

## HUJAN ASAM DAN PERUBAHAN KADAR NITRAT DAN SULFAT DALAM AIR SUMUR DI WILAYAH INDUSTRI CIBINONG-CITEUREUP BOGOR

Sutanto dan Ani Iryani

Jurusan kimia FMIPA Universitas Pakuan,  
Jl. Pakuan, Bogor 16144, Indonesia

### ABSTRAK

HUJAN ASAM DAN PERUBAHAN KADAR NITRAT DAN SULFAT DALAM AIR SUMUR DI WILAYAH INDUSTRI CIBINONG-CITEUREUP BOGOR. Hujan asam dan perubahan kadar nitrat dan sulfat dalam air sumur di wilayah industri Cibinong-Citeureup Bogor. Wilayah industri Cibinong-Citeureup Bogor telah mengalami hujan asam. Salah satu dampak hujan asam adalah degradasi kualitas air sumur. Sebanyak 75% penduduk di wilayah ini mengkonsumsi air sumur untuk minum. Telah dipelajari dampak hujan asam terhadap perubahan kadar nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dan sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dalam air sumur pada daerah hujan asam intensitas tinggi ( $\text{pH} < 5,0$ ). Monitoring keasaman air hujan, kadar  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$  air hujan maupun air sumur dilakukan pada 9 lokasi dari tahun 1999 sampai 2009. Keasaman air hujan diukur menggunakan pH meter elektronik, kadar  $\text{NO}_3^-$  ditentukan dengan metoda brucin sulfat, dan kadar  $\text{SO}_4^{2-}$  ditentukan dengan metoda turbidimetri ( $\text{BaSO}_4$ ) menggunakan spektrofotometer UV-VIS. Dalam daerah hujan asam intensitas tinggi ini keasaman air hujan terus meningkat. Kadar nitrat dalam air hujan meningkat nyata ( $F_{\text{hit}} 1,61 > F_{\text{tabel}}; P 0,193 < \alpha 0,05$ ) tetapi kadar sulfat menurun meskipun tidak nyata ( $F_{\text{hit}} < F_{\text{tabel}}; P 0,721$ ). Meningkatnya kadar nitrat dalam air hujan menyebabkan peningkatan kadar nitrat dalam air sumur ( $r = 0,85$ ) secara nyata ( $F_{\text{hit}} 8,93 > F_{\text{tabel}}; P 0,000 < \alpha 0,05$ ).

Kata kunci: hujan asam, sulfat, nitrat, air sumur, Industri

### ABSTRACT

*ACID RAIN AND TREND OF NITRATE AND SULPHATE CONTAIN IN WELL WATER IN THE AREA OF CIBINONG-CITEUREUP BOGOR. In the industry area of Cibinong-Citeureup Bogor there has been an acid rain. One of the impact of acid rain is well water quality. About 75% people in this area consume well water for drinking. It was studied the acid rain impact of nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and sulphate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) trend contain in well waters in the area of high acid rain intensity ( $\text{pH} < 5,0$ ). The acidity of  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{SO}_4^{2-}$  of acid rain and well waters where monitored on 9 locations from the year of 1999 to 2009. The acidity (pH) was measured using electronic pH meter;  $\text{NO}_3^-$  was determined by brucine sulphate method, and  $\text{SO}_4^{2-}$  was determined by turbidimetry  $\text{BaSO}_4$  method using spectrophotometer UV-VIS. In the area of research has been continues high intensity acid rain and has decrease trend of pH. Nitrate contained in the rain water has an increased trend significantly ( $F 1,61 > F \text{ table}; P 0,193 < \alpha 0,05$ , but the sulphate contain has decrease trend not significantly ( $F_{\text{cal}} < F \text{ table}; P 0,721$ ). The nitrate contained in acid rain has increasing the nitrate contained in the well waters ( $r=0,8515$ ) significantly ( $F_{\text{cal}} 8,93 > F \text{ table}; P 0,000 < \alpha 0,05$ ).*

*Keywords: acid rain, leaching, Fe, well water, industry, Cibinong*

### PENDAHULUAN

Wilayah industri banyak dihasilkan polutan penyebab hujan asam. Polutan penting penyebab hujan asam adalah  $\text{NO}_x$  dan  $\text{SO}_x$  [6]. Kedua polutan ini dengan adanya oksidan di atmosfer dan awan dapat terkonversi menjadi asam nitrat dan asam sulfat. Asam-asam terbawa oleh air hujan turun ke bumi dan dapat meresap ke dalam tanah, akhirnya masuk ke dalam sumur. Air sumur merupakan salah satu sumber air minum yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Di wilayah industri Cibinong-Citeureup Kabupaten Bogor sebanyak 75,63% penduduk di wilayah penelitian mengkonsumsi air tanah/air sumur [3]. Pada tahun 1999 air sumur penduduk memiliki rata-rata konsentrasi nitrat 0,25

ppm [12], dan pada tahun 2001 terukur rata-rata kadar nitrat 6,19 ppm [5]. Hal ini mengindikasikan bahwa kadar nitrat dalam air sumur terjadi peningkatan dalam kurun waktu 2 tahun. Peningkatan kadar nitrat ini tidak terlepas dari peningkatan kadar nitrat dalam air hujan. Kadar nitrat dalam air hujan di wilayah industri Cibinong-Citeureup mencapai rata-rata 0,550 ppm [12]. Pada tahun 2001 kadar nitrat mencapai 3,33 ppm [5].

Kadar nitrat dalam air minum yang tinggi dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Knobloch [9] menemukan kasus penyakit *Blue Baby syndrome* atau methemoglobinemia. Gejala penyakit ini disebabkan oleh karena besi II dalam darah (hemoglobin) sebagai inti sel darah merah teroksidasi oleh nitrat menjadi besi III (methemoglobin) sehingga darah tak dapat mengangkut oksigen. Menurut Permenkes No. 416/MENKES/PER/IX/1990 dan Peraturan Pemerintah RI PP No. 82 tahun 2001 klas I yaitu air yang dapat diminum nilai ambang batas atau baku mutu kadar nitrat sebesar 10 mg/L, namun demikian jika kadar nitrat dalam air sumur sudah mencapai 3 mg/L harus dilakukan pemantauan setiap tahun.

Kandungan nitrat dalam air sumur dapat berasal dari berbagai sumber. Apabila sumur berada pada lokasi yang tidak terbuka maka satu-satunya jalan masuk polutan kedalam air sumur adalah melewati tanah terbawa oleh air dan merembes masuk kedalam sumur. Pada tanah pertanian nitrat berasal dari pemupukan tanaman dengan ure atau ammonium nitrat. Pupuk ini sebagian diserap oleh akar tanaman untuk pertumbuhan, dan sebagian lagi tercuci dan berpindah ke tempat lain (*leaching*). Jumlah Nitrat ter-*leaching* dipengaruhi oleh jumlah pupuk yang diberikan dan curah hujan, atau air irigasi, dan jenis tanaman. Pada tanaman kapas nitrogen ter-*leaching* dapat mencapai antara 45-55% dari jumlah pupuk yang diberikan [15]. Musim juga berpengaruh terhadap *leaching* nitrogen [7], hal ini berhubungan dengan curah hujan. Pada daerah non pertanian sumber nitrat adalah polusi udara yaitu gas NO<sub>x</sub>. Sumber NO<sub>x</sub> dari aktifitas manusia diantaranya adalah kendaraan bermotor, mesin stationer putaran tinggi yang menghasilkan panas tinggi. Gas NO<sub>x</sub> (N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> dan sebagainya) terbentuk karena pembakaran (panas tinggi) yang melibatkan gas Nitrogen (N<sub>2</sub>). Gas NO<sub>x</sub> diudara dengan adanya oksidan dan uap air diubah menjadi asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan turun bersama air hujan. Dengan demikian kandungan asam nitrat dalam air hujan merupakan sumber nitrat dalam air sumur. Efe *et al.* [7] mempelajari kandungan nitrat dalam air sumur terbuka dan air sumur bor dan mendapatkan bahwa kadar nitrat dalam air sumur dipengaruhi oleh musim, dalam hal ini curah hujan.

Di atmosfer dengan adanya oksidan dan uap air, gas SO<sub>x</sub> akan bereaksi membentuk asam sulfat [6]. Gas SO<sub>x</sub> bersumber dari pembakaran bahan bakar fosil (minyak bumi dan batubara) khususnya pada kegiatan PLTU batubara (*power plants*). Namun demikian semakin berkembangnya teknologi desulfurisasi pada berbagai industri deposisi sulfur semakin menurun mencapai sekitar 16,5 kg/ha/tahun. Dengan demikian diramalkan pada tahun 2010 deposisi sulfur tak lagi berdampak pada lingkungan. Perkembangan pertumbuhan lalu lintas dapat menaikkan trend deposisi nitrogen dari 15,4 kg/ha/tahun pada tahun 1990 menjadi 25,7 kg/ha/tahun pada tahun 2001. Jika trend ini berlangsung terus maka deposisi nitrogen akan mencapai 37,8 kg/ha/tahun pada tahun 2015 yang berarti nitrogen memegang peran penting dalam hujan asam [9].

Kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin merupakan salah satu sumber polutan SO<sub>x</sub>. Berdasarkan spesifikasi bahan bakar bensin dengan kadar belerang mencapai 0,2 % [8], dapat dihitung bahwa setiap satu liter bensin akan menghasilkan 1-2 kg gas CO<sub>2</sub>, 0,05-1,5 g Pb, 1-2 g SO<sub>2</sub> dan sejumlah kecil hidrokarbon (HC) khususnya senyawa poliaromatik. Hasil analisis minyak solar menunjukkan kadar belerang antara 0,14-0,33 % bobot [11] yang berarti bahwa minyak solar dalam menyumbang SO<sub>2</sub> di udara tidak jauh berbeda dengan bensin.

Air hujan yang terpolusi oleh gas SO<sub>x</sub> akan membentuk asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) yang dapat menyebabkan hujan asam, dan merupakan input sulfat penting yang dapat menyebabkan perubahan kadar sulfat dalam air sumur. Keberadaan SO<sub>4</sub><sup>=</sup> dalam air sumur tidak cukup membahayakan karena ion ini cukup stabil tidak mudah beraksi secara kimia. Namun demikian dalam jumlah yang berlebihan dapat mempengaruhi rasa. Untuk keperluan air minum, air sumur harus, memenuhi syarat air bersih Permenkes No. 416/MENKES /PER/IX/1990 yaitu kadar maksimum SO<sub>4</sub><sup>=</sup> 400 mg/L.

Penelitian ini bertujuan: (1), memantau dan mengevaluasi keasaman dan keberadaan nitrat dan sulfat dalam air hujan dan air sumur, (2) menentukan pola perubahan kadar nitrat dan sulfat dalam air sumur di wilayah industri, (3) menentukan persamaan yang menghubungkan antara kadar nitrat atau sulfat dalam air hujan dengan kadar nitrat atau sulfat dalam air sumur. dengan studi kasus di wilayah industri Cibinong-Citeureup Kabupaten Bogor.

## TATA KERJA

Penelitian ini melibatkan data sekunder dari penelitian sebelumnya (data tahun, 1999, dan 2001) yang telah dipublikasikan dan data primer pengamatan tahun 2006, 2008, dan 2009. Lokasi penelitian adalah Kabupaten Bogor meliputi Kecamatan Cibinong, Kecamatan Citeureup, dan Kecamatan Gunung Putri, dengan luas cakupan wilayah penelitian 15 km<sup>2</sup>.

Peralatan meliputi: botol/jerigen sampling kapasitas 2 liter, alat penampung air hujan dari plastik, pH meter (LUTRON), spektrofotometer UV-VIS (Thermo Scientific, tipe Genesys 10V), neraca analitik, penangas air, dan peralatan gelas lainnya. Bahan-bahan yang digunakan adalah: asam sulfat, kertas pH, larutan buffer (pH 4, 7 dan 10), air suling, akuabides, KNO<sub>3</sub> pa, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pa, brucin sulfat, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> p pa, HNO<sub>3</sub> p. dan BaCl<sub>2</sub>.

## Monitoring dan Evaluasi Hujan Asam

Analisis kimia merujuk pada APHA (2005) [1]. Sampling air hujan dilakukan pada 30 menit pertama kemudian dibagi 2, masing-masing diawetkan dengan asam nitrat pekat sampai pH 2, dan sebagian lagi diawetkan dengan asam sulfat pekat sampai pH 2. Sampel yang diawetkan dengan asam sulfat digunakan untuk analisis kadar nitrat, dan sampel yang diawetkan dengan asam nitrat digunakan untuk analisis kadar sulfat.

Pengukuran Kadar Nitrat (APHA, 419 D) [1]: Pengukuran kadar nitrat dilakukan dengan metoda brucin sulfat menggunakan peralatan spektrofotometer. Ion nitrat dalam air sampel diwarnai dengan larutan brucin pada kondisi asam sulfat (pH ± 2) dan suhu tinggi hampir mendidih. Warna kuning intensif reaksi brucin nitrat diukur serapannya pada panjang gelombang 410 nm.

Pengukuran Kadar SO<sub>4</sub><sup>=</sup> (APHA, 427 C) [1]: Pengukuran kadar nitrat dilakukan dengan metoda turbidimetri menggunakan peralatan spektrofotometer. Ion SO<sub>4</sub><sup>=</sup> dalam air sample direaksikan dengan BaCl<sub>2</sub> pada kondisi asam dan didiamkan selama 5 menit. Tingkat kekeruhan suspensi diukur serapannya pada panjang gelombang 420 nm.

## Menentukan Pola kecenderungan Peningkatan kadar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan SO<sub>4</sub><sup>=</sup> Air Sumur

Nilai rata-rata kadar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> atau SO<sub>4</sub><sup>=</sup> air sumur pada wilayah penelitian dari tahun 1999 sampai 2009 diplot terhadap waktu dan ditentukan persamaan matematika sehingga diperoleh pola kecenderungan peningkatan rata-rata kadar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> atau SO<sub>4</sub><sup>=</sup> air sumur terhadap waktu. Untuk maksud ini dilakukan dengan bantuan komputer program excel.

## Menentukan hubungan matematik kadar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan SO<sub>4</sub><sup>=</sup> air hujan dengan kadar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan SO<sub>4</sub><sup>=</sup> Air Sumur

Hasil analisis rata-rata kadar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan SO<sub>4</sub><sup>=</sup> air sumur dan air hujan masing-masing di kelompokkan sehingga diperoleh data series dari tahun 1999, 2001, 2006, 2008, dan 2009. Setiap data series setiap parameter dibuat plot antara parameter air sumur vs parameter air hujan pada 5 kali pengamatan (dalam kurun waktu 10 tahun) dengan menggunakan bantuan program komputer excel/minitab baik untuk mendapatkan persamaan matematik kurva, nilai korelasi, dan visualisasi grafik. Interpretasi korelasi didasarkan pada koefisien korelasi. Korelasi dianggap baik jika nilai koefisien korelasi > 0,70 dan yang dapat menyatakan bahwa kualitas air sumur benar-benar dipengaruhi oleh kualitas air hujan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil pemantauan dan evaluasi keasaman dan keberadaan nitrat dan sulfat dalam air hujan dan air sumur

#### Keasaman Air Hujan

Keasaman air hujan rata-rata berubah dari 5.00 pada tahun 1999 menjadi 4,77 pada tahun 2009. Perubahan pH air hujan menunjukkan adanya perubahan kadar polutan di udara. Semakin menurunnya pH berarti semakin tinggi kadar polutan penyebab asam, salah satunya adalah meningkatnya kadar nitrat dalam air hujan. Gambar 1 memperlihatkan perubahan rata-rata pH air hujan yang semakin menurun.

### Kadar nitrat dalam air hujan

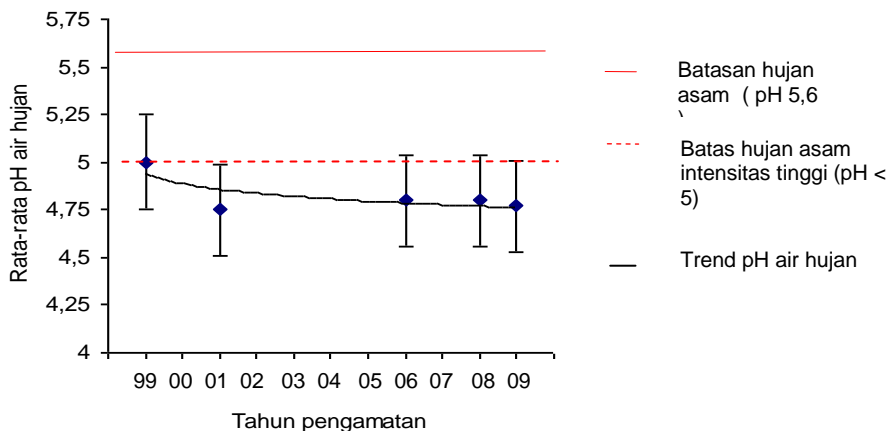
Hasil pemantauan kualitas air hujan di wilayah penelitian menunjukkan kadar nitrat berkisar antara 0,0152 sampai 30,925 mg/l. Rata-rata tahunan kadar nitrat pada daerah yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi disajikan pada Tabel 1. Rata-rata kadar nitrat tahunan selama 10 tahun terakhir cenderung meningkat dari 0,405 mg/L menjadi 5,284 mg/L. Peningkatan kadar nitrat dalam air hujan ini signifikan ( $F_{1,61} < F_{\text{tabel}}$ ;  $P_{0,193} < \alpha_{0,05}$ ) disebabkan oleh tingginya kadar  $\text{NO}_2$  diudara dan kadar ozon sebagai oksidan dalam reaksi pembentukan asam nitrat bersama air hujan. Kadar  $\text{NO}_2$  di daerah hujan asam intensitas tinggi antara 36,44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sampai 709,3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  dan kadar ozon antara 5,13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sampai 27,14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [4]. Reaksi pembentukan nitrat dalam air hujan dapat dinyatakan dengan reaksi sebagai berikut :

### Kadar sulfat dalam air hujan

Rerata kadar sulfat dalam air hujan cenderung menurun dari tahun ke tahun yaitu mengalami penurunan dari 4,953 mg/L pada tahun 1999 menjadi 3,547 mg/L pada tahun 2009 (Tabel 2),. Hasil uji statistik perubahan rata-rata penurunan tidak signifikan ( $F_{\text{hit}} 0,73 < F_{\text{tabel}}$ , dan  $P_{0,540} > \alpha_{0,05}$ )

Keasaman air hujan meningkat atau pH air hujan di daerah ini cenderung menurun. Tingkat keasaman air hujan salah satunya ditentukan oleh kandungan sulfat yang mencerminkan terbentuknya asam sulfat di atmosfer akibat adanya polusi  $\text{SO}_2$ . Dengan semakin menurunnya kadar sulfat dalam air hujan akan tetapi keasaman air hujan semakin meningkat (pH semakin menurun) menunjukkan bahwa sulfat bukan merupakan satu-satunya penentu keasaman air hujan, namun kandungan nitrat dalam air hujan lebih dominan dalam penentuan keasaman air hujan.

Industri yang melibatkan pembakaran suhu tinggi (seperti industri semen) menghasilkan polutan  $\text{NO}_x$  tinggi akibat ikut terbakarnya nitrogen dalam udara. Selain itu industri juga menjadi penyebab cepatnya pertumbuhan kendaraan bermotor karena kebutuhan akan transportasi, baik transportasi barang/produk industri maupun transportasi pekerja industri. Kendaraan bermotor yang berbasis mesin/motor bakar menghasilkan gas  $\text{NO}_x$  dari ruang bakar akibat pembakaran udara (78% gas nitrogen) beserta bahan bakar berupa bensin atau solar dengan rasio udara : bahan bakar = 100 : 1. Fenomena ini juga didukung dengan pertambahan jumlah kendaraan yang cukup fantastik di Bogor, menurut catatan POLWIL Bogor jumlah kendaraan meningkat dari 49808 (1998) menjadi 56296 (2000) dan menjadi 136222 (2005), akhirnya menjadi 200139 unit (2008). Menurut HRKAL *et al.* [9] perkembangan pertumbuhan lalu lintas dapat menaikkan trend deposisi nitrogen dari 15,4 kg/ha/tahun pada tahun 1990 menjadi 25,7 kg/ha/tahun pada tahun 2001. Jika trend ini berlangsung terus maka deposisi nitrogen akan mencapai 37,8 kg/ha/tahun pada tahun 2015 yang berarti nitrogen memegang peran penting dalam hujan asam.



**Gambar 1.** Pola perubahan rata-rata keasaman (pH) air hujan di wilayah industri Cibinong-Citeureup Bogor dari tahun 1999 sampai tahun 2009.

**Tabel 1.** Rata-rata kadar nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dalam air hujan pada daerah yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi di wilayah industri Cibinong-Citeureup Kabupaten Bogor

Lokasi Sampling	Kadar $\text{NO}_3^-$ (mg/L)				
	1999 <sup>[12]</sup>	2001 <sup>[5]</sup>	2006	2008	2009
Kr.Asem Barat	0.156	0.426	0.799	0.885	6.825
Puspasari	0.239	2.754	-	-	4.58
Kranggan	0.159	0.234	-	0.565	2.575
Kr.Asem Timur	1.169	-	9.550	30.925	11.45
Puspanegara	1.39	1.522	2.042	1.175	4.2
Gn. Putri	0.143	5.475	-	-	3.95
Tlajung Udik	0.022	0.152	-	0.925	3.45
Ps.Citeureup	0.015	3.906	4.889	5.175	5.325
ITC CCibinong	0.355	6.131	7.530	1.425	3.825
<b>Rata-rata</b>	<b>0.405</b>	<b>3.018</b>	<b>4.962</b>	<b>5.868</b>	<b>5.284</b>

Keterangan : - tidak diukur /missing data

#### Kadar nitrat dalam air sumur

Hasil analisis kadar nitrat air sumur disajikan pada Tabel 3. Dari tabel ini nampak bahwa kadar nitrat dalam air sumur di wilayah penelitian tertinggi 10,550mg/L. Kadar nitrat dalam air sumur secara keseluruhan memenuhi persyaratan kualitas air minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/PER/IX/1990 dan Peraturan Pemerintah RI PP No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air klas I bahwa nilai ambang batas atau baku mutu kadar nitrat 10 mg/L, kecuali pada desa Gunung Putri tahun 2009. Meskipun demikian dari tahun ketahun kadar nitrat dalam air sumur terus meningkat. Rata-rata kadar nitrat air sumur meningkat hampir 4 kali lipat dari tahun 1999 sampai tahun 2008. Hasil uji statistik peningkatan ini cukup signifikan ( $F$  hitung 8,93 >  $F$  tabel;  $P$  0,000). Peningkatan kadar nitrat dalam air sumur ini disebabkan oleh meningkatnya kadar nitrat dalam air hujan ( $r = 0,9$ ).

**Tabel 2.** Rata-rata kadar sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) dalam air hujan pada daerah yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi di wilayah industri Cibinong-Citeureup Kabupaten Bogor

Lokasi sampling	Kadar $\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)			
	1999 <sup>[12]</sup>	2001 <sup>[5]</sup>	2008	2009
Tol Citeureup	3.360	0.899	3.093	2.293
Puspasari	4.960	1.798	-	2.120
Kranggan G. Putri	6.540	11.364	-	9.567
Kr.Asem Timur	3.890	-	2.693	3.360
Puspanegara	7.610	9.434	5.360	4.960
Tol Gn. Putri	3.890	3.034	3.627	4.827
Tlajung Udik	1.060	0.899	-	-
Ps.Citeureup	8.320	5.556	2.427	3.770
Sukahati	-	-	1.493	2.490
ITC Cibinong	-	1.011	1.227	2.293
<b>Rata-rata</b>	<b>4.953</b>	<b>4.249</b>	<b>2.846</b>	<b>3.547</b>

Keterangan : - tidak diukur /missing data

**Tabel 3.** Rata-rata kadar nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) dalam air sumur pada daerah yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi di wilayah industri Cibinong- Citeureup Kabupaten Bogor

Lokasi sampling	Konsentrasi $\text{NO}_3^-$ (mg/L)					
	1999 <sup>[12]</sup>	2001 <sup>[5]</sup>	2008 (I)	2008 (II)	2009 (I)	2009 (II)
Karangasem Barat	0.292	0.299	1.593	2.213	-	7.988
Kranggan,	0.253	0.286	0.941	1.725	1.000	2.550
Puspanegara I	0.223	0.281	0.771	4.175	4.125	5.925
Puspanegara II	0.264	0.349	0.381	3.963	-	4.175
Tarikolot, Tajur	-	1.295	1.627	8.800	9.050	1.363
Desa G.Putri	0.154	0.336	0.559	2.075	3.225	10.550
Tlajung Udik. G. Putri	0.275	1.027	-	9.175	8.675	8.113
ITC Cibinong	0.292	0.162	0.720	1.925	1.788	6.925
Rata-rata	0.250	0.504	0.942	4.256	4.644	5.947

Keterangan: ((I) =sampling bulan Juni-Juli, II) sampling bulan basah (Desember-Januari)  
- Tidak diukur

**Tabel 4.** Rata-rata kadar sulfat ( $\text{SO}_4^{=}$ ) air sumur pada daerah yang sering mengalami hujan asam tinggi di wilayah industri Cibinong-Citeureup Kabupaten Bogor

Lokasi sampling	Konsentrasi $\text{SO}_4^{=}$ (mg/L)					
	1999 <sup>[12]</sup>	2001 <sup>[5]</sup>	2008 (I)	2008 (II)	2009 (I)	2009 (II)
Karangasem Barat	-	46.218	91.753	-	8.693	66.693
Kranggan,	-	18.868	6.598	-	12.693	6.960
Puspanegara 1	10.912	46.218	148.454	47.360	22.027	6.960
Puspanegara II	67.045	42.857	20.515	18.027	-	54.027
Jl. Raya G.Putri	72.586	42.017	22.062	50.960	34.293	7.627
Tlajung Udik (G. Putri)	4.426	16.981	9.887	9.887	-	1.360
ITC Cibinong	5.311	10.84	13.959	12.160	12.560	1.893
Rata-rata tahunan	32.056	43.731	24.966	27.311	19.480	20.789

Keterangan: (I) =sampling bulan Juni-Juli, II) sampling bulan basah (Desember-Januari)  
- =Tidak diukur

#### Kadar sulfat dalam air sumur

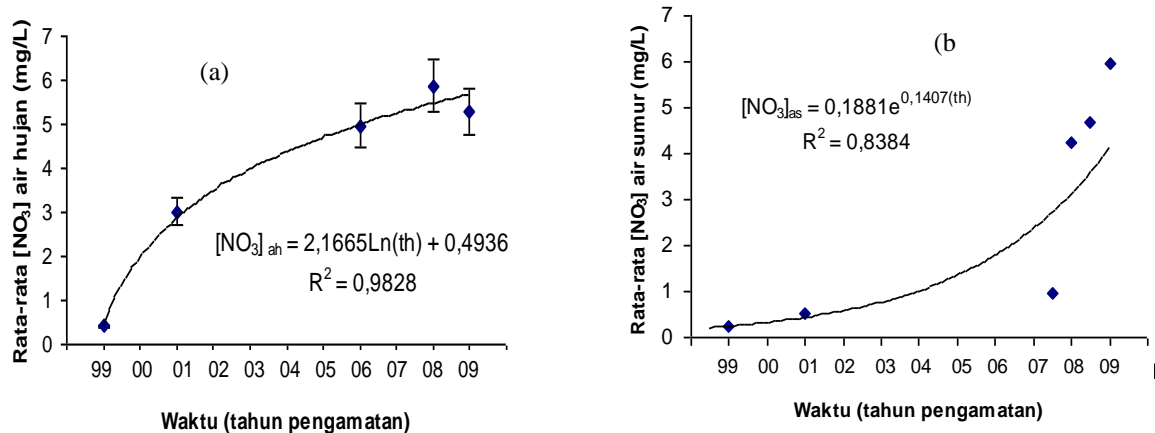
Kadar sulfat dalam air sumur disajikan pada Tabel 5. Kadar sulfat dalam air sumur tertinggi terukur sebesar 148,454 mg/L yaitu sampel air sumur Puspanegara pada tahun 2008, dan terendah sumur Gunung Putri sebesar 9,887 mg/L. Secara umum kualitas air sumur berdasarkan evaluasi kadar sulfat adalah memenuhi syarat menurut KepMenKES No. 416/MENKES/PER/IX/1990 dan Peraturan Pemerintah RI PP No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, bahwa nilai ambang batas yang diperbolehkan adalah 400 mg/L.

Rerata kadar sulfat dalam air sumur menurun dari 32,056 mg/L (1999) menjadi 20,789 mg/L (2009). Namun demikian perubahan ini tidak signifikan, hasil uji statistik menunjukkan  $F_{hit} < F_{tabel}$ ;  $P > 0,721$ . Hasil analisis kadar sulfat dalam tanah di daerah penelitian berkisar antara 1,2 mg/L sampai 6 mg/L jauh lebih rendah dari kadar sulfat dalam air sumur. Hal ini menunjukkan bahwa kadar sulfat dalam air sumur dominan berasal dari atmosfer, walaupun rata-rata kadar sulfat dalam air hujan masih kurang dari 10 mg/L (Tabel 2). Namun demikian tingginya kadar sulfat dalam air sumur tidak dapat dijelaskan dalam penelitian ini, dan memerlukan kajian lebih lanjut.

## Pola perubahan kadar nitrat dan sulfat dalam air hujan dan air sumur

### Pola perubahan kadar nitrat

Gambar 2(a) memperlihatkan pola perubahan rata-rata kadar nitrat dalam air hujan dan air sumur. Perubahan rata-rata kadar nitrat air hujan (mg/L) mengikuti persamaan  $[\text{NO}_3]_{\text{ah}} = 2,1665\text{Ln}(\text{th}) + 0,4936$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,9828$ .



**Gambar 2.** Kecenderungan rata-rata perubahan kadar nitrat dalam air hujan (a) (*error bars* 10%) dan pola perubahan kadar nitrat dalam air sumur (b) pada daerah yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi di wilayah industri Cibinong-Citeureup Kabupaten Bogor.

Pola perubahan kadar nitrat dalam air sumur pada daerah yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi mengikuti persamaan  $[\text{NO}_3]_{\text{as}} = 0,1881e^{0,1407(\text{th})}$   $R^2 = 0,84$ . Kenaikan kadar nitrat cukup tajam pada tahun 2009 hingga mencapai konsentrasi rata-rata 5,947 mg/L. Nilai koefisien determinasi atas persamaan tersebut 0,84 yang berarti menunjukkan hubungan yang cukup kuat peningkatan kadar nitrat dengan waktu. Artinya kadar nitrat semakin meningkat dari waktu ke waktu selama dalam kurun waktu pengamatan.

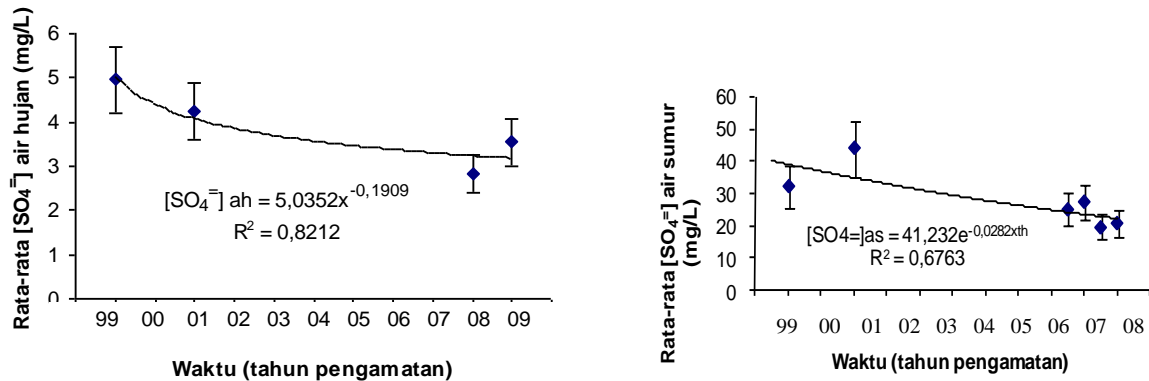
### Pola perubahan kadar sulfat

Pada daerah yang sering mengalami hujan asam rata-rata tahun kadar sulfat mengalami perubahan yang berbeda dengan perubahan kadar nitrat yang meningkat tetapi justru mengalami perubahan menurun. Fenomena ini sama dengan yang disinyalir oleh HRKAL *et al.*, [9] bahwa pada tahun 2015 nitrogen memegang peran penting dalam hujan asam. Penurunan kadar sulfat mengikuti persamaan  $[\text{SO}_4] = 51,296e^{-0,0299(\text{th})}$   $R^2 = 0,64$  seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Penurunan kadar sulfat ini secara umum disebabkan oleh penurunan kadar sulfat dalam air hujan, dengan korelasi linier positif,  $r = 0,70$ .

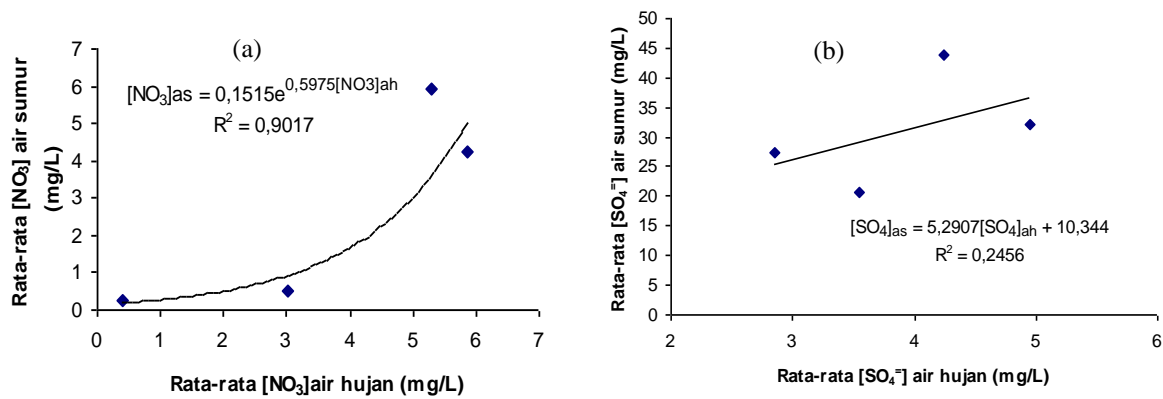
## Hubungan antara kadar nitrat dan sulfat dalam air sumur dan dalam air hujan

### Hubungan kadar nitrat dalam air sumur dan air hujan

Uji korelasi antara kadar nitrat dalam air hujan dan kadar nitrat dalam air sumur menghasilkan kurva regresi linier koefisien korelasi,  $r$  sebesar 0,74. Nilai koefisien korelasi ini menunjukkan bahwa kadar nitrat dalam air sumur tergantung kepada kadar nitrat dalam air hujan. Hal ini dapat dipahami karena air hujan jatuh kebumi dan merembes kedalam air sumur. Oleh karena itu hubungan antara keduanya sangat erat. Proses nitrifikasi yang terjadi dalam tanah dan menghasilkan nitrat sebagai penyumbang kadar nitrat dalam air sumur dalam hal ini tidak sebesar jumlah nitrat yang datang bersama air hujan.



Gambar 3. Pola perubahan kadar  $SO_4^-$  dalam air hujan (a) dan kadar  $SO_4^-$  dalam air sumur (b) pada daerah yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi di wilayah industri Cibinong-Citeureup Kabupaten Bogor (error bar 15% dan 20%).



Gambar 4. Hubungan kadar nitrat dalam air hujan terhadap kadar nitrat dalam air sumur (a) dan hubungan antara kadar sulfat dalam air hujan dan air sumur (b) pada daerah yang sering mengalami hujan asam intensitas tinggi di wilayah industri Cibinong-Citeureup kabupaten Bogor.

Artinya kadar nitrat dalam air sumur sangat dipengaruhi oleh kadar nitrat dalam air hujan. Hubungan matematik antara kadar nitrat (mg/L) dalam air sumur (as) dengan nitrat dalam air hujan (ah) mengikuti persamaan : Gambar 4 (a)  $[NO_3]_{as} = 0,1515e^{0,5975[NO_3]_{ah}}$  dengan koefisien determinasi,  $R^2 = 0,90$ .

**Hubungan kadar sulfat dalam air sumur dan air hujan**

Hubungan rata-rata kadar sulfat dalam air sumur ( $[SO_4^-]_{as}$  dalam mg/L) dengan rata-rata kadar sulfat dalam air hujan ( $[SO_4^-]_{ah}$  dalam mg/L) berkorelasi positif lemah dengan koefisien regresi linier,  $r = 0,50$ . Perubahan kadar sulfat air sumur dipengaruhi oleh kadar sulfat dalam air hujan mengikuti persamaan :  $[SO_4^-]_{as} = 5,29007[SO_4^-]_{ah} + 10,344$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,25$  (Gambar 4 (b)). Hal ini menunjukkan bahwa  $SO_4^-$  dalam air sumur tidak dipengaruhi oleh kadar  $SO_4^-$  dalam air hujan, tetapi kemungkinan disebabkan adanya ion sulfat dalam tanah.



## KESIMPULAN

Keasaman air hujan di wilayah penelitian semakin meningkat (pH semakin menurun). Kadar nitrat dalam air sumur dipengaruhi oleh kadar nitrat dalam air hujan ( $r=0,74$ ), dan kadar nitrat dalam air sumur dari tahun ke tahun meningkat secara nyata ( $F_h 8,93 > F_{tabel}$ ;  $P 0,0001 < \alpha 0,05$ ). Kadar sulfat air sumur tidak dipengaruhi oleh kadar sulfat air hujan ( $r=0,25$ ), dan menurun tidak nyata ( $F_{hit} < F_{tabel}$ ;  $P 0,721$ ).

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada DP2M Dikti atas hibah dana penbelian fundamental multi tahun yang diberikan dari DIPA No 0145.0/023-04.0/-/2008 dan DIPA No.0868.0/023-04.1/2009.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. APHA.: Standart methods for the examination of water and waste, 14<sup>ed</sup>. APHA. Washington D.C. (2005).
- [2]. BLH: Laporan kegiatan unit pelaksana teknis laboratorium lingkungan tahun 2009. Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Bogor (2009).
- [3]. BPS: Biro Pusat statistik. Kabupaten Bogor dalam Angka. BPS Kab. Bogor (2008).
- [4]. DTLH: Laporan pemantauan lingkungan hidup, Dinas tata ruang dan lingkungan hidup Kabupaten Bogor (2007).
- [5]. Iryani, A.: Pengaruh pencemaran udara terhadap kualitas air sumur penduduk (studi kasus air sumur penduduk wilayah industri Cibinong-Citeureup kab. Bogor Jawa Barat) . Tesis. UI. Jakarta (2002).
- [6]. Manahan, S.: Environment Chemistry, Lewis Publ. Boca Raton, (2005).
- [7]. Efe, S.I. Ogban, F.E., Horsfall, M. Jnr, Akporhonor, E.E. : Seasonal variations of physico-chemical characteristics in water resources quality in western Niger Delta Region, Nigeria. J. Appl.Sci. Environ. Mgt. Vol 9 No.1, 191-195 (2006).
- [8]. Haberle, J. Helena, K. Pavel, S. Jan, K.: The Change of Soil Mineral Nitrogen Observe on Farms between Autumn and Spring and Modelled with a Simple Leaching Equation, Soil & Water Res, Vol. 4, No.4, 159-167 (2009).
- [9]. HRKAL, Z. Hana, P. Dana, F.: Trends in Impact of Acidification on Groundwater Bodies in the Czech Republic: An Estimation of Atmospheric Deposition at the Horizon 2015, Journal of Atmospheric Chemistry Vol 53, 1-12 (2006).
- [10]. Knobeloch, L. Barbara, S. Adam, H. Jeffrey, P. Henry, A.: Blue Babies and Nitrate-Contaminated Well Water. Environmental Health Perspectives Volume 108, Number 7(2000).
- [11]. Pupung, P.L.: Pengaruh angka setana minyak solar terhadap kinerja mesin. Lembaran publikasi LEMIGAS Vol. 36 No.2,10-23 (2002).
- [12]. Sutanto, Eka, H. Ani, I. Budi, S.: Pemeriksaan kualitas air hujan di wilayah Cibinong-Citeureup Bogor, J. hasil penelitian, LPP univ, Pakuan, Bogor, 7-15 (2000).
- [13]. Sutanto, Ani, I. Yusnira: Profil hujan asam di wilayah industri Citeureup-Cibinong Bogor, Ekologia, Vol 2 No.2, 1-6 (2002).
- [14]. Sijabat O: Bahan Bakar Minyak Bensin (Bertimbel dan tidak bertimbel): Pengaruhnya terhadap Lingkungan dan Permasalahannya. Lembaran Publikasi Lemigas. Vol 37. No 2, 22-30 (2003).
- [15]. Yusron, M. dan Ian, R.P.: Nitrogen Leaching from urea and ammonium sulphate fertilizer under uncropped and cotton cropped conditions, Indonesian Journal of Crop Science, Vol 12. No.1, 23-29 (1997).