

METODE STATISTIK NON-PARAMETRIK UNTUK STUDI KARAKTERISTIK POLUTAN PADA UDARA AMBIEN WILAYAH PERKOTAAN (STUDI KASUS: KOTA BANDUNG)

Wiwiek Setyawati, Saipul Hamdi, Suparno, dan Mulyono

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN

e-mail: wiwieksetyawati21@gmail.com

ABSTRACT

Aim of the paper is to study characteristic of pollutants in urban ambient, Bandung city. Air pollution data for variables of THC (CH₄ + NMHC), CO, NO_x (NO + NO₂) dan SO₂ were result of monitoring using Air Quality Monitoring System (AQMS) in LAPAN office, Bandung from 2010-2011. Based on one-sample Kolmogorov-Smirnov test it was found that distribution of air quality variables was not normal and homogen, therefore non-parametric statistical Kendall's tau method was applied to understand correlations and influences between each air pollution variables to THC concentration. Significant correlation was found between different carbon compounds ($p < 0,01$). Weak and positive correlations (0,00 – 0,399) were shown between THC vs CO, NO and SO₂ indicating different emission sources between those compounds with THC. Four variables CO, NO, NO₂, NO_x dan SO₂ had significant influences to THC's sink direct or indirectly ($p < 0,01$). Based on Mann-Kendalls 's time series and Sen's slope method applied during period June 1st, 2010-May 31st, 2011 decreasing trends of daily average of THC, NMHC and CO concentrations were observed. On the contrary, increasing trend was observed for daily average of CH₄ concentrations.

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

ABSTRAK

Makalah ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik polutan-polutan di udara ambien di wilayah Kota Bandung. Data kualitas udara untuk variabel THC (CH₄+ NMHC), CO, NO_x (NO + NO₂) dan SO₂ merupakan hasil monitoring menggunakan *Air Quality Monitoring System* (AQMS) di kantor LAPAN Bandung tahun 2010 - 2011. Berdasarkan uji *one-sample* Kolmogorov-Smirnov ditemukan bahwa distribusi dari variabel-variabel kualitas udara adalah tidak normal dan tidak homogen, oleh sebab itu maka digunakan metode non- parametrik Kendall's tau untuk melihat korelasi dan pengaruh masing-masing variabel kualitas udara tersebut terhadap konsentrasi THC. Korelasi yang signifikan ditemukan antar senyawa karbon ($p < 0,01$). Korelasi linear yang lemah (0,00 – 0,399) dan positif ($p < 0,01$) juga ditemukan antara THC dengan CO, NO dan SO₂ yang mengindikasikan perbedaan sumber emisi

antara ketiganya dengan THC. Kelima variabel yaitu CO, NO, NO₂, NO_x dan SO₂ diketahui memiliki pengaruh yang signifikan ($p < 0,01$) baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap rosot dari THC. Berdasarkan metode Mann-kendall's *time series* dan Sen's *slope* selama periode 1 Juni 2010 – 31 Mei 2011 diketahui bahwa terjadi penurunan tren rata-rata harian konsentrasi THC, NMHC dan CO berturut-turut sebesar 0,00003; 0,00036 dan 0,00057 ppmv/hari, namun sebaliknya rata-rata harian konsentrasi CH₄ mengalami peningkatan sebesar 0,00028 ppmv/hari.

Kata-kunci: THC, CH₄, NMHC, CO, Kota Bandung

1 PENDAHULUAN

Hidrokarbon merupakan molekul organik yang terdiri atas atom-atom hidrogen yang terikat pada rantai ikatan karbon dan seringkali juga dengan oksigen, nitrogen dan halogen (Ahmed dkk., 2015). Total hidrokarbon (THC) di udara terdiri atas metan (CH₄) dan Non-metan hidrokarbon (NMHC). Keduanya dapat berperan sebagai gas rumah kaca baik secara langsung maupun tidak langsung (Backstrand, dkk., 2008; Chen, dkk., 2014). Metan merupakan gas rumah kaca terpenting kedua yang dihasilkan dari aktifitas manusia. Sejak tahun 1700-an konsentrasi global CH₄ terus meningkat 2 hingga 3 kali lipat (Wuebles dan Katharine., 2002). 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 (Ahmed dkk., 2015). Namun demikian aktifitas manusia seperti kegiatan pertanian dan peternakan, penggunaan bahan bakar fosil dan penanganan limbah juga mengemisikan CH₄ dalam jumlah besar (Wuebles dan Katharine, 2002).

NMHC adalah senyawa hidrokarbon rantai pendek yang terdiri atas 2 – 12 atom karbon yang merupakan kelompok senyawa polutan udara di atmosfer yang penting karena sebagian besar memiliki sifat beracun dan karsinogen (Borbon dkk., 2006 dalam Ahmed dkk., 2015). Oksidasi fotokimia dari NMHC dapat menyebabkan pembentukan ozon dan pada akhirnya mempengaruhi waktu tinggal dari spesies gas telusur lainnya di troposfer (Platt dkk., 2013; Poisson dkk., 2000).

Oksidasi metan di troposfer oleh radikal hidroksil (OH) dengan adanya oksida nitrogen (NO_x) dalam konsentrasi yang cukup akan menghasilkan formaldehida (CH₂O), karbon monoksida (CO) dan ozon (O₃) (Wuebles dan Katharine., 2002). CO merupakan salah satu produk

senyawa karbon dan polutan utama yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna (Ahmed dkk., 2015). Keberadaan CO di udara ambien dalam konsentrasi tertentu dapat mengganggu kesehatan manusia. Hal ini dikarenakan hemoglobin memiliki daya ikat yang lebih tinggi terhadap CO daripada dengan oksigen (O_2). Selain itu CO juga berperan penting dalam proses fotokimia *smog* di atmosfer yaitu sebagai prekursor pembentukan ozon (Badr dan Probert. , 1994).

Berdasarkan data sensus penduduk tahun 2010 Kota Bandung memiliki kepadatan penduduk tertinggi se-Provinsi Jawa Barat yaitu sebesar 14.491 orang/km² (BPS, 2011 dalam Setyawati dkk., 2015). Pertambahan jumlah penduduk yang luar biasa dari tahun 1980 – 2010 yaitu sebesar $\pm 40\%$ (BPS, 2011 dalam Setyawati dkk., 2015) mengakibatkan peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang terdaftar di Kota Bandung yang sangat pesat yaitu 4,63% selama tahun 2010-2011 (BPS, 2011 dan BPS, 2012 dalam Setyawati dkk., 2015). 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% (BPS, 2011 dan BPS, 2012 dalam Setyawati dkk., 2015). Secara topografi Bandung berada pada wilayah cekungan yang dikelilingi oleh pegunungan sehingga memberikan kondisi iklim yang lembab dan sejuk. Kombinasi antara jumlah penduduk, jumlah kendaraan bermotor dan kondisi iklimnya yang unik membuat Kota Bandung menjadi sangat rentan mengalami penurunan kualitas udara.

Pengukuran konsentrasi hidrokarbon dan CO telah dilakukan di kota-kota besar di Amerika, Timur Tengah dan Asia dengan tujuan untuk melakukan pemantauan kualitas udara di wilayah tersebut (Blake dan Rowland, 1995; Chen dkk., 2001; Abdul-Wahab dan Al-Alawi, 2002; Barletta dkk., 2002; Chan dkk., 2006; Sahu dan Lal, 2006; Guo dkk., 2007; Baker dkk., 2008; Von Schneidemesser dkk., 2010; Kim dkk., 2013; Ahmed dkk., 2015). Beberapa hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa sejak tahun 1990-an konsentrasi CH_4 di Kota Meksiko (Meksiko) dan Santiago (Chili) telah berada diatas 2 ppmv (Blake dan Rowland, 1995; Chen dkk., 2001). Konsentrasi CH_4 di Karachi (Pakistan) malah telah berada diatas 6 ppmv (Barletta dkk., 2002).

Lain halnya dengan rata-rata konsentrasi CO di Kota Khaldiya, Kuwait telah mencapai nilai di atas 2,5 ppmv (Abdul-Wahab dan Al-Alawi, 2002). Mengingat pentingnya peran dari hidrokarbon dan CO terhadap kualitas udara dan pemanasan global maka LAPAN sejak

bulan Februari 2010 – Desember 2011 melakukan pengukuran konsentrasi THC, CH₄ dan NMHC di udara ambien secara kontinyu. Namun pada tahun 2012 pengukuran terpaksa dihentikan karena kerusakan pada instrumen dan kesulitan mencari *spare part* dan tenaga ahli yang dapat memperbaikinya. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku dari polutan-polutan di wilayah Bandung dan pengaruhnya terhadap konsentrasi THC di udara ambien dengan menggunakan metode statistik non-parametrik.

2 METODE PENELITIAN

Lokasi pengukuran berada di Kota Bandung (6,5° LS; 107,25° BT) yang terletak pada ketinggian 768 meter di atas permukaan laut (Gambar 1). 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.



Gambar 1. Lokasi pengukuran di kota Bandung

Data yang digunakan dalam analisis adalah data konsentrasi ambien THC, CO, NO, NO₂ dan SO₂ per-30 menit dalam satuan ppm (*by volume*) periode tahun 2010 – 2011. THC diukur menggunakan instrumen *hydrocarbon analyser* (Model APHA 370, Japan) berdasarkan metode *cross flow modulated selective combustion type* yang dikombinasi dengan metode *hydrogen ion detection*. Konsentrasi THC merupakan total dari konsentrasi CH₄ dan NMHC. Konsentrasi CO diukur menggunakan metode *non-dispersive cross modulation infra-red analysis* (Model APMA 370, Japan). Konsentrasi NO dan NO₂ diukur

menggunakan metode *a cross-flow modulated semi decompression chemiluminescence* (merek Horiba, model APNA 370, Jepang). Konsentrasi SO₂ diukur menggunakan metode *UV fluorescence* (merek Horiba, model APSA 370, Jepang).

Analisa statistik dilakukan dengan menggunakan *software IBM SPSS Statistics v.21*. Uji *one-sample* Kolmogorov-Smirnov terhadap residual digunakan untuk menguji distribusi normal dan homogenitas dari data rata-rata harian konsentrasi THC, CH₄, NMHC, CO, NO, NO₂, NO_x dan SO₂ periode tahun 2010-2011. Data dikatakan terdistribusi normal dan homogen jika nilai signifikansi dari Kolmogorov-Smirnov Z adalah lebih besar dari 0,05 dan sebaliknya. Metode non-parametrik Kendall's tau digunakan untuk mempelajari korelasi *bivariate* antara rata-rata harian konsentrasi THC terhadap CH₄, NMHC, CO, NO, NO₂, NO_x dan SO₂. Jika nilai koefisien korelasi mendekati 1 atau -1 maka hubungan semakin erat atau kuat, namun jika mendekati 0 maka hubungan semakin lemah seperti disajikan pada Tabel 1. *Freeware Make Sens* versi 1.0 (Finish Meteorological Institute, 2002) yang dikembangkan oleh Institut Meteorologi Finlandia digunakan untuk analisa non parametrik Mann-Kendall *time series* dan *Sen's slope* untuk rata-rata mingguan konsentrasi THC dan CO.

Tabel 1. Rentang nilai koefisien korelasi dan interpretasinya

Rentang nilai koefisien korelasi	Interpretasi
0,00 – 0,199	Sangat rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

Sumber: Sugiyono, 2007 dalam Priyatno, 2012.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi rata-rata tahunan THC, CO, NO, NO₂ dan SO₂ pada tahun 2010 dan 2011 disajikan pada Tabel 2. Data yang digunakan untuk perhitungan rata-rata tahunan merupakan data rata-rata konsentrasi harian dari masing-masing variabel. Rata-rata tahunan konsentrasi THC dan CO mengalami peningkatan dari tahun 2010 hingga 2011 masing-masing sebesar 4,03% dan 69,57%. Hal ini berkaitan dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Kota Bandung yaitu sebesar 106. 271 unit/tahun (BPS, 2007; BPS, 2015). Sedangkan rata-rata tahunan konsentrasi NO, NO₂ dan SO₂ mengalami

penurunan masing-masing sebesar 90,9%, 20,0% dan 85,0%. NO merupakan produk dari pembakaran pada temperatur tinggi, sedangkan NO₂ merupakan produk oksidasi lanjutan dari NO dan O₂ dengan reaksi sebagai berikut:



SO₂ merupakan produk dari pembakaran bahan bakar fosil yang banyak mengandung sulfur seperti solar. Komposisi solar 48 produksi Pertamina diketahui mengandung sulfur maksimum 0,35% m/m (ESDM, 2006a), sedangkan bensin 88 mengandung sulfur maksimum 0,05% m/m (ESDM, 2006b). Penurunan yang signifikan dari konsentrasi rata-rata tahunan ketiganya kemungkinan disebabkan oleh penurunan konsumsi bahan bakar jenis bensin dan solar di Kota Bandung yaitu masing-masing sebesar 15% dan 44% (BPS, 2007; BPS, 2015).

Tabel 2. Statistik deskriptif rata-rata tahunan Kota Bandung

Parameter	Tahun	
	2010	2011
THC (ppmv)	2,48 ^a ±0,15 ^b	2,58 ^a ±0,32 ^b
	2,11 ^c – 2,88 ^d	2,05 ^c – 5,31 ^d
	240 ^e	312 ^e
CH ₄ (ppmv)	1,08 ^a ±0,35 ^b	0,83 ^a ±0,48 ^b
	0,21 ^c -2,22 ^d	0,10 ^c -3,39 ^d
	240 ^e	312 ^e
NMHC (ppmv)	1,42 ^a ±0,21 ^b	1,81 ^a ±0,44 ^b
	0,69 ^c -2,02 ^d	0,84 ^c -3,50 ^d
	240 ^e	313 ^e
CO (ppmv)	0,23 ^a ±0,29 ^b	0,39 ^a ±0,39 ^b
	0,06 ^c – 4,85 ^d	0,007 ^c – 5,78 ^d
	287 ^e	283 ^e
NO (ppmv)	0,11 ^a ±0,13 ^b	0,01 ^a ±0,01 ^b
	0,004 ^c – 0,40 ^d	0,001 ^c – 0,18 ^d
	68 ^e	216 ^e
NO ₂ (ppmv)	0,05 ^a ±0,05 ^b	0,04 ^a ±0,03 ^b
	0,04 ^c – 0,40 ^d	0,001 ^c – 0,06 ^d
	43 ^e	203 ^e
NO _x (pmv)	0,06 ^a ±0,01 ^b	0,044 ^a ±0,027 ^b
	0,04 ^c -0,08 ^d	0,005 ^c -0,124 ^d
	42 ^e	211 ^e
SO ₂ (ppmv)	0,02 ^a ±0,06 ^b	0,003 ^a ±0,001 ^b
	0,00 ^c – 0,20 ^d	0,002 ^c – 0,01 ^d
	276 ^e	321 ^e

Keterangan: superskrip a = rata-rata, b = simpangan baku, c = minimum, d = maksimum, e = jumlah sampel

Perbandingan antara hasil pengukuran rata-rata tahunan konsentrasi THC, CH₄, NMHC dan CO di udara ambien di Kota Seoul (Korea Selatan) tahun 2010-2011 dengan Kota Bandung (Indonesia) disajikan pada Tabel 3. Rata-rata tahunan konsentrasi CH₄ di Kota Bandung tahun 2010-2011 adalah 0,94 ± 0,44 ppmv atau lebih rendah dibandingkan Kota Seoul. Hal ini mengindikasikan bahwa *Global Warming Potential* (GWP) untuk parameter CH₄ di Kota Bandung adalah lebih rendah dibanding Kota Seoul. Selain itu rata-rata tahunan konsentrasi CO di Kota Bandung sebesar 0,31 ± 0,35 ppmv adalah juga lebih rendah dibandingkan Kota Seoul, namun demikian untuk rata-rata tahunan konsentrasi NMHC dan THC di Kota Bandung yaitu berturut-turut sebesar 1,64 ± 0,41 ppmv dan 2,53 ± 0,26 ppmv adalah lebih tinggi jika dibandingkan Kota Seoul. Hal ini perlu diwaspadai karena dampak buruk senyawa THC dan NMHC terhadap kesehatan manusia.

Tabel 3. Perbandingan konsentrasi hidrokarbon dan CO tahun 2010-2011 di Kota Bandung dan kota lainnya di Korea Selatan

Lokasi studi	THC (ppmv)	CH ₄ (ppmv)	NMHC (ppmv)	CO (ppmv)
Guro, Seoul, Korea Selatan ¹⁰	2,44a ± 0,29b	2,14a ± 0,17b	0,30a ± 0,17b	0,61a ± 0,23b
	1,98c – 3,79d 722e	1,82c – 2,99d 722e	0,03c – 1,32d 722e	0,24c – 2,09d 723e
Nowon, Seoul, Korea Selatan ¹⁰	2,50a ± 0,25b	2,18a ± 0,22b	0,32a ± 0,07b	0,47a ± 0,25b
	1,89c – 3,45d 699d	1,50c – 2,91d 699e	0,18c – 0,71d 699e	0,11c – 2,33d 723e
Kota Bandung, Indonesia	2,53a±0,26b	0,94a±0,44b	1,64a±0,41b	0,31a±0,35b
	2,05c – 5,31d 552e	0,10c-3,39d 552e	0,69c- 3,5d 553e	0,01c – 5,78d 570e

Keterangan: superskrip a = rata-rata, b = simpangan baku, c = minimum, d = maksimum, e = jumlah sampel (Sumber: Kim dkk. (2013))

Tabel 4 menyajikan hasil uji normalitas terhadap data pengukuran rata-rata harian bulan Januari 2010 – Desember 2011 untuk variabel THC, CH₄, NMHC, CO, NO, NO₂, NO_x dan SO₂ menggunakan uji *one-sample* Kolmogorov-Smirnov. Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa hasil uji normalitas untuk nilai kepercayaan

95% memberikan hasil nilai signifikansi (p) = 0,000 untuk semua polutan, kecuali untuk CH₄. Hasil pengujian normalitas memberikan nilai $p \leq 0,05$, kecuali untuk CH₄, maka dapat disimpulkan bahwa distribusi data rata-rata harian polusi udara di Kota Bandung tahun 2010-2011 adalah tidak normal, kecuali untuk CH₄ yang memiliki sebaran normal

Tabel 4. Hasil uji normalitas menggunakan uji *one-sample* Kolmogorov-Smirnov

Parameter	Kolmogorov-Smirnov Z	p
THC (ppmv)	2,495	0,000
CH ₄ (ppmv)	0,877	0,425
NMHC (ppmv)	2,985	0,000
CO (ppmv)	5,339	0,000
NO (ppmv)	7,129	0,000
NO ₂ (ppmv)	3,767	0,000
NO _x (ppmv)	3,568	0,000
SO ₂ (ppmv)	12,213	0,000

Tabel 5 menyajikan hasil uji homogenitas terhadap data pengukuran rata-rata harian bulan Januari 2010 – Desember 2011 untuk variabel THC, CH₄, NMHC, CO, NO, NO₂, NO_x dan SO₂ menggunakan uji *one-sample* Kolmogorov-Smirnov. Hasil uji homogenitas untuk nilai kepercayaan 95% semuanya memberikan hasil nilai signifikansi (p)=0,000. Dikarenakan semua hasil pengujian homogenitas memberikan nilai $p \leq 0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa distribusi data rata-rata harian polusi udara di Kota Bandung tahun 2010-2011 adalah tidak homogen.

Tabel 5. Hasil uji homogenitas menggunakan uji *one-sample* Kolmogorov-Smirnov

Parameter	Kolmogorov-Smirnov Z	p
THC (ppmv)	15,653	0,000
CH ₄ (ppmv)	11,614	0,000
NMHC (ppmv)	8,834	0,000
CO (ppmv)	20,602	0,000
NO (ppmv)	13,805	0,000
NO ₂ (ppmv)	13,221	0,000
NO _x (ppmv)	5,917	0,000
SO ₂ (ppmv)	22,311	0,000

Berdasarkan hasil uji normalitas dan homogenitas diketahui bahwa distribusi data rata-rata harian polusi udara di Kota Bandung tahun 2010-2011 adalah tidak normal dan tidak homogen oleh sebab itu maka digunakan analisis non-parametrik untuk korelasi *bivariate*

antar variabel yaitu korelasi Kendall's tau. Analisis non-parametrik atau disebut juga metode *distribution-free* tidak membutuhkan pengetahuan mengenai distribusi dari populasi kecuali data harus kontinyu (Walpole dkk., 2012).

Tabel 6. Nilai koefisien korelasi bivariate Kendall's tau (satuan konsentrasi dalam ppmv)

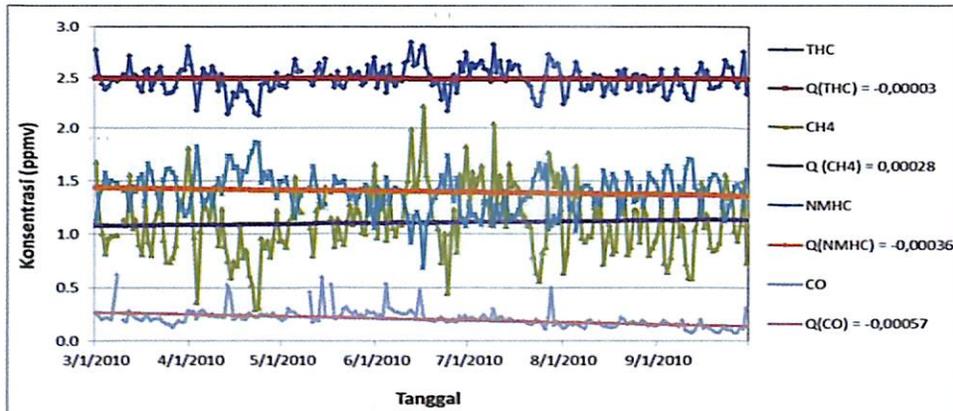
	THC	CH ₄	NMHC	CO	NO	NO ₂	NOx	SO ₂
THC	1,000	0,462**	-0,219**	0,253**	0,118**	0,457**	0,515**	0,211**
CH ₄		1,000	-0,745**	0,060*	0,409**	-0,164**	0,008	0,079**
NMHC			1,000	0,051	-0,332**	0,328**	0,171**	0,040
CO				1,000	-0,077	0,043	0,024	0,255**
NO					1,000	-0,060	0,212**	0,239**
NO ₂						1,000	0,705**	-0,058
NOx							1,000	-0,041
SO ₂								1,000

**Korelasi signifikan pada level 0,01 (2-arah)

*Korelasi signifikan pada level 0,05 (2-arah)

Korelasi Kendall's tau digunakan untuk melakukan analisa korelasi bivariate untuk mengetahui hubungan antar variabel. Berdasarkan hasil korelasi pada Tabel 6 diketahui bahwa terdapat korelasi yang signifikan antara THC dengan CH₄, NMHC, CO, NO, NO₂, NOx dan SO₂ ($p < 0,01$). Hal ini menunjukkan adanya kesamaan karakteristik sumber emisi senyawa-senyawa tersebut dan adanya pengaruh yang signifikan terhadap rosot dari THC baik secara langsung maupun tidak langsung. Baik THC, CO, NO, NO₂, NOx dan SO₂ kesemuanya memiliki peran dalam pembentukan polutan sekunder yaitu ozon di atmosfer.

Analisa non parametrik Mann-Kendall's *time series* dan Sen's *slope* digunakan untuk mengetahui tren linear dari rata-rata harian konsentrasi THC, CH₄, NMHC dan CO di Kota Bandung dari tanggal 1 Juni 2010 – 31 Mei 2011 menggunakan MakeSens versi 1,0. Gambar 2 menunjukkan grafik dari tren linear untuk senyawa karbon. Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa rata-rata harian konsentrasi THC, NMHC dan CO mengalami tren penurunan berturut-turut sebesar 0,00003; 0,00036 dan 0,00057 ppmv/hari selama periode 1 Juni 2010 – 31 Mei 2011. Sebaliknya rata-rata harian konsentrasi CH₄ mengalami peningkatan sebesar 0,00028 ppmv/hari. Hal ini perlu diwaspadai mengingat potensi pemanasan global (*Global Warming Potential, GWP*) dari CH₄ yaitu 24 kali lebih besar daripada CO₂.



Gambar 2. Tren rata-rata harian senyawa karbon di Kota Bandung beserta nilai Sen's slopenya (Q)

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil korelasi Kendall's tau diketahui bahwa terdapat korelasi yang signifikan antar senyawa karbon THC dengan CH₄, NMHC, CO, NO, NO₂, NO_x dan SO₂ ($p < 0,01$). Hal ini menunjukkan adanya kesamaan karakteristik sumber emisi senyawa-senyawa tersebut dan adanya pengaruh yang signifikan terhadap rosot dari THC baik secara langsung maupun tidak langsung. Berdasarkan hasil analisa *time series* menggunakan metode statistik non-parametrik Mann-Kendall's *time series* dan Sen's *slope* diketahui bahwa selama periode 1 Juni 2010 – 31 Mei 2011 rata-rata harian konsentrasi THC, NMHC dan CO mengalami tren penurunan dan sebaliknya untuk rata-rata harian konsentrasi CH₄ mengalami peningkatan. Hal ini perlu diwaspadai mengingat potensi pemanasan global (*Global Warming Potential*, GWP) dari CH₄ yaitu 24 kali lebih besar daripada CO₂.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya tujukan kepada Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN yang telah memberikan ijin penggunaan data AQMS guna penulisan makalah ini.

DAFTAR RUJUKAN

Abdul-Wahab, S. A. , S. M. Al-Alawi, 2002: Assessment and prediction of tropospheric ozone concentration levels using artificial neural

- networks. *Environ. Model Softw.* 17, 219–22 pp.
- Ahmed, E., K. Ki-Hyun, J. Eui-Chan, J. C. B. Richard, 2015: Long term trends of methane, non methane hydrocarbon and carbon monoxide in urban atmosphere. *Science of the Total Environment.* 516 – 519: 595 – 604
- Bäckstrand, K., P. M. Crill, M. Mastepanov, T. R. Christensen, D. Bastviken, 2008: Total hydrocarbon flux dynamics at a subarctic mire in northern Sweden. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* 2005–2012, 113.
- Badr, O dan Probert, S. D. , 1994: Carbon-Monoxide Concentration in the Earth's Atmosphere. *Applied Energy.* 49: 99 – 143 pp
- Baker, A. K., A. J. Beyersdorf, L. A. Doezema, A. Katzenstein, S. Meinardi, I. J. Simpson, D.R. Blake, F.S. Rowland, 2008: Measurements of nonmethane hydrocarbons in 28 United States cities. *Atmos. Environ.* 42, 170–182 pp.
- Barletta, B., S. Meinardi, I. J. Simpson, H. A. Khwaja, D. R. Blake, F. S. Rowland, 2002: Mixingratios of volatile organic compounds (VOCs) in the atmosphere of Karachi, Pakistan. *Atmos. Environ.* 36, 3429–3443 pp.
- Blake, D. R. and F. S. Rowland, 1995: Urban Leakage of liquified Petroleum Gas and Its Impact on Mexico City air Quality. *Science*, 269, 953-956 pp
- BPS, 2007: Bandung dalam Angka 2007. BPS
- BPS, 2015: Kota Bandung dalam Angka 2015. BPS
- Chan, L. Y. , K. W. Chu, S. C. Zou, C. Y. Chan, X. M. Wang, B. Barletta, D. R. Blake, H. Guo, W.Y. Tsai, 2006: Characteristics of nonmethane hydrocarbons (NMHCs) in industrial, industrial-urban, and industrial-suburban atmospheres of the Pearl River Delta (PRD) region of south China. *J. Geophys. Res. Atmos.* 1984–2012, 111.
- Chen, T. Y. , I. J Simpson, D. R. Blake, F. S. Rowland, 2001: Impact of the leakage of liquefied petroleum gas (LPG) on Santiago air quality. *Geophys. Res. Lett.* 28, 2193–2196 pp.
- Chen, S. -P. , W. -C. Liao, C. -C. Chang, Y. -C. Su, Y. -H. Tong, J. S. Chang, J. -L. Wang, 2014: Network monitoring of speciated vs. total non-methane hydrocarbon measurements. *Atmos. Environ.* 90, 33–42.
- ESDM, 2006a: Spesifikasi Bahan Bakar Minyak jenis Solar 48. Lampiran Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 3675 K/24/DJM/2006, tanggal 17 Maret 2006.
- ESDM, 2006b: Spesifikasi Bahan Bakar Minyak jenis Bensin 88.

- Lampiran Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 3674 K/24/DJM/2006, tanggal 17 Maret 2006.
- Finish Meteorological Institute, 2002: MakeSens versi 1,0. www.ilmanlaatu.fi, diunduh pada bulan Juni 2016
- Guo, H. , So, K. , I. Simpson, B. Barletta, S. Meinardi, D. Blake, 2007: C1–C8 volatile organic compounds in the atmosphere of Hong Kong: overview of atmospheric processing and source apportionment. *Atmos. Environ.* 41, 1456–1472 pp.
- Kim, K. -H. , H. -O. Yoon, R. J. Brown, E. -C. Jeon, J. -R. Sohn, K. Jung, C. -G. Park, I. -S. Kim, 2013: Simultaneous monitoring of total gaseous mercury at four urban monitoring stations in Seoul, Korea. *Atmos. Res.* 132, 199–208 pp.
- Platt, S., I. E. Haddad, A. Zardini, M. Clairotte, C. Astorga, R. Wolf, J. Slowik, B. Temime-Roussel, N. Marchand, I. Ježek, 2013: Secondary organic aerosol formation from gasoline vehicle emissions in a new mobile environmental reaction chamber. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 9141–9158.
- Poisson, N., M. Kanakidou, P.J. Crutzen, 2000: Impact of non-methane hydrocarbons on tropospheric chemistry and the oxidizing power of the global troposphere: 3- dimensional modelling results. *J. Atmos. Chem.* 36, 157–230.
- Priyatno, D., 2012: *Belajar Praktis Analisis Parametrik dan Non Parametrik dengan SPSS*. Gava Media, Yogyakarta
- Sahu, L., S. Lal, 2006: Distributions of C2–C5 NMHCs and related trace gases at a tropical urban site in India. *Atmos. Environ.* 40, 880–891pp.
- Setyawati, W., S. Hamdi, Mulyono, Suparno, 2015: Variabilitas Temporal Total Hidrokarbon dan Karbon Monoksida di Udara Ambien Perkotaan (Studi Kasus: Kota Bandung), Prosiding Seminar Nasional Sains dan Atmosfer.
- Von Schneidemesser, E., P. S. Monks, C. Plass-Duelmer, 2010: Global comparison of VOC and CO observations in urban areas. *Atmos. Environ.* 44, 5053–5064 pp.
- Walpole, R. E., R. H. Myers, S. L. Myers, K. Ye, 2012: *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*. Pearson Education Inc. , 655 pp.
- Wuebles, D. J dan H. Katharine, 2002: Atmospheric Methane and Global Change. *Earth-Science Reviews.* 57 : 177 – 210 pp.