

VARIABILITAS TEMPORAL TOTAL HIDROKARBON DAN KARBON MONOKSIDA DI UDARA AMBIEN PERKOTAAN (STUDI KASUS: KOTA BANDUNG)

TEMPORAL VARIABILITIES OF TOTAL HYDROCARBON AND CARBON MONOXIDE IN URBAN AIR (CASE STUDY: BANDUNG CITY)

Wiwiek Setyawati, Saipul Hamdi, Mulyono dan Suparno
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN, Jl. Dr Djundjunaan 133, Bandung 40173
Pos-el: wiwieksetyawati21@gmail.com, setyawati@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

This paper aims to study diurnal, annual and seasonal variabilities of total hydrocarbon (THC) and carbon monoxide (CO) in urban ambient air. Total hydrocarbon are defined as the sum of methane (CH₄) and non-methane hydrocarbons (NMHC). Together with CO they are all carbon gases that their existences in the atmosphere can effect air quality by acting as green house gases directly or indirectly and also gaseous pollutants that are toxic to human health. THC and CO data were measured continuously by using gas analyser instruments in LAPAN Bandung in 2010 – 2011. Based on 30 minutes- average concentration of THC and CO it was found that they both had similar diurnal pattern with one maximum and one minimum peaks with increase in concentration that lead to maximum in early morning and late noon. It was due to topography of Bandung city and also increase in number of vehicles during peak hours. Decrease in both concentrations during the day were caused by photochemical oxidation by OH radicals to produce ozone. On the contrary, diurnal pattern of CH₄ had two maximum and two minimum peaks that were inversely proportional to diurnal pattern of NMHC's concentration. The minimum of NMHC's and the maximum CH₄'s concentrations both were found in the morning. It was due to oxidation of OH radical as the main sink of atmospheric CH₄ and CO. Seasonal average of CH₄, NMHC and CO had ranged of 0.72 ppm – 1.05 ppm, 0.52 ppm – 0.69 ppm dan 0.36 ppm– 0.41 ppm, respectively. Unlike CO, there were clear seasonal variation of CH₄ and NMHC in Bandung. Annual average of THC and CO concentrations in Bandung city had increased from 2010-2011 about 3.96% and 40.36%, respectively.

Keywords: *THC, CO, CH₄, NMHC, Bandung*

ABSTRAK

Paper ini bertujuan untuk mempelajari variabilitas diurnal, tahunan dan musiman total hidrokarbon (THC) dan karbon monoksida (CO) di udara ambien perkotaan. Hal ini sangat penting dilakukan mengingat semakin bertambahnya jumlah kendaraan bermotor di kota Bandung yang merupakan salah satu sumber emisi THC dan CO ke udara. THC (terdiri atas metan (CH₄) dan hidrokarbon non-metan (NMHC)) dan CO merupakan gas-gas karbon yang keberadaannya di atmosfer dapat mempengaruhi kualitas udara baik sebagai gas rumah kaca maupun gas-gas polutan yang dapat mengganggu kesehatan manusia. Data yang digunakan dalam analisis adalah data THC dan CO hasil pengukuran kontinyu menggunakan instrumen *gas analyser* di kantor LAPAN Bandung tahun 2010 – 2011. Berdasarkan data rata-rata per-30 menit diketahui bahwa THC dan CO memiliki pola diurnal yang serupa dengan satu puncak maksimum dan satu puncak minimum dimana terjadi peningkatan konsentrasi hingga mencapai maksimum pada pagi dan menjelang sore hari. Hal ini selain karena kondisi topografi juga disebabkan oleh peningkatan volume kendaraan pada saat berangkat dan pulang kerja. Penurunan konsentrasi keduanya pada saat siang hari diakibatkan oleh oksidasi oleh radikal OH dalam proses fotokimia pembentukan ozon. Sedangkan CH₄ memiliki pola diurnal dengan dua puncak maksimum dan dua puncak minimum yang berbanding terbalik dengan pola diurnal NMHC dimana konsentrasi NMHC minimum dan konsentrasi CH₄ maksimum keduanya ditemukan pada pagi hari. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh oksidasi oleh radikal OH yang merupakan sink utama dari CH₄ dan CO di atmosfer. Nilai rata-rata musiman CH₄, NMHC dan CO ketiganya berkisar masing-masing antara 0,72 ppm – 1,05 ppm, 0,52 ppm – 0,69 ppm dan 0,36 ppm– 0,41 ppm. Berbeda dengan CO, variasi musiman CH₄ dan NMHC di Kota Bandung terlihat sangat jelas. Nilai rata-rata tahunan konsentrasi THC dan CO di Kota Bandung mengalami peningkatan pada tahun 2011 jika dibandingkan dengan tahun 2010 masing-masing sebesar 3,96% dan 40,36%.

Kata Kunci: *THC, CO, CH₄, NMHC, Bandung*

PENDAHULUAN

Hidrokarbon merupakan molekul organik yang terdiri atas rantai ikatan atom-atom hidrogen dengan oksigen, nitrogen dan halogen. Total hidrokarbon (THC) di udara terdiri atas Metan (CH_4) dan Nonmetan Hidrokarbon (NMHC) dimana keduanya dapat berperan sebagai gas rumah kaca baik secara langsung maupun tidak langsung.¹ Metan merupakan gas rumah kaca terpenting kedua yang dihasilkan dari aktifitas manusia dimana sejak tahun 1700an konsentrasi globalnya terus meningkat 2 hingga 3 kali lipat.² Emisi metan dihasilkan dari aktifitas bakteri *methanogenic* selama proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik dan merupakan komponen utama fluks THC dari tanah organik dan gambut.¹ Namun demikian aktifitas manusia seperti kegiatan pertanian dan peternakan, penggunaan bahan bakar fosil dan penanganan limbah juga mengemisikan CH_4 dalam jumlah besar.²

Oksidasi metan di troposfer oleh radikal hidroksil (OH) menghasilkan formaldehida (CH_2O), karbon monoksida (CO) dan ozon (O_3) dengan adanya oksida nitrogen (NOx) dalam konsentrasi yang cukup.² CO merupakan salah satu produk senyawa karbon utama yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna.¹ CO merupakan salah satu polutan utama di atmosfer yang keberadaannya dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup. CO juga berperan penting dalam proses fotokimia smog di atmosfer yaitu sebagai prekursor pembentukan ozon.³

Berdasarkan data sensus penduduk tahun 2010 Kota Bandung merupakan ibukota Provinsi Jawa Barat dengan kepadatan penduduk tertinggi sebesar 14.491 orang/km².⁴ Kota Bandung mengalami peningkatan jumlah penduduk yang luar biasa dari tahun 1980 – 2010 yaitu sebesar $\pm 40\%$.⁴ Jumlah kendaraan bermotor yang terdaftar di Kota Bandung mengalami peningkatan yang sangat pesat yaitu 4,63% selama tahun 2010-2011.^{4,5} Kota Bandung juga merupakan kota wisata yang banyak menarik wisatawan baik mancanegara maupun domestik dengan peningkatan jumlah kunjungan yang luar biasa tahun 2010-2011 sebesar 113,41%.^{4,5}

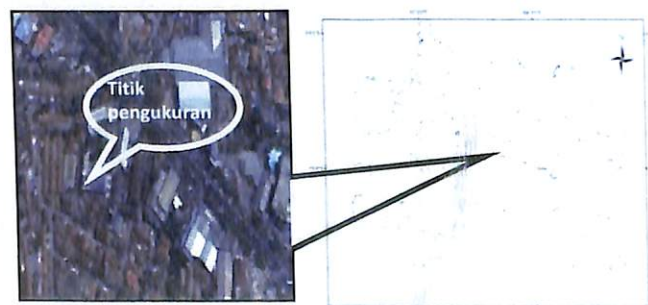
Secara topografi Bandung berada pada wilayah cekungan yang dikelilingi oleh pegunungan sehingga memberikan kondisi iklim yang lembab dan sejuk. Pada tahun 2010 - 2011 suhu rata-rata Kota Bandung sekitar 23,3⁰C, kelembaban nisbi rata-rata 80%, curah hujan

rata-rata 235.7 mm, dan jumlah hari hujan rata-rata 21 hari perbulan.^{4,5} Kombinasi antara jumlah penduduk, jumlah kendaraan bermotor dan kondisi iklimnya yang unik membuat Kota Bandung menjadi sangat rentan mengalami penurunan kualitas udara. Oleh sebab itu studi mengenai konsentrasi THC dan CO sebagai produk aktifitas manusia sangat penting dilakukan. Tujuan dari paper ini adalah untuk mengetahui pola konsentrasi keduanya sebagai fungsi dari waktu terutama di Kota Bandung.

METODOLOGI

Lokasi dan Data

Lokasi pengukuran berada di Kota Bandung (6,5⁰ LS; 107,25⁰ BT) yang terletak pada ketinggian 768 meter di atas permukaan laut. Instrumen pengukuran diletakkan di atas gedung LAPAN Bandung pada ketinggian ± 15 m dari atas permukaan tanah dan berjarak ± 100 m arah Barat Daya jalan raya Pasteur yang padat dengan kendaraan seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Data yang digunakan dalam analisis adalah data konsentrasi ambien CH_4 , NMHC, THC dan CO dalam satuan ppm periode tahun 2010 – 2011. CH_4 dan NMHC diukur menggunakan instrumen *Hydrocarbon analyser* (Model APHA 370, Japan) berdasarkan metode *cross flow modulated selective combustion type* yang dikombinasi dengan metode *hydrogen ion detection*. THC sendiri merupakan total dari konsentrasi CH_4 ditambah konsentrasi NMHC. Konsentrasi CO diukur menggunakan metode *non-dispersive cross modulation infra-red analysis* (Model APMA 370, Japan).



Gambar 1. Lokasi Pengukuran di kantor LAPAN Bandung (6,5⁰ LS; 107,25⁰ BT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

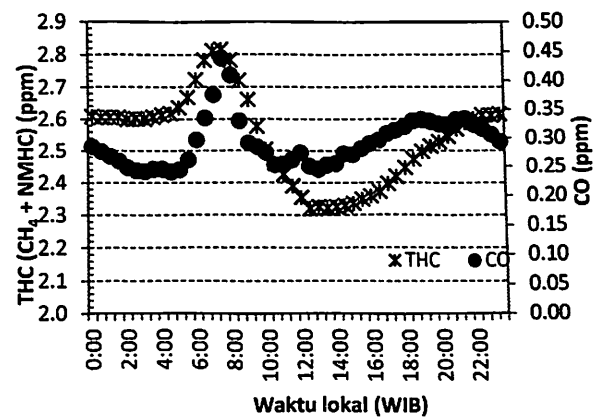
Variabilitas Diurnal

Rata-rata per-30 menit konsentrasi THC dan CO selama periode tahun 2010 – 2011 di Bandung ditunjukkan pada Gambar 2. Konsentrasi maksimum THC dan CO keduanya ditemukan

pada pagi hari yaitu pada pukul 7:30 WIB, masing-masing sebesar 2,81 ppm ($\pm 0,33$ ppm) dan 0,44 ppm ($\pm 0,16$ ppm). Tingginya nilai deviasi standar dari rata-rata konsentrasi CO tersebut menunjukkan penyebaran data CO yang kadang-kadang hingga mencapai lebih dari 13,00 ppm. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh emisi lokal yang kuat yaitu emisi dari kendaraan bermotor.⁶ Sedangkan konsentrasi minimum THC ditemukan pada siang hari yaitu pada pukul 12:30 WIB sebesar 2,32 ppm ($\pm 0,34$ ppm) dan CO pada pagi hari yaitu pada pukul 4:30 WIB sebesar 0,24 ppm ($\pm 0,2$ ppm).

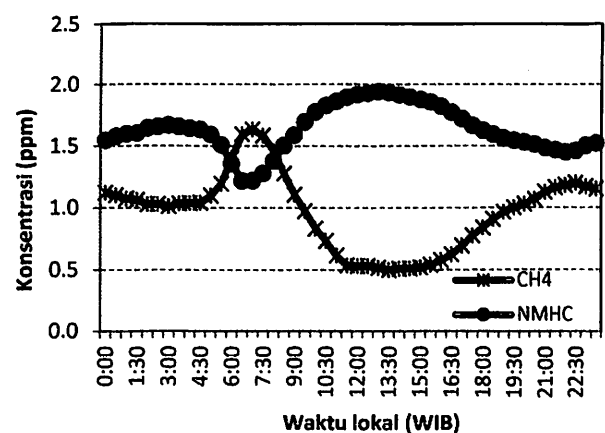
THC dan CO memiliki pola diurnal yang serupa dengan satu puncak maksimum dan satu puncak minimum. Pola diurnal THC mengindikasikan adanya peningkatan tajam konsentrasi ambiennya pada saat pagi hari dan penurunan konsentrasinya pada saat siang hari. Sedangkan pada saat malam hari yaitu sekitar pukul 21:00 WIB hingga menjelang dini hari pukul 4:00 WIB konsentrasinya relatif stabil. Pola diurnal CO juga memiliki satu puncak maksimum dan satu puncak minimum dengan maksimum pada pukul 7:30 WIB dan 19:00 WIB dan minimum pada pukul 3:00 WIB dan 12:30 WIB. Pola diurnal CO yang sama juga ditemukan di wilayah lembah Pertoulli, Yunani.⁶ Hal ini disebabkan karena adanya kemiripan Bandung dengan Pertoulli secara topografi dimana keduanya merupakan wilayah cekungan yang dikelilingi oleh pegunungan. Peningkatan tajam konsentrasi CO dan THC pada pukul 7:30 WIB mengindikasikan adanya isolasi massa udara dari troposfer bebas di wilayah tersebut pada pagi hari, yang kemudian diikuti oleh penurunan tajam konsentrasi keduanya yang disebabkan oleh adanya percampuran yang kuat dengan massa udara di troposfer bebas. Selain itu emisi CO dan THC dari kendaraan bermotor meningkat pada saat pagi dan menjelang sore hari diakibatkan oleh peningkatan volume kendaraan di jalan raya pada saat jam-jam berangkat dan pulang kerja. Hal ini sesuai dengan pola diurnal THC dan CO yang diukur di wilayah perkotaan Augsburg, Jerman.⁷

Penghancuran oleh radikal OH di atmosfer merupakan salah satu *sink* utama dari CO dan THC.^{6,8,9} Penurunan konsentrasi CO dan THC pada saat siang hari merupakan akibat dari proses oksidasi keduanya oleh radikal OH dalam proses fotokimia pembentukan ozon.^{6,8}



Gambar 2. Rata-rata per-30 menit konsentrasi THC dan CO (dalam ppm).

Rata-rata per-30 menit konsentrasi CH₄ dan NMHC dalam ppm disajikan pada Gambar 3. CH₄ memiliki pola diurnal dengan dua puncak maksimum dan dua puncak minimum yang berbanding terbalik dengan pola diurnal NMHC. Konsentrasi NMHC minimum dan konsentrasi CH₄ maksimum keduanya ditemukan pada pagi hari pada pukul 6:30 WIB dan 7:00 WIB dengan nilai masing-masing adalah 1,21 ppm ($\pm 0,56$ ppm) dan 1,63 ppm ($\pm 0,79$ ppm). Tingginya nilai deviasi standar dari rata-rata konsentrasi CH₄ dan NMHC tersebut menunjukkan penyebaran data keduanya yang kadang-kadang hingga mencapai lebih dari 4 ppm untuk CH₄ dan 3 ppm untuk NMHC. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh emisi lokal yang kuat yaitu emisi dari kendaraan bermotor.⁶ Sedangkan pada siang hari konsentrasi CH₄ mengalami penurunan yang diakibatkan oleh oksidasi oleh radikal OH membentuk ozon. Penghancuran oleh radikal OH di troposfer merupakan salah satu *sink* utama dari CH₄.² Salah satu komponen NMHC yaitu formaldehida (CH₂O) merupakan salah satu produk dari oksidasi metan tersebut.²



Gambar 3. Rata-rata per-30 menit konsentrasi CH₄ dan NMHC (dalam ppm)

Variabilitas Tahunan

Nilai rata-rata tahunan THC dan CO yang dihitung berdasarkan nilai rata-rata harian tahun 2010 dan 2011 beserta perbandingannya dengan pengukuran di dua distrik di Kota Seoul, Korea Selatan disajikan pada Tabel 1. Nilai rata-rata tahunan konsentrasi THC di kota Bandung jika dibandingkan dengan Guro dan Nowon¹ nilainya tidak berbeda jauh, namun tidak demikian dengan CO. Yang menggembarakan adalah kenyataan bahwa nilai rata-rata tahunan konsentrasi CO di kota Bandung jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan dua distrik di Korea Selatan tersebut.

Nilai rata-rata tahunan konsentrasi THC dan CO di Kota Bandung mengalami peningkatan pada tahun 2011 jika dibandingkan dengan tahun 2010 masing-masing sebesar 3,96% dan 40,36%. Hal ini selaras dengan peningkatan jumlah penduduk dan kendaraan bermotor yang terdaftar di Kota Bandung tahun 2010 - 2011 masing-masing sebesar 1,8% dan 4,63%.^{4,5} Peningkatan konsentrasi THC juga terjadi di Guro sebesar 3,6% dan konsentrasi CO di Nowon sebesar 4,2%¹, lebih kecil jika dibandingkan dengan Kota Bandung.

Tabel 1. Perbandingan rata-rata tahunan THC dan CO di kota Bandung Indonesia dengan kota lainnya.

| Tahun | THC(ppm) | | |
|-------|---|---|---|
| | Bandung | Guro ¹ | Nowon ¹ |
| 2010 | 2,48 ^a (± 0,15 ^b) 2,11 ^c - 2,88 ^d 240 ^e | 2,40 ^a (± 0,29 ^b) 1,98 ^c - 3,79 ^d 363 ^e | 2,51 ^a (± 0,28 ^b) 1,89 ^c - 3,45 ^d 350 ^e |
| 2011 | 2,58 ^a (± 0,31 ^b) 2,05 ^c - 5,30 ^d 312 ^e | 2,49 ^a (± 0,28 ^b) 2,04 ^c - 3,77 ^d 362 ^e | 2,49 ^a (± 0,21 ^b) 2,07 ^c - 3,15 ^d 349 ^e |

| Tahun | CO (ppm) | | |
|-------|---|---|---|
| | Bandung | Guro ¹ | Nowon ¹ |
| 2010 | 0,23a (± 0,29 ^b) 0,06 ^c - 4,85 ^d 287 ^e | 0,64 ^a (± 0,24 ^b) 0,28 ^c - 2,09 ^d 360 ^e | 0,46 ^a (± 0,25 ^b) 0,13 ^c - 2,33 ^d 363 ^e |
| 2011 | 0,39a (± 0,39 ^b) 0,01 ^c - 5,78 ^d 283 ^e | 0,57 ^a (± 0,22 ^b) 0,24 ^c - 1,64 ^d 363 ^e | 0,48 ^a (± 0,26 ^b) 0,11 ^c - 1,65 ^d 359 ^e |

Keterangan: a = rata-rata, b = deviasi standar, c = minimum, d = maksimum, e = jumlah data (n)

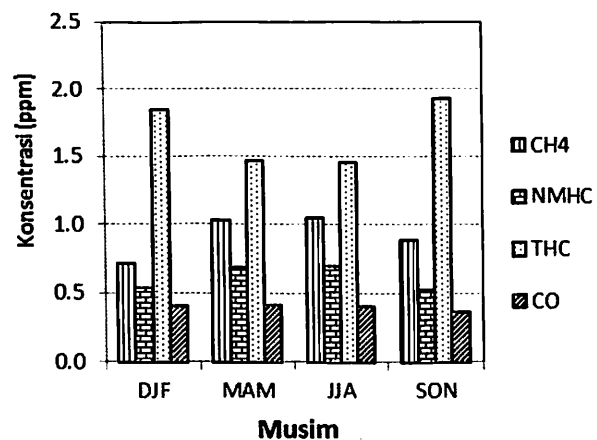
Nowon dan Guro merupakan dua distrik padat di Utara dan Selatan Kota Seoul, ibukota Korea Selatan¹. Hal yang menarik adalah jumlah penduduk dan kendaraan bermotor yang terdaftar tahun 2010-2011 di Kota Seoul jauh lebih besar dibandingkan Kota Bandung seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Peningkatan THC dan

CO di Kota Seoul yang lebih kecil dibandingkan Kota Bandung meskipun jumlah penduduk dan kendaraan bermotor jauh lebih besar karena padatahun 2009 – 2013 Korea Selatan sebagai negara maju telah mengadopsi standar emisi gas buang kendaraan bermotor (EURO 5)¹¹ yang lebih ketat dibandingkan Indonesia (EURO 2). Sejak tahun 2014 Korea Selatan bahkan telah mulai menerapkan standar emisi EURO 6.¹¹

Tabel 2. Jumlah penduduk dan total kendaraan bermotor yang terdaftar di Kota Bandung dan Kota Metropolitan Seoul, Korea Selatan tahun 2010 dan 2011

| Tahun | Jumlah penduduk | |
|-------|------------------------|---------------------|
| | Bandung ^{4,5} | Seoul ¹⁰ |
| 2010 | 3.178.543 | 10.575.000 |
| 2011 | 3.235.615 | 10.529.000 |

| Tahun | Jumlah kendaraan bermotor | |
|-------|---------------------------|---------------------|
| | Bandung ^{4,5} | Seoul ¹⁰ |
| 2010 | 1.196.813 | 3.392.015 |
| 2011 | 1.252.230 | 3.387.689 |



Gambar 4. Rata-rata musiman konsentrasi CH₄, NMHC, THC dan CO dalam ppm

Variabilitas Musiman

Nilai rata-rata konsentrasi CH₄, NMHC dan CO berdasarkan musim yaitu musim basah (Desember, Januari, Februari), musim peralihan basah ke kering (Maret, April, Mei), musim kering (Juni, Juli, Agustus) dan musim peralihan kering ke basah (September, Oktober, November) yang dihitung berdasarkan rata-rata harian disajikan pada Gambar 4. Nilai rata-rata musiman CH₄, NMHC dan CO keempatnya berkisar masing-masing antara 0,72 ppm – 1,05 ppm, 0,52 ppm – 0,69 ppm dan 0,36 ppm– 0,41 ppm. Berbeda dengan CO, variasi musiman CH₄ dan NMHC di Kota Bandung terlihat sangat

jelas. Hal yang berbeda ditemukan di negara dengan empat musim seperti Korea selatan dan Jepang dimana dominasi dari aktifitas pembakaran biomassa dan *biofuel* pada saat musim dingin sangat mempengaruhi konsentrasi CO di atmosfer.¹ Maksimum konsentrasi CH₄ dan NMHC keduanya ditemukan pada musim kering, sedangkan CO pada musim peralihan.

KESIMPULAN

THC dan CO memiliki pola diurnal yang serupa yaitu satu puncak maksimum dan satu puncak minimum, dimana terjadi peningkatan konsentrasi hingga mencapai maksimum pada pagi dan menjelang sore hari. Sedangkan CH₄ memiliki pola diurnal dengan dua puncak maksimum dan dua puncak minimum yang berbanding terbalik dengan pola diurnal NMHC dimana konsentrasi NMHC minimum dan konsentrasi CH₄ maksimum keduanya ditemukan pada pagi hari. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh oksidasi oleh radikal OH yang merupakan sink utama dari CH₄ dan CO di atmosfer. Nilai rata-rata musiman CH₄, NMHC dan CO keempatnya berkisar masing-masing antara 0,72 ppm – 1,05 ppm, 0,52 ppm – 0,69 ppm dan 0,36 ppm– 0,41 ppm. Berbeda dengan CO, variasi musiman CH₄ dan NMHC di Kota Bandung terlihat sangat jelas. Nilai rata-rata tahunan konsentrasi THC dan CO di Kota Bandung mengalami peningkatan pada tahun 2011 jika dibandingkan dengan tahun 2010 masing-masing sebesar 3,96% dan 40,36%. Hal ini perlu diwaspadai karena akibat buruknya terhadap kesehatan manusia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada Bidang Komposisi Atmosfer – LAPAN Bandung yang telah berkenan mengijinkan penggunaan data hasil monitoring AQMS untuk penulisan *paper* ini dan kepada Ibu Ir. Tuti Budiwati, MEng atas masukan dan saran-sarannya.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Ahmed, E., Ki-Hyun, K., Eui-Chan, J., Richard J.C, B. 2015. Long term trends of methane, non methane hydrocarbon and carbon monoxide in urban atmosphere. *Science of the Total Environment*. 516 – 519: 595 – 604
- ²Wuebles, D. J dan Katharine, H. 2002. Atmospheric Methane and Global Change. *Earth-Science Reviews*. 57 : 177 – 210
- ³Badr, O dan Probert, S. D.1994. Carbon-Monoxide Concentration in the Earth's Atmosphere. *Applied Energy*. 49: 99 – 143
- ⁴BPS, 2011. *Jawa Barat dalam angka*. Bidang Integrasi Pengolahan dan Diseminasi Statistik. BPS Jawa Barat
- ⁵BPS, 2012. *Jawa Barat dalam angka*. Bidang Integrasi Pengolahan dan Diseminasi Statistik. BPS Jawa Barat
- ⁶Gros, V., Kostas, T., Bernard, B., Maria, K., Casimiro, P. 2002. Factors controlling the Diurnal variation of CO above a forested area in Southeast Europe. *Atmospheric Environment*. 36: 3127 – 3135
- ⁷Mollmann-Coers, M., Dieter, K., Katja, M., Franz, S. 2002. Statistical study of the diurnal variation of modeled and measured NMHC contribution, *Atmospheric Environment*. 36, Supplement No. 1: S109 – S122
- ⁸Bottenheim, J. W., Peter C, B., Tom F, D., Daniel K, W., Fred, K., Allan J, G., Kurt G, A., H. Allan, W. 1997. Non-Methane Hydrocarbons and CO during Pacific '93. *Atmospheric Environment*. Vol. 31, no. 14: 2079 – 2087.
- ⁹Tang, J. H., Chan, L. Y., Chan, C. Y., Li, Y. S., Chang, C. C., Liu, S. C., Wu, D., Li, Y. D.2007. Characteristics and diurnal variations of NMHCs at urban, suburban, and rural sites in the Pearl River delta and a remote site in South China. *Atmospheric environment*. 41: 8620 - 8632
- ¹⁰The Official Website of Seoul Metropolitan Government, Major Traffic Statistics. (<http://english.seoul.go.kr/policy-information/traffic/major-traffic-statistics/>, diakses pada 31 Juli 2015)
- ¹¹TransportPolicy.Net, South Korea: Light-duty: Emission. (http://transportpolicy.net/index.php?title=South_Korea:_Light-duty:_Emissions, diakses pada 8 Agustus 2015)