

# ANALISIS KORELASI PEARSON UNTUK UNSUR-UNSUR KIMIA AIR HUJAN DI BANDUNG

**Tuti Budiwati, Afif Budiyo, Wiwiek Setyawati, dan Asri Indrawati**

Peneliti Bidang Pengkajian Ozon Dan Polusi Atmosfer-Pusatsatklm, LAPAN

E-mail: tuti\_lapan@yahoo.com

## ABSTRACT

Pearson correlation coefficients are used to study influences of chemical and meteorological factors to rain water characteristic. The chemical composition of rain water analysis is composed of anion variables such as sulphates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), chlorides ( $\text{Cl}^-$ ), and cation variables such as ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), sodium ( $\text{Na}^+$ ) and magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Furthermore, other active variables such as pH and electric conductivity (EC) influences are also assessed. The statistical analysis is used to obtain a more comprehensive assessment in order to understand acid rain events. The acid rain is often correlated to strong meteorological factor influences such as rainfall. Therefore, the study is carried out for two different seasons in Bandung, i.e. wet and dry seasons.

Keywords: *Anion, Cation, Electric conductivity (EC), Pearson correlation coefficient, pH*

## ABSTRAK

Metode statistik seperti koefisien korelasi Pearson digunakan dalam paper ini dengan tujuan untuk mengkaji pengaruh elemen kimia dan faktor meteorologi terhadap air hujan. Analisis kimia air hujan meliputi variabel-variabel anion seperti sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan chlor ( $\text{Cl}^-$ ), dan kation seperti amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), natrium ( $\text{Na}^+$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Selain itu juga dianalisis variabel aktif lainnya seperti pH dan konduktivitas (*electric conductivity* (EC)). Analisis secara statistik ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil analisis yang lengkap dalam kaitannya dengan hujan asam. Hujan asam tentunya dihubungkan dengan kondisi meteorologi yang kuat pengaruhnya seperti curah hujan. Maka kajian ini dilakukan berdasarkan perbedaan dua musim di kota Bandung yaitu musim basah dan kering.

Kata kunci: *Anion, Kation, Konduktivitas, Koefisien korelasi Pearson, pH*

## 1 PENDAHULUAN

Kontribusi gas asam seperti SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar fosil akan menyebabkan keasaman atmosfer, selanjutnya menyebabkan masalah lingkungan dengan terjadinya hujan asam. Issu hujan asam adalah seiring dengan masalah polusi udara sebagai konsekuensi pertumbuhan ekonomi yang berdampak pada pemakaian bahan bakar. Kandungan sulfur dan nitrogen dalam premium di Indonesia cukup tinggi bila dibandingkan dengan standar minyak di USA yaitu 2% (sumber Pertamina). Selain gas-gas polutan yang terus meningkat konsentrasinya di atmosfer, partikel-partikel tanahpun di Indonesia umumnya sangat tinggi terutama di musim kemarau. Komposisi kimia partikel yang mengandung unsur asam berpotensi menyebabkan deposisi asam. Pencanaan Program Langit Biru adalah bentuk perhatian Indonesia terhadap peningkatan polutan-polutan yang akan mengganggu lingkungan dan kesehatan (KNLH, 1996).

Gas-gas polutan dan partikel-partikel akan tinggal beberapa waktu di udara dan kemudian musnah terdeposisi, baik deposisi kering maupun deposisi basah. Selama polutan berada di udara menyebabkan kualitas udara ambien menurun, yang berakibat langsung pada kesehatan manusia. Apabila terjadi pembersihan polutan melalui proses deposisi basah terutama SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>, maka akan menyebabkan terjadinya hujan asam yang berdampak pada kerusakan bangunan dan tumbuhan. Polutan seperti oksida sulfur (SO<sub>2</sub>) dan oksida nitrogen (NO<sub>2</sub>) melalui reaksi oksidasi akan berubah menjadi SO<sub>3</sub> dan NO<sub>3</sub>, selanjutnya berubah menjadi senyawa sulfat dan senyawa nitrat. Senyawa-senyawa tersebut akan berpindah dari atmosfer ke permukaan bumi melalui presipitasi dan deposisi langsung, sehingga dikenal deposisi basah dan deposisi kering. Bila pelarutan hujan terhadap polutan asam atmosfer dalam jumlah besar, tentunya hujan akan bersifat asam kuat. Nilai pH 5,6 adalah batas normal dari keasaman air hujan, dimana air murni berada dalam kesetimbangan dengan konsentrasi CO<sub>2</sub> global (350 ppm) di atmosfer (Seinfeld and Pandis, 1998). Dan pH 5,6 digunakan sebagai garis batas keasaman air hujan (Seinfeld and Pandis, 1998). Kelarutan CO<sub>2</sub> atmosfer dalam air murni pada  $p\text{CO}_2 = 3,7 \times 10^{-4}$  atm akan menghasilkan konsentrasi H<sup>+</sup> sebesar 2,5 µeq l<sup>-1</sup>; pH=5,60 (Mello and Almeida, 2004). Keasaman air hujan selain dipengaruhi oleh unsur asam seperti SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, dan Cl<sup>-</sup> juga dipengaruhi unsur basa seperti NH<sub>3</sub> dan CaCO<sub>3</sub>. Emisi alkali (partikel debu dan gas NH<sub>3</sub>) akan mempengaruhi keasaman air hujan secara signifikan, dengan menetralkan beberapa faktor asam (Chandra Mouli P., et al., 2005). Proses pembersihan polutan atmosfer oleh air hujan dan pembentukan awan dari partikel-partikel aerosol akan

berpengaruh dalam keasaman atau kimia air hujan. Bagaimanapun, pencemaran air hujan oleh polutan-polutan atmosfer adalah hal yang perlu diperhatikan dalam skala regional maupun global (Galloway, 2000). Menurut penelitian Meszaros dan Vissy (1974) di daerah laut lengang atau terpencil di belahan Bumi Selatan (Southern Hemisphere) bahwa komposisi kimia aerosol 75-95% terdiri dari NaCl,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan campuran sea salt (NaCl) dan  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (Meszaros, 1981).

Aplikasi metode statistik seperti koefisien korelasi Pearson dimaksudkan untuk mengkaji pengaruh elemen kimia dan faktor meteorologi terhadap air hujan. Analisis kimia air hujan meliputi variabel-variabel anion seperti sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan chlor ( $\text{Cl}^-$ ), dan kation seperti amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), kalium ( $\text{K}^+$ ), sodium ( $\text{Na}^+$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Selain itu juga dianalisis variabel aktif lainnya seperti pH dan *Electric Conductivity* (EC) yaitu konduktivitas air hujan. Berdasarkan analisis tersebut di atas dapat dipahami peranan kimia air hujan dalam menjelaskan kondisi lingkungan atmosfer suatu daerah berkaitan dengan isu polusi udara.

## 2 METODE DAN ANALISIS DATA

### 2.1 Metode Sampling dan Analisa Kimia

Sampel air hujan dikumpulkan berdasarkan hari hujan dan diukur jumlah curah hujan di Cipedes dan Dago di wilayah kota Bandung. Cipedes adalah daerah padat transportasi dan terdapat gerbang tol masuk kota Bandung bagian barat. Sedangkan Dago di Utara Bandung merupakan daerah perumahan dan bersih. Dilakukan pengukuran pH dengan pH meter untuk mengetahui keasaman air hujan dan konduktivitasnya (EC) dengan konduktiviti meter. Selanjutnya air hujan dianalisa dengan ion chromatografi untuk mendapatkan anion seperti  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{Cl}^-$ , dan kation seperti  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Mg}^{2+}$ .

Data pH, EC (mS/m), anion:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{Cl}^-$  dalam  $\mu\text{mol/l}$ , dan kation:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Mg}^{2+}$  dalam  $\mu\text{mol/l}$  harian dikumpulkan selama 2 tahun dari Januari 2005 sampai Desember 2006. Total anion  $[\Sigma^-] = \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$  dan total kation  $[\Sigma^+] = \text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{H}^+$ . Data-data ini telah diuji kualitasnya dengan metode *Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)* yang dikeluarkan oleh ADORC-Japan (2001). Selanjutnya digunakan analisis korelasi untuk mendapatkan hubungan antar variabel yang dipertimbangkan dalam paper ini. Koefisien korelasi Pearson dalam program SPSS 12.0 digunakan dalam analisis ini (Chandra Mouli P., et al., 2005 dan Seni, 2005).

## 2.2 Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan berdasarkan data harian untuk tiap wilayah (Cipedes dan Dago) dan tiap musim (basah dan kering) dengan menggunakan software SPSS versi 12.0. Musim kering berlangsung dari bulan Juni hingga November, sedangkan musim basah dari bulan Desember hingga Mei setiap tahunnya (Mc. Gregor and Nieuwolt, 1998).

Metode statistik yang digunakan dalam analisa data adalah koefisien korelasi Pearson. Koefisien korelasi ( $r$ ) digunakan untuk mengetahui kuat atau tidaknya hubungan antara variabel-variabel bebas dan variabel tidak bebas. Nilai koefisien korelasi berada antara 1 dan -1 ( $-1 \leq r \leq 1$ ). Variabel-variabel dikatakan memiliki korelasi yang kuat jika nilai koefisien korelasinya lebih besar dari 0,5 atau lebih kecil dari -0,5. Jika nilai koefisien korelasinya positif berarti kenaikan (penurunan) nilai variabel bebas pada umumnya diikuti oleh kenaikan (penurunan) nilai variabel tidak bebas, sedangkan jika nilai koefisien korelasinya negatif berarti kenaikan (penurunan) nilai variabel bebas pada umumnya diikuti oleh penurunan (kenaikan) nilai variabel tidak bebas. Adapun rumus perhitungan untuk menentukan koefisien korelasi  $r$  antara variabel tidak bebas  $Y$  terhadap variabel bebas  $X$  ditunjukkan pada persamaan 2-1 dengan  $n$  jumlah data (Gaspersz, 1992). Rumus ini disebut juga koefisien korelasi Pearson (*Pearson's product moment coefficient of correlation*).

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n Y_i \right)^2}} \quad (2-1)$$

Untuk uji pengaruh antar variabel-variabel digunakan nilai probabilitas ( $p$ -value) atau dalam SPSS tertulis SIG (*significance*). Jika  $p$ -value nilainya lebih rendah daripada  $\alpha$  (alpha) maka pengaruh antar variabel dikatakan signifikan, sedangkan jika nilainya lebih tinggi maka berarti pengaruh antar variabel tidak signifikan. Nilai  $\alpha$  adalah nilai koefisien kepercayaan yang dalam perhitungan ini digunakan  $\alpha=0,05$  atau tingkat kepercayaan 95% (Seni, 2005).

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis secara statistik dengan korelasi Pearson diaplikasikan ke data kimia air hujan untuk mengidentifikasi sumber-sumber yang mempengaruhi kimia air hujan. Selain itu koefisien korelasi ini dihitung dengan sasaran untuk menentukan tipe hubungan antara ion-ion kimia dalam air hujan dan sebagai akibat dari sumber-sumber

polutan yang mempengaruhinya. Hal lainnya adalah bertujuan menjelaskan variabel yang berpengaruh pada keasaman air hujan. Kriteria untuk signifikan adalah  $p < 0,05$  (Seni, 2005). Perbedaan faktor meteorologi yang tercermin dalam musim basah dan kering akan menjelaskan pula korelasi antara variabel kimia air hujan.

### 3.1 Kondisi di Cipedes

Matriks koefisien korelasi antara variabel-variabel kimia air hujan pada musim hujan/basah di Cipedes diperlihatkan dalam Tabel 3-1. Dua komponen asam seperti sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) memperlihatkan korelasi yang sangat kuat, terlihat dari besarnya angka korelasi 0,884 dengan signifikan  $p < 0,05$ . Gas  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  sebagai pembentuk sulfat dan nitrat sangat mungkin berasal dari emisi yang sama, jadi terdapat kerja sama emisi sehingga menghasilkan korelasi yang bagus antara sulfat dan nitrat. Korelasi yang kuat juga diperlihatkan oleh EC (*electric conductivity*) dengan variabel asam sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan amonium ( $\text{NH}_4^+$ ), yaitu sebesar 0,893; 0,891 dan 0,837. Hal ini mengindikasikan antara variabel asam dan basa sama kuatnya, sehingga netralisasi asam dalam air hujan tidak lengkap. Di samping itu korelasi antara asam dengan basa seperti sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dengan amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) memperlihatkan nilai yang besar dengan signifikan yang kuat pengaruhnya. Ini menunjukkan adanya pengaruh sistem amonium/sulfat/nitrat, yaitu dengan cara  $\text{NH}_3$  di udara akan bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  membentuk  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dan  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  dan sisa  $\text{NH}_3$  akan diambil oleh  $\text{HNO}_3$  membentuk  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  (Hu et al., 2003). Hal ini sesuai dengan kondisi daerah Cipedes (Jl. DR.Djundjuran) yang mempunyai masalah timbunan sampah yang parah pada musim basah dari 2005 terutama tahun 2006, yaitu timbunan sampah ini tentunya akan menghasilkan  $\text{NH}_3$  cukup banyak. Dua unsur utama dari laut ( $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ ) menunjukkan korelasi yang bagus dan mempunyai pengaruh signifikan yang kuat. Korelasi yang cukup bagus juga terlihat antara variabel  $\text{Mg}^{2+}$  dengan  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{K}^+$ , dan ini memperlihatkan adanya pengaruh elemen-elemen kerak Bumi. Bandung yang merupakan daerah pegunungan dan letaknya sangat dekat dengan Padalarang (pegunungan kapur) dimana banyak terdapat tempat pembakaran batu kapur yang mengandung  $\text{Ca}(\text{CO}_3)$  tentunya akan mendapat pengaruh Ca (*Calcium*) yang kuat.

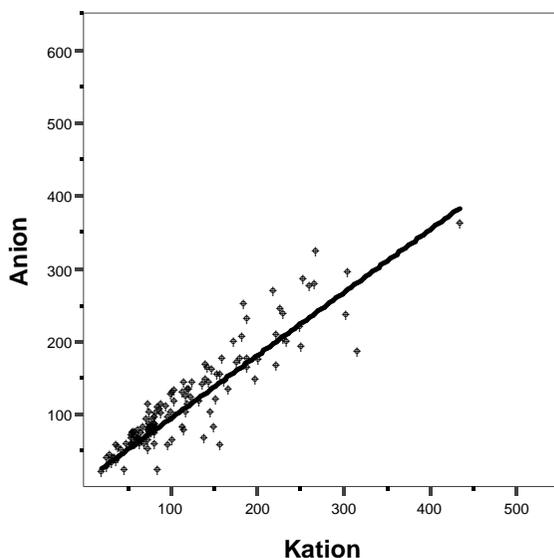
Tabel 3-1: MATRIKS KOEFISIEN KORELASI ANTARA KONSENTRASI ION-ION KIMIA AIR HUJAN PADA MUSIM BASAH DI CIPEDES (2005-2006)

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	pH	EC
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	,884(**)									
Cl <sup>-</sup>	,553(**)	,535(**)								
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	,816(**)	,814(**)	,528(**)							
Na <sup>+</sup>	,440(**)	,460(**)	,825(**)	,453(**)						
K <sup>+</sup>	,384(**)	,356(**)	,873(**)	,377(**)	,668(**)					
Ca <sup>2+</sup>	,717(**)	,704(**)	,797(**)	,582(**)	,617(**)	,699(**)				
Mg <sup>2+</sup>	,487(**)	,497(**)	,851(**)	,452(**)	,687(**)	,805(**)	,850(**)			
pH	-,084	-,052	,423(**)	,179(*)	,505(**)	,405(**)	,295(**)	,460(**)		
EC	,893(**)	,891(**)	,746(**)	,837(**)	,599(**)	,589(**)	,810(**)	,676(**)	,041	
CH	-,240(**)	-,318(**)	-,344(**)	-,258(**)	-,237(**)	-,332(**)	-,411(**)	,349(**)	,223(*)	,328(**)

\*\* Korelasi signifikan pada level 0,01

\* Korelasi signifikan pada level 0,05

N = 128



Gambar 3-1: Kation vs Anion untuk data harian 2005-2006 di musim basah di Cipedes. Garis lurus mengindikasikan perbandingan kation dan anion

Gambar 3-1 memperlihatkan korelasi antara anion dan kation dengan pH untuk semua data harian pada musim basah di Cipedes selama 2005-2006. Perbandingan kation dan anion (koefisien korelasi) mempunyai nilai yang bagus (92,2%), indikasi bahwa kualitas data sangat bagus pada musim hujan. Variabel-variabel yang terdapat dalam unsur asam dan basa masing-masing mempunyai pengaruh terhadap keasaman air hujan (terindikasi pada nilai pH) dan tentunya tergantung besarnya sumber polutan yang menghasilkannya. Nilai keasaman air hujan dengan  $pH < 5,6$  adalah 57% dan sisanya 43% dengan  $pH > 5,6$ . Perbedaan prosentase ke arah asam dan basa tidak terlalu besar, ini mengindikasikan pengaruh asam dan basa sama kuat. Faktor netralisir  $Na^+$  terlihat berkorelasi paling bagus terhadap pH dibandingkan unsur basa lainnya sebagai netralisir asam dalam air hujan.

Untuk melihat pengaruh musim kering terhadap konsentrasi ion-ion kimia dalam air hujan dan hubungan antara mereka, maka hasil olahan data secara statistik kami tampilkan pada Tabel 3-2 dan Gambar 3-2 di bawah ini.

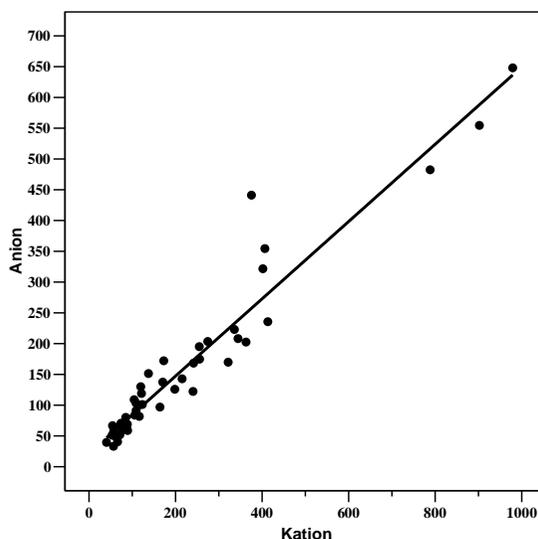
Tabel 3-2: MATRIKS KOEFISIEN KORELASI ANTARA KONSENTRASI ION-ION KIMIA AIR HUJAN PADA MUSIM KERING DI CIPEDES (2005-2006)

	$SO_4^{2-}$	$NO_3^-$	$Cl^-$	$NH_4^+$	$Na^+$	$K^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	pH	EC
$NO_3^-$	,658(**)									
$Cl^-$	,806(**)	,833(**)								
$NH_4^+$	,742(**)	,884(**)	,826(**)							
$Na^+$	,632(**)	,675(**)	,808(**)	,745(**)						
$K^+$	,712(**)	,865(**)	,888(**)	,802(**)	,539(**)					
$Ca^{2+}$	,792(**)	,577(**)	,801(**)	,595(**)	,403(**)	,801(**)				
$Mg^{2+}$	,675(**)	,800(**)	,833(**)	,663(**)	,484(**)	,895(**)	,810(**)			
pH	,514(**)	,600(**)	,644(**)	,694(**)	,628(**)	,589(**)	,483(**)	,635(**)		
EC	,873(**)	,885(**)	,911(**)	,903(**)	,729(**)	,888(**)	,721(**)	,797(**)	,647(**)	
CH	-,441(**)	-,366(**)	-,389(**)	-,347(*)	-,334(*)	-,319(*)	-,397(**)	-,372(**)	-,249	-,429(**)

\*\* Korelasi signifikan pada level 0,01

\* Korelasi signifikan pada level 0,05

N = 49



Gambar 3-2: Kation vs Anion untuk data harian 2005-2006 di musim kering di Cipedes. Garis lurus mengindikasikan perbandingan kation dan anion

Dari tabel 3-2 terdapat korelasi yang bagus antara EC dengan  $\text{Cl}^-$  (asam anion) dan EC dengan  $\text{NH}_4^+$  (basa kation). Berarti faktor asam dan basa akan sama kuatnya dalam mempengaruhi keasaman air hujan. Ini didukung pula oleh nilai korelasi  $\text{Cl}^-$  dan  $\text{NH}_4^+$  terhadap pH sebagai indikator derajat keasaman yang berada dalam kisaran nilai yang sama dan pengaruh yang sangat signifikan. Kecenderungan air hujan ke arah asam dalam kriteria  $\text{pH} < 5,6$  adalah sebesar 40,8% dan sisanya 59,2% mempunyai  $\text{pH} > 5,6$  ke arah basa. Indikasi ini didukung oleh korelasi yang bagus antara  $\text{NH}_4^+$  terhadap pH yaitu 0,694. Nilai korelasi yang bagus pada musim kering ini diperlihatkan antara  $\text{NH}_4^+$  dengan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), ini menunjukkan bahwa pengaruh aerosol sulfat [ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ] dan amonium nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) salah satunya berasal dari debu-debu tanah yang cukup tinggi di musim kering (Budiwati et al., 2001). Kesimpulan ini juga didukung nilai koefisien korelasi antara sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dengan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) pada musim lebih kecil dibandingkan pada musim basah atau hujan. Korelasi yang bagus di antara elemen-elemen kerak Bumi seperti  $\text{Mg}^{2+}$  dengan  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{K}^+$  adalah mirip dengan musim basah. Terdapat korelasi yang lebih bagus dari elemen-elemen kerak Bumi terhadap sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Hal ini kemungkinan adanya pengaruh debu-debu tanah dan aerosol terhadap proses pencucian atmosfer dan berdampak pada keasaman air hujan.

Korelasi antara kation dan anion dalam Gambar 3-2 memperlihatkan nilai yang bagus (96,2%). Angka ini merupakan ratio yang mengindikasikan bahwa kualitas data sangat bagus pada musim kering.

Koefisien korelasi antara  $\text{SO}_4^{2-}$  dengan  $\text{NO}_3^-$  pada musim basah lebih besar dibandingkan musim kering, artinya pengaruh emisi gas  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  juga  $\text{NH}_3$  sangat berperan. Sebaliknya korelasi antara  $\text{NH}_4^+$  dengan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) pada musim kering lebih besar dibandingkan musim basah disebabkan peningkatan aerosol sulfat dan nitrat.

### 3.2 Kondisi di Dago

Tabel 3-3 memperlihatkan matriks koefisien korelasi antara variabel-variabel kimia air hujan pada musim basah di Dago. EC (*electric conductivity*) dengan  $\text{SO}_4^{2-}$  dan  $\text{Cl}^-$  berkorelasi dengan sangat bagus dan signifikan (0,936 dan 0,865). Dua komponen asam seperti sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) memperlihatkan korelasi yang cukup, terlihat dari angka korelasi 0,552 dengan signifikan  $p < 0,05$ . Daerah Dago relatif bersih dengan gas polutan  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  yang relatif kecil dibandingkan daerah lainnya di Bandung (Budiwati et al., 2006). Gas  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  sebagai pembentuk sulfat dan nitrat pada musim basah tidak terlalu dominan. Kemungkinan sekali kontribusi sulfat dan nitrat berasal dari  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dan  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$  yang berasal dari reaksi antara  $\text{NH}_3$  dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan sisa  $\text{NH}_3$  akan diambil oleh  $\text{HNO}_3$  membentuk  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Gas  $\text{NH}_3$  sangat mungkin berasal dari timbunan sampah mengingot di Dago terdapat lokasi pembuangan sampah atau dari pupuk mengingot kawasan ini masih hijau. Indikasi ini terlihat dari korelasi yang bagus dan signifikan antara  $\text{NH}_4^+$  dengan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Selain itu debu-debu tanah juga dapat menyumbangkan  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Korelasi yang kuat juga diperlihatkan oleh elemen-elemen kerak Bumi seperti  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{K}^+$  terhadap sulfat. Komponen-komponen basa dengan pH berkorelasi cukup bagus dan signifikan dibandingkan asam dengan pH. Hal ini mengindikasikan bahwa netralisir asam dalam air hujan oleh unsur-unsur basa cukup kuat. Dan nilai keasaman air hujan dengan  $\text{pH} < 5,6$  adalah 28,9% dan sisanya 71,1% dengan  $\text{pH} > 5,6$ . Ini mengindikasikan daerah Dago tidak terkena hujan asam pada musim hujan/basah. Perbandingan kation dan anion sangat bagus dengan angka 0,933 atau 96,59% (Gambar 3-3), sebagai indikasi bahwa kualitas data bagus.

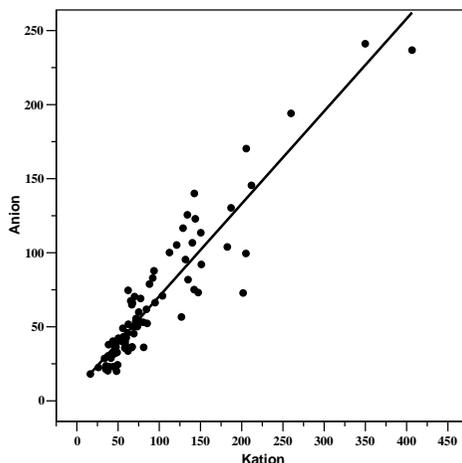
Tabel 3-3: MATRIKS KOEFISIEN KORELASI ANTARA KONSENTRASI ION-ION KIMIA AIR HUJAN PADA MUSIM BASAH DI DAGO (2005-2006)

	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	pH	EC
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	,552(**)									
Cl <sup>-</sup>	,752(**)	,684(**)								
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	,718(**)	,626(**)	,669(**)							
Na <sup>+</sup>	,473(**)	,498(**)	,756(**)	,504(**)						
K <sup>+</sup>	,854(**)	,418(**)	,824(**)	,548(**)	,548(**)					
Ca <sup>2+</sup>	,760(**)	,551(**)	,863(**)	,429(**)	,542(**)	,812(**)				
Mg <sup>2+</sup>	,621(**)	,531(**)	,864(**)	,426(**)	,646(**)	,779(**)	,884(**)			
pH	,113	,070	,473(**)	,381(**)	,493(**)	,324(**)	,376(**)	,502(**)		
EC	,936(**)	,688(**)	,865(**)	,825(**)	,616(**)	,840(**)	,778(**)	,697(**)	,266(*)	
CH	-,229(*)	,331(**)	-,360(**)	-,295(**)	-,287(**)	-,185	,372(**)	-,324(**)	-,290(**)	-,332(**)

\*\* Korelasi signifikan pada level 0,01

\* Korelasi signifikan pada level 0,05

N = 83



Gambar 3-3: Kation vs Anion untuk data harian 2005-2006 pada musim basah di Dago. Garis lurus mengindikasikan perbandingan kation dan anion

Dari tabel 3-4 didapatkan korelasi yang bagus antara Na<sup>+</sup> dan Cl<sup>-</sup> yang merupakan unsur yang berasal dari sumber garam laut. Dua komponen asam yaitu SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> terhadap EC dalam air hujan. Pada musim kering ternyata korelasi antara SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> lebih tinggi dibandingkan musim basah. Demikian pula terdapat korelasi yang bagus dan signifikan antara NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dengan sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) dan nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), yang ternyata lebih besar dibandingkan musim basah (tabel 3-3). Seperti diketahui konsentrasi SPM atau aerosol akan meningkat pada musim kering di Indonesia umumnya dan Bandung khususnya

(Budiwati et al., 2001). Maka kontribusi sulfat maupun nitrat kemungkinan berasal SPM atau debu-debu tanah yang menyumbangkan  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  dan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ke atmosfer. Faktor kerak bumi yang mempengaruhi keasaman air hujan tercermin dari korelasi yang bagus antar konsentrasi  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  dan  $\text{K}^+$ .

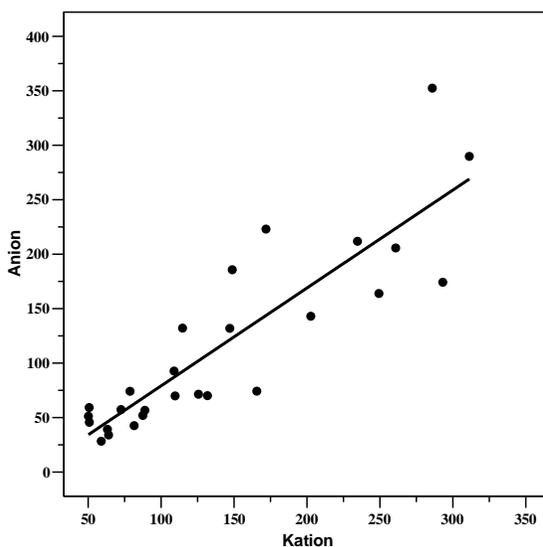
Tabel 3-4: Matriks koefisien korelasi antara konsentrasi ion-ion kimia air hujan pada musim kering di Dago (2005-2006)

	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	pH	EC
$\text{NO}_3^-$	,757(**)									
$\text{Cl}^-$	,297	,235								
$\text{NH}_4^+$	,760(**)	,446(*)	,162							
$\text{Na}^+$	,204	,101	,877(**)	-,022						
$\text{K}^+$	,498(**)	,572(**)	,185	,078	,154					
$\text{Ca}^{2+}$	,606(**)	,646(**)	,157	,329	,107	,562(**)				
$\text{Mg}^{2+}$	,653(**)	,750(**)	,160	,405(*)	,025	,642(**)	,797(**)			
pH	-,461(*)	-,716(**)	-,247	-,125	-,024	-,456(*)	-,116	-,389(*)		
EC	,828(**)	,789(**)	,669(**)	,617(**)	,552(**)	,440(*)	,646(**)	,637(**)	-,444(*)	
CH	-,321	-,331	-,203	-,201	-,130	-,270	-,321	-,323	,136	-,393(*)

\*\* Korelasi signifikan pada level 0,01

\* Korelasi signifikan pada level 0,05

N = 27



Gambar 3-4: Kation vs Anion untuk data harian 2005-2006 pada musim kering di Dago. Garis lurus mengindikasikan perbandingan kation dan anion

Nilai keasaman air hujan ke arah asam dengan  $\text{pH} < 5,6$  adalah 18,5% dan sisanya 81,5% dengan  $\text{pH} > 5,6$  ke arah sebaliknya yaitu basa. Jadi pada musim kering, Dago tidak terkena hujan asam. Gambar 3-4 memperlihatkan korelasi kation dengan anion adalah cukup bagus. Perbandingan kation dan anion yang dapat menjelaskan kualitas data adalah sangat bagus dengan angka 0,878.

#### 4 KESIMPULAN

Koefisien korelasi antara  $\text{SO}_4^{2-}$  dengan  $\text{NO}_3^-$  pada musim basah lebih besar dibandingkan musim kering, artinya pengaruh emisi gas  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  juga  $\text{NH}_3$  berperan sekali pada musim basah tersebut. Sebaliknya korelasi yang kuat antara  $\text{NH}_4^+$  dengan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) pada musim kering disebabkan peningkatan aerosol sulfat dan nitrat. Hujan asam terjadi di Cipedes pada musim basah.

Di Dago pada musim basah maupun kering gas  $\text{NH}_3$  berperan sekali dalam memberikan kontribusi sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dalam air hujan dibandingkan  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$ . Pada musim basah maupun kering tidak terjadi hujan asam di Dago. Keasaman ( $\text{pH}$ ) air hujan dipengaruhi konsentrasi unsur-unsur kimia terlihat dari analisis korelasi Pearson.

#### DAFTAR RUJUKAN

- ADORC, 2001. *Manual Quality Assurance/Quality Control (QA/QC), Program for Wet Deposition Monitoring in East Asia* by ADORC Acid Deposition and Oxidant Research Center –Japan.
- Budiwati T., Sumaryati, Sofiati I., Mulyani T.H.W., Pariyatmo M., 2006. *Pengaruh Ozon terhadap Hujan Asam di Bandung*, J. Sains Dirgantara (Journal of Aerospace Sciences), Vol. 3, No. 2, Juni, 78-97.
- Budiwati, T., Sumaryati, dan Sofiati, I., 2001. *Karakteristik Ketebalan Optik Aerosol di Bandung, Kontribusi Fisika Indonesia*, ISSN 0854-6878, Vol. 12, No. 4, hal. 120-126.
- Chandra Mouli, P., Venkata Mohan S., and Jayarama Reddy S., 2005. *Rainwater Chemistry at A Regional Representative Urban Site: Influence of Terrestrial Sources on Ionic Composition*, Atmospheric Environment, No. 39, hal 999 – 1008.
- Galloway, J. N., 2000. *Acidification of the world: Natural and Anthropogenic, Acid Rain 2000*, Proceeding from the 6<sup>th</sup> International Conference on Acidic Deposition: Looking back to the past and thinking of the future, Tsukuba, Japan, 10-16 December 2000, Vol. I, 17-24.

- Gaspersz, V., 1992. *Teknik Analisis Dalam Penelitian Percobaan*, Penerbit Tarsito Bandung, 1-6.
- Hu, G.P., Balasubramanian R., and Wu C.D., 2003. *Chemical Characteristics of Rainwater at Singapore*, Atmospheric Environment, No. 51, hal 747 – 755.
- KNLH (Kantor Negara Lingkungan Hidup), 1996. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup, No. 15 Tahun 1996, Program Langit Biru.
- Mc. Gregor G.R. and Nieuwolt S., 1998. *Tropical Climatology: An Introduction To The Climates Of The Low Latitudes*, second edition, John Wiley & Sons, pp. 125-133.
- Mello, W.Z., and Almeida, M.D., 2004. *Rainwater Chemistry at the Summit and Southern Flank of the Itatiaia Massif, Southeastern Brazil*, *Environmental Pollution* 129, Elsevier, 63-68.
- Meszaros, A. and Vissy, K., 1974. *Concentration, Size Distribution and Chemical Nature of Atmospheric Aerosol Particles in Remote Oceanic areas*, *J. Aerosol Science* 5, 101-110.
- Meszaros, E., 1981. *Atmospheric Chemistry Fundamental Aspects*, Elsevier Scientific Publishing Company, 119-120.
- Seinfeld, J.H. and Pandis SN, 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*, John Wiley and Sons. INC., New York, hal.1031.
- Seni, M. S., 2005. *Tugas makalah: Analisis Multiregresi*, STT Telkom Bandung, <http://www.stttelkom.ac.id>.