

ANALISIS HUJAN ASAM DAN CO₂ ATMOSFER

Tuti Budiwati

Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer Dan Iklim-LAPAN

Jl. Dr. Djundjungan 133, Bandung, e-mail; tuti_lapan@yahoo.com

ABSTRAK

Hujan asam adalah air hujan dengan pH (keasaman) 5,6 dimana air murni berada dalam kesetimbangan dengan konsentrasi CO₂ global (350 ppm) di atmosfer. Pengaruh keasaman air hujan selain dipengaruhi oleh unsur asam seperti SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl juga dipengaruhi unsur basa seperti NH₃ dan CaCO₃. Dampak dari transportasi dan industri akan mempengaruhi konsentrasi CO₂ di atmosfer. Tahun 2004 di beberapa lokasi di Bandung seperti Cipedes (Bandung Barat) dan Jl. Martadinata (Bandung Timur) mewakili daerah padat transportasi dan Dago (Bandung Utara) sebagai daerah perumahan mempunyai konsentrasi CO₂ yang bervariasi. Konsentrasi rata-rata CO₂ bervariasi 330-426 ppm untuk Cipedes dan 307-372 ppm untuk Martadinata, sedangkan Dago bervariasi 254-290 ppm. Ternyata terdapat korelasi antara konsentrasi CO₂ dan terjadinya hujan asam di Bandung umumnya kecuali wilayah Dago.

Kata kunci: CO₂, CaCO₃, hujan asam, pH (keasaman)

ABSTRACT

Acid rain was rainwater with pH (acidity) 5.6 where pure water was in balance condition with global CO₂ concentration (350 ppm) in the atmosphere. Rainwater acidity was influenced by acid elements such as SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl as well as base elements such as NH₃ and CaCO₃. Transportation and industrial gave impacts to atmospheric CO₂ concentration. In 2004 in some locations in Bandung, such as Cipedes (West Bandung) and Jl. Martadinata (East Bandung) represented heavy transportation area and Dago (North Bandung) represented residential area had various CO₂ concentrations. CO₂ concentration varied between 330-426 ppm in Cipedes and 307-372 ppm in Martadinata, Dago varied between 254-290 ppm. It was found that there was correlation between CO₂ concentration and acid rain in Bandung generally except in Dago.

Keywords: CO₂, CaCO₃, acid rain, pH (acidity)

PENDAHULUAN

Peningkatan emisi gas-gas hasil pembakaran bahan bakar dan biomassa seperti karbondioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), dinitrogen oksida (N₂O), metana (CH₄), hidrokarbon lain dan aerosol ke udara akan mempengaruhi konsentrasi ozon (O₃) (Houghton et al., 2001), dan berdampak pada terjadinya hujan asam. Polutan seperti oksida sulfur (SO₂) dan oksida nitrogen (NO₂) melalui reaksi oksidasi akan berubah menjadi SO₃ dan NO₃, selanjutnya berubah menjadi senyawa sulfat dan senyawa nitrat. Emisi alkali (partikel debu dan gas NH₃) akan mempengaruhi keasaman air hujan secara signifikan, dengan menetralkan beberapa faktor asam (Chandra Mouli P., et al., 2005). CO₂ di atmosfer telah meningkat sejak revolusi industri dikarenakan pertumbuhan dari aktivitas manusia yang cepat. Sejumlah CO₂ di atmosfer tidak hanya dipengaruhi oleh emisi CO₂ antropogenik tetapi berasal dari perubahan CO₂ karena sistem karbon, biosfer daratan dan lautan. Variasi secara spasial dan waktu dari CO₂ memberikan informasi tentang karakteristik CO₂ dikarenakan interaksi atmosfer, daratan dan laut. Saat ini telah dilakukan pengukuran vertikal CO₂ untuk mengurangi cara perhitungan flux CO₂ yang sulit, khususnya di posisi

diatas *planetary boundary layer* (lapisan batas di atmosfer) seperti dilakukan oleh Machida et al., (2007).

Konsentrasi CO₂ di atmosfer bervariasi dengan lokasi dan musim. Terdapat kesetimbangan CO₂ terlarut dalam air dengan gas CO₂ di atmosfer. CO₂ dan produk ionisasinya adalah ion bikarbonat (HCO₃⁻) dan ion karbonat (CO₃²⁻) mempunyai peranan mempengaruhi kimia air (Manahan, 1999). Karbon dioksida terdisosiasi dalam air membentuk H⁺ dan HCO₃⁻ dan mempengaruhi pH air. Dalam air hujan nilai pH 5,6 adalah batas normal dari keasaman air hujan, dimana air murni berada dalam kesetimbangan dengan konsentrasi CO₂ global (350 ppm) di atmosfer, dan pH 5,6 digunakan sebagai garis batas untuk keasaman air hujan (Seinfeld and Pandis, 1998). Berdasarkan penelitian sebelumnya, secara alami keberadaan CO₂, NO_x dan SO₂ akan dilarutkan oleh awan dan titik-titik hujan dan hasilnya nilai pH hujan dalam atmosfer bersih berada antara 5,0 dan 5,6 (Charlson and Rodhe, 1982 dalam Seinfeld dan Pandis (1998).

Peningkatan CO₂ di atmosfer sebagai salah gas rumah kaca berpotensi menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim. Selain itu dapat mempengaruhi keasaman air hujan dalam indikasi pH dikarenakan proses pencucian atmosfer oleh hujan. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis kimia air hujan dan keasamannya serta polutan CO₂ di beberapa lokasi di daerah *urban* Bandung.

METODA DAN ANALISIS

Pemantauan gas CO₂ di Jl. Dr. Djundjuna (Cipedes) kantor LAPAN-Bandung untuk wilayah Barat, Dago untuk wilayah Utara dan Jl. Martadinata untuk wilayah Timur dari urban Bandung. Pada bulan yang bersamaan dilakukan pula pengambilan sampel air hujan. Karakteristik Jl. Dr. Djundjuna (Cipedes) dan Jl. Martadinata adalah padat transportasi, sedangkan Dago adalah perumahan dengan area hijau yang relatif luas dibandingkan dua area disebutkan sebelumnya. Pengukuran gas CO₂ dengan CO-CO₂ Meter Sibata dengan metoda NDIR (Non Dispersive Infrared Ray Absorption) dalam satuan ppm pada waktu pagi (07:00-08:00), siang (12:00-13:00), dan sore (17:00-18:00) dari Senin sampai Minggu (7 hari) dari April sampai Oktober 2004.

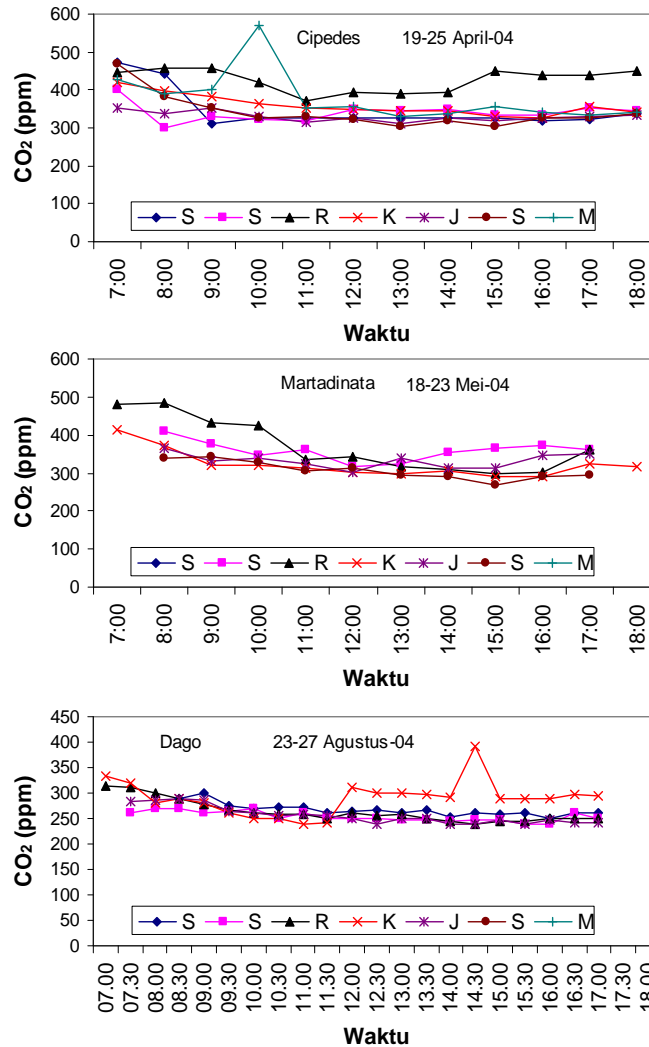
Sampel air hujan dianalisis dengan spektrofotometer untuk ion anion SO₄²⁻, NO₃⁻ dan kation NH₄⁺. Analisis ion sulfat dengan metoda turbidimetri Ba₂SO₄ dengan menggunakan kalibrasi larutan standar Na₂SO₄. Ion nitrat ditentukan dengan metode KaNaTartrat-NaOH, yang menggunakan larutan standar KNO₃. Sedangkan ion amonium ditentukan dengan metode *Indophenol*, dengan menggunakan larutan standar NH₄Cl. Keasaman air hujan diukur pHnya dengan pHmeter Orion model SA720, ketelitian 0,05 dan kalibrasi dengan buffer 7 and 4.

HASIL DAN DISKUSI

1. Variasi CO₂

Pemantauan gas CO₂ di Jl. Dr. Djundjuna (Cipedes) kantor LAPAN-Bandung, Jl. Maetadinata dan Dago memperlihatkan bahwa konsentrasi CO₂ tinggi pada pagi hari dari jam 07:00 sampai 09:00 (gambar 3.1). Pagi hari CO₂ banyak dihasilkan oleh proses respirasi dari tanaman. Siang hari CO₂ akan diserap oleh tumbuh-tumbuhan untuk proses fotosintesis CO₂ + H₂O + hv → (CH₂O) + O₂ dan konsentrasi CO₂ menjadi berkurang pada siang hari. Tanaman mengambil CO₂ dari atmosfer dan mengeluarkan O₂ melalui fotosintesis di siang hari. Terjadi sebaliknya pada malam hari selama proses pernapasan (Manahan, 1994). Konsentrasi CO₂ terlihat tinggi pada hari Rabu, padatnya transportasi memacu tingginya konsentrasi CO₂ sebagai hasil dari pembakaran bahan bakar fosil.

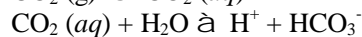
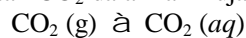
Konsentrasi rata-rata harian CO₂ bervariasi 330-426 ppm; 307-372 ppm dan 254-290 ppm secara berturut-turut untuk Cipedes, Martadinata dan Dago. Cipedes dan Martadinata yang merupakan daerah padat transportasi di kota Bandung mempunyai konsentrasi CO₂ yang tinggi dibandingkan Dago sebagai daerah perumahan dan hijau. Dago adalah kawasan di utara Bandung dan merupakan daerah yang relatif bersih dibandingkan lokasi lainnya di Bandung. Bila ditinjau dari konsentrasi CO₂ masih dibawah 350 ppm.



Gambar 3.1. Variasi CO₂ dari jam 07:00 sampai 18:00 pada 19-25 April 2004 di Cipedes, Martadinta dan Dago Bandung.

2. HCO₃⁻ dan NH₄⁺

Ion HCO₃⁻ dalam air hujan bersifat alkalin atau basa dan keberadaannya ada hubungannya dengan gas CO₂ di atmosfer juga kandungan alkalin tanah. Kelarutan CO₂ dalam air hujan dan terdisosiasi yaitu:



Konsentrasi HCO₃⁻ dapat dihitung berdasarkan nilai pH, bila pH \geq 6 (ADORC-Japan (2002), maka:

$$[\text{HCO}_3^-] = 1,24 \times 10^{\text{pH}-5,35} \quad \text{dalam } (\mu\text{eq/l})$$

Kelarutan CO₂ atmosfer dengan konsentrasi 350 ppm (Manahan, 1999) dalam air murni pada pCO₂= 3,7x10⁻⁴ atm akan menghasilkan konsentrasi H⁺ sebesar 2,5 µeq/l; dan pH=5,60 (Mello and Almeida, 2004). Konsentrasi HCO₃⁻ untuk pH lebih besar 6 terdapat di Dago yaitu 20,6 µeq/l dengan nilai pH = 6,57 dan CO₂ = 266 ppm pada bulan Agustus 2004. Dari 19 sampai 25 April 2004 di Cipedes, air hujan mempunyai pH lebih kecil dari 6, kecuali 23 April 2004 mempunyai pH = 6,25 dan konsentrasi HCO₃⁻ adalah 9,8 µeq/l. Dan Martadinata dari tanggal 19 sampai 23 Mei 2004, air hujan mempunyai pH lebih kecil dari 6 (tabel 3.1).

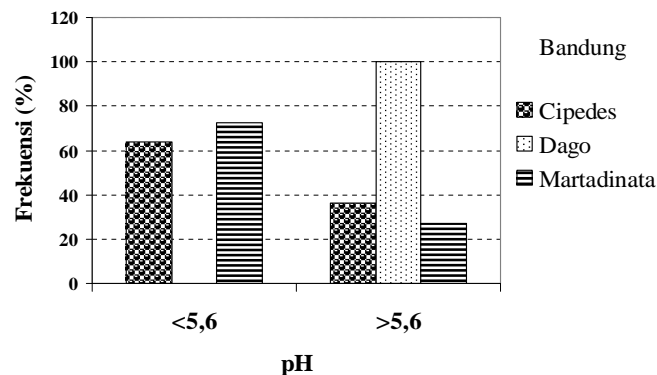
3. NH₄⁺; SO₄²⁻ dan NO₃⁻

Amonium (NH₄⁺) dalam air hujan bersifat penetral asam, dan merupakan dampak dari adanya gas NH₃ dan aerosol dalam senyawa [NH₄]₂SO₄ dan NH₄NO₃ di atmosfer. NH₃ diemisikan ke atmosfer sebagai hasil dari pemupukan dengan pupuk industri (misalnya urea yang mengandung NH₃), kotoran hewan juga dari proses-proses industri. Sebaliknya ion-ion SO₄²⁻ dan NO₃⁻ merupakan senyawa asam dari gas SO₂ dan NO_x.

Dari tabel 3.1 memperlihatkan kimia air hujan cenderung asam dari nilai pH yang dimiliki. Nilai pH di Cipedes dan Martadinata < 5,6, jadi wilayah ini telah terkena hujan asam, sebaliknya Dago belum terkena hujan asam dengan pH > 5,6. Konsentrasi ion-ion dari tinggi ke rendah adalah SO₄²⁻ > NO₃⁻ > NH₄⁺ untuk Cipedes maupun Martadinata.

Tabel 3.1: Kimia air hujan dan pH dari April sampai Agustus 2004 di Cipedes, Martadinata dan Dago Bandung.

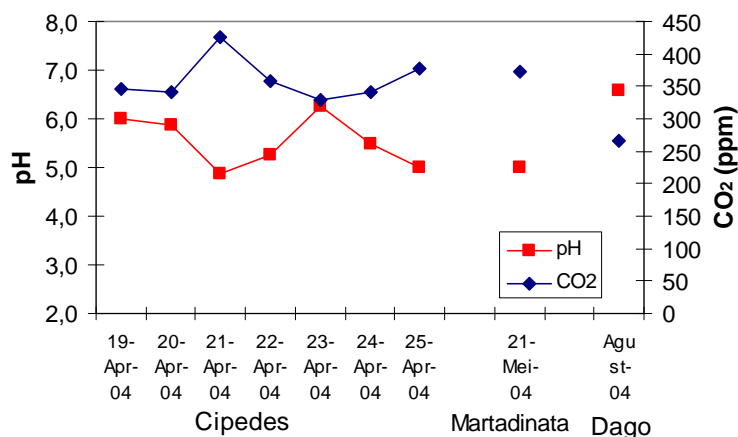
Lokasi	Waktu	NH ₄ ⁺ µmol/l	SO ₄ ²⁻ µmol/l	NO ₃ ⁻ µmol/l	pH
Cipedes	19/4/2004	82,2	48,4	67,9	5,99
	20/4/2004	41,1	19,4	11,3	5,88
	21/4/2004	21,1	23,3	15,9	4,87
	22/4/2004	180,6	111,7	131,5	5,26
	23/4/2004	76,7	42,7	51,3	6,25
	24/4/2004	67,8	32,9	54,2	5,49
	25/4/2004	70,0	40,4	48,1	5,00
Martadinata	21/5/2004	4,00	41,88	32,26	5,01
Dago	Agustus'04	82,2	39,38	31,61	6,57



Gambar 3.2. Distribusi frekuensi pH selama tahun 2004 di Cipedes, Martadinata dan Dago Bandung.

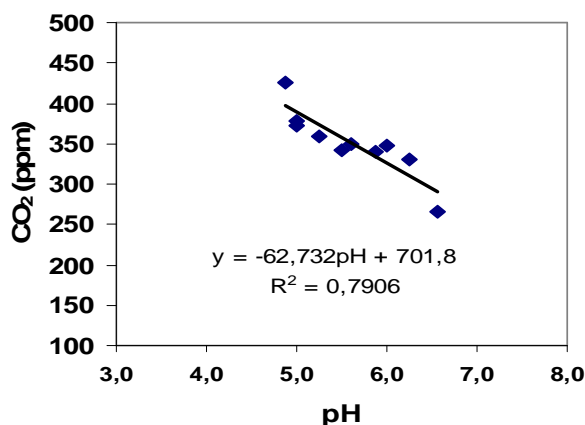
Distribusi pH selama tahun 2004 menunjukkan bahwa hujan di Dago tidak pernah mempunyai pH < 5,6 atau frekuensi distribusinya 0% sebaliknya pH > 5,6 frekuensi distribusinya 100%. Akibatnya selama tahun 2004 Dago tidak mengalami hujan asam. Berbeda dengan Cipedes dan Martadinata, frekuensi terjadinya hujan asam lebih sering terjadi yaitu 63% dan 73%. Adapun frekuensi tidak terjadi hujan asam adalah 36% dan 27% untuk Cipedes dan Martadinata.

4. Korelasi pH dengan CO₂



Gambar 3.3. Distribusi pH dan CO₂ (ppm) di Cipedes, Martadinata dan Dago Bandung.

Dari gambar 3.3 memperlihatkan konsentrasi rata-rata harian CO₂ tinggi sampai lebih besar dari 350 ppm maka akan diikuti nilai pH rendah yaitu < 5,6 baik Cipedes maupun Martadinata. Konsentrasi rata-rata harian CO₂ di Cipedes mendekati 350 ppm (yaitu kisaran 340 ppm) atau > 350 ppm dengan rata-rata selama 7 hari adalah 360 ppm dengan pH = 5,53. Konsentrasi rata-rata harian CO₂ di Martadinata adalah 372 ppm dengan pH= 5,01 < 5,6. Hal ini berbeda dengan Dago, konsentrasi rata-rata CO₂ yaitu 266 ppm dengan pH = 6,57 >5,6.



Gambar 3.4. Grafik pH vs CO₂ (April-Agustus 2004) di Bandung.

Gambar 3.4 memperlihatkan korelasi negatif dari grafik pH vs CO₂ yaitu konsentrasi CO₂ turun maka nilai pH akan naik. Hubungan antara keduanya sangat signifikan berupa persamaan garis lurus $y(\text{CO}_2) = -62,732\text{pH} + 701,8$ dengan angka korelasi yang bagus yaitu 0,89. Berdasarkan perhitungan dengan

menggunakan persamaan ini diperoleh konsentrasi CO₂ sebesar 350 ppm untuk pH = 5,6. Jadi hasil perhitungan sama dengan data konsentrasi CO₂ atmosfer dalam air murni pada $p\text{CO}_2 = 3,7 \times 10^{-4}$ atm akan menghasilkan konsentrasi H⁺ sebesar 2,5 µeq/l; dan pH=5,60.

KESIMPULAN

Terdapat korelasi yang signifikan antara pH dengan CO₂ yaitu berupa persamaan garis lurus $y(\text{CO}_2) = -62,732\text{pH} + 701,8$ dengan angka korelasi 0,89. Konsentrasi rata-rata CO₂ di Dago masih aman untuk menyebabkan hujan asam. Sedangkan konsentrasi rata-rata CO₂ di Cipedes dan Martadinata adalah 360 ppm dengan pH = 5,53 dan 372 ppm dengan pH = 5,01. Jadi untuk Cipedes dan Martadinata, konsentrasi CO₂ telah berpotensi menyebabkan hujan asam. Selama tahun 2004 telah terjadi hujan asam di Cipedes dan Martadinata dengan frekuensi lebih besar dari 60%.

DAFTAR PUSTAKA

- ADORC, 2002, *Manual Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)*, Program for Wet Deposition Monitoring in East Asia by ADORC Acid Deposition and Oxidant Research Center –Japan.
- 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.
- Houghton J.T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguier, M., Van Der Linden, P. J., Dai, X, Maskell, K., Johnson, C. A., 2001, *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- Machida T., Matsueda H., and Sawa Y., 2007, *A new JAL project: CONTRAIL Comprehensive Observation Network for Trace gases by AirLiner*, IGACTivities- Newsletter of the International Global Atmospheric Chemistry Project, November 2007, Issue No. 37, pp. 23-30.
- Manahan S.E., 1994, *Environmental Chemistry Sixth Edition*, Published by Lewis Publisher, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, pp 50, 51, 293, 294, 295, 445, 642.
- Manahan S.E., 1999, *Environmental Chemistry Seventh Edition*, Lewis Publishers, pp. 66-294.
- 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.
- Seinfeld J.H. and Pandis S.N., “Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change”, John Wiley and Sons. INC., New York, 1998, hal.1030-1033.