

## PENYEBARAN SO<sub>2</sub> DI SEKITAR GUNUNG MARAPI PERIODE LETUSAN 2011

*Sumaryati*

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN  
*sumary.bdg@gmail.com*

### *Abstract*

*Sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) is one of the important compounds emitted by the volcano. The dispersion of volcanic SO<sub>2</sub> is influenced by height of material plume and the meteorological character around the volcano. The important thing that affect of the material plume height of pollutant dispersion pattern is whether material plume height exceed the mixing height. The result of height of material plume visual observation, it observed the material plume is dominant of 300 m that under normal conditions and exceeded 1000 m in period of 2011 eruption. Daily mixing layer height reaches its peak during the day at an altitude between 300 - 400 m. Therefore in normal condition, SO<sub>2</sub> disperses around volcano easily because the material plume is under mixing height. During period eruption in 2011, the material plume observed exceeded the maximum mixing height. It causes the SO<sub>2</sub> dispersion in a long distance reached about 127 km southwesterly related to the wind direction output TAPM on that time, and total SO<sub>2</sub> observed of 0.88 DU*

*Keywords: dispersion, mixing height, plume rise, SO<sub>2</sub>, Marapi*

### **Abstrak**

SO<sub>2</sub> merupakan salah satu senyawa penting yang diemisikan oleh gunung api. Penyebaran SO<sub>2</sub> dari gunung api dipengaruhi oleh tinggi kepulan dan sifat meteorologi di sekitar gunung api. Hal penting yang mempengaruhi tinggi kepulan pada pola penyebaran polutan adalah apakah tinggi kepulan dapat melampaui *mixing height* atau tidak. Hasil pengamatan visual tinggi kepulan gunung api pada kondisi normal menunjukkan bahwa tinggi kepulan dominan pada ketinggian 300 m, tetapi pada kejadian aktif pada mencapai 1000 m. Lapisan *mixing height* harian mencapai puncaknya pada siang hari pada ketinggian antara 300 - 400 m. Oleh karena itu penyebaran SO<sub>2</sub> masih terjadi dengan mudah di sekitar gunung api karena tinggi kepulan berada di bawah *mixing height*. Saat aktif tahun dengan tinggi kepulan yang melampaui *mixing height* maksimum sehingga penyebaran SO<sub>2</sub> mencapai jarak yang jauh sekitar 127 km arah barat daya sesuai arah angin kelauran dari TAPM yang terjadi pada waktu itu dan SO<sub>2</sub> total teramati sebesar 0,88 DU.

**Kata kunci:** penyebaran, *mixing height*, kepulan, SO<sub>2</sub>, Marapi

### **1. PENDAHULUAN**

Gunung api merupakan salah satu sumber alami emisi SO<sub>2</sub> yang dilepas ke atmosfer. Emisi SO<sub>2</sub> dari gunung api memiliki kontribusi sebesar (8 – 9) % dari emisi total (Richard et al, 1987 dan Chulkyu et al, 2010). Kontribusi tersebut masih lebih rendah dibanding dengan emisi dari pembakaran bahan bakar fosil yang besarnya sekitar 66 % (Chulkyu, et al 2010). Emisi SO<sub>2</sub> dari gunung api terjadi melalui proses *degassing* dan letusan. Selain sebagai sumber emisi SO<sub>2</sub>, gunung

api juga mengemisikan berbagai gas yang diemisikan ke atmosfer seperti  $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2S$ ,  $HCl$ ,  $HF$ , (USGS, : <http://volcanoes.usgs.gov/hazards/gas/index.php>) dan partikulat yang sering disebut sebagai abu vulkanik. Dari setiap gunung api memiliki prosentase emisi masing-masing jenis senyawa yang tidak sama (Sawyer et al, 2008).

Gas  $SO_2$  memiliki sifat kimia dan fisika yang unik. Gas  $SO_2$  berdampak pada kesehatan manusia, terutama pada gangguan pernafasan dan iritasi mata. Gas  $SO_2$  sangat reaktif dengan sangat cepat teroksidasi membentuk aerosol sulfat ( $SO_4^{2-}$ ), yang berdampak pada deposisi asam dan pembentukan awan. *Life time* yang cukup pendek sekitar (1-3) hari tergantung besarnya energi radiasi matahari (Chulkyu, et al 2010), semakin tinggi paparan radiasi matahari semakin pendek *life timenya*.

Dalam makalah ini dikaji a sebaran  $SO_2$  dari gunung Marapi ketika terjadi letusan pada tanggal 3 Agustus 2011. Gunung Marapi ini merupakan salah satu rentetan gunung api yang berjajar Bukit Barisan. Gunung Marapi terletak pada koordinat ( $100,47 \square BT$ ;  $0,71 \square LS$ ), secara administratif berada dalam wilayah Kabupaten Agam dan Batusangkar, propinsi Sumatera Barat ([http://proxy.vsi.esdm.go.id/1-1.php?id\\_deskripsi=193](http://proxy.vsi.esdm.go.id/1-1.php?id_deskripsi=193)). Pola sebaran emisi material dari gunung api selain ditentukan oleh kondisi meteorology pencemaran udara juga ditentukan oleh tinggi kepulan. Tinggi kepulan penting karena kondisi Kondisi parameter meteorologi polusi udara pada setiap ketinggian atmosfer tidak sama, sehingga penyebaran polutan di setiap ketinggian juga tidak sama. Parameter meteorologi yang penting diperhatikan adalah kestabilan atmosfer yang diidentifikasi dengan *mixing height*.

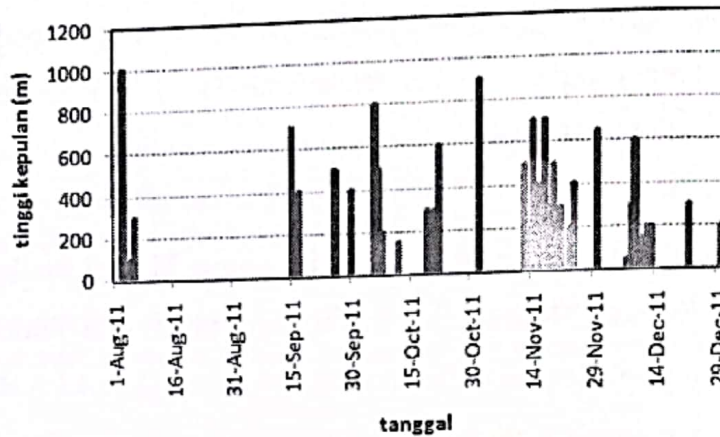
## 2. DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi total  $SO_2$ , tinggi kepulan, *mixing height*, serta arah dan kecepatan angin. Total  $SO_2$  dideteksi oleh sensor OMI pada satelit AURA pada CMA (center of mass altitude) middle troposfer (sekitar 7.5 km) terkait dengan aktifitas gunung api. Tinggi kepulan adalah data pengamatan visual di pos pengamat Gunung Marapi. *Mixing height* dan angin adalah output dari running program TAPM (The Air Pollution Model), yang dirunning pada tanggal 1 – 7 Agustus 2011. Data angin yang merupakan hasil running program TAPM dikompilasi dalam bentuk windrose dengan menggunakan perangkat WRPLOT View dan total  $SO_2$  dipetakan dengan perangkat Surfer.



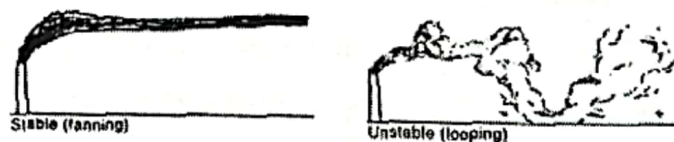
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gunung Marapi aktifitasnya meningkat pada tanggal 3 Agustus 2011 dengan status waspada. Tinggi kepulan materi yang dikeluarkan dari kawahnya secara visual teramati sampai ketinggian 1000 m (Gambar 3.1). Tinggi kepulan ini lebih tinggi dari kepulan yang diemisikan pada kondisi aktifitas level normal. Pada aktifitas level normal bulan berikutnya tinggi kepulan rata-rata setinggi 400 m, dan kebanyakan mencapai ketinggian 400 m.



**Gambar 3.1** Tinggi kepulan asap Marapi bulan Agustus – Desember 2011

Tinggi kepulan emisi  $SO_2$  dari gunung api sangat menentukan pola penyebarannya. Perbedaan pola penyebaran  $SO_2$  sangat jelas jika tinggi kepulan melampaui *mixing height* atau tidak. Jika tinggi kepulan melampaui *mixing height*, maka terjadi aliran laminar dari parcel udara yang membawa  $SO_2$  sehingga tidak ada pencampuran dengan udara ambien yang konsentrasi  $SO_2$  rendah. Sebaliknya jika kepulan di bawah *mixing height*, maka terjadi olakan terhadap parcel udara dari kawah gunung api yang membawa  $SO_2$  tinggi sehingga cepat terjadi pencampuran dengan udara ambien. Perbedaan penyebaran polusi udara dari kedua kondisi kepulan tersebut dapat digambarkan pada Gambar 3.2.

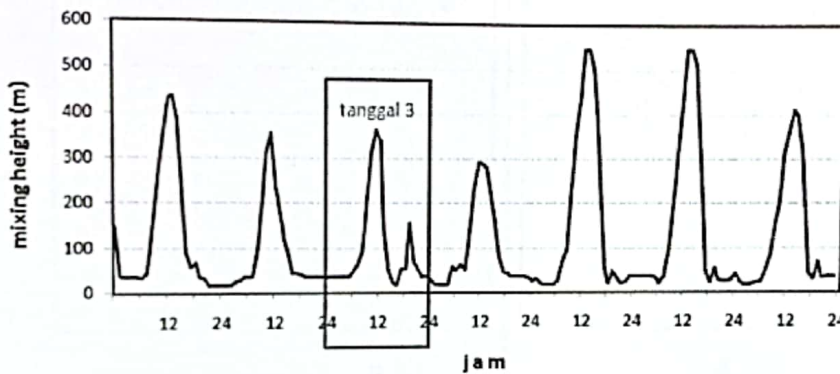


**Gambar 3.2** Perbedaan kepulan dalam lapisan stabil (a) dan tidak stabil (b)  
 (Sumber: Pal Arya, 1999)

*Mixing height* di atas Marapi keluaran TAPM yang dirunning pada tanggal 1 – 7 Agustus 2011 ditunjukkan pada Gambar 3.3a. Banyak model yang telah mengestimasi tinggi *mixing height* antara lain Steven (2007) serta Fatogoma dan Jacko (2002) Secara umum, hasil model *mixing height* harian berbentuk seperti pola intensitas radiasi matahari. *Mixing height* rendah ketika matahari

terbenam sampai matahari terbit dengan nilai berkisar antara (25 – 100) m. *Mixing height* mulai naik ketika matahari terbit dan puncaknya ketika matahari berada di sekitar titik kulminasi, dengan ketinggian bisa mencapai 3000 m.

Hasil running TAPM menunjukkan ada perubahan pola *mixing height* harian pada tanggal 3 Agustus saat terjadi letusan gunung Marapi Umumnya pada malam hari *mixing height* hanya sekitar (25 – 50) m, tetapi pada malam tanggal 3 Agustus sampai sekitar 150 m. Hal itu dimungkinkan karena adanya hembusan udara panas dengan energi yang tinggi dari kawah Marapi, sehingga menciptakan turbulensi yang kuat dan menaikkan *mixing height*.

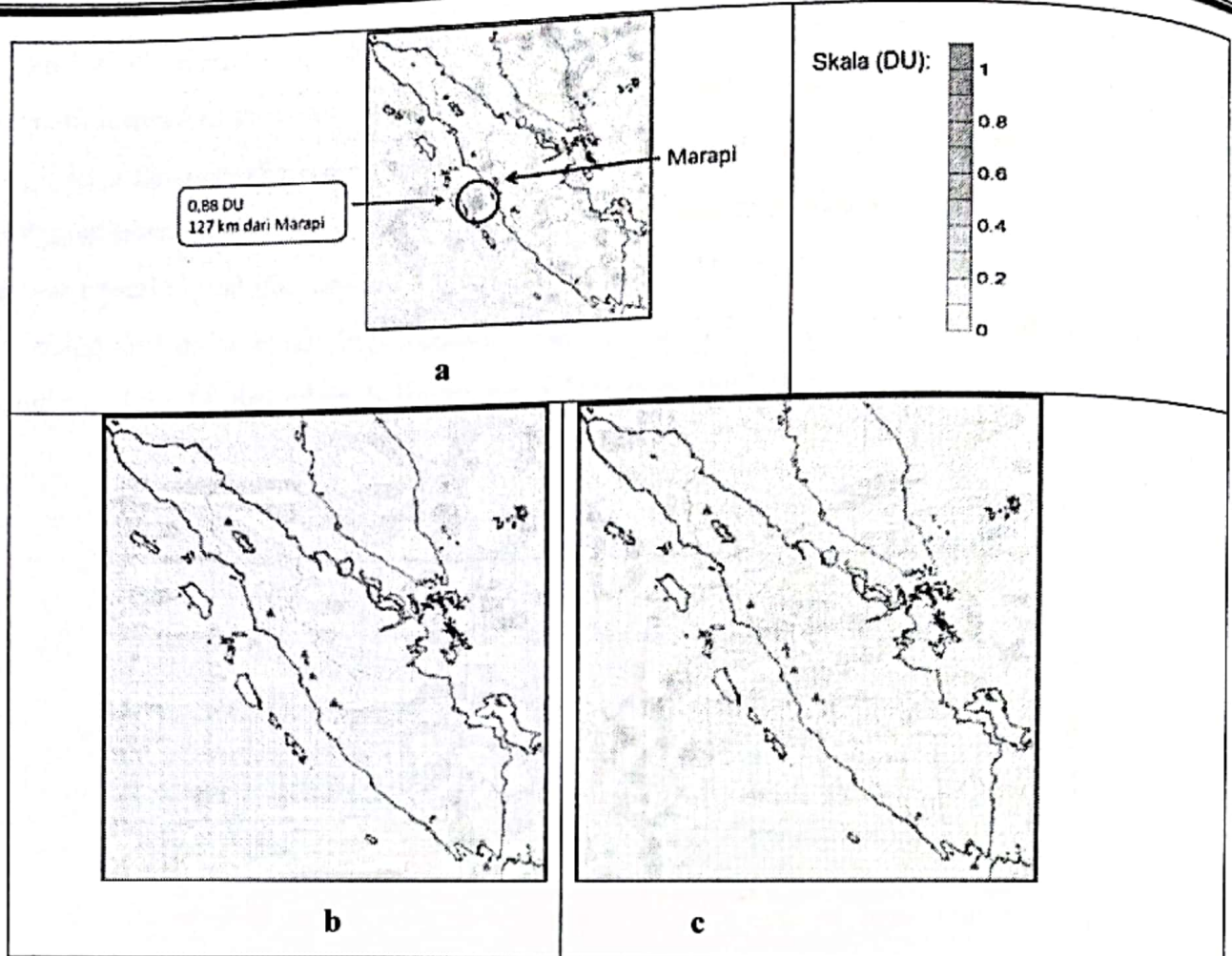


**Gambar 3.3** Model *Mixing Height* Harian di atas Marapi pada tanggal (1 – 7) Agustus 2011

Dari pengamatan visual kepulan Marapi tanggal 3 Agustus teramati 1000 m, yang jauh berada di atas lapisan *mixing height* maksimum yang terjadi pada siang hari. Tetapi untuk kondisi aktifitas Marapi normal tinggi kepulan umumnya masih berada di bawah *mixing height* maksimum. Pada saat terjadi aktifitas yang tinggi pada tanggal 3 Agustus 2011, berarti kondisi kepulan dan penyebaran  $\text{SO}_2$  berbentuk seperti Gambar 3.2 a, sedangkan pada hari aktifitas normal kepulan dan bentuk penyebaran  $\text{SO}_2$  seperti Gambar 3.2.b.

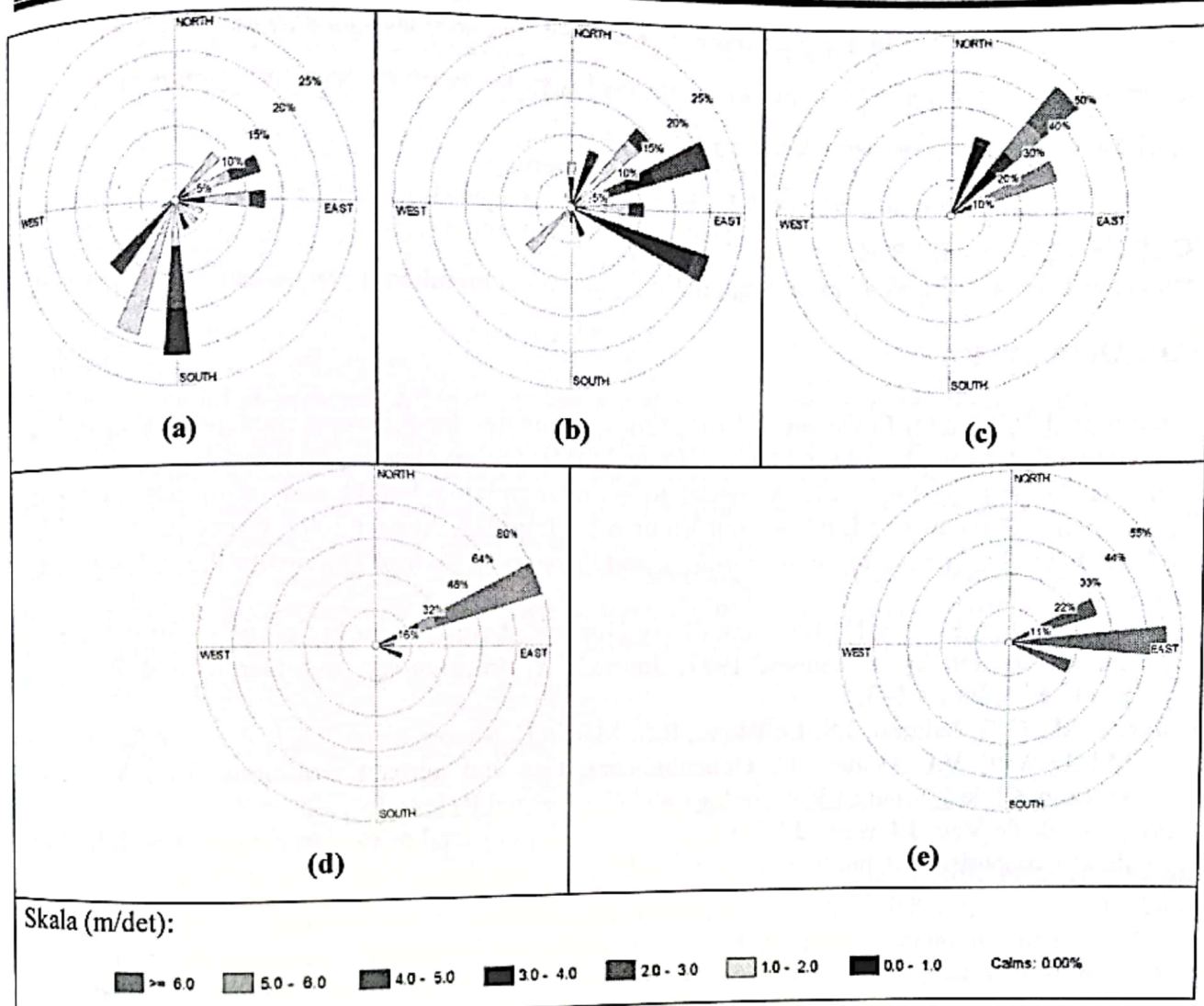
Bentuk penyebaran yang diilustrasikan oleh Gambar 3.2.a polutan terbawa angin laminar dalam jarak yang jauh. Percampuran  $\text{SO}_2$  yang terbawa angin laminar dengan udara ambien tidak terjadi dengan sempurna karena tidak ada turbulensi. Oleh karena itu konsentrasi yang pekat tersebut masih terbawa dalam jarak yang jauh. Pengamatan sensor OMI pada satelit AURA terlihat ada konsentrasi  $\text{SO}_2$  yang tinggi di sebelah barat daya Marapi.





**Gambar 3.4 .** SO<sub>2</sub> di atas Sumatera pada periode Marapi aktif  
 (a) Puncak aktif, (b) sehari sebelum dan (c) sehari sesudah puncak aktif

Konsentrasi paling tinggi teramati sebesar 0,88 DU yang setara dengan  $2.4 \cdot 10^{20}$  molekul SO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>, pada jarak sekitar 127 km arah barat daya (Gambar 3.4). Untuk memastikan bahwa konsentrasi tinggi tersebut dapat berasal dari aktifitas gunung Marapi atau bukan dapat dilihat kondisi anginnya. Kondisi angin dari output running TAPM di atas Marapi yang digambarkan dengan *windrose* pada tanggal 3 dan 4 Agustus 2011 dapat dilihat pada Gambar 3.5. Sesuai dengan ketinggian letusan Marapi, dilihat dari arah mata angin yang terjadi pada letusan gunung Marapi, maka konsentrasi SO<sub>2</sub> yang tinggi pada daerah di sebelah barat daya Marapi berasal dari aktifitas gunung Marapi.



Gambar 3.5. Windrose di atas Marapi tanggal 3 dan 4 Agustus 2011  
 (a) level 1 (7 m), (b) level 9 (291 m), (c) level 14 (900 m),  
 (d) level 20 (2500 m), dan (e) level 25 (5800 m)

Konsentrasi  $SO_2$  yang tinggi tinggi hanya teramati selama satu hari. Pengamatan hari berikutnya sudah tidak ditemukan lagi konsentrasi yang sebesar 0,88 DU, konsentrasi tertinggi sekitar 0,65 DU pada arah yang semakin ke barat dari Marapi. Hal itu dikarenakan *lifetime*  $SO_2$  yang cukup pendek di daerah tropis yang hanya sekitar satu hari (Chulkyu, 2010). Oleh karena itu konsentrasi pekat  $SO_2$  sudah tidak teramati lagi karena telah banyak yang bereaksi menjadi aerosol  $SO_2^{4-}$ .

#### 4. KESIMPULAN

Energi letusan gunung menimbulkan perubahan kestabilan atmosfer, sehingga menimbulkan kenaikan *mixing height* pada malam hari. Konsentrasi  $SO_2$  yang tinggi sebesar 0.88 DU ( $2.37 \cdot 10^{20}$  molekul  $SO_2/m^2$ ), pada jarak sekitar 127 km sebelah barat daya Marapi diduga berasal dari Marapi

karena sesuai dengan kondisi angin pada periode letusan itu dan tidak ada data kebakaran lahan dan hutan yang luas di daerah sekitarnya. Kenaikan ini hanya teramati dalam satu hari karena *life time* SO<sub>2</sub> di daerah ekuator yang pendek sekitar satu hari

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Toni Samiaji, MEng. yang telah membantu pengadaan data dan diskusi.

### DAFTAR PUSTAKA

- Chulkyu et al. 2010, SO<sub>2</sub> Emission and Life times: Estimates from inverse modeling using in Situ and Global, Space-based (SCIAMACHY and OMI) Observation,
- Fatogoma, O., R.B Jacko, 2002. A model to estimate mixing height and its effects on ozone modeling Atmospheric Environment Volume 36, Issue 22, August 2002, Pages 3699–3708
- Pal Arya, S. (1999), *Air pollution meteorology and dispersion*, Oxford University Press, New York, 42-75
- Richard E. Stoiber, Stanley N. Williams, Barry Huebert, Annual contribution of sulfur dioxide to the atmosphere by volcanoes, 1987, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* Volume 33, Issues 1–3,
- Sawyer G.M , G.G. Salerno, J.S. Le Blond, R.S. Martin, L. Spampinato, T.J. Roberts, T.A. Mather, M.L.I. Witt, V.I. Tsanev, C. Oppenheimer), Gas and aerosol emissions from Villarrica volcano, Chile *Journal of Volcanology and Geothermal Research*
- Steven, G., B. de Voc, J.J West, J.I Levy, 2007. Developing intake fraction estimates with limited data: Comparison of methods in Mexico City, *Atmospheric Environment* Volume 41, Issue 17, June 2007, Pages 3672–3683