

PENGARUH LETUSAN GUNUNG BERAPI TERHADAP KOLOM OZON TOTAL DI INDONESIA BERBASIS DATA SATELIT

Toni Samiaji

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer – LAPAN

Jl. Dr. Junjuran 133 Bandung, 40173

email: tonisamiaji@gmail.com; toni_s@bdg.lapan.go.id

ABSTRACT

From the research of the scientists, the impact of the eruption of Mount Pinatubo in the Philippines on ozone in the stratosphere has spawned different reactions in some regions of the world depends on the latitude. For high latitudes appears to reduce stratospheric ozone, whereas low latitude absence of a significant reduction in total ozone. Then how in Indonesia, which was in the low latitudes where volcanoes have erupted in Indonesia? It is an interesting thing to study. Become a research area that is of Sumatra, Java, and Nusa Tenggara. Years of the study is from 2006 to 2012. The data used in this study are the date of volcanic eruptions from the Center of Volcanology and Geological Hazard Mitigation and total column ozone from OMI. Used method is to download the data by entering the desired specifications of the data on the Nasa website. Then the effect of volcanic eruptions on total ozone tested by the statistical methods. The results obtained from this study is the effect of volcanic eruption to total ozone column average in Sumatra was decreased from 261,3 to 258,1 DU, in Java was increased from 255,9 to 271,8 DU and in Nusa Tenggara no effect.

Keywords: volcanic eruptions, total column ozone, satellite data

ABSTRAK

Dari hasil penelitian para ilmuwan, dampak meletusnya gunung Pinatubo di Philipina terhadap ozon di stratosfer telah melahirkan reaksi yang berbeda di beberapa kawasan di dunia ini. Lalu bagaimana dengan di Indonesia apabila gunung-gunung api di Indonesia meletus? Ini adalah hal yang menarik untuk diteliti. Daerah yang menjadi penelitian adalah Sumatera, Jawa, dan Nusa Tenggara. Tahun penelitian adalah dari 2006 sampai 2012. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data tanggal letusan gunung berapi dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, kolom ozon total dari OMI. Metoda yang dipakai adalah dengan cara mengunduh data dengan memasukkan spesifikasi data yang di inginkan pada situs Nasa.

Kemudian dengan metoda statistik diuji pengaruh letusan gunung api terhadap ozon total. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah dampak gunung api meletus terhadap kolom ozon total untuk 3 lokasi yakni Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara diperoleh respon yang berbeda-beda, untuk Nusa Tenggara tidak ada pengaruhnya karena sebelum dan sesudah meletus tidak menghasilkan perbedaan rerata kolom ozon total yang signifikan yakni dari 253,6 menjadi 253,1 DU, sedangkan untuk Jawa menaikkan rerata kolom ozon total yakni dari 255,9 menjadi 271,8 DU, dan untuk Sumatera menurunkan rerata kolom ozon total yakni dari 261,3 menjadi 258,1 DU.

Kata kunci: letusan gunung berapi, kolom ozon total, data satelit

1. PENDAHULUAN

Gunung api ketika meletus selain menyemburkan lahar, lava, awan panas, batuan, kerikil, debu juga berbagai macam gas seperti yang diperlihatkan Tabel 1.1 yang merupakan hasil penelitian Symonds, Rose, Bluth, and Gerlach (1994). Dari tabel ini kita bisa melihat bahwa tiap gunung api meskipun jenisnya sama (lihat yang basalt) mengeluarkan jenis gas dengan jumlah yang berbeda-beda tergantung dari gunungnya [Symonds, Rose, Bluth, and Gerlach (1994)]. Untuk sementara karena belum diketahui faktor apa yang membedakan jumlah emisi gas dari letusan gunung api, maka klasifikasi gunung api berdasarkan gunungnya yang mencirikan berada di mana gunung tersebut dan tanggal meletusnya sehingga apakah pengaruh letusan gunung api yang berada di kawasan yang berbeda akan mengakibatkan perubahan ozon total yang berbeda pula? Misalnya apakah letusan gunung api yang ada di kawasan Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara akan mengakibatkan dampak yang berbeda pula terhadap ozon total untuk masing-masing kawasan tersebut? Untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan ini pada penelitian ini akan dikaji pengaruh letusan gunung api terhadap kolom ozon total di kawasan-kawasan tersebut dengan metoda statistik yaitu berdasarkan uji hipotesa.

Tabel 1.1 Komposisi kimia gas keluaran gunung berapi, konsentrasi dalam mol %

	Etna hawaiiite	Mt. St. Helens <i>dacite</i>	Merapi <i>andesite</i>	Erta Ale <i>basalt</i>	Surtsey basalt
H ₂ O	27,71	91,58	88,87	69,41	81,13
H ₂	0,30	0,85	1,54	1,57	2,80
CO ₂	22,76	6,64	7,07	17,16	9,29
CO	0,48	0,06	0,16	0,75	0,69
SO ₂	47,70	0,2089	1,15	9,46	4,12
H ₂ S	0,22	0,3553	1,12	1,02	0,89
S ₂	0,76	0,0039	0,08	0,59	0,25
HCl	-	-	0,59	-	-

Sumber : Symonds, Rose, Bluth, and Gerlach (1994)

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sejak Plimer yang menyatakan bahwa gunung Pinatubo saat meletus tahun 1991 mengeluarkan CFCs dalam jumlah yang sangat besar [Plimer, I. R., 2001], dan menariknya tidak ada seorang pun yang menyangkal. Jika demikian bisa terjadi perusakan ozon di lapisan stratosfer, namun apakah memang benar gunung meletus bisa menyebabkan berkurangnya ozon di stratosfer? Menurut Prather et al (1984) bahwa rusaknya ozon bisa terjadi bila konsentrasi HCl yang dikeluarkan dari letusan gunung api mencapai minimal 15 ppb [Prather et al, 1984].

Selain daripada itu aerosol sulfat sebagai dampak gas SO₂ yang bereaksi dengan uap air hasil keluaran dari letusan gunung api dapat menjadi katalis reaksi heterogen di stratosfer yang mempengaruhi konsentrasi ozon global [Farman et al, 1985; Hofmann dan Solomon, 1989; Wolff dan Mulvaney, 1991; Prather, 1992]. Reaksi heterogen ini terjadi di permukaan partikulat sulfat yang dapat merubah klor yang stabil (misalnya HCl, ClONO₂) menjadi klor yang aktif dalam perusakan ozon [Solomon et al, 1993], sehingga akibat letusan Gunung Pinatubo ini membuat konsentrasi ozon mencapai titik terendahnya di stratosfer lintang menengah belahan bumi utara selama periode 1992-1993, sedangkan di belahan bumi selatan pada tahun 1992 terjadi penambahan lubang ozon yang ukurannya belum pernah tercatat

sebelumnya dikarenakan laju perusakan ozon yang lebih cepat dari sebelumnya [Stephen Self et al, 2013].

Namun demikian letusan gunung api tidak selalu berdampak terhadap ozon seperti yang ditemukan oleh Chakrabarty, dan Peshin (1997) yang menyatakan bahwa tidak ada pengurangan ozon total yang signifikan di India setelah meletusnya gunung Pinatubo juni 1991 yang lalu [Chakrabarty, dan Peshin, 1997]. Sehingga menurut mereka reaksi heterogen tidak memainkan peran yang penting di lintang rendah untuk menurunkan ozon total. Lalu bagaimana di Indonesia, karena Indonesia termasuk negara yang berada di lintang rendah.

3. DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari tanggal letusan gunung berapi dari pos pengamatan gunung berapi, juga dari Pusat Vulkanologi dan mitigasi bencana geologi serta dari *Global Volcanism Program*. Kemudian data kolom ozon total untuk berbagai wilayah disesuaikan dengan tanggal aktivitas gunung api. Sumber data ozon total adalah dari OMI (diambil dari situs http://gdata2.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=omil2g) dan data emisi SO₂ gunung api untuk wilayah Jawa, Sumatera dan NTT dari Pusat Vulkanologi.

Untuk memperoleh data kolom ozon total adalah dengan cara memasuki situs NASA yakni pada system visualisasi dan analisis Giovanni portal atmospheric dengan alamat <http://daac.gsfc.nasa.gov/giovanni/overview/>, dipilih sensor OMI level 3 G. Setelah memilih parameter kemudian memasukkan interval lintang, interval bujur, interval tanggal dan pilihan visualisasi (dalam hal ini deret waktu yang dipilih). Setelah grafiknya muncul kemudian diunduh data ascinya untuk disimpan dalam bentuk text dengan notepad setelah itu dengan excel diimpor untuk dianalisis dengan spss dengan menggunakan metoda statistik inferensial seperti di bawah ini. Metoda pengolahan data dengan menggunakan statistik inferensial adalah dengan pengujian hipotesis.

Untuk keperluan pengujian hipotesis rata-rata dua populasi yang independent dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Rumuskan H_0 dan H_1 .

Uji dua pihak

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Di mana μ_1 adalah rerata ozon total saat gunung api tidak meletus, sedangkan μ_2 adalah rerata ozon total saat gunung api meletus, H_0 adalah hipotesis nol yakni saat gunung tidak meletus maupun saat gunung meletus, rerata ozon total dianggap tidak berbeda, H_1 adalah hipotesis 1 yakni saat gunung tidak meletus maupun saat gunung meletus, rerata ozon total dianggap berbeda.

- b. Tetapkan Tes statistik dan bentuk Rejection region

Untuk $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ tetapi σ tidak diketahui menggunakan statistik uji t yaitu dengan menghitung t sebagai berikut

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}; \text{ bila } t \text{ hitung} > t \text{ tabel berarti } H_0 \text{ diterima}$$

artinya tidak ada perubahan sebelum dan sesudah perlakuan

Dimana

\bar{x}_1 = Rata-rata sampel yang diambil dari populasi 1

\bar{x}_2 = Rata-rata sampel yang diambil dari populasi 2

s^2_1 = Varians dari sampel 1

s^2_2 = Varians dari sampel 2

n_1 = Banyaknya sampel yang diambil dari populasi 1

n_2 = Banyaknya sampel yang diambil dari populasi 2

σ^2_1 = Varians saat gunung api tidak meletus

σ^2_2 = Varians saat gunung api meletus

σ = Standar deviasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL

Sebagai hasil perhitungan rata-rata, standar deviasi dan standar galat rerata untuk data kolom ozon total saat gunung api

meletus tahun 2006 dan tidak meletus tahun 2012 di Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Grup Statistik NTB dan NTT

Status	N	Rerata	Standar deviasi	Std. galat rerata	Variansi
Ozon Tidak meletus	351	253,6	5,88	0,31	34,63
[DU] Meletus	355	253,1	4,72	0,25	22,26

Dari tabel 4.1 di atas terlihat bahwa banyaknya data ozon total untuk gunung tidak meletus adalah 351 dan gunung meletus adalah 355. dimana rata-rata ozon total dari gunung api tidak meletus dari data yang ada yaitu konsentrasi ozon total di atmosfer NTB, NTT dan Bali tahun 2006 saat gunung api tidak meletus adalah 253,6 DU dengan standar galat sebesar 0,31. Nilai 253,6 adalah rata-rata sample sedangkan rata-rata populasi adalah rata-rata sample $\pm 2 \times$ standar galat rerata, jadi antara 253,0 dan 254,2. Yang dimaksud populasi di sini adalah ketika data dalam keadaan lengkap yakni jumlah data seharusnya berjumlah 365. Sedangkan untuk ozon total saat gunung api meletus yakni tahun 2012 memiliki rata-rata sample lebih kecil yaitu hanya sebesar 253,1 dengan standar galat rerata 0,25. Jadi bilamana data dalam keadaan lengkap diperkirakan rata-rata ozon total di atmosfer NTB, NTT dan Bali tahun 2012 berada dalam interval $253,1 \pm 2 \times 0,25$. Ketika gunung api meletus standar deviasinya adalah 4,72 adalah lebih kecil daripada ketika gunung api tidak meletus yakni 5,88, jadi dilihat dari variasi perubahan ozon total, terlihat bahwa gunung api meletus mempunyai sebaran data yang lebih terpusat dibanding gunung api tidak meletus.

Dari hasil perhitungan seperti yang diperlihatkan pada tabel 4.2 diperoleh nilai F hitung sebesar 13,99 dengan signifikansi (p-value) sebesar 0,000. Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan tingkat signifikansi yang ditetapkan yaitu 0,05 sehingga dapat disimpulkan dengan tingkat signifikansi 5% variansi kedua populasi relatif heterogen. Jika dilihat dari f tabel untuk derajat kebebasan total $355-1=354$ atau $351-1=350$ sedangkan derajat bebas perlakuan adalah $2-1=1$ maka akan

diperoleh derajat bebas galat = db total – db perlakuan = 353 sehingga bila melihat f tabel akan diperoleh nilai untuk signifikansi 5 % sebesar 3,85, karena f hitung (13,99) lebih besar daripada f tabel, maka variansi kedua kelompok data adalah berbeda. Lebih jelas lagi kedua variansi sampel ini bisa dilihat pada tabel 4.1 yang mana untuk ozon total tahun 2006 (saat gunung api tidak meletus) mempunyai nilai sebesar 34,63 sedangkan untuk tahun 2012 (saat gunung api meletus) mempunyai variansi 22,26, jadi jelas variansi kedua kelompok data berbeda.

Tabel 4.2 Hasil tes bebas untuk NTB dan NTT

		Tes Levene untuk kesetaraan varians		Tes T untuk kesetaraan rerata	
		F	Sig.	t	Sig. (2-tailed)
Ozon	Asumsi varians sama	13,99	0,000	1,131	0,26
	Asumsi varians tidak sama			1,129	0,26

Dengan adanya hasil ini, maka statistik uji yang digunakan adalah statistik uji t dengan kondisi varians kedua populasi tidak sama dan tidak diketahui. Dari hasil perhitungan dengan statistik uji t dimana kondisinya adalah varians kedua populasi tidak sama dan tidak diketahui, diperoleh nilai t hitung sebesar 1,129 dengan tingkat signifikansi (p value) sebesar 0,26. Nilai ini jauh lebih Besar dari tingkat signifikansi yang ditetapkan sebesar 0,05 sehingga H_0 diterima dalam artian tidak terdapat perbedaan efek setelah gunung api meletus terhadap ozon total di NTB, NTT dan Bali.

Pada tabel 4.3 di atas ditunjukkan tabel statistik ozon total di Jawa dan sekitarnya yang mana 27 Oktober hingga 22 November tahun 2009 gunung api tidak meletus sedangkan 27 Oktober hingga 22 November tahun 2010 gunung api meletus. Dari tabel di atas terlihat perbedaan rata-rata ozon total cukup besar saat gunung api meletus adalah 271,8 DU sedangkan saat tak meletus 255,9 DU.

Tabel 4.3 Statistik ozon total Jawa tahun 2009 dan 2010

Status	N	Rerata	Standar Deviasi	Standar galat rerata
Ozon Tidak meletus	26	255,85	3,86	0,76
[DU] Meletus	26	271,77	3,22	0,63

Tabel 4.4 Tes bebas untuk Jawa

	Tes Levene untuk kesetaraan varians		Tes T untuk kesetaraan rerata	
	F	Sig.	t	Sig. (2-tailed)
Ozon Asumsi varians sama	0,662	0,420	-16,1	0,000
Asumsi varians tidak sama			-16,1	0,000

Dari hasil perhitungan dengan SPSS diperoleh nilai F hitung sebesar 0,662 dengan signifikansi (p-value) sebesar 0,420 (lihat Tabel 4.4). Nilai ini jauh lebih besar dibandingkan tingkat signifikansi yang ditetapkan yaitu 0,05 sehingga dapat disimpulkan dengan tingkat signifikansi 5% variansi kedua populasi relatif homogen. Dengan adanya hasil ini, maka statistik uji yang digunakan adalah statistik uji t dengan kondisi varians kedua populasi relatif homogen dan tidak diketahui. Dari hasil perhitungan dengan statistik uji t dimana kondisinya adalah varians kedua populasi relatif homogen dan tidak diketahui, diperoleh nilai t hitung sebesar -16,1 dengan tingkat signifikansi (p value) sebesar 0,000. Nilai ini jauh lebih kecil dari tingkat signifikansi yang ditetapkan sebesar 0,05 sehingga hipotesis H_0 ditolak dalam artian terdapat perbedaan ozon total akibat gunung api meletus, yang mana akibat gunung meletus berdasarkan tabel 4.3 adalah menaikkan ozon total di atmosfer Pulau Jawa dan sekitarnya.

Pada tabel 4.5 ditampilkan rata-rata ozon total tahun 2006 ketika gunung api tak meletus di Sumatera yaitu dari tanggal 1 Januari hingga 31 Desember kecuali tanggal 10 september dan 25 September adalah sebesar 261,3 DU, sedangkan tahun 2011 adalah saat gunung api meletus di Sumatera, rata-rata ozon

totalnya sebesar 258,1 DU. Dari tabel tersebut kita bisa melihat bahwa saat gunung api meletus ozon totalnya lebih kecil daripada gunung api tidak meletus.

Tabel 4.5 Grup Statistik Sumatera

	Tahun	N	Rerata	Standar deviasi	Standar rerata galat
Ozon total	2006	351	261,3	10,5	0,56
[DU]	2011	353	258,1	5,5	0,29

Apakah memang perbedaan rata-rata ini dinyatakan berbeda menurut statistik, untuk itu bisa dilihat Tabel 4.6 Dari tabel 4.6 dari hasil perhitungan dengan SPSS diperoleh nilai F hitung sebesar 188 dengan singnifikansi (p-value) sebesar 0,000. Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan tingkat signifikansi yang ditetapkan yaitu 0,05 sehingga dapat disimpulkan dengan tingkat signifikansi 5% variansi kedua populasi relatif heterogen. Dengan adanya hasil ini, maka statistik uji yang digunakan adalah statistik uji t dengan kondisi varians kedua populasi relatif heterogen dan tidak diketahui. Dari hasil perhitungan dengan statistik uji t dimana kondisinya adalah varians kedua populasi relatif homogen dan tidak diketahui, diperoleh nilai t hitung sebesar 5,1 dengan tingkat signifikansi (p value) sebesar 0,000. Nilai ini jauh lebih kecil dari tingkat signifikansi yang ditetapkan sebesar 0,05 sehingga hipotesis H_0 ditolak dalam artian terdapat perbedaan ozon total akibat gunung api meletus, yang mana akibat gunung meletus berdasarkan tabel 3.5 adalah menurunkan ozon total di atmosfer Pulau Sumatera dan sekitarnya.

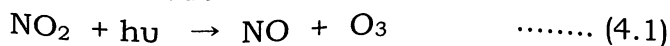
Tabel 4.6 Tes bebas untuk Sumatera

		Tes Levene untuk kesetaraan varians		Tes T untuk kesetaraan rerata	
		F	Sig.	t	Sig. (2-tailed)
Ozon	Asumsi varians sama	188,33	0,000	5,11	0,000
	Asumsi varians tidak sama			5,10	0,000

4.2 PEMBAHASAN

Dari ketiga hasil analisis statistik untuk 3 daerah yakni NTB – NTT, Jawa dan Sumatera menghasilkan pengaruh letusan gunung api terhadap ozon total yang berbeda-beda. Untuk NTB-NTT tidak ada pengaruhnya, untuk Jawa menaikkan ozon total, untuk Sumatera menurunkan ozon total. Mengapa ini bisa terjadi demikian? Seperti diperlihatkan tabel 1.1 gunung api ketika meletus dominan mengemisikan gas H₂O, CO₂ dan SO₂, sedangkan gas lainnya dikeluarkan dalam jumlah kecil seperti H₂, H₂S, HCl, CO dan S₂. Berdasarkan tabel 1.1 pula tiap gunung mengemisikan gas dalam jumlah yang berbeda, jadi untuk Indonesia pun diduga untuk tiap gunung api mengeluarkan jumlah gas yang berbeda-beda. Menurut penelitian penulis sebelumnya bahwa dampak gas SO₂ (keluaran gunung berapi) terhadap konsentrasi ozon troposfer adalah memperbesar konsentrasi ozon troposfer untuk kasus gunung Merapi tahun 1996 [Samiaji T. dan Suparno, 2004].

Untuk kasus Pulau Jawa seperti diperlihatkan Gambar 4.1 dan tabel 4.8 emisi gas SO₂ dari letusan gunung merapi terutama dari tanggal 4 hingga 7 November 2010 sangat besar sampai 250 kton/hari yang mana gunung api yang lain (yang ada di NTT dan Sumatera) tidak sampai 1 kton/hari gas SO₂ yang dikeluarkan (lihat tabel 4.7 dan 4.9), kemudian menurut *Global Volcanism Program* (tahun 2013) letusan gunung merapi tahun 2010 mempunyai VEI (Volcanic Explosivity Index) = 4 sedangkan gunung Krakatau VEI= 2 di mana VEI yang tinggi letusannya lebih besar sehingga bisa mencapai stratosfir dikarenakan plume yang lebih tinggi (lihat Tabel 4.10), sedangkan VEI=2 tidak mencapai stratosfer [wikipedia, 2013], Selain daripada itu menurut wikipedia letusan gunung api mengemisikan gas NO₂ ke atmosfer [Wikipedia, 2013]. Yang mana gas NO₂ adalah precursor ozon menurut reaksi netto (gabungan dari beberapa reaksi)



[Debaje dan Jadhav, 1999].

sehingga pengaruh letusan gunung api di Jawa mempertinggi ozon total. Sedangkan untuk Sumatera diduga uap air dan HCl yang dikeluarkan letusan gunung api Krakatau, Sinabung dan Marapi tahun 2011 adalah lebih banyak dan gas NO₂, SO₂ yang dikeluarkan lebih sedikit daripada di Jawa. Uap air adalah

sumber radikal hidroksil (OH) yang mana radikal ini bereaksi dengan ozon menurut reaksi

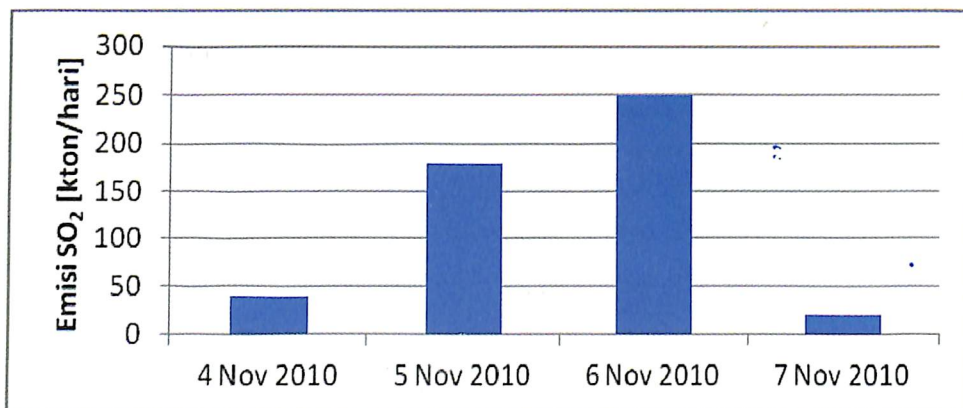


[B.J. Finlayson-Pitts and J.N. Pitts Jr, 1986]. Sedangkan HCl seperti yang dikatakan Solomon et al menjadi sumber radikal klor (Cl) yang sangat reaktif merusak O₃ [Solomon et al, 1993], kemudian diduga HCl yang dikeluarkan letusan gunung api Marapi, Krakatau dan Sinabung tahun 2011 ini sudah melebihi 15 ppb sehingga seperti yang dikatakan Prather dan kawan-kawan angka ini merupakan konsentrasi minimal yang bisa merusak ozon [Prather et al, 1984]. Sehingga kedua gas (HCl dan H₂O) ini diduga menjadi salah satu penyebab berkurangnya ozon total di Sumatera. Ini sama kasusnya dengan berkurangnya ozon stratosfer di lintang menengah di belahan bumi utara dan membesarnya lubang ozon di belahan bumi selatan setelah meletusnya gunung Pinatubo tahun 1991 [Stephen Self et al, 2013]. Sedangkan untuk NTB dan NTT, jumlah gas NO₂ dan H₂O diperkirakan seimbang, kemudian diduga letusan gunung Batutara, Ile Lewotolo, Sangeangapi, Sirung dan Rokatenda tahun 2012 ini adalah lemah (VEI<4) sehingga material hasil letusannya tidak sampai stratosfer, sehingga letusan gunung api di kawasan ini tidak mempengaruhi ozon total. Ini sama kasusnya dengan hasil penelitian Chakrabarty, dan Peshin tahun 1997 yang menyatakan bahwa tidak ada pengurangan ozon total yang signifikan di India setelah meletusnya gunung Pinatubo juni 1991 yang lalu [Chakrabarty, and Peshin, 1997]. Keberadaan ozon 90 % ada di lapisan stratosfer, sehingga berubah tidaknya ozon total dipengaruhi ozon di stratosfer. Menurut para ilmuwan berkurang tidaknya ozon di stratosfer tergantung daripada peranan gunung api, mereka mencatat bahwa gas yang dikeluarkan gunung api kebanyakan tidak pernah meninggalkan troposfer, artinya sedikit sekali yang menembus stratosfer. Bisa menembus stratosfer hanya untuk letusan yang besar dengan VEI minimal 4 lihat tabel 4.10. Selain dari besar tidaknya letusan, ozon total dipengaruhi juga oleh perbandingan komposisi kimia material yang dikeluarkan letusan gunung api.

Tabel 4.7 Emisi gas SO₂ minimum dan maksimumnya [ton/hari] dari letusan gunung api di NTT

lokasi	Gunung api	2012
NTT	Lewotolo	14 - 74

Sumber : Badan Geologi, 2013



Gambar 4.1 Emisi gas SO₂ dari gunung Merapi tahun 2010
Sumber data : Badan Geologi, 2013.

Tabel 4.8 Emisi gas SO₂ minimum dan maksimumnya [ton/hari] dari letusan gunung api di Jawa

lokasi	Gunung api	2009	2010	2011	2013
Jateng	Merapi		134 - 250000		
Jatim	Bromo	132 - 243			
Jabar	Papandayan			3 - 8	
	Tangkuban				1,7 -
	Perahu				5,3

Sumber : Badan Geologi, 2013

Tabel 4.9 Emisi gas SO₂ minimum dan maksimumnya [ton/hari] dari letusan gunung api di Sumatera

lokasi	Gunung api	2008	2010
Sumut	Sinabung		259 - 972
Sumbar	Talang	96	

Sumber : Badan Geologi, 2013

Tabel 4.10 Volcanic Explosivity Index (VEI)

VEI	Plume	Tropospheric injection	Stratospheric injection ^[2]
0	< 100 m	Negligible	None
<u>1</u>	100–1000 m	Minor	None
<u>2</u>	1–5 km	Moderate	None
<u>3</u>	3–15 km	Substantial	Possible
4	10–25 km	Substantial	Definite
5	20–35 km	Substantial	Significant
6	> 30 km	Substantial	Substantial

Sumber : Wikipedia, 2013.

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan uji statistik pengaruh gunung api meletus terhadap kolom ozon total di Indonesia dari tahun 2006 hingga 2012. Sebagai dampak gunung api meletus terhadap kolom ozon total untuk 3 lokasi yakni Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara diperoleh respon yang berbeda-beda, untuk Nusa Tenggara tidak ada pengaruhnya karena sebelum dan sesudah meletus tidak menghasilkan perbedaan rerata kolom ozon total yang signifikan yakni dari 253,6 menjadi 253,1 DU, sedangkan untuk Jawa menaikkan rerata kolom ozon total yakni dari 255,9 menjadi 271,8 DU, dan untuk Sumatera menurunkan rerata kolom ozon total yakni dari 261,3 menjadi 258,1 DU.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Geologi, 2013. Data dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Jalan Diponegoro, Bandung.
- B.J. Finlayson-Pitts and J.N. Pitts Jr, 1986. "Atmospheric Chemistry", Wiley, New York.
- 1.1.1 Chakrabarty, D. K., and S. K. Peshin (1997), Behavior of ozone over Indian region after Pinatubo eruption, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: ATMOSPHERES (1984–2012), Volume 102, Issue D5, 20 March 1997, Pages: 6153–6157.
- Farman, J.C., Gardiner, B.G., and Shanklin, J.D., 1985, Large losses of total O₃ in atmosphere reveal seasonal

- ClO_x/NO_x interaction: Science, v. 211, p. 832-834.
- Global Volcanism Program, 2013. Smithsonian National Museum of Natural History dalam <http://www.volcano.si.edu/world/region.cfm?rnum=06&page=erupt>
- Hofmann, D.J., and Solomon, S., 1989, Ozone destruction through heterogeneous chemistry following the eruption of El Chichón: Journal of Geophysical Research, v. 94, p. 5029-5041.
- Plimer, I. R., 2001, *a short history of planet earth*, 250 pp., ISBN : 978-0-7333-1004-0.
- Prather, M., McElroy, M.B., and Wolfsy, S.C., 1984, Reductions in ozone at high concentrations of stratospheric halogens: Nature, v. 312, p. 227-231.
- Prather, M., 1992, Catastrophic loss of stratospheric ozone in dense volcanic clouds: Journal of Geophysical Research, v. 97, p. 10187-10191.
- Samiaji T. dan Suparno, Pengaruh gas SO₂ terhadap ozon troposfer, Buku Ilmiah LAPAN : Polusi Udara dan Pengukurannya, LAPAN, Jakarta, 22 Juni 2004 (ISBN 979-8554-83-3).
- S.B. Debaje and D.B. Jadhav, 1999. An Eulerian photochemical model for tropospheric ozone over the tropics, CURRENT SCIENCE, VOL. 77, NO. 11, 10 DECEMBER 1999.
- Solomon, S., Sanders, R.W., Garcia, R.R., and Keys, J.G., 1993, Increased chlorine dioxide over Antarctica caused by volcanic aerosols from Mount Pinatubo: Nature, v. 363, p. 245-248.
- Symonds, R.B., Rose, W.I., Bluth, G.J.S., and Gerlach, T.M., 1994, Volcanic-gas studies: methods, results, and applications, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, January 1994, v. 30, p. 1-66.
- Stephen Self,¹ Jing-Xia Zhao,² Rick E. Holasek,^{1 3} Ronnie C. Torres,^{1 4} and Alan J. King¹, 2013. The Atmospheric Impact of the 1991 Mount Pinatubo Eruption, dalam <http://pubs.usgs.gov/pinatubo/self/>.
- Wikipedia, 2013 diambil dari http://id.wikipedia.org/wiki/Gunung_meletus.
- Wikipedia, 2013. diambil dari

http://en.wikipedia.org/wiki/Volcanic_Explosivity_Index.

Wolff, E.W., and Mulvaney, R., 1991, Reactions on sulphuric acid aerosols and on polar stratospheric clouds in the Antarctic stratosphere: *Geophysical Research Letters*, v. 18, p. 1007-1010.