

ANALISA PENGARUH LETUSAN ABU VULKANIK GUNUNG MARAPI DI SUMATERA BARAT TERHADAP PENGUKURAN GAS (SO_2) DAN PARTIKEL (PM_{10} DAN SPM) DI STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL BUKIT KOTOTABANG

THE ANALYSIS OF EFFECT OF THE INFLUNCE OF MARAPI VOLCANIC ERUPTION IN WEST SUMATRA TO THE MEASUREMENT OF GAS (SO_2) AND PARTICULATE MTTER (PM_{10} AND SPM) IN GLOBAL ATMOSPHERIC MONITORING KOTOTABANG HILL STATION

Agusta Kurniawan¹

(Diterima tanggal 15-11-2011; Disetujui tanggal 14-03-2012)

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan analisa pengaruh letusan abu vulkanik Gunung Marapi di Sumatera Barat pada awal bulan Agustus 2011 terhadap pengukuran gas (SO_2) dan partikel (PM_{10} dan SPM) di SPAG Bukit Kototabang. Sebagai data pembanding yaitu data rata-rata harian sebelum letusan abu vulkanik gunung Marapi, yaitu data harian bulan Juli 2011, sedangkan sebagai data sampel (data setelah Gunung Marapi meletus) digunakan data rata-rata harian 1-10 Agustus 2011. Model Hysplit Volcanic Ash dari NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) dan Citra Satelit OMI (*Ozon Monitoring Instrument*) digunakan untuk memperkirakan arah letusan Gunung Marapi. Hasil analisis menunjukkan bahwa letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada awal Agustus 2011 tidak berpengaruh terhadap pengukuran pengukuran gas (SO_2) dan partikel (PM_{10} dan SPM) di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Kata Kunci: Gunung Marapi, SPAG Bukit Kototabang, SO_2 , PM_{10} dan SPM, Hysplit *Volcanic Ash Model*

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the influence of volcanic ash eruption of Mount Marapi in West Sumatra in early August 2011 to the measurement of gas (SO_2) and particulate matter (PM_{10} and SPM) in Global GAW Bukit Kototabang Station. As reference data are daily average data prior to the eruption of volcanic ash Marapi, the daily data of July 2011, while the sample data (data after the eruption of Mount Marapi) used data on average daily 1 to 10 August 2011. Volcanic Ash Hysplit models from NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) and OMI image are used to estimate direction of the eruption of Mount Marapi. The analysis showed that the volcanic ash eruption of Mount Marapi in early August 2011 had no effect on the measurement of gas measurement (SO_2) and particulate matter (PM_{10} and SPM) in the Global GAW Bukit Kototabang Station.

Keywords: Mount Marapi, Global GAW Bukit Kototabang Station, SO_2 , PM_{10} and SPM, Hysplit *Volcanic Ash Model*

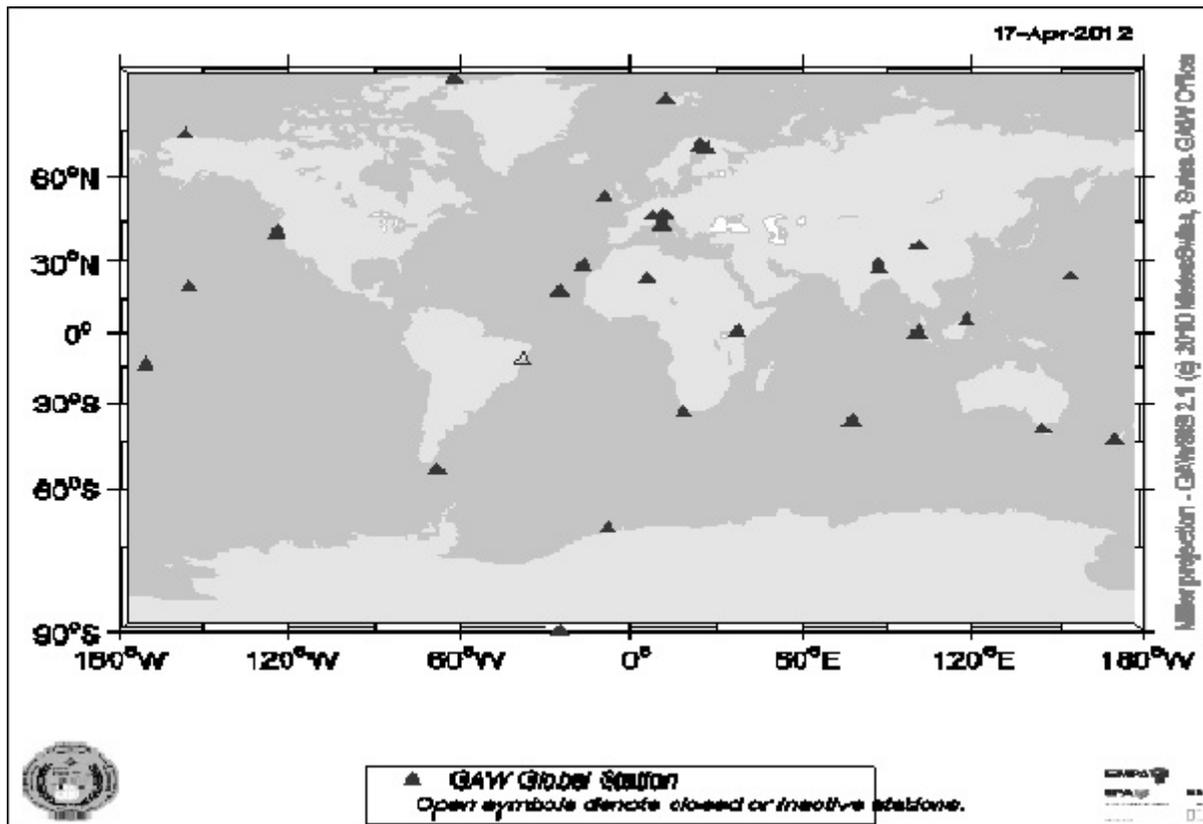
PENDAHULUAN

Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang merupakan satu-satunya Stasiun Pemantau Atmosfer Global di Indonesia dan merupakan satu dari 34 Stasiun Pemantau Atmosfer Global sejenis (skala global) yang ada di dunia. Stasiun Pemantau

Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang merupakan salah satu stasiun pengamatan referensi udara bersih⁽¹⁾.

Secara geografi Stasiun Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang terletak pada 100.32 bujur timur, 0.20 lintang selatan

¹⁾ Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Sumatera Barat Komplek rumah dinas BMKG, Pasadama, Kotomalintang, Kec. Tilatang Kamang, Kab. Agam, Sumatera Barat Telp (0752)7446089, Fax (0752)7446449, Email: Agusta.Kurniawan@bmgk.go.id



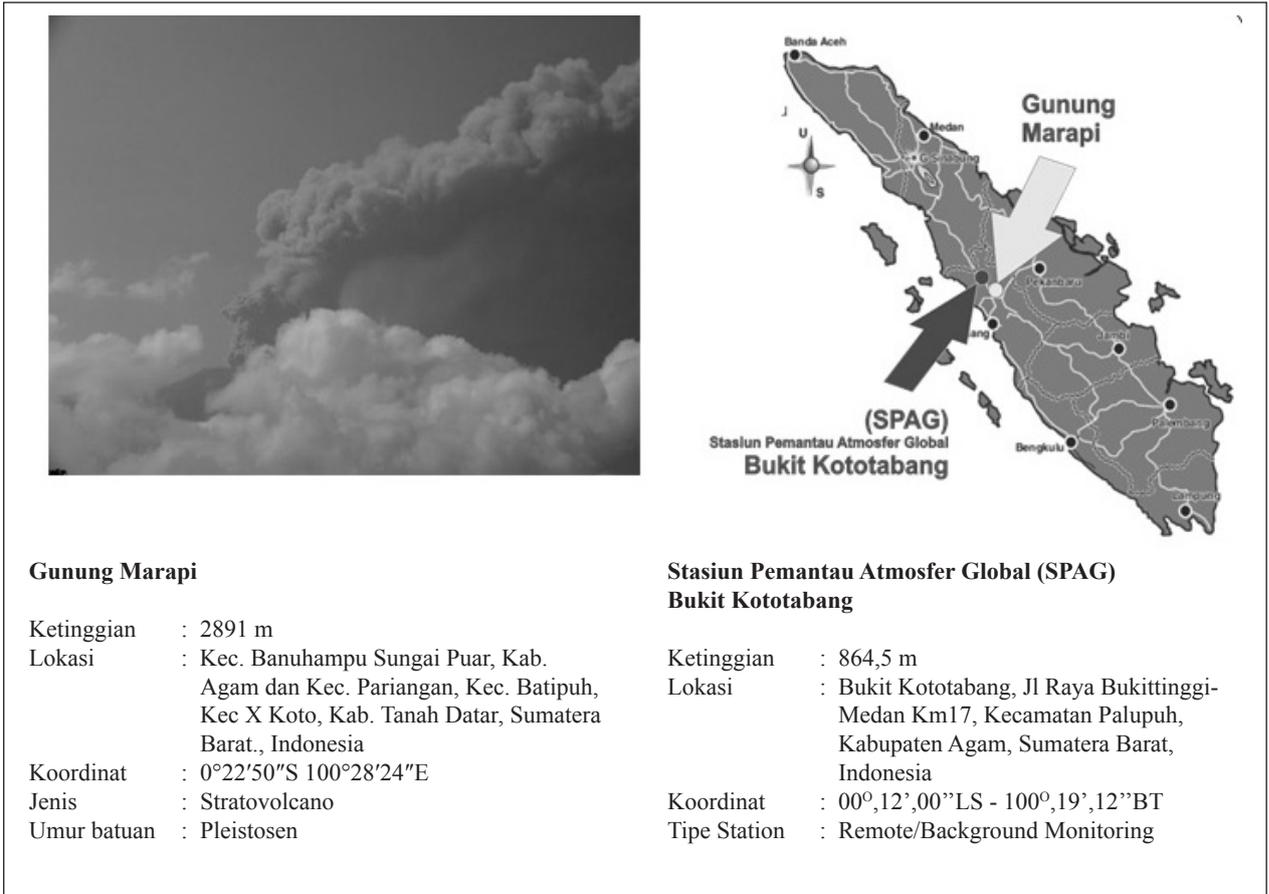
Gambar 1. Lokasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global di dunia ⁽²⁾

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 ⁽¹⁾.

Gunung Marapi secara administratif berlokasi di dua kabupaten, yaitu kabupaten Agam dan kabupaten Tanah datar, propinsi Sumatera Barat, Indonesia. Kecamatan Banuhampu Sungai Puar di Kabupaten Agam dan Kecamatan Pariangan, Kecamatan Batipuh,

Kecamatan X Koto di Kabupaten Tanah Datar. Gunung Marapi merupakan salah satu jenis Gunung berapi Tipe B (Stratovolcano) ^(3,4,5).

Menurut laporan dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Gunung Marapi di Sumatera Barat mulai ada peningkatan aktifitas sejak tanggal 3 Agustus 2011 pukul 09.00 WIB ⁽⁶⁾. Material yang dikeluarkan pada letusan gunung berapi biasanya berupa asap tebal dan abu vulkanik, yang biasa terkandung SO₂, belerang, partikel debu/aerosol dan sebagainya.



Gambar 2. Informasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dan Gunung Marapi ^(1,3,4,5)

Berdasarkan pertimbangan kedekatan lokasi Gunung Marapi dan Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, serta fungsi Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang sebagai salah satu stasiun referensi udara bersih, maka tulisan ini mencoba melakukan analisa pengaruh letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada awal bulan Oktober 2011 terhadap pengukuran gas (SO₂) dan parameter partikel (PM₁₀ dan SPM) di Stasiun Pemantau Atmosfer Global (SPAG) Bukit Kototabang.

METODOLOGI

Pengukuran Konsentrasi Gas SO₂ ⁽¹⁾

Konsentrasi gas SO₂ diukur instrumen *TS43i-Trace Level Enhance*. Sesuai dengan namanya, instrumen ini diperuntukkan monitoring gas

SO₂ di daerah remote, nilai konsentrasi gas terukur dalam orde ppb (part per billion). Instrumen ini melakukan monitoring secara terus-menerus. 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 untuk menjamin kualitas peralatan dan data yang dihasilkan.

Pengukuran Konsentrasi PM₁₀ ⁽¹⁾

Konsentrasi PM₁₀ diperoleh dari instrumen *BAM 1020*. Instrumen ini melakukan monitoring secara terus-menerus. Prinsip kerja

instrumen ini adalah pelemahan sinar beta. Data PM_{10} merupakan data dengan resolusi 1 jam. *Rawdata* diambil dari instrumen menggunakan aplikasi *hyper terminal* dengan kabel *RS232*. Dari *rawdata* kemudian diolah menjadi data agregat harian. Nilai konsentrasi PM_{10} terukur dalam unit $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pengukuran Berat *Suspended Particulate Matter* (SPM)⁽¹⁾

Berat *Suspended Particulate Matter* (SPM) diperoleh dari instrumen *HVAS (High Volume Air Sampler) Staplex*. *HVAS Staplex* dilengkapi alat *hourmeter* untuk menghitung durasi pemasangan/pengoperasional instrumen. Instrumen ini dioperasikan selama 24 jam. *HVAS Staplex* ini juga dilengkapi dengan *flow controller* (pengatur laju alir), yang memastikan laju alir udara tetap sama/konstan. Laju alir udara diatur tetap $1.12 \text{ LPM} \approx 1.2 \text{ LPM}$. Berat *Suspended Particulate Matter* (SPM) merupakan selisih antara berat filter sesudah pemasangan dikurangi berat filter sebelum pemasangan (dalam gram).

Citra Satelit OMI (Ozon Monitoring Instrument) pada Satelit Aura

Citra satelit ini digunakan untuk memotret dari luar angkasa, konsentrasi kolom SO_2 di atmosfer bumi dalam satuan DU (Dobson Unit).

Hysplit Volcanic Ash Model⁽¹⁾

Model ini merupakan salah satu produk dari NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), dan pada tulisan ini dipergunakan untuk memverifikasi arah letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada 3 Agustus 2011.

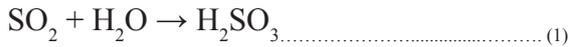
HASIL DAN PEMBAHASAN

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang merupakan stasiun referensi udara bersih dan memantau background monitoring kondisi udara ambien mewakili daerah terpencil di dunia khususnya di daerah ekuator. Oleh karena itu pengukuran gas maupun partikel akan sangat sensitif terhadap perubahan aktivitas antropogenik ataupun aktivitas alami seperti letusan abu vulkanik gunung berapi.

Data yang digunakan pada tulisan ini berbasis harian (agregat harian). Sebagai data pembanding (data referensi) digunakan data harian parameter sebelum terjadinya letusan abu vulkanik gunung Marapi, yaitu data bulan Juli 2011, sedangkan sebagai data pengujian (data sampel) digunakan data harian setelah letusan awal abu vulkanik gunung Marapi (awal meletus pada 3 Agustus 2011 pada pukul 09.00 WIB). Ada tiga parameter yang dianalisa pada tulisan ini yaitu konsentrasi gas SO_2 dinyatakan dalam ppb, konsentrasi partikel PM_{10} dinyatakan dalam $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan konsentrasi SPM (*Suspended Particulate Matter*) yang penulis nyatakan sebagai berat debu (g).

Pengukuran Konsentrasi Gas SO_2

Parameter gas SO_2 (Sulfurdioksida) diamati pada pengukuran ini karena gas SO_2 sebagai salah satu parameter deposisi asam, yang menyebabkan kerusakan pada lingkungan. Gas SO_2 berbau tajam dan tidak mudah terbakar, bila bertemu dengan udara yang mengandung uap air akan bereaksi membentuk asam sulfat (H_2SO_4)⁽⁸⁾.



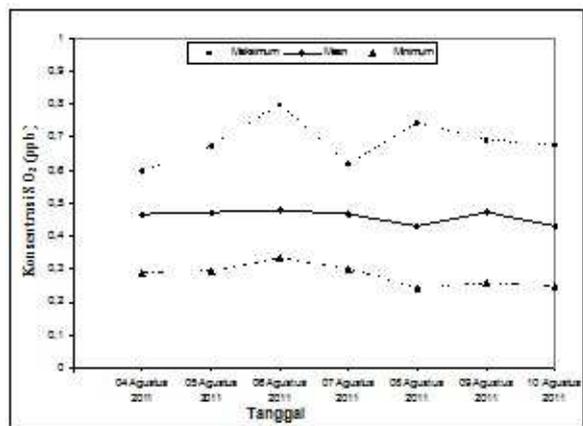
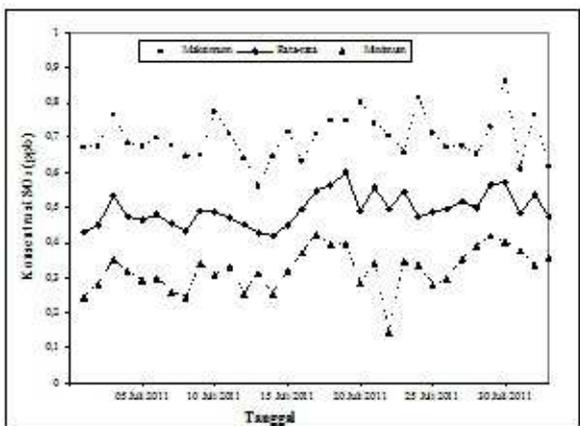
Gas SO₂ bila bertemu dengan oksigen di udara akan membentuk gas SO₃, kemudian bereaksi dengan uap air (H₂O) atau bereaksi dengan air hujan akan membentuk asam sulfat (H₂SO₄)⁽⁸⁾.



Asam sulfat ini akan bersifat korosif terhadap logam, bangunan, dan juga bisa membuat logam-logam terlarut kembali dalam bentuk oksidasi tinggi sehingga beracun bagi makhluk hidup^(8,9). Walaupun gas SO₂ (Sulfurdioksida) mempunyai kelarutan yang kecil dalam air, namun dalam jumlah mol yang sama dengan gas lain (misal : CO₂ , NO₂), gas ini mampu menaikkan keasaman/menurunkan pH air hujan secara signifikan dibandingkan dengan gas lain tersebut⁽⁹⁾.

Nilai rata-rata konsentrasi gas SO₂ sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi (pada 1 Juli 2011 sampai 2 Agustus 2011) sebesar

0,50 ppb, dan maksimum tercapai pada tanggal 30 Juli 2011 sebesar 0,86 ppb. Nilai rata rata konsentrasi gas SO₂ setelah letusan (pada 4 sampai 10 Agustus 2011) sebesar 0,50 ppb, dan maksimum tercapai pada tanggal 5 Agustus 2011 sebesar 0,80 ppb. Dari data tersebut menunjukkan bahwa letusan abu vulkanik gunung Marapi tidak mempengaruhi pengukuran gas SO₂ di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang. Adanya fluktuasi konsentrasi gas SO₂ yang teramati sebelum letusan abu vulkanik gunung Marapi merupakan variabilitas harian akibat adanya aktivitas antropogenik di sekitar Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang. Kenaikan konsentrasi gas SO₂ setelah letusan abu vulkanik gunung Marapi masih dalam orde ppb (*part per bilion*), bukan merupakan pengaruh material letusan gunung Marapi, tetapi merupakan variabilitas harian. Dari analisis tersebut dapat dikatakan letusan abu vulkanik Gunung Marapi tidak berpengaruh terhadap pengukuran gas SO₂ di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.



Gambar 3. Konsentrasi harian gas SO₂ di SPAG Bukit Kototabang, kiri: sebelum (sebagai data referensi) dan kanan: setelah (sebagai data sampel), letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada 3 Agustus 2011

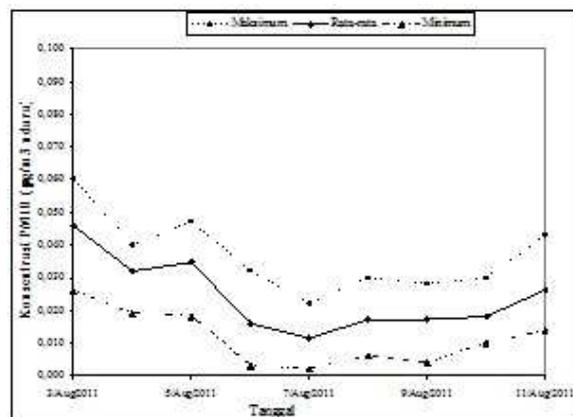
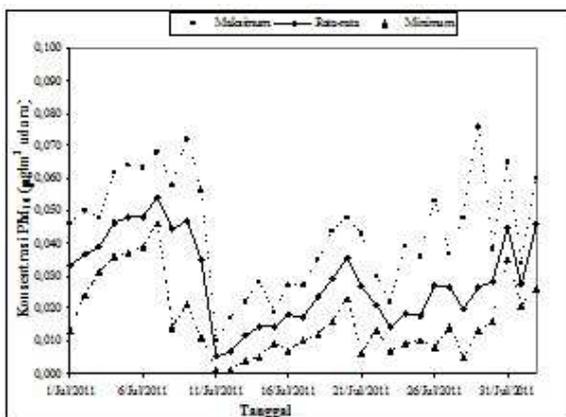
Pengukuran Konsentrasi Partikel PM₁₀ (Particulate Matter)

Parameter partikel dalam hal ini adalah PM₁₀ (partikel debu berukuran sampai 10 mikron). Parameter ini penting untuk diamati karena partikel ini berpengaruh terhadap kesehatan manusia terutama pernafasan (berpotensi untuk mengganggu pernapasan) dan dapat mengganggu jarak pandang (visibilitas) (7,10). Selain itu partikel ini cenderung mempunyai jarak tempuh yang jauh dari sumber awal polutannya. Letusan abu vulkanik gunung berapi sangat berpotensi mengeluarkan partikel PM₁₀ ini.

Sebelum letusan abu vulkanik gunung Marapi (pada 1 Juli sampai 2 Agustus 2011), konsentrasi PM₁₀ rata-rata harian di SPAG Bukit Kototabang sebesar 0.029 µg/m³ udara, dan mencapai konsentrasi maksimum sebesar 0.076 µg/m³ udara pada 29 Juli 2011. Menurut PP41/ 1999 mensyaratkan konsentrasi PM₁₀ sebesar 0.120 µg/m³ udara, dan konsentrasi PM₁₀ rata-rata harian di SPAG Bukit Kototabang masih berada di ambang batas yang dipersyaratkan. Tingginya konsentrasi PM₁₀ pada awal bulan Juli

2011 (tanggal 3 sampai 10) dan pada akhir bulan Juli 2011, kemungkinan besar adalah aktivitas antropogenik di sekitar stasiun GAW Bukit Kototabang, kemungkinan besar adalah perambahan dan pembakaran hutan di sekitar stasiun, ditambah lagi dengan adanya transport polutan hasil kebakaran hutan di pulau Sumatera, khususnya di Jambi dan Riau. Setelah letusan abu vulkanik gunung Marapi (pada tanggal 2 sampai 10 agustus 2011), konsentrasi PM₁₀ rata-rata harian di SPAG Bukit Kototabang sebesar 0.024 µg/m³ udara, dan mencapai maksimum tercapai pada 3 Agustus 2011 sebesar 0.060 µg/m³ udara.

Kecenderungan tinggi setelah letusan abu vulkanik Gunung Marapi dan menurun sampai 7 Agustus 2011 dan menaik lagi sampai 11 Agustus 2011, bukan merupakan akibat dari letusan abu vulkanik gunung Marapi, tetapi merupakan variabilitas rata-rata harian konsentrasi PM₁₀ akibat aktivitas antropogenik di stasiun GAW Bukit Kototabang dan transport polutan akibat kebakaran hutan di pulau Sumatra. Letusan abu vulkanik Gunung Marapi ternyata tidak berpengaruh secara nyata



Gambar 3. Konsentrasi harian PM₁₀ di SPAG Bukit Kototabang, kiri: sebelum (sebagai data referensi) dan kanan: setelah (sebagai data sampel), letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada 3 Agustus 2011

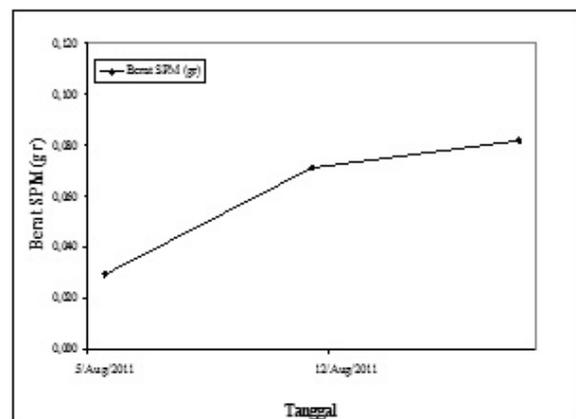
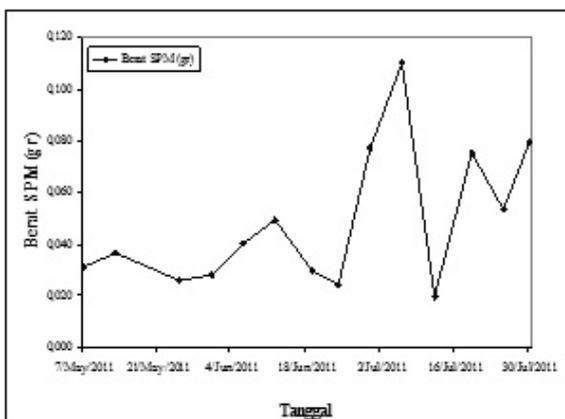
terhadap pengukuran partikel PM_{10} di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, terlihat bahwa nilai rata-rata dan nilai maksimum konsentrasi harian PM_{10} setelah letusan abu vulkanik gunung Marapi terukur lebih rendah dibandingkan nilai rata-rata dan nilai maksimum konsentrasi harian PM_{10} sebelum letusan abu vulkanik gunung Marapi.

Pengukuran Konsentrasi Partikel SPM (Suspended Particulat Matter)

Parameter partikel yang diukur adalah *Suspended Particulat Matter* (SPM), merupakan partikel debu (aerosol) yang dapat mengendap dan biasanya berukuran sampai 100 mikron. Partikel ini diamati karena debu vulkanik mempunyai cenderung berukuran besar dan mudah mengendap.

Pengukuran sampel SPM dilakukan selama 24 jam, dengan jadwal mingguan, dan sebagai data sebelum letusan abu vulkanik gunung Marapi diukur dari 7 mei 2011 sampai 30 Juli 2011, namun ada beberapa tanggal dimana data tidak tersedia. Konsentrasi SPM dalam tulisan ini dinyatakan sebagai berat dalam gram. Berat SPM diperoleh dengan cara mengurangi berat filter setelah disampling

dikurangi berat filter sebelum disampling (awal). Berat SPM rata-rata sebelum letusan abu vulkanik gunung Marapi sebesar 0,048 gram, dengan nilai maksimum tercapai pada 6 Juli 2011 sebesar 0,1100 gram. Ternyata pola yang sama pada pengukuran partikel PM_{10} teramati juga pada pengukuran SPM, pada 6 Juli 2011, pengukuran SPM mencapai puncak, hal itu bisa dijelaskan bahwa akibat aktivitas antropogenik di sekitar stasiun GAW Bukit Kototabang dan transport polutan akibat kebakaran hutan di pulau Sumatra. Sedangkan sebagai data sampel atau data SPM setelah letusan abu vulkanik gunung Marapi hanya diukur tiga kali yaitu 5, 7 dan 11 Agustus 2011. Nilai rata-rata berat SPM setelah letusan abu vulkanik Gunung Marapi sebesar 0,0609 gram dan mencapai maksimum pada 17 Agustus 2011 sebesar 0,0821 gram. Walaupun nilai rata-rata berat SPM setelah letusan abu vulkanik Gunung Marapi lebih tinggi daripada nilai rata-rata berat SPM sebelum letusan Gunung Marapi, namun itu tidak menunjukkan bahwa letusan abu vulkanik berpengaruh secara signifikan terhadap pengukuran SPM di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang. Nilai maksimum berat SPM sebelum letusan abu vulkanik Gunung



Gambar 4. Konsentrasi SPM di SPAG Bukit Kototabang, kiri: sebelum (sebagai data referensi) dan kanan: setelah (sebagai data sampel), letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada 3 Agustus 2011

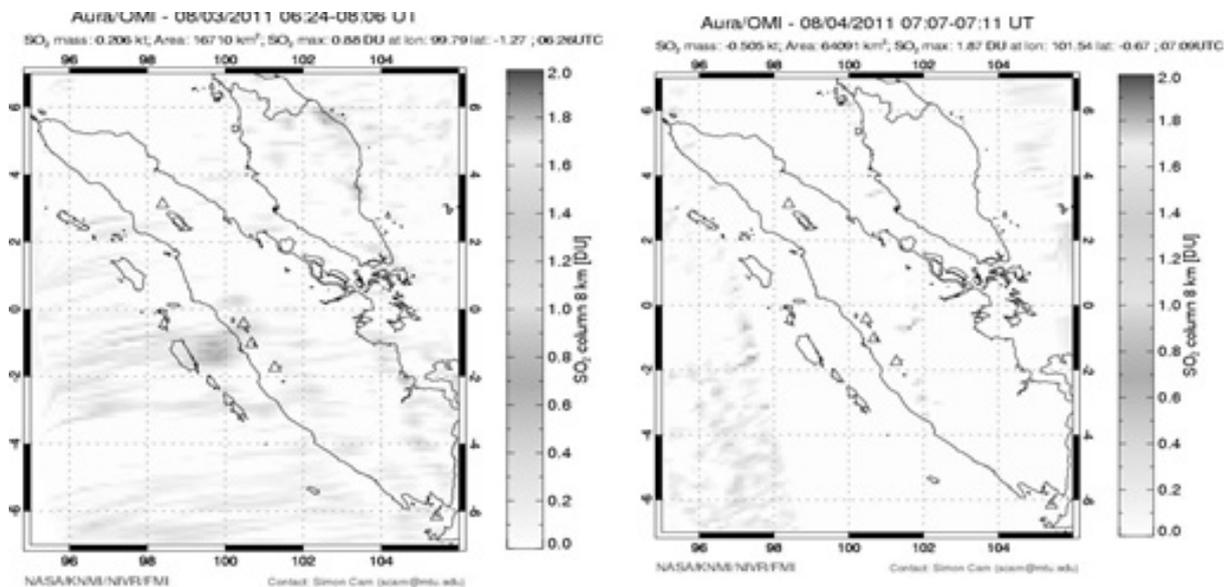
Marapi (0,1100 gram) lebih tinggi daripada nilai maksimum berat SPM setelah letusan abu vulkanik Gunung Marapi (0,0821 gram), letusan abu vulkanik mengeluarkan material ke udara yang banyak, sehingga penurunan nilai maksimum berat SPM sebelum dikurangi sesudah letusan abu vulkanik, merupakan bukti yang lebih masuk akal bahwa letusan abu vulkanik Gunung Marapi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pengukuran SPM di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Citra Satelit dari Instrumen OMI (*Ozon Monitoring Instrument*) pada Satelit Aura

Penulis menggunakan citra satelit OMI untuk melihat konsentrasi kolom SO₂ di atas pulau Sumatera untuk dapat membantu menjelaskan fenomena konsentrasi gas (SO₂) di stasiun

Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang terukur lebih kecil setelah letusan abu vulkanik dibandingkan sebelum letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada 3 Agustus 2011.

Citra satelit OMI juga mendukung data pengamatan partikel dan gas di stasiun GAW Bukit Kototabang, tidak teramati kenaikan yang signifikan akibat letusan abu vulkanik Gunung Marapi 3 Agustus 2011 terutama pada pengukuran konsentrasi gas SO₂ disebabkan karena material abu vulkanik bergerak menuju ke barat ke arah pantai Sumatera, bukan menuju ke arah timur ke Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang (lihat panah pada gambar 4), dan pada hari berikutnya pada tanggal 4 Agustus 2011, kondisi kolom atmosfer sudah lebih bersih.

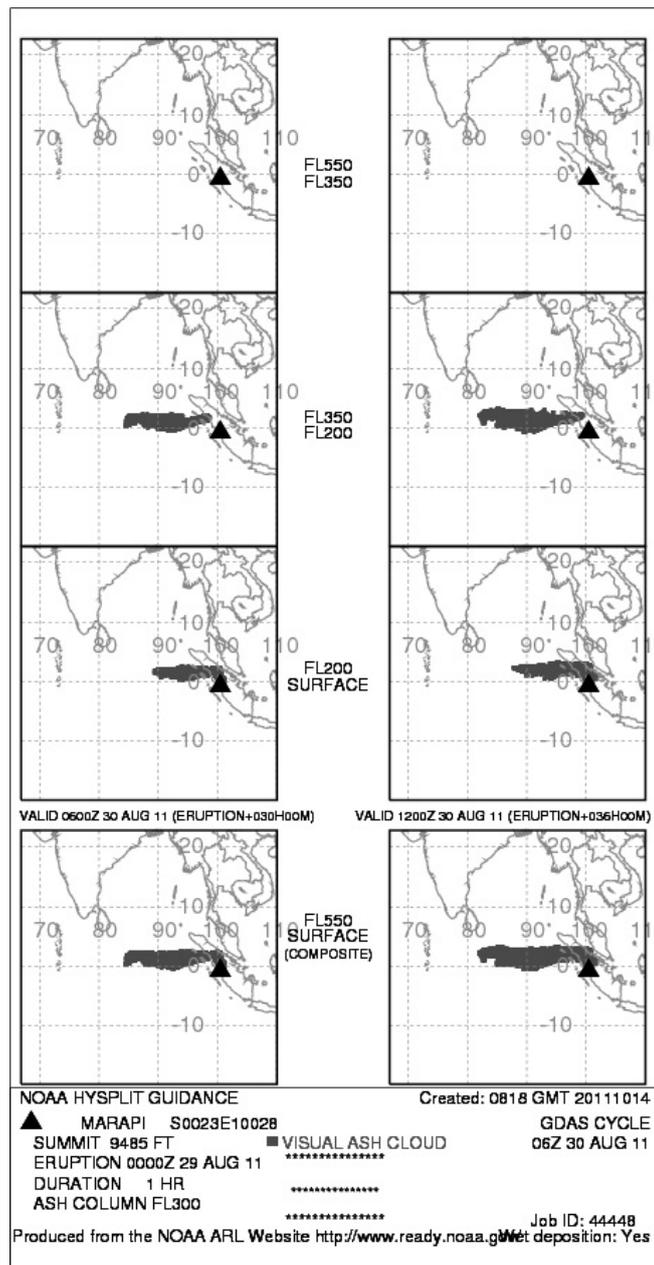


Gambar 4. Citra Satelit OMI menunjukkan kolom konsentrasi SO₂ di pulau Sumatra kiri: saat terjadi letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada 3 Agustus 2011, kanan pada 4 Agustus 2011 ⁽¹¹⁾

Hysplit Volcanic Ash Model

Salah satu model berfungsi untuk memperkirakan arah letusan abu vulkanik dan material gunung berapi adalah *Hysplit Volcanic Ash Model* dari NOAA. Penulis menggunakan model ini untuk dapat lebih menjelaskan mengapa konsentrasi partikel dan gas di stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang

Bukit Kototabang terukur lebih rendah, atau mengapa letusan abu vulkanik Gunung Marapi tidak berpengaruh secara signifikan terdapat pengukuran partikel dan gas di stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang. Penulis menjalankan model tersebut dengan skenario Gunung Marapi di Sumatera Barat meletus selama 1 jam, dan terjadi pada 29 Agustus 2011.



Gambar 5. Hasil running *Hysplit Volcanic Ash Model* dari NOAA, dengan skenario Gunung Marapi meletus pada 29 Agustus 2011,selama 1 jam ⁽¹²⁾.

Hasil running model tersebut, menguatkan lagi citra satelit OMI dari satelit AURA bahwa material abu vulkanik gunung Marapi melayang terbang ke arah barat ke pantai Padang, bukan ke arah Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang.

Hubungan antara Berbagai Parameter

Walaupun jarak antara Gunung Marapi dengan SPAG Bukit Kototabang kurang dari 50 km, namun parameter-parameter pengukuran partikel dan gas tidak terlalu terpengaruh. Nilai pengukuran gas SO₂ dan nilai pengukuran partikel PM₁₀ dan SPM yang diharapkan tinggi, karena material abu vulkanik akan banyak mengandung gas SO₂ dan partikel-partikel yang berukuran sampai 100 mikrometer seharusnya terbawa terbang menuju ke SPAG Bukit Kototabang, ternyata tidak. Data-data fluktuatif nilai pengukuran gas SO₂ dan partikel (PM10 dan SPM) merupakan variabilitas harian, dan banyak dipengaruhi oleh transport polutan dari daerah lain seperti kebakaran, kegiatan antropogenik di sekitar SPAG Bukit Kototabang, dan bukan akibat dari letusan abu vulkanik Gunung Marapi. Data Citra Satelit OMI pada saat dan setelah letusan didukung dengan output dari *Model Hysplit Volcanic Ash* (dari NOAA) sangat sesuai dengan data observasi di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang. Arah dan lintasan abu vulkanik letusan abu vulkanik Gunung Marapi ke arah barat atau ke arah Pantai Sumatra, bukan ke arah timur (ke arah SPAG Bukit Kototabang), sehingga semua parameter pengukuran partikel dan gas di SPAG Bukit Kototabang, terukur rendah.

SIMPULAN

Berdasarkan data dan analisis di atas dapat diambil kesimpulan, letusan abu vulkanik Gunung Marapi pada 3 Agustus 2011 tidak mempengaruhi hasil pengukuran gas (SO₂) dan partikel (PM10 dan SPM) di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, karena material abu vulkanik Gunung Marapi melayang terbang ke arah barat ke Pantai Sumatra.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan SPAG Bukit Kototabang yang telah mengoperasikan dan menganalisa TSP terutama kepada Yosfi Andri ST dan Aulia Rinadi AHMg. Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada NASA (NASA Official: Nikolay A. Krotkov, Web Content: Keith D. Evans (UMBC/JCET), Simon Carn) dalam hal ini menyediakan Citra OMI pada Satelit Aura secara online (http://so2.gsfc.nasa.gov/pix/daily/0811/sumatra_0811z.html) melalui internet. Penulis juga mengucapkan terima kasih terhadap NOAA yang menyediakan *Model Hysplit Volcanic Ash* yang diakses online melalui <http://ready.arl.noaa.gov/READYVolcAsh.php>.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Agusta Kurniawan. 2010. Pengaruh Letusan Gunung Sinabung Terhadap Pengukuran Deposisi Asam Di Bukit Kototabang. *Megasains Volume I No.4 Desember 2010*, hal:218-229.
- (2) Peta lokasi Stasiun Pemantau Atmosfer Global di dunia (skala global) diperoleh dari <http://gaw>.

- empa.ch/gawsis/StationList.asp, diakses 17 April 2012.
- (3) Foto letusan Gunung Marapi di Sumatera Barat diperoleh dari <http://rafjitsu.blogspot.com/2011/08/aktivitas-gunung-marapi-meningkat.html>, diakses 16 April 2012.
- (4) Informasi tentang Gunung Marapi diperoleh dari <http://catros.wordpress.com/2007/05/11/gunung-marapi/>, diakses 16 April 2012.
- (5) Informasi tentang Gunung Marapi diperoleh dari http://id.wikipedia.org/wiki/Gunung_marapi, diakses 16 April 2012.
- (6) Informasi tentang Gunung Marapi diperoleh dari http://www.bnpb.go.id/website/asp/berita_list.asp?id=636, diakses 17 April 2012.
- (7) Edison Kurniawan, Nuraliyanti, Mizani Ahmad, dan Budi Setiawan. 2011. Karakteristik PM10 Di Wilayah Kemayoran. *Megasains Volume 2 No.2 Juni 2011*, hal:83-91.
- (8) RTM Sutamihardja, Tati Murniawati. 2008. Deposisi Asam (Acid deposition). Materi Training Deposisi Asam di Pusarpedal, 28 - 30 Oktober 2008.
- (9) 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.
- (10) R. Miroslav dan B. N. Vladimir .1999. *Practical Environmental Analysis*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- (11) Citra OMI dari Satelit Aura diperoleh melalui <http://so2.gsfc.nasa.gov/> , diakses 8 Agustus 2011.
- (12) Output *Model Hysplit Volcanic Ash* diperoleh dari NOAA melalui <http://ready.arl.noaa.gov/READYVolcAsh.php>.