

SO₂ EMISSION MEASUREMENT BY DOAS (DIFFERENTIAL OPTICAL ABSORPTION SPECTROSCOPY) AND COSPEC (CORRELATION SPECTROSCOPY) AT MERAPI VOLCANO (INDONESIA)

Pengukuran Emisi SO₂ dengan DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) dan COSPEC (Correlation Spectroscopy) di Gunung Merapi (Indonesia)

Hanik Humaida

Volcanological Technology Research and Development Center
Jl. Cendana 15 – Yogyakarta 55166 Indonesia

Received 23 January 2008; Accepted 30 March 2008

ABSTRACT

The SO₂ is one of the volcanic gases that can use as indicator of volcano activity. Commonly, SO₂ emission is measured by COSPEC (Correlation Spectroscopy). This equipment has several disadvantages; such as heavy, big in size, difficulty in finding spare part, and expensive. DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy) is a new method for SO₂ emission measurement that has advantages compares to the COSPEC. Recently, this method has been developed. The SO₂ gas emission measurement of Gunung Merapi by DOAS has been carried out at Kaliadem, and also by COSPEC method as comparison. The differences of the measurement result of both methods are not significant. However, the differences of minimum and maximum result of DOAS method are smaller than that of the COSPEC. It has range between 51 ton/day and 87 ton/day for DOAS and 87 ton/day and 201 ton/day for COSPEC. The measurement of SO₂ gas emission evaluated with the seismicity data especially the rockfall showed the presence of the positive correlation. It may cause the gas pressure in the subsurface influencing instability of 2006 eruption lava.

Keywords: SO₂ gas, Merapi, DOAS, COSPEC

PENDAHULUAN

Gunung Merapi merupakan gunung api yang sangat aktif. Manifestasi yang dapat dilihat dari aktifnya gunung api ini ditunjukkan dengan adanya solfatar, fumarola dan kegempaan. Dalam kondisi aktif normal gejala-gejala tersebut tetap terjadi, apabila terjadi kenaikan aktivitas gejala tersebut akan meningkat. Desakan gas dari dalam gunung api yang dihembuskan ke permukaan dengan tekanan yang tinggi akan menekan dinding konduit yang menimbulkan getaran vulkanik. Gas yang dihembuskan tersebut mempunyai komposisi utama H₂O, diikuti CO₂, SO₂, H₂S dan komposisi gas yang lainnya dalam jumlah yang kecil seperti gas H₂, CO, CH₄ dan sebagainya. Pada saat terjadi kenaikan aktivitas gas-gas dari magma yang terlepas mengalami perubahan komposisi, seperti pada letusan tahun 2001 dan tahun 2006 diawali dengan perubahan komposisi gas sebelum terjadinya letusan [1]. Seiring dengan menurunnya suatu aktivitas, maka komposisi gas juga mengalami perubahan. Di sini menunjukkan bahwa peranan geokimia gas merupakan salah satu hal yang sangat diperlukan dalam menentukan suatu aktivitas gunung api, serta untuk mempelajari karakter gunung api tersebut.

Sulfur dioksida (SO₂) merupakan salah satu komponen yang ada dalam gas vulkanik yang dimonitor emisinya untuk memantau aktivitas suatu gunung api.

Konsentrasi SO₂ bervariasi antara 5% sampai 50 mol%, dengan fluks yang bervariasi pula [2].

Pemantauan emisi SO₂ suatu gunung api biasanya menggunakan *Correlation Spectroscopy* (COSPEC). Metoda ini telah digunakan lebih dari tigapuluh tahun terakhir. Pengukurannya dapat dilakukan dari jarak jauh, walau gunung api pada kondisi sedang terjadi letusan, dan merupakan salah satu kegiatan utama di bidang vulkanologi. COSPEC mempunyai peran yang sangat penting dalam beberapa krisis dan letusan suatu gunung api, seperti Merapi, Kilauea, St. Helens dan sebagainya. Data COSPEC juga digunakan sebagai dasar evaluasi emisi SO₂ gunung api ke atmosfer secara global dan gas lain (menggunakan estimasi proporsi relatif terhadap gas SO₂ [3].

COSPEC mengukur kolom SO₂ dengan menggunakan pancaran sinar ultra violet (UV) sebagai sumber energinya. Sinar masuk ke dalam instrument dan bergerak melalui serangkaian cermin, lensa, dan slit untuk mencapai detektor dan photomultiplier di mana sinar dirubah ke dalam pulsa listrik dan amplifier. Jika gas ada di dalam instrumen, COSPEC mendeteksi sejumlah radiasi UV yang diserap oleh SO₂ [3]. Biasanya pengukuran dengan COSPEC dilakukan pada tempat yang tetap (*fix position*), dengan menempatkan COSPEC pada tripot yang berotasi dan melakukan scanning di area plume. Pengukuran

* Corresponding author. Tel. : +62-274-514192;
Fax. : +62-274-5163630; Email: hanik_bpptk@yahoo.co.id

biasanya dilakukan dari jarak jauh [4]. Selain itu COSPEC juga dioperasikan di atas mobil atau boat, kemudian mobil berjalan melintasi di bawah *plume*, jika tidak ada jalan yang dapat dilalui mobil, COSPEC dioperasikan di atas helikopter, yang berarti membutuhkan biaya tambahan yang besar serta keterbatasan geografi, COSPEC tidak dapat digunakan di mana saja karena beratnya. Satu hal lagi yang merupakan kelemahan COSPEC adalah masalah perawatan dan perolehan suku cadang pengganti semakin meningkat kesulitannya.

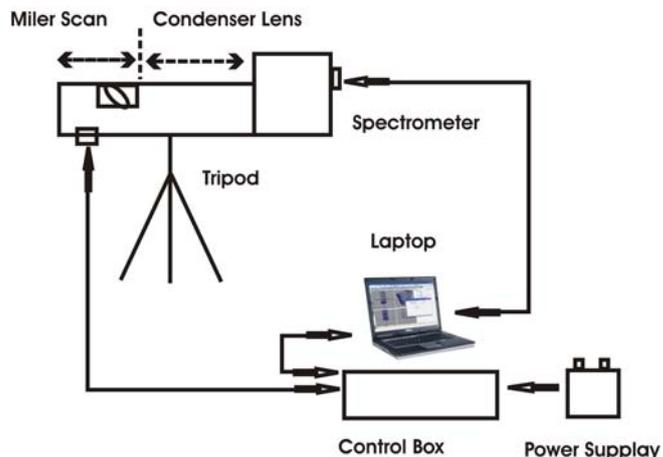
Sebagai alternatif untuk pengukuran emisi SO_2 yang sedang dikembangkan adalah Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS), instrumen ini menangkap spektra UV beresolusi tinggi. Ada beberapa keuntungan dari alat ini yaitu ukuran yang kecil dan sangat ringan. Berat total alat ini sampai 11 kg. Untuk metoda lintasan yang diperlukan hanya condenser lens, detector dan note PC, dengan berat hanya 2 kg [5]. Selain itu DOAS mempunyai potensi untuk analisis gas atmosfer lainnya dan membuat model transfer radiasi serta untuk menghitung efek scattering. DOAS dapat dioperasikan secara diam atau bergerak, seperti yang telah dilakukan oleh McGonigle *et al* pada tahun 2001. Percobaannya dilakukan di Gunung api Masaya untuk mengukur kecepatan emisi SO_2 dengan jarak 1 km dari kawah [4]. Bo Galle *et al* melaporkan bahwa DOAS telah digunakan untuk mengukur emisi SO_2 yang dioperasikan dari mobil, helikopter serta pada posisi tetap [6].

Dengan adanya kelebihan-kelebihan pada DOAS, yaitu mudahnya pengoperasian, mudahnya biaya, serta akuratnya data, maka perlu dilakukan suatu kajian pengukuran emisi SO_2 di Gunung Merapi untuk memantau aktivitasnya dengan alat tersebut. Pengukuran emisi SO_2 tersebut dilakukan pada suatu titik dengan sistem scanning dan dengan COSPEC sebagai pembanding.

METODE PENELITIAN

Pengukuran dengan DOAS

Metoda pengukuran emisi SO_2 dilakukan dengan menggunakan DOAS. Sistem ini berdasar pada Ocean Optics USB2000 spectrometer, dilengkapi sepasang fiber membentuk sebuah teleskop. Spectrometer menggunakan konfigurasi *asymmetric crossed Czerny Turner* dengan *focal length* 42 mm (input) dan 68 mm (output). Mempunyai 2400 garis/mm *plane grating* dengan kemampuan efisiensi antara 200-400 nm, yang dikombinasikan dengan 50- μm slit, dengan kemampuan resolusi spektra sekitar 0.6 nm di atas range panjang gelombang 245-380 nm terdapat lensa berbentuk silindris yang digunakan untuk mengurangi bayang-bayang celah menyesuaikan dengan detektor. Detektor dioperasikan pada suhu *ambient*, 2048 *element linear*



Gambar 1. Skema Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS) yang terdiri dari 5 bagian yaitu: scan miler, condenser lens, detector, power suplai, dan note PC.

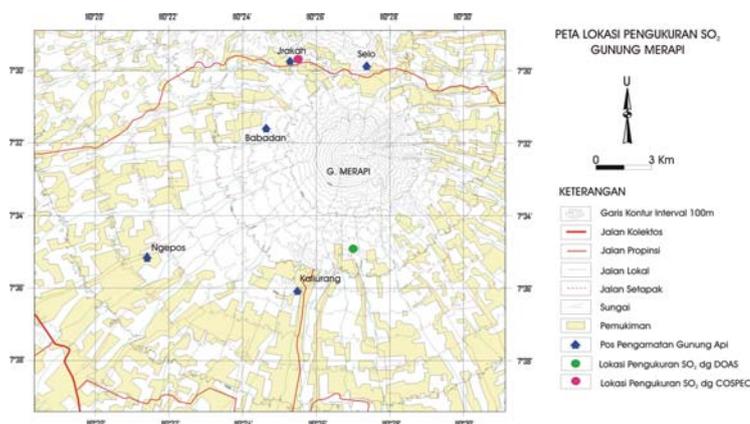
CCD – array dirancang untuk meningkatkan sensitivitas di bawah 360 nm. Ukuran setiap elemen adalah 13 μm (lebar) x 200 μm (tinggi). Kapasitas penuh dioda ini adalah 160000 photoelectron. Detektor spektrometer optik dan elektronik dibentuk dengan sedemikian compact (89mm x 64mm x 34mm, 0.2 kg) unit. Unit ini didukung oleh USB-port laptop computer, yang juga sebagai support data transfer.

Konfigurasi Sistem DOAS

DOAS yang digunakan terdiri dari 5 bagian yaitu: scan miler, condenser lens, detector, power suplai, dan Laptop. Di bagian scan miler terdiri dari lensa untuk mengumpulkan sinar serta cermin sebagai pemantul sinar objek agar masuk ke dalam lensa condenser. Untuk scanning sinar, cermin digerakkan dengan miler control box yang disambung dengan kabel USB serta pengaturan sudut gerak dan waktu integrasi yang dikendalikan dengan software pada laptop. Sinar object yang masuk tersebut kemudian masuk ke dalam kondenser lens. Dari kondenser lens kemudian masuk ke dalam detektor yaitu spectrometer USB 2000 melalui fiber optik yang terbuat dari *solarisation-resistant-quartz*, sebagai pentransfer data. Kabel USB menghubungkan spektrometer dan laptop computer untuk transfer data. Skema peralatan dapat dilihat pada Gambar 1. Data yang diperoleh diolah dengan software yang telah dirancang, yaitu “Hinagata Software”.

Pengukuran di Lapangan dengan DOAS

Dalam pengukurannya DOAS ditempatkan pada area terbuka di Kaliadem dengan jarak 5 km dari puncak, dan spektrum tertangkap saat pengukuran



Gambar 2. Lokasi pengukuran emisi gas SO₂ dengan DOAS di Kaliadem dan dengan COSPEC di Pos Pengamatan Jragung.

pada emisi gas puncak Gunung Merapi. Adapun kemiringan DOAS terhadap Plume 10-20°, lebar scan 30° dan dilakukan pada saat matahari mulai bersinar, karena prinsip pengukurannya adalah berdasar pada penyerapan terhadap sinar UV, sehingga pengukuran dimulai sekitar pukul 8 (delapan). Lokasi pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2.

Dalam pengukuran di lapangan hal pertama yang dilakukan adalah menghidupkan laptop sebagai pengendali peralatan dan sistem Mikro kontrol dan menyambungkannya dengan sistem power suplai. Setelah itu dilakukan pemilihan dan pengaktifan program untuk pengukuran "SO₂ U35". Dengan aktifnya program serta menentukan sistem SPE dan memilih sistem Absorbansi maka akan muncul displai pada gambar 3. Dimana dalam displai tersebut kita dapat memeriksa kromatogram absorbansi sinar UV dan kekuatannya, apabila sinar UV tidak terlalu kuat, maka tidak dilakukan pengukuran.

Apabila displai sudah siap melakukan pengukuran, maka dilakukan pengukuran terhadap kondisi tanpa adanya sinar UV, hal ini digunakan untuk pembandingan kondisi blanko (kosong), dengan cara menutup bagian scan mirror dan mengaktifkan fungsi "DRK" pada displai. Pengukuran referensi sebagai base-line dilakukan untuk mengetahui sejauh mana serapan UV tanpa adanya SO₂, bersama-sama dengan serapan blanko dikurangkan dalam penghitungan pengukuran SO₂. Pengukuran referensi dilakukan dengan mengaktifkan "REF" pada displai dan menghadapkan mirror scanning kearah berlawanan plume serta dihadapkan ke langit yang berwarna biru. Sebagai titik referensi, maka seharusnya mempunyai nilai konsentrasi dan absorbansi pengukuran 0 (kosong), di dalam displai grafik absorbansi pengukuran terletak di tengah kanan dan grafik konsentrasi terletak pada bagian paling bawah.

Sebelum melakukan pengukuran emisi gas SO₂, maka dilakukan pengukuran terhadap standar gas,

untuk memperoleh data yang tepat dan akurat, setiap kali pengukuran dilakukan standarisasi terhadap gas SO₂. Konsentrasi gas SO₂ yang digunakan adalah 94 ppm-m, 189 ppm-m, 475 ppm-m, dan 982 ppm-m. Pengukuran standar gas tersebut mulai dari 0 ppm-m sampai 982 ppm-m secara berurutan, dengan mengaktifkan fungsi "STD" pada displai. Dalam pengukuran standar harus diperhatikan hasil konsentrasi dan absorbansinya. Apabila konsentrasi dan absorbansi yang terukur tidak sesuai dengan standar yang digunakan maka harus dilakukan evaluasi terhadap sistem yang ada. Sebagai contoh pada saat dilakukan pengukuran pada konsentrasi 0 (nol) maka nilai yang ditunjukkan tidak nol tetapi minus atau lebih dari nol, gambar 5 demikian pula pada konsentrasi yang lain: 94 ppm-m, 189 ppm-m, dan 475 ppm-m, dan bahkan fluktuasi nilai konsentrasi tersebut sangat besar, kemudian dilakukan evaluasi terhadap sistem. Dari hasil tersebut terlihat bahwa lemahnya sinar UV yang masuk diperkirakan sebagai penyebabnya. Untuk itu dilakukan pengukuran standar ulang setelah sinar UV masuk dengan kuat. Hasil yang diperoleh terlihat bahwa pengukuran konsentrasi gas standar mulai dari 0 (nol), 94 ppm-m, 189 ppm-m, 475 ppm-m, dan 982 ppm sesuai dengan konsentrasi dan tidak fluktuasi.

Setelah dilakukan pengukuran standar maka dilakukan pengukuran terhadap emisi SO₂ Gunung Merapi dengan menghadapkan alat terhadap plume yang keluar dari puncak gunung tersebut. Pengukuran tersebut dilakukan dengan mengaktifkan fungsi "Start" pada displai dan untuk mengakhiri pengukuran, maka dilakukan pengaktifan "Stop" pada displai. Contoh kromatogram pengukuran seperti terdapat pada.

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software "Hinagata". Software tersebut berbasis pada program excell. Data hasil pengukuran secara otomatis berada dalam file .xls. Langkah pertama dalam pengolahan data adalah membuka file dalam bentuk "SO₂.dat" dan software "DOAS HINAGATA.xls".

Dari data hasil pengukuran dilakukan pemilihan data yang digunakan, yaitu: time, angle, dan 313.1 calc. Setelah itu data disimpan ke dalam HINAGATA. Di dalam file ini terdapat menu yang digunakan dalam mengolah data sampai diperoleh data dalam satuan ton/hari. Menu tersebut terdapat dibagian kiri bawah yang terdiri dari: SO₂, Constant, Pan_Cal, dan Flux. "Constant" merupakan konstanta dalam parameter pengukuran, misal jarak pengukuran dan pusat keluarnya plume emisi SO₂, posisi geografi, sudut ukur alat terhadap titik keluarnya gas, kecepatan angin dan sebagainya. "Pan_Cal" merupakan menu yang digunakan untuk mengolah data sehingga diperoleh

data dalam bentuk ton/hari, sedangkan "Flux" adalah hasil akhir dari proses pengolahan data sehingga diperoleh konsentrasi gas SO₂ dalam ton/hari, nilai maksimum, nilai minimum, dan rata-rata hasil pengukuran.

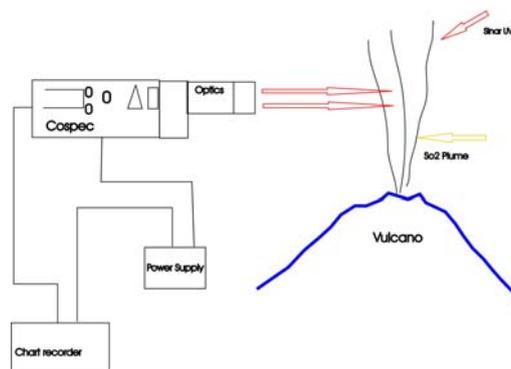
Pengukuran dengan COSPEC

Metode pengukuran gas SO₂ dengan COSPEC merupakan sistem pengukuran jarak jauh dengan menggunakan sinar ultra violet dari matahari sebagai sumbernya. Sinar ultra violet diserap oleh SO₂ yang ada di sepanjang jalur optik pada plume dalam unit satuan ppm-meter pada tekanan atmosfer adalah sebanding dengan hasil kali antara konsentrasi SO₂ (ppm) dengan panjang "optical path" (meter). Absorpsi ini berlangsung pada panjang gelombang 300 nm. Rekorder spektrometer akan memperlihatkan sebuah kurva berbentuk puncak ("peak"). Tinggi rata-rata dari puncak sebanding dengan jumlah SO₂ di sepanjang "optical path" dalam plume, dengan satuan dalam konsentrasi perpanjang optic (ppm-m). Skema peralatan COSPEC terdapat pada Gambar 3.

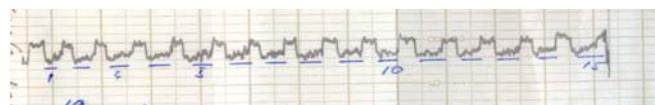
Pengukuran kecepatan emisi SO₂ dengan peralatan COSPEC dilakukan di Pos Pengamatan Gunung Merapi yang ada di Jarakah. Jarak antara pos dan puncak Gunung Merapi sejauh 6 km di sisi barat laut Gunung Merapi. Pengukuran dilakukan pada kondisi cuaca baik.

Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan semua peralatan yang ada seperti yang terdapat pada skema gambar 3 di atas. Setelah dilakukan setting terhadap sudut pengukuran dan pemilihan konsentrasi standar, maka dilakukan pengukuran dengan cara menggerakkan alat selebar sudut pengukuran. Hasil scan tersebut direkam oleh rekorder. Dalam kromatogram menunjukkan hasil pengukuran standar dan sampel secara bergantian. Standar yang digunakan untuk kalibrasi adalah standard internal (gas SO₂) yang sudah diketahui konsentrasinya. Konsentrasi standar sel gas SO₂ yang digunakan adalah 156 ppm-m untuk konsentrasi rendah dan 348 ppm-m untuk konsentrasi tinggi. Namun demikian yang digunakan dalam pengukuran adalah standar yang konsentrasi rendah, hal ini mengingat rendahnya juga hasil pengukuran emisi gas SO₂ Gunung Merapi. Penggunaan standar harus dilakukan sedekat mungkin dengan konsentrasi emisi gas untuk menghindari kesalahan atau efek penyimpangan pengukuran yang besar. Hasil rekaman pengukuran seperti tercantum dalam Gambar 4.

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran diolah untuk menghitung konsentrasi SO₂ yang terukur. Dari kromatogram yang diperoleh kemudian diukur tinggi awal dan akhir setiap pengukuran/peak kromatogram dan peak kromatogram sampel. Kemudian dengan menggunakan persamaan (1)-(4), hasil pengukuran akan diperoleh.



Gambar 3. Skema peralatan COSPEC sebagai alat ukur emisi gas SO₂ Gunung Merapi



Gambar 4. Contoh hasil pengukuran emisi SO₂ Gunung Merapi dengan COSPEC pada tanggal 9 November 2006.

$$\begin{aligned}
 A \text{ ppm-m} &= (\text{tinggi peak sampel} / (\text{tinggi peak standar} \times \text{konsentrasi standar})) \quad (1) \\
 B \text{ ppm-m}^2 &= A \text{ ppm/m} \times \text{lebar plume} \quad (2) \\
 C \text{ ppm-m}^3 / \text{dt} &= B \times \text{kecepatan plume (m/dt)} \quad (3) \\
 \text{Konsentrasi emisi SO}_2 \text{ ton/hari} &= 0,00023 \times C \quad (4)
 \end{aligned}$$

Dimana konstanta 0,00023 merupakan nilai konversi waktu dikalikan dengan kerapatan gas pada tekanan dan temperatur standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran emisi gas SO₂ Gunung Merapi pada periode 13 November sampai dengan 2 Desember 2006 telah dilakukan dengan menggunakan metode DOAS dan COSPEC. Dari dua metoda pengukuran tersebut hasilnya dicantumkan pada tabel 2 dan tabel 3. Selama periode pengukuran tersebut di atas tidak dapat dilakukan setiap hari karena cuaca yang tidak memungkinkan, yaitu karena mendung dan kadang-kadang hujan atau gunung tertutup oleh kabut. Pengukuran yang dapat dilakukan hanya 9 kali, yaitu pada saat cuaca cerah. Pengukuran emisi SO₂ dilakukan pada dua sisi yang berbeda yaitu pengukuran dengan DOAS dilakukan di sisi tenggara Gunung Merapi, tepatnya di Kaliadem, sedangkan pengukuran dengan COSPEC dilakukan di sisi barat laut Gunung Merapi yaitu di Pos Jarakah. Jarak pengukuran masing-masing adalah 5 km dan 6 km, untuk pengukuran dengan DOAS dan COSPEC.

Pada pengukuran dengan DOAS, pengambilan data dilakukan secara scanning dengan waktu integrasi 2 detik, sehingga data yang diperoleh sangat banyak dan pengolahan data dilakukan dengan menggunakan

Tabel 1. Hasil pengukuran emisi gas SO₂ Gunung Merapi dengan COSPEC pada tanggal 2 Desember tahun 2007

No. pengukuran	Kalibrasi awal	Kalibrasi akhir	Hasil pengukuran	SO ₂	
				ppm-m	ton/hari
1	0,5	0,3	0,2	87	168
2	0,4	0,3	0,2	99	191
3	0,5	0,4	0,2	77	145
4	0,4	0,3	0,3	149	288
5	0,3	0,3	0,3	174	336
6	0,3	0,3	0,2	116	224
7	0,4	0,3	0,2	99	191
8	0,5	0,4	0,3	116	224
9	0,4	0,2	0,2	116	224
10	0,5	0,4	0,3	116	224
11	0,5	0,5	0,2	70	135
12	0,4	0,3	0,3	149	288
13	0,5	0,4	0,3	116	224
14	0,4	0,4	0,2	87	168
15	0,5	0,5	0,2	70	135

Tabel 2. Hasil pengukuran emisi gas SO₂ Gunung Merapi dengan DOAS

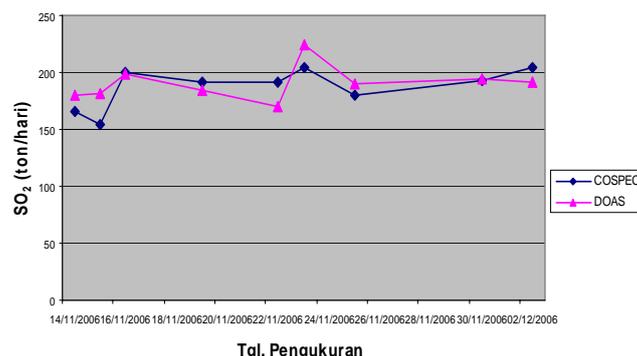
No	Tanggal	Hasil pengukuran (ton/hari)		
		Rata-rata	Maksimum	Minimum
1	13 November 2006			
2	14 November 2006	180	206	155
3	15 November 2006	182	193	142
4	16 November 2006	198	219	175
5	17 November 2006			
6	18 November 2006			
7	19 November 2006	185	208	157
8	20 November 2006			
9	21 November 2006			
10	22 November 2006	170	199	142
11	23 November 2006	225	254	167
12	24 November 2006			
13	25 November 2006	190	208	155
14	26 November 2006			
15	27 November 2006			
16	28 November 2006			
17	29 November 2006			
18	30 November 2006	195	215	168
19	1 Desember 2006			
20	2 Desember 2006	192	234	174

software "HINAGATA", seperti yang telah diuraikan. Pengambilan data COSPEC dilakukan dengan scanning pula, tetapi perhitungan tinggi peak dilakukan secara manual terhadap kertas kromatogram pada recorder yang digunakan. Scanning dalam satu kali pengukuran dilakukan kurang lebih 15 kali, seperti tercantum pada Tabel 1. Dari kromatogram yang diperoleh dilakukan perhitungan terhadap tinggi awal pengukuran standar gas kalibrasi awal dan akhir, serta hasil pengukuran, kemudian dilakukan perhitungan dengan formula seperti yang telah ditulis.

Hasil pengukuran dengan DOAS dan COSPEC menunjukkan hasil yang tidak begitu berbeda, Gambar 5. Pada grafik tersebut terlihat pada dua kali pengukuran

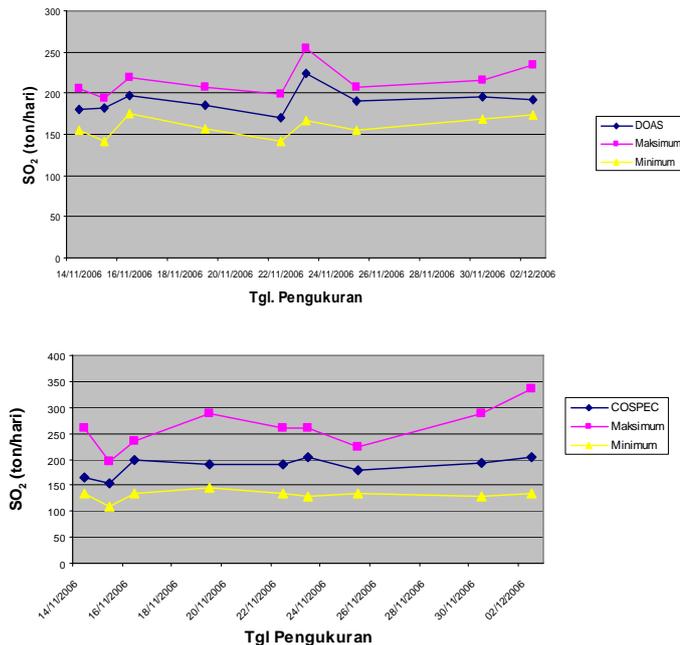
Tabel 3. Hasil pengukuran emisi gas SO₂ Gunung Merapi dengan COSPEC

No	Tanggal	Hasil pengukuran (ton/hari)		
		Rata-rata	Maksimum	Minimum
1	13 November 2006			
2	14 November 2006	166	261	135
3	15 November 2006	155	195	108
4	16 November 2006	200	236	135
5	17 November 2006			
6	18 November 2006			
7	19 November 2006	191	288	145
8	20 November 2006			
9	21 November 2006			
10	22 November 2006	191	261	135
11	23 November 2006	205	261	128
12	24 November 2006			
13	25 November 2006	180	224	135
14	26 November 2006			
15	27 November 2006			
16	28 November 2006			
17	29 November 2006			
18	30 November 2006	193	288	128
19	1 Desember 2006			
20	2 Desember 2006	204	336	135

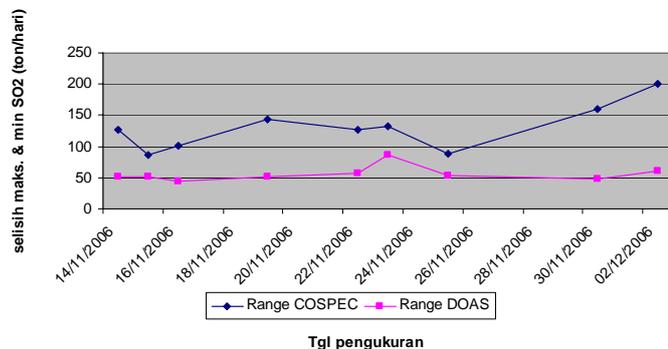
**Gambar 5.** Hasil pengukuran emisi gas SO₂ rata-rata Gunung Merapi dengan DOAS dan COSPEC, menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan.

awal nilai pengukuran DOAS lebih tinggi dibanding pengukuran COSPEC, namun pada dua pengukuran berikutnya DOAS menghasilkan nilai yang lebih rendah, demikian seterusnya pada pengukuran berikutnya. Namun demikian kalau dilihat dari sebaran pengukuran yaitu nilai maksimum dan minimum, pengukuran dengan COSPEC mempunyai range yang lebih lebar dibanding dengan pengukuran dengan DOAS, gambar 6, dan lebih jelasnya pada gambar 7. Selisih pengukuran maksimum dan minimum pada DOAS berkisar 51 ton/hari sampai 87 ton/hari. Selisih pengukuran maksimum dan minimum pada COSPEC antara 87 ton/hari sampai 201 ton/hari dengan fluktuasi yang besar.

Perbedaan hasil serta selisih maksimum dan minimum pengukuran emisi SO₂ yang diperoleh dari kedua pengukuran ini disebabkan beberapa faktor.



Gambar 6. Hasil pengukuran emisi gas SO_2 Gunung Merapi dengan DOAS, nilai maksimum dan minimum suatu pengukuran yang relative tidak besar (atas) dan hasil pengukuran emisi gas SO_2 Gunung Merapi dengan COSPEC



Gambar 7. Selisih emisi SO_2 maksimum dan minimum pengukuran dengan COSPEC dan DOAS, pengukuran dengan DOAS mempunyai selisih maksimum dan minimum yang lebih sedikit dan lebih tidak fluktuatif.

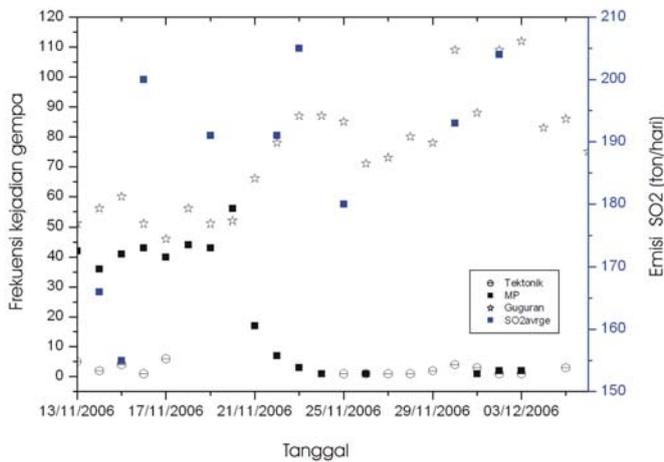
Faktor pertama adalah pada sistem pengukuran itu sendiri, yaitu sistem scanning pengambilan data. Pada DOAS sistem scanning data yang mempunyai waktu integrasi hanya 2 detik tersebut memberikan data pengukuran yang lebih akurat, sehingga deviasi pengukuran menjadi lebih sedikit. Sedangkan scanning dengan COSPEC yang dilakukan secara manual dan hanya dilakukan rata-rata 15 kali dalam suatu pengukuran menyebabkan fluktuasi serta deviasi data menjadi lebih besar. Faktor berikutnya adalah sistem pengolahan data. Pengolahan data DOAS yang dilakukan dengan software dapat mengurangi kesalahan perhitungan. Sedangkan pengolahan data COSPEC

dilakukan secara manual dan banyaknya pembulatan dalam perhitungan menyebabkan kurang telitiannya dalam pengukuran. Selain itu pembacaan dalam kromatogram peak pengukuran dalam rekorder juga memperbesar kurang telitian dalam penghitungan.

Melihat hasil diatas yaitu hasil pengukuran dengan DOAS dan COSPEC yang tidak berbeda secara signifikan dan fluktuasi pengukuran yang lebih kecil, maka dapat dikatakan DOAS memberikan hasil pengukuran yang cukup bagus. Hal ini mengingat DOAS merupakan suatu alat yang relatif baru dan sedang dikembangkan bila dibandingkan dengan metoda COSPEC yang sudah puluhan tahun digunakan sebagai pengukuran emisi SO_2 suatu gunung api di seluruh dunia. DOAS yang mempunyai ukuran lebih kecil, ringan, mudah dibawa, dan kebutuhan energi/power pengoperasian yang lebih sedikit, membuat metoda ini benar-benar merupakan metoda alternatif pilihan untuk pengukuran emisi SO_2 suatu gunung api. Sebagai aplikasi lebih lanjut terhadap emisi SO_2 Gunung Merapi, maka dilakukan analisis terhadap emisi dalam kaitannya dengan aktivitasnya.

Gas SO_2 merupakan salah satu gas yang berkonsentrasi tinggi dalam gas terlarut dalam magma, karena kelarutannya lebih tinggi dibanding dengan CO_2 , SO_2 keluar dari magma pada tekanan yang lebih rendah, sehingga SO_2 merupakan salah satu komponen volatile yang dikeluarkan dari magma yang menunjukkan tingkat aktivitas gunung api. Pengukuran SO_2 Gunung Merapi yang dimulai dari tahun 1990 sampai dengan 2006 menunjukkan nilai yang berkorelasi positif terhadap aktifitas Gunung Merapi. Dari data selama ini pengukuran emisi SO_2 Gunung Merapi rata-rata sekitar 50 ton/hari sampai 100 ton/hari pada kondisi normal. Sedangkan pada saat terjadi kenaikan aktivitas terjadi, emisi SO_2 sangat tinggi yaitu mencapai lebih dari 200 ton/hari.

Hasil pengukuran emisi SO_2 Gunung Merapi dengan DOAS dan COSPEC periode ini (13 November sampai 2 Desember 2006) yang berada pada nilai di atas 150 ton/hari bahkan pada 23 November 2006 masih di atas 200 ton/hari, menunjukkan masih aktifnya gunung api tersebut pada masa pasca erupsi Juni 2006 yang lalu. Hal ini juga yang menjadi salah satu pertimbangan dimana status gunung api ini masih "Waspada". Apabila dikorelasikan dengan kegempaan, Gambar 8, maka dapat dilihat bahwa terjadinya guguran yang banyak bersamaan dengan tingginya emisi SO_2 . Hal ini kemungkinan salah satu faktor tingginya guguran tersebut karena adanya tekanan gas dari dalam yang lebih besar, sehingga dorongan gas yang lebih besar tersebut membuat kubah lava yang ada menjadi tidak stabil.



Gambar 8. Korelasi emisi SO_2 dan kegempaan (tektonik, MP/Multiphase, dan guguran) Gunung Merapi dalam periode 13 November sampai 2 Desember 2006.

KESIMPULAN

Pengukuran emisi gas SO_2 Gunung Merapi periode 13 November sampai 2 Desember 2006 telah dilakukan dengan menggunakan metoda DOAS dan COSPEC. Dari pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran kedua metoda tersebut menunjukkan nilai yang tidak berbeda secara signifikan. Akan tetapi metoda dengan DOAS mempunyai perbedaan nilai atau selisih nilai maksimum dan minimum dalam suatu pengukuran yang lebih sedikit serta nilai yang tidak fluktuatif dibanding dengan COSPEC. Nilai tersebut berkisar 51 ton/hari sampai 87 ton/hari untuk pengukuran dengan DOAS, sedangkan selisih pengukuran pada COSPEC antara 87 ton/hari sampai 201 ton/hari dengan fluktuasi yang besar. Perbedaan selisih nilai maksimum dan minimum pada pengukuran emisi gas SO_2 Gunung Merapi dengan DOAS dan COSPEC kemungkinan ada beberapa faktor antara lain sistem scanning yang digunakan, sistem pengolahan data serta adanya kekurangtelitian dalam pembacaan peak kromatogram rekorder yang dilakukan secara pada pengukuran dengan COSPEC.

Kajian terhadap pengukuran emisi gas SO_2 Gunung Merapi bersama data kegempaan menunjukkan

adanya korelasi positif antara emisi gas dan guguran yaitu dengan naiknya jumlah kegempaan maka emisi gas SO_2 juga mengalami kenaikan. Hal ini dimungkinkan dengan adanya tekanan gas dari dalam maka mempengaruhi ketidak stabilan sisa kubah lava pasca aktivitas erupsi 2006.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Tim Instrumentasi Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian (BPPTK) dan Kepala Seksi Metoda dan Teknologi Pengembangan, yang telah memberi kesempatan untuk mengembangkan metoda ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sumarti, S., Rinekso, K., Suharno, Sukarnen, and Subandriyo, 2005, Buletin Berkala Merapi: 2/03/12/BPPTK/2005, 1-8.
2. Williams-Jones, G. and Rymer, H., 2000, *Hazards of Volcanic Gases in Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, Florida.
3. Stix, J. and Gaonac'H, H., 2000, *Gas, Plume, and Thermal Monitoring in Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press, Florida.
4. McGonigle, A.J.S., Oppenheimer, C., Galle, B., Mather, T.A., and Pyle, D.M., 2002, *Geophys. Res. Lett.*, 29 (20), 1985, doi:10.1029/2002GLO15827, 2002.
5. Hirabayashi J.I., 2004, *New equipment for SO_2 flux-Differential Optical Absorption Spectrometer (DOAS)*, Program and Abstracts Symposium on Volcano Eruption Mechanism and Tectonics under Collaboration Study between Indonesia-Japan, Bandung.
6. Galle, B., Oppenheimer, C., Geyer, A., McGinagle, A.J.S., Edmond, M., and Horrocks, L., 2002, *J. Volcanology & Geothermal Res.* 119, 241-254.
7. Volcanic Activity Report, 2004, Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.