

Keasaman Air Hujan Di Kota Bandung Tahun 1988 -1998

Toni Samiaji, Nurlaini¹⁾, Tuti M.H.W., Hery Harjanto²⁾

ABSTRACT

It had been done measurement of rain water acidity, Suspended Particulate Matter (SPM), surface wind direction and velocity in Bandung from 1988 to 1998. We used Orion pH meter for pH, Spectrophotometer and Ion Chromatography for ions, High Volume Sampler for SPM, anemometer for wind direction and velocity measurement. From data analysis, it was obtained result as follow : The acidity of rain water in Bandung from 1988 - 1998 trend to increase it means that Bandung had undergone acid rain with average of pH 4.76. It was supposed that nitrate ion which come from NO₂ particulate (if related with particulate spreading) could be local, while sulphate ion which come from SO₂ particulate could be regional. Besides, from soil alkaline metal in rain water of Bandung, it was supposed that source of calcium ion in Bandung was more than that of magnesium ion. While from alkaline metal in rain water of Bandung city during period 1995 – 1998, it was supposed that in the atmosphere of Bandung, natrium salt was more than kalium.

ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran keasaman air hujan, partikulat yang tersuspensi di udara (SPM, suspended particulate matter), arah dan kecepatan angin permukaan di kota Bandung dari tahun 1988 sampai dengan tahun 1998. Untuk pengukuran pH digunakan alat pH meter Orion, analisis ion-ion digunakan alat spectrophotometer dan ion chromatography, pengukuran SPM digunakan alat High volume sampler, serta arah dan kecepatan angin digunakan alat anemometer.

Dari analisis data diperoleh hasil sebagai berikut : Keasaman air hujan di Bandung dari tahun 1988 sampai dengan tahun 1998 cenderung bertambah yang berarti Bandung sudah mengalami hujan asam dengan pH rata-rata 4.76. Diduga ion nitrat yang berasal dari polutan NO₂ (jika dikaitkan dengan penyebaran polusinya) dapat bersifat lokal, sedangkan sulfat yang berasal dari SO₂ dapat bersifat regional. Selain itu dari logam alkali tanah dalam air hujan Bandung, diduga sumber ion kalsium di Bandung lebih banyak daripada sumber ion magnesium. Sedangkan dari logam alkali dalam air hujan kota Bandung selama periode tahun 1995-1998, diduga udara kota Bandung lebih banyak mengandung garam natrium daripada kalium.

1. PENDAHULUAN

Pada umumnya deposisi asam terbagi menjadi deposisi kering dan deposisi basah. Mengingat deposisi asam ini bersifat korosif, maka pemantauan deposisi asam dipandang perlu. Sebagai salah satu upaya pemantauan deposisi asam telah dilakukan pemantauan deposisi basah dengan studi kasus di kantor Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Jalan Cemara Bandung yang dianggap mewakili salah satu daerah perkotaan.

Hujan asam adalah dampak polusi udara terhadap lingkungan. Umumnya daerah yang udaranya terpolusi adalah daerah perkotaan, meskipun bisa jadi udara yang terpolusi di kota terbawa angin dan jatuh terdeposisikan di pedesaan atau di hutan. Dalam makalah ini pemantauan deposisi basah dicoba dikaitkan dengan penelitian penyebaran polusi udara di perkotaan dengan studi kasus kota Bandung.

2. DATA DAN METODE

Dalam pemantauan deposisi basah ini, karena mengingat untuk menganalisa air hujan itu cukup sulit sehingga memerlukan waktu dan karena dalam pengerjaannya memerlukan kecermatan sedangkan SDM yang handal untuk pengerjaan itu terbatas adanya, maka hanya diambil lokasi di suatu daerah yang dianggap mewakili daerah perkotaan yakni di Jalan Cemara Bandung. Sedangkan pengukuran deposisi basah dimulai sejak November 1988 hingga sekarang, namun data yang telah diolah sampai Oktober 1998. Dalam kurun waktu tersebut ada kekosongan data selama 2 tahun yakni tahun 1992 dan tahun 1993.

Perbedaan metode dalam menentukan konsentrasi ion-ion dalam air hujan, yakni dari tahun 1988 sampai dengan tahun 1994 untuk menentukan ion Ca, Mg, Cl digunakan metoda *Volumetric*, sedangkan ion SO₄, NO₃ digunakan metoda kalorimetri, SO₄ digunakan larutan kalibrasi

¹⁾ Peneliti Puslitbang. PA LAPAN – Bandung

²⁾ Peneliti Badan Meteorologi dan Geofisika Pusat

BaSO₄/CaSO₄ dan diukur pada panjang gelombang 400 nm, NO₃ digunakan larutan kalibrasi NaNO₃ diukur pada panjang gelombang 400 nm, NH₄ digunakan metoda Nessler yang menggunakan larutan kalibrasi NH₄Cl diukur pada panjang gelombang 420 nm dan untuk penentuan NO₃, SO₄ dan NH₄ ini digunakan alat spectrophotometer. Tetapi sejak tahun 1995 sampai sekarang untuk menentukan kationion digunakan Ion Chromatography. Untuk menentukan pH dengan metoda elektroda sel dengan larutan buffer pH 6.97 dan pH 4.10, sedangkan alat yang digunakan adalah pH meter Corning (sampai tahun 1995) dan Orion (mulai tahun 1996 sampai sekarang). Hasil yang diperoleh Corning dan Orion ini dalam pengukuran pH adalah sama. Selain pemantauan deposisi basah diukur juga SPM (*Suspended Particulate Matter*, yang merupakan deposisi kering) dengan menggunakan metoda gravimetri dan alat yang digunakan *High Volume Sampler*. Untuk menentukan arah dan kecepatan angin digunakan alat anemometer, dan statik meteonya dipasang sampai ketinggian 10 m.

Dalam analisis data disini, data konsentrasi ion dihubungkan dengan arah angin untuk melihat darimana saja polutan yang terendapkan dalam air hujan kota Bandung itu berasal [Michaelis, 1997]. Sedangkan untuk menentukan konsentrasi ion rata-rata (K) bulanan yang terendapkan di kota Bandung pada suatu arah angin dalam suatu periode dinyatakan dengan persamaan

$$K = (\sum_{i=1-n} P_i C_i) / n \dots\dots\dots (2-1)$$

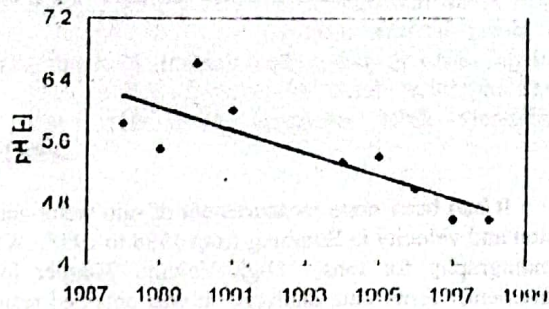
dengan

- P_i : Persentase arah angin pada bulan i
- C_i : Konsentrasi ion rata-rata pada bulan i
- n : jumlah bulan selama periode pengukuran (misalnya tahun 1988-1994, 1995-1998)

Misalnya untuk menghitung endapan konsentrasi ion nitrat rata-rata bulanan dalam air hujan yang terbawa angin dari arah barat selama periode 1995 - 1998 adalah dengan cara mengakumulasikan hasil perkalian konsentrasi rata-rata bulanan ion nitrat dengan persentase arah angin dari barat selama hari hujan dalam 1 bulan dari tahun 1995 sampai dengan tahun 1998, kemudian dibagi dengan jumlah bulan yang terjadi hujan selama periode tersebut. Dalam perhitungan ini, konsentrasi ion rata-rata bulanan dalam air hujan diasumsikan sebagai kontribusi polutan yang terbawa masing-masing arah angin.

3. HASIL

Dari Gambar 3-1 tentang keasaman air hujan di Jalan Cemara, Bandung, tampak dari tahun 1988 sampai dengan tahun 1998 keasaman air hujan di Bandung cenderung bertambah, dan mempunyai rata-rata pH 4.76 (dihitung dari pH rata-rata bulanan, sedang dalam gambar merupakan pH rata-rata tahunan).



Gambar 3-1 : pH rata-rata tahunan Jl. Cemara No. 46 Bandung 1988-1998

Pada Tabel 3-1 ditunjukkan besarnya konsentrasi ion rata-rata bulanan (rumus 2-1) dalam air hujan yang jatuh di stasiun BMG Bandung yang terbawa angin dari utara, timur, selatan, barat dan yang berasal dari kota Bandung sendiri dari tahun 1988 sampai dengan tahun 1994.

TABEL 3-1. ARAH ANGIN DAN KONSENTRASI ION RATA-RATA BULANAN DI BMG BANDUNG 1988 - 1994

Arah angin	NO ₃ [10 ³ mgr/l]	SO ₄ [10 ³ mgr/l]	Cl [10 ³ mgr/l]	Ca [10 ³ mgr/l]	Mg [10 ³ mgr/l]
U	2.26	0.97	2.26	0.32	0.32
TL	-	-	-	-	-
T	76.13	53.87	125.48	45.81	30.97
Tg	-	-	-	-	-
S	1.94	1.29	2.90	1.29	0.65
BD	-	-	-	-	-
B	147.42	111.94	234.19	124.19	47.10
BL	-	-	-	-	-
Lemah	141.29	131.94	285.81	54.52	43.23
Total	369.04	300.01	650.64	226.13	122.27

Keterangan :
U= Utara, TL=Timur Laut, T=Timur, Tg=Tenggara, S=Selatan, BD=Barat Daya, B=Barat, BL=Barat Laut, Lemah = tidak jelas arahnya

Sedangkan Tabel 3-2 merupakan besarnya konsentrasi ion rata-rata bulanan dalam air hujan (rumus 2-1) yang jatuh di stasiun BMG Bandung yang terbawa angin dari berbagai arah dan yang berasal dari kota Bandung sendiri dari tahun 1995 sampai dengan tahun 1998.

TABEL 3-2. ARAH ANGIN DAN KONSENTRASI ION RATA-RATA BULANAN DI BMG BANDUNG 1995 - 1998

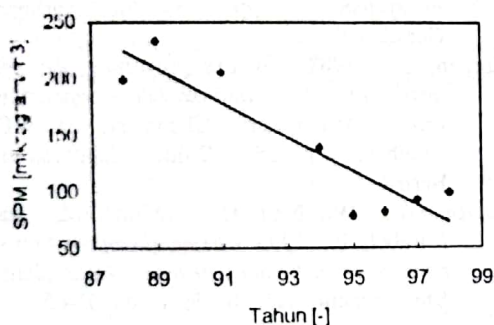
Arah angin	NO ₃ [10 ³ mgr/l]	SO ₄ [10 ³ mgr/l]	Cl [10 ³ mgr/l]	Na [10 ³ mgr/l]	K [10 ³ mgr/l]
U	165.28	160.56	30.83	40.56	8.61
TL	43.33	30.56	6.94	13.61	2.50
T	1230.28	1400.28	237.50	335.28	125.28
Tg	196.11	34.44	24.72	43.61	4.17
S	259.72	168.89	35.56	29.44	12.78
BD	43.33	30.56	6.94	13.61	2.50
B	1895	1865	450.83	360.83	178.33
BL	43.89	31.11	7.22	13.61	2.50
Lemah	875.83	636.11	142.78	60.00	19.17
Total	4752.77	4357.51	943.32	910.55	355.84

Keterangan :
U= Utara, TL=Timur Laut, T=Timur, Tg=Tenggara, S=Selatan, BD=Barat Daya, B=Barat, BL=Barat Laut, Lemah = tidak jelas arahnya

4. PEMBAHASAN

Kecenderungan peningkatan keasaman air hujan (Gambar 3-1) didukung juga kecenderungan peningkatan konsentrasi rata-rata bulanan ion nitrat dan sulfat (Tabel 3-1 dan 3-2). Pada rentang waktu 1988-1994 konsentrasi rata-rata bulanan ion nitrat 369.04×10^{-3} mg/l, sedangkan pada rentang waktu 1995-1998 konsentrasinya 4752.77×10^{-3} mg/l. Demikian juga konsentrasi rata-rata bulanan ion sulfat meningkat dari 650.64×10^{-3} mg/l (1988-1994) menjadi 943.32×10^{-3} mg/l (1995-1998). Peningkatan ion nitrat dan sulfat diduga berkaitan dengan peningkatan gas buang (SO_2 dan NO_x) dari kendaraan bermotor yang setiap tahunnya meningkat (rata-rata pertambahannya lebih dari 10.000 kendaraan bermotor pertahun, data Satlantas Bandung).

Faktor lain penyebab peningkatan keasaman air hujan adalah berkurangnya sumber kebasaaan air hujan. Menurut Morgan, (1982), bahwa SPM mengandung karbonat dan kalsium jika larut dalam air hujan akan menjadikan air hujan semakin basa. Gambar 4-1 menunjukkan kecenderungan penurunan SPM di Bandung dari tahun 1988 sampai dengan tahun 1998. Dengan berkurangnya SPM bisa mengurangi sifat basa air hujan atau dengan kata lain menyebabkan keasaman air hujan di Bandung bertambah.



Gambar 4-1 : SPM di stasiun BMG Bandung 1988-1998

Dengan menggunakan Tabel 3-1 dan 3-2 akan dianalisis sumber hujan asam tersebut. Dari Tabel 3-1 nampak bahwa, selama periode 1988-1994 (tidak termasuk tahun 1992 dan 1993) dari ion-ion yang membawa keasaman yakni nitrat, sulfat dan klorida, ternyata konsentrasi total yang paling besar adalah ion klorida (yakni 650.64×10^{-3} mgr/l). Kemungkinan yang menjadikan ion klorida dalam air hujan dominan disebabkan garam NaCl dari laut (karena menurut Sanusi at al (1996), kandungan klorida dalam air hujan dipengaruhi oleh kandungan klorida dalam air laut). Sedangkan dari Tabel 3-2 nampak bahwa selama periode 1995-1998, konsentrasi total ion yang besar dari ion yang membawa keasaman adalah nitrat dan sulfat (yang besar konsentrasinya hampir seimbang) jadi berbeda dengan selama periode 1988-1994. Penyebab ion nitrat dan sulfat yang dominan, kemungkinan ditunjang oleh jumlah kendaraan

bermotor yang meningkat tiap tahunnya di kota Bandung (Tabel 3-2, kontribusi nitrat dan sulfat dari arah angin lemah cukup besar). Jadi dengan demikian sumber keasaman air hujan kota Bandung adalah dari luar kota Bandung ditunjang dengan polusi udara kota Bandung sendiri.

Ion-ion yang dapat menyebabkan kebasaaan terhadap air hujan adalah ion-ion logam seperti kalsium (Ca), natrium (Na), kalium (K), magnesium (Mg). Dari Tabel 3-1 dapat diketahui bahwa selama periode 1988-1994, dalam air hujan kota Bandung konsentrasi logam kalsium lebih dominan daripada logam magnesium. Diduga di kota Bandung dan sekitarnya sumber unsur Ca seperti debu, batu kapur (termasuk dari Padalarang) dan semen lebih banyak daripada sumber Mg yakni kawah tangkuban perahu dan dolomit (CaCO_3 . MgCO_3) [Sanusi at al., 1996, dan, Kimura at al., 1994]. Sedangkan dari Table 3-2, selama periode 1995-1998 konsentrasi logam natrium lebih dominan daripada logam kalium. Natrium dan kalium bisa berasal dari sumber yang sama yakni air laut dan aktivitas panas bumi, namun diduga garam natrium (NaCl , NaNO_3 , Na_2SO_4) lebih banyak keberadaannya di atmosfer daripada garam kalium, sehingga kemungkinan yang menyebabkan konsentrasi total natrium lebih banyak daripada kalium [EPA, 1995].

Kalau kita lihat Tabel 3-1 yakni konsentrasi nitrat dalam air hujan di kota Bandung tahun 1988-1994 bahwa konsentrasi ion nitrat yang besar adalah arah angin berasal dari arah barat dan lemah (calm). Dengan demikian selama tahun 1988-1994 diduga sumber polutan ion nitrat dominan berasal dari arah barat dan dari kota Bandung sendiri (lokal). Sedangkan dari Tabel 3-2 konsentrasi nitrat yang besar adalah arah angin dari arah barat. Dengan demikian selama tahun 1995-1998 diduga sumber polutan ion nitrat dominan berasal dari arah barat. Sedangkan ion sulfat dan klorida berdasarkan Tabel 3-1 dan 3-2, selama periode 1988-1994, diduga sumber polutannya dominan berasal dari kota Bandung sendiri (lokal) dan selama periode 1995-1998 dominan berasal dari arah barat dan timur. Kemungkinan peralihan dominasi sumber polutan dari kota Bandung sendiri (selama periode 1988-1994) ke luar kota Bandung (selama periode 1995-1998) disebabkan oleh penambahan transportasi antar kota dan bertambahnya industri di luar kota Bandung. Sedangkan menurut Tabel 3-1 sumber kalsium dan magnesium dominan berasal dari arah barat. Diduga penyebabnya gunung kapur di Padalarang. Dan menurut Tabel 3-2 sumber natrium dan kalium dominan berasal dari arah barat dan timur. Artinya dominan berasal dari luar kota Bandung. Dengan asumsi arah angin dan kecepatan angin tidak konstan, diduga sumber polutan tersebut yang utama adalah Kawah Gunung Tangkuban Perahu, Kawah Kamojang (daerah Majalaya) dan lautan Hindia.

Untuk melihat radius penyebaran polutan yang menyebabkan keasaman pada air hujan yakni

sumber ion nitrat dan sulfat dibahas sebagai berikut. Kecepatan angin rata-rata selama hari hujan dari tahun 1988 sampai dengan 1998 adalah kurang lebih 3 ~ 7 km/jam (Tabel 4-1, di sini kecepatan angin rata-rata yang dihitung adalah pada hari yang turun hujan karena menurut de Nevers, (1995) bahwa pembakaran NO_2 menjadi HNO_3 di udara adalah 5 jam), maka diduga penyebaran polutan NO_2 kurang lebih 15 ~ 35 km atau penyebarannya bersifat lokal. Menurut Harrison, (1997), umur polutan yang relatif tidak terlalu lama (seperti gas NO_2) umumnya terperangkap di dalam *boundary layer* yang mempunyai ketinggian bervariasi antara 100 m sampai dengan 1 km, sehingga diduga perpindahan polutan NO_2 tersebut tidak terlalu jauh.

Sedangkan untuk sulfat, nampak pada Tabel 4-1 kecepatan angin rata-rata selama hari hujan dan tidak hujan (di sini kecepatan angin rata-rata yang dihitung adalah pada hari yang turun hujan dan pada hari yang tidak turun hujan, karena menurut de Nevers, (1995) bahwa pembakaran SO_2 menjadi H_2SO_4 di udara adalah 6 hari, maka hari tidak hujan pun harus diperhitungkan) selama periode 1988-1998 berkisar antara 4 ~ 8 km/jam, maka diduga penyebaran polutan SO_2 kurang lebih 432 ~ 1152 km atau penyebaran polutan SO_2 bersifat regional. Karena umur gas SO_2 itu relatif lebih lama dari pada gas NO_2 , maka gas SO_2 bisa menembus lapisan tropopause dan masuk lapisan stratosfir, sehingga gas SO_2 akan mengalami perjalanan yang cukup jauh (diduga bisa dari negara yang satu ke negara yang lain) [Harrison, 1997].

TABEL 4-1 : KECEPATAN ANGIN PERMUKAAN RATA-RATA DI BANDUNG

Tahun periode	Selama han hujan dalam [Km/jam]	Arah	Selama han hujan dan tidak hujan dalam [Km/jam]	Arah
1988-1994	3.08	Barat	3.65	Barat
1995-1998	7.09	Barat	7.83	Barat

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisa data keasaman air hujan, SPM dan data angin bisa ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Keasaman air hujan di Bandung dari tahun 1988 sampai dengan tahun 1998 cenderung bertambah dan Bandung sudah mengalami hujan asam dengan pH rata-rata 4.76.
- Karena gas NO_2 berumur 5 jam, dapat menempuh belasan hingga puluhan kilometer maka penyebaran polutan NO_2 (yang menjadi ion nitrat dalam air hujan dan menyebabkan air hujan menjadi asam) bersifat lokal, sedangkan sulfat yang berasal dari SO_2 karena penyebaran SO_2 dapat menempuh ribuan kilometer, sehingga keasaman air hujan yang disebabkan ion sulfat dapat bersifat regional.

- Dari logam alkali tanah yang berada dalam air hujan kota Bandung, berdasarkan Tabel 3-1 diduga sumber ion kalsium adalah lebih banyak daripada sumber ion magnesium di kota Bandung.
- Dari logam alkali yang berada dalam air hujan kota Bandung selama periode tahun 1995-1998, berdasarkan Tabel 3-2 (lihat arah angin lemah) diduga udara kota Bandung lebih banyak mengandung garam natrium daripada garam kalium.

DAFTAR RUJUKAN

- de Nevers, N.: 1995, *Air Pollution Control Engineering*, pp. 340-378, McGraw-Hill, Inc., Utah University.
- EPA : 1995, *Acid deposition standard feasibility sudy report to congress*, U.S. Environmental Agency Office of Air and Radiation Acid Rain Division, pp. 30-105.
- Harrison, R.M.: 1997, *Chemistry of the Troposphere*, pp. 169-170, Springer, Birmingham.
- Kimura, R., Tatehira, R., Nishida, A. : 1994, *Ujumaku taiki to umi*, Iwa nami syouten, p. 25, 1994.
- Michaelis, W. :1997, *Air Pollution (Dimensions, Trends and Interactions with a Forest Ecosystem)*, pp. 74-75, Springer, Geesthacht.
- Morgan, J.J.: 1982, *Factors governing the pH, availability of H^+ , and oxidation capacity of rain*, Atmospheric Chemistry, ed. E.D. Goldberg, p. 25, Dahlem konferenzen, Berlin.
- Sanusi, A., Wortham, H., Millet, M. and Mirabel, P. : 1996, *Chemical composition of rain water in Eastern France*, Atmospheric Environment, vol. 30, No. 1, pp. 63-65.