

# PENGARUH OZON TERHADAP HUJAN ASAM DI BANDUNG

Tuil Budlwad<sup>1</sup>, SumaryatP, Iis Sofiati<sup>\*1</sup>, Tud MulyanI HW<sup>''</sup>, dan M. Parivatmo<sup>'''</sup>

<sup>\*•</sup> Penelid Biding Penkatlan Ozon Dan Polusl Udara, LAPAN

<sup>'''</sup>PenellU Badan Meteorolocl dan Geofisika, BMG

## ABSTRACT

The monthly average of concentration of surface ozone at Dago (north Bandung) from January 2001 to June 2003 of 38.30  $\text{pg}/\text{m}^3$ . This value is higher than other four stations, Cisaranten Wetan and Aria Graha (East Bandung), Batununggal Indah (South Bandung) and Tegallega (Central Bandung) within variations 35.26 - 36.23  $\text{pg}/\text{m}^3$ . While  $\text{SO}_{21}$ ,  $\text{NO}_2$  gases,  $\text{SO}^{*2}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^{2*}$  ions, and pH of rainwater are measured at five locations, i. e. Cipedes (West Bandung), Martadinata (East Bandung), Dago (North Bandung), Kopo (South Bandung) and Kebon Kalapa (Central Bandung) from August 2000-May 2003. The worst condition of acid rain was found at Cipedes with value of 5.09. This condition means that location have been affected by acid rain in August 2000 - May 2003, because the value of pH less than 5.60 (the threshold of acid rain). Other locations such as Martadinata, Kebon Kalapa, and Kopo have average value of pH of 5.75, 5.95, and 6.00, respectively. While Dago which represents cleanest region of five locations in Bandung has average of pH of 6.06. The existences of ozone have not influenced yet the deposition of acid rain in Bandung in general, especially at Dago, if we see the biggest value of correlation coefficient on that region of 0.64. The influence of ozone is more dominant to  $\text{SO}_2$  compared to  $\text{NO}_2$  based on acid deposition formed. The pollutant of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  gases, and aerosol from the local source influences on concentration of sulfate and nitrate ions which have the important role on acid rain.

## ABSTRAK

Konsentrasi rata-rata bulanan ozon permukaan di Dago (Bandung Utara) dari Januari 2001 sampai Juni 2003 adalah 38,30  $\text{pg}/\text{m}^3$ . Hasil pengamatan tersebut memperlihatkan angka lebih tinggi dibandingkan dengan ke empat lokasi lainnya, yaitu Cisaranten Wetan dan Aria Graha (Bandung Timur), Batununggal Indah (Bandung Selatan), Tegallega (Bandung Pusat) dalam variasi 35,26 - 36,23  $\text{pg}/\text{m}^3$ . Sedangkan gas  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , ion  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^{2*}$  dan pH air hujan diamati di lima lokasi yaitu Cipedes (Bandung Barat), Martadinata (Bandung Timur), Dago (Bandung Utara), Kopo (Bandung Selatan) dan Kebon Kalapa (Bandung Pusat) dari Agustus 2000-Mei 2003. Kondisi keasaman air hujan terburuk di Cipedes adalah 5,09, berarti daerah ini telah terkena hujan asam pada Agustus 2000-Mei 2003, karena berada di

bawah 5,60 (batas hujan asam). Daerah lainnya seperti Martadinata, Kebon Kalapa dan Kopo (Bandung Selatan) dan mempunyai pH rata-rata 5,75; 5,95; dan 6,00. Sedangkan daerah Dago adalah daerah terbersih dari lima lokasi di Bandung dengan pH rata-rata 6,06. Keberadaan ozon belum mempengaruhi deposisi asam di Bandung umumnya dan Dago khususnya, dilihat dari angka korelasi yang terbesar adalah 0,64. Pengaruh ozon terhadap  $SO_2$  lebih dominan dibandingkan terhadap  $NO_2$ , ditinjau dari deposisi asam yang dihasilkan. Pengaruh gas polutan  $SO_2$ ,  $NO_2$ , dan aerosol dari sumber lokal menentukan konsentrasi ion sulfa\*, dan nitrat yang berperan dalam keasaman air hujan.

Kata kunci: *Keasaman air hujan, Sumber lokal, Ozon,  $SO_2$ ,  $NO_2$ , Ion sulfat, Ion nitrat*

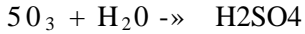
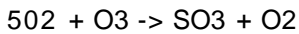
## 1 **PBNDAHULUAN**

Tumbuhnya kawasan belanja di Bandung sebagai sarana memacu pariwisata daerah secara tidak sengaja menimbulkan masalah dengan meningkatnya gas buang dari transportasi. Pertumbuhan penduduk yang juga disertai pertumbuhan ekonomi yang pesat di kawasan Bandung erat kaitannya dengan pertumbuhan industri dan transportasi di kawasan ini. Akibat dari kemajuan teknologi dan industri yang pesat di Bandung akan memacu jumlah gas buang ke udara. Dampak pencemaran udara terjadi dalam beberapa tingkat. Pada skala mikro/lokal, pencemaran udara hanya mempengaruhi kualitas udara setempat, dalam lingkup yang relatif terbatas, misalnya pencemaran udara oleh debu. Selain itu terdapat pula pencemaran udara dalam skala meso atau regional, yang dampaknya dapat mempengaruhi areal yang lebih luas contohnya hujan,

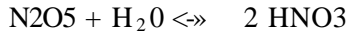
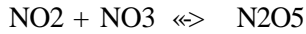
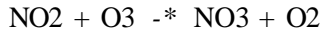
Peningkatan gas buang seperti  $NH_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , dan aerosol akan mempengaruhi kadar keasaman air hujan. Aerosol dan gas-gas  $NH_3$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$  yang terlarut dalam udara dapat dibersihkan dari atmosfer melalui proses pembersihan secara kering (*dry deposition*) atau basah (*wet deposition*). Menurut Seinfeld (1986) garis batas keasaman air hujan adalah 5,6 yang berada dalam garis kesetimbangan dengan konsentrasi  $CO_2$  atmosfer 330 ppm. Bila kadar keasaman air hujan di bawah 5,6 dikatakan telah terjadi hujan asam.

Dalam pembentukan deposisi asam, keberadaan oksidan seperti hidroksi radikal (OH) dan hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ), untuk merubah sulfur dioksida ( $SO_2$ ) menjadi sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) adalah sangat penting. Oksidan-oksidan ini bersainsama dengan ozon dan peroksidhidroksil radikal ( $HO_2$ ) secara efektif menentukan *species* kimia dan umur senyawa-senyawa lainnya dalam siklus nitrogen, carbon dan sulfur di troposfer. Ozon adalah oksidan utama jika kandungan air di udara mempunyai pH lebih besar dari 5 ( $pH = -\log^{10} [H^-]$ ) (Brian et. al., 1987). Bagaimanapun dalam fase cair kecepatan konversi  $SO_2$  menjadi sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) adalah sangat kompleks dan di atmosfer (uap air) ter-

gantung  $O_3$  dan  $H_2O_2$  (Penkett et. al., 1979; Calvert et. al., 1985 dalam Heikes et. al., 1987)



Pada pembentukan deposisi nitrat, keberadaan ozon untuk merubah  $NO_x$  menjadi  $NO_3$  perlu diperhatikan.



Oksidasi  $NO_2$  dalam fase cair tidak begitu penting dikarenakan kelarutan  $NO_2$  yang rendah (Harrison and Pio, 1983).

Dari hasil penelitian ini, diharapkan dapat diketahui sumber polutan yang berperan dalam mempengaruhi hujan asam di kota Bandung. Selanjutnya dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas udara di Bandung dari sumber polutannya.

## 2 DATA DAN METODE

### 2.1 Lokasi Pengukuran

Sampel air hujan dikumpulkan setiap hari hujan dari Agustus 2000 sampai Mei 2003 di kota Bandung ( $6^\circ 54'$  LS,  $107^\circ 35'$  BT), pada ketinggian 743 m di atas permukaan laut. Lokasi sampling terbagi pada 5 lokasi, yaitu Kebon Kalapa (Bandung Pusat) adalah daerah transportasi dan perumahan, Dago (Bandung Utara) merupakan daerah perumahan dan bersih, Kopo (Bandung Selatan) mewakili daerah perumahan, Jl. R. E. Martadinata (Bandung Timur) sebagai daerah transportasi dan perumahan, Cipedes (Bandung Barat) sebagai daerah percampuran transportasi dan perumahan. Air hujan ditampung dengan penakar curah hujan yang terbuat dari *stainless steel* dan penampung air hujan otomatis. Selanjutnya sampel air hujan dianalisis di Laboratorium untuk mendapatkan parameter pH, ion sulfat, ion nitrat dan ion amonium. Di tempat yang sama dilakukan pula sampling untuk gas  $SO_2$  dan  $NO_2$  secara *passive sampler* selama satu bulan dari Agustus 2000 sampai Juni 2003.

Pengukuran ozon dilakukan oleh Badan Pengelola Lingkungan Hidup (BPLH) Kota Bandung dari Januari 2001 sampai Juni 2003 di Dago (Bandung Utara), Cisaranten Wetan dan Aria Graha (Bandung Timur), Tegallega (Bandung Pusat) dan Batununggal Indah (Bandung Selatan).

### 2.2 Metode

Sampel air hujan dianalisis untuk ion sulfat, nitrat dan ammonium dengan metode spektrofotometer. Ion sulfat ditentukan dengan metode turbidimetri  $Ba_2SO_4$  (kalibrasi larutan standar  $Na_2SO_4$ ). Ion nitrat ditentukan

dengan metode K-Na-Tartrat yang menggunakan kalibrasi larutan standar KNO<sub>3</sub>. Untuk mendapatkan ion amonium dipergunakan metode Indophenol dengan larutan standar NH<sub>4</sub>C] sebagai kalibrasi. Gas NO<sub>2</sub> ditentukan dengan spektrofotometer dan menggunakan metoda NEDA dengan larutan standar NaNO<sub>2</sub> sebagai kalibrasi. Gas SO<sub>2</sub> ditentukan dengan ion chromatografi DX500 dan dikalibrasi dengan larutan standar Na<sub>2</sub>S<sub>04</sub>-

Data yang diperoleh selanjutnya diolah dalam konsentrasi rata-rata bulan dari masing-masing parameter. Dengan metode skater dicari koefisien korelasinya. Koefisien korelasi untuk melihat kuat tidaknya pengaruh oksidasi ozon terhadap gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dalam pembentukan deposisi asam, yang terkait dengan hujan asam.

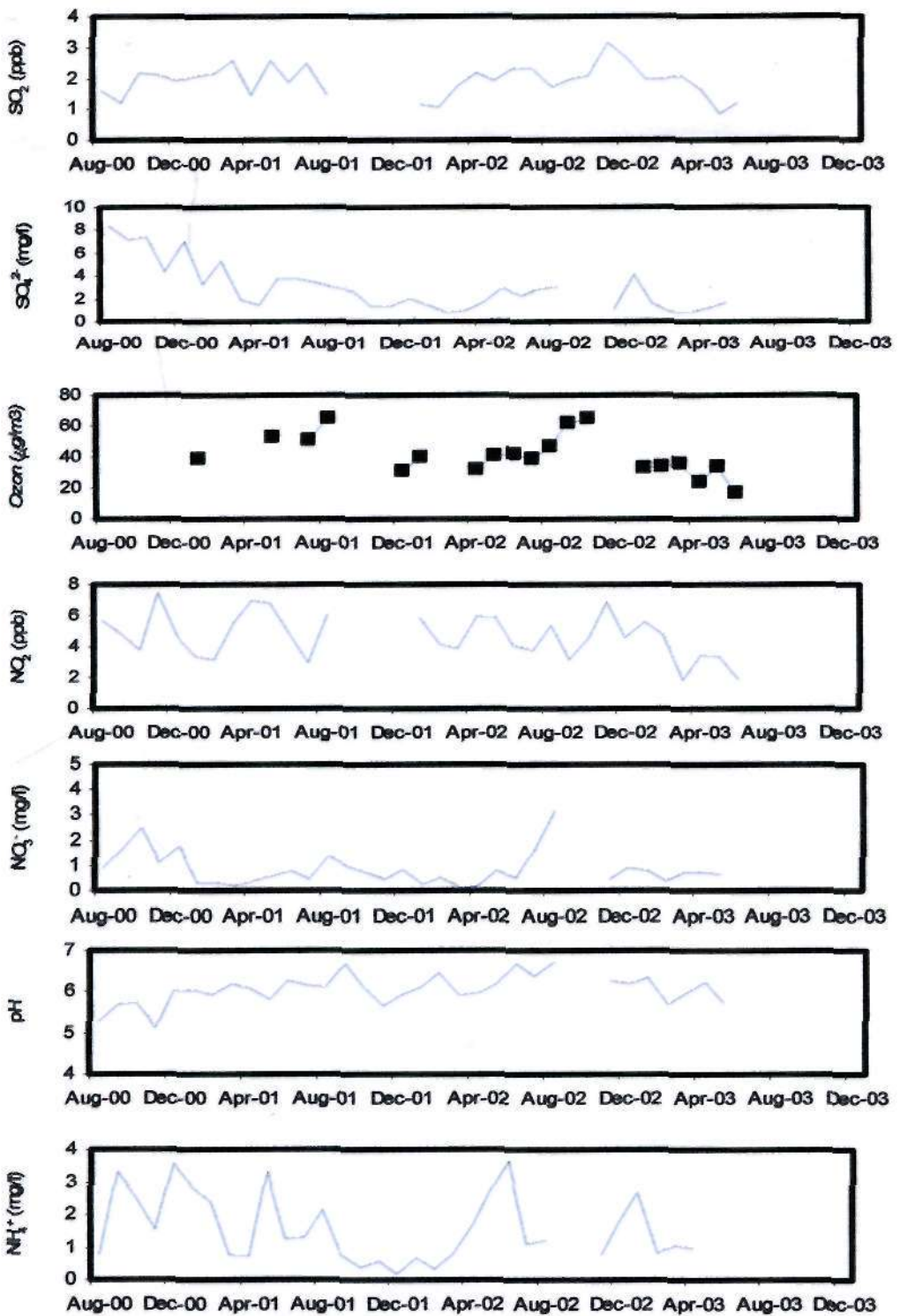
### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Kimia Air Hujan, S<sub>0</sub><sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> dan Ozon (O<sub>3</sub>)

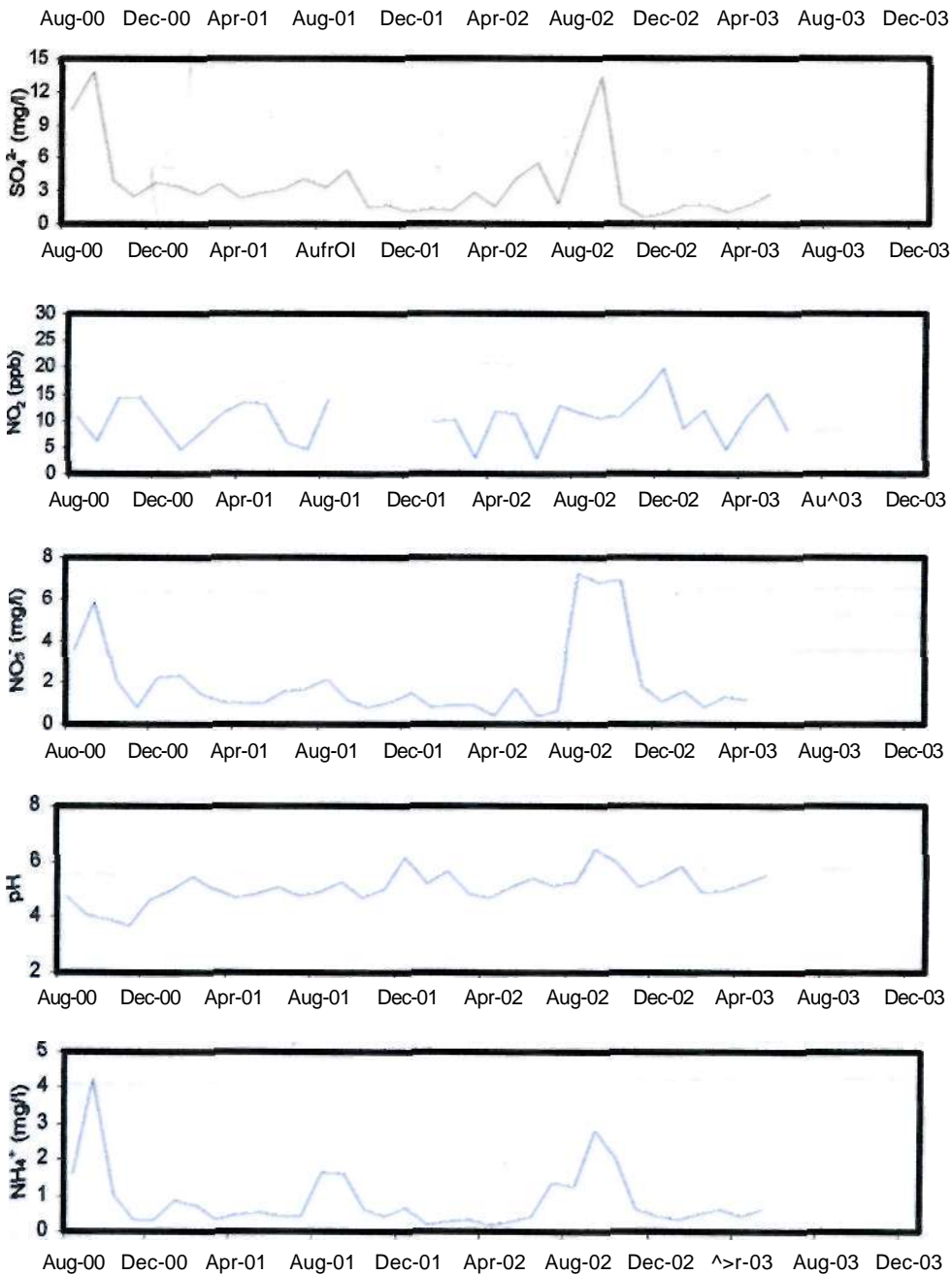
Berdasarkan pengamatan selama periode Agustus 2000 - Mei 2003 di Bandung dapat dilihat pada Gambar 3-1a s.d 3-1e variasi musiman dari setiap komponen kimia air hujan yaitu ion sulfat, ion nitrat, ion amonium dan keasaman air hujan serta gas SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan ozon. Dari lima lokasi di Bandung rata-rata bulanan dari setiap komponen hampir sama yaitu tinggi di musim kemarau Juni-Juli-Agustus (J-J-A) dan musim peralihan September-Oktober-Nopember (S-O-N), serta rendah di musim hujan Desember-Januari-Februari (D-J-F) dan peralihan Maret-April-Mei (M-A-M).

Nilai pH bulanan dari Agustus 2000-Desember 2000 bervariasi 3,69-5,85 untuk lima lokasi, yaitu Dago; Cipedes; Martadinata; Kebon Kalapa dan Kopo, berarti kondisi hujan di area tersebut sudah menunjukkan angka di atas batas normal 5,6 untuk hujan asam. Maka Bandung pada akhir tahun 2000 mengalami hujan asam yang merata di semua area yang disebutkan di atas. Pada tahun 2001 dari Januari - Desember 2001 nilai pH bervariasi 5,48-6,91 dengan kondisi terburuk di Cipedes yaitu 4,70-6,19 (Gambar 3-1a s.d 3-1e). Sedangkan tahun 2002 dari Januari sampai Agustus nilai pH bervariasi 4,73-6,75 dan daerah yang terkena hujan asam adalah Cipedes. Melihat variasi angka pH dari Gambar 3-1a s.d 3-1e di tahun 2001 dan 2002 dapat dikatakan bahwa hujan asam hanya terjadi di Cipedes, sedangkan daerah lain tidak. Tetapi pada awal tahun 2003 (Januari-Mei) terjadi hujan asam di Cipedes dan Martadinata.

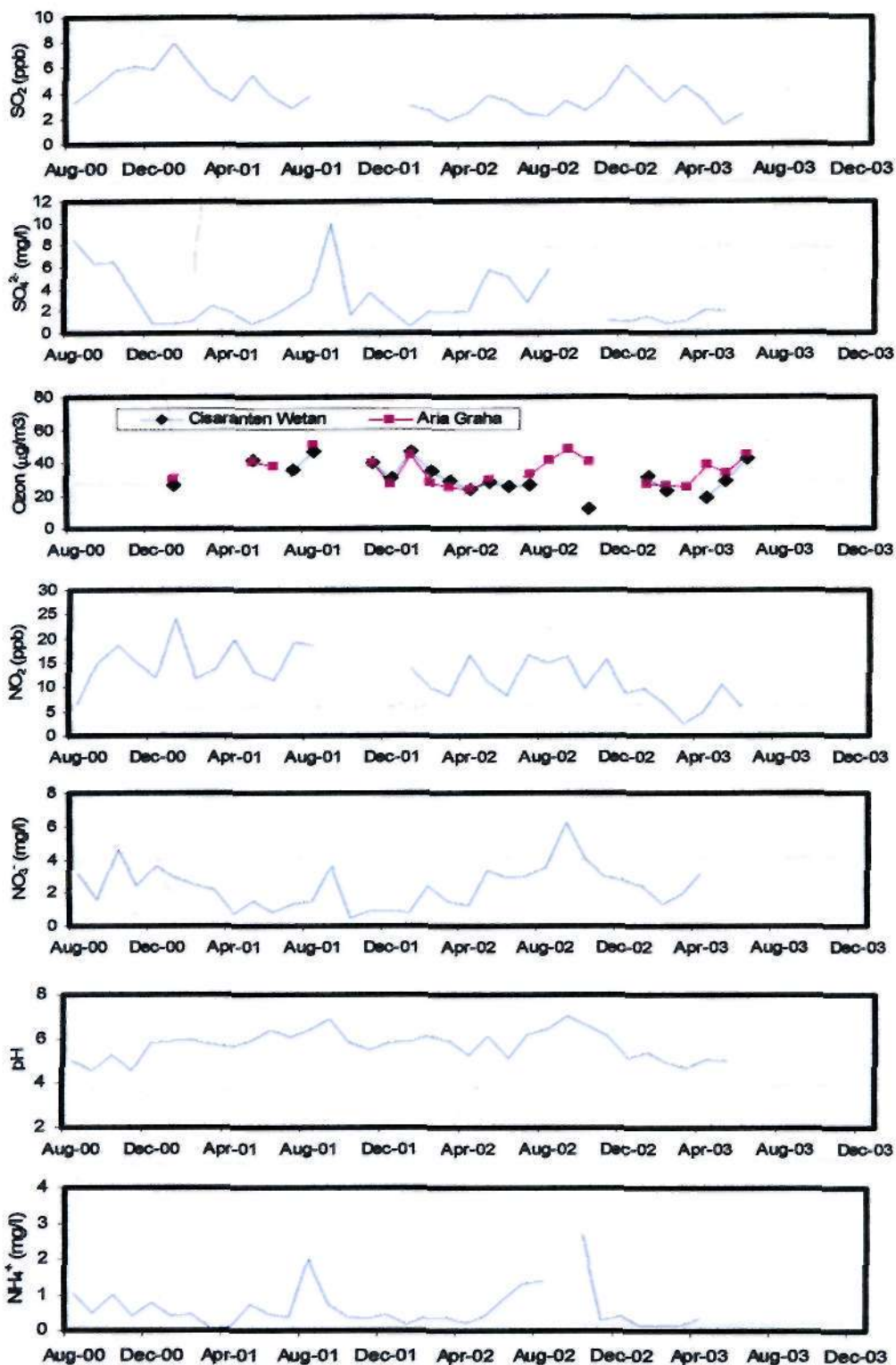
Dalam kurun waktu Agustus 2000 - Mei 2003 rata-rata nilai pH di lima lokasi menunjukkan daerah Dago yang terletak di Bandung Utara adalah yang paling bersih yaitu 6,06. Sedangkan daerah Cipedes mempunyai pH rata-rata 5,09 yang berarti daerah tersebut mengalami hujan asam. Hal ini dikarenakan angka tersebut berada di daerah batas suatu daerah dikatakan telah terkena hujan asam yaitu dibawah angka 5,6 (Seinfeld dan Pandis, 1998). Kondisi pH besar kecil tercermin pada kandungan ion-ion seperti ion sulfat, ion nitrat dan ion amonium yang mendukungnya.



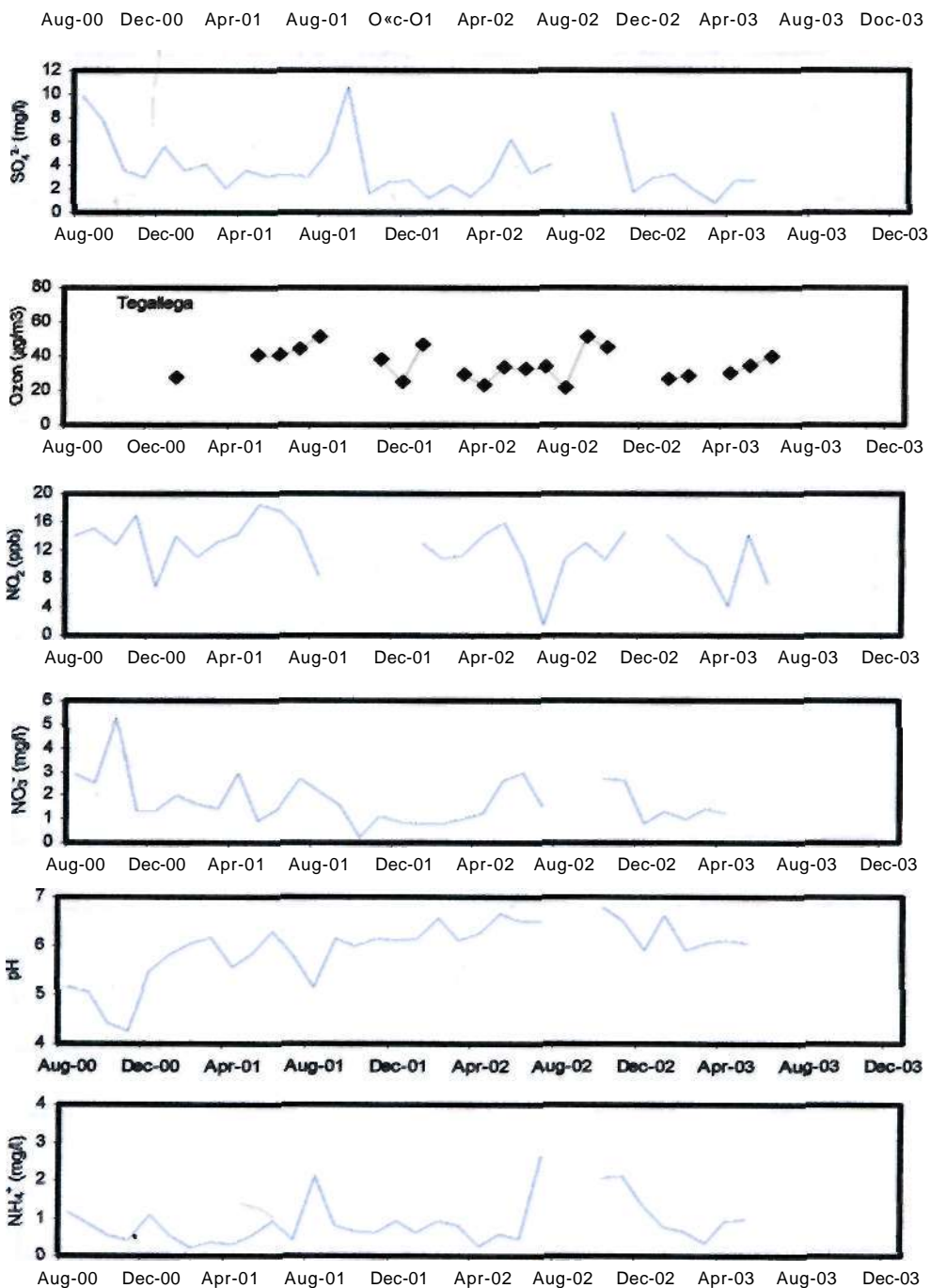
Gambar 3-1a: Variasi konsentrasi rata-rata bulanan parameter air hujan dan SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> di Dago-Bandung



Gambar 3-1b: Variasi konsentrasi rata-rata bulanan parameter air hujan dan SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> di Cipedes-Bandung

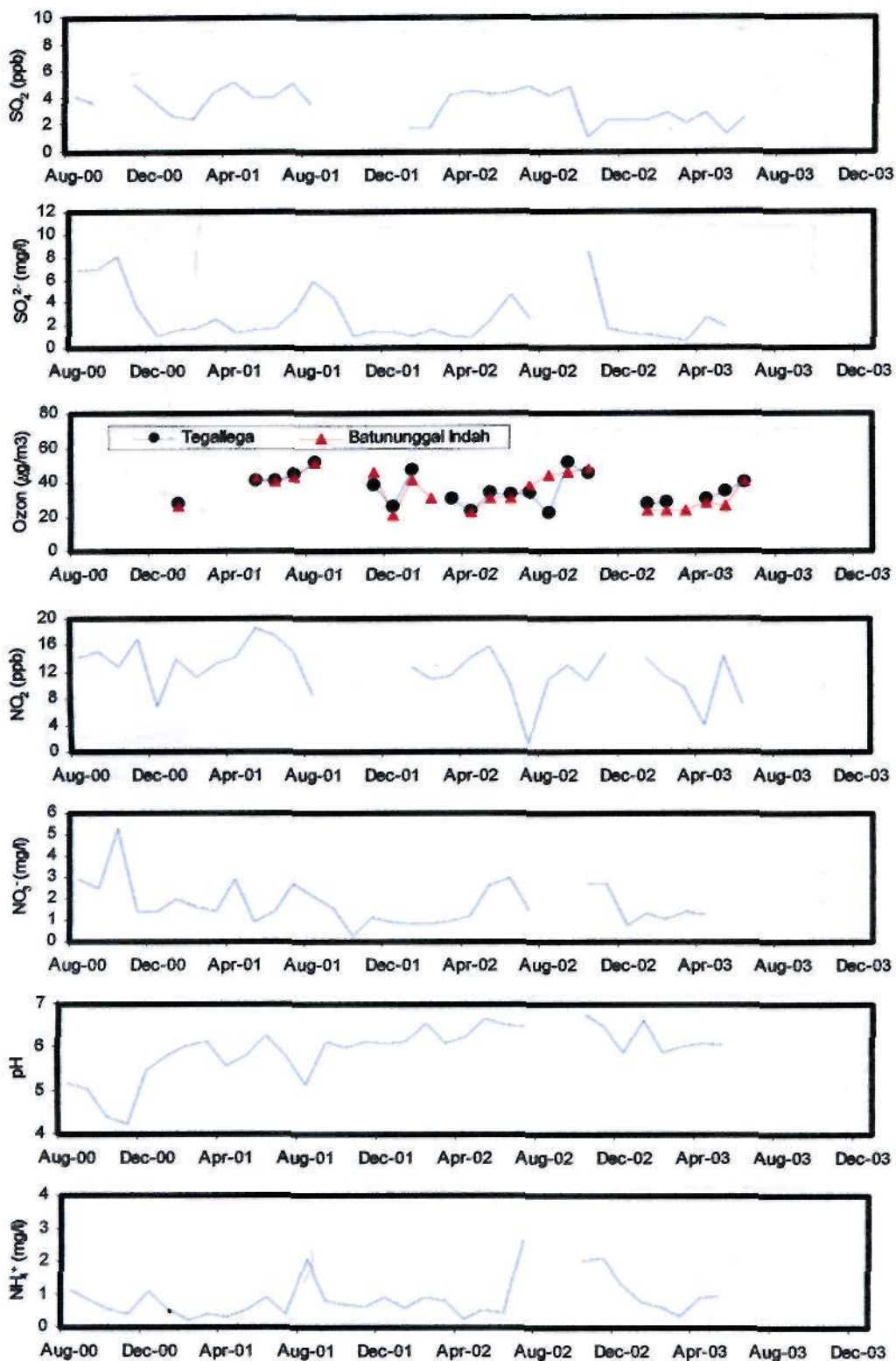


Gambar 3-1c: Variasi konsentrasi rata-rata bulanan parameter air hujan dan SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> di Martadinata-Bandung



Gambar 3-1d: Variasi konsentrasi rata-rata bulanan parameter air hujan dan SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> di Kebon Kelapa, Bandung





Gambar 3-1e: Variasi konsentrasi rata-rata bulanan parameter air hujan dan SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> di Kopu-Bandung

Tabel3-1:pH RATA-RATA, KONSENTRASI RATA-RATA ION SULFAT, ION NITRAT DAN ION AMONIUM DARI AGUSTUS 2000 SAMPAI MEI 2003 DIBANDUNG

Lokasi	pH	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)
Dago	6,06	2,99	1,57	0,86
Cipedes	5,09	3,61	2,01	0,87
Martadinata	5,75	2,98	2,40	0,62
Kebon Kalapa	5,95	3,83	1,78	0,89
Kopo	6,00	2,78	1,61	0,84

Pengaruh sumber lokal juga tercermin pada kandungan ion sulfat dan ion nitrat dalam air hujan (Tabel 3-1), sedang kondisi sumber deposisi asam dari SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> (Tabel 3-2). Secara prinsip keasaman air hujan sangat dipengaruhi oleh senyawa-senyawa sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan asam chlorida (HCl), karena itu kenaikan atau penurunan senyawa tersebut dapat menyebabkan angka pH turun atau naik (Delmas, 1983).

Dari Gambar 3-1a s.d 3-1e terlihat pola ozon yang sama dengan pola ion sulfat, ion amonium dan gas SO<sub>2</sub>. Selain SO<sub>2</sub> yang teroksidasi oleh senyawa ozon, terdapat pula kontribusi amonium sulfat (aerosol sulfat) dalam air hujan. Tetapi terlihat jelas pola berbalikan antara ozon dengan NO<sub>2</sub>, yaitu konsentrasi ozon tinggi ternyata konsentrasi NO<sub>2</sub> rendah.

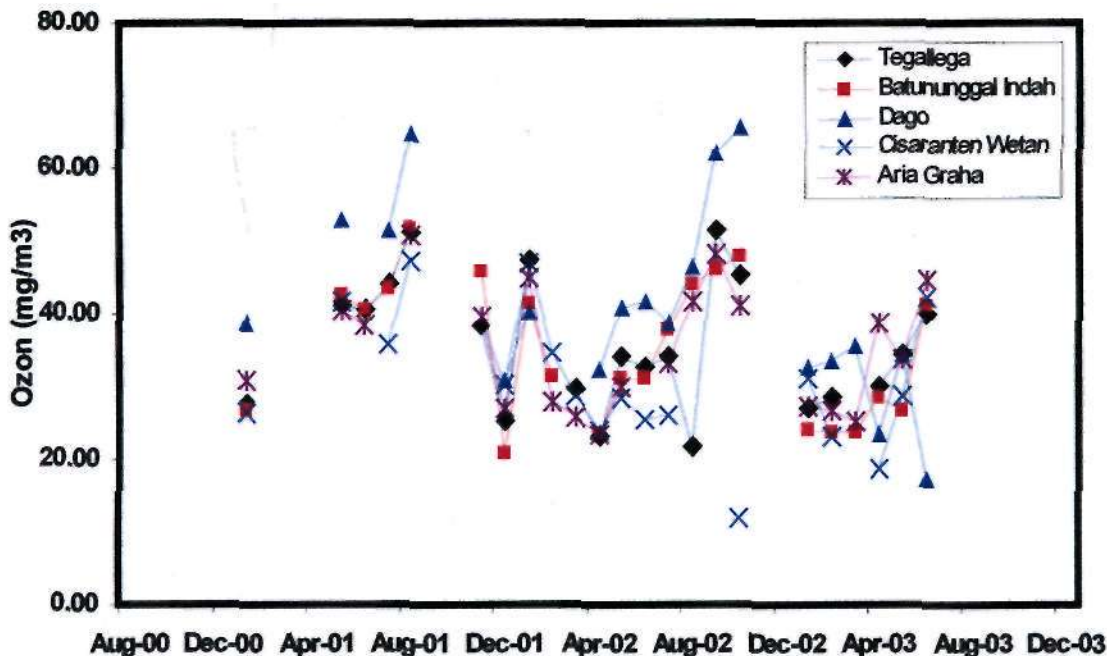
Tabel 3-2: KONSENTRASI RATA-RATA SO<sub>2</sub> DAN NO<sub>2</sub> DARI AGUSTUS 2000 SAMPAI DENGAN JUNI 2003 DI BANDUNG

Lokasi	SO <sub>2</sub> (ppbv)	NO <sub>2</sub> (ppbv)
Dago	1,93	4,70
Cipedes	4,08	10,80
Martadinata	3,93	12,68
Kebon Kalapa	4,71	12,27
Kopo	3,46	7,93

### 3.2 Ozon Permukaan di Lima Lokasi di Bandung

Dari Gambar 3-2 pola ozon permukaan di lima lokasi di Bandung mempunyai kecenderungan yang sama. Konsentrasi rata-rata bulanan ozon permukaan di Dago adalah 38,30 pg/m<sup>3</sup>; Cisaranten Wetan adalah 36,23 pg/m<sup>3</sup>; Aria Graha adalah 35,31 pg/m<sup>3</sup>; Tegallega adalah 35,65 pg/m<sup>3</sup>; dan Batununggal Indah adalah 35,26 pg/m<sup>3</sup>. Konsentrasi rata-rata bulanan ozon terbesar terdapat di Dago. Sedangkan empat lokasi lainnya mempunyai nilai yang hampir sama. Konsentrasi ozon terlihat menurun dari 2001 sampai 2003, tetapi sangat berfluktuasi sekali dan terlihat erat kaitannya dengan gas

buang kendaraan NO<sub>2</sub>. Hal ini antara lain dikarenakan pengaruh gas buang kendaraan bermotor NO<sub>2</sub> dan CO pada ozon permukaan sangat kuat pada bulan Juli yang ditunjukkan dengan korelasi negatif dan koefisien determinasi masing-masing adalah 0,86 dan 0,76. Sedangkan pada bulan Januari pengaruh NO<sub>2</sub> dan CO pada ozon permukaan kurang signifikan (Hidayati dan Asiati, 2002).



Gambar 3-2: Konsentrasi rata-rata bulanan ozon permukaan periode Januari 2001-Juni 2003 di Dago, Cisaranten Wetan, Aria Graha, Tegallega dan Batununggal Indah di area kota Bandung (dari hasil monitoring BPLH Kota Bandung)

### 3.3 Korelasi Ozon (O<sub>3</sub>) dengan Deposisi Asam Sulfat

Dengan melihat nilai konsentrasi yang sama di lima lokasi monitoring ozon permukaan di Bandung dari Januari 2001 sampai Juni 2003, maka kami menghubungkan ozon di Cisaranten Wetan dan Aria Graha dengan deposisi asam sulfat di Martadinata dalam area Bandung Timur; ozon di Tegallega dengan deposisi asam sulfat di Kebon Kalapa dalam area Bandung Pusat, ozon di Batununggal dengan deposisi asam sulfat di Kopo dalam area Bandung Selatan. Sedangkan ozon di Dago dengan deposisi asam sulfat di Dago dalam area Bandung Utara. Hal ini kami lakukan untuk mengamati proses pembentukan deposisi asam sulfat, yaitu perubahan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) secara oksidasi oleh ozon menjadi sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) dalam air hujan pada waktu yang sama.

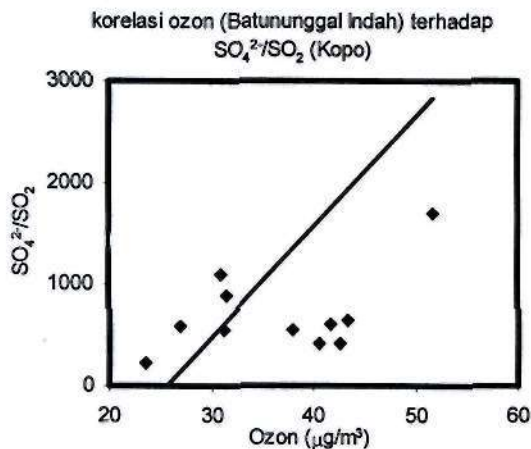
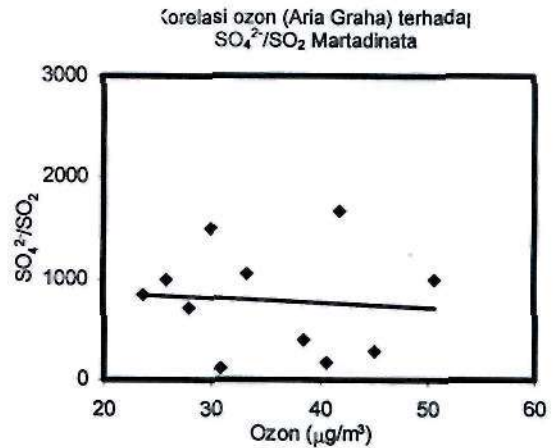
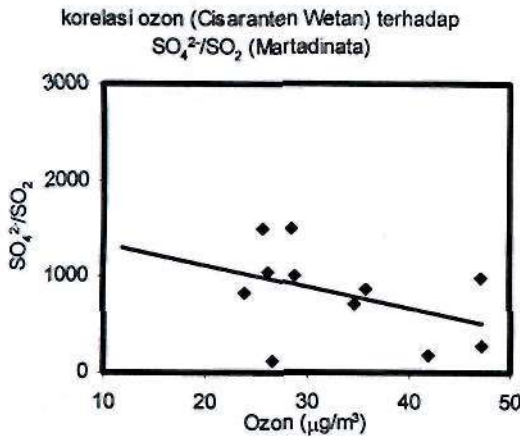
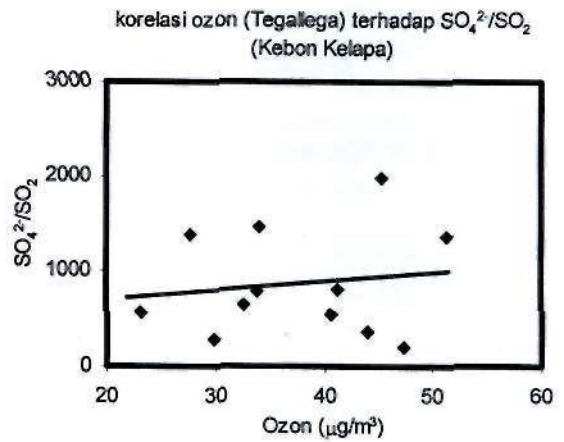
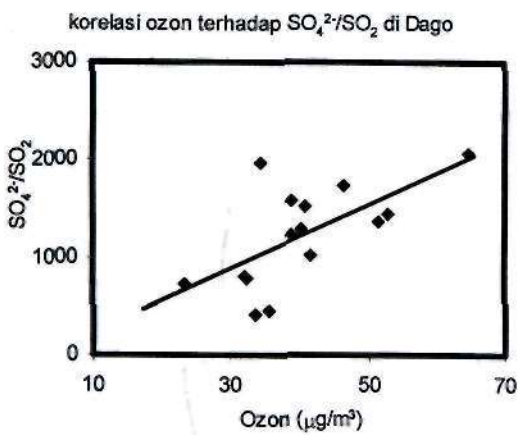
Hasil pengamatan korelasi ozon terhadap deposisi asam sulfat ( $\text{SO}_4^2$ ) atau keasaman air hujan di lima lokasi dapat dilihat pada Tabel 3-3 dan Gambar 3-3.

Tabel 3-3: ANGKA KORELASI (R) ANTARA  $\text{O}_3$  DAN DEPOSISI SULFAT ( $\text{SO}_4^2$ ) DALAM AIR HUJAN DI BANDUNG

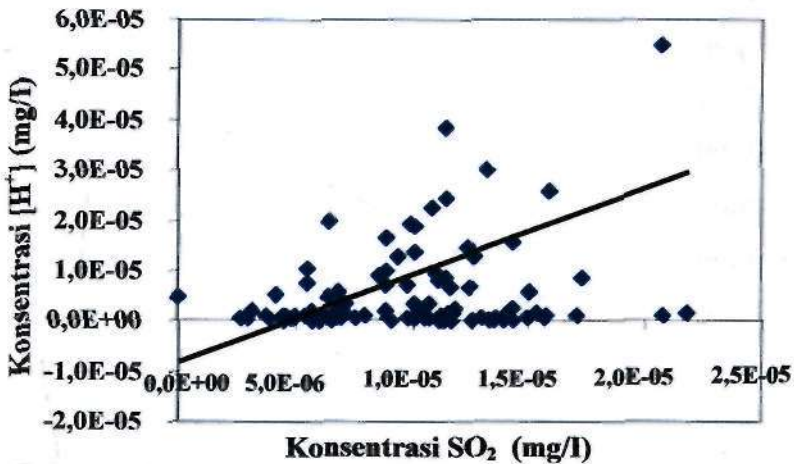
No.	$\text{O}_3$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) di lokasi	$\text{SO}_4^2/\text{SO}_2$ (y) di lokasi	R	Persamaan
1	Dago	Dago	0,64	$y=32,97x-109,69$
2	Tegallega	Kebon Kalapa	0,14	$y=9,2951x+512,06$
3	Batununggal Indah	Kopo	0,45	$y=107,65x-2758$
4	Cisaranten Wetan	Martadinata	0,41	$y=-22,627x+1573,3$
5	Aria Graha	Martadinata	0,09	$y=-5,1046x+973,66$

Berdasarkan angka korelasi di lima lokasi di Bandung ternyata pengaruh  $\text{O}_3$  permukaan pada deposisi sulfat terbesar terdapat di Dago dengan angka 0,64. Konsentrasi rata-rata bulanan  $\text{SO}_2$  di Dago adalah terkecil dengan kondisi belum jenuh dibandingkan lokasi lainnya, maka keberadaan  $\text{O}_3$  yang tinggi di Dago akan dapat melakukan oksidasi yang lebih optimal. Sebaliknya keberadaan konsentrasi  $\text{SO}_2$  yang tinggi di Kebon Kalapa dan Martadinata, ternyata pengaruh oksidasi  $\text{O}_3$  terhadap deposisi asam sulfat sangat lemah dengan angka korelasi yang kecil dan negatif (Tabel 3-3). Kemungkinan kondisi  $\text{SO}_2$  dalam keadaan jenuh dan  $\text{O}_3$  sendiri tidak optimum untuk melakukan oksidasi, dikarenakan konsentrasi  $\text{O}_3$  tidak seimbang dengan konsentrasi  $\text{SO}_2$ . Pada proses oksidasi  $\text{SO}_2$  menjadi ion sulfat ( $\text{SO}_4^2$ ) diduga diperlukan  $\text{O}_3$  berlebihan. Dengan melihat konsentrasi  $\text{SO}_2$  terkecil, konsentrasi  $\text{O}_3$  terbesar di Dago dan pengaruh  $\text{O}_3$  permukaan terhadap deposisi sulfat dengan angka korelasi terbesar adalah 0,64. Maka kami menyimpulkan pengaruh  $\text{O}_3$  di Dago lebih kuat dibandingkan tempat lainnya di Bandung seperti pada Tabel 3-3.

Selain itu perlu ditinjau pula keberadaan aerosol sulfat dalam bentuk amonium sulfat yang menyebabkan terbentuknya ion sulfat dalam air hujan.

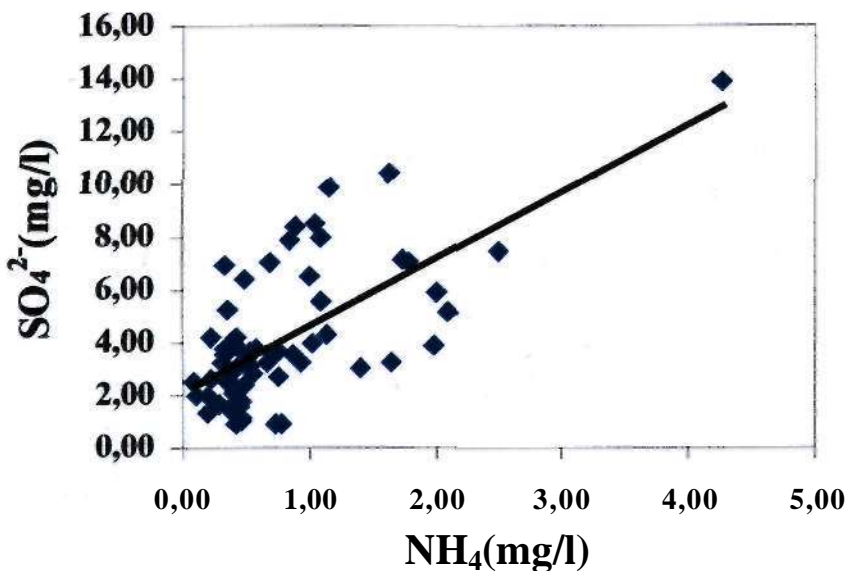


Gambar 3-3 Korelasi ozon terhadap deposisi asam sulfat ( $SO_4^{2-}$ ) atau keasaman air hujan di empat lokasi (Dago, Martadinata, Kebon Kalapa, Kopo) di Bandung



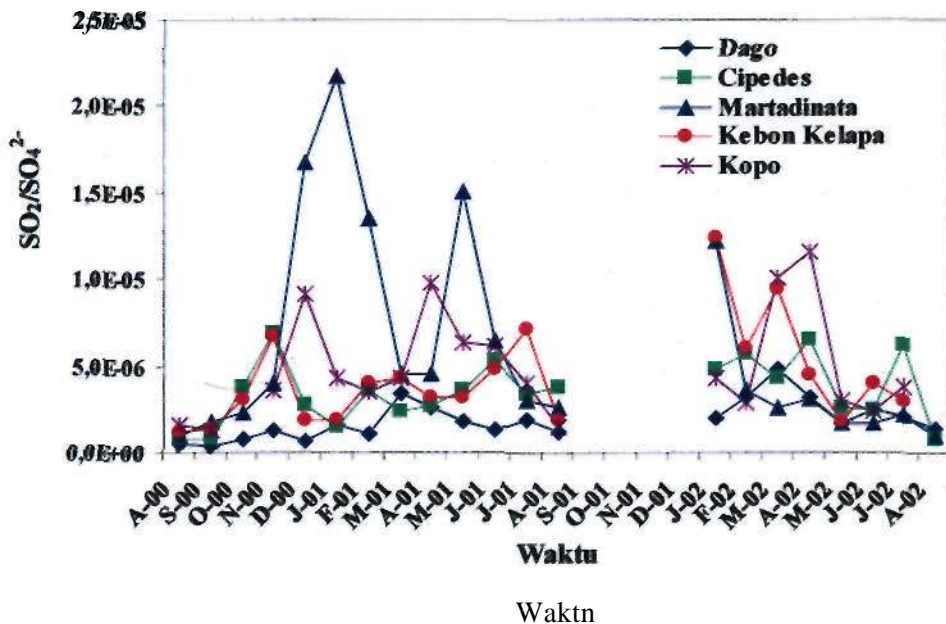
Gambar 3-4: Korelasi konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dengan [H<sup>+</sup>]

Pada prinsipnya gas SO<sub>2</sub> dan gas NO<sub>2</sub> mempunyai kontribusi dalam keasaman air hujan, yaitu SO<sub>2</sub> maupun NO<sub>2</sub> setelah mengalami proses oksidasi dilanjutkan proses cair di awan akan membentuk ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan ion NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dengan melepaskan ion H<sup>+</sup>. Dari penelitian Xu Yu (1987) dinyatakan bahwa kontribusi SO<sub>2</sub> terhadap keasaman air hujan karena terjadi pengendapan adalah hampir di atas 80 % pada musim dingin dan gugur di Cina. Pengaruh SO<sub>2</sub> terhadap keasaman air hujan di lima lokasi di Bandung dapat dilihat pada Gambar 3-4 memperlihatkan pengaruh yang cukup kuat, konsentrasi SO<sub>2</sub> naik maka konsentrasi ion (H<sup>+</sup>) terlihat naik. Dari kondisi sumber lokal SO<sub>2</sub> yang tinggi di beberapa tempat seperti Cipedes, Kebon Kalapa dan Martadinata ternyata kondisi ion sulfat di Martadinata relatif kecil bila dibandingkan dengan Cipedes dan Kebon Kalapa yang sama-sama merupakan daerah transportasi. Sebaliknya untuk Dago yang mempunyai konsentrasi ion sulfat tinggi, ternyata konsentrasi SO<sub>2</sub> sebagai unsur sumber kecil dibandingkan daerah lain. Melihat oksidasi yang cukup optimum di Dago, maka pembentukan deposisi sulfat akan lebih tinggi dibandingkan lokasi lain seperti tersebut di atas. Akibatnya konsentrasi ion sulfat lumayan tinggi. Tetapi oksidasi yang tidak optimum di Martadinata dan Kebon Kalapa ternyata menghasilkan ion sulfat yang tinggi juga di kedua tempat ini. Hal ini dapat dijelaskan karena adanya aerosol debu. Jadi ion sulfat yang terkandung dalam air hujan tidak hanya berasal dari SO<sub>2</sub> saja melainkan dapat berasal dari sumber sulfat aerosol seperti (NFU<sup>+</sup>SGi, juga berasal dari pencucian SO<sub>2</sub> dalam awan. Oksidasi O<sub>2</sub> terhadap (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>S<sub>4</sub> dalam aerosol akan menyumbangkan unsur asam dengan terbenruknya H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan HNO<sub>3</sub> dalam air hujan (Harrison and Pio, 1983). Hal ini dapat dilihat dalam Gambar 3-5 hubungan ion NH<sub>4</sub> dengan ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dalam air hujan yang mempunyai pengaruh positif.



Gambar 3-5: Korelasi  $\text{NH}_4^+$  dengan ion  $\text{SO}_4^{2-}$  dalam air hujan

Dari hasil pengkajian sebelumnya (Gambar 3-6), ternyata kontribusi  $\text{SO}_2$  naik di musim peralihan September-Oktober-Nopember 2000 dan kemarau Juni-Juli-Agustus 2001 serta turun di musim penghujan dan peralihan Maret-April s.d Mei 2001. Kecuali daerah Martadinata dan Kopo yang berbeda yaitu naik di musim penghujan dan musim peralihan Maret-April s.d Mei 2001. Hal ini dikarenakan pengaruh oksidasi  $\text{O}_3$  terhadap  $\text{SO}_2$  untuk membentuk ion sulfat dipengaruhi oleh radiasi matahari.



Gambar 3-6: Variasi musiman perbandingan  $\text{SO}_2$  terhadap ion  $\text{SO}_4^{2-}$  dalam air hujan dari Agustus 2000 sampai Agustus 2002 di Bandung

### 3.4 Korelasi Ozon dengan Deposisi Asam Nitrat

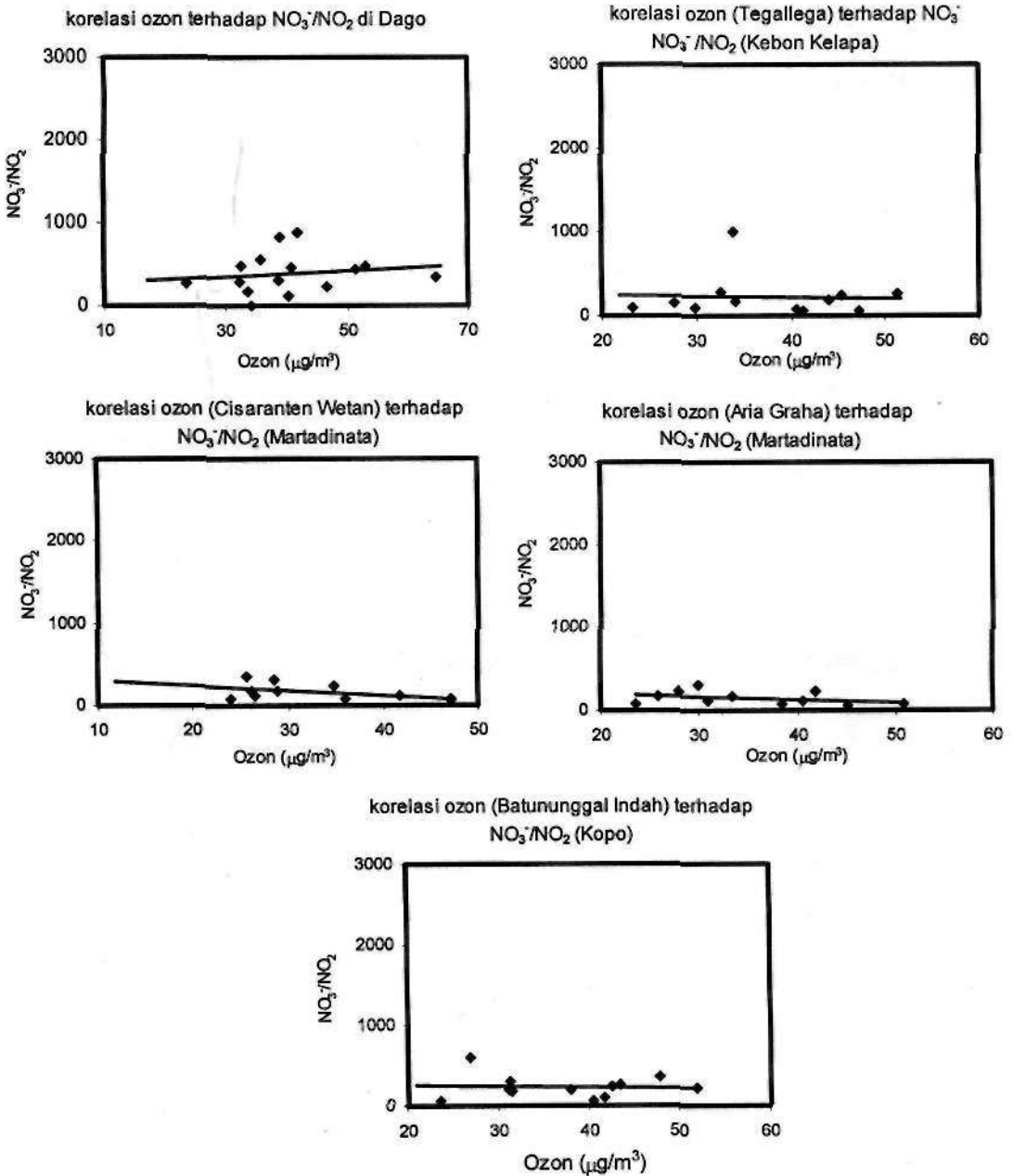
Pada makalah ini ditinjau juga pengaruh O<sub>3</sub> terhadap terbentuknya deposisi nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dalam air hujan sebagai hasil oksidasi O<sub>3</sub> terhadap NO<sub>2</sub>. Dengan menggunakan data ozon dan NO<sub>2</sub> dari Januari 2001 sampai Juni 2003 seperti di atas, dibuat korelasi O<sub>3</sub> dengan deposisi nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) di lokasi yang sama dengan korelasi O<sub>3</sub> dengan deposisi sulfat. Korelasi O<sub>3</sub> dan deposisi asam nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dalam air hujan di lima lokasi dilihat dalam Tabel 3-4 dan Gambar 3-7.

Tabel 3-4: ANGKA KORELASI (R) ANTARA O<sub>3</sub> DAN DEPOSISI NITRAT (NO<sub>3</sub>) DALAM AIR HUJAN DI BANDUNG

No.	O <sub>3</sub> (x µg/m <sup>3</sup> ) di lokasi	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /NO <sub>2</sub> (y) di lokasi	R	Persamaan
1	Dago	Dago	0,16	y=3,8704x+234,78
2	Tegallega	Kebon Kalapa	0,05	y=-1,4993x+278,3
3	Batununggal Indah	Kopo	0,08	y=-1,3534x+284,7
4	Cisaranten Wetan	Martadinata	0,50	y=-5,7872x+354,67
5	Aria Graha	Martadinata	0,37	y=-3,5485x+277,12

Konsentrasi gas NO<sub>2</sub> yang tertinggi diwakili oleh Martadinata, Kebon Kalapa dan Cipedes sebagai daerah padat transportasi secara berurutan, yaitu 12,68 ppbv; 12,27 ppbv dan 10,36 ppbv. Konsentrasi gas NO<sub>2</sub> dari tiap-tiap daerah terlihat memberikan kontribusi pada kandungan ion nitrat seperti tercermin pada Tabel 3-1 dan Tabel 3-2 dalam besaran nilai konsentrasinya, yaitu terpusat pada tiga daerah Cipedes, Kebon Kalapa, dan Martadinata. Akan tetapi kondisi ion nitrat yang relatif kecil bila dibandingkan dengan sumber polutan NO<sub>2</sub> di Kebon Kalapa kemungkinan disebabkan adanya pengaruh oksidasi O<sub>3</sub> terhadap deposisi asam nitrat yang lemah, seperti terlihat dalam Tabel 3-4 dengan koefisien korelasi adalah 0,05. Proses oksidasi O<sub>3</sub> terhadap NO<sub>2</sub> menjadi nitrat terjadi di waktu malam hari, sedangkan siang hari O<sub>3</sub> dapat bereaksi langsung dengan NO membentuk NO<sub>2</sub>. Mengingat O<sub>3</sub> di troposfer atau permukaan berasal dari transport di stratosfer atau reaksi di tempat, yaitu karena adanya ozon *precursor* yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil berupa senyawa CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, NMHC dan sebagainya. Jadi O<sub>3</sub> berkurang maka NO<sub>2</sub> akan bertambah, pola ini terlihat dalam Gambar 3-1a s.d 3-1e. Angka korelasi O<sub>3</sub> terhadap deposisi asam nitrat yang kecil dalam Tabel 3-4 dibandingkan O<sub>3</sub> terhadap deposisi sulfat dalam Tabel 3-3 kemungkinan dipengaruhi oksidasi yang terjadi hanya di waktu malam hari saja.

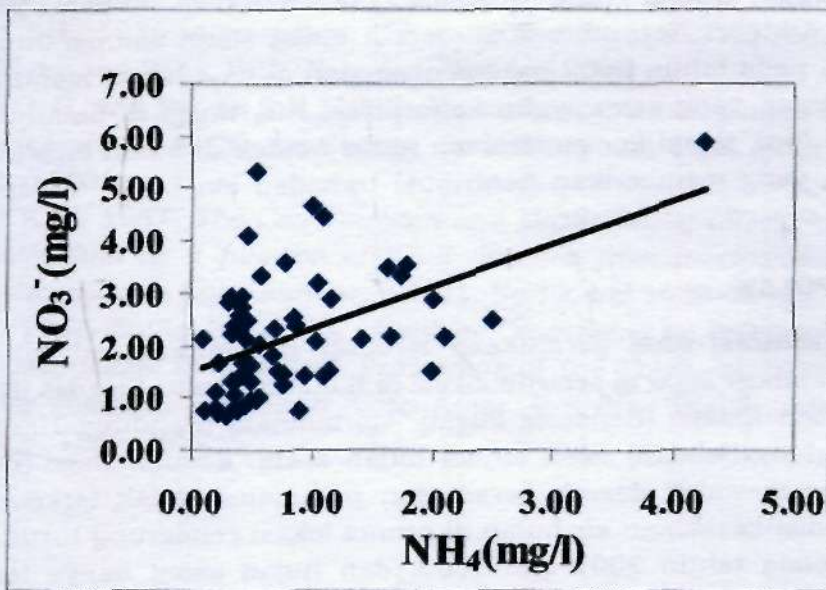




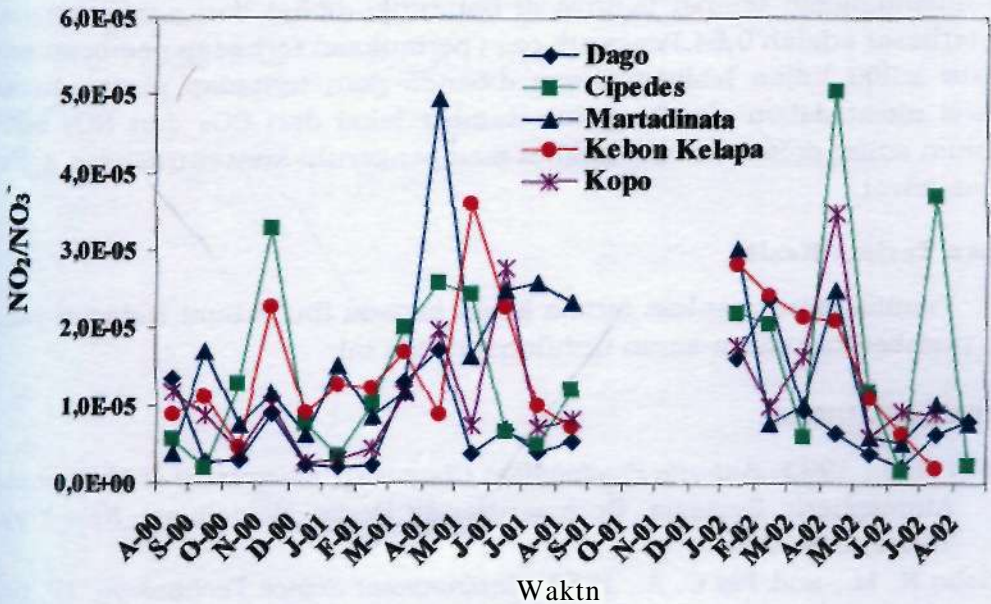
Gambar 3-7: Korelasi ozon terhadap deposisi asam nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) atau keasaman air hujan di empat lokasi (Dago, Martadinata, Kebon Kalapa, Kopu) di Bandung

Adanya pengaruh amonium nitrat pada kandungan ion nitrat dalam air hujan bisa ditinjau dari hubungan ion amonium dengan ion nitrat. Pada Gambar 3-8 terlihat kontribusi amonium nitrat terhadap ion nitrat tidak begitu besar dibandingkan dengan kontribusi amonium sulfat terhadap ion

sulfat. Nilai koefisien korelasi untuk ion sulfat terhadap amonium adalah 0,67 sedangkan ion nitrat terhadap ion amonium adalah 0,50.



Gambar 3-8: Korelasi  $\text{NH}_4$  dengan ion  $\text{NO}_3^-$  dalam air hujan



Gambar 3-9: Variasi perbandingan  $\text{NO}_2$  terhadap ion  $\text{NO}_3^-$  dalam air hujan dari Agustus 2000 sampai Agustus 2002 di Bandung

Korelasi  $\text{NO}_2$  dan ion  $\text{NO}_3^-$  dalam air hujan dapat dilihat dalam Gambar 3-9, yaitu hasil pengkajian sebelumnya, yang mana kontribusi  $\text{NO}_2$  naik di musim peralihan September-Oktober-November 2000 dan musim

peralihan Maret-April-Mei, serta turun di musim penghujan dan dan kemarau Juni-Juli-Agustus 2001 di Dago, Cipedes, Martadinata dan Kopo. Kecuali daerah Kebon Kalapa yang berbeda, yaitu naik di musim peralihan September-Oktober-Nopember 2000 dan di bulan Maret sampai Juni 2001. Sedangkan pada tahun 2002 hasil pengamatan di lima lokasi menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu konsentrasi NO<sub>2</sub> tinggi di bulan Januari, April dan Juni, tetapi konsentrasi ion nitrat rendah di bulan tersebut. Jadi selain NO<sub>2</sub> yang memberikan kontribusi terhadap ion nitrat terdapat juga unsur lain seperti aerosol nitrat.

#### **4 KESIMPULAN**

Konsentrasi ozon permukaan terbesar di Bandung adalah daerah Dago. Pada tahun 2000 di seluruh lokasi di Bandung, yaitu Cipedes (Bandung Barat), Kebon Kalapa (Bandung Pusat), Martadinata (Bandung Timur), dan Kopo (Bandung Selatan) telah terjadi hujan asam. Kecuali Dago (Bandung Utara) yang mewakili daerah bersih dan perumahan tidak terkena hujan asam. Kondisi keasaman air hujan di semua lokasi cenderung turun (angka pH naik) pada tahun 2001 dan 2002, dan hujan asam hanya terjadi di Cipedes. Pada awal tahun 2003 (Januari-Mei) terjadi hujan asam di Cipedes dan Martadinata. Keberadaan ozon mempengaruhi hujan asam di Dago lebih kuat dibandingkan tempat lainnya di Bandung, dilihat dari angka korelasi yang terbesar adalah 0,64. Pengaruh ozon permukaan terhadap pembentukan deposisi sulfat hujan lebih dominan dibandingkan terhadap pembentukan deposisi nitrat dalam air. Pengaruh sumber lokal dari SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> serta amonium sulfat dalam aerosol terlihat mempengaruhi konsentrasi ion sulfat dan ion **nitrat**.

#### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Rukmi Hidayati yang telah memberikan saran-saran untuk penelitian ini.

#### **DAFTAR RUJUKAN**

- Delmas R. J., 1983. *Antartic Precipitation Chemistry*, Chemistry of Multiphase Atmospheric Systems, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, Tokyo, 249 -264.
- Harrison R. M., and Pio C. A., 1987. *Environment Scince Technology*, 17, pp. 169.
- Heikes B. G., Gregory L. K., James G. W., and Allan L. L., 1987. January 20. *H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and SO<sub>2</sub> Measurements in The Lower Troposphere Over the Eastern United States During Fall*, Journal of Geophysical Research, Vol. 92, NO. DI, Pages 915-931.

- Hidayati R. dan Asiati S. (31 Oktober 2002). *Pengaruh gas buang kendaraan bermotor pada ozon permukaan di Bandung*, Semiloka Sehari "Evaluasi dan Strategi Pengendalian Pencemaran Udara di Kota Bandung.
- Seinfeld J.H., 1986. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley and Sons. INC., New York, hal 695 - 704.
- Seinfeld J. H. and Pandis S.N., 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*, John Wiley and Sons. INC., New York, hal.1031.
- Sperber K.R., 1987. *The Concentration and Deposition of Nitrate, Sulfate and Ammonium as a function of Wind direction from precipitation samples*. Atmospheric Environment, Vol. 21, No 12, hal 2629-2641.
- Xu Yu , 1987. *Sulfur Dioxide in Atmosphere Scavenging by Precipitation and Its Contribution to Acid Rain*, Proceeding of The Third Joint Conference of Air Pollution Studies in Asian Areas, Nov 30 - Dec 2, Tokyo, Japan, hal. 186- 199.