

STATUS DEPOSISI BASAH DI BEBERAPA WILAYAH PEMANTAUAN DI INDONESIA PERIODE 2008-2015

THE STATE OF WET DEPOSITION IN SEVERAL MONITORING SITES IN INDONESIA 2008-2015

Retno Puji Lestari¹, Emalya Rachmawati², Tuti Budiwati³, Asri Indrawati³, dan Riri Indriani Nasution⁴

(Diterima tanggal 19 Juli 2018, Disetujui tanggal 16 Agustus 2018)

ABSTRAK

Depositi asam terjadi sebagai dampak pencemaran udara akibat peningkatan emisi gas SO_x dan NO_x. Proses pencucian polutan gas-gas dan partikel yang terserap oleh elemen-elemen hujan kemudian terdeposisi pada permukaan bumi selama hujan menghasilkan deposisi basah. Studi ini bertujuan untuk mengetahui status deposisi asam melalui pemantauan air hujan di lokasi yang telah ditentukan. Pengumpulan sampel deposisi basah di Indonesia menggunakan *rainwater sampler* dilakukan di beberapa wilayah yaitu Serpong, Bandung, Jakarta, Kototabang, dan Maros. Di tiap lokasi, dilakukan pengukuran jumlah presipitasi, pH, daya hantar listrik, dan analisis ion-ion. Rerata tahunan pH presipitasi tertimbang selama periode 2008-2015 di Serpong, Bandung, Jakarta, Maros, dan Kototabang masing-masing sebesar 4,86; 5,30; 4,71; 5,39; dan 4,93, dimana seluruhnya lebih rendah dari pH normal air hujan yaitu 5,60. Hasil analisis parameter anion dan kation dalam air hujan menggunakan kromatografi ion menunjukkan adanya perbedaan komposisi di wilayah yang berbeda. Karakteristik pencemar deposisi basah di Serpong (daerah sub perkotaan) menunjukkan bahwa ion NH₄⁺ dan NO₃⁻ paling dominan, sementara di Jakarta dan Bandung (daerah perkotaan) memperlihatkan adanya pengaruh ion NH₄⁺ dan nss SO₄²⁻. Ion H⁺ dan Cl⁻ terpantau menonjol yang ditemukan di area terpencil, Kototabang, sementara pengaruh ion Na⁺ dan Cl⁻ terlihat cukup tinggi di Maros yang mewakili daerah pedesaan.

Kata kunci: deposisi basah, deposisi asam, kromatografi ion, pH

ABSTRACT

Acid deposition emerged as the result of the impact of air pollution due to the increased emissions of SO_x and NO_x. The washing out process in which pollutants of gases and particles were absorbed by rain elements and deposited on the earth's surface during rain, generated wet deposition. This study aims to identify the state of wet deposition through rainwater monitoring in selected sites. Wet deposition samples in Indonesia were collected using rainwater sampler in several sites, namely Serpong, Bandung, Jakarta, Kototabang, and Maros. In each site, measurement of rainwater precipitation, pH, electro conductivity, and analysis of ions were performed. The pH of weighted precipitation annual mean during the period of 2008-2015 in Serpong, Bandung, Jakarta, Maros, and Kototabang were 4,86; 5,30; 4,71; 5,39; and 4,93, respectively, which are lower than normal rainwater pH of 5,60. The result of anion and cation analysis in rainwater using ion chromatography displayed a different composition in each different location. The characteristic of wet deposition pollutant in Serpong (suburban area) showed the NH₄⁺ and NO₃⁻ ions are the most dominant, while in Jakarta and Bandung (urban area) showed the influence of NH₄⁺ and nss-SO₄²⁻. H⁺ and Cl⁻ ions were the prominent feature found in remote areas of Kototabang, while the influence of Na⁺ and Cl⁻ ions were quite high in Maros, as the representative of rural area.

Keywords: acid deposition, acid rain, ion chromatography, pH

¹ P3KLL-KLHK, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, T/F 021-7560981, 15310, emc_acdep@yahoo.com

² Ditjen PPU, PPKL-KLHK Jl. DI Pandjaitan Kebon Nanas Jakarta

³ LAPAN, Jl Dr.Djundjuran Bandung

⁴ BMKG, Jl Angkasa Kemayoran Jakarta

PENDAHULUAN

Fenomena deposisi asam digambarkan melalui turunnya gas atau cairan bersifat asam dari atmosfer ke permukaan bumi akibat pencemaran udara (1, 2). Apabila terjadi seiring turunnya air hujan, embun, kabut atau salju maka peristiwa tersebut dikategorikan sebagai deposisi basah, sementara bila terjadi perpindahan asam dalam bentuk gas dan partikel tanpa melalui hujan dikategorikan sebagai deposisi kering (2-4). Emisi sulfur dan nitrogen yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil merupakan sumber utama penyebab terjadinya deposisi asam (1, 2, 5). Hujan alami yang tidak membawa zat pencemar umumnya memiliki pH 5,6 (6). Gas-gas pencemar teroksidasi dalam bentuk gas dan aerosol, kemudian bereaksi dengan uap air di atmosfer membentuk senyawa bersifat asam dan menyebabkan terjadinya penurunan pH dalam air hujan dan jatuh ke bumi sebagai deposisi asam (1-4). Proses terjadinya deposisi basah dipengaruhi oleh kesetimbangan konsentrasi gas dan cairan, disosiasi, dan proses reaksi guna berubah fase membentuk larutan. Selain itu terdapat pula interaksi di antara spesies-spesies utama seperti SO_2 , NO_2 , dan HCl dengan gas-gas H_2O_2 dan O_3 yang bersifat kompleks (7).

Terdapat 5 lokasi pemantauan di Indonesia yang termasuk dalam Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET). Sejak tahun 1998, jaringan pemantauan deposisi asam di Indonesia berada di bawah koordinasi Kementerian Lingkungan Hidup (Deputi Peningkatan Konservasi Sumber Daya Alam dan Pengendalian Kerusakan Lingkungan Hidup) sebagai National Focal Point (NFP). Pusat Sarana Pengendalian

Dampak Lingkungan (Pusarpedal) yang saat ini menjadi Pusat Penelitian dan Pengembangan Kualitas dan Laboratorium Lingkungan (P3KLL) ditunjuk sebagai National Center (NC) yang melakukan penjaminan mutu seluruh data pemantauan deposisi asam di Indonesia. NC melakukan koordinasi hal-hal yang berkaitan dengan masalah teknis kegiatan jaringan seperti sampling, verifikasi data, koordinasi uji profisiensi, dan peningkatan kapasitas anggota jaringan. Instansi yang terlibat dalam jaringan EANET untuk pemantauan deposisi basah di Indonesia selain P3KLL adalah Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) serta Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN). Masing-masing anggota jaringan melakukan pemantauan secara terpisah di tiap-tiap lokasi.

Pemantauan deposisi asam berlangsung sejak tahun 1998 di Jakarta (BMKG Jakarta) dan Bandung (LAPAN Bandung) yang dikategorikan sebagai daerah *urban* (perkotaan), Kototabang (GAW Kototabang) sebagai daerah *remote* (terpencil), serta Serpong (P3KLL) yang awalnya diklasifikasikan sebagai daerah pedesaan berubah menjadi sub perkotaan. Tahun 2008 dilakukan penambahan titik sampling deposisi asam di wilayah timur yang termasuk dalam daerah *rural* (pedesaan) yaitu di BMKG Maros – Sulawesi Selatan (8). Pemilihan lokasi tersebut diharapkan bersifat representatif untuk wilayah Indonesia bagian Timur.

Indonesia memiliki tiga wilayah iklim yang berbeda (9). Kota Jakarta, Serpong, Bandung, dan Maros terletak di wilayah yang memiliki curah hujan monsunial, sementara Kototabang

memiliki curah hujan ekuatorial (5, 9). Wilayah musonal ditandai dengan kejadian jarangya atau tidak sama sekali terjadi hujan pada bulan Mei sampai September, sementara pada bulan Januari sampai April dan Oktober sampai Desember umumnya sering terjadi hujan (9, 10). Selain musonal, ada tipe ekuatorial yang mempunyai dua puncak curah hujan pada Maret dan Oktober dan tipe lokal yang wilayahnya memiliki distribusi hujan bulanan kebalikan dengan pola monsun (11). Curah hujan umumnya bertambah seiring dengan ketinggian suatu lokasi.

Pola deposisi asam di suatu wilayah dapat diketahui melalui hasil data pemantauan

secara kontinyu. Meski bersifat *transboundary pollutant* (zat pencemar dapat melintas batas wilayah), pengaruh sumber pencemar di sekitar area lokasi titik sampling memegang peranan penting dalam melihat senyawa dominan. Sifat zat pencemar, lokasi sumber pencemar, dan faktor klimatologi yang berbeda mempengaruhi karakter deposisi asam di masing-masing lokasi. Melalui rekapitulasi data tahunan, status deposisi asam dari tiap lokasi dalam periode 2008-2015 dapat diketahui.

METODOLOGI

1. Lokasi Pemantauan

Tabel 1. Lokasi pemantauan deposisi asam di Indonesia

Lokasi	Instansi	Klasifikasi	Latitude	Longitude	Ketinggian (m)	Periode sampling
Serpong	P3KLL	Sub perkotaan	06 21'01,9" LS	106 40'04,07" BT	64	setiap hari hujan
Bandung	LAPAN	Perkotaan	06 ⁰ 53'41,63" LS	107 ⁰ 35'11,31" BT	753	setiap hari hujan
Jakarta	BMKG	Perkotaan	06 ⁰ 09'21,51" LS	106 ⁰ 50'32,67" BT	7	mingguan
Kototabang	BMKG	Terpencil	00 ⁰ 12'8,70"LS	100 ⁰ 19'4,50"BT	845	mingguan
Maros	BMKG	Pedesaan	04 ⁰ 59' 50,29' LS	119 ⁰ 34' 17,73" BT	1	mingguan



Gambar 1. Peta Lokasi Pemantauan Deposisi Asam EANET di Indonesia

2. Alat dan Bahan

Alat sampling yang dipakai untuk mengumpulkan air hujan adalah *rain sampler*. Sampel air hujan dikumpulkan secara komposit 24 jam di Serpong dan Bandung, sementara di Jakarta, Kototabang, dan Maros, sampel air hujan dikumpulkan secara komposit setiap minggu dalam botol polietilen. Analisis air hujan di lokasi Serpong dan Bandung dilakukan masing-masing di laboratorium P3KLL dan LAPAN, sementara BMKG Jakarta melakukan analisis untuk sampel air hujan dari Jakarta, Maros, dan Kototabang sesuai panduan instruksi kerja yang terdapat dalam EANET Guideline (12). Larutan standar yang dipakai berupa standar komersial anion (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) dan kation (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+}) 1000 mg/L.

3. Metode

Sampel air hujan ditimbang, kemudian dilakukan pengukuran pH dan DHL. Sampel disaring dengan kertas saring sebelum dilakukan pengukuran ion dengan instrumen IC. Apabila tidak langsung dilakukan pengukuran, maka sampel harus diawetkan pada -4°C . Parameter ion-ion Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ,

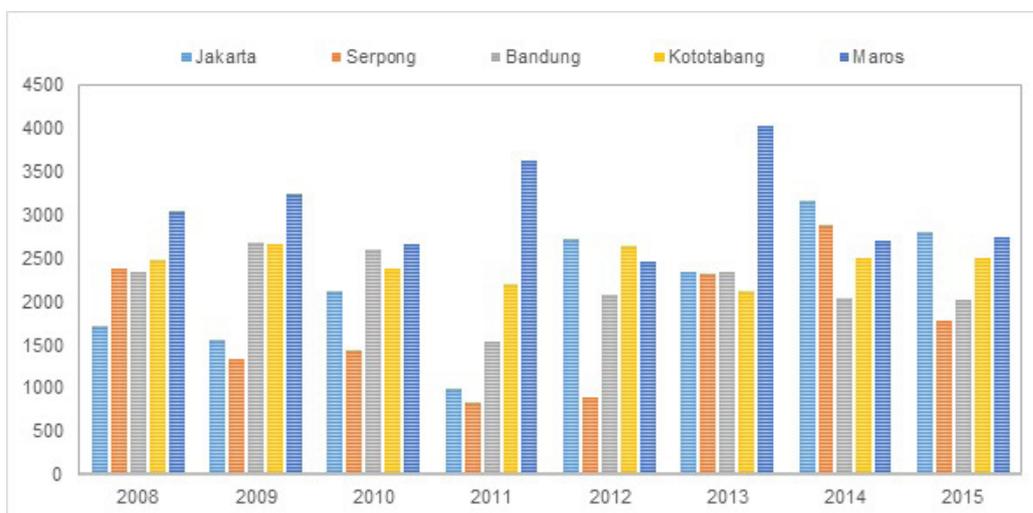
Mg^{2+} , NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , dan SO_4^{2-} dianalisis menggunakan kromatografi ion, IC DIONEX yang dilengkapi dengan *suppressor* ASRS dan CSRS ULTRA II, 2mm, kolom anion: IonPac AS12A, dan kolom kation: IonPac CS 12A pada laju alir 1,5 L/menit. Eluen yang digunakan adalah 0,3 mM NaHCO_3 dan 2,7 mM Na_2CO_3 untuk anion dan Methane Sulphonic Acid (MSA) 20 mM untuk kation.

Pengolahan data curah hujan, pH, anion, dan kation diperoleh dari hasil verifikasi sesuai metode yang dipublikasi melalui laporan EANET untuk hasil pemantauan tahunan pada periode 2008-2015 di Pusarpedal-KLH (P3KLL-KLHK), LAPAN Bandung, dan BMKG Jakarta (10, 13).

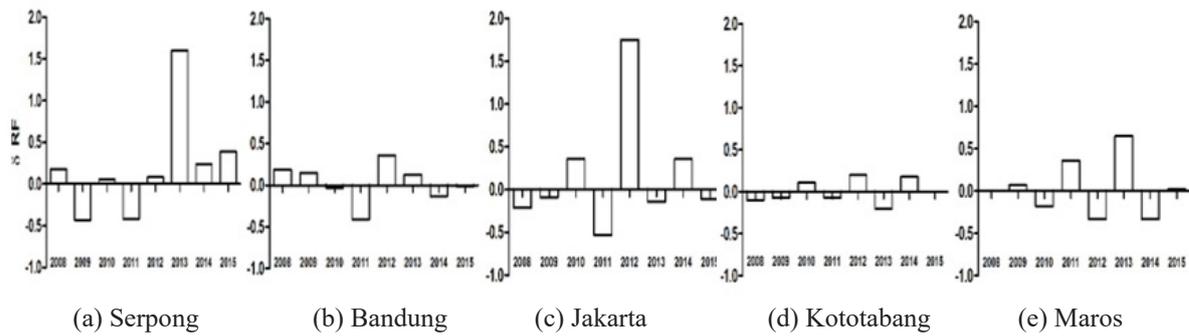
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Curah hujan

Klimatologi curah hujan Indonesia terlihat maksimum pada bulan-bulan Desember Januari dan Februari (DJF), dimana rerata curah hujan relatif tinggi mencapai 16 mm/hari di sebagian besar wilayah di Indonesia (14). Sebaliknya, curah hujan relatif lebih rendah pada bulan Juni Juli dan Agustus (JJA). Secara



Gambar 2. Total Presipitasi (Curah Hujan) Tahunan (mm) selama Tahun 2008-2015



Gambar 3. Perubahan Curah Hujan (mm) selama Tahun 2008-2015

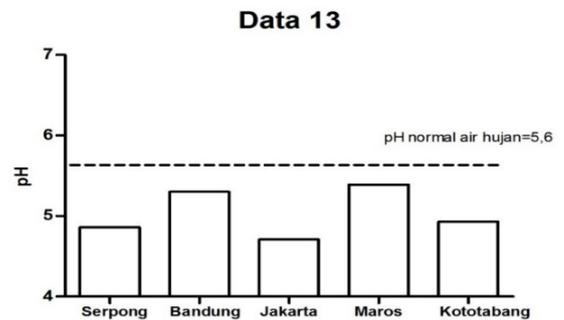
umum total curah hujan tahunan yang terjadi di Serpong relatif lebih kecil dibandingkan dengan kota-kota lainnya, sementara total curah hujan tahunan tertinggi terjadi di Maros.

Perubahan curah hujan menunjukkan adanya fluktuasi hujan yang turun selama periode setahun, yang menunjukkan perbedaan curah hujan dengan tahun sebelumnya. ΔRF didefinisikan sebagai jumlah curah hujan pada tahun tertentu dikurangi jumlah curah hujan pada tahun sebelumnya dibagi dengan jumlah curah hujan pada tahun sebelumnya sebagaimana persamaan berikut $\Delta RF = (RF_i - RF_{i-1}) / RF_{i-1}$ (15).

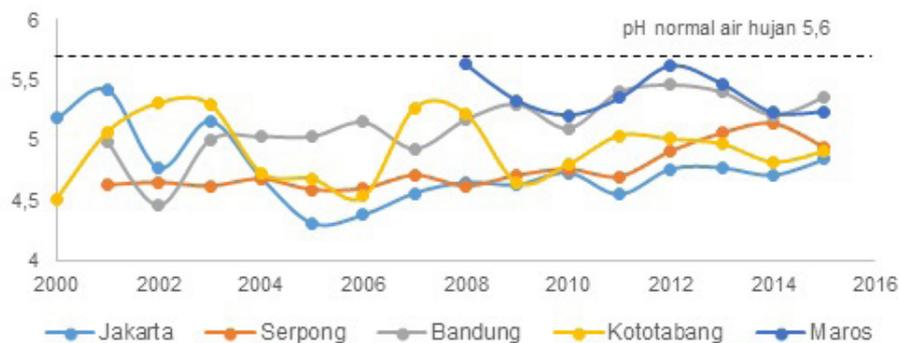
Perubahan curah hujan bernilai positif menunjukkan bahwa curah hujan lebih tinggi dibandingkan tahun sebelumnya, bila negatif berarti curah hujan yang terjadi

lebih rendah dibanding tahun sebelumnya (4). Kejadian hujan dan curah hujan ini akan berhubungan erat dengan proses pembersihan atmosfer, semakin tinggi curah hujan semakin banyak polutan yang tercuci (4). Gambar 3 menunjukkan fluktuasi curah hujan yang terjadi di tiap kota setiap tahunnya.

2. pH air hujan



Gambar 4. pH rata-rata tahunan selama periode 2008-2015



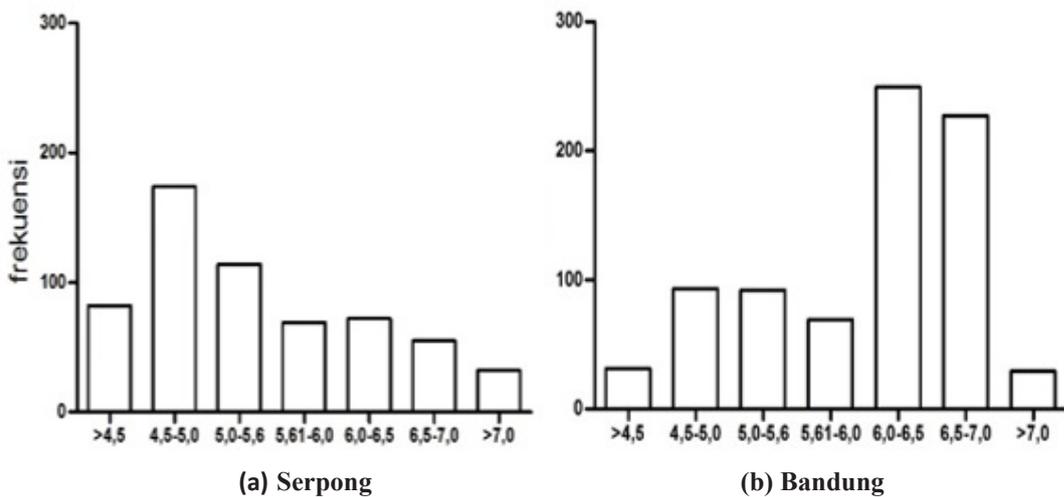
Gambar 5. Rata-rata tahunan pH presipitasi tertimbang selama 2000-2015

Rata-rata tahunan pH presipitasi tertimbang selama periode 2008-2015 di Serpong adalah 4,86, Bandung (pH 5,30), Jakarta (pH 4,71), Maros (pH 5,39), dan Kototabang (pH 4,93). Perbedaan nilai rerata pH tahunan sejak tahun 2000 dapat dilihat pada gambar 5.

Data pH air hujan hasil pengukuran langsung selama periode 2008-2015 memiliki jumlah sampel lebih banyak untuk lokasi Serpong (n=598) dan Bandung (n=790) dibanding kota-kota lainnya karena sampel diambil berdasarkan setiap kejadian turun hujan. Distribusi frekuensi jumlah pH >5,6 di kota Bandung relatif lebih tinggi dibanding kota lainnya, dengan dominasi berada pada kisaran pH 6,0-6,5 (n=249). Total jumlah sampel dengan pH<5,6 (n=370) di Serpong dengan dominasi kisaran pH 4,5-5,0 menunjukkan indikasi sebagai daerah yang mengalami deposisi asam. Sementara itu pemantauan

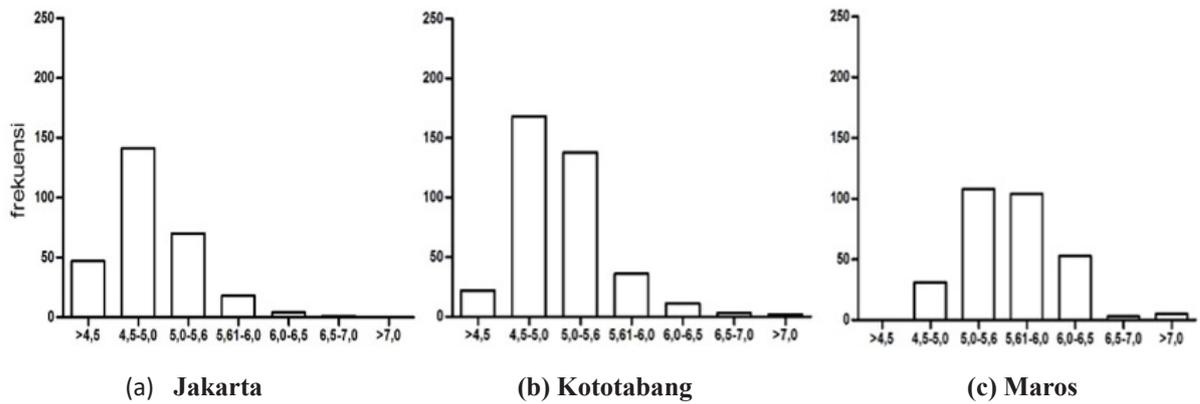
yang dilakukan BMKG dalam periode yang sama dilakukan setiap minggu dengan jumlah sampel Jakarta (n=281), Kototabang (n=381), dan Maros (n=304). Gambar 6 menunjukkan distribusi sampel dengan pH<5,6 lebih tinggi di kota Jakarta (n=258) dan Kototabang (n=328), dengan dominasi pH di kisaran 4,5-5,0. Distribusi frekuensi sampel di Maros menunjukkan bahwa pH >5,6 lebih tinggi dengan dominasi sampel air hujan Maros berada pada kisaran 5,0-5,6.

Distribusi frekuensi pH pengukuran harian di kota Serpong dan Bandung selama periode 2008-2015 dalam kisaran pH tertentu ditampilkan dalam Gambar 6, sementara untuk kota Jakarta, Kototabang, dan Maros merupakan distribusi pH mingguan (Gambar 7). Klasifikasi kisaran pH tersebut memperlihatkan adanya perbedaan pola nilai pH hasil pemantauan dalam periode 2008-2015.



Gambar 6. Distribusi frekuensi pH di Serpong dan Bandung periode 2008-2015.

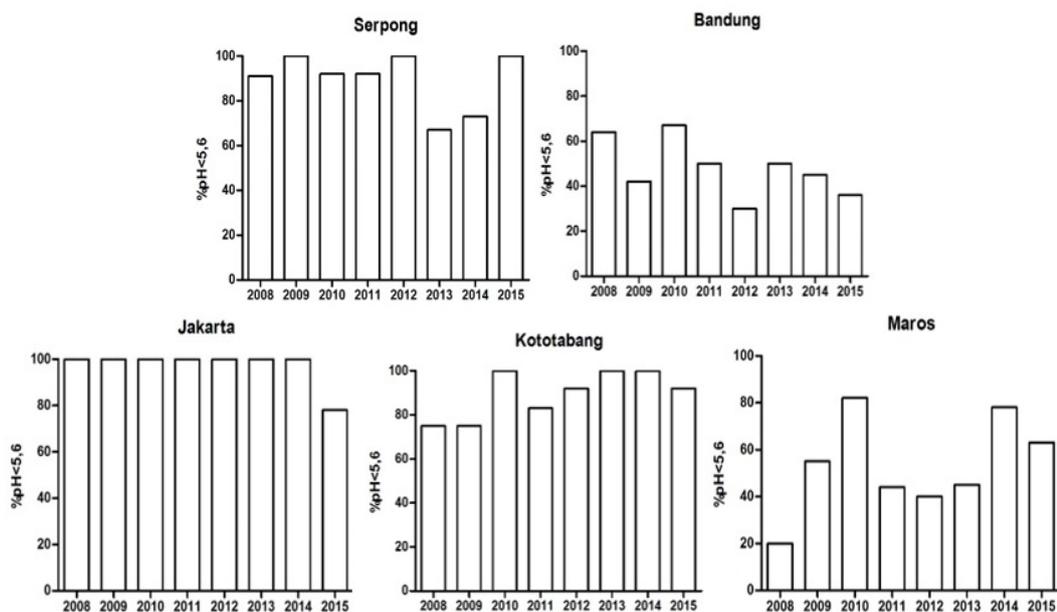
Periode sampling: setiap hari hujan (sumber data: P3KLL Serpong dan LAPAN Bandung)



Gambar 7. Distribusi frekuensi pH di Jakarta, Kototabang, dan Maros selama 2008-2015. Periode sampling mingguan (sumber data: BMKG Jakarta)

Parameter pH saja atau ion H^+ tidak dapat mengilustrasikan dampak deposisi asam terhadap ekosistem, karena derajat kemasaman dipengaruhi oleh hal-hal yang terjadi setelah terdeposit (16). Kemasaman air hujan tergantung pada konsentrasi ion-ion yang terkandung di dalamnya. pH bersifat asam memperlihatkan pengaruh ion-ion yang bersifat asam seperti SO_4^{2-} dan NO_3^- , sementara bila bersifat netral atau basa memperlihatkan adanya pengaruh netralisasi akibat tingginya konsentrasi NH_4^+ (17). Efek deposisi asam

akan tergantung pada seberapa banyak asam yang jatuh ke permukaan bumi. Senyawa asam dalam jumlah lebih banyak dapat terdeposisi saat turun hujan deras dengan pH tidak terlalu rendah dibandingkan saat turun hujan bersifat ringan namun dengan kemasaman tinggi. Dengan demikian jumlah deposisi harus diperhitungkan untuk menghitung pH, dimana biasanya akan dirata-ratakan baik secara bulanan atau tahunan sebagai presipitasi tertimbang (*weighted-precipitation mean*) (18).



Gambar 8. Persentase (%) sampel dengan pH<5,6 selama periode 2008-2015

Data pH pada Gambar 7 merupakan rerata bulanan presipitasi tertimbang. Persentase jumlah sampel yang masuk ke dalam kategori deposisi asam ($pH < 5,6$) di Serpong sebesar 100% terjadi di tahun 2009, 2012, dan 2015 sementara terendah berada di tahun 2013 sebanyak 67%. Meskipun berfluktuasi, Serpong memiliki kecenderungan terhadap adanya peningkatan nilai pH air hujan. Dibandingkan dengan Serpong dan juga kota-kota lainnya, pH air hujan di Bandung cenderung lebih tinggi karena persentase sampel dengan $pH < 5,6$ relatif rendah, berada pada kisaran 30% tahun 2012.

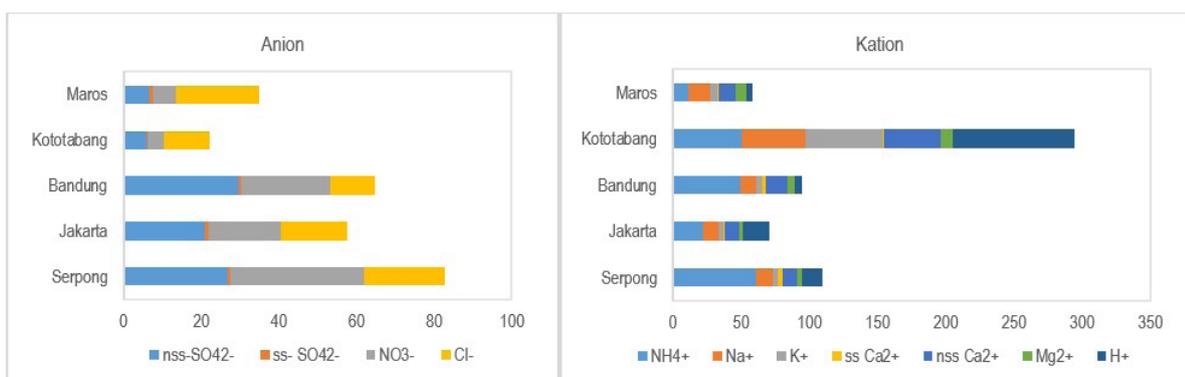
Berdasarkan hasil pemantauan, air hujan di Jakarta cenderung bersifat masam, dimana rerata bulanan dari tahun 2008-2014 mencapai 100%. Hasil pemantauan BMKG di Kototabang menunjukkan adanya peningkatan jumlah persentase sampel deposisi asam, demikian pula halnya dengan Maros. Pada tahun 2009, Kototabang memiliki persentase sampel deposisi asam sebesar 100% pada tahun 2010, 2012, dan 2013 sementara di Maros menunjukkan pola fluktuatif. Hal ini menjadi suatu hal yang menarik untuk dikaji lebih lanjut karena Kototabang merupakan

wilayah yang termasuk dalam wilayah terpencil (*remote area*) sementara Maros berada dalam kategori pedesaan (*rural area*).

3. Komposisi anion dan kation dalam air hujan

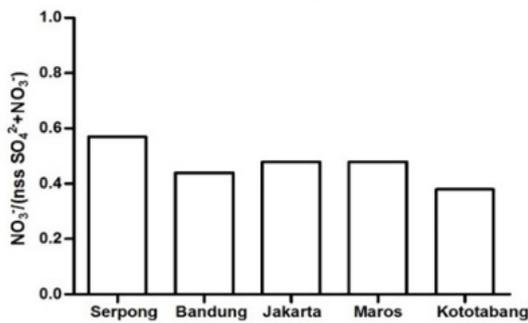
Berdasarkan Gambar 9, karakteristik air hujan di beberapa wilayah yang dikaji menunjukkan terjadinya perbedaan komposisi kimia. Klasifikasi lokasi di tempat yang berbeda akan memberikan perbedaan gambaran jenis pencemar dominan.

Karakteristik pencemar dari parameter deposisi basah di Serpong (daerah sub perkotaan) menunjukkan bahwa ion NH_4^+ dan NO_3^- merupakan spesies yang paling dominan, Tingginya konsentrasi NO_2 di wilayah Serpong sesuai dengan kajian menggunakan *Chimere model* yang dilakukan di wilayah kabupaten Tangerang dimana terlihat bahwa fluks deposisi NO_2 lebih besar dibandingkan nilai fluks deposisi SO_2 (19). Di daerah Jakarta dan Bandung (daerah perkotaan) memperlihatkan dominasi ion NH_4^+ dan $nss\ SO_4^{2-}$. Sumber pencemar utama ditengarai berasal dari kegiatan antropogenik berasal dari emisi kendaraan bermotor dan industri

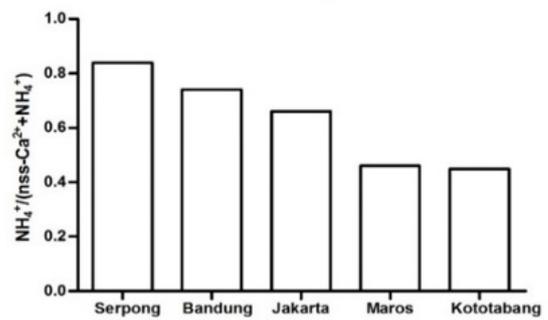


Gambar 9. Komposisi anion dan kation dalam air hujan di wilayah Serpong, Bandung, Jakarta, Kototabang dan Maros periode 2008-2015

Data konsentrasi rerata anion dan kation ($\mu\text{mol/L}$)



(a) Fraksi ekivalen nitrat



(b) Fraksi ekivalen amonium

Gambar 10. Fraksi ekivalen nitrat (a) dan fraksi ekivalen amonium (b) selama periode 2008-2015

(SO₂). Terjadinya peningkatan kepadatan penduduk dan kenaikan jumlah volume kendaraan akibat pertumbuhan sektor industri akan memberikan kontribusi terjadinya perubahan (10). Konsentrasi ion-ion dalam deposisi asam dipengaruhi oleh jenis spesies kimia dan kondisi meteorologis (20). Ion H⁺ dan Cl⁻ merupakan spesies menonjol yang ditemukan di Kototabang, dimana lokasi ini merupakan area terpencil yang terletak di bukit Kototabang sementara di Maros pengaruh ion Na⁺ dan Cl⁻ sangat besar akibat lokasi sampling yang relatif dekat dengan selat Makassar.

Dalam deposisi asam, asam nitrat dan asam sulfat yang direpresentasikan oleh ion-ion NO₃⁻ dan nss SO₄²⁻ memegang peranan penting. Dengan mengetahui rasio kedua asam tersebut, maka senyawa utama penyebab kemasaman dapat diidentifikasi (17). Ion NO₃⁻ dan nss SO₄²⁻ bersifat stabil, dimana kontribusi relatif dari keseluruhan kisaran konsentrasi kedua anion tersebut dapat ditentukan melalui fraksi nitrat untuk total NO₃⁻ dan nss SO₄²⁻ dengan persamaan $[\text{NO}_3^-]/([\text{NO}_3^-]+[\text{nss SO}_4^{2-}])$ (16, 17). Hal yang sama berlaku untuk senyawa yang bersifat basa sebagai penetral dan mereduksi kemasaman presipitasi air

hujan. Dalam hal ini direpresentasikan oleh ion-ion NH₄⁺ dan nss Ca²⁺ untuk menilai pentingnya pengaruh relatif gas NH₃ terhadap CaCO₃ melalui persamaan $[\text{NH}_4^+]/([\text{NH}_4^+]+[\text{nss Ca}^{2+}])$ (17).

Fraksi ekivalen nitrat dihitung untuk rerata tahunan selama 2008-2015 memiliki variasi rasio sebesar 0,35-0,56. Nilai maksimum sebesar 0,56 terdapat di Serpong yang menunjukkan bahwa HNO₃ berperan lebih signifikan dibandingkan H₂SO₄ dalam proses asidifikasi air hujan. Di kota-kota lainnya menunjukkan rasio sebesar 0,47 di Jakarta dan Maros, Bandung (0,44), dan Kototabang (0,35). Rasio paling kecil terjadi di Kototabang yang menunjukkan adanya dominasi H₂SO₄ dibanding HNO₃.

Hal yang sama juga diterapkan untuk pengaruh senyawa bersifat basa dengan kisaran rasio fraksi ekivalen amonia sebesar 0,46-0,85. Rasio di Kototabang sebesar 0,46 dan Maros sebesar 0,49 memperlihatkan kecenderungan CaCO₃ sebagai basa dominan meskipun jumlah CaCO₃ dan NH₃ hampir setara. Perbandingan lebih besar dari 0,5 terjadi di Serpong yaitu 0,85, Bandung yaitu 0,75, dan Jakarta sebesar 0,68 menunjukkan NH₃ sebagai basa dominan dibanding CaCO₃

sebagai senyawa penetralisasi keasaman air hujan.

Hasil pemantauan mengindikasikan adanya kesesuaian dengan hasil studi Chao (2010) yang memperlihatkan proporsi NH_4^+ di wilayah daratan yang umumnya lebih tinggi dibanding daerah pesisir dan pulau (21). Di kawasan Asia Timur terutama di wilayah continental, NH_4^+ merupakan spesies penting dalam presipitasi kimia (21). NH_4^+ memberikan kontribusi asidifikasi terhadap tanah dan air permukaan ketika berubah menjadi NO_3^- melalui proses nitrifikasi. Beberapa faktor penyebab kenaikan konsentrasi NH_3 adalah terbentuknya NH_3 yang berasal dari reaksi sublimasi senyawa seperti NH_4NO_3 atau NH_4Cl atau pembentukan senyawa lain yang melibatkan NH_3 serta hilangnya ion NO_3^- yang berkontribusi pada penguapan NH_4NO_3 (22). NH_3 yang dapat terdeposit dan berubah menjadi NH_4^+ sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi NH_4^+ dimana NH_4^+ berlaku sebagai penetral untuk H_2SO_4 dan HNO_3 (23, 24). Berdasarkan hasil studi hujan asam di Serpong tahun 2005-2007, pada musim hujan pengaruh NH_3 terhadap pembentukan komponen NH_4^+ dalam partikulat sangat kuat (5, 25).

Efek deposisi asam di beberapa wilayah baru terlihat dalam jangka panjang karena adanya netralisasi oleh senyawa basa secara alami. Apabila terjadi di lokasi-lokasi yang sensitif, deposisi asam akan sangat berpengaruh bagi kelangsungan makhluk hidup.

SIMPULAN

Hasil pemantauan periode 2008 sampai 2015 menunjukkan indikasi terjadinya hujan asam

di Jakarta, Serpong, Bandung, Kototabang, dan Maros. Frekuensi pH di bawah 5,6 di Bandung dan Maros relatif lebih kecil dibanding Jakarta, Serpong, dan Kototabang. Fraksi ekuivalen nitrat di Serpong $>0,5$ menunjukkan bahwa HNO_3 berperan lebih signifikan dibandingkan H_2SO_4 dalam proses asidifikasi air hujan, sementara di kota-kota lain $<0,5$ dimana H_2SO_4 lebih berkontribusi dibanding HNO_3 . Fraksi ekuivalen amonia $>0,5$ terjadi di Jakarta, Serpong, dan Bandung mengilustrasikan NH_3 sebagai basa dominan dibanding CaCO_3 sebagai senyawa penetralisasi keasaman air hujan, sementara di Kototabang dan Maros $<0,5$ memperlihatkan kecenderungan CaCO_3 sebagai basa dominan. Fraksi ekuivalen nitrat dan sulfat dapat mengindikasikan potensi sumber pencemar dominan bersifat asam di suatu lokasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim pelaksana kegiatan deposisi asam Pusarpedal (P3KLL) Serpong, LAPAN Bandung dan BMKG Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) APIS. Acid deposition 2015 [cited 2016 16 Oktober]. Available from: www.apis.uk/overview/pollutants/acid-deposition.
- (2) EPA. Acid Rain Wasington DC [cited 2014 23 April]. Available from: www.epa.gov.
- (3) EANET. Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET) [cited 2015 November 3]. Available from: <http://www.eanet.asia/event/wspa/wspa.html>.

- (4) Farhani N, Rachmawati, E., Budiwati, T., Mulyani, T., Sutamihardja, RTM., Lestari, RP. Status Deposisi Asam di Indonesia Tahun 2001-2008. Tangerang: Pusarpedal. KLH; 2010.
- (5) Budiwati T, Rachmawati E. Gas NH₃ dan potensi pembentukan amonium (NH₄⁺) di daerah rural Serpong-Tangerang. PSTA LAPAN. 2010.
- (6) Cowling EB. Acid precipitation in historical perspective. Environmental science & technology. 1982;16(2):110A-23A.
- (7) Hall DJ, Spanton AM, C.B. P. Review of modelling methods of near-field acid deposition. Bristol: Environment Agency; 2008.
- (8) EANET. Interim scientific advisory group of EANET. Guidelines for acid deposition monitoring in East Asia. Niigata: EANET; 2000.
- (9) Aldrian E, Dwi Susanto R. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. Int J of Climatol. 2003;23(12):1435-52.
- (10) Lestari RP. Tingkat pencemaran udara berdasarkan parameter deposisi asam. Tangerang Selatan: P3KLL-KLHK, 2016.
- (11) Aldrian E. Pemahaman dinamika iklim di negara kepulauan Indonesia sebagai modalitas ketahanan bangsa. BMKG; 2 Juli 2014; Jakarta. Jakarta2014.
- (12) EANET. Technical Documents for Wet Deposition Monitoring in East Asia. Niigata: EANET; 2010.
- (13) EANET. Data Report of Acid Deposition in East Asia 2014. Niigata: 2015.
- (14) Hidayat R, Ando K. Variabilitas curah hujan indonesia dan hubungannya dengan ENSO/IOD: Estimasi menggunakan data JRA-25/JCDAS. J Agromet 2014;28(1):1-8.
- (15) Akimoto H, Awang M, Cho S, Hara h, Khummongkol P, Ueda H, et al. Periodic report on the state of acid deposition in East Asia, Part I : Regional Assessment. Niigata: EANET; 2006.
- (16) Thepanondh S. A study of wet and dry deposition processes for regional air pollution and atmospheric deposition modeling. Melbourne: Monash University; 2004.
- (17) EANET. Third periodic report on the state of acid deposition in East Asia. Part II- National assesment. Niigata: EANET; 2016.
- (18) EANET. Rain, etc. (wet deposition) - calculating the deposited amount and average concentration of acid Niigata: EANET; 2010. Available from: http://www.eanet.asia/product/e_learning/page3_5.html.
- (19) Asih DK. Potensi deposisi asam di wilayah industri kabupaten Tangerang dan sekitarnya menggunakan Chimere model. Bogor: IPB; 2015.
- (20) EANET. Strategy paper on future direction of monitoring for dry deposition of the EANET (2016-2020). Niigata: EANET, 2015.
- (21) Chao G, Zi-Fa W, Gbaguidi EA. Ammonium Variational Trends and the Ammonia Neutralization Effect on Acid Rain over East Asia. Atmospheric and Oceanic Science Letters. 2010;3(2):120-6.

- (22) Aikawa M, Hiraki T. Difference in the Use of a Quartz Filter and a PTFE Filter as First-Stage Filter in the Four-Stage Filter-Pack Method. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2010;213(1-4):331-9.
- (23) Sorooshian A, Shingler T, Harpold A, Feagles C, Meixner T, Brooks P. Aerosol and precipitation chemistry in the southwestern United States: spatiotemporal trends and interrelationships. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013;13(15):7361-79.
- (24) Chughtai M, Mustafa S, Mumtaz M. Study of Physicochemical Parameters of Rainwater: A Case Study of Karachi, Pakistan. *American Journal of Analytical Chemistry*. 2014;5(04):235.
- (25) Budiwati T. Kecenderungan temporal deposisi asam di Serpong dan Jakarta (2001-2009): Studi transboundary polutan. In: Rosida TB, Mahmud, Didi Sutiadi, editor. *Sains Atmosfer: Teknologi dan Aplikasinya - Buku 2*. Bandung: LAPAN; 2013.