Megasains, Vol. 7, No. 3, 40-46
ISSN 2086-5589
gaw.kototabang.bmkg.go.id/megasains.php
©GAW BKT, 2016

HUJAN ASAM DI CITEKO BOGOR DAN KEMAYORAN JAKARTA

Leni Nazarudin

Pusat Perubahan Iklim dan Kualitas Udara, BMKG Pusat Jakarta

Abstrak. Menggunakan data ion sulfat dan ion nitrat yang tertampung di stasiun pengamatan kualitas udara di Citeko, Puncak Bogor dan di Kemayoran, Jakarta Pusat dari tahun 1993 – 2012, telah dilakukan perhitungan deposisi asam menggunakan teknik analisis kation dan anion dari sampel air hujan menggunakan metode ion kromatografi. Wilayah Citeko yang berada di wilayah puncak Bogor telah terekspose hujan asam. Deposisi asam di Citeko rata-rata 10.5 meq/m2/bulan setara dengan 5.04 kg/ha/bulan dengan kisaran antara 6.11 – 13.03 meq/m2/bulan. Di Kemayoran, deposisi asam bulanan rata-rata sebesar 8.5 meq/m2/bulan atau setara dengan 4.08 kg/ha /bulan dengan kisaran antara 5.15 - 15.2 meq/m2/bulan. Di kedua lokasi, jenis asam yang terdeposisi sebagian besar dari kontribusi asam sulfat masing masing 69.9% di Kemayoran dan 64.9 di Citeko. Di Kemayoran, asam sulfat terdeposisi lebih banyak daripada di Citeko. Nitrat terdeposisi lebih banyak di Citeko daripada di Kemayoran. Berdasarkan data windrose bulanan dan normal tahunan di Citeko, kemungkinan telah terjadi transpor polutan SO_2 dan NO_2 yaitu dari wilayah DKI Jakarta, Depok, Tangerang dan sekitarnya ke wilayah puncak Bogor. Vektor angin lokal (angin laut-darat) juga berperan dalam membawa polutan ke daerah Citeko di Puncak Bogor.

Kata kunci: deposisi asam, pH air hujan, transport polutan, hujan asam, trend

Pendahuluan

Hujan asam adalah salah satu permasalahan yang ditimbulkan akibat polusi udara. Hujan asam merupakan salah satu bentuk deposisi asam. Deposisi asam adalah proses kembalinya polutan berupa asam-asam (terutama sulfat dan nitrat) dari udara ke bumi. Deposisi asam dapat dibedakan menjadi deposisi basah dan deposisi kering. Hujan asam adalah salah satu bentuk dari deposisi basah. Bila polutan dari berbagai sumber berupa gas SO_2 dan NO_2 dilepas ke atmosfer bereaksi dengan air (butir-butir air di awan) maka terbentuk larutan H_2SO_4 dan H_2NO_3 yang bersifat asam. Hasil inventarisasi emisi pencemaran dan gas rumah kaca di Jabodetabek oleh Noor dan Sofyan (2012), diketahui bahwa penyumbang terbesar gas SO_2 hampir 73% berasal dari kegiatan industri, diikuti oleh kegiatan transportasi (24%). Penyumbang gas NO_2 terbesar adalah kegiatan transportasi (92%), kegiatan industri 5% dan rumah tangga (1%).

Air hujan alami yang turun ke bumi mempunyai pH sedikit asam, karena reaksi air dengan CO_2 yang menghasilkan asam karbonat yang bersifat asam. Oleh karenanya air hujan alami mempunyai pH sedikit asam yaitu sekitar 5.6. Nilai pH ini merupakan nilai pH standar air hujan normal yang ditetapkan oleh WMO. Kalau diukur pHnya, hujan asam mempunyai nilai pH yang kurang dari 5.6.

Permasalahan yang ditimbulkan oleh hujan asam cukup kompleks. Selain berbahaya untuk kesehatan manusia bila terhirup, dampak paling besar terhadap lingkungan. Asam-asam yang terdeposit menimbulkan masalah lingkungan, yaitu meningkatkan keasaman tanah, air danau dan lainnya, yang kemudian mengganggu kehidupan tanaman dan makhluk hidup air. Selain itu akan merusak bangunan, monumen serta peralatan berbahan metal. Dampak yang ditimbulkannya terhadap lingkungan dipengaruhi oleh besarnya *crical load* dari lingkungan tersebut. Menurut Holper (1996), *critical load* adalah jumlah tertinggi polutan (hujan asam) dimana ekologi dapat bertahan sebelum menunjukkan degradasi yang dapat diukur.

Hujan asam yang turun di suatu tempat tidak mutlak berasal dari lokasi yang bersangkutan. Gas-gas yang berasal dari sum ber polutan yang beraksi dengan air di awan dapat terbawa angin keluar dari daerah sumbernya. Air hujan yang mengandung

Email Korespondensi : leni.nazarudin72@gmail.com

asam bisa jatuh di wilayah rural yang berada jauh dari wilayah urban yang menghasilkan polutan karena terbawa angin. Wilayah rural umumnya adalah wilayah yang jauh dari perkotaan yang sebagian besar adalah daerah pertanian. Hujan asam akan berdampak pada lahan dan tanaman pertanian yang tumbuh disana. Oleh karena itu dampak hujan asam mencakup wilayah yang luas tidak hanya lokal tapi berskala messo dan regional.

Jakarta merupakan kota metropolitan yang juga merupakan pusat industri, perdagangan dan pemerintahan menjadikan Jakarta sebagai salah satu kota besar di dunia dengan tingkat polutan yang tinggi. Hasil penelitian yang dilakukan pada tahun 1987-1988 di DKI Jakarta menunjukkan nilai pH air hujan berada pada kisaran 4,25 – 7,00(Hermantyo. 1989). Hal ini mengindikasikan bahwa hujan asam sudah terjadi di wilayah Jakarta. Hasil pengamatan terhadap pH air hujan di wilayah Jakarta selama kurun waktu 11 tahun (1996-2006), Nilai pH tahunan air hujan di stasiun Kemayoran Jakarta berkisar antara 4,68 sampai 5,50. Besarnya deposisi asam tahunan rata-rata di Kemayoran Jakarta adalah 164,93 meq/m^2/th dan berkisar antara 96,55 – 354,74 meq/m^2/th atau 46,35 – 170,28 kg/ha/th (Leni, 2009). Posisi Jakarta di pesisir pantai memungkinkan terjadinya mekanisme transport polutan sumber hujan asam yang terbawa angin ke wilayah yang lebih tinggi melalui mekanisme konveksi orografis. Oleh karenanya wilayah lebih tinggi di sekitar Jakarta patut dicurigai menerima hujan asam yang cukup tinggi. Wilayah Puncak Bogor merupakan wilayah yang secara posisi menghadap ke teluk Jakarta.

Pengamatan terhadap kualitas air yang hujan secara kontinu merupakan salah satu tugas BMKG. Titik pengamatan kualitas air hujan wilayah Jakarta yang memiliki data dengan series yang cukup panjang adalah di stasiun pengamatan Kemayoran Jakarta Pusat. Data tersebut dijadikan data referensi kualitas air hujan di wilayah DKI Jakarta. Di wilayah puncak Bogor terdapat Stasiun Meteorologi Citeko. Stasiun ini dibangun pada tahun 1996. Terletak di dataran tinggi menuju daerah puncak Cipanas Jawa Barat tepatnya di desa Cibereum.

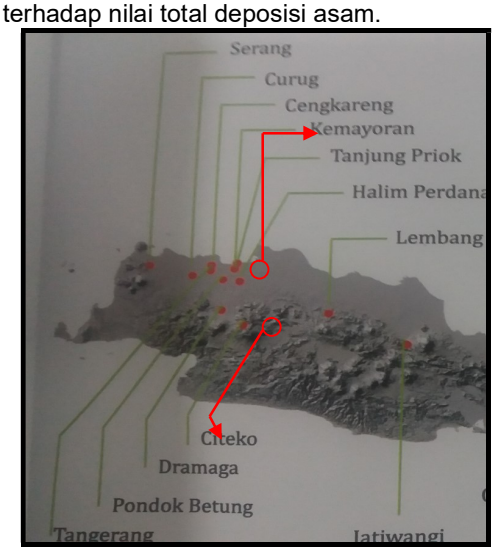
Kajian ini mempunyai beberapa tujuan, antara lain: Untuk mengetahui besarnya hujan asam yang terjadi di Kemayoran dan Citeko selama kurun waktu 20 tahun (1993-2012), dan untuk mengetahui tren (kecenderungan)nya apakah terjadi peningkatan atau penurunan deposisi asam dan pH air hujan dari tahun ke tahun.

Metodologi

Penelitian ini dilakukan di Jakarta pada bulan Januari sampai Desember 2015. Dalam penelitian ini digunakan data kualitas air hujan yang tertampung di stasiun BMKG Kemayoran (Jakarta Pusat) yang terletak pada Lintang -6.18 , Bujur 106.83 pada ketinggian 4 m di atas permukaan laut, dan di stasiun Meteorologi Citeko (Bogor) yang terletak pada Lintang -6.70, Bujur 106.85pada ketinggian 920 m di atas permukaan laut (Gambar 1). Data ini merupakan hasil analisis terhadap air hujan yang dilakukan oleh Laboratorium Kualitas Udara BMKG Jakarta yang terdiri dari data pH air hujan, konsentrasi ion sulphat (SO_4^{-2}) dan ion nitrat (NO_3^-) serta data curah hujan. Semuanya adalah data mingguan dari tahun 1993 sampai 2012. Teknik analisis kation dan anion dari sampel air hujan menggunakan metode ion kromatografi. Metode ion kromatografi dalam menganalisis air hujan dapat dilihat di dalam pustaka (Asiati, Budiwati dan Avia, 2001).

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap pertama adalah perhitungan nilai deposisi asam di kedua lokasi (Kemayoran dan Citeko). Masing-masing *series* data dikumpulkan dan diinventarisasi. Kemudian dilakukan perhitungan deposisi asam menggunakan rumus: Deposisi (bulanan atau tahunan) = VWM x CH. Deposisi adalah fluks deposisi asam sulfat/nitrat dalam satuan meq/m^2/th dan VWM adalah *volume weight mean* dan CH adalah curah hujan. VWM dihitung dengan rumus: konsentrasi ion x volume sampel. Konsentrasi ion adalah data mingguan konsentrasi ion SO_4^{-2} dan NO_3^- dalam mg/l yang tertampung dalam tabung penampung sampel air hujan yang berdiameter 20,32 cm. Tinggi air hujan dalam tabung sampel dikonversi ke volume sampel. Nilai VWM mingguan untuk masing-masing ion dikumulatifkan untuk memperoleh nilai VWM bulanan dan VWM tahunan. Kedua nilai tersebut digunakan untuk menghitung deposisi bulanan dan deposisi tahunan yang merupakan nilai kumulatif deposisi asam dari nitrat dan dari sulfat kemuudian dibuat grafik rata-rata deposisi asam bulanan sepanjang series data (nilai median, kuartil 1 dan kuartil 2). Nilai pH mingguan dirata-ratakan untuk memperoleh nilai pH bulanan, kemudian dibuat grafik rata-rata pH bulanan (median, kuartil 1 dan kuartil 2). Menggunakan nilai deposisi asam tahunan, dihitung persentase masing-masing

(deposisi asam dari sulfat dan nitrat) terhadap nilai total deposisi asam.



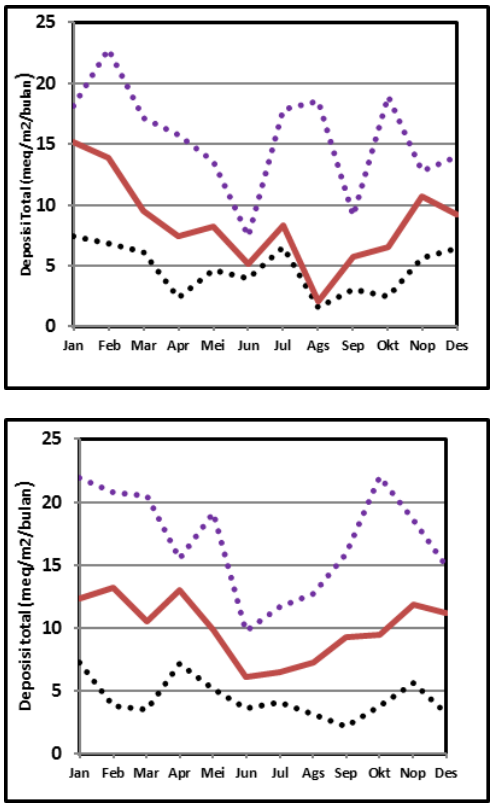
Gambar 1. Posisi stasiun Citeko dan Kemayoran

Tahap kedua adalah analisis kecenderungan terhadap data pH dan deposisi asam (bulanan dan tahunan). Analisis kecenderungan menggunakan uji Mann-Kendall untuk menguji kecenderungan dan menggunakan metode non parametrik Sen untuk mengestimasi *slope* dari kecenderungan linier. Uji Mann-Kendall adalah uji non parametrik yang tidak membutuhkan data yang terdistribusi normal. Test ini digunakan untuk menganalisis signifikansi dari semua kecenderungan (Aldrian dan Djamil, 2008). Perhitungan uji kecenderungan Mann-Kendall terhadap data deposisi asam dan pH menggunakan *makesens excel template application* (Salmi, Maata, Anttila , Ruoho-Airola dan Amnell, 2002). Uji Mann-Kendall dapat diaplikasikan bila nilai data *time seriesxi* diasumsikan mengikuti model:$xi = f(t) + \varepsilon$. Fungsi$f(t)$ adalah peningkatan atau penurunan yang kontinyu, diasumsikanεberasal dari distribusi yang sama dengan rata-rata 0. Oleh karena itu diasumsikan varians dari distribusi konstan dengan waktu. Akan diuji hipotesis nol (H_0) bahwa tidak ada kecenderungan dan hipotesis alternatif (H_1) yang menyatakan terdapat kecenderungan peningkatan atau penurunan. Dalam perhitungan yang menggunakan *time series* dengan jumlah data kurang dari 10 digunakan uji S, dan untuk jumlah data 10 atau lebih digunakan statistik Z. Uji kecenderungan Mann-Kendall menggunakan beberapa level signifikansi yaitu 0,1; 0,05; 0,01 dan 0,001.

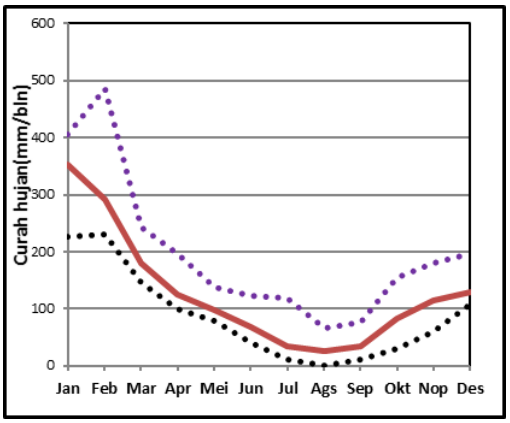
Hasil dan Pembahasan

A. Deposisi asam dan pH air hujan bulanan

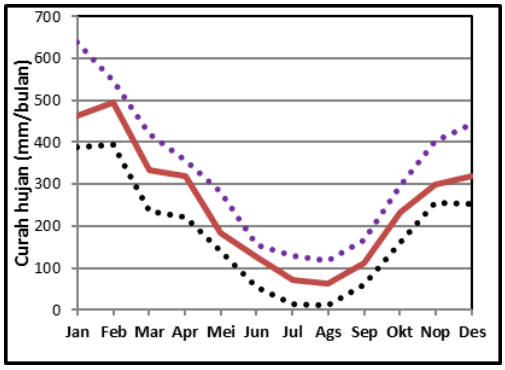
Dari hasil perhitungan deposisi asam bulanan dari tahun 1993-2012 dan pengukuran pH air hujan di Kemayoran dan Citeko diperoleh nilai rata-rata seperti ditunjukkan oleh Gambar 2-5. Rata-rata Curah hujan bulanan (1996-2012) ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 2. Deposisi asam total bulanan (nilai median) yang ditunjukkan oleh garis solid merah di Kemayoran (atas) dan Citeko (bawah). Garis putus –putus paling atas adalah nilai quartile 3 dan garis putus-putus paling bawah adalah nilai quartile 1.

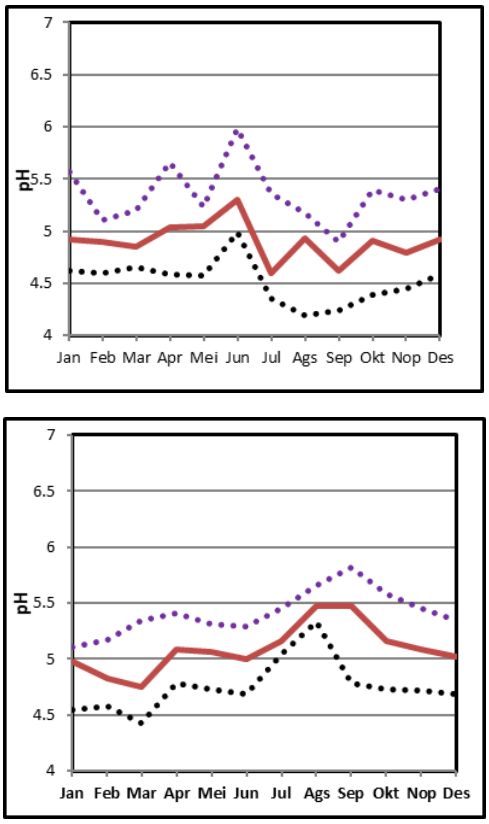


 ISSN: 2086-5589



Gambar 3. Curah hujan bulanan (nilai median) yang ditunjukkan garis solid merah di Kemayoran(atas) dan Citeko (bawah). Garis-putus –putus paling atas adalah nilai quartile 3 dan garis putus-putus paling bawah adalah nilai quartile 1.

Rata-rata bulanan deposisi asam di Citeko lebih besar daripada Kemayoran dengan variasi bulan ke bulan yang lebih besar di Kemayoran (Gambar 2). Deposisi asam bulanan rata-rata data dari 1996-2012, sebesar 8.5 meq/m2/bulan atau setara dengan 4.08 kg/ha /bulan dengan kisaran antara 5.15 - 15.2 meq/m2/bulan di Kemayoran dan rata-rata 10.5 meq/m2/bulan setara dengan 5.04 kg/ha/bulan dengan kisaran antara 6.11 – 13.03 meq/m2/bulan di Citeko. Deposisi asam di Citeko sepanjang tahun konsisten di atas 5 meq/m2/bulan (Gambar 2). Deposisi asam bulan Januari di Kemayoran paling tinggi sedangkan di Citeko tertinggi pada bulan Februari dan April. Deposisi terendah di Kemayoran terjadi bulan Agustus dan bulan Juli di Citeko. Pola umum deposisi asam bulanan hampir mengikuti pola curah hujan (Gambar 3). Namun tidak selalu pada curah hujan yang rendah deposisi asam juga rendah, seperti pada bulan-bulan musim kemarau tergantung pada konsentrasi ion sulfat dan nitrat yang terkandung dalam air hujan. Besarnya deposisi asam dihitung dari ion sulfat (SO_4^{-2}) dan ion nitrat (NO_3^-) yang terlarut dalam air hujan, yang merupakan hasil perkalian rata-rata berat volume (VWM) masing-masing ion dengan curah hujan (Gillet, 2007).



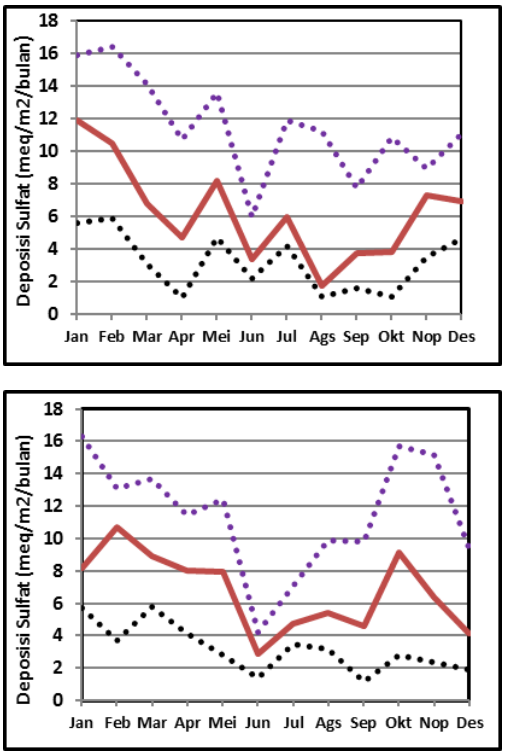
Gambar 4. pH air hujan (median) garis solid merah yang ditunjukkan di Kemayoran (atas) dan Citeko (bawah). Garis-putus –putus paling atas adalah nilai quartile 3 dan garis putus-putus paling bawah adalah nilai quartile 1.

Nilai pH air hujan bulanandi Kemayoran dan Citeko dibawah nilai pH air hujan normal 5.6. Artinya hujan asam terjadi sepanjang tahun di kedua lokasi tersebut (Gambar 4). Nilai pH air hujan di Kemayoran rata-rata 5.00 dengan kisaran antara 4.59 – 5.30 dan di Citeko pH rata-rata 5.06 dengan kisaran antara 4.75 – 5.47. Dilihat dari nilai pH air hujan yang terukur, nilai pH air hujan tidak terlalu berbeda jauh antara Kemayoran dengan Citeko. Nilai pH biasanya berbanding terbalik dengan besarnya deposisi asam, karena semakin besar asam yang terdeposisi maka semakin rendah pH. Tapi nilai pH sangat tergantung pada keseimbangan asam dengan basa. Bila di dalam air hujan juga terlarut basa-basa dengan konsentrasi cukup tinggi, nilai pH air hujan akan lebih besar walaupun kadar asamnya cukup tinggi (Hara, 2009).

Dari hasil pengukuran pH dan perhitungan deposisi asam di Kemayoran (Jakarta Pusat) dan Citeko (Puncak Bogor), menunjukkan bahwa kedua lokasi telah terekspos hujan asam. Deposisi asam rata-rata bulanan di Citeko cenderung lebih besar

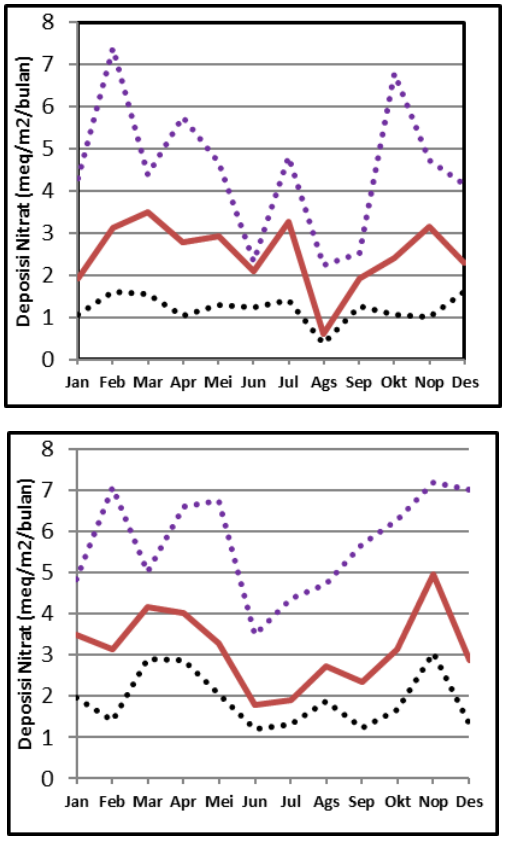
daripada di Kemayoran. Kemungkinan proses transpor polutan sudah terjadi. Daerah Kemayoran yang berada di pusat kota Jakarta yang menjadi pusat kegiatan transportasi dan industri, menjadi sumber polutan SO_2 dan NO_2. Kemungkinan gas SO_2 dan NO_2 yang bereaksi dengan air di dalam awan terbawa angin dalam mekanisme angin laut dan terbawa angin dalam proses konveksi orografis ke arah puncak akibatnya di wilayah puncak yang diwakili oleh daerah Citeko menunjukkan nilai deposisi asam yang cukup tinggi dan nilai pH air hujan yang rendah. Menurut Darmanto dan Sofyan (2011), pola angin di Jakarta pada bulan Agustus dan bulan Januari memiliki perbedaan yang signifikan. Menurut Darmanto dan Sofyan (2011), pada bulan Agustus, angin sinoptik muson timur/Australia bergerak dari arah selatan ke utara P. Jawa. Deretan pegunungan di daerah selatan P. Jawa (>3000m dpl) menghalangi hembusan angin sinoptik sehingga pada bulan Agustus angin lokal (angin laut/darat) lebih berpengaruh pada distribusi polutan. Oleh karena itu, pencemar terdistribusi ke selatan (*inland*) pada siang hari dan ke utara (*offshore*) pada malam hari. Sebaliknya, pada bulan Januari angin sinoptik muson barat/Asia yang bergerak dari barat tidak memiliki penghalang sehingga angin sinoptik mempengaruhi vektor angin lokal. Jadi pada pergerakan angin lokal (angin laut/darat) sangat berpengaruh berperan dalam distribusi pencemar terutama pada bulan Januari sedangkan pada bulan Agustus vektor angin lokal dipengaruhi oleh angin sinoptik muson barat.

Deposisi asam sulfatbulanan mengikuti pola yang relatif sama dengan deposisi total. Deposisi sulfat tertinggi pada bulan Januari di Kemayoran dan bulan Februari di Citeko (Gambar 5). Deposisi asam sulfat rata-rata bulanan di Kemayoran sebesar 8.75 meq/m2/bulan atau setara dengan 4.20 kg/ha/bulan, di Citeko sebesar 8.11 meg/m2/bulan atau setara dengan 3.84 kg/ha/bulan. Deposisi asam nitrat bulanan tertinggi di Kemayoran terjadi pada bulan Maret sebesar 3.5 meq/m2 dan rata-rata 4.02 mq/m2/bulan atau setara dengan 1.92 kg/ha/bulan. Terdapat 3 puncak deposisi nitrat yaitu bulan Maret, Juli dan Nopember. Di Citeko, deposisi asam nitrat bulanan tertinggi pada bulan Maret dan Nopember (Gambar 6) dengan rata-rata sebesar 4.3 meq/m2/bulan atau setara dengan 2.05 kg/ha/bulan.



Gambar 5. Deposisi asam sulfat bulanan (nilai median) yang ditunjukkan garis solid merah di Kemayoran (atas) dan Citeko (bawah). Garis-putus –putus paling atas adalah nilai quartile 3 dan garis putus-putus paling bawah adalah nilai quartile 1.

Di kedua lokasi peneltian, deposisi asam dari sulfat berkontribusi lebih besar terhadap deposisi total daripada deposisi asam nitrat. Hasil penelitian Xu Yu (1987), Di China 80% atau lebih, SO_2 berubah menjadi ion SO_4^- di titik-titik air di awan. Ion sulfat yang terkandung dalam air hujan tidak hanya berasal dari SO_2 saja melainkan dapat berasal dari sumber sulfat aerosol. Proses oksidasi SO_2 menjadi SO_4^{2-} dengan kecepatan 3± 2%/ jam di titik-titik awan atau kabut air (Jacob et al.,1987) dalam Budiwati, Sofiati, Gusnita dan Mulyani (2002) dan SO_2 mempunyai *residence time* 2,4 hari sedangkan SO_4^{2-} mempunyai *residence time* 4,7 hari (Meszaros, 1993) dalam Budiwati et al (2002), maka penyebaran SO_2 hanya berskala local dan regional. Bila SO_2 yang berubah menjadi SO_4^{2-} adalah 80% (Xu Yu, 1987) dengan kecepatan 3 %/jam, berarti dibutuhkan waktu 1 hari 3 jam.



Gambar 6. Deposisi asam nitrat bulanan (nilai median) yang ditunjukkan garis solid merah di Kemayoran (atas) dan Citeko (bawah). Garis putus –putus paling atas adalah nilai quartile 3 dan garis putus-putus paling bawah adalah nilai quartile 1.

Asam sulfat terdeposisi lebih banyak di Kemayoran daripada di Citeko. Sebaliknya asam nitrat lebih banyak terdeposisi di Citeko. Asam sulfat berasal dari gas SO_2 yang bereaksi dengan uap air. Gas SO_2 terutama dihasilkan dari kegiatan industri termasuk Large Point Source (LPS) dan pembangkit listrik. Hasil inventarisasi emisi di DKI Jakarta dan Bodetabek, SO_2 yang disumbangkan sektor industri sebesar 78.22% dan 21.73 dari sektor transportasi. Di Bodetabek, sektor industri menyumbang 50.15% SO_2 dan 46.22% dari sektor transportasi (Darmanto dan Sofyan, 2011). Artinya emisi SO2 di DKI Jakarta lebih besar daripada wilayah Bodetabek, selain itu ion sulfat juga disumbangkan dari aerosol sulfat.

B. Rata-rata deposisi asam, pH air hujan dan curah hujan tahunan

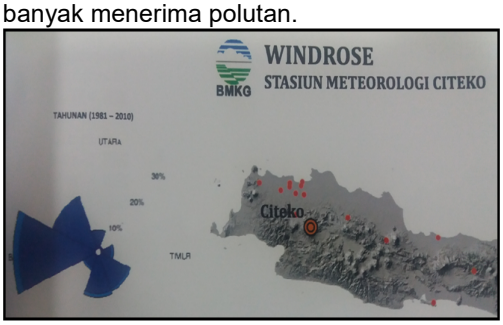
Kumulatif dari data bulanan diperoleh besaran deposisi asam sulfat, deposisi asam nitrat dan deposisi total di dua lokasi. Nilai rata-rata dari series data tahun 1993-2012 beberapa parameter, diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai beberapa parameter di Kemayoran dan Citeko

No	Parameter	Kemayoran Jakarta	Citeko (Bogor)
1	Deposisi total (meq/m2/tahun)	135.17	143.87
2	Deposisi Sulfat (meq/m2/tahun)	94.49	93.41
3	Deposisi Nitrat (meq/m2/tahun)	40.68	50.47
4	Prosentasi deposisi sulfat (%)	69.9	64.92
5	pH air hujan	5	5.07
6	Curah Hujan (mm/tahun)	1813	3131

Deposisi asam total tahunan di Citeko juga lebih besar daripada di Kemayoran. Sebagian besar deposisi asam adalah kontribusi dari sulfat, 69.9 % di Kemayoran dan 64.92 persen di Citeko. Deposisi nitrat tahunan lebih besar di Citeko dibanding Kemayoran dan sebaliknya untuk deposisi sulfat. pH air hujan yang tertampung di Kemayoran (5.0) tidak terlalu berbeda jauh dengan pH air hujan di Citeko (5.07). Kemungkinan telah terjadi mekanisme transport asam yang terbawa angin yang berasal dari daerah sumber yaitu DKI Jakarta, depok, Tangerang dan sekitarnya ke wilayah timur dan selatan. Pergerakan angin yang masuk ke wilayah Citeko dapat diketahui dari peta windrose normal arah dan kecepatan angin berdasarkan data rata-rata tahun 1981-2010 (BMKG, 2013). Rata-rata tahunan angin yang masuk dominan (30%) berasal dari arah barat dengan kecepatan dominan 1-3 knot dan 4-6 knot dan 20% berasal dari barat laut dengan kecepatan 1-3 knot (Gambar 7). Kondisi ini terjadi hampir sepanjang tahun dari bulan Januari sampai Desember. Jadi sepanjang tahun angin yang dominan masuk ke wilayah citeko berasal dari Barat dan Barat laut. Wilayah barat dan barat laut terdapat banyak pabrik dan industri di antaranya pabrik besi dan baja. SO_2 berasal dari pemakaian batubara yang digunakan dalam kegiatan industri, transportasi dan lain-lain. Dalam proses industri besi dan baja banyak dihasilkan SO_2. Karena pengaruh dari kelerengan lokal, kemungkinan efek pesisir, jangkauan alat dan variabilitas temporal dari angin perhitungan windrose tidak selalumewakili pergerakan riil angin di wilayah tersebut (BMKG, 2013). Efek angin lokal (angin darat dan angin laut) oleh pengaruh letak Citeko yang berada pada lereng pegunungan yang menghadap langsung ke teluk Jakarta

mungkin juga menjadi penyebab wilayah ini banyak menerima polutan.



Gambar 7. Windrose Stasiun Meteorologi Citeko

C. Trend deposisi asam dan pH air hujan bulanan dan tahunan

Hasil Uji kecenderungan Mann-Kendall terhadap data deposisi asam dan pH air hujan bulanan dari periode 20 tahun data (1993-2012) di Kemayoran diberikan pada Tabel 2. Deposisi Total dan deposisi sulfat meningkat sebesar masing-masing 0.5 meq/m^2/tahun dan 0.41 meq/m^2/tahun secara signifikan pada α = 5% pada bulan September. Dengan demikian selama kurun waktu 20 tahun telah terjadi peningkatan deposisi total sebesar 10 meq/m2/tahun yang disumbang oleh peningkatan deposisi sulfat sebesar 8.2 meq/m2/th. Deposisi nitrat meningkat secara signifikan α = 5% pada bulan Mei dan September masing-masing sebesar 0.17 dan 0.15 meq/m2/tahun. Oleh karena itu telah terjadi peningkatan sebesar masing-masing 3.4 dan 3.0 meq/m2/tahun pada bulan Mei dan September. Penurunan pH air hujan bulanan signifikan pada α = 5% terjadi pada bulan Mei dan Desember masing-masing dengan laju penurunan 0.06/tahun dan 0.07/tahun. Peningkatan deposisi asam dan penurunan pH yang cukup signifikan akibat peningkatan polutan perkusor hujan asam di atmosfer yang akan berdampak pada lingkungan. Peningkatan polutan di atmosfer juga akan berpengaruh langsung atau tidak langsung pada perubahan iklim.

Di Citeko, peningkatan deposisi total dan deposisi sulfat secara signifikan pada bulan Agustus, Oktober dan Nopember α = 5% dan peningkatan deposisi sulfat saja pada bukan Mei. Peningkatan deposisi nitrat secara sangat signifikan pada α = 10 % pada bulan September. Sedangkan pH tidak menunjukkan penurunan secara signifikan.

Hasil Uji kecenderungan Mann-Kendall terhadap data deposisi asam dan pH air hujan tahunan dari periode 20 tahun data (1993-2012) di Kemayoran dan Citeko. diberikan pada Tabel 3. Deposisi asam total, deposisi asam sulfat, asam nitrat dan pH, di Kemayoran tidak menunjukkan kecenderungan yang signifikan. Di Citeko deposisi asam nirat meningkat secara signifikan pada α = 5% sebesar 1.67 meq/m2/tahun.

Tabel 2 . Hasil uji kecenderungan Mann-Kendall terhadap data deposisi asam dan pH air hujan bulanan (tanda + ,* dan **menunjukkan level signifikasi Mann-Kendall yaitu 0.1, 0.05 dan 0.01)

Bulan	Kemayoran								Citeko							
	Deposisi total		Deposisi sulfat		Deposisi nitrat		pH		Deposisi total		Deposisi sulfat		Deposisi		pH	
	sign	B	sign	B	sign	B	sign	B	sign	B	sign	B	sign	B	sign	B
Jan		040		042		002		-001		-027		013		002		-001
Feb	+	076	+	058		011		-002		075		021		006		001
Mar		041		037		003		-001		048		025		-001		001
Apr		009		010		007		-003		001		003		-002		-001
Mei		048		048	*	017	*	-006		039	*	039		009		001
Jun		005		014		-002	+	-007		030		009		004		000
Jul		-051		-041		-010		-001		022		004		-003		002
Ags		-003		-003		004		-003	*	084	*	061		015		005
Sep	*	050	*	041	*	015		001	+	066	+	045	**	025		-002
Okt		031		020		012		-002	*	069	*	058		019		-002
Nop		-001		009		-006		-004	+	086	*	057		024		002
Des		032		034		000	*	-005		045		-001		-001		001

Tabel 3 . Hasil uji kecenderungan Mann-Kendall terhadap data deposisi asam dan pH air hujan tahunan (tanda + ,* dan **menunjukkan level signifikasi Mann-Kendall yaitu 0.1, 0.05 dan 0.01)

No	Parameter	Kemayoran		Citeko	
		Sign.	B	Sign.	B
1	Deposisi Sulfat		4.03	+	4.36
2	Deposisi Nitrat		3.32	*	1.67
3	Deposisi Total		0.71	+	6.28
4	pH		-0.03		-0.03

Kesimpulan

Berdasarkan uraian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa wilayah Citeko yang berada di wilayah puncak Bogor telah terekspose hujan asam. Asam yang terdeposisi di Citeko lebih banyak dibanding asam yang terdeposisi di Kemayoran. Komposisi asam yang terdeposisi lebih banyak hasil kontribusi sulfat daripada nitrat.Di Kemayoran, asam sulfat terdeposisi lebih banyak daripada di Citeko. Nitrat terdeposisi lebih banyak di Citeko daripada di Kemayoran.Berdasarkan data windrose bulanan dan normal tahunan di Citeko, kemungkinan telah terjadi transpor polutan SO_2 dan NO_2 yaitu dari wilayah DKI Jakarta, Depok, Tangerang dan sekitarnya ke wilayah puncak Bogor. Vektor angin lokal (angin laut-darat) juga berperan dalam membawa polutan ke daerah Citeko di Puncak Bogor. Deposisi asam cenderung meningkat secara signifikan dari di Kemayoran pada bulan September dan pH menurun secara

signifikan pada bulan Mei dan Desember Di Citeko, deposisi asam cenderung meningkat secara signifikan pada bulan Agustus dan Oktober. Trend Nilai pH air hujan di Citeko tidak signifikan. Deposisi asam nitrat meningkat secara signifikan sebesar 1.67 meq/m2/tahun di Citeko.

Perlu dilakukan studi trajektory polutan sehingga dapat ditelusuri asal polutannya. Serta perlu dilakukan studi seberapa besar dampak hujan asam di wilayah Puncak Bogor terhadap lingkungan mengingat wilayah ini juga merupakan wilayah perkebunan dan budidaya hotikultura.

Daftar Pustaka

Aldrian, E dan Djamil Y S. 2008. Spatio-temporal climate change of rainfall in East Java Indonesia. *Int. J. Climatol*.28:435-448.

Asiati, S. Budiwati T, and Avia L.Q. 2001. Acid deposition in Bandung, Indonesia. *Water, Air and Soil Pollution.* Vol 10(1-4): 1571-1576 (6). *http://www.springerlink.com/content/x422t14m37j4x242/* diakses tanggal 1 Mei 2010.

BMKG, 2013. Windrose & Kelembaban Indonesia 1981-2010. Kedeputian Bidang Klimatologi. Pusat Iklim Agroklimat dan Iklim Maritim. Jakarta. 192 Hlm.

Budiwati, T, I. Sofiati, D. Gusnita dan T. Mulyani. 2002. Pengkajian Deposisi Kering dan basah di Bandung dalam periodeperalihan September-Nopember 2000. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vo 3 No 3 Juli-September 2002.

Darmanto, N.S dan A.Sofyan. 2011. Analisis distribusi pencemar udara NO2, SO2, CO2 dan O3 di Jakarta dengan WRF-Chem. www.ftsl.ac.id/15307021-Nisrina-Setyo-Darman. Diakses 8 Maret 2016.

Gillet, R.W. 2007. Komunikasi personal pada *Training on Air Quality Monitoring and Data Analysis.* 6-10 August 2007. CSIRO Australia dan BMKG Jakarta.

Hara, H. 2009. What is acid deposition. *http: //www.adorc.gr.jp*. Diakses 30 April 2010.

Harmantyo, D. 1989. *Studi Tentang Hujan Masam (acid rain) di wilayah Jakarta dan Sekitarnya*. Disertasi Doktor Pengelolaan SDA dan Lingkungan. FPS. IPB.

Holper, P. 1996. Tracking acidification in Australia dan Asia. Division's external newslatter, Atmosphere. Issue 1. February 1996 (www.environment.gov.au)

Leni N, 2009. Deposisi Asam di Wilayah Jakarta Selama 10 Tahun (1996-2006). Prosiding Seminar Scientific Jurnal Club Tahun 2009 Edisi 3, pp 81-90,ISBN:978-979-1241-14-4

Noor, H A dan A. Sofyan 2012. Inventarisasi emisi pencemaran udara dan gas rumah kaca di Jabodetabek dengan menggunakan metode SIG (Sistem informasi geografis). Ftsl ITB. 2012.. Fakultas teknik sipil dan lingkungan ITB. Akses 17 Februari 2014.

Salmi, T , Maata A , Anttila P, Ruoho-Airola T dan Amnell T. 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutans by the mann-kendall test and Sen's slope estimate. The excel template application makesens. *Publications on air quality*. No. 31. Finnish Meteorological Institute. *http://www. Fmi.fi/kuvat/MAKESENS-MANUAL.pdf*. Diakses tanggal 15 Maret 2010.

Xu Yu , 1987, Sulfur Dioxide in Atmosphere Scavenging by Precipitation and Its Contribution to Acid Rain, Proceeding of The Third Joint Conference of Air Pollution Studies in Asian Areas, Nov 30 – Dec 2, Tokyo, Japan, hal. 186 – 199.