

Pengaruh letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 terhadap pengukuran deposisi asam di SPAG Bukit Kototabang

The impact of Mount Sinabung eruption on September 15th, 2013, to acid deposition parameters in SPAG Bukit Kototabang

Agusta Kurniawan

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika-Sumatra Barat

Jl. Raya Bukittinggi-Medan Km 17, Kecamatan Palupuh, Kabupaten Agam, Sumatra Barat

ABSTRAK

Makalah ini meneliti tentang pengaruh letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 terhadap pengukuran deposisi asam di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatra Barat. Ada dua jenis deposisi asam yang dikaji yaitu deposisi kering dan deposisi basah. Deposisi kering meliputi pengukuran gas (SO_2 , NO_2 , dan O_3) dan partikel (PM10 dan TSP). Sedangkan deposisi basah meliputi pengukuran tingkat keasaman (pH) dan daya hantar listrik (DHL) air hujan. Data agregat harian sebelum dan setelah letusan Gunung Sinabung dibandingkan untuk mengetahui adanya indikasi perubahan. Sebagai batas toleransi yang dipersyaratkan digunakan nilai baku mutu udara ambien menurut PP No. 41 Tahun 1999. Hasil analisis menunjukkan bahwa letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 tidak berpengaruh terhadap pengukuran deposisi asam di SPAG Bukit Kototabang. Simulasi menggunakan model yang datang ke Bukit Kototabang bukan berasal dari Gunung Sinabung. Hysplit Volcanic Ash BMKG-NOAA, menunjukkan bahwa arah material letusan Gunung Sinabung ke timur sampai utara dan menyebar menjauh dari Bukit Kototabang. Simulasi pergerakan massa udara menggunakan Model *Flextra Backward Trajectory* menunjukkan bahwa massa udara yang sampai ke Bukit Kototabang bukan berasal dari Gunung Sinabung.

Kata kunci: Gunung Sinabung, Bukit Kototabang, Deposisi Asam, Hysplit Volcanic Ash NOAA-BMKG, Flextra Backward Trajectory

ABSTRACT

This paper studied the impact of Mount Sinabung eruption to acid deposition parameters in Global Atmosfer Watch (GAW) Bukit Kototabang Station, District of Agam, West Sumatra Province on September 15th, 2013. Two types of acid deposition were studied: dry and wet deposition. Dry deposition measurement includes the gases (SO_2 , NO_2 , and O_3) and particles (PM10 and TSP). Meanwhile, wet deposition studied includes acidity level (pH) and rainwater conductivity. Daily average data, before and after the eruption, are compared to find indications of any change.

As tolerance limits used ambient air quality standard value according to PP No. 41 of 1999. Results showed that Mount Sinabung eruption on 15 September 2013 did not show a significant impact on the measurement on the wet and dry deposition parameters. Simulation of volcanic ash trajectory from BMKG-NOAA HYSPLIT Volcanic Ash also suggested that the ash moved east to north, spreading away from Bukit Kototabang. Simulation of air mass movement using backward trajectories Flextra Model showed that air mass arrived to Bukit Kototabang wasn't from Mount Sinabung.

Keywords: Mount Sinabung, Bukit Kototabang, acid deposition, Hysplit Volcanic Ash NOAA-BMKG, Flextra Backward Trajectory

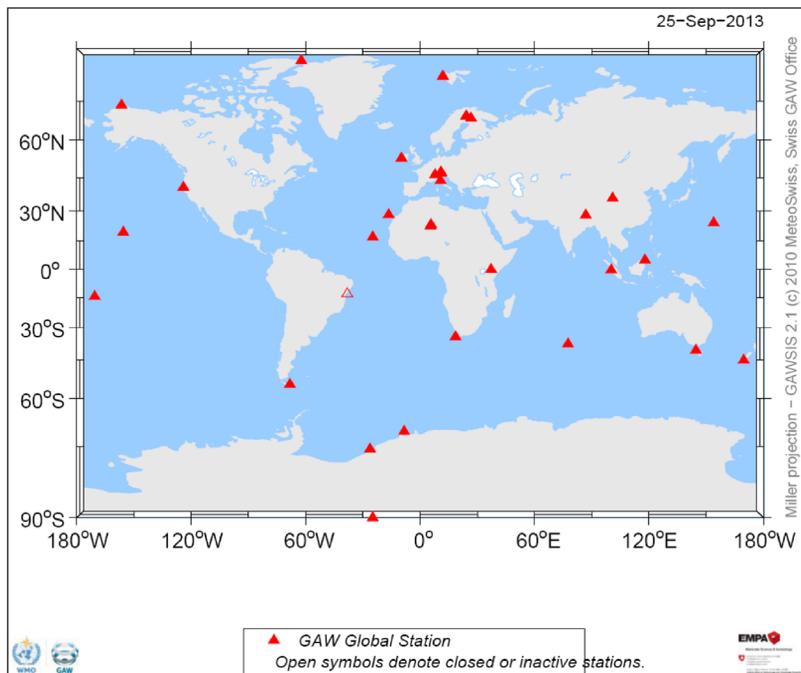
PENDAHULUAN

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang merupakan satu-satunya Stasiun Pemantau Atmosfer Global di Indonesia dari Stasiun Pemantau Atmosfer Global (ber-

skala global) yang ada di dunia (Gambar 1).

SPAG Bukit Kototabang merupakan implementasi dari program Global Atmosphere Watch (GAW) yang dicetuskan oleh World Meteorological Organization (WMO) sebagai upaya untuk melakukan pemantauan terhadap kondisi atmosfer secara global. Sampai saat ini,



Gambar 1. Lokasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global (berskala global) di dunia (Gawsis, 2013).

25 September 2013, ada 30 stasiun sejenis di dunia yang bertugas untuk memperoleh data atmosferik dan kualitas udara di daerah dengan tipe *remote* atau daerah dengan kondisi udara yang relatif bersih dan jauh dari aktivitas antropogenik. SPAG Bukit Kototabang merupakan salah satu stasiun pengamatan referensi udara bersih (Gambar 2).

Untuk kawasan Asia, SPAG Bukit Kototabang merupakan satu dari empat stasiun GAW selain Minamitorishima (Jepang), Mount Waliguan (China), dan Danum Valley (Malaysia). Posisi astronomis dan geografis Indonesia memberikan fenomena tersendiri dalam bidang sains atmosfer. Kenyataan bahwa Indonesia merupakan negara maritim yang terletak di daerah tropis dengan keberagaman topografi dan sumber daya alamnya telah sejak lama menjadi perhatian para peneliti di bidang sains atmosfer.

Oleh karena itu, ketika Organisasi Meteorologi Dunia (WMO) bermaksud untuk memperluas jaringan pemantau atmosfernya, maka Indonesia dijadikan sebagai salah satu kandidat utama. Wilayah Indonesia yang terbagi dalam 5 pulau utama, yaitu Sumatra, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua dengan perbedaan topografi mengisyaratkan suatu pemilihan yang selektif untuk dapat merepresentasikan Indonesia sebagai titik acuan bagi pengukuran di wilayah tropis berbasis maritim. Dari kelima pulau tersebut, Pulau Sumatra dipilih karena keragaman topografi dan letaknya yang berhadapan dengan Samudera Hindia, yang telah lama menjadi salah satu perhatian kalangan meteorologis dan peneliti sains atmosfer.

Stasiun ini secara administratif berada di Kecamatan Palupuh, Kabupaten Agam, Sumatra Barat. Secara geografis, berada di $0,20^{\circ}$ LS dan



Gambar 2. Kondisi lingkungan sekitar di SPAG Bukit Kototabang yang masih bersih.

dan Berastagi (Wikipedia, 2013). Material yang dilontarkan ke atmosfer saat letusan gunung api adalah gas dan material vulkanik (Robock, 2002). Selain itu emisi letusan gunung api juga mengeluarkan gas-gas halogen seperti HCl dan HF yang memperkuat deposisi asam (Delmelle, *et al.*, 2001).

Deposisi Asam

Salah satu kepedulian lingkungan saat ini adalah terjadinya hujan asam (Andrews *et al.*, 1996). Hujan asam adalah suatu masalah lingkungan yang serius bagi umat manusia. Hujan asam merupakan istilah umum untuk menggambarkan turunnya asam dari atmosfer ke permukaan bumi. Hujan asam juga bisa dikenal dengan istilah deposisi asam. Deposisi asam dibagi menjadi dua, yaitu deposisi basah dan deposisi kering (Radojevic dan Vladimir, 1999).

Deposisi basah bisa terjadi berupa air hujan, kabut, dan salju. 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. Ketika air hujan yang bersifat asam ini mengenai tanah, dapat berdampak buruk bagi tumbuhan dan hewan, tergantung dari konsentrasi asamnya, kandungan kimia tanah, *buffering capacity* (kemampuan air atau tanah untuk menahan perubahan pH), dan jenis tumbuhan/hewan yang terkena.

Deposisi kering mengacu pada gas dan partikel yang mengandung asam. Kurang lebih 50% keasaman di atmosfer jatuh kembali ke bumi melalui deposisi kering. Kemudian angin mem-

bawa gas dan partikel asam tersebut mengenai dan mencuci di berbagai benda di permukaan bumi. Ketika hujan turun, partikel asam yang menempel tersebut akan terbilas, menghasilkan air permukaan (*run off*) yang asam.

Penyebab deposisi asam ditinjau dari sumbernya ada dua, yaitu proses alamiah dan akibat aktivitas antropogenik manusia. Akibat aktivitas antropogenik manusia, misalnya: cerobong asap pabrik, pembangkit listrik tenaga batubara, pabrik bahan-bahan kimia dan kendaraan bermotor. Sedangkan proses alamiah, antara lain letusan gunung api, kebakaran hutan (Kurniawan, 2009; Radojevic dan Vladimir, 1999).

Tulisan ini mencoba mengkaji pengaruh letusan Gunung Sinabung yang terjadi pada 15 September 2013 terhadap pengukuran deposisi asam di SPAG Bukit Kototabang.

METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan agregat harian yang terbagi menjadi dua, yaitu data pembandingan yang diperoleh sebelum letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 dan data sampel yang diperoleh setelah letusan Gunung Sinabung 15 September 2013. Serta pada masing-masing parameter itu, baik deposisi basah maupun deposisi kering, ditambahkan dengan nilai ambang batas atau nilai baku mutu udara ambien sesuai PP No. 41 Tahun 1999 (Republik Indonesia, 1999).

Pengukuran Deposisi Basah

Sampel air hujan yang ditampung pada penakar hujan observasi (Obs), selanjutnya diukur curah hujannya menggunakan gelas ukur 25

mm standar BMKG (untuk corong 100 cm²) (Budi, 2003). Kemudian dilakukan pengukuran tingkat keasaman (pH) dan pengukuran daya hantar listrik sampel air hujan.

Pengukuran Tingkat Keasaman (pH) air hujan

Pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan alat pHmeter ORION Tri Star dengan cara mencelupkan elektroda pH meter ke dalam sampel, nilai pH akan terbaca pada display alat. Untuk menjaga kualitas data hasil pengukuran, minimal seminggu sekali sebelum pengukuran pH, instrumen dikalibrasi dengan larutan buffer pH 4,0 dan pH 7,0 (Tahir, 2002). Instrumen pH meter Orion Tri Star masih berfungsi dengan baik jika *slope* (%) berada dalam kisaran 90 sampai 110%. Selama proses kalibrasi *slope* selalu terbaca dalam jangkauan 90 sampai 110%.

Pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL) air hujan

Pengukuran daya hantar listrik air hujan menggunakan Conductivitymeter Inolab Cond level 1 (Weilheim WTW GmbH & Co, 2002), dengan cara mencelupkan elektroda sel ke dalam sampel, nilai DHL akan terbaca pada display alat. Sedangkan untuk menjaga kualitas data pengukuran daya hantar listrik minimal seminggu sekali, *Conductivitymeter* diatur nilai konstanta selnya berada pada kisaran 0,450 sampai 0,500 cm⁻¹, serta harus memenuhi syarat kalibrasi dengan larutan KCl 0,0001 M dan 0,0005 M. Selama proses penentuan konstanta sel selalu terbaca pada kisaran 0,450 sampai 0,500 cm⁻¹ serta hasil kalibrasi selalu memenuhi untuk

larutan KCl 0,0001 M (terbaca 12,5 -16,5 μS/cm) dan KCl 0,0005 M (terbaca 70,2 -77,8 μS/cm).

Pengukuran Deposisi Kering

Ada dua parameter pengukuran deposisi kering, yaitu pengukuran mixing ratio gas dan konsentrasi partikel.

Pengukuran Mixing Ratio Gas (SO₂, NO₂ dan O₃)

Pengukuran Mixing Ratio SO₂

Mixing Ratio gas SO₂ (*part per billion* = ppb) diperoleh dari instrumen TS43i-Trace Level Enhance. Prinsip kerja instrumen ini dengan metode UV Fluorescence. Data gas SO₂ 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 SO₂.

Pengukuran Mixing Ratio NO₂

Mixing Ratio gas NO₂ (*part per billion* =ppb) diperoleh dari instrumen TS42i-Trace Level. Prinsip kerja instrumen ini *Chemiluminescence*. Data gas NO₂ 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 NO₂.

Pengukuran Mixing Ratio O₃ (Ozon Permukaan)

Mixing Ratio gas O₃ (ozon permukaan, dalam unit part per billion = ppb) diperoleh dari instrumen TEI49C. Prinsip kerja instrumen ini berdasarkan UV Photometry (Thermo Environmental Instruments, inc., 2000). Data O₃ merupakan data dengan resolusi 1 menit kemudian data ini diolah menjadi agregat harian. *Rawdata* diambil dari instrumen menggunakan software iport dengan kabel RS232. Instrumen ini dilengkapi dengan sistem kalibrasi (Calibrator Primary Standard O₃ TS-49i PS).

Pengukuran Konsentrasi Partikel (PM10 dan TSP)

Pengukuran Konsentrasi PM10

Konsentrasi PM10 (*particulate matter* 10/ aerosol berukuran kurang dari 10 µm) diperoleh dari instrumen BAM. Instrumen ini menggunakan prinsip pelemahan sinar beta. Data PM10 (µg/m³) merupakan data dengan resolusi 1 jam. *Rawdata* diambil dari instrumen menggunakan aplikasi hyperterminal dengan kabel RS232. Dari *rawdata* kemudian diolah menjadi data agregat harian.

Pengukuran Konsentrasi TSP

Konsentrasi TSP (*Total Suspended Particle*) diperoleh dari instrumen HVAS (*High Volume Air Sampler*). Instrumen ini dioperasikan selama 24 jam. Pompa dioperasikan dengan laju alir 1,2 m³/menit. Partikel akan mengendap pada filter. Selisih antara berat filter sesudah dan sebelum pengoperasian dibagi dengan volume udara yang masuk ke alat merupakan konsentrasi TSP (µg/m³).

Model HYSPLIT Volcanic Ash (BMKG-NOAA)

Untuk memperkirakan arah letusan material dan polutan yang keluar dari Gunung Sinabung pada 15 September 2013, digunakan hasil keluaran Model Hysplit Volcanic Ash kerjasama antara BMKG dan NOAA, yang dirilis secara resmi di website BMKG (BMKG, 2013) dengan skenario Gunung Sinabung meletus pada 14 September 2013 selama 24 jam.

Model FLEXTRA backward Trajectory

Untuk mengkonfirmasi asal massa udara yang sampai ke Bukit Kototabang, penulis memanfaatkan hasil keluaran model FLEXTRA Backward Trajectory yang dijalankan oleh Stephan Henne (dari EMPA), dengan skenario massa udara sampai di Bukit Kototabang pada 22 September 2013 sampai 10 hari ke belakang dari mana polutan/massa udara itu berasal atau tepatnya pada 12 September 2013.

PEMBAHASAN

Deposisi Basah

Air hujan sangat penting pada pengamatan Deposisi Basah, karena air hujan berfungsi sebagai pencuci polutan-polutan (*wash out*) yang ada di atmosfer.

Sebagai data pembanding digunakan data hari hujan sebelum letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 (Tabel 1), sedangkan sebagai data sampel air hujan digunakan data air hujan setelah letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 (Tabel 2). Ada beberapa hari saat tidak terjadi hujan dan curah hujan tidak terukur, sehingga tingkat keasaman (pH) dan

Tabel 1. Data Air Hujan Sebelum Letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013

Tanggal	Curah Hujan (mm)	pH	DHL (mS/cm)
02/08/2013	9	6,316	16,9
04/08/2013	6,5	6,521	1,1
05/08/2013	9	6,524	13,0
08/08/2013	3,5	6,495	16,0
10/08/2013	4,5	6,432	22,9
11/08/2013	3,0	6,515	9,6
12/08/2013	4,5	6,446	17,5
13/08/2013	11,0	6,325	19,9
16/08/2013	17,0	5,933	21,7
19/08/2013	33,0	6,073	33,1
20/08/2013	40,0	4,325	7,6
22/08/2013	30,5	5,935	11,9
23/08/2013	36,5	5,591	12,7
24/08/2013	9,0	5,572	10,7
29/08/2013	7,5	6,138	26,2
31/08/2013	25,0	6,135	12,4
03/09/2013	12,0	6,558	13,5
04/09/2013	7,5	6,593	10,8
05/09/2013	33,5	6,490	18,5
06/09/2013	11,6	6,223	89,2
09/09/2013	4	6,333	24,2
10/09/2013	17,3	5,579	13,6
11/09/2013	1,5	7,044	41,2
12/09/2013	2	7,152	74,3
13/09/2013	15,5	6,413	14,4
14/09/2013	30	6,101	6,6
15/09/2013	3,5	6,708	20,6

konduktivitas/daya hantar listrik air hujan saat itu tidak terukur atau tidak ada data.

Sebagai data pembanding digunakan data harian dari 2 Agustus hingga 15 September 2013. Selama 26 hari curah hujan dapat diukur (mm),

tingkat keasaman (pH) dan daya hantar listriknya.

Sedangkan sebagai data sampel digunakan data harian dari 16 September - 31 Desember 2013. Pada periode ini terdapat 62 hari air hujan dapat diukur ketiga parameternya.

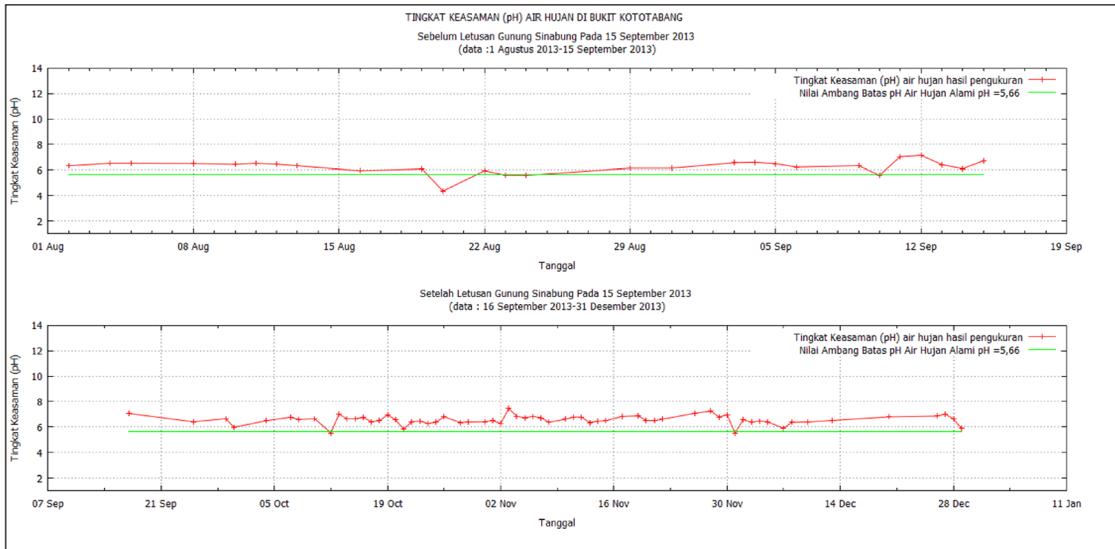
Tingkat Keasaman (pH) Air Hujan

Tingkat keasaman (pH) air hujan sangat penting diamati karena merupakan indikator tingkat kebersihan atmosfer. Bila pH air hujan di sekitar nilai 5,5 berarti air hujan hanya dipengaruhi oleh gas CO₂ saja. Namun adanya konsentrasi gas terlarut misalnya NO₂ dan SO₂, cenderung akan menurunkan nilai pH atau menaikkan tingkat keasaman. Air hujan yang bersifat sangat asam dikenal sebagai hujan asam. Hujan asam yang berlangsung dalam periode yang lama akan berpengaruh buruk terhadap lingkungan hidup (biotik) dan lingkungan tak hidup (abiotik). SPAG Bukit Kototabang merupakan stasiun referensi udara bersih dan berada pada lokasi jauh dari aktivitas manusia.

Tingkat keasaman air hujan setelah letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 menunjukkan bahwa air hujan hanya dipengaruhi oleh konsentrasi gas CO₂ saja dibuktikan pH terukur di atas nilai 5,66. Hal itu menunjukkan bahwa kualitas udara di Bukit Kototabang setelah letusan Gunung Sinabung masih bersih. Atau dengan kata lain letusan Gunung Sinabung ternyata tidak berpengaruh terhadap tingkat keasaman (pH) air hujan di SPAG Bukit Kototabang. Hasil pengukuran tingkat keasaman air hujan di Bukit Kototabang, sebelum dan setelah letusan Gunung Sinabung 15 September 2013 ditunjukkan pada Gambar 4.

Tabel 2. Data Air Hujan Setelah Letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013

Tanggal	Curah Hujan (mm)	pH	DHL ($\mu\text{S/cm}$)	Tanggal	Curah Hujan (mm)	pH	DHL ($\mu\text{S/cm}$)
17/09/2013	5,2	7,075	18,1	07/11/2013	13,0	6,729	26,7
25/09/2013	6,5	6,414	47,0	08/11/2013	23,4	6,375	24,4
29/09/2013	32	6,663	8,4	10/11/2013	5,0	6,618	45,5
30/09/2013	3	5,982	14,5	11/11/2013	4,0	6,791	23,8
04/10/2013	6,5	6,5	19,1	12/11/2013	2,0	6,785	19,3
07/10/2013	1	6,78	41,5	13/11/2013	13,2	6,359	13,3
08/10/2013	3	6,607	12,5	14/11/2013	10,0	6,452	16,1
10/10/2013	49,7	6,653	8,8	15/11/2013	39,5	6,500	8,4
12/10/2013	29	5,532	12,0	17/11/2013	24,0	6,845	40,3
13/10/2013	2	7,014	16,1	19/11/2013	7,5	6,880	22,1
14/10/2013	0,6	6,646	9,7	20/11/2013	17,5	6,535	15,8
15/10/2013	1,3	6,659	8,0	21/11/2013	13,1	6,498	19,1
16/10/2013	4,3	6,758	14,6	22/11/2013	12,5	6,619	38,2
17/10/2013	6	6,423	39,5	26/11/2013	6,2	7,092	43,4
18/10/2013	5,5	6,501	23,5	28/11/2013	2,0	7,262	18,8
19/10/2013	6,5	6,96	19,5	29/11/2013	3,0	6,799	40,2
20/10/2013	6	6,571	12,0	30/11/2013	33,5	6,964	21,9
21/10/2013	9,3	5,815	12,3	01/12/2013	18	5,509	9,6
22/10/2013	9	6,419	12,1	02/12/2013	21	6,594	8,1
23/10/2013	15,8	6,472	12,4	03/12/2013	5,5	6,373	12,7
24/10/2013	24,2	6,278	12,2	04/12/2013	8	6,485	11,9
25/10/2013	8	6,384	12,8	05/12/2013	3,5	6,416	2,06
26/10/2013	2,5	6,812	16,6	07/12/2013	18	5,896	16,3
28/10/2013	31,0	6,357	32,0	08/12/2013	12,6	6,371	11,6
29/10/2013	3,5	6,397	35,3	10/12/2013	59	6,398	41,2
31/10/2013	12,3	6,421	16,8	13/12/2013	5,5	6,518	15,8
01/11/2013	4,5	6,51	34,0	20/12/2013	1,5	6,803	85,8
02/11/2013	33,5	6,289	7,2	26/12/2013	15	6,868	57,2
04/11/2013	28,2	6,86	37,7	27/12/2013	2,5	7,032	45,8
05/11/2013	53	6,724	14,2	28/12/2013	6	6,634	39,3
06/11/2013	38,5	6,854	42,7	29/12/2013	63	5,895	10,3



Gambar 4. Tingkat keasaman (pH) air hujan di Bukit Kototabang, sebelum (atas) dan setelah (bawah) letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013. Ambang Batas pH air hujan alami =5,66.

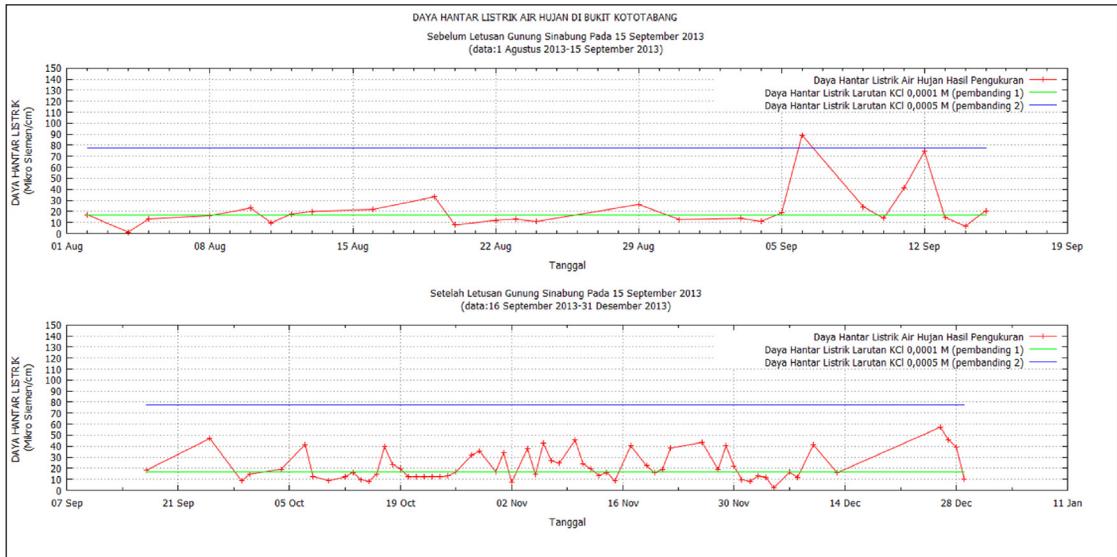
Daya Hantar Listrik Air Hujan

Parameter deposisi basah kedua yang diamati adalah Daya Hantar Listrik (DHL) air hujan. DHL menggambarkan banyaknya ion yang dapat terlarut dalam air hujan. Semakin tinggi DHLnya semakin banyak ion-ion terlarut dalam air hujan. Dengan mempertimbangan kemampuan *washout* dari air, maka DHL air hujan juga dapat menunjukkan konsentrasi polutan di atmosfer. Semakin tinggi konsentrasi polutan di atmosfer yang bisa larut dalam air hujan, maka semakin tinggi DHL yang terukur.

Pada makalah ini digunakan dua larutan kalibrasi sebagai larutan pembanding. Larutan pembanding pertama adalah larutan KCl 0,0001 M yang merupakan larutan sangat encer dan akan memberikan nilai DHL maksimum 16,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Larutan pembanding kedua digunakan larutan KCl 0,0005 M merupakan larutan yang encer dan akan memberikan nilai

dDHL maksimum 77,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

DHL air hujan (Gambar 5) sebelum letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013, sebagian besar di bawah DHL larutan pembanding kedua kecuali pada 6 September 2013 yang mencapai nilai di atas 77,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kemungkinan hal tersebut disebabkan karena aktivitas antropogenik di sekitar SPAG Bukit Kototabang. Sedangkan DHL air hujan setelah letusan Gunung Sinabung 15 September 2013 berada di bawah larutan pembanding kedua (larutan KCl 0,0005 M), atau berada di bawah 77,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kecuali pada 20 Desember 2013 yang mencapai nilai di atas 77,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Kemungkinan hal tersebut disebabkan karena aktivitas antropogenik di sekitar SPAG Bukit Kototabang. Hal itu menunjukkan bahwa kondisi udara pasca letusan Gunung Sinabung masih bersih atau artinya letusan Gunung Sinabung tidak berpengaruh terhadap DHL air hujan.



Gambar 5. Daya Hantar Listrik (DHL) air hujan di Bukit Kototabang, sebelum (atas) dan setelah (bawah) letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013. Sebagai larutan pembanding kesatu adalah larutan KCl 0,0001 M memberikan DHL maksimum 16,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan sebagai larutan pembanding kedua adalah larutan KCl 0,0005 M memberikan DHL maksimum 77,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Deposisi Kering

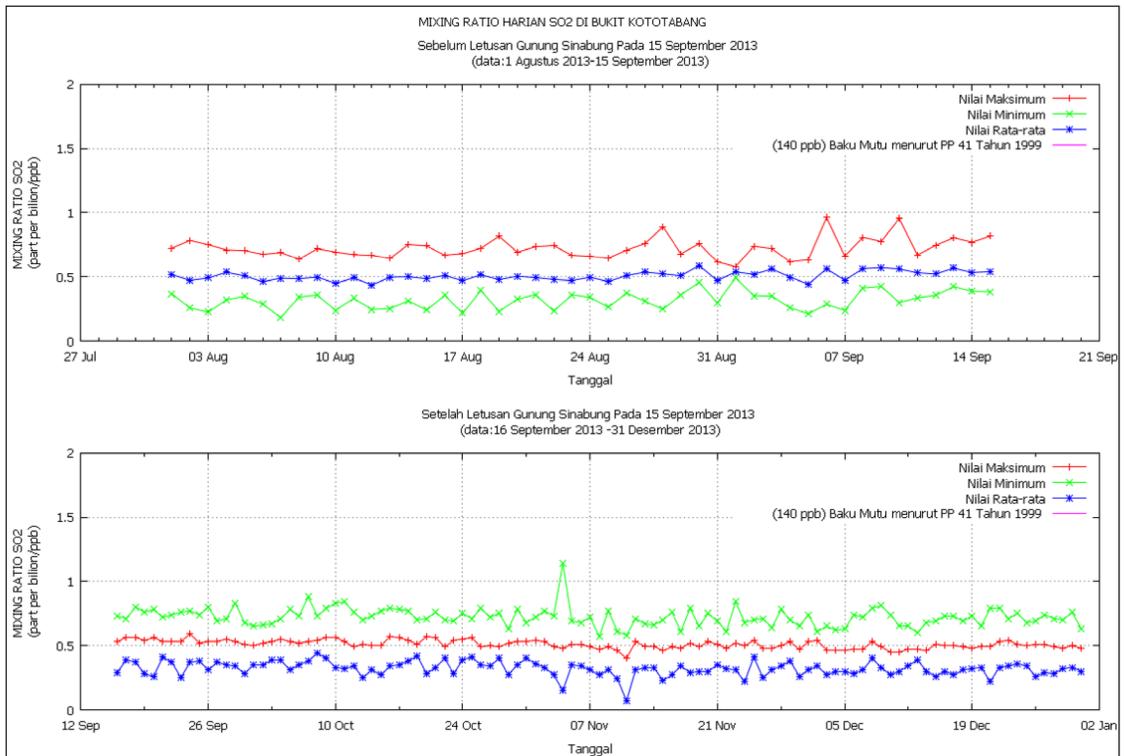
Ada dua parameter utama yang diamati pada pengukuran deposisi kering di SPAG Bukit Kototabang, yaitu gas dan partikel. Untuk gas, ada tiga komponen gas yang dimonitor secara terus-menerus, yaitu gas SO_2 , NO_2 , dan O_3 . Sedangkan untuk partikel, komponen yang dimonitor secara terus-menerus adalah PM_{10} . TSP (*Total Suspended Particle*) disampling pada waktu tertentu saja selama 24 jam dan terjadwal dari BMKG pusat.

Pengukuran *Mixing Ratio Gas* (SO_2 , NO_2 , dan O_3)

Mixing Ratio Gas SO_2

Gas SO_2 merupakan parameter yang penting pada deposisi kering karena sumber alami gas ini adalah letusan gunung api. Selain itu dalam

kondisi memungkinkan gas ini akan mampu membentuk asam sulfat (H_2SO_4). Salah satu keistimewaan gas SO_2 adalah walaupun mempunyai kelarutan yang kecil dalam air, tetapi dalam jumlah molekul yang sama dengan gas lain (CO_2 , NO_2) mampu menaikkan keasaman cukup besar. Hasil pengukuran *mixing ratio* gas SO_2 di Bukit Kototabang, sebelum dan setelah letusan Gunung Sinabung 15 September 2013 disajikan pada Gambar 6. Bagian atas pada Gambar 6 merupakan kondisi khas konsentrasi SO_2 sebelum terjadi letusan Gunung Sinabung. Nilai *mixing ratio* SO_2 di Bukit Kototabang berada jauh di bawah baku mutu udara ambien 140 ppb. Letusan Gunung Sinabung ternyata tidak berpengaruh terhadap *mixing ratio* gas SO_2 di Bukit Kototabang, di mana pengukuran nilai maksimum harian di bawah 1 ppb.



Gambar 6. *Mixing Ratio* SO₂ harian di Bukit Kototabang, sebelum (atas) dan setelah (bawah) letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013. Baku mutu udara ambien menurut PP No. 41 tahun 1999 adalah 140 ppb.

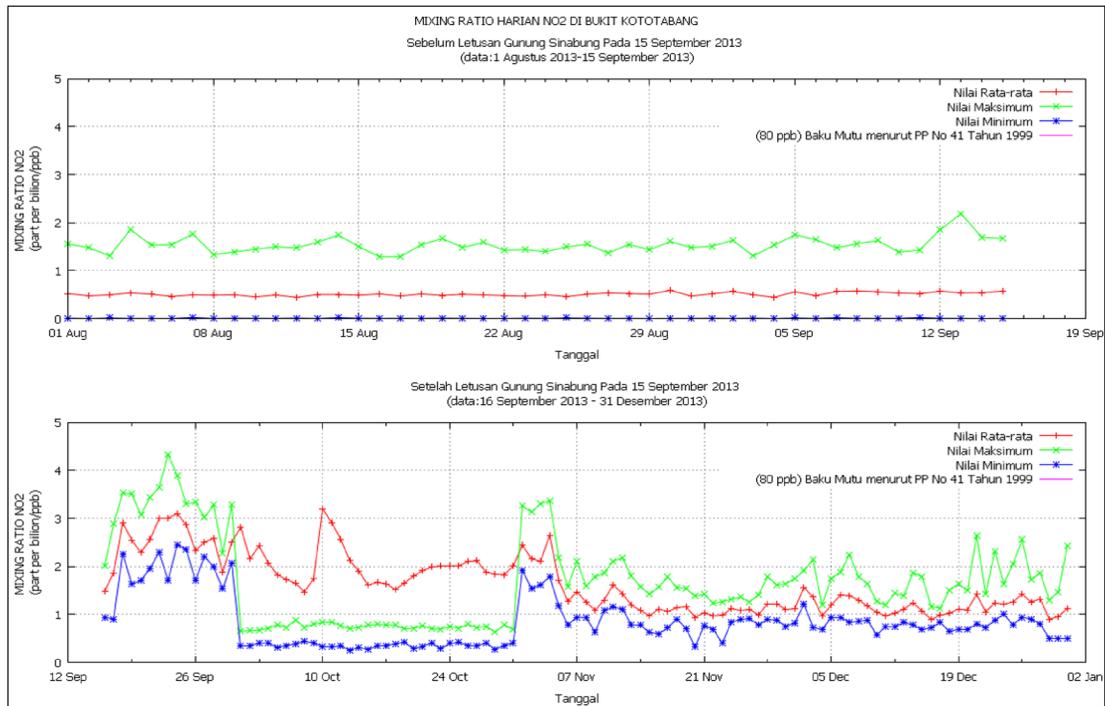
Mixing Ratio Gas NO₂

Parameter gas kedua dalam deposisi kering adalah gas NO₂. Gas NO₂ dalam kondisi lingkungan yang sesuai akan mampu membentuk asam nitrat (HNO₃). Seperti halnya dengan asam sulfat (H₂SO₄), asam nitrat (HNO₃) tergolong asam kuat, sehingga mempunyai kekuatan merusak (korosif) bila terbentuk dalam air hujan. Hasil pengukuran *mixing ratio* gas NO₂ di Bukit Kototabang, sebelum dan setelah letusan Gunung Sinabung 15 September 2013 tersaji (Gambar 7). Nilai *mixing ratio* NO₂ harian di Bukit Kototabang, baik sebelum dan setelah letusan Gunung Sinabung jauh dari baku mutu

udara ambien 80 ppb. Nilai maksimum *mixing ratio* NO₂ setelah letusan Gunung Sinabung lebih tinggi daripada nilai maksimum *mixing ratio* sebelum letusan, walaupun masih dalam kisaran yang sangat kecil di bawah 5 ppb. Hal itu menunjukkan bahwa kualitas udara di Bukit Kototabang setelah letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 masih bersih, atau dapat dikatakan bahwa letusan Gunung Sinabung tidak berpengaruh terhadap pengukuran gas NO₂ di Bukit Kototabang.

Mixing Ratio Gas O₃ (Ozon Permukaan)

Parameter ketiga deposisi kering yang diamati adalah gas O₃. Ozon yang ada di atmosfer ada



Gambar 7. *Mixing Ratio* NO₂ harian di Bukit Kototabang, sebelum (atas) dan setelah (bawah) letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013. Baku mutu udara ambien menurut PP No. 41 tahun 1999 adalah 80 ppb.

dua, yaitu ozon baik (ozon di stratosfer) dan ozon jahat (ozon di permukaan/troposfer), walaupun secara kimia keduanya memiliki rumus kimia yang sama, yaitu O₃. Ozon merupakan parameter penting yang diamati karena merupakan oksidator kuat dan berperan pada reaksi-reaksi kimia di atmosfer. Ozon permukaan merupakan salah satu polutan yang berbahaya bagi manusia dan makhluk hidup yang lain. Hasil pengukuran *mixing ratio* gas O₃ di Bukit Kototabang, sebelum dan setelah letusan Gunung Sinabung 15 September 2013 ditunjukkan pada Gambar 8.

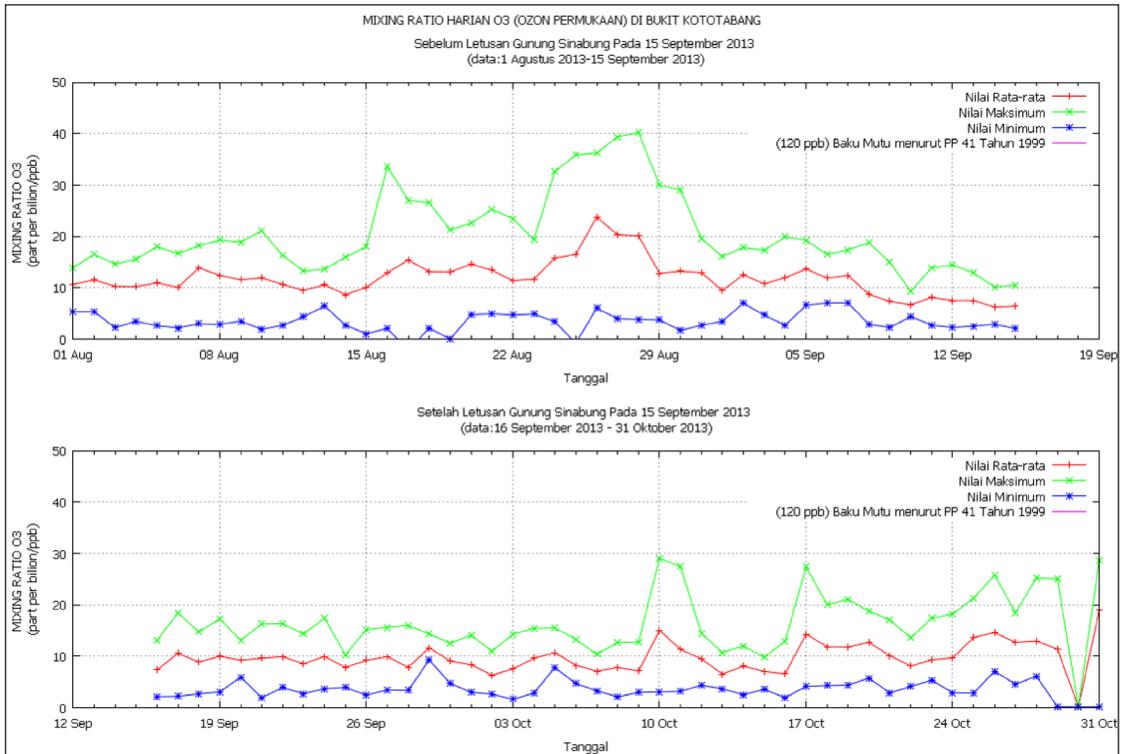
Pola yang sama dengan gas-gas lain ternyata teramati juga pada parameter gas ozon permukaan, yaitu nilai *mixing ratio* harian gas O₃ di Bukit Kototabang jauh dari ambang baku mutu udara

ambien 120 ppb. Nilai maksimum *mixing ratio* O₃ harian setelah letusan Gunung Sinabung (20 ppb) lebih rendah daripada sebelum letusan Gunung Sinabung (40 ppb). Hal itu menandakan bahwa kualitas udara di Bukit Kototabang setelah letusan Gunung Sinabung lebih baik dari sebelum letusan Gunung Sinabung, yang berarti letusan Gunung Sinabung 15 September 2013 tidak berpengaruh terhadap pengukuran *mixing ratio* ozon permukaan.

Pengukuran Konsentrasi Partikel (PM₁₀ dan TSP)

Konsentrasi PM₁₀

PM₁₀ merupakan aerosol atau kelompok partikel dengan ukuran sampai 10 mikron. PM₁₀ penting untuk diamati karena aerosol ini ber-

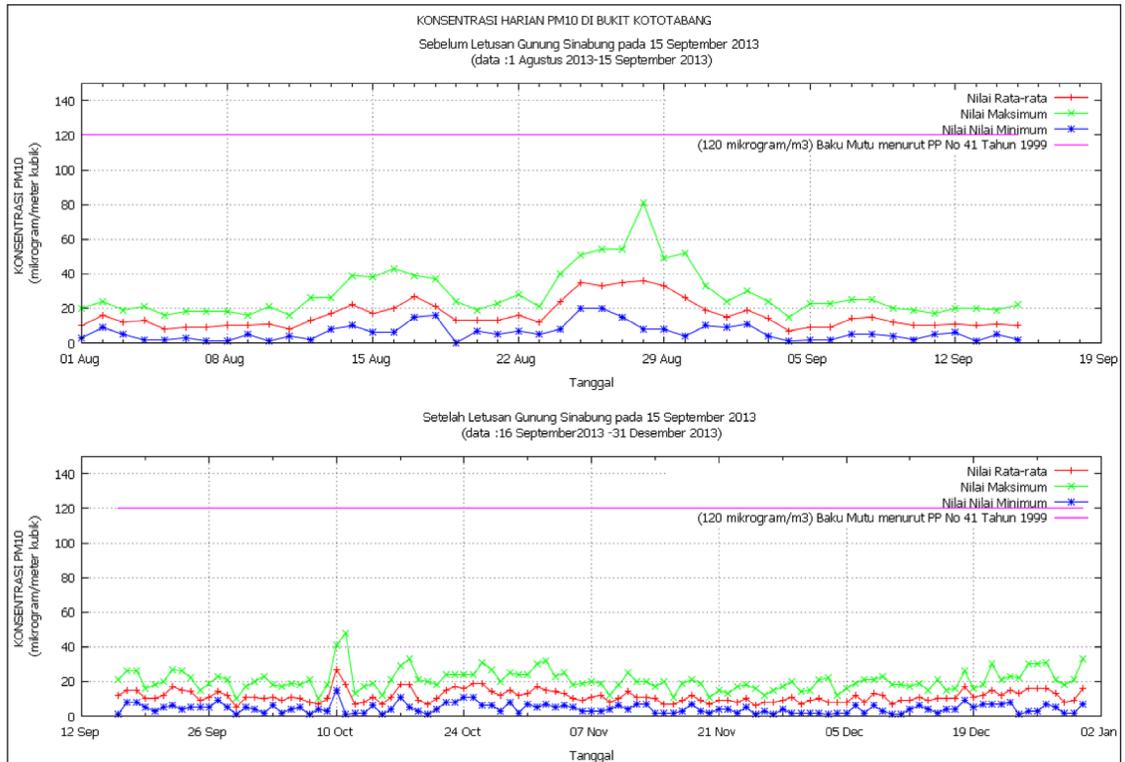


Gambar 8. *Mixing Ratio* O_3 (ozon permukaan) harian di Bukit Kototabang, sebelum (atas) dan setelah (bawah) letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013. Baku mutu udara ambien menurut PP no 41 tahun 1999 adalah 120 ppb.

pengaruh terhadap kesehatan manusia terutama pernapasan (berpotensi untuk mengganggu pernapasan) dan dapat mengganggu jarak pandang (visibilitas). Selain itu partikel ini cenderung mempunyai jarak tempuh yang jauh dari sumber awal polutannya. Letusan gunung api selain mengeluarkan gas-gas, juga mengeluarkan partikel yang salah satunya adalah PM10. Hasil pemantauan konsentrasi PM10 harian di Bukit Kototabang, sebelum dan setelah letusan Gunung Sinabung 15 September 2013 disajikan pada Gambar 9.

Konsentrasi PM10 harian di Bukit Kototabang baik sebelum dan setelah letusan Gunung Sinabung (Gambar 9) pada 15 September

ternyata jauh dari nilai ambang batas udara ambien $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Partikel PM10 yang berukuran kecil yang diharapkan dapat terbang jauh setelah letusan Gunung Sinabung ternyata tidak teramati di Bukit Kototabang, nilai maksimum harian konsentrasi PM10 setelah letusan Gunung Sinabung malah lebih rendah daripada nilai maksimum harian sebelum letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013. Hal itu menandakan dua hal, pertama kualitas udara di Bukit Kototabang masih baik dan kedua, faktor lokal di sekitar Bukit Kototabang penghasil PM10 lebih dominan dari faktor regional. Kedua hal itu menunjukkan bahwa letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 tidak



Gambar 9. Konsentrasi PM10 harian di Bukit Kototabang, sebelum (atas) dan setelah (bawah) letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013. Baku mutu udara ambien menurut PP no 41 tahun 1999 adalah 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

berpengaruh terhadap pengukuran konsentrasi PM10 di Bukit Kototabang.

Konsentrasi TSP

Parameter kedua deposisi kering dari kelompok partikel adalah TSP (*Total Suspended Particle*) merupakan partikel debu yang dapat mengendap dan berukuran sampai 100 mikron. Partikel ini diamati karena debu vulkanik cenderung berukuran lebih besar dari 10 mikron. Konsentrasi TSP di Bukit Kototabang masih lebih rendah daripada nilai baku mutu udara ambien 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Gambar 10), hal itu menunjukkan kualitas udara masih tergolong bersih. Sedangkan nilai konsentrasi masimum

TSP di Bukit Kototabang sebelum letusan Gunung Sinabung 15 September 2013, sedikit lebih tinggi daripada nilai maksimum konsentrasi TSP setelah letusan Gunung Sinabung, walaupun masih dalam kisaran sekitar 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hal itu menunjukkan bahwa letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 tidak berpengaruh terhadap pengukuran konsentrasi TSP.

Model HYSPLIT Volcanic Ash (BMKG-NOAA)

Penggunaan Model HYSPLIT VOLCANIC ASH dari BMKG-NOAA (Stunder *et al.*, 2010) digunakan penulis untuk mengkonfirmasi arah

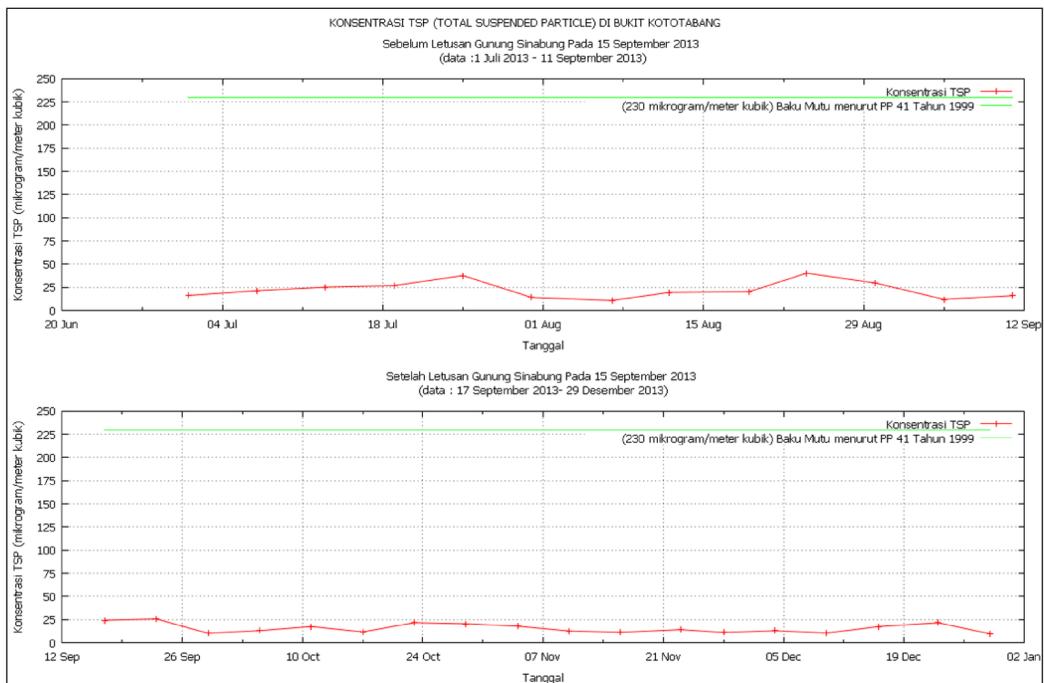
material dan polutan (debu vulkanik) yang berasal dari letusan Gunung Sinabung, penulis memanfaatkan hasil keluaran Model Hysplit Volcanic Ash kerja sama antara BMKG dan NOAA, yang dirilis secara resmi di website BMKG (http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Klimatologi/Informasi_Gunung_Api.bmkg) dengan skenario Gunung Sinabung meletus pada 14 September 2013 selama 24 jam (Gambar 11).

Hasil keluaran model itu dapat menjelaskan mengapa hasil pengukuran deposisi asam di Bukit Kototabang setelah letusan Gunung Sinabung lebih rendah atau sama dengan kondisi sebelum letusan Gunung Sinabung. Hasil ke-

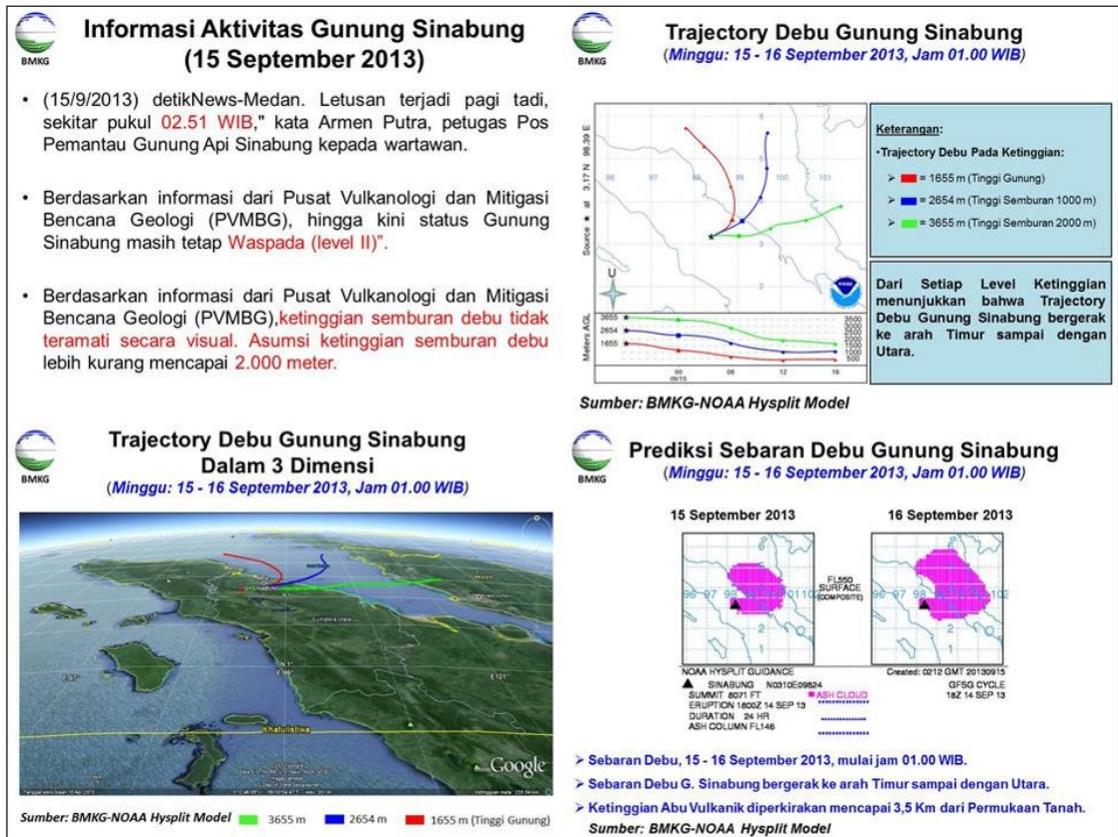
luaran model itu mengkonfirmasi bahwa arah material letusan dan polutan yang keluar dari Gunung Sinabung menuju ke arah timur sampai ke utara, bukan menuju ke selatan ke arah SPAG Bukit Kototabang.

Model FLEXTRA backward Trajectory

Model kedua yang digunakan adalah Model FLEXTRA Backward Trajectory (Stohl, 2002; Seibert and Frank, 2004). Dengan maksud untuk mengkonfirmasi asal massa udara yang sampai ke Bukit Kototabang maka digunakan hasil keluaran model FLEXTRA Backward Trajectory yang dijalankan oleh Stephan Henne (dari



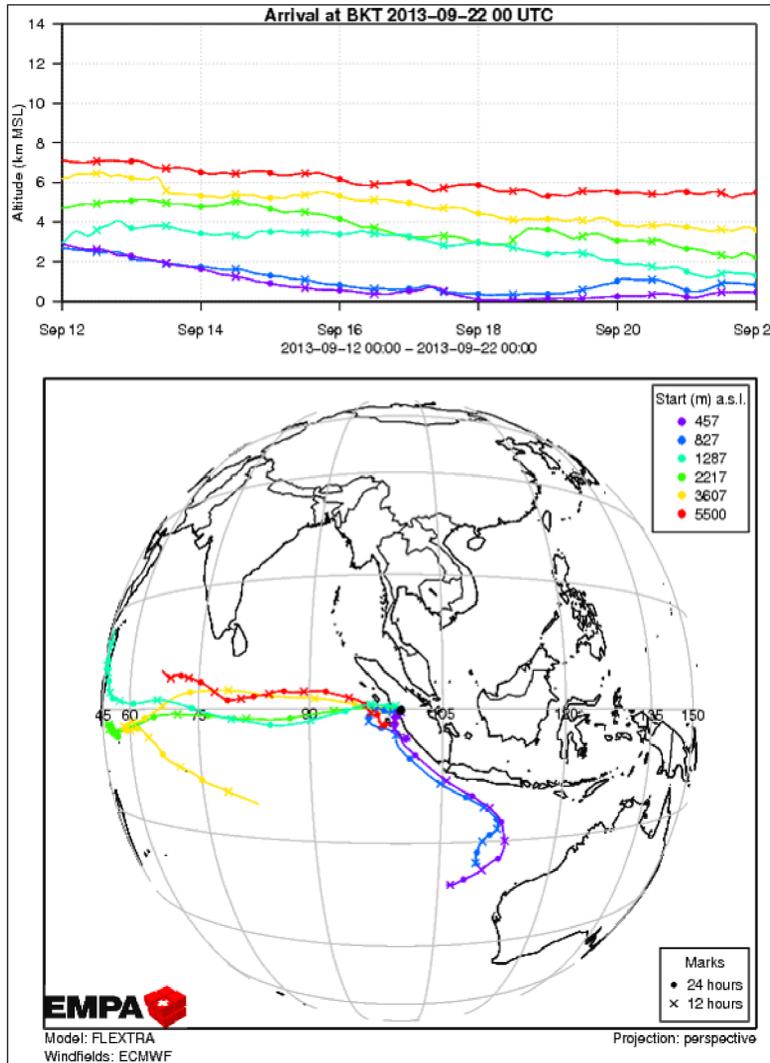
Gambar 10. Konsentrasi TSP di Bukit Kototabang, sebelum (atas) dan setelah (bawah) letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013. Baku mutu udara ambien menurut PP No. 41 tahun 1999 adalah $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



Gambar 11. Hasil keluaran Model Hysplit Volcanic Ash kerjasama antara BMKG dan NOAA, yang dirilis secara resmi di website BMKG (www.bmkg.go.id) dengan skenario Gunung Sinabung meletus pada 14 September 2013 selama 24 jam.

EMPA). Hasil keluaran model itu dengan skenario bahwa massa udara sampai ke Bukit Kototabang pada 22 September 2013, dan mundur sampai 10 hari ke belakang dari mana polutan/massa udara itu berasal atau tepatnya pada 12 September 2013 ditunjukkan pada Gambar 12. Hasil keluaran model FLEXTRA Backward Trajectory juga menguatkan hasil keluaran model

Model Hysplit Volcanic Ash bahwa massa udara yang sampai ke SPAG Bukit Kototabang bukan berasal dari letusan material dan polutan yang keluar dari Gunung Sinabung, melainkan berasal dari pantai barat Sumatra, sehingga udara yang terukur pada pemantauan deposisi asam baik deposisi kering maupun deposisi basah di SPAG Bukit Kototabang cenderung bersih/bebas polutan.



Gambar 12. Hasil keluaran Model FLEXTRA Backward Trajectory dengan skenario massa udara sampai di Bukit Kototabang pada 22 September 2013 dan model dijalankan mundur 10 hari ke belakang dari polutan/massa udara itu berasal (12 September 2013).

KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisis di atas dapat diambil kesimpulan, letusan Gunung Sinabung pada 15 September 2013 tidak mempengaruhi hasil pengukuran deposisi asam di SPAG Bukit

Kototabang, hal itu karena material letusan berupa partikel dan gas-gas yang keluar dari Gunung Sinabung cenderung ke arah timur sampai ke utara dan menyebar menjauh dari SPAG Bukit Kototabang.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada rekan-rekan di SPAG Bukit Kototabang, antara lain: Rinaldi, Harika Utri, Yosfi Andri, Dwi Lestari Sanur, Reza Mahdi, Aulia Rinadi, dan Alberth Christian Nahas yang telah mengoperasikan, merawat, dan mengkalibrasi instrumen deposisi basah dan deposisi kering. Penulis mengucapkan terima kasih kepada BMKG pusat atas hasil keluaran model HYSPLIT Volcanic Ash, serta kepada Stephan Henne dari EMPA (Swiss) yang telah menjalankan model FLEXTRA Backward Trajectory untuk SPAG Bukit Kototabang.

ACUAN

Andrews, J., E., Brimblecombe, P., Jickells, T. D., and Liss, P. S., 1996, *An Introduction to Environmental Chemistry*. School of Environmental Sciences. University of East Anglia, Blackwell Sciences, UK.

BMKG, 2013, Hasil keluaran model HYSPLIT Volcanic Ash (BMKG-NOAA), http://www.bmkg.go.id/BMKG_Pusat/Klimatologi/Informasi_Gunung_Api.bmkg, [20 September 2013]

Budi, 2003, *Presentasi: Dasar-dasar Pengamatan Hujan*, Stasiun Klimatologi Darmaga, Bogor.

Delmelle, P., Stix, J., Bourque, C. P., Baxter, P. J., Alvarez, P. G., Barquer, J., 2001, Dry Deposition and Heavy Acid Loading in the Vicinity of Masaya Volcano, a Major Sulfur and Chlorine Source in Nicaragua, *Environmental Science & Technology*, Vol. 35, No. 7, page 1289-1293

Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., Taylor, A., 2009, *Hysplit4 User's Guide, Version 4.9*, NOAA Technical Memorandum.

Gawsis, 2013, *Global Atmosphere Watch (GAW) Station*, www.gawsis.de [25 September 2013]

Henne, S., 2013, *BKT: Bukit Koto Tabang back-trajectories for 2013*, lagrange.empa.ch/FLEXTRA_browser/data_access.php [20 September 2013]

Kurniawan, A., 2009, Pengaruh Gas CO₂ dan SO₂ di Atmosfer terhadap pH Air Hujan Di Bukit Kototabang. *Megasains Vol.2*.

Media Indonesia, 2010, *Gunung Sinabung*, <http://mediaindonesia.com> [30 Agustus 2010]

Met One Instruments, Inc., 2001, *BAM 1020 Particulate Monitor Operation Manual*, Oregon.

Republik Indonesia, 1999, *Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang pengendalian udara*, Menteri Sekretaris Negara Republik Indonesia, Jakarta

Radojevic, M., dan Vladimir, B. N., 1999, *Practical Environmental Analysis*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Robock, A., 2002, *Volcanic Eruptions, Volume 1, The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, pp 738-744

Seibert and Frank, 2004. Source-receptor matrix calculation with a Lagrangian particle dispersion model in backward mode, *Atmos. Chem. Phys.* 4, 51-63

Stohl, A., 2002, The FLEXTRA Trajectory Model User Guide, Version 3.0, Lehrstuhl für Bioklimatologie und Immissionsforschung, University of Munich, diakses melalui <http://www.forst.uni-muenchen.de/LST/METEOR/stohl/flextra.html>, diakses tanggal 12 Oktober 2013

Stunder, B., dan Draxler, R., 2010, *HYSPLIT model description and operational set up for benchmark case study*, Workshop on Ash Dispersal Forecast and Civil Aviation, Geneva, Switzerland.

Tahir, I. 2002, *Arti Penting Kalibrasi Pada Proses Pengukuran Analitik: Aplikasi Pada Penggunaan pHmeter*

dan Spektrofotometer UV-Vis, Paper Seri Manajemen Laboratorium, Laboratorium Kimia Dasar, Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Gadjah Mada.

Thermo Environmental Instruments, Inc., 2000, *Instruction Manual TEI49C UV Photometric O₃ Analyzer (P/N 9999)*, Massachusetts.

Weilheim WTW GmbH & Co, 2002, *Operating Manual inoLab Cond Level 1*, Germany.

Wittiri, S. R., 2010, Gunung Sinabung Naik Kelas, *Warta Geologi*, September 2010, Vol. 5 No. 3

Wikipedia, 2013, *Gunung Sinabung*, <http://id.wikipedia.org> [23 September 2013]