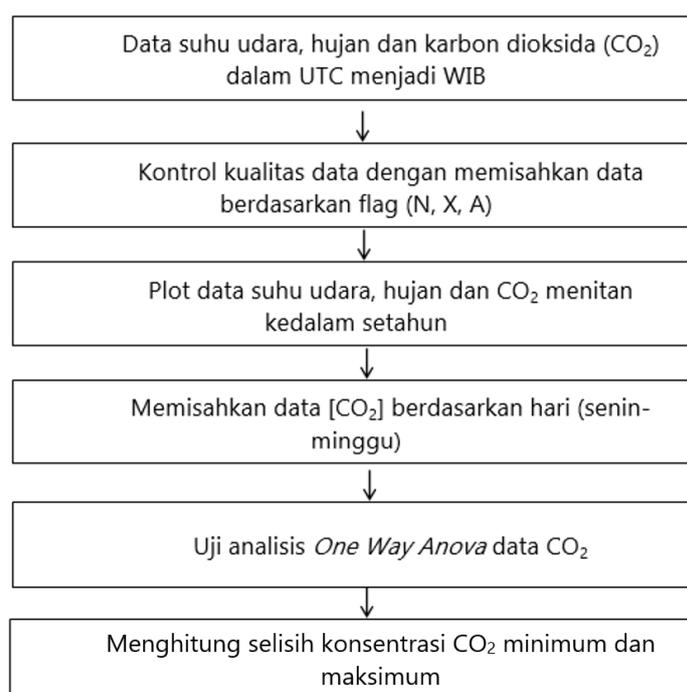
No	Data	Resolusi temporal	Satuan
1	Karbon dioksida	Menit	Part Per Million
2	Suhu udara	Menit	Celcius
3	Curah hujan	Menit	Milimeter

Kontrol Kualitas Data

Kualitas data yang digunakan dalam penelitian ini diidentifikasi melalui sebaran data error yaitu data yang memiliki simpang nilai yang besar. Simpangan nilai tersebut dihasilkan ketika alat dikalibrasi. Data yang normal ditunjukkan oleh huruf N dan data yang error ditunjukkan oleh huruf A dan X. Data error tersebut perlu dihilangkan agar tidak menghasilkan bias pada data.

Analisis Dinamika Suhu Udara, Karbon dioksida, dan Curah Hujan

Data yang dianalisis meliputi suhu udara, karbon dioksida dan curah hujan. Untuk mengetahui dinamika suhu udara, dan karbon dioksida tahun 2017 di Kota Bogor, maka ketiga data diplot kedalam grafik dalam setahun. Kerangka kerja penelitian untuk melihat pengaruh dari kegiatan manusia dan iklim terhadap emisi gas CO₂ disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Langkah kerja untuk menganalisis peran vegetasi dalam mengurangi konsentrasi CO₂.

Analisis Karakter CO₂ Berdasarkan Hari (Senin sampai Minggu)

Pemisahan nilai konsentrasi CO₂ berdasarkan hari (Senin-Minggu) dilakukan untuk melihat karakter CO₂ setiap hari. Perbedaan ini dapat menggambarkan keragaman aktivitas manusia terutama aktivitas kendaraan bermotor. Jika semua data telah terpisah berdasarkan hari (senin-minggu), maka dibuat grafik maksimum, minimum dan rata-rata konsentrasi CO₂ berdasarkan hari yang telah dipisahkan dalam setahun.

Pembagian Suhu Udara Rata-rata Rendah dan Tinggi

Suhu udara dibagi menjadi dua kategori yaitu suhu udara rata-rata rendah dan tinggi. Hal ini dilakukan untuk menggambarkan cepat atau lambatnya laju fotosintesis. Suhu udara menggambarkan tingkat energi matahari yang masuk ke bumi, dimana semakin tinggi energi matahari maka semakin banyak sinar matahari yang sampai ke bumi. Asumsi yang digunakan yaitu pada hari-hari dengan suhu udara yang tinggi berarti sinar matahari yang masuk banyak, sedangkan hari-hari dengan suhu udara rendah berarti sinar matahari yang masuk sedikit.

Saat suhu rendah ditunjukkan dengan awan yang banyak sehingga sinar yang dipancarkan matahari ke bumi terhalang oleh awan. Apabila awan menghalangi sinar matahari, maka proses fotosintesis menjadi tidak maksimal. Sedangkan saat suhu udara tinggi, sinar yang dipancarkan ke bumi tidak terhalang oleh awan, sehingga proses fotosintesis tanaman tidak terganggu.

Analisis Kemampuan Vegetasi dalam Mereduksi CO₂

Perhitungan kemampuan vegetasi dilakukan hanya pada pukul 06.00 sampai 18.00 WIB. Rentang waktu tersebut digunakan dalam perhitungan karena masih terdapat sinar di Bumi sehingga reaksi terang dalam proses fotosintesis masih berlangsung. Hari dimana kendaraan padat dan suhu udara rata-rata harian rendah diartikan bahwa konsentrasi CO₂ maksimal, sedangkan hari dimana kendaraan tidak padat dan suhu udara rata-rata harian tinggi mengindikasikan konsentrasi CO₂ minimum. Kemampuan vegetasi dalam mereduksi CO₂ dapat diduga menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Kemampuan Vegetasi} = \frac{CO_2^{\max} - CO_2^{\min}}{CO_2^{\min}} \quad (1)$$

Asumsi yang Digunakan

Penyerapan gas CO₂ oleh vegetasi akan maksimum pada siang hari apabila intensitas sinar matahari tinggi, sedangkan penyerapan gas CO₂ oleh

tanaman bernilai minimum terjadi apabila intensitas sinar matahari rendah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Wilayah Kajian

Secara geografis Kota Bogor terletak di antara 106° 48' BT dan 6° 26' LS. Kota Bogor mempunyai luas wilayah sebesar 11 850 ha. Jaringan jalan di Kota Bogor mempunyai pola radial konsentris. Pola kawasan pusat kota terdapat jaringan jalan yang melingkari Kebun Raya Bogor. Jaringan jalan tersebut merupakan gabungan dari ruas jalan Juanda, Jalan Otista, sebagian Jalan Padjajaran, dan Jalan Jalak Harupat (DLLAJ, 2006). Jaringan jalan dengan pola radial konsentris memiliki konsekuensi berupa akumulasi seluruh gerakan ke kawasan pusat kota, sebab kawasan ini merupakan akses utama untuk mencapai daerah lain. Oleh karena itu, pusat kota yang tidak lain berada di sekeliling Kebun Raya Bogor selalu padat aktivitas kendaraan bermotor. Pada tahun 2015, Kota Bogor telah memiliki Ruang Terbuka Hijau sebesar 14% atau sekitar 1 659 ha (DISKOMINFOSTANDI, 2017).

Kebun Raya Bogor merupakan salah satu hutan kota yang menjadi ruang terbuka hijau (RTH) dan berada di pusat Kota Bogor. Kebun Raya Bogor mempunyai kurang lebih 15 ribu jenis koleksi pohon dan tumbuhan dengan luas area sebesar 87 Ha. Sebagai hutan Kota, Kebun Raya Bogor berperan besar untuk mereduksi CO₂ yang diemisikan oleh aktivitas manusia khususnya aktivitas kendaraan bermotor.

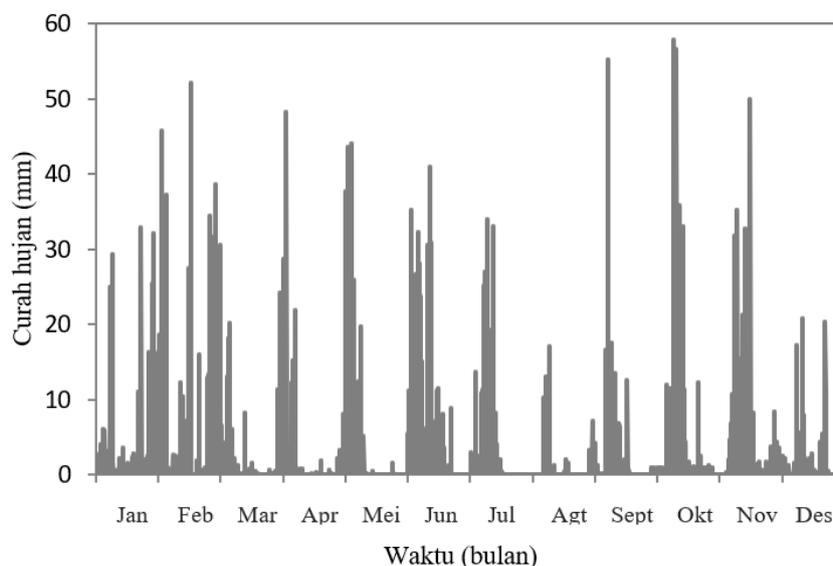
Curah Hujan

Sebagian besar wilayah di Indonesia yang terletak di belahan bumi selatan memiliki tipe hujan monsun (As-syakur et al., 2013), termasuk Kota Bogor. Pada kondisi normal, saat monsun barat akan mendapat curah hujan yang tinggi (musim hujan), sedangkan pada saat monsun timur jumlah curah hujan yang sedikit (musim kemarau). Pada wilayah dengan tipe hujan monsun memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan musim kemarau. Secara umum musim kemarau pada wilayah dengan tipe hujan monsun biasa terjadi pada bulan Juni, Juli dan Agustus, sedangkan musim penghujan terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari. Namun kota Bogor memiliki keunikan iklim lokal, karena pada musim kemarau pun Kota Bogor tetap sering terjadi hujan sesuai dengan grafik data pengamatan hujan harian yang diperoleh (Gambar 2).

Bogor merupakan salah satu wilayah yang tetap memiliki curah hujan yang tinggi pada musim kemarau, karena kondisi topografi Kota Bogor yang merupakan wilayah dataran sedang dan terletak pada kaki Gunung Salak dan Gunung Gede sehingga sering terjadi hujan

orografi (Prabaningrum and Nurjani, 2016). Angin laut dari Laut Jawa yang membawa banyak uap air masuk ke wilayah bagian dalam dan naik secara mendadak

diwilayah Bogor sehingga uap air langsung terkondensasi dan menjadi hujan.



Gambar 2 Dinamika curah hujan harian periode bulan Januari-Desember tahun 2017.

Karbon dioksida (CO₂)

Konsentrasi CO₂ pada suatu wilayah akan bervariasi secara temporal dan spasial. Konsentrasi gas CO₂ di Kota Bogor pada tahun 2017 bernilai rendah ketika musim penghujan, dan musim peralihan kemarau ke penghujan (Gambar 3a). Konsentrasi gas CO₂ terendah terjadi selama beberapa hari pada bulan Januari dan pertengahan November-awal Desember. Konsentrasi gas CO₂ tertinggi berada pada bulan Februari, Maret, dan Agustus. Fluktuasi nilai konsentrasi gas CO₂ di Kota Bogor dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk faktor iklim dan antropogenik.

Faktor iklim yang dapat mempengaruhi jumlah konsentrasi gas CO₂ di atmosfer antara lain curah hujan, kecepatan angin, dan intensitas sinar matahari. Curah hujan berperan secara langsung mengurangi konsentrasi gas CO₂ melalui pencucian polutan di udara (Yu et al., 2015). Sedangkan pada kondisi kecepatan angin yang rendah, konsentrasi gas CO₂ di atmosfer permukaan akan bernilai tinggi, hal tersebut karena CO₂ terdispersi secara lambat (Herlina et al., 2017). Sinar matahari dapat mempengaruhi jumlah konsentrasi gas CO₂ di atmosfer permukaan dalam kaitannya dengan proses fotosintesis pada vegetasi (Liu et al., 2016). Melalui proses fotosintesis, vegetasi menyerap CO₂ di udara, sehingga konsentrasi gas CO₂ di udara berkurang. Laju fotosintesis berbanding lurus dengan sinar matahari. Semakin tinggi intensitas sinar matahari, maka laju fotosintesis semakin cepat sehingga konsentrasi CO₂ cepat berkurang (Bi et al., 2015).

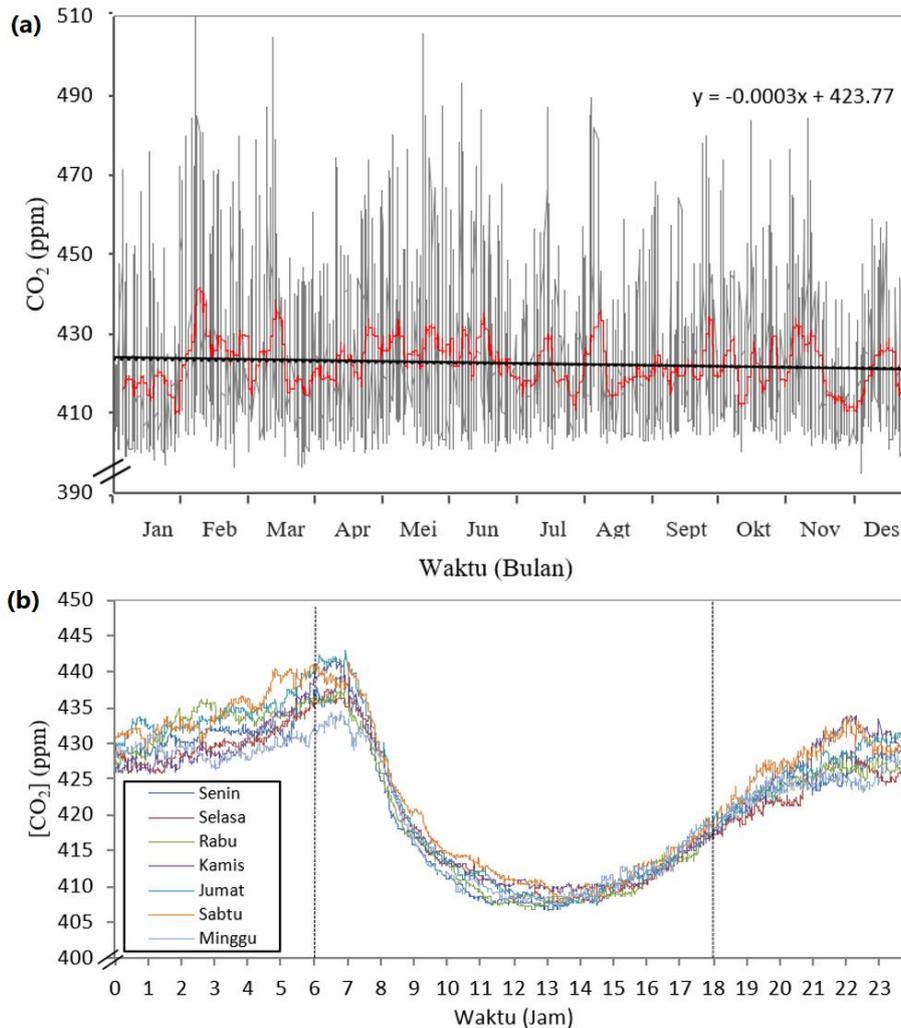
Faktor antropogenik dari sektor transportasi menjadi faktor utama yang mempengaruhi konsentrasi

gas CO₂ di Kota Bogor. Kawasan pusat Kota Bogor terdapat jalan lingkar utama dengan lalu lintas padat yang terjadi hampir setiap siang hari. Rata-rata konsentrasi CO₂ harian untuk hari senin sampai minggu pada tahun 2017 menunjukkan pola yang sama (Gambar 3b). Konsentrasi CO₂ pada malam hari lebih stabil dibanding dengan konsentrasi pada siang hari. Selain itu, konsentrasi CO₂ pada malam hari lebih tinggi dibandingkan siang hari. Hal tersebut disebabkan karena pada malam hari, vegetasi di Kebun Raya Bogor tidak menerima sinar matahari, sehingga penyerapan CO₂ melalui proses fotosintesis tidak terjadi. Selain itu, atmosfer yang relatif tenang akibat kecepatan angin pada malam hari yang rendah, menyebabkan konsentrasi CO₂ tinggi pada malam hari (Herlina et al., 2017).

Nilai rata-rata konsentrasi CO₂ harian pada siang hari memiliki pola variasi yang sama antara hari Senin sampai dengan Minggu. Nilai konsentrasi tertinggi terjadi pada pukul 6.00-7.00 WIB, kemudian menurun sampai pukul 13.00 WIB, dan meningkat kembali saat malam hari. Hal ini berhubungan dengan kondisi kepadatan lalu lintas pada jalan lingkar Kota Bogor. Berdasarkan hasil uji statistik T, nilai konsentrasi rata-rata harian memiliki tingkat perbedaan yang nyata, sehingga urutan hari dengan nilai konsentrasi CO₂ dari terbesar hingga terkecil secara berturut-turut yaitu Sabtu, Senin, Jumat, Rabu, Kamis, Selasa dan Minggu.

Suhu Udara

Suhu udara pada suatu wilayah dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain lama penyinaran matahari, kemiringan sinar matahari, dan keadaan awan. Semakin



Gambar 3 Dinamika konsentrasi CO₂: (a) deret waktu harian selama bulan Januari-Desember tahun 2017, dan (b) variasi diurnal hari Senin-Minggu pada tahun 2017.

lama suatu daerah terpapar sinar matahari, maka semakin banyak panas yang diterima daerah tersebut. Suatu tempat yang posisi matahari berada tegak lurus, maka radiasi matahari yang diterima akan lebih besar dan suhu udara ditempat tersebut akan lebih tinggi dibandingkan dengan tempat dengan posisi matahari yang lebih miring. Tutupan awan akan menyebabkan radiasi matahari yang diterima permukaan bumi berkurang, sehingga radiasi yang mengenai awan akan diserap, dan dipantulkan kembali.

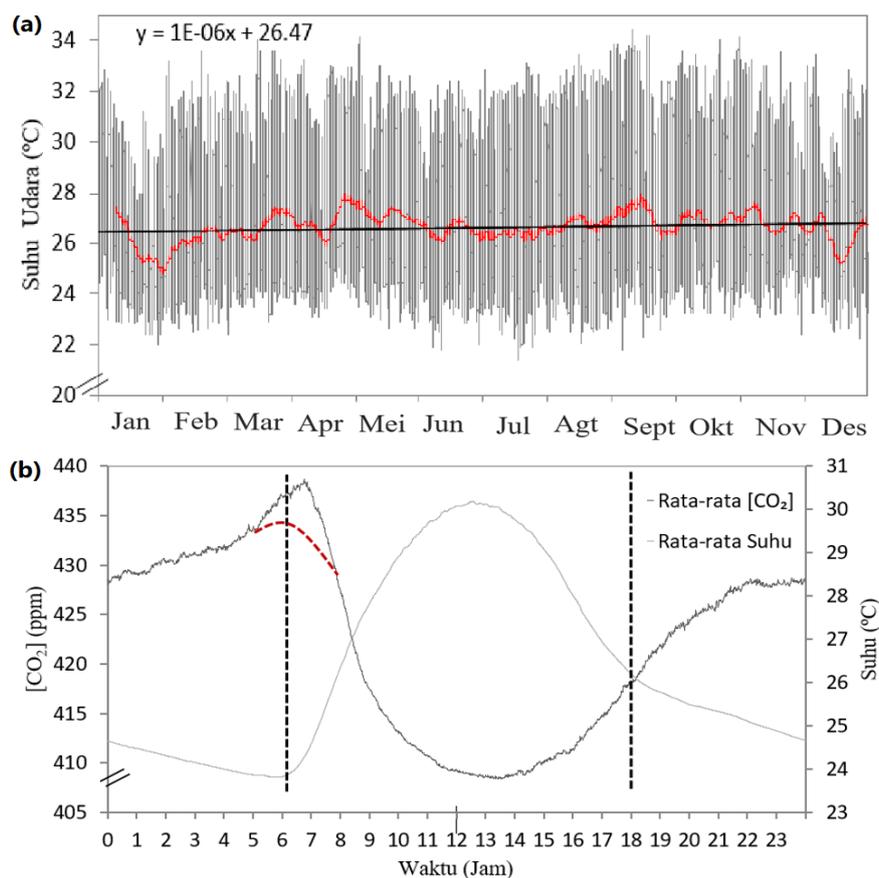
Suhu udara merupakan faktor penting untuk mengetahui daya serap vegetasi dalam mereduksi CO₂. Vegetasi atau tumbuhan akan menyerap CO₂ dengan maksimum pada siang hari saat intensitas sinar matahari tinggi. Dengan asumsi bahwa pada saat suhu udara tinggi, sinar matahari yang sampai ke bumi pun tinggi, maka suhu udara digunakan sebagai indikator yang mewakili sinar matahari.

Suhu udara bervariasi setiap bulan. Sebaran suhu udara terendah berada pada bulan Januari dan Desember. Kedua bulan tersebut merupakan musim

penghujan dimana intensitas hujan lebih tinggi daripada bulan yang lain. Saat terjadi hujan suhu udara akan menurun. Hal tersebut karena air hujan yang jatuh ikut membawa suhu dingin dari awan. Kota Bogor terletak pada 6° 26' LS dimana posisi matahari akan tegak lurus pada bulan Desember yang menyebabkan radiasi dan suhu di Kota Bogor akan lebih tinggi dibandingkan dengan bulan-bulan lain. Namun, suhu udara di Kota Bogor pada saat bulan Desember rendah (Gambar 4a). Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh faktor-faktor lain seperti keadaan awan.

Dinamika Diurnal Suhu Udara dan Karbondioksida

Berdasarkan hasil pengolahan data yang diperoleh, konsentrasi gas CO₂ di kawasan Kota Bogor berbanding terbalik dengan suhu udara (Gambar 4b). Konsentrasi CO₂ tertinggi yaitu sebesar 437 ppm dan terendah yaitu 408 ppm. Konsentrasi CO₂ pada malam hari lebih tinggi dibandingkan siang hari, hal tersebut karena proses fotosintesis pada tanaman di kawasan Kebun Raya Bogor tidak terjadi.



Gambar 4 Dinamika suhu udara: (a) deret waktu harian selama bulan Januari-Desember tahun 2017, dan (b) variasi diurnal selama 24 jam dibandingkan dengan variasi diurnal konsentrasi CO₂. Garis merah putus-putus menjelaskan tentang kondisi konsentrasi CO₂ alamiah.

Pada siang hari, konsentrasi CO₂ di atmosfer akan diserap oleh tumbuhan dengan bantuan sinar matahari. Pada pukul 06.00 matahari mulai menyinarakan sinar dimana suhu udara pun ikut meningkat sehingga reaksi terang pada proses fotosintesis dimulai. Penyerapan CO₂ maksimum terjadi pada saat suhu udara mencapai puncak maksimum yaitu pada pukul 13.00 WIB dengan suhu udara sebesar 30°C dan konsentrasi CO₂ sebesar 408 ppm.

Pada pagi hari yaitu sekitar jam 06.00 sampai 07.00 WIB konsentrasi CO₂ masih tinggi walaupun tumbuhan sudah mulai menerima sinar matahari. Hal tersebut dapat disebabkan oleh tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi. Sebagaimana kita tahu pada pagi hari merupakan waktu dimana orang-orang mulai keluar rumah untuk beraktivitas seperti pergi bekerja maupun ke sekolah, sehingga aktivitas lalu lintas tinggi.

Kemampuan vegetasi di Kota Bogor dalam mereduksi konsentrasi CO₂

Sinar matahari merupakan faktor penting dalam proses fotosintesis tumbuhan berklorofil. Semakin tinggi intensitas sinar matahari maka semakin maksimal tumbuhan hijau dalam berfotosintesis. Semakin tinggi intensitas sinar matahari maka tumbuhan akan

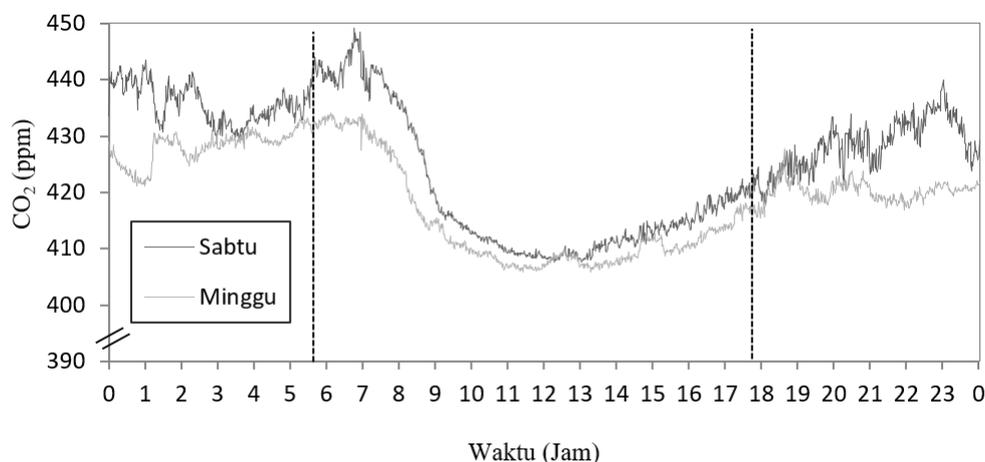
mereduksi CO₂ semakin maksimal. Laju fotosintesis sangat berkurang selama sinar suram akibat langit yang mendung (Bi et al., 2015). Selain itu, suhu yang rendah pun akan memperlambat proses fotosintesis.

Suhu udara rata-rata harian yang terendah di Kota Bogor yaitu 23.4°C dan tertinggi 28.5°C. Data suhu udara rata-rata di atas mempunyai rata-rata sebesar 26.4°C dan standar deviasi sebesar 0.8 (Gambar 5). Dengan asumsi bahwa penyerapan CO₂ maksimum pada siang hari terjadi apabila intensitas sinar matahari tinggi, sedangkan penyerapan CO₂ minimum terjadi apabila intensitas sinar matahari rendah, maka data suhu udara digunakan sebagai indikator sinar matahari. Suhu udara dipilih hari-hari yang paling tinggi dan paling rendah suhu udara rata-ratanya. Suhu udara rata-rata harian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu $\leq 26^\circ\text{C}$ untuk suhu udara rata-rata rendah dan $\geq 27^\circ\text{C}$ untuk suhu udara rata-rata tinggi.

Hasil dari uji *one-way* Anova menunjukkan bahwa konsentrasi CO₂ tertinggi terjadi pada hari Sabtu dan terendah terjadi pada hari Minggu. Tinggi rendahnya konsentrasi CO₂ dapat ditentukan oleh aktivitas kendaraan bermotor. Hal ini sesuai dengan kondisi kepadatan lalu lintas. Pada hari Sabtu, aktivitas kendaraan bermotor relatif tinggi, sedangkan hari

minggu aktivitas kendaraan bermotor rendah. Dengan asumsi bahwa penyerapan maksimum terjadi apabila suhu udara bernilai tinggi dan penyerapan minimum terjadi apabila suhu udara rendah, maka hari dimana aktivitas kendaraan tinggi dan suhu udara rata-rata harian bernilai rendah menggambarkan konsentrasi CO₂ yang tertinggi. Sedangkan hari dimana aktivitas kendaraan rendah dengan suhu udara rata-rata hariannya tinggi menggambarkan konsentrasi CO₂

yang terendah. Konsentrasi CO₂ terendah menunjukkan batas maksimum yang dapat diserap oleh vegetasi di Kota Bogor, sedangkan konsentrasi CO₂ tertinggi merupakan CO₂ yang ditambahkan oleh beban kendaraan bermotor. Jumlah hari Sabtu dengan kondisi suhu udara rendah ($\leq 26^{\circ}\text{C}$) sebanyak 17 hari sedangkan jumlah hari Minggu dengan suhu udara tinggi ($\geq 27^{\circ}\text{C}$) sebanyak 16 hari.



Gambar 5 Grafik konsentrasi CO₂ dengan suhu rata-rata harian rendah (Sabtu) dan tinggi (Minggu).

Data hujan pada grafik tidak dihilangkan sehingga faktor pencucian CO₂ karena hujan (*wash out*) masih ada, akan tetapi hujan pada data tersebut rata-rata terjadi pada sore hari yaitu sekitar jam 4 sore sehingga faktor *wash out* tidak terlalu merusak perhitungan. Berdasarkan perhitungan data konsentrasi CO₂, nilai CO₂ yang belum dapat diserap masih relatif tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai selisih antara hari dengan konsentrasi CO₂ maksimum (Sabtu) dan konsentrasi CO₂ minimum (Minggu) relatif kecil (5 ppm). Sehingga untuk menurunkan peningkatan konsentrasi CO₂ akibat tambahan dari kendaraan bermotor, diperlukan penambahan vegetasi di kawasan Kota Bogor.

KESIMPULAN

Konsentrasi CO₂ harian di Kota Bogor diurutkan dari yang tertinggi ke terendah, yaitu Sabtu, Senin, Jumat, Rabu, Kamis, Selasa, dan Minggu. Hal tersebut menggambarkan fluktuasi aktivitas kendaraan bermotor, dimana hari dengan konsentrasi CO₂ tertinggi merupakan hari dengan aktivitas kendaraan bermotor yang paling tinggi atau padat. Konsentrasi CO₂ terendah yaitu pada hari Minggu dengan suhu udara rata-rata rendah merupakan batas maksimum yang dapat diserap oleh vegetasi di Kota Bogor, sedangkan konsentrasi CO₂ tertinggi yaitu pada hari Sabtu dengan suhu udara rata-rata rendah, menggambarkan tambahan CO₂ dari beban lalu lintas

saat ini. Hasil dari perhitungan data konsentrasi CO₂, nilai CO₂ yang belum dapat diserap masih relatif tinggi. Untuk menurunkan peningkatan konsentrasi akibat tambahan dari kendaraan bermotor maka diperlukan penambahan vegetasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari *National Institute for Environmental Studies* (NIES) yang bekerja sama dengan *Centre for Climate Risk and Opportunity Management in Southeast Asia Pacific* (CCROM-SEAP) Institut Pertanian Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, T.R., Hawkins, E., Jones, P.D., 2016. CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour* 40, 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2016.07.002>
- As-syakur, A.R., Tanaka, T., Osawa, T., Mahendra, M.S., 2013. Indonesian rainfall variability observation using TRMM multi-satellite data. *International Journal of Remote Sensing* 34, 7723–7738. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.826837>
- Bi, J., Knyazikhin, Y., Choi, S., Park, T., Barichivich, B., Ciais, P., Fu, R., Ganguly, S., Hall, F., Hilker, T., Huete, A.,

- Jones, M., Kimball, J., Lyapustin, A.I., Möttus, M., Nemani, R., Piao, S., Poulter, B., Saleska, S., Saatchi, S., Xu, L., Zhou, L., Myneni, R., 2015. Sunlight mediated seasonality in canopy structure and photosynthetic activity of Amazonian rainforests. *Environmental Research Letters* 10, 064014.
- Cook, B.I., Smerdon, J.E., Seager, R., Coats, S., 2014. Global warming and 21st century drying. *Climate Dynamics* 43, 2607–2627. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2075-y>
- Cristea, A., Hummels, D., Puzello, L., Avetisyan, M., 2013. Trade and the greenhouse gas emissions from international freight transport. *Journal of Environmental Economics and Management* 65, 153–173. <https://doi.org/10.1016/j.jjeem.2012.06.002>
- DISKOMINFOSTANDI, 2017. Analisis Strategi Smart City Kota Bogor.
- DLLAJ, 2006. Jaringan Trayek Angkutan Kota, Angkutan Perkotaan AKDP, Angkutan Massal Trans Pakuan.
- Galdos, M., Cavalett, O., Seabra, J.E.A., Nogueira, L.A.H., Bonomi, A., 2013. Trends in global warming and human health impacts related to Brazilian sugarcane ethanol production considering black carbon emissions. *Applied Energy* 104, 576–582. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.002>
- Gattuso, J.-P., Magnan, A., Billé, R., Cheung, W.W.L., Howes, E.L., Joos, F., Allemand, D., Bopp, L., Cooley, S.R., Eakin, C.M., Hoegh-Guldberg, O., Kelly, R.P., Pörtner, H.-O., Rogers, A.D., Baxter, J.M., Laffoley, D., Osborn, D., Rankovic, A., Rochette, J., Sumaila, U.R., Treyer, S., Turley, C., 2015. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science* 349, aac4722. <https://doi.org/10.1126/science.aac4722>
- Gillett, N.P., Arora, V.K., Matthews, D., Allen, M.R., 2013. Constraining the Ratio of Global Warming to Cumulative CO₂ Emissions Using CMIP5 Simulations. *J. Climate* 26, 6844–6858. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00476.1>
- Herlina, N., Yamika, W., Andari, S., 2017. Karakteristik Konsentrasi CO₂ dan Suhu Udara Ambien di Taman Kota Di Malang. *Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan* 7, 267–274.
- James, R., Washington, R., 2013. Changes in African temperature and precipitation associated with degrees of global warming. *Climatic Change* 117, 859–872. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0581-7>
- Jang, S.M., Hart, P.S., 2015. Polarized frames on “climate change” and “global warming” across countries and states: Evidence from Twitter big data. *Global Environmental Change* 32, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.02.010>
- Knox, S.H., Sturtevant, C., Matthes, J.H., Koteen, L., Verfaillie, J., Baldocchi, D., 2014. Agricultural peatland restoration: effects of land-use change on greenhouse gas (CO₂ and CH₄) fluxes in the Sacramento-San Joaquin Delta. *Global Change Biology* 21, 750–765. <https://doi.org/10.1111/gcb.12745>
- Kulak, M., Graves, A., Chatterton, J., 2013. Reducing greenhouse gas emissions with urban agriculture: A Life Cycle Assessment perspective. *Landscape and Urban Planning* 111, 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.11.007>
- Lee, Z.H., Sethupathi, S., Lee, K.T., Bhatia, S., Mohamed, A.R., 2013. An overview on global warming in Southeast Asia: CO₂ emission status, efforts done, and barriers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28, 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.055>
- Liu, C., Colón, B.C., Ziesack, M., Silver, P.A., Nocera, D.G., 2016. Water splitting–biosynthetic system with CO₂ reduction efficiencies exceeding photosynthesis. *Science* 352, 1210. <https://doi.org/10.1126/science.aaf5039>
- MacDougall, A.H., Eby, M., Weaver, A.J., 2013. If Anthropogenic CO₂ Emissions Cease, Will Atmospheric CO₂ Concentration Continue to Increase? *J. Climate* 26, 9563–9576. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00751.1>
- Nassar, R., Napier-Linton, L., Gurney, K.R., Andres, R.J., Oda, T., Vogel, F.R., Deng, F., 2013. Improving the temporal and spatial distribution of CO₂ emissions from global fossil fuel emission data sets. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118, 917–933. <https://doi.org/10.1029/2012JD018196>
- Ostertagova, E., Ostertag, O., 2013. Methodology and Application of Oneway ANOVA. *American Journal of Mechanical Engineering* 1, 256–261. <https://doi.org/10.12691/ajme-1-7-21>
- Pongthanaisawan, J., Sorapipatana, C., 2013. Greenhouse gas emissions from Thailand's transport sector: Trends and mitigation options. *Applied Energy* 101, 288–298. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.09.026>
- Popa, M.E., Vollmer, M.K., Jordan, A., Brand, W., Pathirana, S.L., Rothe, M., Rockmann, T., 2015. Vehicle emissions of greenhouse gases and related tracers from a tunnel study: CO : CO₂, N₂O : CO₂, CH₄ : CO₂, O₂ : CO₂ ratios, and the stable isotopes ¹³C and ¹⁸O in CO₂ and CO. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14, 2105–2123. <https://doi.org/10.5194/acp-14-2105-2014>

- Prabaningrum, R., Nurjani, E., 2016. Identifikasi perubahan zona agroklimat metode oldeman di Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Bumi Indonesia* 5, 1–10.
- Solís, J.C., Sheinbaum, C., 2013. Energy consumption and greenhouse gas emission trends in Mexican road transport. *Energy for Sustainable Development* 17, 280–287. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.12.001>
- Weissert, L.F., Salmond, J.A., Schwendenmann, L., 2014. A review of the current progress in quantifying the potential of urban forests to mitigate urban CO2 emissions. *Urban Climate* 8, 100–125. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.01.002>
- Wordsworth, R., Pierrehumbert, R., 2013. Hydrogen-Nitrogen Greenhouse Warming in Earth's Early Atmosphere. *Science* 339, 64. <https://doi.org/10.1126/science.1225759>
- Yu, K., D'Odorico, P., Bhattachan, A., Okin, G.S., Evan, A.T., 2015. Dust-rainfall feedback in West African Sahel. *Geophysical Research Letters* 42, 7563–7571. <https://doi.org/10.1002/2015GL065533>
- Zaval, L., Keenan, E.A., Johnson, E.J., Weber, E.U., 2014. How warm days increase belief in global warming. *Nature Climate Change* 4, 143.
- Zhang, B., Xie, G., Gao, J., Yang, Y., 2014. The cooling effect of urban green spaces as a contribution to energy-saving and emission-reduction: A case study in Beijing, China. *Building and Environment* 76, 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.003>.