

# Estimasi Tingkat Keasaman Air Hujan (Ph) Akibat Absorpsi Gas NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>

Agusta Kurniawan

Stasiun Klimatologi Mlati, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika1; e-mail: agusta6872@gmail.com

## ABSTRAK

Sudah ditentukan perkiraan tingkat keasaman (pH) air hujan akibat pengaruh absorpsi gas-gas (NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>). Hukum Henry digunakan untuk menghitung besarnya gas yang terlarut dalam air hujan. Nilai korelasi pearson digunakan untuk membandingkan nilai estimasi tingkat keasaman (perhitungan) dibandingkan dengan nilai observasi (pengukuran). Hasil analisa menunjukkan bahwa tingkat keasaman (pH) air hujan akibat pengaruh absorpsi gas NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> tidak sesuai untuk memperkirakan tingkat keasaman (pH) air hujan pengukuran, dibuktikan hanya bulan Juli 2011 dari 24 bulan waktu perbandingan, R [SO<sub>2</sub>]=0.85 dan R [SO<sub>2</sub>+NO<sub>2</sub>]=-0.85, dimana nilai korelasi Pearson tinggi.

**Kata kunci:** SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, absorpsi, tingkat keasaman (pH), air hujan, Hukum Henry

## ABSTRACT

An estimate of the acidity (pH) of rainwater has been determined by the effect of absorption of gases (NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>). Henry's law is used to calculate the amount of gas dissolved in rainwater. Pearson correlation value is used to compare estimation values of acidity (calculation) compared with observation value (measurement). the analysis shows that the acidity (pH) of rainwater estimation due to the absorption of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> gases is not suitable to estimate the acidity (pH) of rainwater measurements, it's proved only in July 2011 from 24 months time of comparison, R [SO<sub>2</sub>] = 0.85 and R [SO<sub>2</sub> + NO<sub>2</sub>] = - 0.85, where the Pearson correlation value is high.

**Keywords:** SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, absorption, acidity (pH), rain water, Henry's Law

**Citation:** Kurniawan, A.(2019). Estimasi Tingkat Keasaman Air Hujan (pH) Akibat Absorpsi Gas NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>. Jurnal Ilmu Lingkungan, 17(3),399-407, doi:10.14710/jil.17.3.399-407

## 1. Latar Belakang

Penelitian ini dilakukan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang yang kemudian disebut SPAG Bukit Kototabang dalam tulisan ini. Pertimbangan pemilihan lokasi SPAG Bukit Kototabang sebagai lokasi penelitian adalah salah satu tempat referensi udara bersih (*background monitoring*). SPAG Bukit Kototabang secara geografis berada pada 100,32 Bujur Timur, 0,2 Lintang Selatan dan pada ketinggian 864,5 meter di atas permukaan laut. Bersihnya udara di SPAG Bukit Kototabang tercermin dari lokasinya yang jauh dari pemukiman penduduk sehingga minim dari aktivitas manusia terutama penduduk sekitar (kurniawan, 2010).

Salah satu komponen kunci siklus hidrologi dan yang memegang peranan utama dalam siklus larutnya substansi kimia di alam adalah air hujan. Peranan air hujan juga sebagai pencuci bahan-bahan pengotor di udara, dengan cara membawa polutan itu dari atmosfer ke permukaan tanah dan air (kurniawan, 2010).

### 1.1. Tingkat Keasaman (pH) (Andrews dkk.,1996)

Parameter fisik air hujan yang diamati salah satunya tingkat keasaman (pH). pH sesuai dengan definisinya adalah logaritma negatif dengan bilangan pokok sepuluh aktivitas ion hidrogen.

$$\text{pH} = -\log a\text{H}^+ \dots\dots\dots(1)$$

Pada larutan yang tidak pekat atau encer, aktivitas ion H<sup>+</sup> merupakan konsentrasi ion H<sup>+</sup>. Air hujan digolongkan dalam larutan tak pekat atau larutan encer, sehingga derajat keasaman air hujan dirumuskan sebagai

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \dots\dots\dots(2).$$

### 1.2.Kelarutan Gas Dalam air (Miroslav dan Vladimir, 1999)

Pelarutan gas dalam cairan didasarkan pada hukum Henry. Besarnya konstanta pelarutan gas dinyatakan sebagai konstanta Henry. Konstanta Henry dirumuskan sebagai

$$K_H = [Gs]_{(aq)} / P G_s,$$

$$P G_s = X \times P \text{ total} \dots\dots\dots(3)$$

dimana

$K_H$  :Konstanta Henry saat kondisi standar (suhu 25°C = 293,15K)

$[Gs]_{(aq)}$  :Konsentrasi gas dalam fasa larutan (M=Molar)

$P G_s$  :Tekanan parsial gas (atm)

$X$  :Fraksi Mol Gas (%)

$P \text{ total}$  :Tekanan tekanan udara ambien (atm)

Hasil percobaan menunjukkan bahwa temperatur berpengaruh terhadap besarnya kelarutan suatu gas, sesuai dengan formula berikut (Sander, 1999):

$$K_H^{-1} = K_H \times \exp\left(\frac{-\Delta H_{larutan}}{R} \times \left(\frac{1}{T^1} - \frac{1}{T}\right)\right) \dots\dots(4)$$

dimana

$K_H^{-1}$  :Konstanta Henry pada temperatur tertentu.

$K_H$  :Konstanta Henry pada kondisi standar (temperatur 25°C = 293,15 K).

$\Delta H_{larutan}$  : entalpi pelarutan

$$\left(\frac{\Delta H_{larutan}}{R}\right) : \text{hasil percobaan/eksperimen}$$

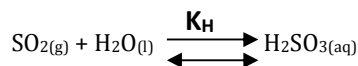
$T$  : temperatur standar (25°C= 293,15 K)

$T^1$  : temperatur tertentu (K)

### 1.3. Pengaruh Absorpsi Gas SO<sub>2</sub> (Miroslav dan Vladimir, 1999)

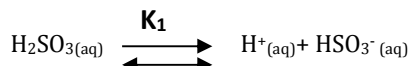
Pengaruh penyerapan gas SO<sub>2</sub> di udara terhadap derajat keasaman air hujan secara kimia adalah sebagai berikut:

Sulfurdioksida (SO<sub>2</sub>) cenderung memiliki konsentrasi kecil di udara, namun mempunyai konstanta disosiasi serta kelarutan dalam air yang besar.



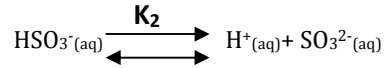
Konstanta Henry =

$$K_H = [H_2SO_3] / P SO_2 \dots\dots\dots(5)$$



Konstanta Disosiasi untuk H<sub>2</sub>SO<sub>3(aq)</sub>

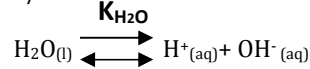
$$K_1 = [H^+] \times [HSO_3^-] / [H_2SO_3] \dots\dots(6)$$



Konstanta Disosiasi untuk HSO<sub>3<sup>-</sup>(aq)</sub>

$$K_2 = [H^+] \times [SO_3^{2-}] / [HSO_3^-] \dots\dots(7)$$

Selain itu air mengalami reaksi auto disosiasi/reaksi ionisasi air sendiri sendiri



Konstanta Disosiasi Air

$$K_{H_2O} = [H^+] \times [OH^-] / [H_2O] \dots\dots(8)$$

dimana

[ ] : kode konsentrasi

+ : kode muatan positif

- : kode muatan negatif

$P SO_2$  : Tekanan Parsial SO<sub>2</sub>

$K_H$  : Konstanta Henry

$K_1$  : Konstanta Disosiasi untuk H<sub>2</sub>SO<sub>3(aq)</sub>

$K_2$  : Konstanta Disosiasi untuk HSO<sub>3<sup>-</sup>(aq)</sub>

Larutan bersifat netral, sehingga terjadi keseimbangan muatan positif dan muatan negatif, artinya total muatan positif akan berjumlah sama dengan total muatan negatif.

$$\text{Muatan positif} = \text{Muatan negatif}$$

$$[H^+] = [OH^-] + [HSO_3^-] + [SO_3^{2-}] \dots\dots(9)$$

Oleh sebab larutan sifatnya asam, maka konsentrasi ion hidroksi [OH<sup>-</sup>] dapat dihilangkan, mengingat sumbangan ion hidroksi [OH<sup>-</sup>] terhadap kebasan larutan:

$$[H^+] \ll [OH^-] \dots\dots(10)$$

Dengan melihat nilai  $K_2 \ll K_1$ , maka nilai konsentrasi ion sulfat [SO<sub>3<sup>2-</sup></sub>] jauh lebih kecil dibandingkan dengan ion bisulfat [HSO<sub>3<sup>-</sup></sub>], maka konsentrasi ion sulfat dapat dieliminasi atau diabaikan

$$[SO_3^{2-}] \ll [HSO_3^-]$$

Eliminasi atau penghilangan komponen ion hidroksi [OH<sup>-</sup>] dan ion sulfat [SO<sub>3<sup>2-</sup></sub>], maka keseimbangan muatan larutan berubah dari persamaan 9 menjadi persamaan 11

$$[H^+] = [HSO_3^-] \dots\dots(11)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan 11 ke persamaan 6 dan menjadi persamaan 12.

$$K_1 = [H^+] \times [HSO_3^-] / [H_2SO_3]$$

$$= [H^+]^2 / [H_2SO_3]$$

$$[H^+] = \{ K_1 \times [H_2SO_3] \}^{0.5} \dots (12)$$

Besarnya konsentrasi  $[H_2SO_3]$  dapat dicari dari konstanta Henry

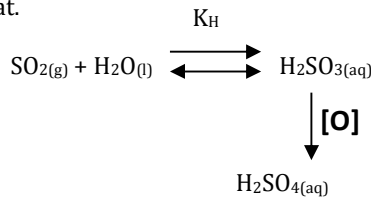
$$K_H = [H_2SO_3] / P SO_2, \text{ maka}$$

$$[H_2SO_3] = K_H \times P SO_2 \dots (13)$$

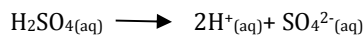
besarnya konsentrasi  $H^+$  dapat dicari dengan memasukkan persamaan 13 ke dalam persamaan 12 sehingga menjadi

$$[H^+] = \{ K_1 \times K_H \times P SO_2 \}^{0.5} \dots (14)$$

Dan bila gas  $SO_2$  mengalami oksidasi sempurna maka seluruh asam sulfat ( $H_2SO_3$ ) akan berubah menjadi asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Asam sulfat ( $H_2SO_3$ ) berbeda dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ), ( $H_2SO_3$ ) tergolong asam lemah, sedangkan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) tergolong asam kuat.



Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) diklasifikasikan sebagai asam kuat dan di dalam air akan terionisasi sempurna membentuk dua proton  $H^+$ . Sesuai dengan reaksi



Sehingga konsentrasi proton sama dengan dua kali konsentrasi asam sulfat.

$$\begin{aligned}
 [H^+]^1 &= 2 \times [H_2SO_4] = 2 \times [H_2SO_3] \\
 &= 2 \times [H^+] \dots (15)
 \end{aligned}$$

maka konsentrasi  $H^+$  akibat gas  $SO_2$  yang larut menjadi asam sulfat, dengan memasukkan persamaan 14 ke persamaan 15.

$$[H^+]^1 = [2 \times \{ K_1 \times K_H \times P SO_2 \}^{0.5}] \dots (16)$$

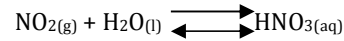
maka tingkat keasaman (pH) air hujan akibat gas  $SO_2$  yang larut menjadi asam sulfat, dengan memasukkan persamaan 16 ke persamaan 2, menjadi

$$pH = -^{10} \log [2 \times \{ K_1 \times K_H \times P SO_2 \}^{0.5}] \dots (17)$$

#### 1.4. Pengaruh Absorpsi Gas $NO_2$ (Miroslav dan Vladimir, 1999)

Pengaruh absorpsi gas  $NO_2$  di atmosfer terhadap pH air hujan secara kimia adalah sebagai berikut:

$NO_2$  memiliki kelarutan kecil dalam air, hal itu bisa terlihat dari nilai Konstanta Henry pelarutan gas  $NO_2$  dalam air sebesar  $1,0 \times 10^{-2} \text{ mol/atm}$ .



$$K_H = [HNO_3] / P NO_2$$

$$[HNO_3] = K_H \times P NO_2 \dots (18)$$

Asam nitrat ( $HNO_3$ ) diklasifikasikan sebagai asam kuat dan di dalam air akan terionisasi sempurna membentuk satu proton  $H^+$ , sesuai dengan reaksi



Sehingga konsentrasi proton sama dengan konsentrasi asam nitrat, konsentrasi proton dapat dicari dengan memasukkan persamaan 18.

$$[H^+] = [HNO_3]$$

$$[H^+] = K_H \times P NO_2 \dots (19)$$

maka tingkat keasaman (pH) air hujan akibat gas  $NO_2$  yang larut menjadi asam nitrat, dengan memasukkan persamaan 16 ke persamaan 2, menjadi

$$pH = -^{10} \log [K_H \times P NO_2] \dots (20)$$

#### 1.5. Penelitian mengenai polusi udara (khususnya emisi gas $SO_2$ dan $NO_2$ ) di berbagai lokasi di dunia

Penelitian mengenai emisi gas  $SO_2$  dan gas  $NO_2$  telah banyak dilakukan secara global, di antaranya Indonesia.

Penelitian mengenai hubungan trilateral antara emisi  $SO_2$  dan  $NO_2$  dengan ketidaksamaan intensitas energi, dan pertumbuhan ekonomi menggunakan persamaan data model simultan di 139 kota di India pada periode 2001-2013 diteliti oleh Sinha (2016).

Williston dkk. (2016) melakukan penelitian menilai resiko secara langsung dan tidak langsung pengaruh emisi  $SO_2$  dan  $NO_x$  terhadap ekosistem daratan dan ekosistem perairan di daerah tampungan air di Kitimat dan di Price Rupert, British Columbia, Canada akibat kenaikan kapasitas produksi industri gas alam cair (LNG).

Gersen dkk. (2014) melakukan pengukuran campuran gas  $H_2S$ ,  $SO_2$  dan  $NO_2$  dalam pelarut gas  $CO_2$  pada tekanan 1-40 bar menggunakan spektroskopi serapan pita lebar pada kisaran panjang gelombang Ultraviolet-Visibel.

Sudalma dkk. (2015) meneliti efek emisi  $SO_2$  dan  $NO_2$  yang berasal dari kendaraan bermotor (sumber bergerak/transportasi) dan cerobong pabrik (sumber tidak bergerak) terhadap

konsentrasi ion  $\text{SO}_4^{2-}$  dan ion  $\text{NO}_3^-$  dalam air hujan di daerah Semarang.

Kwak dkk. (2017) menyelidiki pengaruh intensitas hujan secara langsung dan tidak langsung terhadap konsentrasi polusi udara ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , dan  $\text{CO}$ ) berdasarkan perubahan volume kepadatan lalu lintas dan kecepatan kendaraan di Seoul menggunakan model path analysis.

Mallik C. dan Lal S. (2014) melakukan pemantauan lingkungan tentang karakteristik musiman (temporal dan spasial) dari emisi  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  dan  $\text{CO}$  di enam kota di Dataran Indo Gangetic, India (Delhi, Jodhpur, Kolkata, Durgapur, Guwahati, dan Nagpur).

Syafei dkk. (2015) melakukan penelitian analisis temporal dan spatial waktu puncak konsentrasi  $\text{NO}$  dan  $\text{NO}_2$  pada pagi dan siang hari di lima lokasi di kota Surabaya (Ketabang Kali, Perak, Sukomanunggal, Gayungsari, dan Sukolilo).

Noftri dkk. (2017) meneliti kualitas udara di lima lokasi di kota Palembang (Simpang Charitas, Perempatan Patal, Bundaran Masjid Agung, Simpang Lemabang, dan Perempatan Plaju) berdasarkan tiga parameter gas  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$ .

Rosario dan Francesco (2016) melakukan pemantauan kualitas udara di empat lokasi di kota Catania (Parco Gioeni, Piazza A. Moro, Viale Veneto, Librino) Italia berdasarkan parameter  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{SO}_2$ , serta membagi data menjadi beberapa klas interval sesuai dengan aturan Struge.

Mohamad dkk. (2015) melakukan penilaian awal identifikasi sumber-sumber polusi udara ( $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{SO}_2$ ) di beberapa lokasi (Port Klang, Petaling Jaya, Shah Alam dan Kuala Lumpur) di Klang Valley, Malaysia, menggunakan dua metode statistik yaitu analisa variansi (ANOVA) dan Principal Component Analysis (PCA).

Rivera dkk. (2015) meneliti distribusi spasial dan transport polutan  $\text{NO}_2$  di dua lokasi di Tijuana (area San Diego) menggunakan data pengamatan permukaan (*Differential Optical Absorption Spectroscopy* dan *NO/NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub> TS42C Analyzer*) dan pengamatan dari citra satelit *Aura* (data *OMI*).

Xiao dkk. (2018) melakukan pemantauan polusi udara ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  dan  $\text{CO}$ ) untuk mengetahui karakteristik spasial dan temporalnya di Kota Chengdu, Barat daya Cina, serta untuk mengetahui hubungan polusi udara tersebut dengan parameter meteorologi (suhu, tekanan, kelembaban udara, serta arah dan kecepatan angin).

Melihat terbatasnya penelitian yang membahas mengenai pengaruh polusi udara terhadap air hujan

khususnya pengaruh gas  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$  terhadap derajat keasaman air hujan, dalam lingkup deposisi basah (*wet deposition*), pada tulisan ini lebih memfokuskan mengukur besarnya tingkat keasaman air hujan akibat absorpsi gas  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$ , kemudian membandingkannya dengan nilai tingkat keasaman air hujan pengukuran.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Lokasi dan Data

Lokasi penelitian dilakukan di SPAG Bukit Kototabang (BMKG Sumatera Barat).

### 2.2. Pengukuran curah hujan dan pengukuran Tingkat Keasaman (pH) dari air hujan

Setiap hari bila ada hujan, air hujan diambil dari penakar hujan observasi (OBS). Sampel ini diukur tingkat keasamannya (pH) dengan pH meter Inolab pH level 1 (lihat gambar 1-atas). Pengukuran tingkat keasaman air hujan dilakukan dengan mencelupkan elektroda pH meter ke dalam sampel, nilai pH akan ditampilkan pada display alat. Pengukuran curah hujan digunakan gelas ukur 25 mm standar BMKG (khusus untuk penakar hujan dengan corong seluas  $100 \text{ cm}^2$ ).



Gambar 1 pH meter INOLAB pH Level (atas), Ultrapure Water System (bawah)

Sebagai control kualitas data hasil pengukuran, instrumen dikalibrasi dengan larutan buffer pH 4 dan buffer pH 7. Metode kalibrasi dipilih otomatis, tanpa ada pengaturan temperatur larutan. Cara

pengukurannya, larutan buffer pH 7 dan larutan buffer pH 4 secara bergantian dimasukkan ke gelas piala. Setelah itu dicatat nilai tegangan (mV) dan tingkat keasamannya (pH). Lalu nilai slope (mV/pH) yang terbaca dicatat. Instrumen berfungsi dengan baik bila nilai slope pada kisaran -60,5 sampai -58. Dan selama periode penelitian ini nilai slope masih berada pada kisaran tersebut.

Kontrol kualitas data selanjutnya adalah dengan meminimalkan kontaminasi pengukuran. Hal itu dilakukan dengan cara penggunaan akuades yang dikontrol dengan baik. Akuades sebagai pelarut dan pencuci alat-alat gelas dihasilkan dari instrumen *Ultrapure Water System*. Akuades keluaran alat ini memiliki daya hantar listrik/konduktivitas maksimum sampai  $0,055 \mu\text{Scm}^{-1}$ , sehingga kontaminasi sangat diminimalkan (Operator's Manual Ultra-Pure Water System Ultra Clear, 2005).

## 2.2. Pengukuran Konsentrasi Gas

Ada dua jenis gas yang diukur konsentrasinya dalam keadaan kering (mixing ratio = part permillion volume/ ppmv atau part perbillion volume/ppbv), yaitu gas  $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$ .



**Gambar 2**  $\text{NO}-\text{NO}_2-\text{NO}_x$  Analyzer TS42iTL (kiri atas),  $\text{SO}_2$  Analyzer TS43i-TLE (kanan atas), Dynamic Gas Calibrator TS146i (kiri bawah), Zero Air Supply TS111 (kanan bawah)

Data gas  $\text{SO}_2$  merupakan data rata-rata 5 menitan kemudian diolah menjadi agregat harian. *Rawdata* diambil dari instrumen *TS43i-Trace Level Enhance* menggunakan software iport dengan kabel RS232. Metode pengukuran yang digunakan instrumen ini adalah *UV Fluoresense*. Instrumen ini juga sudah dilengkapi dengan sistem kalibrasi (Kalibrator gas dengan tipe *Dynamic Gas Calibrator TS146i* dan Penghasil udara pengencer dengan tipe *Zero Air Supply TS111*) serta gas Standar  $\text{SO}_2$  (lihat gambar 2). Data gas  $\text{NO}_2$  merupakan data rata-rata 5 menitan kemudian diolah menjadi agregat harian. *Rawdata* diambil dari instrumen *TS42i-Trace Level* menggunakan software iport dengan kabel RS232. Metode pengukuran yang digunakan adalah *Chemiluminescence*. Instrumen ini juga sudah dilengkapi dengan sistem kalibrasi (Kalibrator gas dengan tipe *Dynamic Gas Calibrator TS146i* dan Penghasil udara pengencer dengan tipe *Zero Air*

*Supply TS111*) serta gas Standar  $\text{NO}_2$  (lihat gambar 2).

## 2.3. Kondisi udara ambien

Kondisi udara ambien, yaitu tekanan udara dan temperatur udara diperoleh dari data MAWS Vaisala (lihat gambar 3). *Rawdata* dengan resolusi 1 menitan diolah menjadi agregat data harian.



**Gambar 3** Meteorological Automatic Weather Station (MAWS) Vaisala di Stasiun Pemantau Atmosfer Global.

## 2.4. Skema besar penelitian

Pada artikel ini diasumsikan semua gas ( $\text{NO}_2$  dan  $\text{SO}_2$ ) larut sempurna dalam air hujan menjadi asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ). Besarnya derajat keasaman air hujan hasil perhitungan (estimasi) dibandingkan dengan derajat keasaman air hujan hasil pengukuran langsung. Nilai Korelasi Pearson sebagai alat statistik untuk melihat kesesuaian besarnya pH air hujan hasil estimasi dibandingkan dengan hasil pengukuran.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan data rata-rata harian. Perhitungan data dilakukan dengan asumsi semua gas larut sempurna dalam air hujan sesiaio dengan hukum Henry. Data konsentrasi gas kering atau mixing rasio dalam ppbv atau ppmv diubah menjadi fraksi mol dalam persen (%). Nilai tekanan parsial gas diperoleh dari fraksi mol gas dikalikan tekanan udara ambien saat itu. Data tekanan udara diperoleh dari MAWS Vaisala dan dibuat agregat harian. Fase gas diubah menjadi fase larutan dengan menggunakan Hukum Henry, yang kemudian akan diperoleh konsentrasi ion hidrogen dalam larutan. Tingkat keasaman dinyatakan dengan  $\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$ .

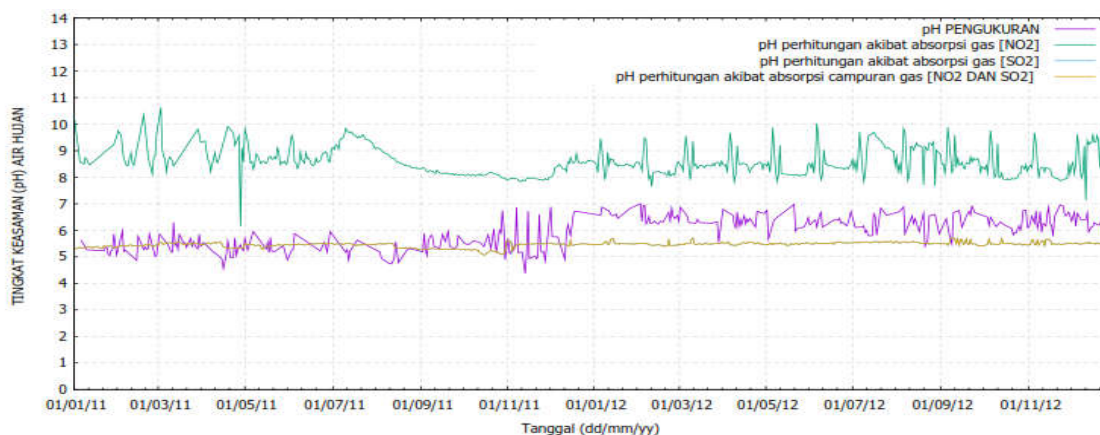
Data yang digunakan dalam tulisan ini adalah data 24 bulan, dari Januari 2011 sampai bulan Desember 2012. Data jumlah hari hujan bulanan dan curah hujan bulanan didapatkan dari penakar hujan OBS, data tekanan (P mbar) dan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) dari MAWS Vaisala. Selama 24 bulan, hari hujan

bervariasi dari 7 hari (bulan Juli 2011) sampai 25 hari (bulan September 2011, November 2011 dan November 2012).

Data pengukuran pH air hujan didapat dari penakar hujan Observasi, alat pengukur tingkat keasaman adalah pH meter Inolab pH level 1. Selama 24 bulan tersebut, jumlah hari hujan tidak sama dengan jumlah hari pengukuran pH, misalnya pada Januari 2011 terdapat 17 hari hujan, namun hanya 11 hari yang dapat diukur tingkat keasamannya (pH), disebabkan curah hujannya sangat sedikit (ttu: tidak

terukur) tidak mencukupi untuk tercelupnya elektroda pH.

Sedangkan data temperatur dan data tekanan, karena didapatkan dari alat otomatis yaitu MAWS Vaisala, maka banyaknya data hampir mendekati 100 %, artinya jumlah hari pada bulan itu sama dengan dengan jumlah hari banyaknya data. Kehilangan data selama 1 hari biasanya disebabkan kesalahan teknis, misalnya data logger penuh, listrik mati, baterai kehabisan tegangan.



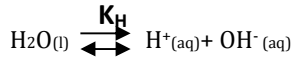
**Gambar 4** Tingkat keasaman (pH) air hujan harian hasil pengukuran langsung dan hasil estimasi (perhitungan akibat absorpsi gas NO<sub>2</sub>, perhitungan akibat absorpsi gas SO<sub>2</sub>, perhitungan akibat absorpsi campuran gas NO<sub>2</sub> dan gas SO<sub>2</sub>) di SPAG Bukit Kototabang periode dari 1 Januari 2011 sampai 31 Desember 2012.

**Tabel 1.** Ketersediaan data (hari) selama 24 bulan, dari Januari 2011 sampai bulan Desember 2012

Bulan	P (hari)	T (hari)	Hari Hujan	pH (hari)	SO <sub>2</sub> (hari)	NO <sub>2</sub> (hari)	Curah Hujan (mm)
Janu-11	31	31	17	11	31	13	138.4
Febr-11	28	28	13	12	28	18	136.5
Mare-11	31	31	21	20	31	13	199.9
Apri-11	30	30	16	15	30	16	326.3
Mei-11	31	31	12	12	31	29	238.8
Juni-11	30	30	11	8	30	28	71
Juli-11	31	31	7	5	31	31	64.5
Agus-11	31	31	15	10	31	31	271.4
Sept-11	30	30	25	19	30	30	361
Okto-11	30	30	16	15	31	31	256
Nove-11	30	30	25	23	30	30	578.8
Dese-11	31	30	16	10	28	31	358.2
Janu-12	31	28	9	9	31	31	85.1
Febr-12	29	28	19	20	29	29	344.6
Mare-12	31	29	19	12	31	31	180.1
Apri-12	30	30	19	18	30	30	252.6
Mei-12	31	31	10	9	31	31	108.9
Juni-12	30	30	14	14	30	30	241.3
Juli-12	31	31	12	12	31	30	177.4
Agus-12	29	29	15	13	31	30	318.4
Sept-12	30	21	11	11	30	30	92.3
Okto-12	31	29	15	15	31	31	601.5
Nove-12	30	20	25	25	30	29	480.1
Dese-12	31	31	21	21	31	31	336.4

**3.1. Tingkat keasaman (pH) air hujan hasil absorpsi gas NO<sub>2</sub> (estimasi/perhitungan) dibandingkan dengan hasil pengukuran.**

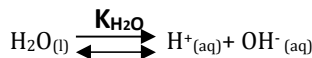
Selama periode pengukuran data dari 1 Januari 2011 sampai 31 Desember 2012, konsentrasi gas NO<sub>2</sub> harian di Bukit Kototabang sangat kecil dengan rata-rata harian 1.30 ppbv, minimum 0,01 ppbv dan maksimum 22.72 ppbv. konsentrasi gas NO<sub>2</sub> yang sangat kecil didukung dengan konstanta pelarutan gas NO<sub>2</sub> yang sangat kecil ternyata menghasilkan konsentrasi proton [H<sup>+</sup>] sangat kecil atau di bawah konsentrasi proton [H<sup>+</sup>] akibat disosiasi air (peruraian H<sub>2</sub>O menjadi H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup>).



[H<sup>+</sup>]<sub>NO<sub>2</sub></sub> << [H<sup>+</sup>]<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, sehingga nilai tingkat keasaman air hujan perhitungan akibat absorpsi gas NO<sub>2</sub> selalu berada di atas pH 7, bahkan lebih besar daripada pH hasil pengukuran air hujan.

**3.2. Tingkat keasaman (pH) air hujan hasil absorpsi gas SO<sub>2</sub> (estimasi/perhitungan) dibandingkan dengan hasil pengukuran.**

Selama periode pengukuran data dari 1 Januari 2011 sampai 31 Desember 2012, konsentrasi gas SO<sub>2</sub> harian di Bukit Kototabang kecil dengan rata-rata harian 0.57 ppbv, minimum 0.28 ppbv dan maksimum 2.82 ppbv. Berbeda dengan gas NO<sub>2</sub>, gas SO<sub>2</sub> memiliki konstanta pelarutan dalam air besar sehingga menghasilkan konsentrasi proton [H<sup>+</sup>] lebih besar daripada konsentrasi proton [H<sup>+</sup>] akibat disosiasi air (peruraian H<sub>2</sub>O menjadi H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup>).



[H<sup>+</sup>]<sub>SO<sub>2</sub></sub> >> [H<sup>+</sup>]<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, sehingga nilai tingkat keasaman air hujan perhitungan akibat absorpsi gas SO<sub>2</sub> selalu berada di bawah pH 7 (pH akibat disosiasi air). Tingkat keasaman (pH) air hujan perhitungan akibat absorpsi gas SO<sub>2</sub> bervariasi bisa lebih besar atau lebih kecil daripada tingkat keasaman (pH) hasil pengukuran air hujan, tergantung konsentrasi gas SO<sub>2</sub> hariannya.

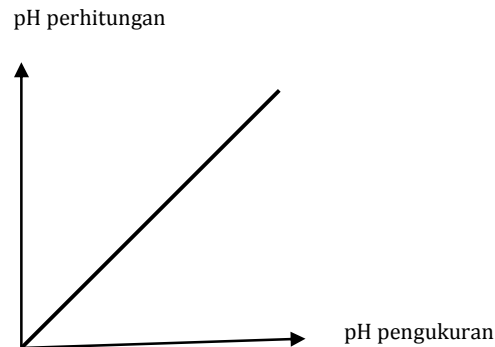
**3.3. Tingkat keasaman (pH) air hujan hasil absorpsi campuran gas NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> (estimasi/perhitungan) dibandingkan dengan hasil pengukuran.**

Selama periode pengukuran data dari 1 Januari 2011 sampai 31 Desember 2012, gas SO<sub>2</sub> memiliki konstanta pelarutan gas dalam air yang jauh lebih besar daripada gas NO<sub>2</sub>, sehingga konsentrasi proton [H<sup>+</sup>] yang dihasilkan campuran gas NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> dapat dikatakan sama dengan konsentrasi proton

[H<sup>+</sup>] yang dihasilkan oleh gas SO<sub>2</sub> saja, namun lebih besar daripada konsentrasi proton [H<sup>+</sup>] akibat disosiasi air (peruraian H<sub>2</sub>O menjadi H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup>).

[H<sup>+</sup>]<sub>NO<sub>2</sub>+SO<sub>2</sub></sub> ≅ [H<sup>+</sup>]<sub>SO<sub>2</sub></sub> > [H<sup>+</sup>]<sub>H<sub>2</sub>O</sub> > [H<sup>+</sup>]<sub>NO<sub>2</sub></sub>, sehingga nilai tingkat keasaman air hujan perhitungan akibat absorpsi campuran gas NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> sama dengan tingkat keasaman air hujan perhitungan akibat absorpsi campuran gas SO<sub>2</sub> (nilainya berhimpit), namun lebih besar daripada pH 7 (pH akibat disosiasi air), dan lebih besar daripada tingkat keasaman air hujan perhitungan akibat absorpsi campuran gas NO<sub>2</sub>. Tingkat keasaman (pH) air hujan perhitungan akibat absorpsi campuran gas NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> sama dengan Tingkat keasaman (pH) air hujan perhitungan akibat absorpsi gas SO<sub>2</sub>, nilainya bervariasi bisa lebih besar atau lebih kecil daripada tingkat keasaman (pH) hasil pengukuran air hujan, tergantung konsentrasi gas hariannya.

**3.4. Evaluasi tingkat keasaman (pH) air hujan hasil estimasi dengan hasil pengukuran.**



Gambar 5 Penilaian kesesuaian antara pH pengukuran dengan pH perhitungan (estimasi)

Untuk melihat pengaruh gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> terhadap tingkat keasaman air hujan pengukuran digunakan nilai korelasi Pearson (r) antara nilai pH perhitungan dengan pH pengukuran.

Penilaian kesesuaian berdasarkan nilai r. Semakin linier (-1 < r < 1), berarti nilai pH perhitungan mendekati pH pengukuran.

Dengan melihat nilai korelasi tingkat keasaman air hujan (pH) antara nilai pengukuran dengan nilai perhitungan/ estimasi (lihat tabel 2) yang secara umum begitu rendah (hanya satu bulan saja, yaitu Bulan Juli 2011 di mana nilai korelasi Pearson baik R=0.85 atau R=-0.85).

Lokasi Bukit Kototabang merupakan daerah yang masih bersih, ditunjukkan dengan konsentrasi gas SO<sub>2</sub> dan konsentrasi NO<sub>2</sub> harian yang kecil, dalam orde ppbv, hal itu membuat proton [H<sup>+</sup>] akan terlarut dalam air yang dihasilkan oleh absorpsi gas SO<sub>2</sub> dan konsentrasi NO<sub>2</sub> juga sangat kecil, membuat pH yang

dihasilkan tidak sesuai dengan pH air hujan pengukuran.

Hal itu menunjukkan derajat keasaman air hujan di SPAG Bukit Kototabang tidak hanya disebabkan oleh pelarutan gas SO<sub>2</sub> dan atau NO<sub>2</sub> ke dalam air hujan saja, yang membentuk asam-asam kuat asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) dan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>), masih ada komponen lain seperti gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>), garam asam dan garam basa, serta asam-asam lemah dan basa-basa lemah yang perlu diperhitungkan untuk menentukan konsentrasi proton [H<sup>+</sup>].

**Tabel 2.** Nilai Korelasi Pearson (R) antara tingkat keasaman (pH) air hujan antara estimasi dengan pengukuran, Januari 2011 sampai bulan Desember 2012

Bulan	Korelasi Pearson (R)		
	[NO <sub>2</sub> ]	[SO <sub>2</sub> ]	[SO <sub>2</sub> +NO <sub>2</sub> ]
Janu-11	-0.22	0.58	-0.58
Febr-11	-0.30	0.17	0.17
Mare-11	-0.16	0.00	0.00
Apri-11	-0.06	0.16	-0.16
Mei-11	0.08	0.14	0.14
Juni-11	-0.55	0.11	0.11
Juli-11	-0.64	0.85	-0.85
Agus-11	-0.38	0.52	-0.52
Sept-11	-0.19	0.38	0.38
Okto-11	-0.35	0.45	-0.45
Nove-11	0.24	0.07	-0.07
Dese-11	0.03	0.30	-0.30
Janu-12	0.08	0.42	-0.42
Febr-12	0.36	0.40	0.40
Mare-12	0.31	0.20	-0.20
Apri-12	0.47	0.29	0.29
Mei-12	0.00	0.27	-0.27
Juni-12	-0.38	0.08	0.08
Juli-12	0.18	0.63	0.63
Agus-12	-0.29	0.06	0.06
Sept-12	-0.11	0.44	-0.44
Okto-12	0.48	0.17	-0.17
Nove-12	-0.15	0.08	-0.08
Dese-12	-0.03	0.33	-0.33

#### 4. Kesimpulan

Tingkat keasaman (pH) air hujan perhitungan akibat absorpsi gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> ternyata tidak sesuai dengan tingkat keasaman (pH) air hujan pengukuran, hal itu dibuktikan dengan hanya pada Bulan Juli 2011, R [SO<sub>2</sub>]=0.85 dan R [SO<sub>2</sub>+NO<sub>2</sub>]=-0.85, hubungan tingkat keasaman air hujan di atas 0.8 dan di bawah -0.8. Masih ada komponen lain seperti gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>), garam asam dan garam basa,

serta asam-asam lemah dan basa-basa lemah yang perlu diperhitungkan untuk menentukan konsentrasi proton [H<sup>+</sup>].

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman staf SPAG Bukit Kototabang yang telah mengukur tingkat keasaman air hujan, terutama kepada Alberth Christian Nahas, M.CC yang juga telah melakukan kalibrasi terhadap instrumen SO<sub>2</sub> analyzer TS43i-Trace Level Enhance dan NO<sub>2</sub> analyzer TS42i-Trace Level. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Balai Besar Industri Agro (BBIA) yang telah mengkalibrasi pH Meter Inolab pH level 1. Tal lupa penulis banyak berterimakasih kepada teman-teman di Pusat Rekayasa Instrumentasi dan Kalibrasi, BMKG yang telah mengkalibrasi MAWS Vaisala di SPAG Bukit Kototabang. Penulis berterimakasih kepada auditor WMO (*World Meteorology Organization*), khususnya Dr Joerg Klausen (dari MeteoSwiss), Dr Christoph Zellweger dan Dr Martin S. (dari EMPA) yang telah mengaudit secara komprehensif SPAG Bukit Kototabang termasuk peralatan yang digunakan pada penelitian ini, yang hasilnya tertuang di dalam GAW Report.

Untuk Redaksi, Editor dan Mitra Bestari Jurnal Ilmu Lingkungan, penulis mengucapkan banyak terima kasih atas masukan dan kritik yang membangun.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agusta Kurniawan, 2010, *Verifikasi Data Hasil Pengukuran Dari Rain Water Sampler (RWS) dengan Penakar Hujan Observasi (OBS), di SPAG Bukit Kototabang Bulan Maret 2010*, Buletin Megasains, SPAG Bukit Kototabang
- J. E. Andrews, P. Brimblecombe, T. D. Jickells dan P. S. Liss, 1996. *An Introduction to Environmental Chemistry*, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Blackwell Sciences, UK
- R. Miroslav dan B. N. Vladimír, 1999. *Practical Environmental Analysis*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge
- Rolf Sander, 1999. *Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in Environmental Chemistry*, Air Chemistry Department, Max-Planck Institute of Chemistry, Version 3, Germany
- SG Wasseraufbereitung und Regenerierstation GmbH, 2005. *Operator's Manual Ultra-Pure Water System Ultra Clear*, Germany
- Avik Sinha, 2016. *Trilateral association between SO<sub>2</sub>/NO<sub>2</sub> emission, inequality in energy intensity, and economic growth: A case of Indian cities*, Atmospheric Pollution Research, pp 1-12, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2016.02.010>
- P. Williston, J. Aherne, S. Watmough, D. Marmorek, A. Hall, P. de la Cueva Bueno, C. Murray, A. Henolson, J.A. Laurence, 2016. *Critical levels and loads and the regulation of industrial emissions in northwest British Columbia, Canada*, Atmospheric Environment, 146, 311-323, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.08.058>
- Sander Gersen, Martijn van Essen, Pieter Visser, Mohammad Ahmad, Anatoli Mokhov, Alexey Sepman, Ramon Alberts, Arno Douma, and Howard Levinsky,



2014. *Detection of H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in CO at pressures ranging from 1-40 bar by using broadband absorption spectroscopy in the UV/VIS range*, Energy Procedia, 63, 2570–2582, doi: 10.1016/j.egypro.2014.11.279
- S. Sudalma, P. Purwanto, and Langgeng Wahyu Santoso, 2015. *The Effect of SO<sub>2</sub> and NO from Transportation and Stationary Emissions Sources to SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in Rain Water in Semarang*, Procedia Environmental Sciences, 23, 247–252, doi: 10.1016/j.proenv.2015.01.037
- Ha-Young Kwak, Joonho Ko, Seungho Lee, Chang-Hyeon Joh, 2017. *Identifying the correlation between rainfall, traffic flow performance and air pollution concentration in Seoul using a path analysis*, Transportation Research Procedia, 25, 3552-3563, doi: 10.1016/j.trpro.2017.05.288
- C. Mallik and S. Lal, 2014. *Seasonal characteristics of SO<sub>2</sub>, NO, and CO emissions in and around the Indo-Gangetic Plain*, Environ Monit Assess, 186, 1295–1310, DOI: 10.1007/s10661-013-3458-y
- Arie Dipareza Syafei, Akimasa Fujiwara, Junyi Zhang, 2015. *Temporal and spatial analysis of peak-concentration time for NO and NO<sub>2</sub> in morning and evening events: a case study of Surabaya city*, Procedia Environmental Sciences, 28, 509-518, doi:10.1016/j.proenv.2015.07.061
- Shelly Noftri, M. Faizal, and Risfidian Mohadi, 2017. *Air Quality Analysis of SO<sub>2</sub>, NO and CO in Palembang City*, Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry, 58-61, (<http://ijfac.unsri.ac.id>) DOI: 10.24845/ijfac.v2.i4.58
- Lanzafame Rosario, Scandura Pier Francesco, 2016. *Analysis and Characterization of the predominant pollutants in the Catania's air quality monitoring stations*, Energy Procedia, 101, 337-344, doi:10.1016/j.egypro.2016.11.043
- Nur Diyana Mohamad, Zulfa Hanan Ash'aari, Melawani Othman, 2015. *Preliminary assessment of air pollutant sources identification at selected monitoring stations in Klang Valley, Malaysia*, Procedia Environmental Sciences, 30, 121-126, doi:10.1016/j.proenv.2015.10.021
- Claudia Rivera, Wolfgang Stremme, Hugo Barrera, Martina M. Fliedrich, Michel Grutter, Jose Garcia-Yee, Ricardo Torres-Jardon, Luis Gerardo Ruiz-Suarez, 2015. *Spatial distribution and transport patterns of NO<sub>2</sub> in the Tijuana San Diego area*, Atmospheric Pollution Research, 6, 230-238, doi: 10.5094/APR.2015.027
- Kuang Xiao, Yuku Wang, Guang Wu, Bin Fu, and Yuanyuan Zhu, 2018. *Spatiotemporal Characteristics of Air Pollutants (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and CO) in the Inland Basin City of Chengdu, Southwest China*, Atmosphere, 9, 74, 1-16, doi:10.3390/atmos9020074 ([www.mdpi.com/journal/atmosphere](http://www.mdpi.com/journal/atmosphere))