

KOMPOSISI KIMIA DEPOSISI ASAM DAN FENOMENA HUJAN ASAM DI INDONESIA

CHEMISTRY COMPOSITION OF ACID DEPOSITION AND ACID RAIN FENOMENANCE IN INDONESIA

Tuti Budiwati^{1)*}, Elmaya Rahmawati²⁾, Dyah Aries Tanti¹⁾, dan Asri Indrawati¹⁾

1. Pusat Sains Dan Teknologi Atmosfer –LAPAN

2. Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan

*Tel/Fax: 022-6037445/022-6037443; e-mail: tuti_lapan@yahoo.com

ABSTRACT

The increase in gas such as NH_3 , NO_2 , SO_2 , and aerosol $\{(NH_4)_2SO_4$ dan $NH_4NO_3\}$ from anthropogenic and natural sources will affect the acidity of rain water, through a wet deposition process (wet deposition) is a wet cleaning of the atmosphere. Rain water chemistry data and rainfall is the result of monitoring of the National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), the Meteorology, Climatology and Geophysics (BMKG), and the Environmental Impact Management Agency (Pusarpedal) from 2001 to 2013. Data of anions and cations are the data weighted monthly average. Dilution effects were important to the equivalent ionic concentration of different rainfall types. Indonesia has three of rainfall type categories. The results showed that each city has a different amount of acid deposition in the same season and agree with rainfall types. Acid deposition pattern of areas monsoonal precipitation type is different from the equatorial regions. In addition it was found average trend pH <5.6 in Indonesia as much as 89.82%; in monsoonal areas as much as 91.02%; and in the equatorial area as much as 85.03% from 2001 to 2013, although in 2011 there were months of the pH rise above 5.6. This shows the acid rain has occurred in this period.

Keywords: chemical composition, acid deposition, acid rain, monsoonal, equatorial

ABSTRAK

Kenaikan gas seperti NH_3 , NO_2 , SO_2 , dan aerosol $\{(NH_4)_2SO_4$ dan $NH_4NO_3\}$ dari sumber antropogenik dan alam akan mempengaruhi kadar keasaman air hujan, melalui proses pengendapan basah (*wet deposition*) yaitu pembersihan atmosfer secara basah. Data kimia air hujan dan curah hujan adalah hasil pemantauan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG), dan Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan (PUSARPEDAL) dari tahun 2001 sampai 2013. Data anion dan kation yang digunakan adalah data rata-rata bulanan tertimbang. Pengaruh pelarutan merupakan hal penting untuk mendapatkan konsentrasi ion dari tipe curah hujan yang berbeda. Indonesia mempunyai tiga kategori tipe curah hujan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa masing-masing kota mempunyai jumlah deposisi asam yang berbeda pada musim yang sama dan sesuai dengan pola curah hujan. Pola deposisi asam dari daerah tipe curah hujan monsunal berbeda dengan daerah ekuatorial. Selain itu diperoleh tren rata-rata pH < 5,6 di Indonesia sebanyak 89,82%; di daerah monsunal sebanyak 91,02%; dan di daerah ekuatorial sebanyak 85,03% dari 2001 sampai 2013, meskipun tahun 2011 terdapat bulan bulan dengan pH naik diatas 5,6 . Hal ini memperlihatkan telah terjadi hujan asam dalam kurun waktu tersebut.

Kata kunci: komposisi kimia, deposisi asam, hujan asam, monsunal, ekuatorial

PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi di Indonesia telah memacu pertumbuhan industri dan transportasi serta penggunaan energi. Penggunaan bahan bakar minyak dan batubara di sektor industri dan pembangkit listrik akan mengemisikan NO_2 , SO_2 , dan aerosol $\{(NH_4)_2SO_4$ dan $NH_4NO_3\}$. Peta hasil estimasi gas-gas tersebut menunjukkan bahwa pulau Jawa relatif tinggi konsentrasi NO_2 , SO_2 , dan SPM (*Suspended Particle Matter*)

dibandingkan wilayah lainnya di Indonesia.¹ Polutan-polutan ini relatif stabil di atmosfer dan dapat berpindah bersamaan dengan masa udara untuk jarak jauh.²

Aerosol dan gas-gas NO_2 , SO_2 yang terlarut dalam udara dapat dibersihkan dari atmosfer melalui proses pembersihan secara kering (*dry deposition*) atau basah (*wet deposition*). Proses deposisi basah adalah proses pencucian yang mana polutan (gas-gas dan partikel) diserap oleh elemen hujan (butir-butir air, partikel-partikel es)

dan jatuh (diendapkan) di permukaan selama hujan.³ Deposisi asam merupakan masalah lingkungan yang serius dimana asam kuat, terutama asam sulfat dan nitrat dari oksidasi gas-gas sulfur dan nitrogen di atmosfer, diendapkan ke permukaan bumi secara basah atau kering.

Nilai pH rendah berarti dipengaruhi sangat kuat oleh SO₂ dan NO₂,^{4,5} sebaliknya nilai pH tinggi terdapat netralisasi keasaman air hujan oleh CaCO₃ dan atau NH₃ yang melimpah di atmosfer.^{6,7} Sulfat (SO₄²⁻) and nitrat (NO₃⁻) adalah anion terbesar yang didapati dalam deposisi basah,^{8, 9, 10, 11} demikian juga Cl⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, dan Ca²⁺.^{12,13,14,15,16} Mg²⁺, Na⁺ dan K⁺ merupakan komponen yang berasal dari sumber laut juga partikel debu tanah.¹⁷ Mg²⁺ adalah komponen yang berasal dari laut bila pengamatan dilakukan dekat laut dan berasal dari kerak bumi bila jauh dari laut.¹⁸ Air hujan menunjukkan keasaman kuat ketika sejumlah besar asam telah terlarut di dalamnya. Hal ini merupakan asal adanya istilah hujan asam.¹⁹

Di kota-kota besar terdapat lebih komponen-komponen yang komplek dalam aerosol disebabkan polusi industri dan transportasi, akibatnya berdampak pada komposisi yang komplek pula dalam air hujan.¹¹ Selama periode 2005-2009, rata-rata tahunan deposisi ion-ion utama nss-SO₄²⁻ (*non sea salt*-SO₄²⁻) lebih tinggi dibandingkan ion-ion lainnya di Jakarta, Serpong dan Bandung dalam variasi 97,0–114,2 meq.m².y⁻¹²⁰

Indonesia dipengaruhi oleh tipe curah hujan yang berbeda yaitu tipe monsun adalah daerah A, tipe ekuatorial adalah daerah B dan tipe lokal adalah daerah C.^{21,22} Daerah A terletak di Indonesia bagian selatan dan tengah dari Sumatera Selatan, Jawa sampai pulau Timor, meliputi sebagian Kalimantan, sebagian Sulawesi, dan Irian Jaya. Pola hujan monsun mempunyai tipe curah hujan yang bersifat unimodial dengan satu puncak yaitu DJF musim hujan dan satu lembah yaitu JJA musim kemarau. Daerah B terletak di Barat Laut Indonesia dan meliputi bagian utara Sumatera dan Timur laut Kalimantan. Pola ekuatorial dicirikan oleh tipe curah hujan dengan dua puncak hujan yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober atau pada saat terjadi ekinoks. Daerah C meliputi Maluku dan sebagian Sulawesi.²² Pola lokal dicirikan oleh bentuk pola hujan *unimodial* tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan monsun^{21,22}, dengan satu puncak hujan (Juni-Juli), dan dua lembah Nopember dan Februari.

Musim dibagi dalam empat musim yaitu musim hujan Desember Januari Februari (DJF),

musim peralihan hujan ke kemarau Maret April Mei (MAM), musim kemarau Juni Juli Agustus (JJA) dan musim peralihan kemarau ke hujan September Oktober Nopember (SON).^{21,23} Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh musim dan curah hujan terhadap komposisi kimia deposisi asam dan terjadinya hujan asam di wilayah Indonesia.

METODOLOGI

Data kimia air hujan terdiri dari pH, anion (SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻) dan kation (NH₄⁺, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, K⁺, dan H⁺) hasil pemantauan LAPAN, BMKG, dan PUSARPEDAL dari tahun 2001-2013 berupa rata-rata bulanan tertimbang untuk lokasi Indonesia. Untuk menghitung deposisi ion-ion kimia air hujan, digunakan perhitungan deposisi ion berdasarkan persamaan 2-1.²⁴

$$D_{th} = \sum_{i=1}^n (C_i \times V_i) \quad 2-1$$

Dimana: D_{th} = deposisi ion rata-rata musiman dalam $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ per musiman ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \text{musiman})$); C_i = konsentrasi ion dalam $\mu\text{mol}/\text{L}$ tiap bulan dalam satu tahun dan V_i adalah total curah hujan dalam mm tiap bulan dalam satu musim dan n adalah bulan kejadian hujan dalam satu musim.

Data dibuat rata-rata musiman terdiri dari bulan-bulan hujan yaitu Desember, Januari Februari; peralihan musim hujan ke musim kemarau Maret April Mei; musim kemarau Juni Juli Agustus dan peralihan kemarau ke musim hujan September Oktober Nopember. Pengaruh musiman mempengaruhi curah hujan yang berperan dalam proses deposisi basah. Kecenderungan terjadi hujan asam dilihat pada daerah tipe curah hujan ekuatorial dan monsun juga lokal dengan pengelompokan nilai pH rata-rata bulan. Untuk mengetahui frekuensi kejadian hujan asam dilakukan dengan uji statistik untuk rata-rata daerah seluruh Indonesia, rata-rata daerah monsun dan rata-rata daerah ekuatorial. Stasiun dengan tipe curah hujan lokal tidak ada yang mewakili terkait dengan ketersediaan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia Deposisi Asam Berdasarkan Musim

Berdasarkan Gambar 1 dan 2 dapat diketahui bahwa masing-masing kota mempunyai jumlah deposisi asam yang berbeda pada musim yang sama. Curah hujan akan membersihkan atmosfer berupa *rain out* maupun *wash out*. *Wash out* adalah proses pembersihan polutan didalam awan melalui pembentukan inti kondensasi yang

akhirnya menjadi titik-titik hujan. *Rain out* proses pembersihan polutan melalui pelarutan partikel-partikel polutan oleh air hujan atau salju.^{18,3} Di daerah tipe curah hujan monsun maka total deposisi asam terbesar terdapat pada musim penghujan DJF dan diikuti SON seperti Jakarta, Cisarua, Lampung, Makassar, Banjarbaru, dan Mataram (Gambar 1.a). Curah hujan yang tinggi di Cisarua pada bulan-bulan DJF telah mengendapkan deposisi asam tertinggi yaitu sebesar 47469,65 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ dengan ion terbesar NH_4^+ sebesar 10090,7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ dan Cl^- sebesar 5725,8 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Kondisi tersebut adalah sesuai dengan karakteristik daerah perkebunan di daerah gunung api. Selain itu daerah Jakarta mempunyai deposisi asam yang tinggi juga dengan total 42721,16 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ dimana SO_4^{2-} adalah 7156,26 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ dan NO_3^- 6228,72 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Transportasi menyumbangkan emisi NO_2 sebesar 80% dari total NO_2 ke udara.²⁵ Potensi industri pengguna batubara dan minyak berkadar sulfur tinggi akan sangat besar dalam menyumbangkan SO_2 ke udara.²⁶ Pengaruh polusi udara SO_2 dan NO_2 terindikasi dalam H_2SO_4 dan HNO_3 dalam air hujan.^{4,5}

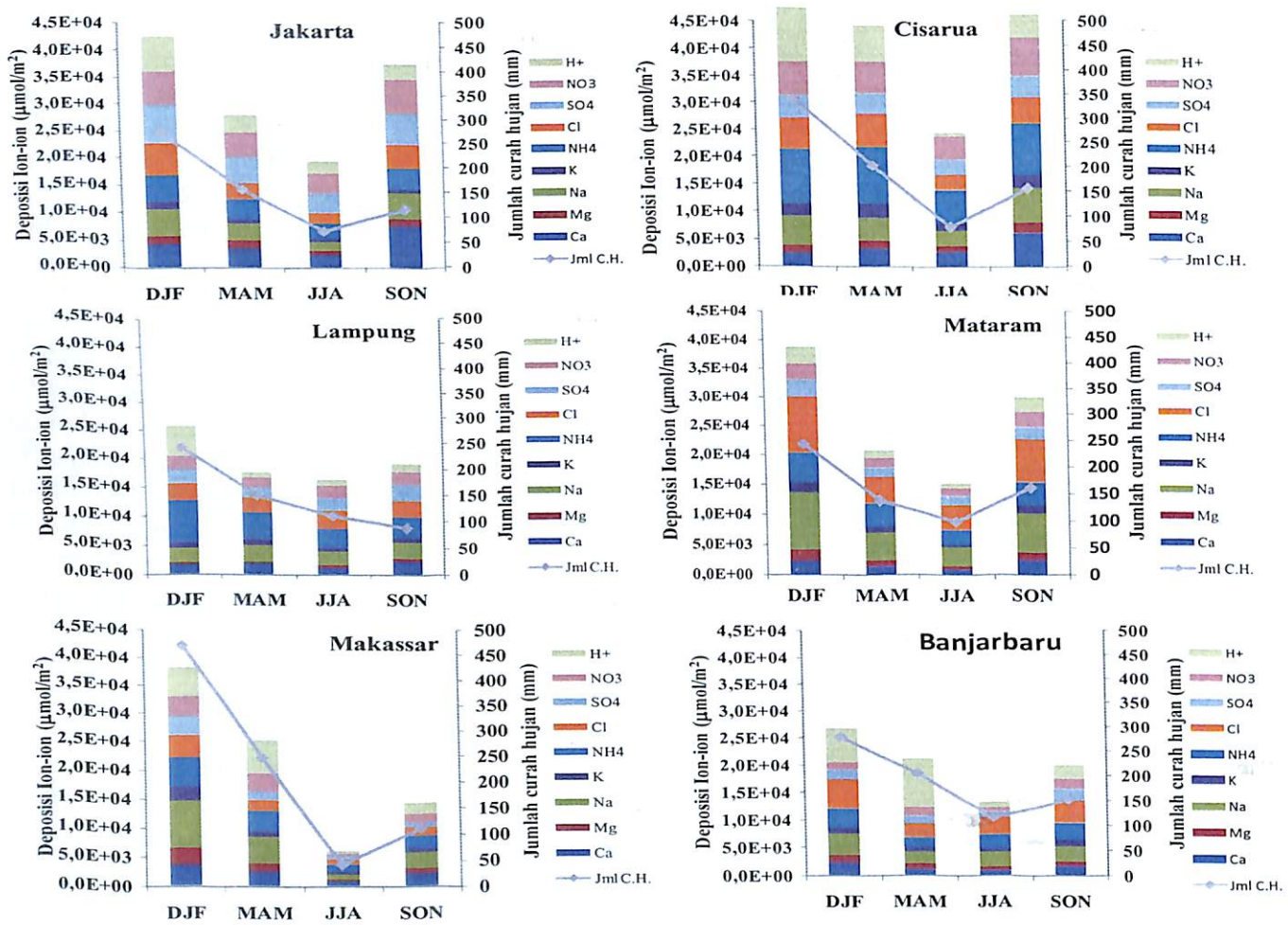
Berdasarkan kandungan deposisi asam yang tinggi untuk sulfat dan nitrat terlihat bahwa Jakarta dipengaruhi oleh sumber antropogenik seperti transportasi dan industri. Berdasarkan penelitian Hamonangan *et al.*,²⁷ bahwa konsentrasi NO_2 yang tinggi di pusat kota Jakarta berhubungan dengan jumlah kendaraan yang tinggi pula. Di daerah tipe yang sama seperti Serpong, Bandung, Palembang, dan Jayapura didapati deposisi asam terbesar pada bulan-bulan MAM dan SON (Gambar 1b). Hal tersebut dikarenakan faktor curah hujan.

Menurut BMKG bahwa wilayah monsun (tipe A) memiliki perbedaan yang jelas antara periode musim hujan (bulan-bulan DJF) dimana curah hujan melimpah dan periode musim kemarau (bulan-bulan JJA) dengan curah hujan minimum. Tipe A dipengaruhi monsun tenggara atau monsun Australia yang menyebabkan curah hujan sedikit atau kemarau di Indonesia.²² Pada proses pengendapan basah curah hujan mengendapkan gas dan partikel di atmosfer, maka musim hujan DJF menyebabkan deposisi asam tentunya tinggi di daerah tipe A atau Monsonal (Gambar 1.a dan 1.b).

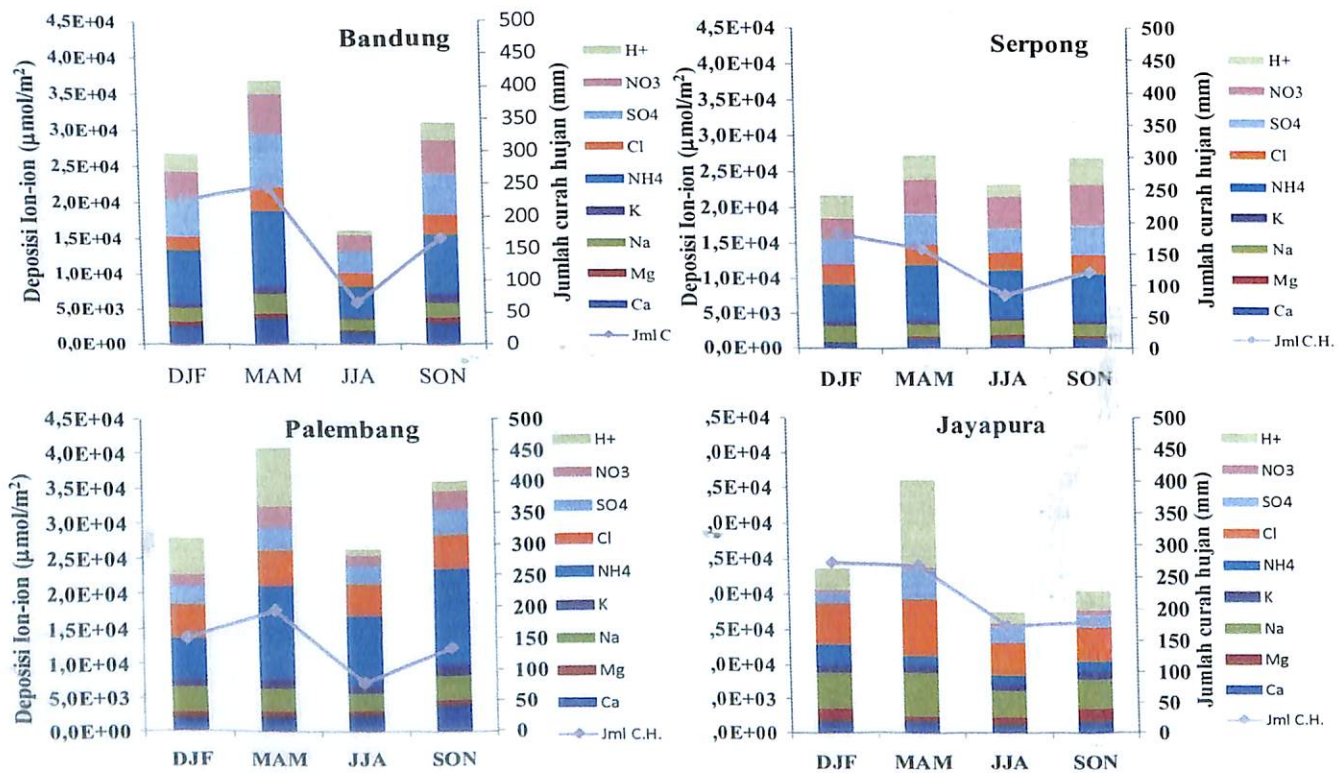
Deposisi asam terlihat tinggi pula pada bulan-bulan SON, kemungkinan faktor sumber yang melimpah telah menyebabkan tingginya deposisi asam di daerah monsun. Konsentrasi SO_2 adalah tinggi di bulan-bulan DJF baik di Jawa, Sumatera dan Kalimantan.^{28,29,30} Rata-rata

musim total kolom SO_2 di Jawa adalah 0,088 > 0,076 > 0,067 > 0,037 DU berurutan dari DJF > SON > MAM > JJA. Sedangkan di Sumatera berurutan dari DJF > SON > MAM > JJA adalah 0,045 > 0,043 > 0,035 > 0,019 DU.^{29,30} Demikian pula konsentrasi NO_2 adalah tinggi di Sumatera, Jawa dan Kalimantan pada bulan-bulan JJA dan SON.^{30,31} Tingginya konsentrasi total O_3 pada musim SON di Jawa diduga ada peningkatan O_3 prekursor akan mempercepat proses oksidasi SO_2 dan NO_2 ¹⁹ menjadi asam sulfat dan nitrat pada musim peralihan tersebut. Demikian juga menurut Budiwati dan Setyawati,³¹ bahwa konsentrasi partikel [Aerosol Optical Depth (AOD)] yang tinggi pada bulan-bulan DJF di Jawa akan berdampak pada nilai deposisi asam yang tinggi. Hasil analisis sebaran atau distribusi ruang dari aerosol dalam $\text{AOD}_{483,5\text{nm}}$ adalah tertinggi terjadi pada bulan-bulan SON (September; Oktober dan Nopember) dengan nilai 3,455-3,846 terdapat di wilayah perbatasan dengan Kalimantan Tengah.²⁸

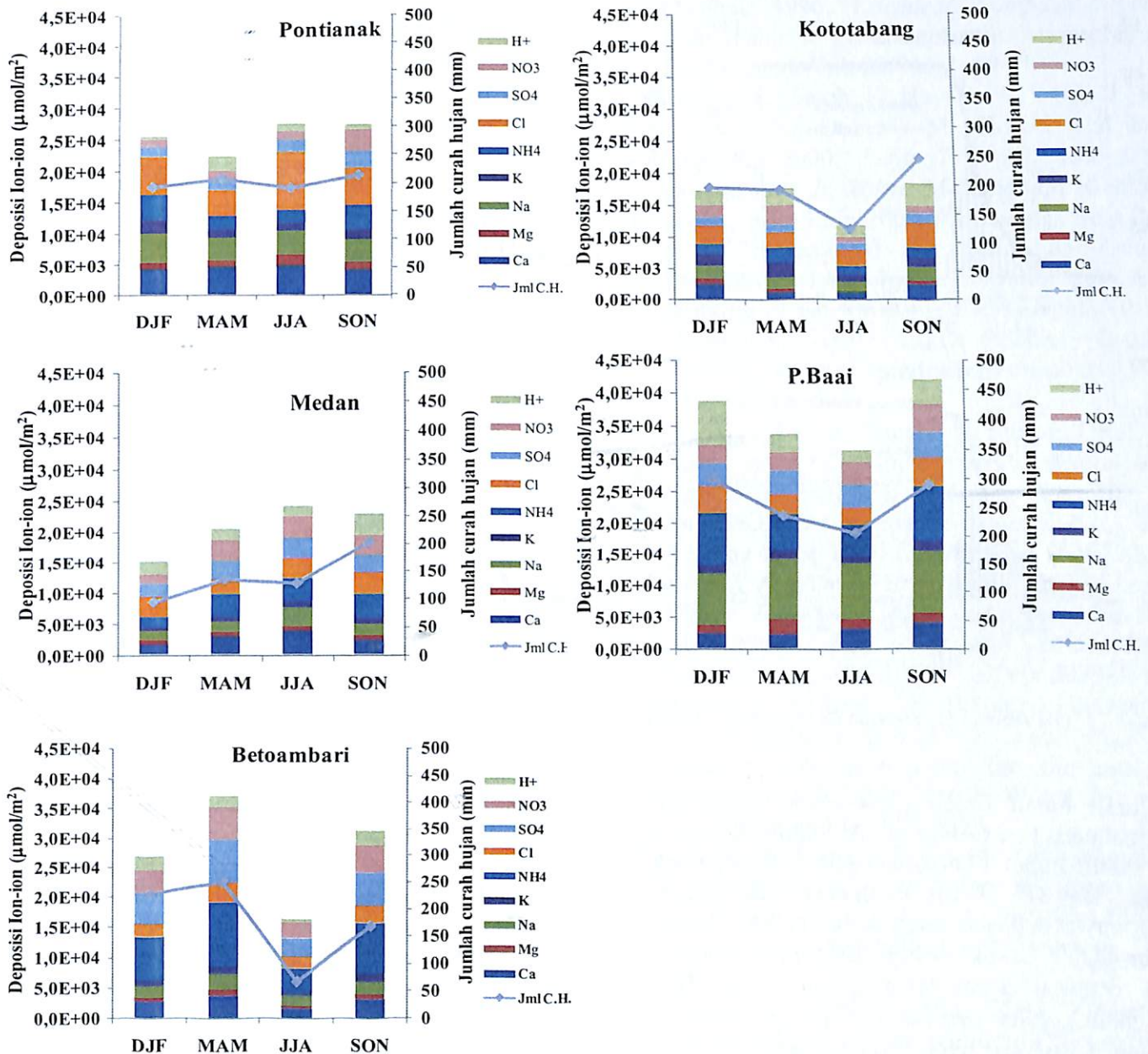
Di daerah tipe A (Monsunal) lainnya seperti Serpong, Bandung, Palembang, dan Jayapura ternyata deposisi asam didapati tinggi pada bulan-bulan MAM. Hal tersebut dikarenakan jumlah curah hujan MAM yang tinggi dibandingkan bulan-bulan DJF. Diantara empat daerah ini ternyata Palembang mempunyai total deposisi asam terbesar yaitu 40799,70 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ dengan ion tertinggi terdapat NH_4^+ sebesar 13353,63 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ dan diikuti Cl^- sebesar 5051,74 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Indikasi ini berasal dari sumber pembakaran biomasa yang melanda daerah Palembang pada bulan-bulan tersebut. Selain itu deposisi K^+ didapati tinggi pula yaitu 1677,28 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ dan NH_4^+ sebesar 13746,85 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ pada bulan-bulan SON dimana kebakaran hutan cukup besar dibandingkan bulan-bulan MAM. Ion K^+ dalam air hujan berasal dari pelarutan partikel-partikel yang mengandung K. Partikel-partikel tersebut merupakan hasil pembakaran biomassa dan industri semen juga pupuk di Indonesia.³² Wilayah dengan pola hujan ekuatorial memiliki distribusi hujan bulanan dengan dua puncak musim hujan maksimum dan hampir sepanjang tahun mengalami musim hujan.



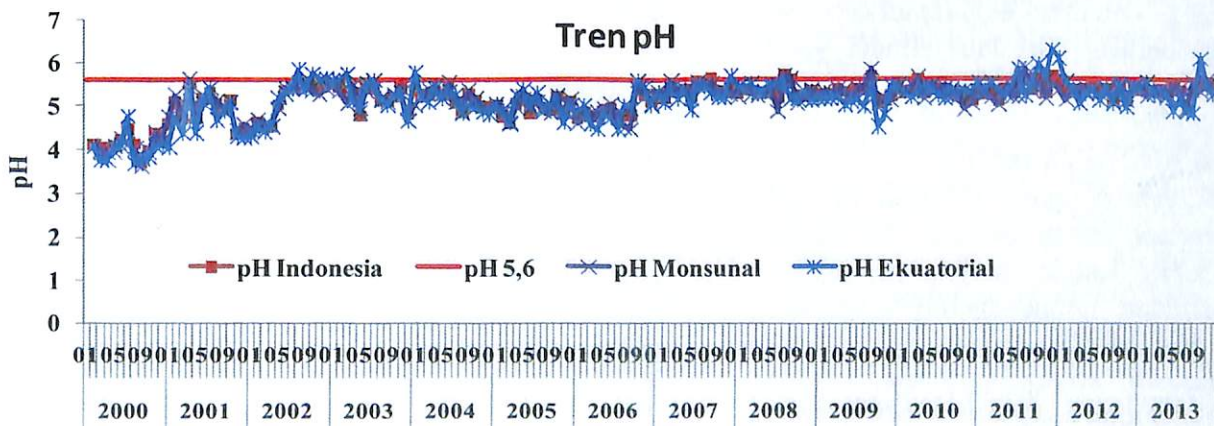
Gambar 1.a. Komposisi deposisi asam dan curah hujan berdasarkan musim di kota-kota dalam daerah tipe A atau Monsunal. Satuan = $\mu\text{mol}/\text{m}^2$



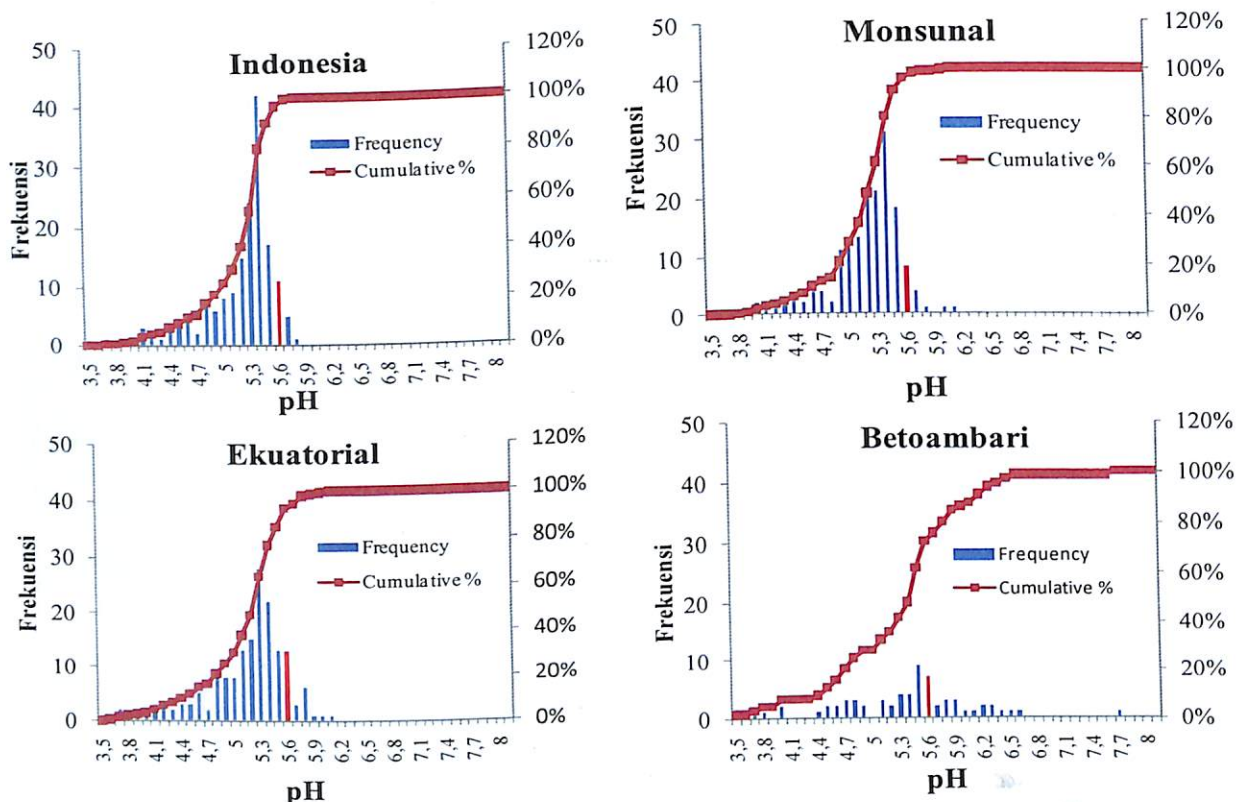
Gambar 1.b. Komposisi deposisi asam dan curah hujan berdasarkan musim di kota-kota dalam daerah tipe A atau Monsunal. Satuan = $\mu\text{mol}/\text{m}^2$



Gambar 2. Komposisi deposisi asam dan curah hujan berdasarkan musim di kota-kota dalam daerah tipe B atau Ekuatorial. Satuan = $\mu\text{mol}/\text{m}^2$



Gambar 3. Tren pH periode 2000-2013 secara rata-rata di daerah Indonesia, pH 5,6 (ambang batas keasaman air hujan), rata-rata di daerah Monsunal, rata-rata di daerah Ekuatorial



Gambar 4. Distribusi pH rata-rata di Indonesia, daerah Monsunal dan daerah Ekuatorial

Curah hujan tinggi pada bulan November terdapat pada tipe ekuatorial. Akibatnya di daerah tipe curah hujan Ekuatorial seperti Kototabang, Pulau Baai (P. Baai), Pontianak, dan Medan mempunyai deposisi asam terbesar pada bulan-bulan SON. Untuk daerah Ekuatorial didapati total deposisi asam tertinggi di Pulau Baai (Bengkulu) yaitu mencapai 42137,95 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ dengan unsur tertinggi NH_4^+ sebesar 8748,19 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ dan Na^+ sebesar 9968,45 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$. Ion NH_4^+ yang tinggi di Pulau Baai kemungkinan besar pengaruh dari pembakaran biomasa dari wilayah Sumatera Selatan terlihat dari deposisi NH_4^+ yang tinggi di Palembang. Adapun deposisi Na^+ yang tinggi berasal dari laut Hindia yang dipengaruhi angin tenggara.

Tren Keasaman Air Hujan (pH)

Selama periode 2000 sampai 2013 rata-rata pH air hujan bervariasi untuk seluruh Indonesia berkisar 3,67-5,71; untuk daerah monsonal adalah 3,60-5,87 dan untuk daerah ekuatorial adalah antara 3,50-6,01 (Gambar 3). Tren pH air hujan di Indonesia secara rata-rata berada dibawah 5,6 (batas hujan asam) dari 2000 sampai 2013 meskipun tahun 2011 ada bulan bulan dengan pH naik diatas 5,6 yaitu untuk rata-rata Indonesia adalah 5,13. Nilai pH dilihat secara

rata-rata baik untuk daerah monsonal maupun ekuatorial berurutan yaitu 5,11 dan 5,10.

Lacaux *et al.*,³³ dan Seinfeld³⁴ menyatakan bahwa hujan dengan nilai $\text{pH} < 5,6$ adalah kondisi dimana hujan dikatakan asam atau hujan asam. Nilai pH sangat dipengaruhi oleh kesetimbangan dari anion (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^-) dan kation (NH_4^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , dan H^+) dalam air hujan. Unsur-unsur kation adalah penetral untuk unsur anion, sehingga pH air hujan menjadi basa atau nilainya akan cenderung tinggi. Nilai pH yang tinggi pada bulan-bulan Agustus sampai Oktober terkontrol dengan unsur penetral Na^+ , Mg^{2+} , dan K^+ yang tinggi pula. Menurut Hu *et al.*,¹⁸ bahwa Mg^{2+} , Na^+ dan K^+ merupakan komponen yang berasal dari sumber laut juga partikel debu tanah adalah unsur-unsur penetral asam (anion).

Berdasarkan distribusi pH air hujan ternyata kondisi rata-rata $\text{pH} < 5,6$ berarti telah terjadi hujan asam di Indonesia selama 2001 sampai 2013 (Gambar 4). Telah terjadi hujan asam dengan $\text{pH} < 5,6$ dari data rata-rata Indonesia sebanyak 89,82%; rata-rata di daerah monsonal sebanyak 91,02%; dan rata-rata di daerah ekuatorial sebanyak 85,03%. Untuk memperjelas keasaman air hujan tentunya harus dilihat kandungan ion asam maupun basa yang mempengaruhinya.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap kota mempunyai jumlah deposisi asam yang berbeda pada musim yang sama dan sesuai dengan pola curah hujan. Berarti pola deposisi asam dari daerah tipe curah hujan monsunal berbeda dengan daerah ekuatorial. Maka curah hujan yang tinggi berpotensi mengendapkan sejumlah ion-ion kimia dalam air hujan. Pada musim peralihan musim kemarau ke musim dimana jumlah partikel karena debu dan kebakaran hutan akan menjadi beban pada proses pencucian bulan-bulan basah DJF sampai MAM baik di daerah monsunal maupun ekuator. Tren pH air hujan di Indonesia selama periode 2000 sampai 2013 berdasarkan nilai rata-rata bulanan menunjukkan bahwa sebesar 89,82% adalah nilai dibawah 5,6. Meskipun tahun 2011 terdapat bulan-bulan dengan pH naik diatas 5,6. Hal ini menunjukkan telah terjadi hujan asam di Indonesia. Nilai pH secara rata-rata Indonesia dibandingkan dengan rata-rata di daerah monsunal dan ekuatorial adalah sama. Hal ini menunjukkan bahwa pH air hujan tidak dipengaruhi oleh curah hujan saja, tetapi ada faktor lainnya seperti sumber emisi yang mempengaruhinya. Berdasarkan nilai rata-rata pH < 5,6 di Indonesia maka peranan anion lebih besar dari kation.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Pusat Sains Dan Teknologi Atmosfer LAPAN yang telah mendanai pemantauan deposisi asam di Cekungan Bandung dan menyediakan data deposisi asam lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Budiyono A., dan T. Samiaji, 2009, Prosiding Seminar Nasional Proyeksi Iklim dan Kualitas Udara 2010-2014, LAPAN 28-29 Juli 2009, xvii-69.
- ²Milukaite, A., A. Mikelskiene, and B. Giedraitis., 2000. Characteristics of SO₂, NO₂, Soot and Benzo(a)pyrene Concentration Variation on the Eastern Coast of the Baltic Sea, *Acid Rain 2000*. Proceeding from the 6th International Conference on Acidic Deposition: Looking back to the past and thinking of the future, Tsukuba, Japan, 10-16 December 2000, Vol. III, 1553-1558.
- ³Meszaros, E., 1981. *Atmospheric Chemistry Fundamental Aspects*. Elsevier Scientific Publishing Company, 119-120.
- ⁴Sanusi, A, H. Wortham, M. Millet, and P. Mirabel, 1996. *Chemical Composition Of Rain Water In Eastern France*. Atmospheric Environment Vol. 30, No. 1, 59-71.
- ⁵Narita Y., K. Satoh, K. Hayashi, T. Iwase T, S. Tanaka, Y. Dokiya, M. Hosoe, and K. Hayashi, 2000. *Long Term Of Chemical Constituents In Tokyo Metropolitan Area In Japan*. Acid Rain 2000, Proceedings from the 6 th International Conference on Acidic Deposition: Looking back to the past and thinking of the future, Tsukuba, Japan, 10-16 December 2000, Editor-in-Chief Satake Kenichi, Kluwer Academic Publishers, Vol. III: 1649-1654.
- ⁶Al-Momani I.F., S. Tuncel, U. Eler, E. Ortel, G. Sirin, and G. Tuncel, 1995. *Major Ion Composition of Wet and Dry deposition in The Eastern Mediterranean Basin*. The Science of the Total Environment 164: 75-85.
- ⁷Asman W.A.H., and Janssen A.J., 1987. *A Long-Range Transport Model For Ammonia and Ammonium For Europe*, Atmospheric Environment, Vol. 21, No. 10, pp. 2099-2119.
- ⁸Noguchi, I., T. Kato, M. Akiyama, H. Otsuka, and Y. Matsumoto, 1995. The effect of alkaline dust decline on the precipitation chemistry in Northern Japan. *Water, Air, and Soil Pollution* 85, 2357-2362.
- ⁹Lee, B.K., S.H. Hong, D.S. Lee, 2000. *Chemical composition of precipitation and wet deposition of major ions on the Korean peninsula*. Atmospheric Environment 34, 563-575.
- ¹⁰Rastogi, N., M.M. Sarin, 2005. *Chemical characteristics of individual rain events from a semi-arid region in India: three-year study*. Atmospheric Environment 39, 3313-3323.
- ¹¹Tang A., Zhuang G., Wang Y., Yuan H., and Sun Y., 2005, *The Chemistry of precipitation and its relation to aerosol in Beijing*, Atmospheric Environment, V. 39, pp. 3397-3406.
- ¹²Dufour, C.M.L., B. Chapman, A. Lore, 1985. *Acid deposition near a sour gas plant in south western Alberta*. Water, Air, and Soil Pollution 24, 361-373.
- ¹³Karlsson, V., M. Lauren, M., and S. Peltoniemi, 2000. *Stability of major ions and sampling variability in daily bulk precipitation samples*. Atmospheric Environment 34, 4859-4865.
- ¹⁴Akkoyunlu, B.O., M. Tayanç, 2003. *Analyses of wet and bulk deposition in four different regions of Istanbul, Turkey*. Atmospheric Environment 37, 3571-3579.

- ¹⁵Staelens, J., A. De Schrijver, P. Van Avermaet, G. Genouw, N. Verhoest, 2005. *A comparison of bulk and wet-only deposition at two adjacent sites in Melle (Belgium)*. Atmospheric Environment 39, 7-15.
- ¹⁶Chantara, S., N. Chunsuk, 2008. *Comparison of wet-only and bulk deposition at Chiang Mai (Thailand) based on rainwater chemical composition*. Atmospheric Environment 42, 5511-5518.
- ¹⁷Torseth K., J.E. Hanssen., and A. Semb, 1999. *Temporal and spatial variations of airborne Mg, Cl, Na, Ca, and K in rural areas of Norway*. The Science of the Total Environment 234.
- ¹⁸Hu, G.P., R. Balasubramanian, and C. D. Wu, 2003. *Chemical characteristics of rainwater at Singapore*. Atmospheric Environment, No. 51, hal 747 – 755.
- ¹⁹Seinfeld, J.H. and S.N. Pandis, 1998. *Atmospheric Chemistry and Physics from Air Pollution to Climate Change*. John Wiley and Sons. INC., New York, 1031-1032.
- ²⁰Budiwati, T., W. Setyawati, E. Rachmawati, E., dan A. Indrawati, 2012, *Perbandingan Sulfat dan Amonium Terhadap Nitrat Dalam Deposisi Basah, Fisika, Dinamika Dan Kimia Atmosfer Berbasis Data Satelit Dan Insitu*, ISBN: 978-979-1458-58-0, 138-150.
- ²¹Tjasjono, B., 1999, *Klimatologi umum*, Penerbit ITB Bandung, hal. 23.
- ²²Aldrian E. dan D. Susanto, 2003. *Identification of three dominant rainfall region within Indonesia and their relationship to sea surface temperature*, Int. Journal Climatology, 23, 1435-1452.
- ²³Mc. Gregor G.R. and S. Nieuwolt, 1998. *Tropical Climatology: An Introduction To The Climates Of The Low Latitudes*, second edition, John Wiley & Sons, 125-133.
- ²⁴ADORC, 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.
- ²⁵Achmadi, U.F., 1996. *Public Health Implications of Environmental Pollution in Urban Indonesia*. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 5.3. 141-144.
- ²⁶Graedel T.E., and P.J. Crutzen, 1993. *Atmospheric Change and Earth System Perspective*. WH Freeman and Company, New York, hal. 238.
- ²⁷Hamonangan, E., A. Kondo, A. Kaga, Y. Inoue, S. Soda, and K. Yamaguchi, 2003. *Retrieval of Emission Loads from Measured Nitrogen Oxide Concentrations in Jakarta City*. Clean Air and Environmental Quality 37 No. 2, 32-37.
- ²⁸Setyawati, W., dan T. Budiwati, 2011. *Forest fire contribution to atmospheric aerosol distribution (AOD_{483.5nm}), tropospheric NO₂ and SO₂ total column in West Kalimantan During Period 2004-2009*. International Symposium on the 10th Anniversary of the Equatorial Atmosphere Radar (EAR) Jakarta, September 22-23, ISBN: 978-979-1458-52-8.
- ²⁹Setyawati, W., dan T. Budiwati, 2012. *Analisis Total Kolom SO₂ di Sumatera Dan Jawa Periode 2004-2008 Hasil Observasi SCIAMACHY*. Bunga Rampai Penginderaan Jauh Indonesia, ISBN 978-602-19911-1-4, Mei 2012, Pusat Penginderaan Jauh ITB, 55-69.
- ³⁰Budiwati, T., 2013. *Variabilitas NO₂ Troposfer Dan Total Dan SO₂ Total Di Sumatera Berbasis Data Satelit*. Prosiding: Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia 2012 Buku 2: "Penelitian Masalah Lingkungan di Indonesia", Ikatan Ahli Teknik Penyehatan dan Lingkungan Indonesia, ISSN No. 2088-4818, 217-226, 2013.
- ³¹Budiwati, T., dan W. Setyawati, 2012, *Analisis aerosol dan total O₃ di Jawa hasil observasi Aura Omi*. Bunga Rampai Penginderaan Jauh Indonesia, ISBN 978-602-19911-1-4, Mei 2012, Pusat Penginderaan Jauh ITB, 39-54.
- ³²Santoso, M., P.K. Hopke, A. Hidayat, and D.D. Lestiani, 2008. *Sources identification of the atmospheric aerosol at urban and suburban sites in Indonesia by positive matrix factorization*. Science of the Total Environment 397, 229– 237.
- ³³Lacaux J.P., J. Servant, and J.G.R. Baudet, 1987. *Acid Rain In The Tropical Forests Of The Ivory Coast*. Atmospheric Environment, Vol. 21, No 12, hal 2643 – 2647.
- ³⁴Seinfeld, J.H., 1986. *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, John Wiley and Sons. INC., New York, hal 695 - 720.