

PERBANDINGAN SULFAT DAN AMONIUM TERHADAP NITRAT DALAM DEPOSISI BASAH

Tuti Budiwati ¹⁾, Wiwiek Setyawati¹⁾, Emalya Rachmawati ²⁾ dan Asri
Indrawati¹⁾

1. Pusat Sains Dan Teknologi Atmosfer-LAPAN

2. Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan-KLH

Jl. Djundjuran 133, Bandung

Email; ¹⁾tuti_lapan@yahoo.com

ABSTRACT

Sulphate and nitrate that determine rainwater acidity can be neutralized by ammonium. Data used for analysis of anion and kation ions were based on wet deposition data processing, obtained from BMKG, LAPAN and Pusarpedal-KLH from January 2001 to December 2009 on Jakarta, Serpong, Cisarua, Bandung and Kototabang. Primary kation ion showed high annual mean on NH₄⁺ ion over Bandung, Serpong and Cisarua, i.e. 90.4, 77.5 135.6 meq.m⁻².th⁻¹ during 2005-2009 period, which is the strong acid neutralizer over those three cities. Differences in annual rainfall lead to significant variation in wet deposition in every region in Indonesia.

Keywords: Nitrate, Sulphate, Ammonium, Wet deposition

ABSTRAK

Peranan sulfat dan nitrat sebagai penentu keasaman air hujan dinetralkan dengan adanya senyawa amonium. Berdasarkan pengolahan data deposisi basah dari data BMKG, LAPAN dan Pusarpedal-KLH dari Januari 2001 sampai Desember 2009 untuk Jakarta, Serpong, Cisarua, Bandung dan Kototabang dilakukan analisis terhadap ion-ion anion dan kation deposisi basah. Dari ion utama kation ternyata ion NH₄⁺ rata-rata tahunan tinggi untuk Bandung, Serpong dan Cisarua masing-masing 90,4; 77,5 dan 135,6 meq.m⁻².th⁻¹ periode 2005-2009 yang merupakan faktor penetralisir asam yang kuat di ketiga kota tersebut. Variasi dari deposisi basah di Indonesia dikarenakan perbedaan jumlah hujan tahunan adalah signifikan untuk masing-masing wilayah.

Kata kunci: Nitrat, Sulfat, Amonium, Deposisi basah

1 PENDAHULUAN

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*). Sedangkan emisi alkali (partikel debu dan gas NH_3) akan mempengaruhi keasaman air hujan secara signifikan, dengan menetralkan beberapa faktor asam (Mouli *et al.*, 2005). Adanya ozon di atmosfer berperan pula sebagai oksidator SO_2 dan NO_2 untuk membentuk asam sulfat dan nitrat. 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. Problem polusi udara yang menyebar secara lokal dalam jam, urban/ meso dalam hari, regional dalam bulan, daratan dalam tahun dan global dalam dekade (Stern *et al.*, 1984). Pencemaran udara dalam skala meso atau regional, yang dampaknya dapat mempengaruhi areal yang lebih luas contohnya hujan sebagai deposisi basah (Stern *et al.*, 1984). Penelitian hujan asam sebagai dampak dari penurunan kualitas udara bertujuan memberikan informasi kondisi atmosfer Indonesia dan kontrol polusi udara.

Hasil penelitian deposisi asam dalam deposisi basah di Indonesia 2001-2008 menunjukkan konsentrasi total anion dan kation di Serpong sebagai daerah pedesaan (*rural*) adalah 235,50 $\mu\text{mol/L}$ lebih tinggi dari Bandung sebagai daerah perkotaan (*urban*) yaitu 213,74 $\mu\text{mol/L}$, sedangkan Jakarta sebagai daerah perkotaan adalah tertinggi yaitu 332,47 $\mu\text{mol/L}$. Letak Serpong berjarak sekitar 40 km arah Barat Daya dari kota Jakarta (PUSARPEDAL, 2010). Sementara itu, Bowersox and Stensland (1981) dan Summer and Barrie (1985) pada penelitiannya di Amerika Serikat bagian Timur Laut dan Kanada Timur menyatakan bahwa ratio $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ pada saat hujan musim dingin lebih rendah dibandingkan pada musim panas. Penelitian lain di Detroit Amerika Serikat menyatakan bahwa SO_4^{2-} saat hujan pada musim dingin jauh lebih tinggi dibandingkan NO_3^- (Dasch, 1987).

Emisi gas yang berasal dari transportasi dan industri di kota Jakarta, Tangerang-Serpong, Cisarua, Bandung, Surabaya akan mempengaruhi komponen kimia air hujan wilayah di sekitarnya, yang terbawa angin. Pengaruh lokasi terhadap pembentukan hujan asam dan deposisi asam di kota-kota Jawa seperti Jakarta dan Surabaya sebagai daerah pantai dibandingkan dengan Cisarua dan Bandung sebagai dataran tinggi dengan vulkanik aktif adalah sangat menarik untuk diteliti. Demikian pula dengan Serpong di Tangerang yang mengalami perkembangan dari daerah pedesaan menjadi daerah tempat tinggal yang ramai. Berdasarkan hal itu maka membandingkan sulfat dan amonium terhadap nitrat dalam deposisi basah untuk mengetahui faktor yang berperan secara dominan (sulfat atau nitrat) atau menunjukkan peran penetral amonium terhadap asam nitrat (yang umumnya dari bahan bakar fosil), seperti yang dilakukan dalam makalah ini perlu dilakukan.

2 METODOLOGI

Pengolahan data deposisi basah yaitu data rata-rata bulanan tertimbang pH, EC (mS/m), anion: SO_4^{2-} , NO_3^- dan Cl^- dalam $\mu\text{mol/L}$, dan kation: NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ dan Mg^{2+} dalam $\mu\text{mol/L}$ dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika), LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional), Pusarpedal-KLH (Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan-KLH) dari Januari 2001 sampai Desember 2009. Anion terdiri dari SO_4^{2-} ; NO_3^- ; Cl^- dan kation terdiri dari NH_4^+ ; Ca^{2+} ; K^+ ; Na^+ ; Mg^{2+} ; H^+ . Data-data ini diuji kualitasnya dengan metode *Quality Assurance/Quality Control (QA/QC)* yang dikeluarkan oleh ADORC-Japan (2002). Lokasi penelitian adalah Jakarta, Serpong, Cisarua, Bandung dan Kototabang. Data rata-rata bulanan tertimbang selanjutnya dihitung dalam rata-rata tahunan. Rata-rata bulanan konsentrasi tertimbang (r) memperhatikan jumlah curah hujannya, seperti diperlihatkan pada persamaan (2.1).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} \quad (2.1)$$

Dimana : X_i = konsentrasi ion-ion kimia air hujan ($\mu\text{mol/L}$)
 Y_i = curah hujan harian (mm)
 n = banyaknya hari hujan
 r = rata-rata bulanan konsentrasi tertimbang konsentrasi

Jumlah non-sea-salt sulfat (nss-SO_4^{2-}) dan non-sea-salt kalsium (nss-Ca^{2+}) dihitung dari persamaan di bawah ini (ADORC, 2001; ADORC, 2002).

$$\text{nss-SO}_4^{2-} = \text{SO}_4^{2-} - 0,06028\text{Na}^+ \quad (2.2)$$

$$\text{nss-Ca}^{2+} = \text{Ca}^{2+} - 0,02161\text{Na}^+ \quad (2.3)$$

dimana konsentrasi SO_4^{2-} ; Ca^{2+} dan Na^+ adalah konsentrasi ion dalam air hujan. Jumlah non-sea-salt sulfat (nss-SO_4^{2-}) dan non-sea-salt kalsium (nss-Ca^{2+}) adalah konsentrasi SO_4^{2-} dan Ca^{2+} dalam air hujan dikurangi SO_4^{2-} dan Ca^{2+} dalam garam laut.

Deposisi asam dari ion-ion utama seperti nss-SO_4^{2-} ; NO_3^- ; NH_4^+ ; nss-Ca^{2+} dan H^+ dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4).

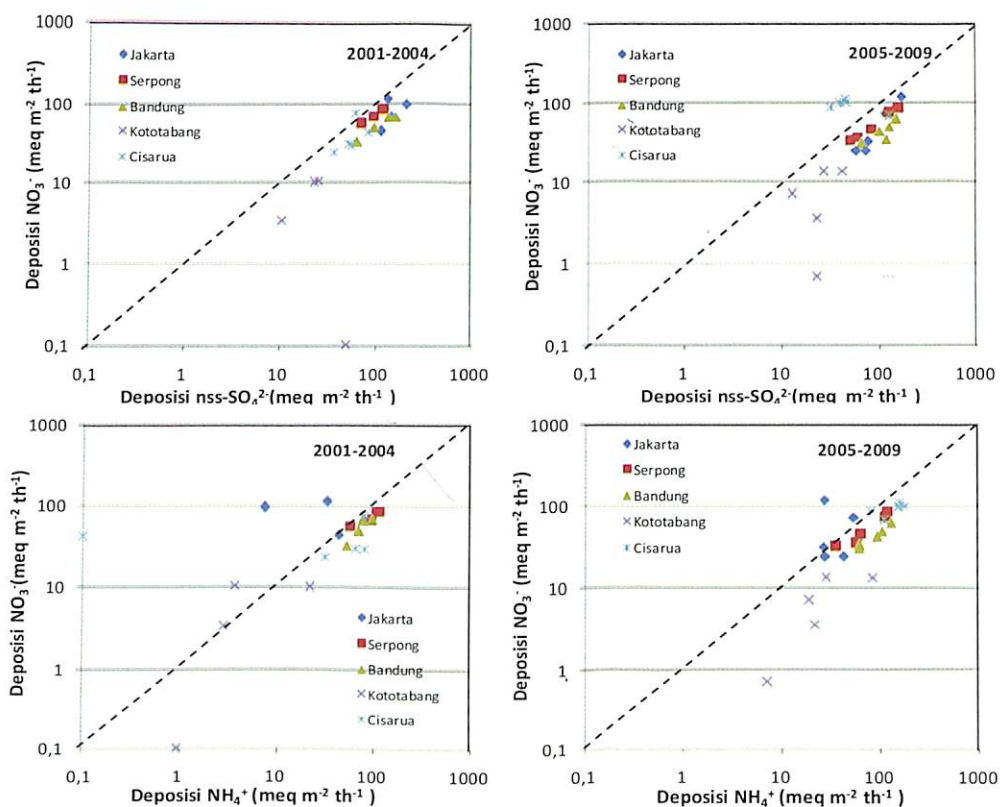
Deposisi $X(\text{ueq/m}^2) = \text{Konsentrasi } X(\text{ueq/L}) \times \text{curah hujan (mm)}$ (2.4)
 Konsentrasi H^+ didapatkan dari nilai pH, dan $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 HASIL

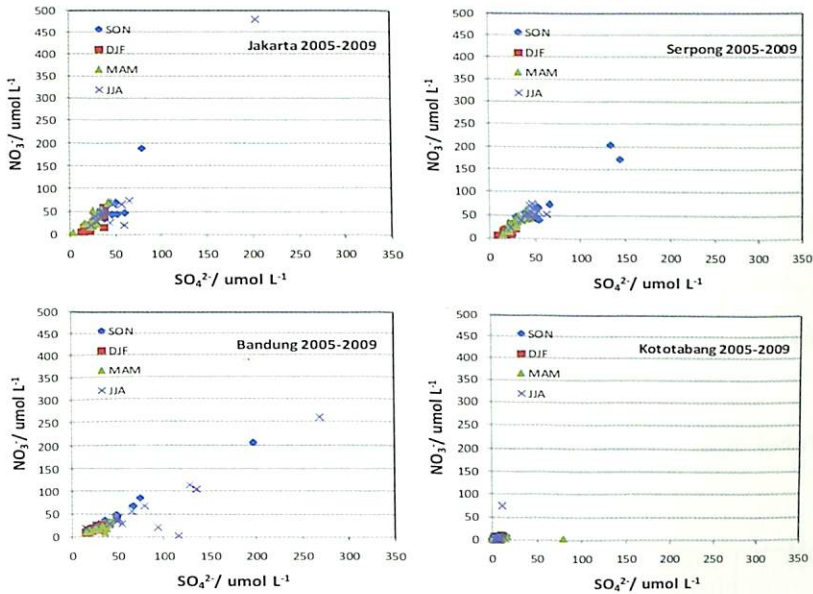
3.1.1 Ion-ion Utama Deposisi Basah

Hasil perhitungan deposisi basah ion-ion nss-SO_4^{2-} ; NO_3^- ; NH_4^+ ; nss-Ca^{2+} dan H^+ ditunjukkan dalam **Tabel 3.1** (2001-2004) dan **Tabel 3.2** (2005-2009).

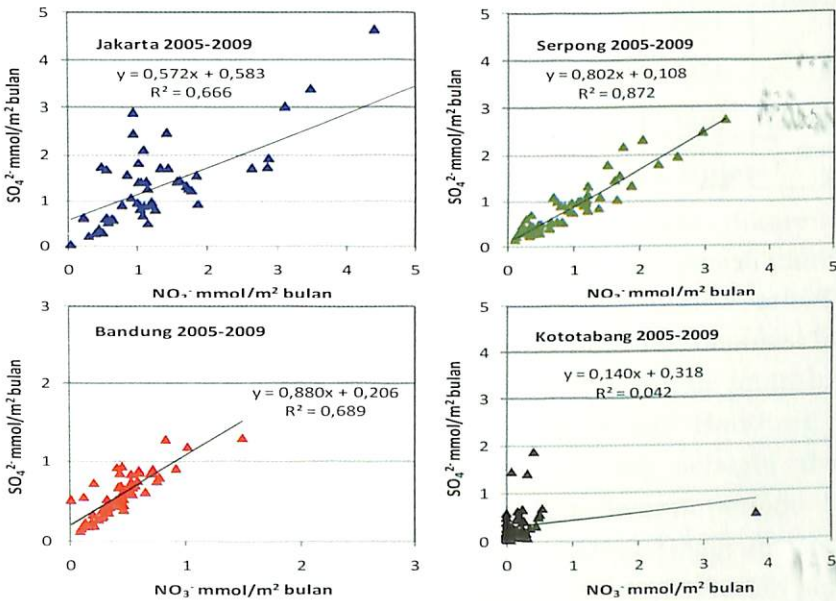


Gambar 3.1 Perbandingan deposisi nss-SO_4^{2-} dan NH_4^+ terhadap NO_3^- dalam satuan $\text{meq m}^{-2} \text{th}^{-1}$

Data monitoring kimia air hujan di Indonesia untuk Jakarta, Serpong, Bandung, Cisarua dan Kototabang, ditampilkan dalam plot pencar dari deposisi NO_3^- dan nss-SO_4^{2-} dalam skala log seperti **Gambar 3.1**. Deposisi NO_3^- ; nss-SO_4^{2-} dan NH_4^+ yang rendah terdapat di Kototabang yaitu lebih kecil dari $30 \text{ meq m}^{-2} \text{th}^{-1}$ untuk 2001-2009. Deposisi NO_3^- ; nss-SO_4^{2-} dan NH_4^+ yang tinggi yaitu rata-rata diatas $20\text{-}100 \text{ meq m}^{-2} \text{th}^{-1}$ terdapat di empat tempat monitoring lainnya yaitu Jakarta, Serpong, Bandung dan Cisarua selama periode 2001-2004. Selama periode 2005-2009 di Jakarta, Serpong, Bandung dan Cisarua didapati deposisi ion-ion utama dalam air hujan seperti nss-SO_4^{2-} ; NO_3^- ; NH_4^+ ; nss-Ca^{2+} dan H^+ yang tinggi yaitu dalam kisaran $20\text{-}100 \text{ meq m}^{-2} \text{th}^{-1}$.



Gambar 3.2 Konsentrasi SO_4^{2-} versus NO_3^- di Jakarta, Serpong, Bandung dan Kototabang (2005 - 2009)



Gambar 3.3 Rata-rata jumlah deposisi basah ion-ion SO_4^{2-} dan NO_3^- (mmol/m^2 bulan) di Jakarta, Serpong, Bandung dan Kototabang selama 5 tahun (2005 - 2009)

Tabel 3.1 Hasil perhitungan rata-rata tahunan ion-ion utama (meq.m⁻².th⁻¹) deposisi basah dan total jumlah hujan (mm.th⁻¹) di Indonesia selama periode 2001-2004

2001-2004 *2000-2004	Curah hujan mm.th ⁻¹ Rata- rata	nss- SO ₄ ²⁻ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	NO ₃ ⁻ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	NH ₄ ⁺ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	nss- Ca ²⁺ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	H ⁺ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻ meq. m ⁻² .th ⁻¹ Rata- rata	H ⁺ + 2NH ₄ ⁺ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata
Jakarta (kota)	1464	150,8	79,8	41,4	191,3	18,2	121	101
Serpong (desa)	1885	101,8	71,0	94,4	36,2	43,2	165	232
Bandung (kota)	1912	116,4	54,1	73,4	75,6	36,1	128	183
Cisarua*(desa)	2206	58,8	40,2	51,1	92,8	123,1	91	225
Kototabang (lengang)	2135	27,4	5,9	7,4	20,1	20,2	13	35

Tabel 3.2 Hasil perhitungan rata-rata tahunan ion-ion utama (meq.m⁻².th⁻¹) deposisi basah dan total jumlah hujan (mm.th⁻¹) di Indonesia selama periode 2005-2009

2005-2009	Curah hujan mm.th ⁻¹ Rata- rata	nss- SO ₄ ²⁻ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	NO ₃ ⁻ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	NH ₄ ⁺ meq. m ⁻² .th ⁻¹ Rata- rata	nss- Ca ²⁺ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	H ⁺ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	NH ₄ ⁺ + NO ₃ ⁻ meq.m ⁻² . th ⁻¹ Rata- rata	H ⁺ + 2NH ₄ ⁺ meq. m ⁻² .th ⁻¹ Rata- rata
Jakarta (kota)	1801	99,4	53,2	35,7	48,9	59,9	88,9	131,3
Serpong (desa)	1765	97,0	52,6	77,5	25,9	42,6	130,1	197,6
Bandung (kota)	1761	114,2	43,2	90,4	52,5	15,5	133,5	196,3
Cisarua (desa)	3154	58,8	91,8	135,6	84,2	49,5	227	321
Kototabang (lengang)	2420	25,8	7,4	32,1	59,4	38,4	39,5	102,7

Tabel 3.3 Perbandingan sulfat terhadap nitrat dihitung dengan persamaan regresi garis lurus (*linear regression analysis*) untuk 2000-2004 [hasil perhitungan 2000-2004 adalah hasil perhitungan PRSDA Part I (2006)] dan 2005-2009.

Wilayah	Lokasi Monitoring	2000-2004		2005-2009	
		R ²	SO ₄ ²⁻ / NO ₃ ⁻ *	R ²	SO ₄ ²⁻ / NO ₃ ⁻ *
Jawa	Jakarta kota	0,74	0,68	0,67	0,57
	Serpong desa	0,93	0,70	0,87	0,80
	Bandung kota	0,90	1,07	0,69	0,88
Pembangding	Kototabang lengang	0,25	0,06	0,04	0,14

* = Perbandingan Molar

3. 2 PEMBAHASAN

3.2.1 Ion-Ion Utama Deposisi Basah Dan Curah Hujan

Variasi dari deposisi basah di Indonesia dikarenakan perbedaan jumlah hujan tahunan. Analisis komposisi kimia air hujan untuk mengkaji karakteristik lokasi air hujan. Pada **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2** diperlihatkan rata-rata tahunan deposisi basah dari ion-ion utama ($\text{meq.m}^{-2}.\text{th}^{-1}$) dan curah hujan (mm.th^{-1}) di lokasi pemantauan seperti Jakarta, Serpong, Bandung dan Cisarua (Jawa) serta Kototabang (Sumatera) sebagai daerah lengang selama 2001-2004 dan 2005-2009. Selama periode 2001-2009, jumlah hujan rata-rata tahunan paling tinggi di Cisarua dan Kototabang yaitu 3154 dan 2420 mm.th^{-1} terjadi pada periode 2005-2009. Jumlah curah hujan lebih tinggi pada periode tahun 2005-2009 dibandingkan periode tahun 2001-2004, kecuali Serpong dan Bandung. Rata-rata tahunan deposisi ion-ion utama nss-SO₄²⁻ adalah tinggi dibandingkan ion-ion lainnya di Jakarta,

Serpong dan Bandung dalam *range* 101,8-150,8 dan 97,0-114,2 meq.m⁻².th⁻¹ berturut-turut untuk periode 2001-2004 dan 2005-2009. Jadi sumbangan emisi sulfur terlihat dominan dalam ion asam dalam air hujan di kota dengan transportasi yang padat. Sedangkan Cisarua adalah desa di pegunungan agak jauh dari jalan raya mempunyai deposisi nss-SO₄²⁻ sebesar 58,8 meq.m⁻².th⁻¹ baik untuk 2001-2004 maupun 2005-2009, adalah cukup aman dari sisi pencemaran transportasi. Tetapi dari ke lima tempat ternyata rata-rata tahunan deposisi ion nss-Ca²⁺ paling tinggi terdapat di Cisarua dan Kototabang dibandingkan daerah lainnya yaitu 92,8 dan 20,1 meq.m⁻².th⁻¹ periode 2001-2004 dan sebesar 84,2 dan 59,4 meq.m⁻².th⁻¹ periode 2005-2009. Diduga bahwa Cisarua dan Kototabang mendapatkan sumbangan Ca²⁺ dari tanah pegunungan. Hasil penelitian Hooper (2001) terhadap komposisi partikulat dari Mei 1995 sampai Desember 1996 menunjukkan kandungan Black Carbon dalam *fine* (halus) dan *coarse* (kasar) partikel sangat tinggi yaitu 1500 ng/m³ dan 440 ng/m³. Tingginya konsentrasi black carbon dan K dalam partikel halus adalah 115 ng/m³ dan 440 ng/m³ sebagai indikator pembakaran biomasa. Hasil penelitian ini juga menunjukkan kandungan Cl dan Ca yang tinggi dalam partikel kasar yaitu 127 dan 115 ng/m³. Sulfur dalam partikel halus cukup tinggi yaitu 169 ng/m³ (Hooper, 2001).

Dari ion utama kation ternyata ion NH₄⁺ rata-rata tahunan tinggi untuk Bandung, Serpong dan Cisarua yaitu 90,4; 77,5 dan 135,6 meq.m⁻².th⁻¹ pada periode 2005-2009 yang merupakan faktor penetralisir asam yang kuat di dua kota tersebut.

3.2.2 Perbandingan Sulfat Dan Amonium Terhadap Nitrat Dalam Air Hujan

Berdasarkan **Gambar 3.1**, deposisi NO₃⁻ ; nss-SO₄²⁻ dan NH₄⁺ yang rendah terdapat di Kototabang yaitu lebih kecil dari 10 meq m⁻² th⁻¹, selama 2001-2009. Kandungan deposisi asam di Kototabang relatif tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan sebagai daerah lengang di Indonesia. Kondisi yang cukup tinggi terhadap deposisi nss-SO₄²⁻ dan NO₃⁻ di tiga tempat monitoring lainnya yaitu Jakarta, Serpong, dan Bandung selama periode 2001-2004 memperlihatkan pengaruh penggunaan bahan bakar minyak mengandung sulfur cukup signifikan di tempat tersebut.

NH_4^+ yang tinggi yaitu rata-rata diatas $30 \text{ meq m}^{-2} \text{ th}^{-1}$ terdapat Jakarta, Serpong, Bandung dan Cisarua selama 2001-2009. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa daerah kota besar seperti Jakarta dan Bandung mendapatkan kandungan ammonium dalam $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan NH_4NO_3 dalam aerosol, sedangkan Serpong dan Cisarua berasal dari pemupukan tanaman. Selama periode 2005-2009 di Jakarta, Serpong Bandung dan Cisarua didapati deposisi ion-ion utama dalam air hujan yang tinggi yaitu rata-rata diatas $100 \text{ meq m}^{-2} \text{ th}^{-1}$.

Hubungan antara ion-ion dalam air hujan bisa menjelaskan sumber-sumber kimia air hujan berasal. Dengan menganalisis perbandingan sulfat dan nitrat, akan dijelaskan unsur utama keasaman yang berperanan dalam kimia air hujan atau karakteristik perbandingan konsentrasi sulfat terhadap nitrat dalam air hujan dianalisis untuk mengungkapkan karakteristik dari emisi gas-gas. Antara konsentrasi SO_4^{2-} dan NO_3^- terlihat berkorelasi dengan baik di empat lokasi di Indonesia yang ditetapkan, terutama di Serpong (**Gambar 3.2**). Menurut Hara *et al.*, 2004 dalam PRSAD Part I (2006) bahwa keterkaitan yang tidak tampak pada konsentrasi yang tinggi dikarenakan jumlah hujan sangat sedikit. Hal ini terlihat di Jakarta dan Bandung pada musim kemarau (JJA) selama 2005-2009.

Keterkaitan antara SO_4^{2-} terhadap NO_3^- selanjutnya dianalisis dengan membandingkan jumlah deposisi SO_4^{2-} dan NO_3^- untuk meminimaliskan (*minimize*) pengaruh hujan yang rendah (PRSDA Part I, 2006). Angka korelasi dari deposisi basah SO_4^{2-} versus NO_3^- adalah positif dan sangat baik, seperti terlihat pada nilai R^2 lebih besar dari 0,50 yaitu 0,67; 0,87 dan 0,69 berturut-turut untuk Jakarta, Serpong dan Bandung. Sedangkan untuk Kototabang angka korelasi sangat kecil dengan R^2 sebesar 0,04 (**Gambar 3.3**).

Perbandingan SO_4^{2-} terhadap NO_3^- dapat dijelaskan dari nilai slope persamaan regresi garis lurus (*linear regression analysis*) seperti **Gambar 3.3**. Angka perbandingan molar SO_4^{2-} terhadap NO_3^- dalam deposisi basah didapati lebih kecil dari 1,0 (**Tabel 3.3**) di Jakarta, Serpong, Bandung dan Kototabang dalam periode 2000-2004 dan 2005-2009, berarti jumlah deposisi NO_3^- lebih tinggi dari pada jumlah deposisi SO_4^{2-} . Pada periode 2000-2004 di Bandung diperoleh perbandingan $\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$ sebesar

1,07 yang berarti sama kuat dalam mempengaruhi tingkat keasaman air hujan. Serpong sebagai daerah pedesaan mempunyai nilai perbandingan molar SO_4^{2-} terhadap NO_3^- sebesar 0,80 pada periode 2005-2009. Tingginya NO_3^- disebabkan emisi gas NO_2 dari pembakaran bahan bakar fosil transportasi dan industri di daerah sekitarnya seperti Tangerang dan Jakarta. Sedangkan Kototabang dengan nilai perbandingan molar SO_4^{2-} terhadap NO_3^- sebesar 0,06 dan 0,14 berarti NO_3^- adalah 16,7 kali dari SO_4^{2-} pada periode 2001-2004 dan 7 kali pada 2005-2009. Tingginya deposisi basah NO_3^- di Kototabang disebabkan adanya emisi NO_3^- dari provinsi Riau dan Sumatera Utara akibat pembakaran *biomass* (kebakaran hutan dan lahan) setiap tahun (Herlianto, 2006). Untuk kota Jakarta dan Bandung, perbandingan molar SO_4^{2-} terhadap NO_3^- yaitu 0,68 dan 1,07 (periode 2000-2004) dan 0,57 dan 0,88 (periode 2005-2009). Perbandingan lebih kecil dari 1,00 mengindikasikan bahwa NO_3^- lebih besar dari SO_4^{2-} dan NO_3^- dapat dianggap sebagai ion-ion asam utama dalam air hujan. Tetapi pada periode 2000-2004, justru sulfat di Bandung lebih tinggi.

Tabel 3.3 memperlihatkan angka korelasi R^2 untuk dua periode yaitu periode 2000 sampai 2004 adalah hasil perhitungan PRSDA Part I (2006) dan periode 2005 sampai 2009. Perbandingan SO_4^{2-} terhadap NO_3^- untuk Serpong dan Kototabang selama dua periode meningkat. Terjadi kenaikan 14% di Serpong dari 0,70 menjadi 0,80 dan kenaikan 133% di Kototabang dari 0,06 menjadi 0,14. Berarti terjadi peningkatan sulfur dibandingkan nitrat di kedua tempat tersebut. Jauh berbeda dengan Bandung, bahwa perbandingan molar SO_4^{2-} terhadap NO_3^- turun dari 1,07 periode 2000-2004 menjadi 0,88 periode 2005-2009 atau mengalami penurunan 18%. Untuk Jakarta dengan jumlah transportasi yang tinggi ternyata mengalami penurunan juga dalam angka perbandingan molar SO_4^{2-} terhadap NO_3^- sebesar 16% dari 0,68 menjadi 0,57. Di Bandung dan Jakarta terdapat peningkatan nitrat. Ke empat kota tersebut selama dua periode mempunyai perbandingan molar lebih kecil dari 1,0. Kecuali Bandung dalam periode 2000-2004 dengan perbandingan molar 1,07. Kandungan sulfat yang tinggi dalam air hujan di Bandung disebabkan karena emisi SO_2 dari pembakaran bahan bakar fosil.

4 KESIMPULAN

Variasi dari deposisi basah di Indonesia dikarenakan perbedaan jumlah hujan tahunan adalah signifikan untuk masing-masing wilayah, yaitu banyak terdeposisi polutan di daerah terpolusi seperti Jakarta, Bandung dan Serpong. Kecenderungan deposisi asam tahun 2001-2004 menurun di Serpong, Bandung dan Kototabang, kecuali Jakarta dan Cisarua. Kecenderungan deposisi asam tahun 2005-2009 adalah naik di Serpong dan Bandung, sebaliknya di Jakarta, Cisarua dan Kototabang berkurang. Ion utama dari kation yang dominan ternyata ion NH_4^+ (amonium) dengan rata-rata tahunan yang tinggi untuk Bandung, Serpong dan Cisarua yaitu 90,4; 77,5 dan 135,6 $\text{meq.m}^{-2}\text{.th}^{-1}$ pada periode 2005-2009 yang merupakan faktor penetralisir asam yang kuat di ketiga kota tersebut. Berdasarkan analisis perbandingan molar sulfat terhadap nitrat telah diperlihatkan pengaruh asam nitrat cukup dominan di daerah perkotaan Jakarta dan Bandung. Di Serpong, Cisarua, Kototabang dan Bandung mempunyai nilai deposisi amonium lebih tinggi dari nitrat.

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.*
- 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.*
- Bowersox, V.C. and Stensland, G.J., (1981): Seasonal patterns of sulfate and nitrate in precipitation in the United States, *74th Air Pollution Control Meeting*, Paper 81-6.1.
- Dasch, J.M., (1987): On The Difference Between SO_4^{2-} and NO_3^- in Wintertime Precipitation, *Atmospheric Environment*, Vol. **21**, No. 1, 137-141.
- Herlianto, D., (2006): Api yang Terus Menyala, Kebakaran hutan di Riau, *Prakarsa Rakyat, Litbang Media Group, aji @*

- mediacorpradio.com. Kompas Cyber Media*, September 11, 2006, Kompas, Jumat 24/6/2006,
- Hooper, M., (2001): Comparative Study of Regional Aerosol in Tropical Australia and Indonesia, *Proceedings of 7th International Joint Seminar on the Regional Deposition Processes in the Atmosphere*, November 20-22, Tsukuba-Japan, 36-43.
- Mouli, P.C, Mohan, S.V, and Reddy, S.J., (2005): Rainwater chemistry at a regional representative urban site: influence of terrestrial sources on ionic composition, *Atmospheric Environment*, No. **39**, 999 – 1008.
- PR SAD Part I, (2006): *Periodic Report on the State of Acid Deposition in East Asia Part I: Regional Assessment*, November 2006.
- PUSARPEDAL, (2010), Status Deposisi Asam di Indonesia Tahun 2001 – 2008, 34-35.
- Summers, P.W. and Barrie, L.A., (1985): *The spatial and temporal variation of sulphate to nitrate ratio in precipitation in Eastern North America*, presented at Muskoka Conference.
- Stern, A.C., Boubel, R.W., Turner, D.B., and Fox, L.N., (1984): *Fundamentals of Air Pollution*, second edition, Academic Press INC, Orlando-Florida, 35-45.

INDEKS

A

ACF, 50, 51, 54, 55, 56
Adiabatik, 27, 28, 29
ADORC, 141, 142, 150,
Aerosol, 111, 112, 113, 114,
124, 148, 151
Aerosol optical depth, 111, 112,
113
Albedo, 99, 114
Analisis spektral, 65, 66
Angin baratan, 6, 25
Angin gending, 12
Angin kumbang, 12
Angin laut, 9, 12, 82
Angin lembah, 9, 12
Angin permukaan, 37, 38, 39
Angin pasat, 42, 43, 44, 46
Angin timuran, 6, 25
Anion, 139, 140, 141
Amonium, 139, 141, 143, 147,
150, 151
Aqua-MODIS, 111
Arah angin, 2, 4, 12
Arlindo, 72
Arus *Eddy*, 37, 39, 44
Arus Leeuwin, 39
Arus udara ke atas, 26
Aura-MLS, 111
Awan bersih, 112, 115, 116,
117, 118, 119, 120, 122
Awan dingin, 2, 3, 4
Awan panas, 2, 3, 4, 10
Awan terpolusi, 111, 112,
116, 118, 119, 120, 121

B

Badai tropis, 27
Bathimetri, 37, 40
Batu es, 1, 10, 11, 26
Belahan bumi utara, 27
Belahan bumi selatan, 27
Benda hitam, 33
Biomasa, 112, 114, 120
BMKG, 139
BPO, 127

C

Carbon monoksida, 112
Cekungan, 21, 22
CIAT, 17
Cirrus, 89
Citra satelit, 90
Cumulus, 89
Cumulonimbus, 89
Curah hujan, 113

D

Dasarian, 6
Densitas uap air, 28
Densitas udara kering, 28
Deposisi basah, 139
Deposisi kering, 139
Depresi, 27
Dinamika air laut, 38
Dinamika atmosfer, 27, 74
Dobson Unit, 103
Downwelling, 38

E

Efek orografik, 2, 3, 9, 11, 12

Efisiensi kolisi, 5

Ekososfer, 25

Ekstrim, 64

Ekuatorial, 4, 16, 24, 25, 27, 65

Efisiensi tangkapan, 5

Emisi alkali, 140

Emisivitas, 33

ENSO, 77, 102

F

FAO, 17

Frekuensi angin utama, 4

G

Gas buang, 140

Gas rumah kaca, 64

Gas telusur, 126

Gelombang laut, 38

GHCN, 17

GMS-5, 90

GrADS, 68

Guruh, 26

H

Harian, 6, 39, 65, 66

Hari hujan, 142

HDFviewer, 168

Hidrometeorologi, 6

Hujan deras, 26

Hujan lebat, 8

Hujan orografi, 3

Hukum Stefan-Boltzmann, 33

Hukum Wien, 33

I*Ice water content*, 111

Indeks bias, 24, 25, 29, 30, 32, 34, 35

Indeks monsuon, 4, 6, 12, 63

Indeks UV, 126, 127, 128, 129, 130, 132

Insolasi maksimum, 2, 11

Intensitas hujan, 6, 7, 8, 9, 11

Interannual oscillation, 16

Interaksi laut dan atmosfer, 37

Inversi, 34

IODM, 51

Ion-ion kimia, 143

Isotherm, 30

K

Kation, 140, 141, 142, 149, 151

Kanal inframerah, 91, 99

Kanal visibel, 89, 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99

Keasaman air hujan, 139, 140, 149

Kecepatan angin, 2, 15, 82, 122,

Kecepatan sudut rotasi bumi, 27

Kelembapan relatif, 15, 25, 27

Kilat, 26

Komponen zonal dan meridional arus permukaan laut, 38

Komponen zonal dan meridional angin permukaan, 38, 40

Kondensasi, 3, 4, 10, 28, 29, 56, 58, 59, 69, 70, 74
 112, 113, 114
 Monsunal, 15, 16, 21, 66, 71,
 72
 Konsentrasi tertimbang, 141,
 142
 Monsun Asia, 67, 72
 Konstanta gas spesifik untuk
 MTSAT-1R, 90
 uap air, 28
 MTSAT-2, 90
 Konstanta gas spesifik untuk
 Musim hujan, 15, 16, 30, 32,
 udara kering, 28
 34
 Kristal es, 2, 3, 4, 10, 11
 Musim kemarau, 32, 34, 35,
 Kriteria Quintil, 63, 64, 65, 68,
 60, 115, 148
 71, 74

L

LAPAN, 101
 La Niña, 67, 72, 100, 101, 102,
 109, 136
 Lereng di atas angin, 2, 9, 12
 Lereng di bawah angin, 2, 12
 Lintang kuda, 25, 27
 Lintang tempat, 27
 Lokal, 11, 12, 16

M

Madden-Julian Oscillation, 50
Mature, 8, 12
 Mawar angin, 4
Mean Absolute Percentage P
Error, 53
Mean Standard Error, 53, 56
 Mekanisme Bowen-Ludlam, 4
 Meridional, 14, 15, 17, 22, 23,
 37, 38, 40
 Mesosfer, 25
 Meteorologi, 12, 13, 24, 25, 26,
 35, 71, 89
 Migrasi, 26, 27
 Model ARIMA, 49, 50, 54, 55,

N

Nitrat, 139, 140, 141, 146,
 147, 148, 149, 150, 151
Non-sea-salt kalsium, 142
Non-sea-salt-sulfat, 142

O

Oksidator, 140
 OMI, 100, 110, 125
 ONI, 72, 73
 Oseanografi, 39, 46
 Ozon total, 100, 101, 102, 103,
 104, 125, 129, 130,
 131, 138

PACF, 51, 54, 56

Panas laten, 25, 50, 77, 113

Panas sensible, 25, 27

Partikel air, 10, 25

Pembiasaan, 25, 37, 35

Penakar hujan pencatat
 otomatis, 6

Penampung timbangan, 6, 11

Penguapan, 113

Periode transisi, 30, 32, 34

- Persamaan Poisson dan Clausius-Clapeyron, 25
Peta termodinámica, 29
Pias, 6, 11
Pluviograf, 6
Polutan, 112, 113, 121, 122, 140, 150
Polar, 31, 33
Posisi matahari, 88, 89, 90, 91, 93, 95, 98, 128, 136
POT, 63, 64, 68, 70, 71, 74
Precipitation Radar, 67
Proses Bergeron-Findeisen, 10
Pusarpedal-KLH, 139, 141
- Q**
QBO, 102
Quality Assurance, 141
- R**
Radiasi, 25, 61, 79, 80, 81, 88-91, 98, 102, 114,
Radiasi Gelombang Panjang, 33, 50
Radikal halogen, 103, 108
Radiasi UV, 103, 108, 126-128, 136, 137
Radiosonde, 24, 25, 27, 29, 30
Reaksi fotolisis, 103
Refleksi, 61
Reflektansi awan, 113
Refraksi gelombang radio, 24, 25, 29, 30
Rural, 140
- S**
Salinitas laut, 38
Satelit MTSAT, 88-91, 97, 98
Satelit TRMM, 16, 63-65, 77, 78, 82, 87
Scattering, 61
Scatterplot, 58
Sea Level Pressure, 50
Sea Surface Temperatur, 50
SHADOZ, 101, 110
Siklon tropis, 27
Sirkulasi Walker, 50
Skala global, 27, 77, 104, 129
SMA, 55, 56
Space Based Observation, 101, 127
Spasial, 14-17, 20-23, 39, 40, 64, 65, 67, 77, 82, 86, 94, 101, 104, 106, 108, 109, 116-118, 120, 129, 134, 137
Stabilitas konvektif, 24, 25, 27, 28
Stratosfer, 25, 26, 34, 103, 108, 127
Stratus, 89
Subsidensi, 27, 79
Subtropis, 25, 31, 33, 34
Suhu permukaan laut, 38
Suhu udara permukaan, 38
Sulfat, 139-142, 146-150
Susut temperatur, 33-35
- T**
Tekanan angin permukaan, 37, 38, 43, 44, 46
Tekanan uap, 4, 25, 28-30
Tekanan udara kering, 28

- Tekanan udara lembap, 28
 Teknik Box Jenkins, 49, 50
 Temperatur kondensasi
 Temperatur potensial, 24, 25,
 27-30, 32, 34, 35
 Temperatur udara, 29, 34
 Isentropik, 28, 29
 Termosfer, 25
Time series, 50, 53, 107, 128,
 130, 132, 133, 136
 TMI, 67
 TOMS, 101, 110, 129
 Topografi, 18, 21, 22, 43, 45,
 46
 Tornado, 26
Tracking signal, 48, 49, 58-60
 Tropis Ekuatorial, 24
Tropic of Cancer, 72
Tropic of Capricorn, 72
 Troposfer, 3, 4, 24-35
 Tropopause, 26, 30, 31, 33, 34,
 35
 TTO, 101
 Tumbukan, 2, 4, 5, 10
- U**
- Ukuran partikel awan, 113
 Unsur-unsur iklim, 38
Upwelling, 38
Urban, 63, 140
- V**
- Validitas, 76-78
 Variabilitas, 15, 65, 125
 Variasi musiman, 34, 101,
 104, 126, 133
 Variasi temporal, 64, 65, 86,
 101, 105, 107, 126, 136,
 137
 Virga, 10
 Vortisitas bumi, 27
- W**
- Waktu tinggal (lifetime), 113
White noise, 52
 Wilayah maritim ekuatorial, 25
 WorldClim, 14, 16, 17
- Z**
- Zonal, 14, 15, 17-23, 37, 38,
 40