

ANALISIS VARIASI DIURNAL OZON DAN PRECURSORNYA PADA MUSIM KEMARAU DAN MUSIM HUJAN DI BANDUNG

Afif Budiyono, Saipul Hamdi, Ninong Komala, Sumaryati
Peneliti Bidang Sains Atmosfer dan Aplikasinya, LAPAN
Email : afifbd@yahoo.com, afifbd@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

The ambient concentration of NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$), CO were measured continuously since the early year of 2008 in Bandung ($06^\circ, 54'' \text{ S}, -107^\circ, 35'' \text{ E}$, 762 m MSL). These measurements are part of improvement capacity building program for monitoring of ambient air quality, while the ambient concentration of ozone was continuously measured since year of 1985. The dry and wet season data of ozone and their precursor $\text{NO}_x = (\text{NO} + \text{NO}_2)$ and CO in 2008 were analyzed. The NO_x and CO diurnal variation showed with peak in the morning (06:30 – 07:30) and in the evening (19:00 – 21:00). These peaks showed the character correspond to the photochemistry of formation and destruction of O_3 . The overall average of NO_x , NO, NO_2 , CO and O_3 were found NO_x : 25,18 ppbv, NO : 11,35 ppbv, NO_2 : 13,81 ppb CO : 1104 ppbv and O_3 : 23,67 ppbv in dry season and NO_x : 19,23 ppbv, NO : 8,89 ppbv, NO_2 : 10,14 ppbv CO : 930 ppbv and O_3 : 20,91 ppbv in wet season respectively. The typical diurnal variation of O_3 with maximum concentration in the 12:00 PM. for dry season to be 54,65 ppbv and 36,51ppbv in 11:00 AM for wet season. The minimum concentration in early morning around 05:00 AM in dry season is about 11.71 ppbv, and 9,24 ppbv in 01:00 AM for wet season. The increasing O_3 during the morning hours coincides with the decrease in NO concentration, the decrease in O_3 concentration in the evening probably is the result of dry deposition under the subsiding boundary layer and titration with NO, and due to the weak of photochemistry in the evening. The CO concentration background to the NO_x in dry season was found, about 219,74 ppbv great than CO concentration background in wet season is about 176,86 ppbv, with coefficient correlation great than 90 % for both in dry and wet season.

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran konsentrasi NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) dan CO ambien secara kontinyu sejak awal tahun 2008 di Bandung ($06^\circ, 54'' \text{ S}, -107^\circ, 35'' \text{ E}$, 762 m DPL). Pengukuran ini merupakan bagian dari program pengembangan kapasitas pemantauan kualitas udara ambien, sementara pengukuran konsentrasi ozon ambien telah dilakukan secara kontinyu sejak

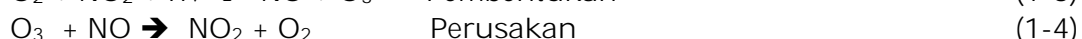
tahun 1985. Analisis data ozon dan prekursoranya, NO_x (NO +NO₂) serta CO tahun 2008 untuk musim kemarau dan musim hujan juga dilakukan. Diperoleh puncak konsentrasi variasi diurnal NO_x dan CO terjadi pada pagi hari antara pukul 06.30-07.30 WIB, dan sore hari antara pukul 19.00-21.00 WIB, puncak konsentrasi ini menggambarkan karakter hubungan fotokimia proses pembentukan dan perusakan ozon.

Secara berturut-turut diperoleh nilai konsentrasi rata-rata NO_x, NO, NO₂, CO dan O₃, NO_x: 19,23 ppbv, NO: 8,89 ppbv, NO₂: 10,14 ppbv CO: 930 ppbv dan O₃: 20,91 untuk musim kemarau dan NO_x: 25,18 ppbv, NO: 11,35 ppbv, NO₂: 13,81 ppb CO: 1104 ppbv and O₃: 23,67 ppbv untuk musim hujan. Nilai maksimum konsentrasi O₃ mencapai 54,65 ppbv pada pukul 12.00 WIB di musim kamarau dan 36,51 ppbv pada pukul 11.00 WIB di musim hujan, sementara nilai minimum konsentrasi terjadi pada awal pagi hari sebesar 9,24 ppbv pada pukul 05.00 WIB pagi untuk musim kamarau dan sebesar 11,7 ppbv pada pukul 01.00 WIB untuk musim hujan. Terjadinya peningkatan konsentrasi O₃ sepanjang pagi hari bertepatan dengan penurunan konsentrasi NO karena proses fotolisis, sementara penurunan kosentrasi O₃ pada sore hari kemungkinan merupakan hasil dari proses deposisi kering bersamaan dengan penurunan lapisan batas dan adanya tritrasi dengan NO, karena melemahnya proses photokimia sepanjang sore hari. Diperoleh nilai *background* konsentrasi CO terhadap NO_x pada musim kemarau sebesar 219,74 ppbv, sementara nilai *background* konsentrasi CO pada musim hujan sebesar 176,86 ppbv, dengan koefisien korelasi lebih besar dari 90 % untuk kedua musim baik musim kemarau maupun musim hujan.

Kata Kunci: *Ozon, Precursor ozon, Variasi diurnal, Laju fotolisis, Fotokimia*

1 PENDAHULUAN

Oksida nitrogen (NO_x = NO + NO₂) merupakan komponen penting dalam polusi udara, oksida nitrogen dihasilkan dari aktifitas antropogenik, baik dari sumber tetap yaitu dari proses pembakaran bahan bakar fosil industri, sumber bergerak dan sumber alamiah seperti petir dan tanah (Ismail, 1993, Aneja, 1984, Aneja. Et.al, 1977). Sementara ozon (O₃) tidak diemisikan atau dihasilkan secara langsung dari sumbernya, tetapi terbentuk di atmosfer melalui reaksi kimia yang meliputi gas organik yang reaktif (ROG), oksida nitrogen (NO_x) dan karbon monoksida (CO) (Jana, 1994), sebagaimana reaksi berikut:



Pada kondisi stasioner, maka: pembentukan = perusakan.

Dalam kondisi setimbang dinamis:

$$j[\text{NO}_2] = k[\text{O}_3][\text{NO}] \quad (1-5)$$

dimana j = Laju fotolisis NO_2

$$j = k[\text{O}_3][\text{NO}] / [\text{NO}_2] \quad (1-6)$$

k adalah konstanta laju reaksi antara NO dan ozon, $k = 2,0 \times 10^{-12} \exp(-1370/T)$ ($\text{cm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$) dan j adalah laju fotolisis NO_2 .

$J[\text{NO}_2] = 0,0133 \times \exp(-0,254 \sec(z)) \text{ s}^{-1}$. $\sec(z) = 1 / \cos(z)$ and $\cos(z) = \sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos w$, w = sudut zenith matahari, ϕ = lintang, δ = deklinasi. NO akan terkonversi kembali menjadi nitrogen dioksida (NO_2) melalui reaksi dengan peroxy radikal (RO_2) atau ozon (O_3). RO_2 sebagian besar dihasilkan dari reaksi hydroxyl radikal (OH) dengan hidrokarbon reaktif, karbon monoksida (CO) dan fotolisis aldehyde, baik secara alamiah maupun antropogenik.

Keberadaan NO_2 di atmosfer akan terfotolisis menjadi nitrogen monoksida (NO) dan atom oksigen (O), atom oksigen yang dihasilkan akan bereaksi dengan molekul oksigen membentuk ozon (O_3). Sementara karbon monoksida dan hidrokarbon akan dikonsumsi dalam proses reaksi, dengan NO_x sebagai katalisatornya.

Pada atmosfer perkotaan, reaksi hydroperoxyl radikal (HO_2) dengan NO akan menghasilkan OH radikal dan akan berkontribusi dalam kenaikan nilai konsentrasi OH radikal dengan adanya formaldehyde, NO dan radiasi matahari, sementara sumber utama HO_2 di atmosfer perkotaan selama malam hari kemungkinan karena fotolisis formaldehyde (Aneja, et al, 1997).

Pengukuran konsentrasi ambien NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$), CO telah dilakukan secara kontinyu sejak tahun 2008 hingga sekarang, sementara pengukuran ozon telah dilakukan sejak tahun 1985. Tujuan dari pengukuran ini untuk mengetahui karakteristik dan variabilitas jangka panjang, baik ozon maupun prekursoranya. Dalam paper ini juga dihitung dan dibahas variasi diurnal dan korelasi antara ozon dan prekursoranya ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) dan CO dengan menggunakan metode statistik.

2 METODOLOGI

2.1 Instrumentasi

Pemantauan konsentrasi ambien NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$), CO dan O_3 sebagaimana pula parameter meteorologi (temperatur, kecepatan angin, arah angin dan radiasi global) telah dilakukan secara kontinyu, pipa sampel udara peralatan dipasang pada ketinggian 6 meter di atas permukaan tanah dan dialirkan dalam sistem pengukur, seluruh instrumen pengukur NO_x , CO , dan ozon dipasang dalam ruangan laboratorium yang dikontrol temperaturnya. Konsentrasi NO dan NO_2 diukur secara simultan dengan menggunakan alat APNA NO_x monitor merk Horiba.

Sistem kerja APNA-370 NO_x menggunakan metode *Cross Modulation Chemiluminescence* (CLD). Ketika konsentrasi ozon bertambah pada sampel gas yang mengandung oksida nitrogen (NO_x), bagian dari nitrogen monoksida yang ada pada sampel udara akan teroksidasi menjadi NO₂. Beberapa dari NO₂ akan tereksitasi menjadi NO₂*.

Ketika ozon ditambahkan dalam sampel gas yang mengandung oksida nitrogen (NO_x), bagian dari nitrogen monoksida di dalam sampel tersebut akan teroksidasi menjadi nitrogen dioksida (NO₂). Beberapa hasil NO₂ tereksitasi menjadi NO₂*, dan memancarkan cahaya dalam proses de-eksitasinya. Fenomena emisi cahaya ini disebut *chemiluminescence*.



Reaksi ini sangat cepat dan hanya meliputi NO, dan berdampak kecil dengan keberadaan gas lain. Ketika konsentrasi NO rendah, intensitas cahaya sebanding dengan konsentrasi NO. Pengukuran konsentrasi NO dengan menggunakan metode reaksi seperti ini dikenal dengan metode *Chemiluminescence* (CLD Method).

Sampel gas dari udara luar dibagi menjadi dua aliran: yang pertama digunakan untuk mengukur konsentrasi NO_x (NO + NO₂) dengan mereduksi NO₂ menjadi NO dengan menggunakan konverter NO_x, dan aliran yang kedua digunakan untuk mengukur NO secara langsung. Sampel gas ini di atur secara otomatis baik untuk NO_x, NO dan untuk aliran gas referensi, pengaturannya setiap 0,5 detik dengan menggunakan katup selenoid, dan gas dimasukkan kembali kedalam tabung reaksi. Di sisi lain, udara luar diisap terpisah melalui filter, dikeringkan dengan menggunakan silika gell dan digunakan untuk membetuk ozon (O₃) dengan *ozonizer*. Kemudian generator ozon akan memasukkan ozon ke tabung reaksi, dalam tabung reaksi sampel udara dan ozon akan bereaksi, dan cahaya emisi yang meliputi reaksi tersebut akan diukur dengan *photodiode*, kemudian secara otomatis alat ini akan menghitung konsentrasi NO, NO₂, NO_x yang diperoleh dari keluaran *photodiode*, yang mana konsentrasi NO_x, NO proposional dengan sinyal keluaran yang dihasilkan secara kontinyu.

Konsentrasi karbon monoksida (CO) diukur dengan menggunakan alat Horiba tipe APMA-370, metode pengukuran karbon monoksida (CO) ini menggunakan sistem *Non-Dispersive Infrared* (NDIR).

Minimum deteksi untuk NO_x adalah 0,5 ppbv (2δ) untuk range 0,2 ppmv atau lebih kecil dan minimum deteksi untuk CO adalah 0,05 ppmv (2δ) untuk range 10 ppmv atau lebih kecil, sementara untuk resolusi ozon adalah 1 ppbv.

Instrumen ozon *Dylec model 1006 AHJ*, digunakan untuk pengukuran konsentrasi ozon ambien secara kontinyu, sistem kerjanya berdasarkan atas teknik absorpsi ultraviolet, dengan lisensi peralatan dari Dasibi INC. Dengan siklus waktu pengukuran ozon berkisar antara 12 detik (T.ogawa and Ninong Komala, 1989).

Satuan pengukuran konsentrasi oksida nitrogen dan ozon yang digunakan dalam unit ppbv (part per billion by volume), sementara satuan pengukuran untuk karon monoksid adalah ppmv(part per million by volume).

2.2 Lokasi Pemantauan

Lokasi pemantauan NO_x ($\text{NO}_2 + \text{NO}$), CO dan ozon, serta parameter meteorologi berada di Kantor Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer dan Iklim – LAPAN Bandung, pada koordinat stasiun $06^{\circ},54''$ S, $107^{\circ},35''$ E, 762 m dari permukaan laut. Titik lokasi pemantauan berada pada jarak 300 meter arah timur laut dari jalan DR. Djundjunaan, atau kurang lebih 1 km dari pintu tol Pasteur, dengan lingkungan sekelilingnya adalah gedung perkantoran, pusat perbelanjaan dan beberapa bagian perumahan.

2.3 Data Analisis

Analisis data ozon dan prekursoranya hanya dilakukan untuk data-data pada musim kemarau dan musim hujan dengan periode pengukuran tahun 2008. Data rata-rata pukul-an dihitung dan dianalisis guna mempelajari dan menganalisis karakteristik variasi diurnal serta hubungan ozon dan prekursoranya. Nilai rata-rata, standar deviasi dan range konsentrasi NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) CO dan O_3 selama musim kemarau dan musim hujan serta parameter meteorologi juga disajikan dalam tabel.

3 HASIL DAN DISKUSI

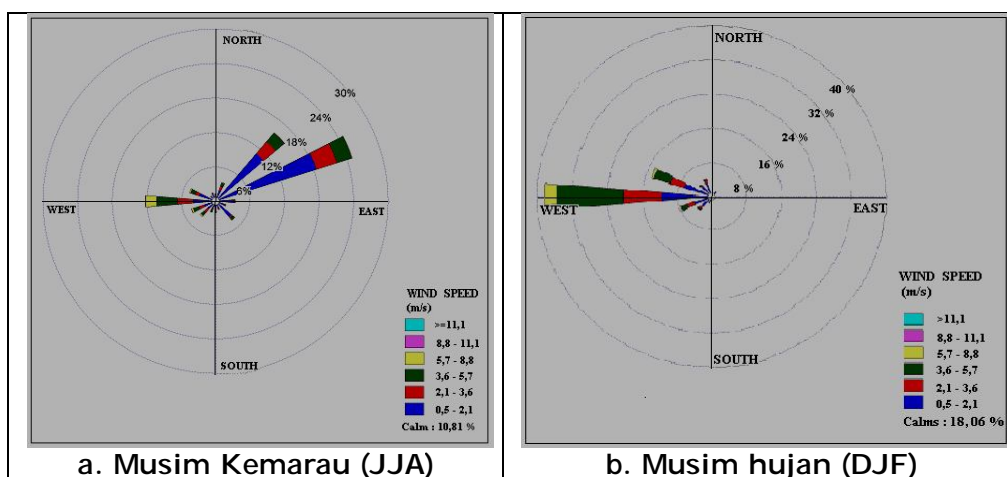
3.1 Variasi Diurnal Ozon dan Prekursoranya

Telah diperoleh nilai rata-rata harian konsentrasi NO_x , NO, NO_2 , CO dan O_3 sebesar 25,18 ppbv, 11,35 ppbv, 13,81 ppb 1104 ppbv and 23,67 ppbv pada musim kemarau dan 19,23 ppbv, 8,89 ppbv, 10,14 ppbv 930 ppbv pada musim hujan. Data parameter meteorologi menunjukkan bahwa nilai rata-rata temperatur pada musim kemarau relatif lebih tinggi dibanding musim hujan, yaitu $23,67^{\circ}\text{C}$ pada musim kemarau dan $23,17^{\circ}\text{C}$ pada musim hujan, dominan arah angin berasal dari antara timur dan timur laut (ENE) pada musim kemarau, sementara pada musim hujan berasal dari arah barat (West). Dengan *range* kecepatan angin 0 – 6,3 m/dt pada musim kemarau dan 0 – 8,5 m/dt pada musim hujan (Tabel 3-1 dan Gambar 3-1)

Tabel 3-1: RINGKASAN ANALISIS STATISTIK KONSENTRASI NO_x , NO, NO₂, CO, O₃ DAN PARAMETER METEOROLOGI YANG DIUKUR DI BANDUNG, PADA MUSIM KEMARAU DAN MUSIM HUJAN TAHUN 2008

Musim		NO _x (ppbv)	NO (ppbv)	NO ₂ (ppbv)	CO (ppbv)	O ₃ (ppbv)	Temp (°C)	Kec Angin (m/dt)	Arah Angin
Kemarau	Rata 2	19,23	8,89	10,14	930	20,91	23,17	2,5	270°
	S.D.*	17,02	12,90	6,85	660	16,35	2,1	1,7	
	Range	0 - 144,3	0 - 95,4	0 - 52,1	160 - 5240	4,0 - 100	19,3 - 30,4	0 - 8,5	
Hujan	Rata 2	25,13	11,35	13,81	1100	24,85	23,67	1,2	67,5°
	S.D.*	17,08	13,4	6,53	630	19,34	3,2	1,1	
	Range	2,7 - 153,9	0,071 - 117,5	1,2 - 55,4	285 - 9340	1,0 - 100	17,0 - 33,3	0 - 6,3	

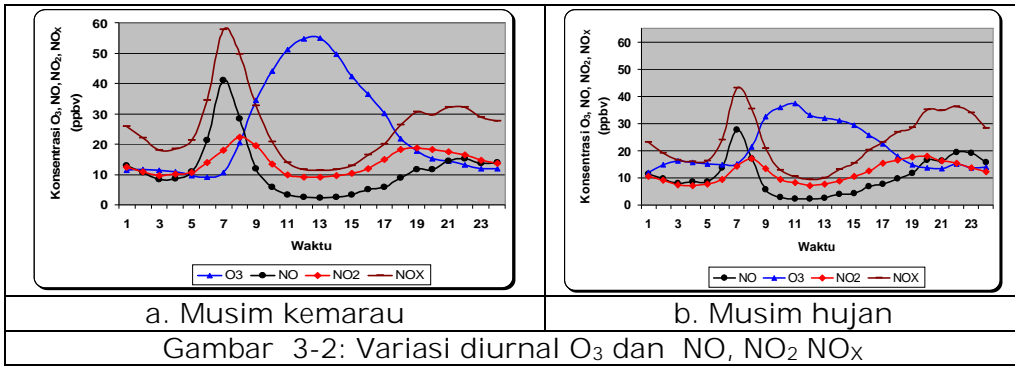
S.D = Deviasi standar



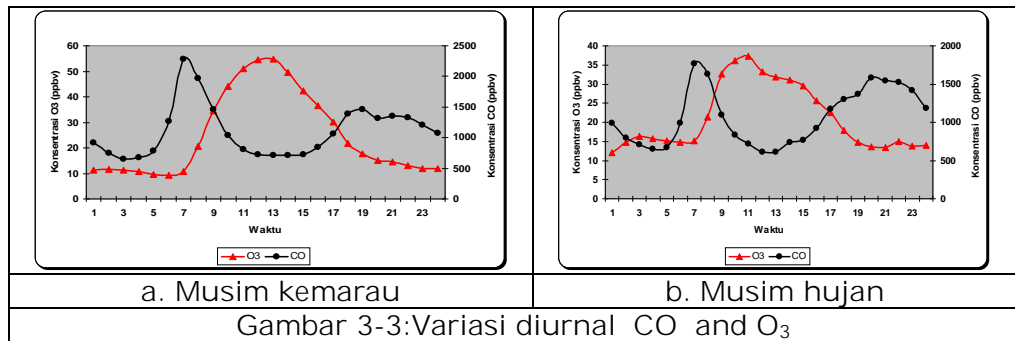
Gambar 3-1: Wind rose pada musim kemarau dan musim hujan

Untuk mengetahui tentang fotokimia, maka nilai rata-rata konsentrasi O₃ dan prekursoranya serta variasi diurnal dapat memberikan informasi hubungan aktifitas fotokimia dan produksi polutan turunan seperti ozon (O₃).

Gambar 3-2 and 3-3. menunjukkan variasi diurnal yang saling berlawanan antara ozon (O₃) dan prekursoranya NO, NO₂, NO_x, CO baik pada musim kemarau dan musim hujan. Selama siang hari, konsentrasi ozon (O₃) akan meningkat dan maksimum pada tengah hari, sebagai hasil proses fotolisis, hal ini terjadi karena adanya proses reaksi prekursor ozon dengan kehadiran sinar matahari dan bereaksi dengan molekul oksigen membentuk polutan sekunder O₃, proses ini biasanya disebut sebagai reaksi fotokimia.



Gambar 3-2: Variasi diurnal O₃ dan NO, NO₂ NO_x



Gambar 3-3: Variasi diurnal CO and O₃

Tipe variasi diurnal O₃ mempunyai nilai maksimum konsentrasi sebesar 54,65 ppbv pada pukul 12.00 WIB siang untuk musim kemarau dan sebesar 36,51 ppbv pada pukul 11.00 WIB siang untuk musim hujan. Sementara nilai minimum konsentrasi terjadi pada pagi hari, pukul 05.00 WIB sebesar 9,56 ppbv pada musim kemarau dan sebesar 11,71 ppbv pada pukul 01:00 untuk musim hujan.

Terjadinya peningkatan konsentrasi O₃ selama pukul-pukul pagi hari, hal ini bertepatan dengan penurunan konsentrasi NO, terjadinya penurunan konsentrasi O₃ pada sore hari kemungkinan sebagai hasil dari proses deposisi kering di bawah lapisan batas dan adanya titrasi dengan NO, serta karena adanya pelemahan proses fotokimia pada sore hari.

Rata-rata konsentrasi maksimum harian O₃ pada musim kemarau lebih besar dibandingkan rata-rata konsentrasi maksimum harian O₃ pada musim hujan, hal ini terjadi karena optimumnya proses fotolisis di musim kemarau dibandingkan pada musim hujan dan relatif tingginya konsentrasi ozon sepanjang musim kemarau dibandingkan musim hujan. Rendahnya rata-rata maksimum harian konsentrasi prekursor ozon pada musim hujan lebih disebabkan oleh adanya proses pencucian atmosfer oleh air hujan.

Nilai puncak konsentrasi NO_x, NO, NO₂ and CO terjadi pada pagi hari dengan waktu yang sangat pendek sekitar pukul 07.00 WIB. Berturut-turut nilai rata-rata maksimum harian NO_x, NO, NO₂ and CO adalah 58,84 ppbv,

40,96 ppbv, 19,09 ppbv and 2396,17 ppbv untuk musim kemarau, dan 35,12 ppbv, 21,32 ppbv, 13,58 ppbv and 1585,30 ppbv untuk musim hujan.

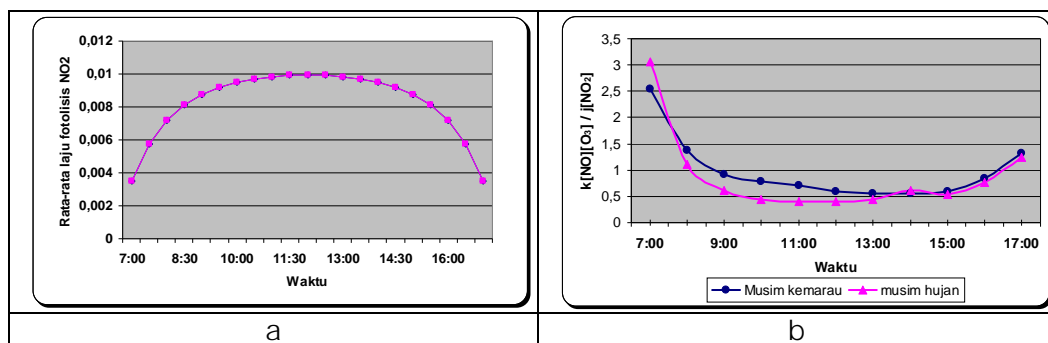
Peningkatan konsentrasi NO, NO₂ dan CO selama pagi hari, kemungkinan lebih disebabkan karena proses konveksi, dan sebaliknya penurunannya karena proses fotolisis (Gambar 3-2 dan Gambar 3-3).

Rendahnya konsentrasi NO dibandingkan konsentrasi NO₂ selama siang hari, terjadi karena adanya proses fotokimia, seperti NO bereaksi dengan *peroxy* radikal, yang terbentuk kebanyakan dari hasil oksidasi CO dan hidrokarbon oleh OH dan dikonversi menjadi NO₂.

Di sisi lain, sepanjang malam hari tidak ada proses fotokimia dan kondisi atmosfer relatif stabil, penurunan konsentrasi NO terpantau dari pukul 01.00 WIB – 05.00 WIB, penurunan ini terjadi karena adanya reaksi NO dengan ozon.

Dengan mempertimbangkan sumber polusi udara transportasi berada pada arah timur laut dari posisi lokasi pengukuran, serta melihat dominan data arah angin selama musim kemarau dan musim hujan yang tidak mendukung terjadinya transportasi polutan ke arah titik pantau, maka tidak nampak adanya dampak polusi udara dari transportasi pada karakter variasi diurnal O₃, NO_x dan CO, baik pada musim kemarau maupun musim hujan. Faktor dominan yang sangat berpengaruh pada variasi diurnal O₃, NO_x dan CO hanyalah proses fotokimia.

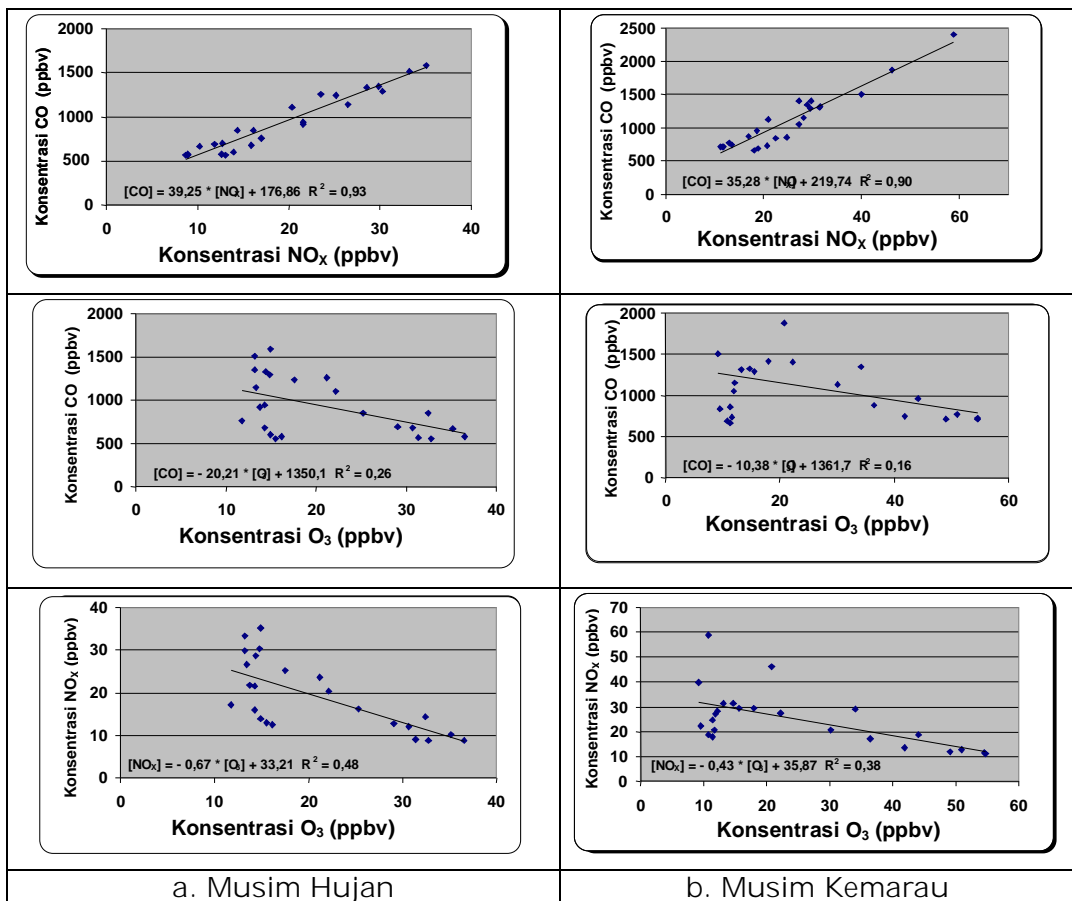
Diperoleh analisis *photostasionary* NO_x-O₃, dengan menggunakan nilai konstanta k dan laju photolisis NO₂ untuk lokasi Bandung, yang telah dihitung oleh Rukmi dkk tahun 2007, maka diperoleh nilai *photostasionary state constant* ($k [NO][O_3] / j [NO_2]$) antara 0,54 -0,92 dan 0,40 – 0,70 untuk musim kamaru dan musim hujan, sepanjang siang hari, lihat gambar 3.4. Nilai ini menunjukkan bahwa *photostasionery state* of NO_x – O₃ di Bandung relatif lebih stabil dibandingkan dengan nilai yang diperoleh di Raleigh area NC, yaitu lebih kecil dari ~ 0,04 (Viney P. Aneja et. All 1997). Artinya bahwa konsentrasi precursor ozon di titik pemantauan tidak banyak dipengaruhi oleh polutan dari aktifitas antropogenik.



Gambar 3-4: a. laju fotolisis NO₂ (j) dan b. *photostasionery* NO_x -O₃

3.2 Hubungan Konsentrasi CO, NO_x dan O₃

Rata-rata pukul-an konsentrasi CO selama periode pengukuran sangat bervariasi dari 0,160 ppmv – 5,240 ppmv atau 160 ppbv – 5240 ppbv, dengan nilai rata-rata 0,930 ppmv (930 ppbv) pada musim kemarau dan 0,285 ppmv – 9,340 ppmv atau 285 ppbv – 9340 ppbv pada musim hujan, dengan nilai maksimum sebesar 1,10 ppmv atau (1100 ppbv) pada musim kemarau dan musim hujan, lihat Tabel 3-1. Dari konsentrasi CO yang terukur, nampak bahwa nilai rata-rata maksimum terjadi pada pagi hari dan pada malam hari dibanding pada siang hari baik di musim kemarau maupun musim hujan, sementara nilai minimum konsentrasi CO terjadi sekitar pukul 13.00 WIB, hal ini terjadi, ketika aktivitas fotokimia dan dampak pengenceran CO semakin kuat selama siang hari maka terjadi proses oksidasi CO menjadi CO₂ dan dihasilkan pula HO₂ serta terjadi penambahan formasi pembentukan ozon. (Viney, et.al 1997), lihat Gambar 3-3.



Gambar 3-5: Hubungan antara CO, NO_x and O₃

Hubungan antara CO dan oksida nitrogen (NO_x) telah diteliti, lihat Gambar 3-5. Hubungan linier dari rata-rata pukul-an antara CO dan NO_x telah diperoleh dengan koefisien korelasi cukup kuat untuk kedua musim, baik musim kemarau maupun musim hujan, yaitu ($[\text{CO}] = 35,28 * [\text{NO}_x] + 219,74$; $R^2 = 0,90$) untuk musim kemarau dan ($[\text{CO}] = 39,25 * [\text{NO}_x] + 176,86$; $R^2 = 0,93$) untuk musim hujan. Dari *plotting* hubungan linier antara CO dan NO_x diperoleh nilai *background* CO sebesar 0,21974 ppmv atau 219,74 ppbv pada musim kemarau lebih besar dibandingkan pada musim hujan yaitu 0,17686 ppmv atau 176,86 ppbv, dengan koefisien korelasi lebih besar 95 % untuk kedua musim.

Sementara dari hasil *plotting* linier antara CO dan O_3 diperoleh nilai *background* CO 1,3421 ppmv (1342,1 ppbv) dan 1,259 ppmv (1259 ppbv) untuk musim kemarau dan musim hujan, koefisien korelasi dengan hubungan CO dan O_3 sebesar 37 % dan 50 % untuk musim kemarau dan musim hujan.

Hubungan antara CO, NO_x dan O_3 juga diteliti, lihat Gambar 3.5. Hubungan linier rata-rata pukul-an antara CO dan O_3 dan antara NO_x dan O_3 menunjukkan hubungan linier negatif untuk kedua musim, baik musim kemarau maupun musim hujan, yaitu ($[\text{NO}_x] = -0,43 * [\text{O}_3] + 35,87$, $R^2 = 0,38$) untuk musim kemarau dan ($[\text{NO}_x] = -0,67 * [\text{O}_3] + 33,21$, $R^2 = 0,48$) untuk musim hujan.

Dari plot regresi linier, diperoleh nilai konsentrasi *background* NOX terhadap ozon adalah 33,21 ppbv pada musim hujan, nilainya lebih besar dibandingkan pada nilai *background* NOX pada musim kemarau, yaitu sebesar 35,87 ppbv, dengan koefisien korelasi sebesar 69 % dan 61 %.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pemantauan telah dianalisis karakteristik ozon, karbon monoksida dan spesies nitrogen reaktif serta penjelasan tentang variasi diurnal ozon dan prekursoranya terutama pada musim kemarau dan musim hujan, termasuk proses terjadinya formasi ozon. Hasil ini diharapkan dapat dipakai untuk membantu pemodelan fotokimia dan analisis yang lebih baik tentang laju formasi ozon karena adanya perubahan konsentrasi oksida nitrogen dan karbon monoksida.

Diperoleh nilai rata-rata NO_x , NO, NO_2 , CO, O_3 pada musim kemarau sebesar $25,13 \pm 17,08$ ppbv, $11,35 \pm 13,4$ ppbv, $13,81 \pm 6,53$ ppbv, 1100 ± 630 ppbv, $24,85 \pm 19,34$ dan pada musim hujan $19,23 \pm 17,02$ ppbv, $8,89 \pm 12,90$ ppbv, $10,14 \pm 6,14$ ppbv, 930 ± 660 ppbv, $20,91 \pm 16,35$ ppbv.

Tipe variasi diurnal O_3 dengan konsentrasi maksimum sebesar 54,65 ppbv pada pukul 12.00 WIB pada musim kemarau dan sebesar 36,51 ppbv pada pukul 11.00 WIB pada musim hujan.

Minimum konsentrasi O_3 terjadi antara pukul 24.00 WIB malam dan pukul 05.00 WIB pagi baik pada musim kemarau maupun musim hujan, sebesar 11,71 ppbv dan 9,56 ppbv.

Peningkatan konsentrasi O_3 selama waktu menjelang siang hari, adalah bertepatan dengan penurunan konsentrasi NO, sementara penurunan konsentrasi O_3 pada sore hari kemungkinan terjadi karena hasil deposisi kering di bawah lapisan batas dan karena adanya titrasi NO karena melemahnya proses fotokimia pada sore hari.

Terjadi puncak konsentrasi NO_x , NO, NO_2 and CO dengan waktu yang sangat pendek, sekitar pukul 07.00 WIB, rata-rata maksimum dari NO_x , NO, NO_2 and CO sebesar 58,84 ppbv, 40,96 ppbv, 19,09 ppbv and 2396,17 pada musim kemarau dan 35,12 ppbv, 21,32 ppbv, 13,58 ppbv dan 1585,30 ppbv pada musim hujan.

Terjadinya peningkatan konsentrasi NO, NO_2 and CO pada awal pagi hari kemungkinan karena terjadinya proses konveksi dan sebaliknya terjadinya penurunan kembali karena proses fotolisis.

Diperoleh nilai *photostationary state* ($k [NO][O_3]/j [NO_2]$) antara 0,54 - 0,92 dan 0,40 - 0,70 untuk musim kemarau dan musim hujan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada saudara Suparno yang telah banyak membantu dalam pengelolaan data dan pemantauan data kualitas udara yang diperlukan dalam penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Aneja, V.P., 1984. *Environmental Impact of Natural Emissions*, Air Pollutions Control Association, TR-2, p.430.
- Ismail M.Madany, 1992. *Spatial and Temporal Patterns in Nitrogen Dioxide Concentrations in a Hot Desert Region*, Atmospheric Environment, Vol. 27A, No. 15 pp. 235-2391.
- Jana B.Milford and Dongfen Gao, 1994. *Total Reactive Nitrogen (NO_y) as an Indicator of the Sensitivity of Ozone to Reductions in Hydrocarbon and NO_x Emissions*, Journal of Geophysical Research, Vol.99, No. D2, pp 3533-3542, February 20.
- Rukmi Hidayati, 2007. *Model Fotokimia Ozon Permukaan (Siklus O_3 , NO_x , dan CO)*, Prosiding Seminar Nasional Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya, 5 Desember 2007, ISBN : 979-445-189-4.
- T. Ogawa and Ninong Komala, 1989. *Diurnal and Seasonal Variation of The Tropospheric Ozone in Tropical Asia*, ozone in The Atmosphere, A Deepak Publishing, 1989, pp. 437 - 440.
- Viney P. Aneja, Deug-Soo Kim, William L, Chameides, 1997. *Trend and Analysis of Ambient NO, NO_y , CO and Ozone Concentrations In Raleigh, North Carolina*, Chemosphere, Vol. 34, pp 661-623.