

# PEMBUATAN MODEL SEDERHANA PENGARUH GAS CO<sub>2</sub>,SO<sub>2</sub> DAN NO<sub>2</sub> TERHADAP TINGKAT KEASAMAN AIR HUJAN

***Agusta Kurniawan***

*Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang BMKG  
Jl. Raya Bukittinggi-Medan Km.17, Palupuh, Kab.Agam, Sumatera Barat 26100  
E-mail: Agusta6872@gmail.com*

## **ABSTRAK**

*Telah dilakukan pembuatan model sederhana menggunakan pengaruh gas CO<sub>2</sub>,SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> terhadap tingkat keasaman (pH) air hujan. Pengukuran gas CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dilakukan dengan metode monitoring terus-menerus. Gas CO<sub>2</sub> diukur dengan instrumen Picarro analyzer G1301 dengan metode CRDS, gas NO<sub>2</sub> diukur dengan instrumen TS42-TL dengan metode Chemiluminescence, sedangkan gas SO<sub>2</sub> diukur dengan instrumen TS43i-TLE dengan metode UV Fluorescence. Dari tiga macam gas tersebut muncul 7 macam skenario model. Besarnya pengaruh gas CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub> dihitung, kemudian dibandingkan dengan pH air hujan observasi. Besarnya nilai Korelasi Pearson digunakan sebagai indikator pemilihan skenario model yang sesuai. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tingkat keasaman air hujan di SPAG Bukit Kototabang pada bulan April 2009 dipengaruhi oleh campuran gas CO<sub>2</sub> dan gas NO<sub>2</sub>, pada bulan Mei 2009 dipengaruhi oleh gas CO<sub>2</sub> saja, pada bulan Juni 2009 dipengaruhi oleh campuran gas CO<sub>2</sub> dan gas SO<sub>2</sub>. Data tingkat keasaman air hujan bulan April, Mei dan Juni 2009 dibandingkan dengan model ini mengkonfirmasi bahwa kondisi udara di lingkungan sekitar SPAG Bukit Kototabang masih bersih.*

**Kata Kunci :** CO<sub>2</sub>,SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CRDS, Chemiluminance

## **ABSTRACT**

*Simple model has been created using effect of CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> on the level of rain water acidity (pH). Measurement of gases (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub>) are conducted using continuous monitoring program. CO<sub>2</sub> is measured by Picarro G1301 analyzer with CRDS method, NO<sub>2</sub> is measured by TS42-TL analyzer with Chemiluminescence method, while SO<sub>2</sub> gas is measured with TS43i-TLE analyzer with UV Fluorescence method. Three kinds of gas make 7 different scenario models. The amount of the influence of CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> is calculated, then acidity result from calculation compared with its observation. Pearson correlation value is used as an indicator of an appropriate selection of model scenarios. The results show that acidity level of rainwater in GAW Bukit Kototabang Station in April 2009 was influenced by a mixture of CO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> gases, in May 2009 was affected by CO<sub>2</sub> alone, in June 2009 was influenced by a mixture of CO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> gas. The Data of acidity level of rain water in April, May and June 2009 compared with this model confirmed that air condition in environment around of Bukit Kototabang GAW Station still cleanness.*

**Keyword :** CO<sub>2</sub>,SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CRDS, Chemiluminance

Naskah masuk : 16 Februari 2011  
Naskah diterima : 2 Mei 2011

## I. PENDAHULUAN

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang merupakan salah satu stasiun pengamatan referensi udara bersih. Secara geografi Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang terletak pada 100.32° bujur timur, 0.20° lintang selatan dan pada ketinggian 864.5 meter di atas permukaan laut. Stasiun ini terletak pada lokasi yang jauh dari pemukiman dan aktivitas manusia agar udara yang diukur benar-benar alami sehingga dapat dijadikan referensi udara bersih.

Air hujan menjadi komponen pokok pada siklus hidrologi dan memegang peranan penting dalam siklus pelarutan bahan-bahan kimia di alam. Air hujan juga berperan sebagai pencuci berbagai polutan yang ada di atmosfer, dengan cara membawa polutan tersebut dari udara ke permukaan tanah dan ke permukaan air.

Salah satu parameter air hujan yang diukur adalah pH. pH didefinisikan sebagai logaritma negatif aktivitas ion hidrogen.

$$\text{pH} = -^{10}\log a\text{H}^+ \quad (1)$$

Untuk larutan encer, aktivitas ion  $\text{H}^+$ , sama dengan konsentrasi ion  $\text{H}^+$ . Air hujan termasuk dalam larutan encer, sehingga pH dikatakan sebagai logaritma negatif konsentrasi  $\text{H}^+$ .

$$\text{pH} = -^{10}\log [\text{H}^+] \quad (2)$$

### 1.1. Kelarutan gas dalam air<sup>1)</sup>

Kelarutan gas dalam larutan berair dinyatakan dengan konstanta Hukum Henry atau biasa dikenal dengan Konstanta Henry. Besarnya Konstanta Henry dirumuskan

$$K_H = [\text{Gas}]_{(\text{aq})} / p_{\text{Gas}}, \quad (3)$$

$$p_{\text{Gas}} = X \times P_{\text{tot}}$$

dimana

$K_H$  : Konstanta Henry pada keadaan standar

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

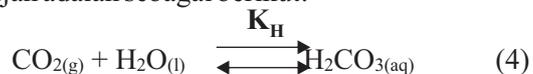
$p_{\text{Gas}}$  : Tekanan parsial gas (atm)

$X$  : Fraksi mol gas disini digunakan persen (%)

$P_{\text{tot}}$  : Tekanan total gas = disini digunakan tekanan udara ambien (atm)

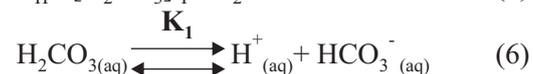
### 1.2. Pengaruh absorpsi Gas $\text{CO}_2$ (Karbondioksida)<sup>2)</sup>

Secara kimia absorpsi  $\text{CO}_2$  di atmosfer oleh air hujan adalah sebagai berikut:



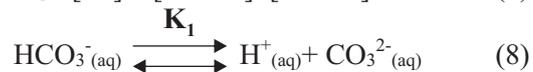
Konstanta Henry (konstanta pelarutan gas) didefinisikan

$$K_H = [\text{H}_2\text{CO}_3] / p_{\text{CO}_2} \quad (5)$$



Konstanta Disosiasi  $K_1$  didefinisikan

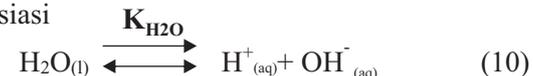
$$K_1 = [\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-] / [\text{H}_2\text{CO}_3] \quad (7)$$



Konstanta Disosiasi  $K_2$  didefinisikan

$$K_2 = [\text{H}^+] \times [\text{CO}_3^{2-}] / [\text{HCO}_3^-] \quad (9)$$

Disamping itu air sendiri mengalami reaksi disosiasi



Konstanta Disosiasi Air  $K_{\text{H}_2\text{O}}$  didefinisikan

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}^+] \times [\text{OH}^-] / [\text{H}_2\text{O}] \quad (11)$$

Dimana=

$[\ ]$  : simbol untuk konsentrasi

$^+$  : simbol untuk muatan positif

$-$  : simbol untuk muatan negatif

$p_{\text{CO}_2}$  : Tekanan Parsial  $\text{CO}_2$

$K_H$  : Konstanta Henry = Konstanta pelarutan gas

$K_1$  : Konstanta Disosiasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$

$K_2$  : Konstanta Disosiasi  $\text{HCO}_3^-$

(l) : simbol berwujud cair/khusus untuk air

(g) : simbol substansi kimia (ion, olekul, dll) berwujud gas

(aq) : simbol substansi kimia (ion, molekul, dll) berada dalam larutan

Dari kesemua reaksi itu terjadi keseimbangan muatan, karena larutan bersifat netral:

Muatan positif = Muatan negatif

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}] \quad (12)$$

Karena larutan bersifat asam, maka konsentrasi ion hidroksi  $[\text{OH}^-]$  dapat dieliminasi:

$$[\text{H}^+] \ll [\text{OH}^-] \quad (13)$$

Dapat kita pertimbangkan bahwa konsentrasi ion karbonat  $[\text{CO}_3^{2-}]$  jauh sangat kecil dibandingkan dengan ion bikarbonat  $[\text{HCO}_3^-]$ ,

karena nilai  $K_2 \ll K_1$ , maka konsentrasi ion karbonat dapat dihilangkan

$$[\text{CO}_3^{2-}] \ll [\text{HCO}_3^-]$$

Dengan menghilangkan komponen ion hidroksi  $[\text{OH}^-]$  dan ion karbonat  $[\text{CO}_3^{2-}]$ , maka keseimbangan muatan larutan menjadi

$$[\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-]$$

Oleh karena itu  $K_1$  (konstanta disosiasi  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) dapat dinyatakan sebagai

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \\ = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

$$[\text{H}^+] = (K_1 \times [\text{H}_2\text{CO}_3])^{0.5} \dots\dots\dots(a)$$

Besarnya konsentrasi  $[\text{H}_2\text{CO}_3]$  dapat dicari dari konstanta Henry

$$K_H = [\text{H}_2\text{CO}_3] / p_{\text{CO}_2} \text{ maka}$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = K_H \times p_{\text{CO}_2} \dots\dots\dots(b)$$

Oleh karena itu besarnya konsentrasi  $\text{H}^+$  dapat dicari dengan cara melakukan substitusi persamaan b ke persamaan a menjadi

$$[\text{H}^+] = (K_1 \times K_H \times p_{\text{CO}_2})^{0.5} \dots\dots\dots(c)$$

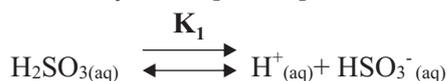
Besarnya konsentrasi  $\text{H}^+$  akibat absorpsi gas  $\text{CO}_2$  dalam air hujan  $(K_1 \times K_H \times p_{\text{CO}_2})^{0.5}$

### 1.3. Pengaruh absorpsi Gas $\text{SO}_2$ (Sulfurdioksida)<sup>3)</sup>

Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ) terdapat dalam kadar kecil di atmosfer, tetapi memiliki konstanta disosiasi dan kelarutan dalam air yang besar. Pengaruh absorpsi gas  $\text{SO}_2$  di atmosfer terhadap pH air hujan secara kimia:

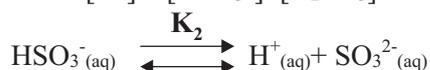


$$\text{Konstanta Henry} = K_H = [\text{H}_2\text{SO}_3] / p_{\text{SO}_2}$$



Konstanta Disosiasi  $K_1$

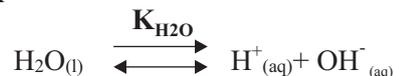
$$= \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HSO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{SO}_3]}$$



Konstanta Disosiasi  $K_2$

$$= \frac{[\text{H}^+] \times [\text{SO}_3^{2-}]}{[\text{HSO}_3^-]}$$

Disamping itu air sendiri mengalami reaksi disosiasi



Konstanta Disosiasi Air  $K_{\text{H}_2\text{O}}$

$$= \frac{[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

dimana

$[\ ]$  : simbol untuk konsentrasi

$+$  : simbol untuk muatan positif

$-$  : simbol untuk muatan negatif

$p_{\text{SO}_2}$  : Tekanan Parsial  $\text{SO}_2$

$K_H$  : Konstanta Henry = Konstanta pelarutan gas

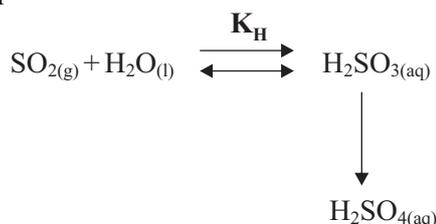
$K_1$  : Konstanta Disosiasi  $\text{H}_2\text{SO}_3$

$K_2$  : Konstanta Disosiasi  $\text{HSO}_3^-$

Dengan menggunakan analogi yang sama pada pelarutan gas  $\text{CO}_2$  dalam air hujan (lihat persamaan c) maka pelarutan gas  $\text{SO}_2$  dalam air hujan didapatkan konsentrasi  $\text{H}^+$  sebesar

$$[\text{H}^+] = (K_1 \times K_H \times p_{\text{SO}_2})^{0.5} \dots\dots\dots(d)$$

Besarnya konsentrasi  $\text{H}^+$  akibat absorpsi gas  $\text{SO}_2$  dalam air hujan menjadi  $\text{H}_2\text{SO}_3$  adalah  $(K_1 \times K_H \times p_{\text{SO}_2})^{0.5}$ . Bila kondisi lingkungan memungkinkan, akan terjadi oksidasi secara sempurna maka seluruh  $\text{H}_2\text{SO}_3$  akan berubah menjadi  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , sesuai dengan reaksi



Asam sulfat  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tergolong asam kuat dan di dalam air akan terdisosiasi membentuk dua proton  $\text{H}^+$ , sesuai dengan reaksi



Sehingga konsentrasi proton sama dengan dua kali konsentrasi asam sulfat

$$[\text{H}^+] = 2 \times \text{H}^+ \text{ dari } [\text{H}_2\text{SO}_4] \dots\dots\dots(e)$$

Pada reaksi oksidasi sempurna seluruh  $\text{H}_2\text{SO}_3$  akan berubah menjadi  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , maka secara konsep mol

kimia, 1 mol H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> setara atau ekuivalen dengan 1 mol H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>



Sehingga persamaan e akan dapat dimodifikasi menjadi

$$[H^+] = 2 \times H^+ \text{ dari } [H_2SO_3] \dots\dots\dots(f)$$

oleh karena itu besarnya konsentrasi H<sup>+</sup> dapat dicari dengan cara melakukan substitusi persamaan d ke persamaan f menjadi

$$[H^+] = 2 \times (K_1 \times K_{HX} \times P_{SO_2})^{0,5} \dots\dots\dots(g)$$

Besarnya konsentrasi H<sup>+</sup> akibat absorpsi gas SO<sub>2</sub> dalam air hujan menjadi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adalah 2 x (K<sub>1</sub> x K<sub>HxP</sub> SO<sub>2</sub>)<sup>0,5</sup>

#### 1.4. Pengaruh absorpsi Gas NO<sub>2</sub> (Nitrogendioksida)

NO<sub>2</sub> dihasilkan oleh pembakaran, degradasi bahan organik, dan oksidasi NO. Gas ini adalah salah satu jenis gas sedikit berwarna dan memberikan ciri warna kecoklatan ke udara tercemar. Hal ini akan terlihat pada konsentrasi minimal 1 ppmv. NO<sub>2</sub> akan teroksidasi menjadi HNO<sub>3</sub> di atmosfer.



Konstanta Henry = K<sub>H</sub> = [HNO<sub>3</sub>]/P<sub>NO<sub>2</sub></sub>

NO<sub>2</sub> sedikit larut dalam air. (Konstanta Henry untuk pelarutan gas NO<sub>2</sub> dalam air adalah 1.0x10<sup>-2</sup> mol / atm<sup>7)</sup>. Tekanan parsial NO<sub>2</sub> di atmosfer 2x10<sup>-9</sup> atm.

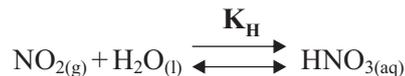
Asam nitrat HNO<sub>3</sub> tergolong asam kuat dan di dalam air akan terdisosiasi membentuk satu proton H<sup>+</sup>. Sesuai dengan reaksi



Berbeda dengan dua gas sebelumnya, yaitu gas CO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>, gas ini dalam air hujan langsung membentuk asam kuat bukan asam lemah. Untuk asam kuat konsentrasi H<sup>+</sup> akan sama dengan dengan konsentrasi asamnya.

$$[H^+] = [HNO_3] \dots\dots\dots(h)$$

Maka untuk mencari konsentrasi H<sup>+</sup> dikembalikan dengan menggunakan hukum Henry (Hukum pelarutan gas)



Konstanta Henry = K<sub>H</sub> = [HNO<sub>3</sub>]/P<sub>NO<sub>2</sub></sub>

$$[HNO_3] = K_{H/P} NO_2 \dots\dots\dots(i)$$

oleh karena itu besarnya konsentrasi H<sup>+</sup> dapat dicari dengan cara melakukan substitusi persamaan i ke persamaan h menjadi

$$[H^+] = K_{H/P} NO_2 \dots\dots\dots(j)$$

Besarnya konsentrasi H<sup>+</sup> akibat absorpsi gas NO<sub>2</sub> dalam air hujan menjadi HNO<sub>3</sub> adalah K<sub>H/P</sub>NO<sub>2</sub>

#### 1.5. Design Model Sederhana absorpsi gas di atmosfer

$$pH = -^{10}\log [H^+]$$

$$[H^+] = f$$

(gas-gas, asam organik, aerosol anorganik)

Konsentrasi proton atau ion Hidrogen dipengaruhi oleh gas-gas terlarut dan berbagai aerosol/garam-garam anorganik terlarut dan asam-asam organik.

Model ini dibuat sederhana sehingga hanya gas-gas yang berperanan terhadap keasaman air hujan, sehingga

$$[H^+] = [H^+] f$$

(CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, asam karboksilat)

Pengukuran asam-asam karboksilat dalam udara ambien tidak dilakukan sehingga pada model ini diabaikan.

Pada model ini hanya melihat pengaruh tingkat keasaman air hujan karena pengaruh gas CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>.

$$[H^+] = [H^+] f (CO_2, SO_2, NO_2)$$

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Air hujan dan tingkat keasaman (pH)<sup>3)</sup>

Sampel air hujan diambil satu hari sekali menggunakan penakar hujan Observasi (Obs). Sampel hujan ini selanjutnya diukur pH nya. Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan alat pH meter inoLab pH Level 1. Pengukuran pH air hujan dilakukan dengan cara mencelupkan elektroda pH meter ke dalam sampel, nilai pH akan terbaca pada display alat. Pengukuran curah hujan

menggunakan Gelas Ukur 25 mm standar BMKG (untuk corong 100 cm<sup>2</sup>).

Untuk menjaga kualitas data hasil pengukuran, minimal seminggu sekali sebelum pengukuran pH, instrumen dikalibrasi dengan larutan buffer pH 4,0 dan pH 7,0, dengan tanpa ada pengaturan suhu larutan. (Kalibrasi instrumen pH meter inoLab pH Level 1, dengan metode otomatis Kalibrasi).<sup>4)</sup> Caranya larutan buffer pH 7,0 dimasukkan ke dalam gelas piala, lalu dicatat pH dan tegangan (mV), kemudian larutan buffer pH 4,0 dimasukkan ke dalam gelas piala, lalu dicatat pH dan tegangan (mV).

Instrumen pH meter inoLab pH Level 1 masih berfungsi dengan baik jika slope mV/pH berada dalam kisaran range -60,5 sampai -58. Selama proses kalibrasi slope mV/pH selalu terbaca dalam range -60,5 sampai -58, dan dari kalibrasi terakhir nilai slope mV/pH terbaca -59. Penggunaan akuades sebagai bahan pelarut dan pencuci alat-alat gelas dikontrol dengan ketat. Untuk menjaga kebersihan dan menghindari kontaminasi dari alat-alat, akuades yang digunakan merupakan hasil pemrosesan dari alat *Ultra Pure Water System* dengan konduktivitas sampai 0,055  $\mu\text{Scm}^{-1}$ , sehingga kontaminasi sangat diminimalkan.

## 2.2. Pengukuran konsentrasi gas

Konsentrasi gas CO<sub>2</sub> diperoleh dari instrumen Picarro G1301. *Rawdata* merupakan data rata-rata 1 menit kemudian diolah menjadi agregat harian. Metode pengukuran yang digunakan adalah *Cavity Ring Down Spectrofotometer* (CRDS). Untuk menjaga kualitas data yang dihasilkan instrumen ini dilengkapi dengan sistem kalibrasi otomatis dan gas Standar CO<sub>2</sub>.<sup>1)</sup>

Konsentrasi gas SO<sub>2</sub> diperoleh dari instrumen TS43i-*Trace Level Enhance*. Prinsip kerja instrumen ini dengan metode UV *Fluorescence*. Data gas SO<sub>2</sub> merupakan data dengan resolusi 5 menit, data ini kemudian diolah menjadi agregat harian. *Rawdata* diambil dari instrumen menggunakan *software iport* dengan kabel RS232. Instrumen ini dilengkapi dengan sistem kalibrasi (*Dynamic Gas Calibrator* TS146i dan *Zero Air Supply* TS111) serta gas Standar SO<sub>2</sub>.

Konsentrasi gas NO<sub>2</sub> diperoleh dari instrumen TS42i-*Trace Level*. Prinsip kerja instrumen ini *Chemiluminescent*. Data gas NO<sub>2</sub> merupakan data dengan resolusi 5 menit, kemudian

data ini diolah menjadi agregat harian. *Rawdata* diambil dari instrumen menggunakan *software iport* dengan kabel RS232. Instrumen ini dilengkapi dengan sistem kalibrasi (*Dynamic Gas Calibrator* TS146i dan *Zero Air Supply* TS111) serta gas Standar NO<sub>2</sub>.

## 2.2 Kondisi Udara Ambien

Kondisi udara ambien, yaitu tekanan diperoleh dari data MAWS Vaisala. *Rawdata* dengan resolusi 1 menit diolah menjadi agregat data harian.

## 2.3 Skenario model

Karena dalam model sederhana ini hanya ada tiga parameter gas yang berpengaruh, berarti ada 7 macam skenario. Keenam macam skenario itu adalah

- tingkat keasaman air hujan dipengaruhi oleh CO<sub>2</sub> saja.
- tingkat keasaman air hujan dipengaruhi oleh NO<sub>2</sub> saja.
- tingkat keasaman air hujan dipengaruhi oleh SO<sub>2</sub> saja.
- tingkat keasaman air hujan dipengaruhi oleh CO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>.
- tingkat keasaman air hujan dipengaruhi oleh CO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub>.
- tingkat keasaman air hujan dipengaruhi oleh SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>.
- tingkat keasaman air hujan dipengaruhi oleh CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>2</sub>.

Sampel air hujan dari Penakar Hujan Observasi (OBS) digunakan sebagai data validator.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

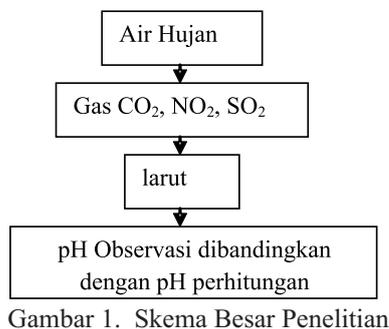
Data yang digunakan pada perhitungan model ini adalah data dimana semua parameter tersedia didalamnya, artinya saat terjadi hujan, tersedia data konsentrasi gas CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan parameter.

Data yang digunakan pada penelitian ini ada data rata-rata / agregat harian. Pengolahan data dilakukan dengan mengasumsikan bahwa semua gas terlarut ke dalam air hujan sesuai dengan hukum Henry dan tekanan Parsial Gas masing-masing.

### 3.1. Skema Besar Penelitian

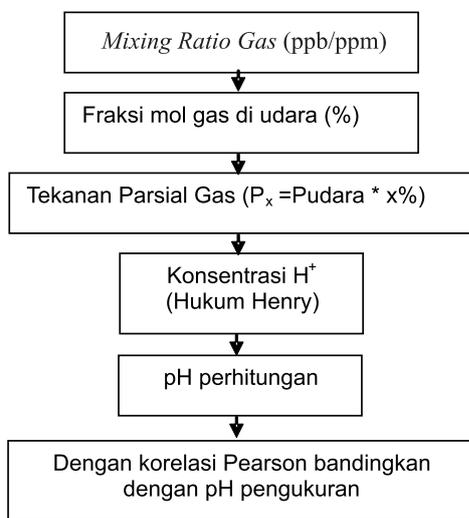
Air hujan akan melarutkan gas-gas, dalam hal ini adalah gas CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Air hujan dapat

dikatakan mencuci atmosfer (*washing out*), sehingga akan mempengaruhi tingkat keasaman air hujan.



Gambar 1. Skema Besar Penelitian

### 3.2. Tahapan pengolahan data



Gambar 2. Tahapan Pengolahan Data

Data *mixing ratio gas* dalam ppb/ppm harus diubah dulu menjadi fraksi mol dalam persen. Nilai tekanan parsial masing-masing gas diperoleh dengan mengalikan fraksi mol gas dengan tekanan udara saat itu. Data tekanan udara diperoleh dari MAWS Vaisala dan dibuat agregat harian. Fase gas diubah menjadi fase larutan dengan menggunakan Hukum Henry, memanfaatkan Konstanta Henry<sup>5)</sup> yang kemudian akan diperoleh konsentrasi ion hidrogen dalam larutan. Tingkat keasaman biasanya dinyatakan dengan  $pH = -\log(H^+)$ .

### 3.3. Data penelitian

Data yang digunakan dalam artikel adalah data tiga bulan, bulan April 2009, Mei 2009 dan Juni 2009. Data diambil dari *Logbook* pH dan Konduktivitas air hujan Stasiun GAW Bukit Kototabang.

Pemilihan tiga bulan tersebut berdasarkan atas ketersediaan atau kelengkapan semua parameter.

Tabel 1. Data Bulan April 2009

Tanggal	Curah hujan (mm)	pH	T(°C)	P(mbar)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppm)
1	7.0	5.404	23.8	914.4292	412.74	1.92	N/A
2	5.0			915.1917	409.73	1.83	N/A
3	27.0	5.586	25.1	915.6875	414.62	1.62	N/A
4				N/A	417.35	1.75	N/A
5	1.0	5.642	24.8	916.1458	420.85	1.55	N/A
6	4.3	5.491	24.4	917	415.53	1.29	N/A
7	0.3			N/A	402.71	1.44	7.48
8	12.2	5.782	27.4	N/A	414.83	1.48	7.06
9	10.3			N/A	410.30	1.33	6.84
10	0.6			N/A	N/A	1.49	6.66
11	20.3	5.702	26.4	N/A	N/A	1.49	6.52
12	46.2	5.891	25.1	915.875	410.37	1.44	6.38
13				915.0208	N/A	1.42	6.26
14	15.3	5.336	25.3	916.0958	427.47	1.20	6.17
15	1.4			917.7542	404.21	1.22	6.07
16				916.95	413.42	1.19	5.98
17				916.7125	419.91	1.21	5.88
18				918.0833	450.37	1.07	5.80
19				917.7625	416.12	1.10	5.74
20	3.1	6.688	26.0	916.7625	418.90	N/A	5.67
21				916.5917	405.83	N/A	5.64
22	7.9	6.629	26.5	918.2292	413.30	0.91	5.60
23	9.8	6.398	25.9	N/A	429.96	0.90	5.61
24				917.8667	424.60	0.85	5.52
25				918.125	443.88	0.94	5.56
26				N/A	445.83	0.89	5.46
27				917.5	N/A	0.96	5.42
28	0.1			917.8792	406.46	1.00	5.40
29	19.8	5.934	24.8	917.9042	411.08	1.19	5.38
30	5.8	6.045	29.0	918.2583	402.06	1.17	5.37
Summary							

Keterangan : N/A = Not Available (data tidak ada) karena sesuatu hal.

Tabel 2. Data Bulan Mei 2009

Tanggal	Curah hujan (mm)	pH	T(°C)	P(mbar)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppb)	SO <sub>2</sub> (ppm)
1				917.9	425.96	1.04	5.36
2	1.4			918.2	408.64	1.01	5.35
3	10.4	6.468		917.8	404.96	1.03	5.36
4	0.2			917.1	403.98	1.11	5.41
5				917.1	433.32	1.00	5.40
6				917.1	428.08	1.72	5.39
7				916.2	420.10	1.01	5.37
8	4.2	7.155		915.5	444.83	0.91	5.41
9	0.4			915.2	400.67	0.96	5.43
10				914.4	402.90	0.93	5.42
11	8.6	6.603		915.1	418.73	1.04	5.41
12	2.4	6.388		914.2	422.58	1.13	5.41
13	49.0	5.550		913.7	415.93	1.13	5.40
14	6.4	5.747		914.6	393.71	1.35	5.63
15		6.261		915.7	395.46	2.80	5.61
16	3.0	5.911		917.1	397.86	1.64	5.59
17				916.8	397.63	0.82	5.55
18				916.5	437.54	0.84	5.57
19				916.4	408.71	1.14	5.57
20				916.5	441.53	0.95	5.56
21				917.1	429.48	0.93	5.57
22				916.2	434.18	1.01	5.58
23				915.0	417.12	1.12	5.59
24				914.6	410.56	1.21	5.58
25				N/A	415.61	1.87	5.60
26				916.4	429.55	1.19	5.59
27				914.9	422.37	1.24	5.61
28				916.5	426.43	1.20	5.62
29				917.2	435.02	1.12	5.61
30				916.6	422.79	1.38	5.63
31	11.4	6.288		916.2	410.14	1.66	5.64

Keterangan : N/A = Not Available (data tidak ada) karena sesuatu hal.

**Tabel 3. Data Bulan Juni 2009**

Tanggal	Curah hujan (mm)	pH	T(°C)	P(mbar)	CO <sub>2</sub> (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppb)
1				916.6	421.31	1.43
2				917.4	423.04	1.21
3	37.2	6.872		918.5	397.10	1.04
4				917.4	399.00	1.01
5				916.7	417.87	1.13
6				916.3	409.18	1.30
7	2.6	6.709		917.1	408.37	1.17
8				918.0	424.99	0.84
9				918.6	428.00	1.16
10				918.0	425.70	1.35
11				917.5	413.23	1.37
12	0.8			917.8	425.03	1.16
13	24.0	6.767		918.6	422.55	1.17
14	41.0	5.481		917.2	421.15	1.15
15	12.0	5.530		917.1	420.55	0.90
16	0.6			917.1	407.44	0.80
17				917.0	437.48	0.88
18				916.6	444.29	0.90
19				916.5	409.16	1.24
20	1.8	6.551		916.6	415.60	1.22
21	65.4	5.501		916.6	404.93	1.14
22				916.9	416.81	1.10
23	0.2			916.5	413.40	1.05
24				916.1	413.83	0.94
25	11.2	5.810		915.9	398.24	1.28
26	12.6			916.3	401.94	1.05
27	2.6			916.4	397.58	0.97
28	15.2	5.289		917.3	417.35	0.95
29	1.6	5.375		916.7	412.94	1.13
30				917.2	408.97	1.27
Summary						

Keterangan : N/A = Not Available (data tidak ada) karena sesuatu hal.

**3.4. Analisa data**

Data yang digunakan pada perhitungan ini adalah data yang lengkap, artinya saat terjadi hujan, ada data tingkat keasaman (pH) dan ada data dari *mixing ratio* dari gas yang bersangkutan.

Berdasarkan model yang dirancang dari skema besar penelitian dan pengolahan data, ada tujuh macam skenario, yaitu:

1. Tingkat keasaman (pH) air hujan hanya dipengaruhi oleh konsentrasi gas CO<sub>2</sub> di udara. Skenario ini menunjukkan bahwa kondisi lokasi penempatan sampel adalah daerah yang bersih.

Untuk mencari konsentrasi H<sup>+</sup> dirumuskan sebagai berikut:

$$[H^+] = (K_1 \times K_H \times P \times CO_2)^{0.5}$$

Sedangkan

$$pH = - \text{Log} [H^+]$$

2. Tingkat keasaman (pH) air hujan hanya dipengaruhi oleh konsentrasi gas NO<sub>2</sub> di udara. Gas NO<sub>2</sub> bila larut ke dalam air hujan akan dapat menghasilkan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>). Asam ini merupakan salah satu jenis asam kuat, yang berbahaya bagi lingkungan biotik maupun lingkungan abiotik.

Untuk mencari konsentrasi H<sup>+</sup> dirumuskan sebagai berikut:

$$[H^+] = K_H/P \times NO_2$$

Sedangkan

$$pH = - \text{Log} [H^+]$$

3. Tingkat keasaman (pH) air hujan hanya dipengaruhi oleh konsentrasi gas SO<sub>2</sub> di udara. Gas SO<sub>2</sub> bila larut ke dalam air hujan akan dapat menghasilkan suatu asam lemah (H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) dan bila dalam kondisi memungkinkan akan teroksidasi menjadi asam kuat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Asam sulfat selain merupakan asam diprotik menghasilkan dua proton, juga termasuk oksidator kuat. Bila air hujan sampai membentuk asam ini akan berbahaya bagi lingkungan biotik maupun lingkungan abiotik.

Untuk mencari konsentrasi H<sup>+</sup> dirumuskan sebagai berikut:

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

Sedangkan

$$pH = - \text{Log} [H^+]$$

4. Tingkat keasaman (pH) air hujan dipengaruhi oleh konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dan gas NO<sub>2</sub> di udara.

Untuk mencari konsentrasi H<sup>+</sup> dirumuskan sebagai berikut:

$$[H^+] = [H^+] CO_2 + [H^+] NO_2$$

$$[H^+] = (K_1 \times K_H \times P \times CO_2)^{0.5} + (K_H/P \times NO_2)$$

Sedangkan

$$pH = - \text{Log} [H^+]$$

5. Tingkat keasaman (pH) air hujan dipengaruhi oleh konsentrasi gas CO<sub>2</sub> dan gas SO<sub>2</sub> di udara.

Untuk mencari konsentrasi H<sup>+</sup> dirumuskan sebagai berikut:

$$[H^+] = [H^+] CO_2 + [H^+] SO_2$$

$$[H^+] = (K_1 \times K_H \times P \times CO_2)^{0.5} + (2 \times (K_1 \times K_H \times P \times SO_2)^{0.5})$$

Sedangkan

$$pH = - \text{Log} [H^+]$$

6. Tingkat keasaman (pH) air hujan dipengaruhi oleh konsentrasi gas NO<sub>2</sub> dan gas SO<sub>2</sub> di udara.

Untuk mencari konsentrasi  $H^+$  dirumuskan sebagai berikut:

$$[H^+] = [H^+]NO_2 + [H^+]SO_2$$

$$[H^+] = (K_H/pNO_2) + (2 \times (K_1 \times K_H \times pSO_2)^{0.5})$$

Sedangkan

$$pH = -\text{Log } [H^+]$$

7. Tingkat keasaman (pH) air hujan hanya dipengaruhi oleh konsentrasi gas  $CO_2$ , gas  $NO_2$  dan gas  $SO_2$  di udara.

Untuk mencari konsentrasi  $H^+$  dirumuskan sebagai berikut:

$$[H^+] = [H^+]CO_2 + [H^+]NO_2 + [H^+]SO_2$$

$$[H^+] = (K_1 \times K_H \times pCO_2)^{0.5} + (K_H/pNO_2) + (2 \times (K_1 \times K_H \times pSO_2)^{0.5})$$

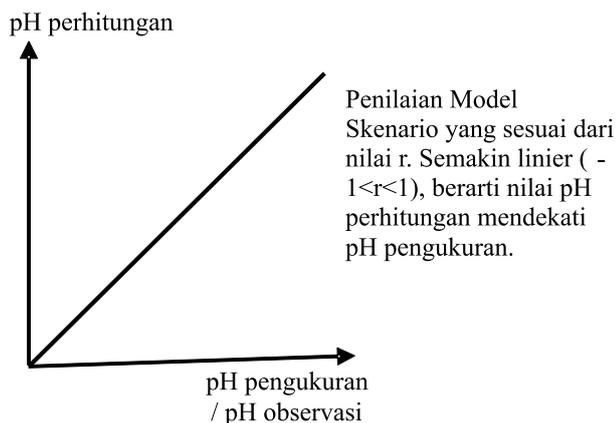
Sedangkan

$$pH = -\text{Log } [H^+]$$

### 3.4.1 Data bulan April, Mei, dan Juni 2009

Untuk melihat kesesuaian pengaruh gas  $CO_2$ , gas  $NO_2$  dan gas  $SO_2$  terhadap tingkat keasaman air hujan, penulis menggunakan metode korelasi Pearson/ nilai (r), antara nilai pH perhitungan dengan pH pengukuran (observasi).

Bila nilai r paling mendekati 1/-1, menunjukkan pengaruh yang paling besar.



Gambar 3. Penilaian Kesesuaian Model Skenario

### • Data Bulan April 2009

**Tabel 4.** Pengolahan Data Bulan April 2009

Parameter Gas	Jumlah Baris Data	Nilai r
$CO_2$	10	0.21952596836899
$NO_2$	9	-0.70823143418710
$SO_2$	6	0.45655963162258
$CO_2+NO_2$	9	-0.70823143418711
$CO_2+SO_2$	6	0.45734714228776
$NO_2+SO_2$	5	-0.55819870147673
$CO_2+NO_2+SO_2$	5	-0.64652029539871

Pada bulan April 2009, berdasarkan hasil perhitungan dan nilai korelasi Pearson, menunjukkan bahwa tingkat keasaman air hujan di SPAG Bukit Kototabang dipengaruhi oleh campuran Gas  $CO_2$  dan gas  $NO_2$ .

### • Data Bulan Mei 2009

**Tabel 5.** Pengolahan Data Bulan Mei 2009

Parameter Gas	Jumlah Baris Data	Nilai r
$CO_2$	9	-0.69776804143610
$NO_2$	9	-0.33767245777211
$SO_2$	9	0.37029443344224
$CO_2+NO_2$	9	-0.33767245777214
$CO_2+SO_2$	9	0.29554645651681
$NO_2+SO_2$	9	-.337672457772464
$CO_2+NO_2+SO_2$	9	-0.33767245777249

Pada bulan Mei 2009, berdasarkan hasil perhitungan dan nilai korelasi Pearson, menunjukkan bahwa tingkat keasaman air hujan di SPAG Bukit Kototabang dipengaruhi oleh Gas  $CO_2$ .

- Data Bulan Juni 2009

**Tabel 4.** Pengolahan Data Bulan Juni 2009

Parameter Gas	Jumlah Baris Data	Nilai r
CO <sub>2</sub>	10	0.206599633132651
NO <sub>2</sub>	10	0.341576665278061
SO <sub>2</sub>	10	0.738155050007624
CO <sub>2</sub> +NO <sub>2</sub>	10	0.341576665278066
CO <sub>2</sub> +SO <sub>2</sub>	10	0.745765404983316
NO <sub>2</sub> +SO <sub>2</sub>	10	0.341576665278250
CO <sub>2</sub> +NO <sub>2</sub> +SO <sub>2</sub>	10	0.341576665278246

Pada bulan Juni 2009, berdasarkan hasil perhitungan dan nilai korelasi Pearson, menunjukkan bahwa tingkat keasaman air hujan di SPAG Bukit Kototabang dipengaruhi oleh campuran Gas CO<sub>2</sub> dan Gas SO<sub>2</sub>.

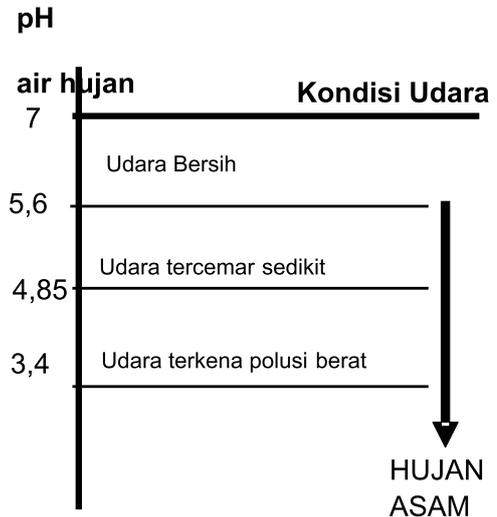
### 3.4.2 Evaluasi Data bulan April, Mei, dan Juni 2009

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa tingkat keasaman air hujan ternyata tidak hanya dipengaruhi oleh satu skenario model saja, namun bervariasi. Pada bulan April 2009 pengaruh campuran Gas CO<sub>2</sub> dan gas NO<sub>2</sub> (skenario model 4) lebih dominan. Pada bulan Mei 2009 pengaruh gas CO<sub>2</sub> saja (skenario model 1) lebih dominan. Pada bulan Juni 2009 (skenario model 5) lebih dominan.

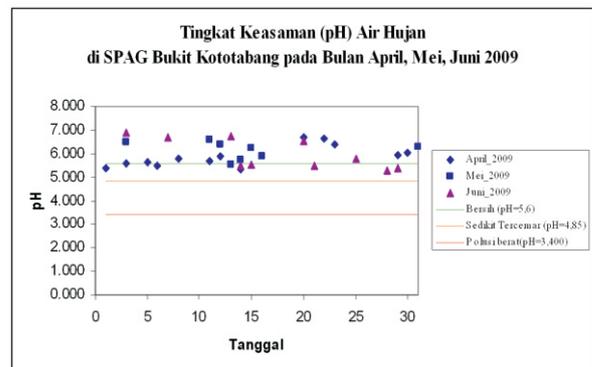
Dengan model ini diharapkan dapat memberikan gambaran awal kondisi udara suatu tempat. Kita ambil beberapa kondisi lingkungan<sup>3)</sup>:

- kondisi lingkungan dengan udara bersih (air hujan hanya dipengaruhi oleh absorpsi CO<sub>2</sub> saja). Kita ambil contoh tekanan udara 1 atm, fraksi gas CO<sub>2</sub> sebesar 0,036%, temperatur udara 25°C, maka pH air hujan dapat dihitung menjadi 5,6.
- Kondisi lingkungan tercemar sedikit, kita ambil contoh tekanan udara 1 atm, fraksi SO<sub>2</sub> di udara sebesar  $5 \times 10^{-7} \%$ , maka pH air hujan dapat dihitung menjadi 4,85.
- Kondisi lingkungan terkena polusi udara yang parah, semua gas SO<sub>2</sub> yang larut dalam air tadi

teroksidasi seluruhnya menjadi asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Kita ambil contoh kondisi udara tercemar, misal tekanan udara 1 atm, gas SO<sub>2</sub> dengan tekanan parsial  $5 \times 10^{-9}$  atm dan semuanya teroksidasi menjadi asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), maka pH air hujan dapat dihitung menjadi 3,4.



Gambar 4. Gambaran kondisi udara terhadap pH air hujan<sup>3)</sup>



Gambar 4. Tingkat Keasaman (pH) Air Hujan di SPAG Bukit Kototabang pada Bulan April, Mei, Juni 2009

Dengan mengetahui data tingkat keasaman air hujan bulan April, Mei dan Juni 2009 hasil observasi di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang, dan dibandingkan dengan terhadap model ini serta gambaran kondisi udara pH air hujan, dapat dikonfirmasi bahwa kondisi udara ambien di lingkungan Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang masih bersih. Penjelasan tersebut sangat sesuai atau cocok dengan fungsi Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang sebagai stasiun referensi udara bersih.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa model sederhana, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Tingkat keasaman air hujan di SPAG Bukit Kototabang pada bulan April 2009 dipengaruhi oleh campuran Gas CO<sub>2</sub> dan gas NO<sub>2</sub>.
- Tingkat keasaman air hujan di SPAG Bukit Kototabang pada bulan Mei 2009 dipengaruhi oleh Gas CO<sub>2</sub> saja.
- Tingkat keasaman air hujan di SPAG Bukit Kototabang pada bulan Juni 2009 dipengaruhi oleh campuran Gas CO<sub>2</sub> dan gas SO<sub>2</sub>.
- Dari hasil data tingkat keasaman air hujan dibandingkan dengan model dapat dipastikan bahwa kondisi udara ambien di lingkungan Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang masih bersih

#### V. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada rekan-rekan SPAG Bukit Kototabang yang telah melakukan pengukuran tingkat keasaman (pH) harian dari penakar hujan Obs, terutama kepada Alberth CN dan Firda AM yang telah melakukan kalibrasi terhadap instrumen CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> analyzer.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr.Sc.Nat. Jöerg Klausen (sekarang bekerja di MeteoSwiss) yang telah membantu mengaudit, membimbing dan melakukan setting terhadap CO<sub>2</sub> Analyzer Picarro G1301.

#### VI. DAFTAR PUSTAKA

- <sup>1)</sup> Agusta, K. (2011). Penggunaan Hukum Henry Untuk Menghitung Pengaruh Gas CO<sub>2</sub> Terhadap Tingkat Keasaman Air Hujan Di SPAG Bukit Kototabang. *Megasains*, 2(1),35-49.
- <sup>2)</sup> Miroslav, R. & Vladimir, B. N. (2001). *Practical Environmental Analysis*, Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- <sup>3)</sup> Agusta, K. (2009). Pengaruh Gas CO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> di Atmosfer terhadap pH Air Hujan di Bukit Kototabang. *Megasains*, 2, 56-66.
- <sup>4)</sup> WTW GmbH & Co. KG. (2002). *Operation Laboratory pH Meter Inolab pH Level 1*, Germany: Weilheim.
- <sup>5)</sup> Rolf, S. (1999). *Compilation of Henry's Law Constants for Inorganic and Organic Species of Potential Importance in Environmental Chemistry*, Germany: Air Chemistry Department, Max-Planck Institute of Chemistry (Version 3).