

KARAKTERISTIK KIMIA AIR HUJAN DI P. JAWA

Tuti Budiwati⁽¹⁾ dan Tuti Mulyani H.W⁽²⁾.

1. Pusat Pemanfaatan Sains Atmosfer Dan Iklim-LAPAN

2. Badan Meterologi Dan Geofisika

Jl. dr. Djundjuran 133, Bandung, e-mail: tuti_japan@yahoo.com

Abstrak

Analisis karakteristik kimia air hujan didasarkan pengambilan sampel mingguan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) di daerah perkotaan Jakarta, Bandung, Surabaya, Cisarua-Bogor sebagai daerah pedesaan di pulau Jawa, selama 1983-2004. Pengkajian pH air hujan rata-rata bulanan tertimbang untuk melihat kecenderungan dan terjadinya hujan asam di P. Jawa. Dilakukan pula analisis anion dan kation dari ion-ion terbesar dalam air hujan untuk memahami sumber-sumber yang berperan dalam kimia air hujan. Pola musiman dari rata-rata bulanan tertimbang anion dan kation selama 1995-2004 untuk menjelaskan hubungan musim dengan karakteristik kimia air hujan. Hasil analisis pH air hujan terlihat kecenderungan penurunan angka pH <5,6 yang berarti keasaman naik dan terjadi hujan asam. Kejadian hujan asam di Jakarta dari tahun 1983-1999 dengan pH < 5,6 sebanyak 60% dan tahun 2001-2004 sebanyak 65%. Untuk Cisarua-Bogor tahun 1989-2004 sebanyak 72%, Bandung tahun 1989-2004 sebanyak 74%, dan Surabaya tahun 1993-2003 sebanyak 78%. Jakarta mengalami hujan asam sejak 1984, dan Cisarua sejak 1989. Bandung terlihat terkena hujan asam mulai tahun 1994, sedangkan Surabaya sejak tahun 1993. Faktor netralisir (NF) $Ca^{2+} > NH_4^+ > Mg^{2+}$ sangat berperan dalam mengontrol keasaman air hujan. Profil konsentrasi anion maupun kation tinggi di musim kemarau JJA di Jakarta, Cisarua, Bandung, kecuali Surabaya yang tinggi di musim SON karena pengaruh debu-debu tanah. Komponen laut seperti Mg^{2+} , K^+ dan Na^+ adalah tinggi di musim JJA dibandingkan musim lainnya. Konsentrasi ion-ion tinggi di Jakarta dibandingkan tiga tempat lainnya, menandakan tingkat polusi tinggi di Jakarta.

Kata kunci: Karakteristik kimia, hujan asam, faktor netralisir, anion, kation

Abstract

Rainwater chemistry characteristic analysis were based on weekly samples collected by Badan meteorologi dan Geofisika (BMG) in Jakarta, Bandung, Surabaya, Cisarua-Bogor in Java during 1983-2004. Monthly volume weighted mean of rainwater pH was assessed to understand trend and possibility of acid rain in Java. Anion and cation of largest number of rainwater ion contents were also analysed to determine major sources contributed to rainwater chemistry composition. Seasonal trend of monthly average of anion and cation measurement during 1995-2004 explained correlation between season and rainwater chemistry characteristic. Analysis of rainwater pH showed tendency of decreasing pH to less than 5.6 which meant increasing acidity and resulted in acid rain. Acid rain incidents with pH less than 5.6 occurred 60% in Jakarta during 1983-1999 and 65% during 2001-2004. For Cisarua-Bogor during 1989-2004 occurred 72%, 74% in Bandung during 1989-2004, and 78% in Surabaya during 1993-2003. Acid rains were occurred in Jakarta since 1984, Cisarua since 1989, Bandung since 1994 and Surabaya since 1993. Neutralisation factor (NF) $Ca^{2+} > NH_4^+ > Mg^{2+}$ played mayor role in controlling rainwater acidity. Anion and cation concentrations profile was high in dry season JJA in Jakarta, Cisarua, Bandung, except in Surabaya that was high in SON because influence of soil dust. Sea components i.e Mg^{2+} , K^+ and Na^+ were high in JJA compared to other months. Highest ions concentration in Jakarta compared to three other places showed that Jakarta had the highest pollution rank.

Keyword: Chemistry characteristic, acid rain, neutralisation factor, anion, cation

1. PENDAHULUAN

Bisnis di Surabaya, Sidoarjo, Jakarta, dan Bandung berkembang pesat. Dari mulai pedagang kaki lima sampai mall dan plaza, kafe tenda sampai restoran bertaraf internasional, *factory outlet* sampai *boutiq outlet*. Surabaya adalah kota pantai yang merupakan kota dagang, industri untuk wilayah Indonesia timur, didukung oleh perkembangan kota-kota disekitarnya seperti Sidoarjo yang terletak 23 km dari Surabaya dan berada di tepian selat Madura. Sidoarjo menggantikan peran Surabaya sebagai kota industri, banyak pabrik yang sebelumnya berada di Surabaya pindah ke wilayah Sidoarjo. Sedangkan Jakarta adalah kota pantai yang merupakan kota dagang, jasa dan industri

untuk wilayah Indonesia barat. Bandung adalah kota yang sangat spesifik letak topografinya, karena dikelingi oleh gunung-gunung yang membentuk cekungan, berada pada ketinggian 743 m di atas permukaan laut. Kota Bandung pun telah berkembang pesat dalam sektor perdagangan. Didukung dengan slogan pemerintah kota Bandung yang ingin menjadikan Bandung sebagai kota jasa di tahun 2004 (Kompas, 2003). Mulai tahun 2000 pusat bisnis bermunculan hampir di setiap ruas jalan utama. Dampak dari kemajuan kota-kota besar ini telah memacu jumlah kendaraan yang menaikkan pemakaian bahan bakar.

Polutan utama hasil pembakaran kendaraan bermotor meliputi: CO, hidrokarbon terutama CH₄, SO₂, NO_x, dan partikel terutama timbal. Pengukuran kualitas udara oleh Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) tahun 2002 menunjukkan, kualitas udara di Jakarta, Surabaya, Bandung, dan Medan berada dalam kategori baik hanya terjadi 22-62 hari dalam setahun. Buruknya kondisi udara di kota-kota tersebut lebih disebabkan oleh pencemaran udara dari kendaraan bermotor, sebagai sumber bergerak (Lab. Smart Systems Tech - UI, 2003). Berbeda dengan Eropah dan Amerika, emisi polutan-polutan udara di Asia meningkat secara cepat (Higashino et al., 1997 dalam Chandra Mouli et al., 2005) akibat populasi yang tinggi, pertumbuhan ekonomi yang cepat dan disertai sistem penggunaan dan produksi energi yang tinggi. Potensi polusi udara di Asia sebagian besar disebabkan emisi yang tinggi dari industri dan pusat kota (Chandra Mouli et al., 2005). Debu-debu tanah juga perlu dipertimbangkan sebagai penyumbang terbesar partikulat di atmosfer, mengingat kondisi Indonesia sebagai daerah tropis yang penuh debu tanah.

Polutan 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. 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. Senyawa-senyawa tersebut akan berpindah dari atmosfer ke permukaan bumi melalui presipitasi dan deposisi langsung, sehingga dikenal deposisi basah dan deposisi kering. Deposisi basah terjadi dengan pembentukan awan dan akhirnya turun sebagai hujan, salju atau kabut yang mengandung asam. Komposisi kimia air hujan berperan untuk memahami kontribusi polutan atmosfer yang berasal dari sumber-sumber yang berbeda. Mengingat adanya proses pembersihan dan pelarutan hujan terhadap polutan atmosfer. Sumber-sumber polutan sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia, sehingga air hujan yang bersifat asam disebabkan oleh sumber *antrophogenic* seperti SO₂ dan NO_x, dan air hujan yang bersifat basa disebabkan oleh sumber *antrophogenic* seperti gas NH₃ atau debu-debu tanah seperti (NH₄)₂SO₄, NH₄NO₃ atau NH₄Cl. Di kota dekat pantai, aerosol laut akan berperan mempengaruhi kimia air hujan. Pada daerah pantai sebagian besar partikel chlor di troposfer berasal dari aerosol laut. NH₄Cl dibentuk dari HCl hasil pembakaran batubara dan bereaksi dengan amonia atmosfer. Hasil penelitian total Cl⁻ aerosol yang terukur di Leeds daerah pantai Inggris Utara adalah 2/3 dari sumber laut (Willison et al., 1989).

Mengingat kota-kota besar di P.Jawa, khususnya Surabaya, Bandung dan Jakarta buruk sekali kondisi kualitas udaranya, hal ini akan berpengaruh pula pada air hujan sebagai pencuci atmosfer di kota-kota tersebut. Untuk itu akan dilihat permasalahan karakteristik kimia air hujan sebagai dampak polusi udara dari transportasi, industri, atau laut pada musim penghujan, peralihan dan kemarau. Disamping itu dilihat pula kondisi kimia air hujan di daerah Citeko (Cisarua-Bogor) yang merupakan daerah *rural* atau pedesaan.

2. LOKASI DAN ANALISA AIR HUJAN

2.1. KARAKTERISTIK LOKASI

Lokasi pengambilan sampel air hujan di pulau Jawa dilakukan di kota-kota dengan kepadatan transportasi dan industri yang cukup tinggi. Dipilih kota Jakarta, Bandung dan Surabaya (Sidoarjo) sebagai kawasan dengan tingkat polusi tinggi untuk P.Jawa dan Cisarua-Bogor sebagai daerah pedesaan dengan kawasan perkebunan dimana lalu-lintas cukup padat. Karakteristik lokasi monitoring hujan asam diperlihatkan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik lokasi monitoring

No.	Nama lokasi	Kawasan	Karakteristik
1.	Jakarta	Kota, transportasi dan pantai	<ul style="list-style-type: none">• Jl. Angkasa I (Kemayoran 2001-2004). Dikelilingi lalu-lintas dalam radius 500m - 1 km; 1,5 km dari pantai laut Jawa; 1km dari pusat perbelanjaan Pasar Baru, Senin dan Mangga Dua• Jl. Rahman Hakim (1983-1999), dikelilingi lalu-lintas dalam radius 500m - 1 km, 5,5 km dari pantai laut Jawa
2.	Cisarua- Bogor	Pedesaan	Dalam area perkebunan, 500 m dari jalan Jakarta-Cianjur
3.	Bandung	Kota dalam cekungan, transportasi	Dikelilingi gunung-gunung, lalu-lintas dalam radius 300-500 m
4.	Surabaya (Sidoarjo)	Kota, pantai, transportasi dan industri	Daerah industri (radius 500 m-1km) dan transportasi, 1 km dari pantai selat Madura

2.2. ANALISIS AIR HUJAN

Sampel air hujan dikumpulkan tiap satu minggu sekali dan diukur pula jumlah curah hujan yang tertampung oleh BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika). Selanjutnya pH air hujan diukur dengan pHmeter. Air hujan dianalisis untuk mendapatkan anion seperti SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- dan kation seperti NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , dan K^+ dengan ion chromatografi. Dilakukan control kualitas data sesuai dengan metoda WMO (World Meteorology Organization). Selain itu dicari pula non-sea-salt sulfat (nssSO_4^{2-}) dan non-sea-salt kalsium (nss Ca^{2+}) untuk mengetahui sumber-sumber polutan bukan dari laut. Untuk mengetahui faktor yang menetralkan keasaman air hujan diperhitungkan pula faktor penetralisirnya.

Untuk Surabaya (Sidoarjo) digunakan data dari 1993 sampai Maret 2003, untuk Cisarua dari 1989 sampai 2004; untuk Bandung dari 1989-2004. Di Jakarta untuk Jl. Arif Rahman Hakim digunakan data dari 1983-1999 dan Jl. Angkasa-Kemayoran dari 2001-2004.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. KECENDERUNGAN pH DI P. JAWA

Variasi pH rata-rata bulanan (berdasarkan rata-rata tertimbang) memperlihatkan kecenderungan terbanyak pada nilai 5,0-5,5 untuk Jakarta dan Cisarua dengan frekuensi penyebaran sebanyak 35% dan 28%, sedangkan Bandung dan Surabaya pada kisaran 4,5-5,0 dengan persentase frekuensi sebanyak 24% dan 27%. Hujan dengan nilai $\text{pH} < 5,6$

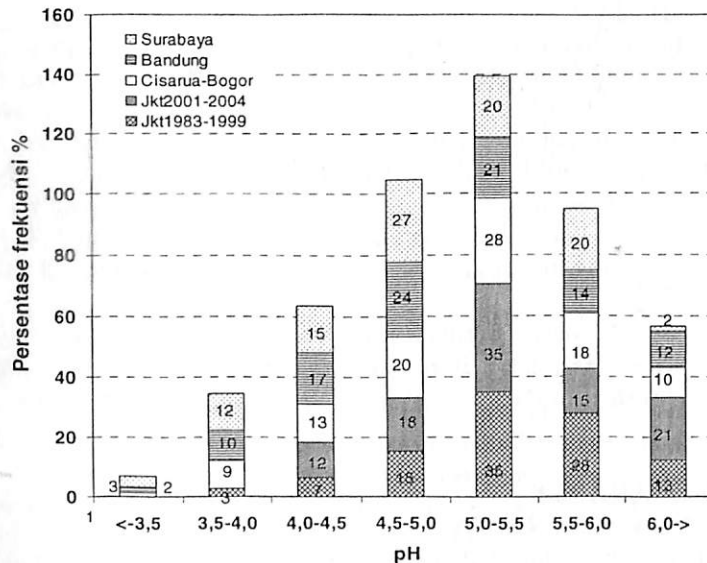
adalah kondisi dimana hujan dikatakan asam. Menurut Lacaux et al. (1987) kategori air hujan basa, dan asam sebagai berikut:

- air hujan basa mempunyai pH di atas 5,6
- air hujan asam mempunyai pH antara 4,5 dan 5,6
- air hujan asam dengan pH di bawah 4,5 menunjukkan suatu daerah terkontaminasi oleh polusi udara yang sangat tinggi

Menurut Seinfeld dan Pandis (1998) pH 5,6 adalah pH netral dari air awan dan berada dalam kesetimbangan dengan CO₂ pada konsentrasi 350 ppm. 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).

Dari tahun 1983-1999 telah terjadi hujan asam sebanyak 60% di Jakarta tepatnya di daerah Jl. Arif Hakim Hakim-Menteng dan tahun 2001-2004 sebanyak 65% dari total kejadian hujan di Jakarta tepatnya di daerah Kemayoran. Distribusi frekuensi untuk pH 5,6 yaitu hujan basa di Jakarta berada antara 40%-35%. Kejadian hujan asam di Jakarta yang lebih banyak dibandingkan hujan basa, tentunya ada hubungannya dengan sumber-sumber yang mempengaruhinya seperti NO_x dan SO₂. Berdasarkan pengukuran kualitas udara di Jakarta, Surabaya, Bandung dan Medan, ternyata kota-kota tersebut berada dalam kategori baik hanya terjadi 22-62 hari dalam setahun. Buruknya kondisi udara di kota tersebut disebabkan oleh pencemaran kendaraan bermotor sebagai sumber bergerak (Lab. Smart Systems Tech-UI, 2003). Hujan asam telah terjadi sejak tahun 1984 di Jakarta, dimana nilai pH < 5,6. Kondisi terparah terjadi dari tahun 1998 sampai 1999 dengan pH rata-rata 4,68; terjadi kecenderungan penurunan pH sampai 2004.

Daerah Cisarua sebagai daerah pedesaan ternyata persentase kejadian hujan asam dengan pH < 5,6 cukup tinggi, yaitu 72% dari total kejadian hujan sejak tahun 1989 sampai 2004. Dari variasi rata-rata bulanan pH, Cisarua telah mengalami hujan asam sejak tahun 1989. Kecenderungan pH menurun meskipun kecil, juga terjadi kondisi terparah dimana rata-rata bulanan 4,44 pH pada tahun 1998 sampai 2000.



Gambar 3.1. Distribusi frekuensi dari pH di Jakarta, Cisarua-Bogor (1989-2004), Bandung (1989-2004) dan Surabaya (1993-2003).

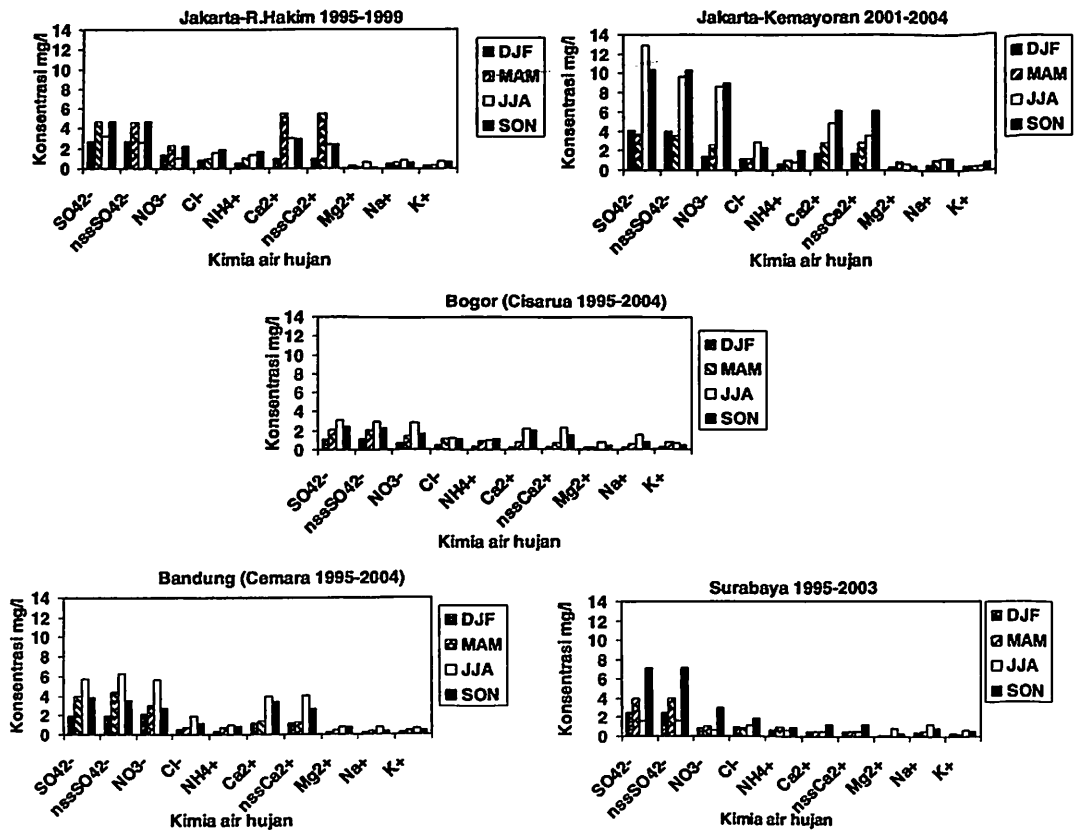
Dari gambar 3.1, Bandung mempunyai persentase frekuensi terbanyak pada pH 4,5-5,0. Kejadian hujan asam dengan pH < 5,6 cukup tinggi yaitu 74% dari total kejadian hujan sejak tahun 1989-2004. Bandung terlihat terkena hujan asam mulai tahun 1994, dan kenderungan nilai pH turun sampai tahun 2004. Kondisi terburuk terjadi tahun 1998 sampai April 2002 dengan rata-rata bulanan pH 4,38. Kota yang berada dalam cekungan ini mempunyai kepadatan lalu lintas cukup tinggi di pulau Jawa, dan termasuk daerah dengan kualitas udara yang buruk dengan kategori baik hanya terjadi 22-62 hari dalam setahun.

Keasaman air hujan di Surabaya selama 1993 sampai Maret 2003 mempunyai nilai pH 4,5-5 dengan persentase frekuensi sebanyak 27%, sisanya 5,0-5,5 dan 5,5-6,0 mempunyai persentase frekuensi masing-masing 20% (gambar 3.1). Total frekuensi nilai pH dibawah 5,6 adalah 78%, jadi perlu diwaspadai karena kejadian hujan asam di Surabaya sering sekali. Kecenderungan nilai pH menurun sampai tahun 2003, dan kondisi terburuk terjadi tahun 1998 sampai 2000 dengan rata-rata bulanan pH 4,31. Diduga faktor transportasi yang terus meningkat adalah salah satu penyebabnya. Selain itu pada tahun 2002-2003 terjadi EL Nino dalam kategori moderat dan berdampak terhadap musim kemarau yang panjang (EL Nino, 2004).

Berdasarkan pH air hujan di P. Jawa telah terjadi hujan asam di Jakarta sejak tahun 1984, sedangkan Bandung masih belum mengalami dampak polusi udara. Berdasarkan penelitian sebelumnya laju kenaikan kendaraan di Bandung terlihat mulai tahun 1990, dimana pembangunan jalan-jalan tol masuk kota dimulai. Sedangkan Cisarua sebagai daerah pedesaan dengan kawasan hijau telah terkena dampak polusi udara berupa hujan asam sejak 1989. Kawasan hijau ini memang dilalui jalur lalu lintas Jakarta-Cianjur-Bandung yang cukup padat. Surabaya kota lainnya di P. Jawa yang merupakan kota padat lalu lintas dan termasuk kota dengan kualitas udara buruk, hujan asam sangat sering sekali dibandingkan tiga kota lainnya seperti Jakarta, Cisarua dan Bandung. Dari pengamatan, kondisi terburuk hampir sama yaitu terjadi tahun 1998 sampai tahun 2000, kecuali Bandung sampai awal 2002. Buruknya kondisi ini mungkin ada kaitannya dengan kejadian kemarau panjang tahun 1997 akibat El Nino. Kecenderungan pH < 5,6 menurun sampai tahun 2004, berarti telah terjadi hujan asam di P. Jawa sampai tahun tersebut.

3.2. KARAKTERISTIK MUSIMAN KIMIA AIR HUJAN DI P. JAWA

Hasil analisa kimia air hujan berupa data anion seperti SO_4^{2-} , nssSO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , dan kation seperti NH_4^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , nss Ca^{2+} dan K^+ . Dibuat rata-rata bulanan dalam rata-rata tertimbang dengan memperhitungkan jumlah curah hujan untuk masing-masing parameter. Selanjutnya dirata-ratakan dalam periode Desember-Januari-Februari (DJF) sebagai musim penghujan; Maret-April-Mei (MAM) sebagai musim peralihan hujan kemarau; Juni-Juli-Agustus (JJA) sebagai musim kemarau; dan September-Oktober-Nopember (SON) sebagai musim peralihan kemarau ke hujan dalam tahun yang sama. Hasil pengolahan data digambarkan dalam Gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2. Distribusi anion (SO₄²⁻, nssSO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻) dan kation (NH₄⁺, Ca²⁺, nssCa²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺) berdasarkan rata-rata musiman dari 1995 sampai 2004 di Jakarta, Cisarua-Bogor, Bandung dan Surabaya.

Gambar 3.2 memperlihatkan profil distribusi kimia air hujan Jakarta sama dengan Surabaya. Pada musim peralihan SON konsentrasi anion maupun kation tinggi dibandingkan musim lainnya. Konsentrasi SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Ca²⁺ > Cl⁻ > NH₄⁺ pada musim SON untuk Jakarta maupun Surabaya. Sedangkan konsentrasi SO₄²⁻ > Ca²⁺ > NO₃⁻ > Cl⁻ > NH₄⁺ pada musim DJF; MAM; JJA di Jakarta, dan SO₄²⁻ > Cl⁻ > NO₃⁻ > NH₄⁺ > Ca²⁺ pada musim DJF; MAM; JJA di Surabaya. Komponen Na⁺, Mg²⁺ dan K⁺ adalah tinggi pada musim JJA dan SON untuk Jakarta maupun Surabaya. Hal ini signifikan dengan karakteristik lokasi Jakarta dan Surabaya yang merupakan kota pantai dengan lalu lintas yang padat. Kontribusi sumber laut terlihat dari komponen Na⁺ yang tinggi di musim JJA karena adanya penguapan laut.

Pada musim JJA, konsentrasi SO₄²⁻, NO₃⁻, maupun Ca²⁺ tinggi untuk Cisarua dan Bandung, diduga berasal dari debu-debu tanah dalam Ca sulfat dan Ca nitrat aerosol. Kondisi konsentrasi SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Ca²⁺ > Cl⁻ > NH₄⁺ pada semua musim, hal ini tentunya dipengaruhi oleh gas SO₂ dan NO₂ dari transportasi dan juga aerosol. Komponen Na⁺, Mg²⁺ dan K⁺ adalah kecil pada semua musim baik Cisarua maupun Bandung, kecuali pada musim JJA untuk Cisarua konsentrasi Na⁺ cukup tinggi. Berarti sumber Na⁺, Mg²⁺ dan K⁺ berasal dari kerak bumi dalam debu-debu tanah.

3.3. FAKTOR NETRALISIR NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}

Unsur asam yang berperan dalam mempengaruhi kimia air hujan seperti SO_4^{2-} , NO_3^- dan Cl^- , dan terdapat unsur penetralisir asam dalam air hujan dari unsur-unsur kation. Unsur kation seperti NH_4^+ , Ca^{2+} , dan Mg^{2+} dipertimbangkan sebagai unsur penetralisir dari asam dalam air hujan. Amonia adalah gas yang penting dalam kimia atmosfer, yang kelarutannya dalam titik-titik air awan menjadi pereaksi penurun karena bertendensi menurunkan keasaman air hujan (Sperber, 1987). Ca^{2+} adalah komponen terbesar dari kerak bumi (Kulshrestha et al., 2003). Mg^{2+} adalah komponen yang berasal dari laut bila pengamatan dilakukan dekat laut dan berasal dari kerak bumi bila jauh dari laut (Hu et al., 2003). Faktor netralisir (*Neutralization factor* atau *NF*) dipergunakan untuk mengevaluasi penetralisir hujan oleh komponen-komponen *crustal* dan ammonia. FN dihitung oleh persamaan berikut (Possanzini et al., 1988 dalam Hu et al., 2003)

$$NF_{xi} = \frac{[Xi]}{[SO4] + [NO3]} \quad (1)$$

dimana Xi komponen kimia yang diinginkan, semua ion dinyatakan dalam $\mu\text{eq/l}$. Hasil perhitungan NF dalam tabel 3.1. berikut:

Tabel 3.1. Faktor netralisir (NF) dari NH_4^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} di Jakarta, Cisarua-Bogor, Bandung dan Surabaya

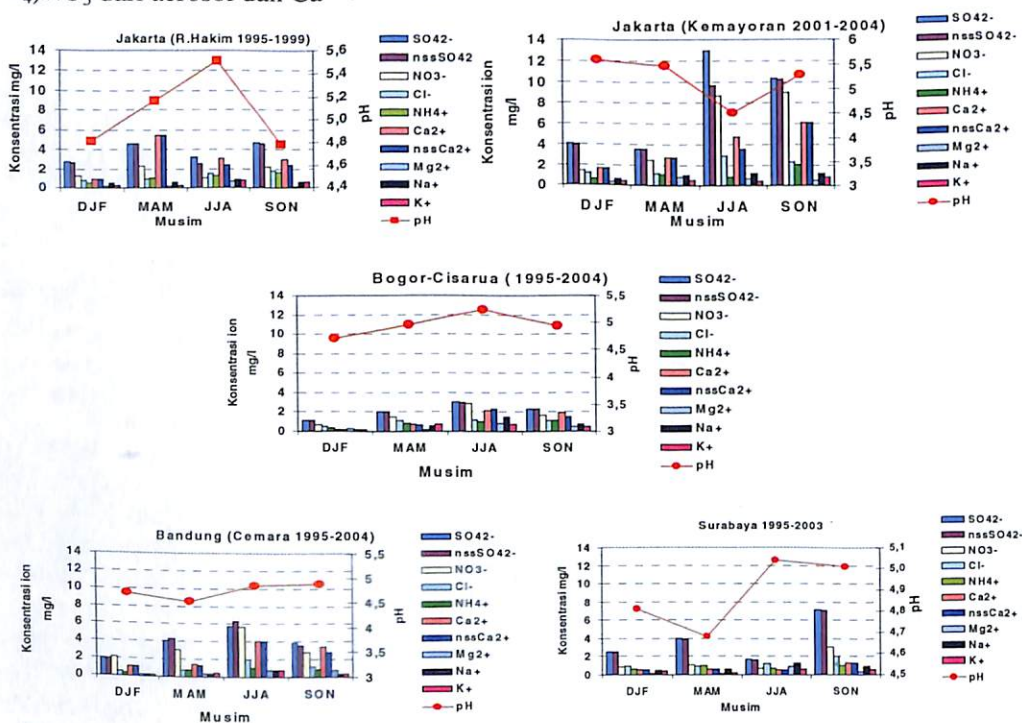
Faktor netralisir				Faktor netralisir			
Jakarta 1995-1999	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Bandung	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
DJF	0,38	0,59	0,19	DJF	0,25	0,76	0,18
MAM	0,42	2,04	0,09	MAM	0,31	0,52	0,24
JJA	0,86	1,81	0,63	JJA	0,26	0,94	0,28
SON	0,69	1,11	0,07	SON	0,39	1,36	0,48
Jakarta 2001-2004	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Surabaya	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
DJF	0,31	0,78	0,27	DJF	0,51	0,39	0,15
MAM	0,50	1,19	0,58	MAM	0,55	0,29	0,13
JJA	0,12	0,58	0,13	JJA	0,86	0,59	1,60
SON	0,32	0,85	0,11	SON	0,27	0,33	0,13
Cisarua-Bogor	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}				
DJF	0,58	0,31	0,62				
MAM	0,73	0,55	0,21				
JJA	0,50	0,97	0,60				
SON	0,82	1,31	0,46				

Berdasarkan hasil perhitungan di atas ternyata faktor netralisir terbesar adalah $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+}$ untuk Jakarta, Cisarua, Bandung dan Surabaya. Faktor netralisir Ca^{2+} dan amonium adalah dominan dalam menetralkan keasaman air hujan. Keduanya diduga berasal dari Ca aerosol dan amonium aerosol yang terdapat dalam debu tanah. Faktor netralisir Mg^{2+} adalah tinggi di Surabaya dan Cisarua. Hal ini tentunya Surabaya sebagai daerah pantai dipengaruhi sumber-sumber dari laut, sedangkan Cisarua dipengaruhi

sumber kerak bumi. Maka partikel debu di P. Jawa berpotensi dalam mempengaruhi keasaman air hujan.

3.4. VARIASI KIMIA AIR HUJAN BERDASARKAN MUSIM DI P. JAWA

Gambar 3.3 adalah konsentrasi ion-ion baik anion maupun kation dari 1995 sampai 2004 berdasarkan rata-rata musiman di Jakarta, Cisarua, Bandung dan Surabaya. Konsentrasi ion-ion tinggi pada musim JJA, kecuali Surabaya yang mempunyai konsentrasi ion-ion tinggi pada musim SON. Konsentrasi ion-ion tinggi di musim JJA dan SON ada kaitannya dengan proses pencucian oleh jumlah air hujan yang relatif rendah di kedua musim tersebut, maka bersifat memekatkan kandungan ion-ion yang terlarut. Hal ini sangat relevan bila emisi gas-gas buang dari kendaraan bermotor adalah konstan sepanjang tahun, karena penggunaan bahan bakar minyak di Indonesia tidak tergantung musim. Bila transportasi dan industri sebagai sumber polutan adalah konstan, maka perlu diwaspadai adanya debu-debu atau partikel-partikel aerosol sebagai sumber polutan yang berpotensi dalam mempengaruhi konsentrasi ion-ion air hujan di P.Jawa. Secara umum debu di Indonesia relatif tinggi di musim kemarau dan peralihan kemarau ke hujan. Tingginya konsentrasi $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+$ kemungkinan pengaruh $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ atau $(\text{NH}_4)\text{NO}_3$ dari aerosol dan Ca^{2+} dari debu-debu tanah.



Gambar 3.3. Variasi konsentrasi anion (SO_4^{2-} , nssSO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-); kation (NH_4^+ , Ca^{2+} , nssCa^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) dan derajat keasaman (pH) dari 1995 sampai 2004 berdasarkan rata-rata musiman di Jakarta, Cisarua-Bogor, Bandung dan Surabaya.

Karakteristik SPM (debu) di musim peralihan kemarau hujan yang disebut dengan SON relatif tinggi di Surabaya (Sofianti et al., 2003). Bandung mempunyai karakteristik SPM (debu) rata-rata bulanan di musim kemarau JJA adalah tinggi (Budiwati

et al., 2001). Konsentrasi Cl^- cukup tinggi untuk Jakarta dan Surabaya adalah cukup signifikan dengan letak kedua kota yang dekat laut. Sehingga pada waktu proses pencucian polutan akan terlarutkan dan menyebabkan asam atau basa tergantung komponen mana yang dominan dalam air hujan. Konsentrasi ion-ion SO_4^{2-} , nssSO_4^{2-} , dan NO_3^- lebih tinggi dari Cl^- dan kation pada semua musim, sebagai indikasi adanya pengaruh sumber-sumber *antrophogenic* seperti transportasi. Pengaruh partikel-partikel debu sangat dominan di P. Jawa, hal ini dapat dilihat dari Ca^{2+} dan nssCa^{2+} yang tinggi pada musim kemarau JJA dan peralihan SON dibandingkan musim lainnya di kota-kota Jakarta, Cisarua, Bandung dan Surabaya. Konsentrasi ion NH_4^+ adalah tinggi pada musim kemarau JJA dan musim SON, tentunya ada hubungannya dengan debu-debu tanah yang tinggi di kedua musim tersebut (Iis Sofiaty et al., 2003; Tuti Budiwati et al., 2001). Demikian pula dengan Mg^{2+} , Na^+ dan K^+ yang mempunyai konsentrasi tinggi pada musim JJA, karena berasal dari debu-debu tanah.

Seperti diketahui bahwa Mg^{2+} , Na^+ dan K^+ merupakan komponen yang berasal dari sumber laut, maka ada suatu kecenderungan dipengaruhi oleh laut untuk Jakarta dan Surabaya mengingat letak Jakarta di tepi laut utara dan Surabaya yang dekat Selat Madura. Konsentrasi nssCa^{2+} yang berasal dari sumber kerak bumi mempunyai konsentrasi yang cukup tinggi seperti nssSO_4^{2-} dan NH_4^+ yang berasal dari sumber-sumber *antrophogenic*.

Keasaman air hujan di Jakarta, Cisarua, Bandung dan Surabaya dikontrol oleh faktor netralisir Ca^{2+} , NH_4^+ dan Mg^{2+} seperti terlihat dalam Gambar 3.3 dan tabel 3.1. Angka pH tinggi ke arah basa adalah sesuai dengan tingginya angka faktor netralisir (NF) dari Ca^{2+} dan NH_4^+ .

4. KESIMPULAN

Hujan asam telah terjadi di Jakarta sejak tahun 1983 dengan frekuensi kejadian nilai $\text{pH} < 5,6$ adalah 1983-1999 sebanyak 60% dan 2001-2004 sebanyak 65%, Cisarua-Bogor 1989-2004 sebanyak 72% dan terjadi hujan asam sejak 1989. Bandung terlihat terkena hujan asam mulai tahun 1994 dengan kejadian hujan asam selama 1989-2004 sebanyak 74%. Surabaya sejak 1993 telah kena hujan asam dan terjadi hujan asam sebanyak 78% sampai 2003. Kecenderungan $\text{pH} < 5,6$ (hujan asam) menurun sampai 2004 di P. Jawa. Faktor netralisir (NF) $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+}$ sangat berperanan dalam mengontrol keasaman air hujan. Profil konsentrasi anion maupun kation tinggi di musim kemarau JJA di Jakarta, Cisarua, Bandung, kecuali Surabaya yang tinggi di musim SON karena pengaruh debu-debu tanah. Komponen laut seperti Mg^{2+} , K^+ dan Na^+ adalah tinggi di musim JJA dibandingkan musim lainnya. Konsentrasi ion-ion tinggi di Jakarta dibandingkan tiga tempat lainnya, menandakan tingkat polusi tinggi di Jakarta. Terdapat pengaruh laut untuk Jakarta dan Surabaya dari unsur Mg^{2+} dan Na^+ . Pengaruh transportasi, industri dan laut dominan di Jakarta yang berakibat terhadap terjadinya hujan asam. Pengaruh partikel-partikel aerosol pada musim JJA dan SON akan memperburuk keasaman air hujan atau berpotensi menurunkan pH.

Ucapan Tarima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak M. Pariyatmo yang telah memberikan dukungan selama penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN:

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.

- El Nino: http://www.msc-c.ec.gc.ca/education/el_nino/comparing/enso1950_2002_e.html
- Hu G.P., Balasubramanian R., and Wu C.D., 2003, *Chemical characteristics of rainwater at Singapore*, Atmospheric Environment, No. 51, hal 747 – 755.
- Sofiati I., Tuti Budiwati, dan Tuti Mulyani H.W., 2003, *Keasaman Air Hujan Di Daerah Tipe Curah Hujan-A Studi Kasus Kota Surabaya*, Jurnal Meteorologi Dan Geofisika, ISSN 1411-3082, Vol. 4, No. 2, hal. 29-37.
- Kompas, 2003, *Profil Daerah Kabupaten Dan Kota*, PT Kompas Media Nusantara, jilid 2, hal.237-244.
- Kulshrestha U.C., Kulshrestha M.J., Sekar R., Sastry G.S.R., and Vairamani M., 2003, *Chemical characteristics of rainwater at an urban site of south-central India*, Atmospheric Environment, No. 37, hal 3019 – 3026.
- Lab. Smart Systems Tech - UI, 2003, *Mengatasi Pencemaran Udara dengan EURO 2*, 21-Oktober-2003; 20:16, Indeks Standar Pencemaran Udara, <http://lab-sst.fisika.ui.ac.id/ISPU/211020032016.htm>, hal.1.
- Tuti Budiwati, Sumaryati, dan Iis Sofiati, 2001, *Karakteristik Ketebalan Optik Aerosol di Bandung*, Kontribusi Fisika Indonesia, ISSN 0854-6878, Vol. 12, No. 4, hal. 120-126.
- 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 Kenneth R., 1987, *The Concentration and Deposition of Nitrate, Sulfate and Amonium as a function of Wind direction from precipitation samples*, Atmospheric Environment, Vol. 21, No 12, hal 2629 – 2641.
- Willison M.J., Clarke A.G., and Zeki E.M., 1989, *Chloride Aerosols In Central Northern England*, Atmospheric Environment, Vol. 23, No 10, hal 2231 – 2239.