

## Peningkatan kegiatan Gunung Api Tangkubanparahu Jawa Barat pada bulan April 2005

ISYA NURRAHMAT DANA, EKA KADARSETIA, SOFYAN PRIMULYANA,  
MUHAMMAD HENDRASTO, dan ASNAWIR NASUTION

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi,  
Jln. Diponegoro No. 57 Bandung, Indonesia

### SARI

Tangkubanparahu merupakan salah satu gunung api aktif bertipe strato yang terletak di utara kota Bandung, Jawa Barat, dengan ketinggian 2084 m di atas permukaan laut. Pengamatan terhadap aktivitas gunung api ini dilakukan dengan melibatkan berbagai metode seperti geokimia dan geofisika.

Gas fumarola yang diambil dari Kawah Ratu (95°C) dan telah dianalisis secara kimiawi pada tahun 1994, 1997, 1998, 2002, dan 2005, hasilnya menunjukkan banyaknya kandungan uap air, dengan komponen utama gas terdiri atas  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ , dan sedikit  $SO_2$ . Kandungan  $CO_2$ -nya lebih besar daripada ( $SO_2 + H_2S$ ). Tingginya nilai rasio  $CO_2/H_2S$ ,  $CO_2/H_2$ , dan  $H_2/Ar$ , menandakan adanya pergerakan fluida bertemperatur tinggi secara cepat dari sumber yang dalam sebelum terkondensasi pada daerah air permukaan yang dangkal. Air panas yang diambil dari Kawah Domas menunjukkan konsentrasi  $SO_4$  dengan kandungan Cl yang rendah, serta tiadanya  $H_2CO_3$ . Tingginya sulfat diduga bahwa gas-gas vulkanik, terutama hidrogen sulfida teroksidasi di dekat permukaan, sehingga mempengaruhi komposisi kimia air dangkal.

Pengamatan seismik berlangsung menerus dengan menggunakan satu stasion permanen, sedangkan pengamatan lain yang berupa pemantauan *leveling*, *Electric Distance Measurement* (EDM), *Global Positioning System* (GPS) *monitoring*, dan pemasangan seismometer dilaksanakan secara temporal. Dari pengamatan geofisika pada aktivitas April 2005 terdeteksi bahwa hiposentrum berada pada kedalaman kurang dari 2 km yang posisinya terletak di bawah antara Kawah Ratu dan Kawah Domas dengan sumber tekanan deformasi terletak di bawah Kawah Domas. Gempa-gempa vulkanik frekuensi rendah relatif meningkat, yang diduga berkaitan dengan pelepasan gas.

**Kata kunci:** Peningkatan kegiatan, Tangkubanparahu, geokimia, geofisika, kawah, gempa gunung api

### Abstract

*Tangkubanparahu is an active strato volcano located in West Java lying about 30 km to the north of Bandung City. Its crest is 2084 m above the sea level. In order to gain a better understanding on volcanism and magmatism of this volcano, various research and monitoring have been carried out, such as geochemistry and geophysics.*

*Chemical composition of volcanic gases collected from the Ratu Crater (95°C in 1994, 1997, 1998 and 2005, shows that the gas is hydrous with the main component of  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$  and small amount of  $SO_2$ ; where  $CO_2$  content is higher than ( $SO_2 + H_2S$ ). The gas composition showing high of value ratio of  $CO_2/H_2S$ ,  $CO_2/H_2$ , and  $H_2/Ar$ , is suggested to indicate the presence of a fast fluid movement from the depth before condensed at the shallow surface water area. Hotspring from the Domas Crater contains a high concentration of  $SO_4$ , low of Cl and absence of  $H_2CO_3$ . The high sulphate content is suggested to be originated from the volcanic gases, especially hydrogen sulphide oxydated near the surface, that then the gas influenced chemical composition due to shallow water.*

*Continuous seismic monitoring uses one permanent station, while the other methods like Electric Distance Measurement (EDM), Global Positioning System (GPS) and Seismometer have been installed temporary. From geophysical evidence on April 2005 activity, some valuable information can be obtained. Hypocenter is located at the depth less than 2 km beneath an area between the Ratu*

*and Domas Craters, while pressure source of deformation is below Domas Crater. Some low frequency volcanoquakes is possibly caused by volcanic gases released from the reservoir.*

**Keywords:** *increasing activity, Tangkubanparahu, geochemistry, geophysics, crater, volcanoquake*

## PENDAHULUAN

Tangkubanparahu yang artinya adalah perahu terbalik, merupakan nama sebuah gunung api aktif yang terletak 30 km di sebelah utara Kota Bandung dan 10 km di selatan Kota Subang (Gambar 1). Keberadaan gunung api sangat berkaitan erat dengan sektor pariwisata. Fenomena alam yang indah dan pencapaiannya yang mudah, membuatnya menjadi salah satu tujuan wisata yang cukup terkenal di Jawa Barat.

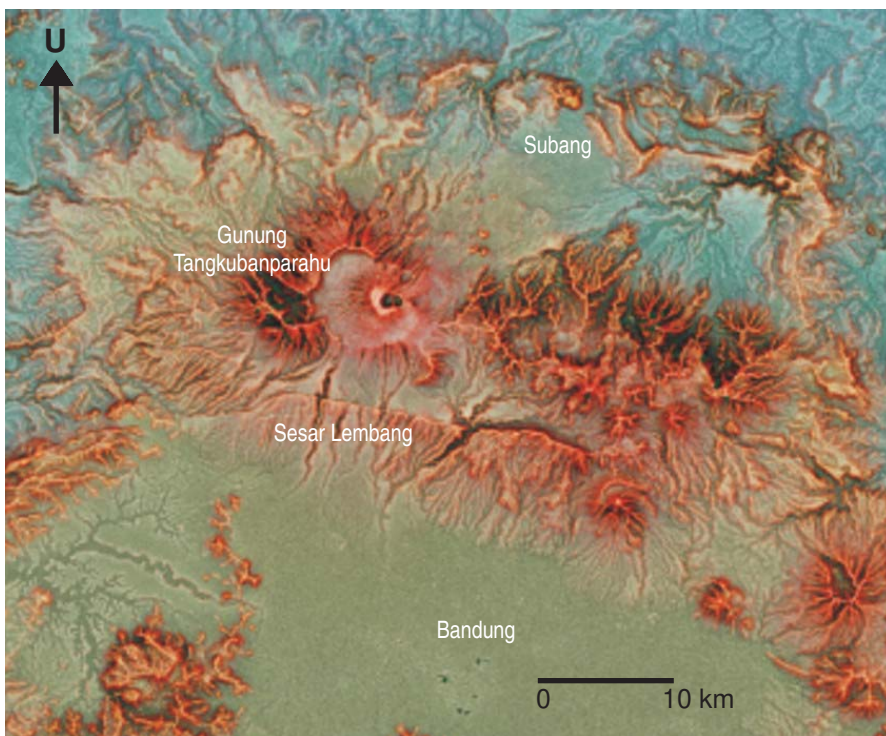
Gunung api ini berjenis strato dengan banyak kawah, seperti Kawah Ratu, Upas, Baru, Lanang, Ecoma, Jurig, Siluman, Domas, Jarian, dan Kawah Pangguyangan Badak. Aktivitas letusan yang tercatat umumnya freatik, sementara letusan magmatik diperkirakan terjadi tahun 1910.

Peningkatan kegiatan Gunung Api Tangkubanparahu sering terjadi yakni berupa peningkatan

kegempaan yang diikuti oleh adanya pelepasan gas atau uap air atau adanya aktivitas hidrotermal, sehingga pengamatan dan pemantauannya jangan sampai terbengkalai agar dapat memberi informasi sebelum terjadi letusan. Dengan banyaknya pengunjung/wisatawan dalam dan luar negeri serta banyaknya pedagang di sekitar kawah diperlukan pula kewaspadaan sewaktu menentukan status kegiatannya terutama dalam menjaga keselamatan masyarakat yang beraktivitas di sana.

Metode penelitian yang dipakai dalam kajian ini adalah kajian seismik yang berlangsung menerus pada satu stasion tetap, serta ditunjang oleh pemantauan "leveling", EDM, dan GPS monitoring.

Dalam tulisan ini kami mencoba mengevaluasi dan menganalisis hasil pengamatan dan pemantauan pada peningkatan kegiatan bulan April 2005 dari beberapa data dan metode yang dilakukan saat krisis kegempaan tersebut. Selanjutnya para penulis



Gambar 1. Citra *landsat* yang menunjukkan letak Gunung Api Tangkuban Parahu.

menginterpretasikannya dengan penunjang data geokimia yang teramati dan yang didapat dari hasil pengukuran di lapangan. Pokok permasalahannya adalah adanya peningkatan kegiatan kegempaan yang muncul secara tiba-tiba dengan frekuensi dan amplitudo yang cukup mengejutkan, tetapi tidak tampak secara visual adanya pelepasan energi berupa gas/uap air. Selanjutnya penelitian yang dilakukan adalah kaitan antara hasil analisis kegempaan, deformasi, dan geokimia.

## HASIL PENELITIAN

### Sistem Panas Berdasarkan Parameter Kimia

Gas dari Gunung Tangkubanparahu tahun 1994, 1997, dan 1998 bersifat *hydrous* dengan kandungan  $H_2O$  (air) yang jumlahnya antara 98% - 99% mol. Secara visual gas-gasnya berwarna putih, yang disebabkan oleh dominannya uap air. Komponen utama gas Kawah Ratu terdiri atas  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ , dan sedikit  $SO_2$  (Kusumadinata, 1962; Kadarsetia dkk., 1977), sementara kandungan  $CO_2$ nya lebih besar dari ( $SO_2 + H_2S$ ). Konsentrasi gas yang menunjukkan tingginya nilai rasio  $CO_2/H_2S$ ,  $CO_2/H_2$ , dan  $H_2/Ar$ , diduga akibat adanya pergerakan fluida bertemperatur tinggi secara cepat dari sumber yang dalam sebelum terkondensasi pada daerah air permukaan yang dangkal.

Kandungan  $SO_2$  menurun dari 0,28; 0,12 hingga 0,10% mol. Sementara itu  $CO_2$  menurun dari 0,8; 0,35 sampai 0,02. Hal ini menunjukkan adanya penurunan aktivitas vulkanik dalam kurun waktu tersebut.

Temperatur bawah permukaan yang dihitung dengan metode D'Amor dan Panichi (1981) memberikan nilai  $379^{\circ}C$ ,  $366^{\circ}C$ , dan  $337^{\circ}C$  yang berturut-turut dari tahun 1994, 1997, sampai 1998. Sementara itu berdasarkan penghitungan geothermometri metana untuk gas tahun 1994 memberikan harga temperatur bawah permukaan  $397^{\circ}C$  (Nasution dkk., 2004).

Komposisi kimia air panas yang diambil dari Kawah Domas (Tabel 1) menunjukkan tingginya konsentrasi  $SO_4$ , kandungan Cl yang rendah serta tiadanya  $H_2CO_3$ , sehingga dapat diklasifikasikan sebagai "Air Sulfat Asam". Tingginya sulfat diduga akibat gas-gas vulkanik, terutama hidrogen sulfida yang teroksidasi didekat permukaan, mempengaruhi

Tabel 1. Komposisi Kimia Air Mata Air Panas Kawah Domas

Elemen	Nilai (mol rasio)
Na/Li	10,8
Na/K	5,4
Na/Ca	1,2
Ca/Mg	2,6
Cl/Ca	27,6
Cl/As	6631,0
Cl/F	941,3
Cl/ $SO_4$	25,1
Cl/B	138,1
pH	2,5
Suhu	$95,0^{\circ}C$
Kation mg/kg	4,8
Anion mg/kg	26,8

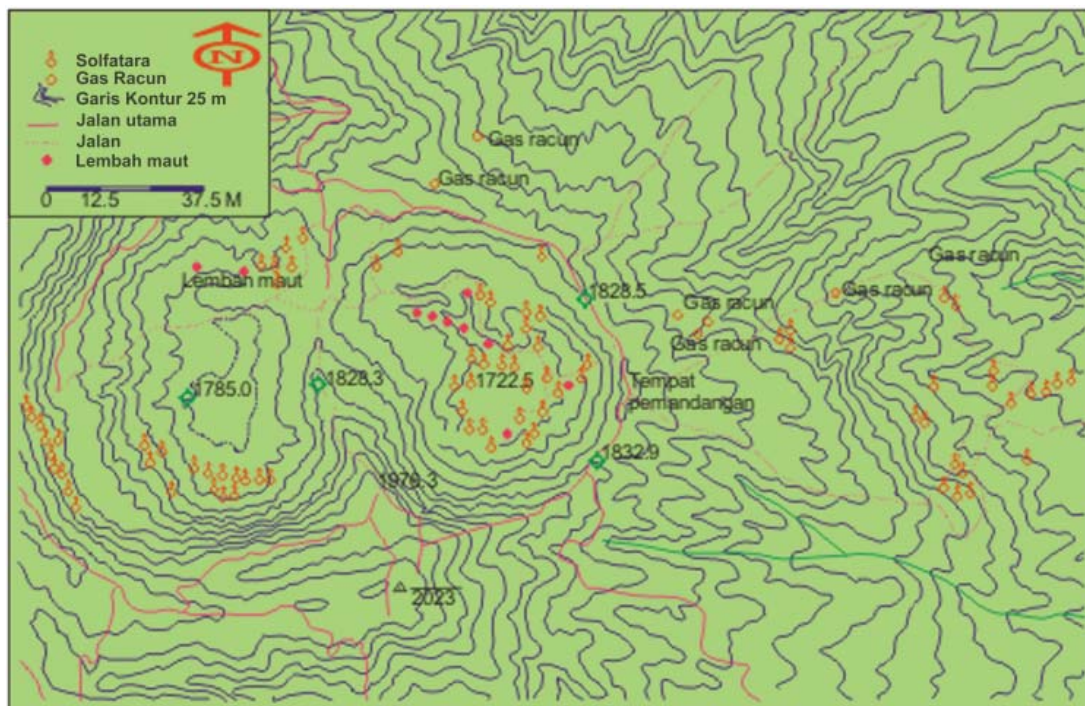
komposisi kimia air dangkal. Kimia air juga menunjukkan bahwa air *immature* di bawah Kawah Domas keluar dan bercampur dengan air dangkal atau terjadi pengenceran. Rendahnya nilai Cl/100, B/4, dan C/B, dengan konsentrasi litium yang rendah, memberikan kemungkinan bahwa panas yang dipancarkan berasosiasi dengan batuan-batuan vulkanik terutama andesit (Nugraha dan Sriwana, 1984).

Peta situasi sekitar kawah yang memperlihatkan sebaran lapangan solfatara dan tempat keluarnya gas vulkanik (Gambar 2), digunakan sebagai petunjuk bagi para pengunjung/wisatawan ketika berada di sekitar kawah untuk mencari lokasi yang relatif aman. Contoh gas di Kawah Ratu, yang diambil pada 17 September 2002 di lapangan solfatara (Gambar 3), yang ketika itu kegiatan seismiknya tengah meningkat, menunjukkan komposisi seperti tersaji pada (Tabel 2), dengan kandungan  $CO_2 = 0,03$  ppm,  $SO_2 = 3,9$  ppm dan  $H_2S = 10 - 100$  ppm. Sementara itu, pengukuran pada 14 April 2005 di Kawah Domas menunjukkan kandungan  $CO_2 = 27,99$  ppm dan  $H_2S = 1,23$  ppm, sedangkan pada 18 April 2005  $CO_2 = 14,88$  ppm dan  $H_2S = 0,58$  ppm. Dari jumlah kandungan kedua jenis gas tersebut, terlihat adanya perubahan hasil pengukuran yang menurun bersamaan dengan menurunnya kegempaan.

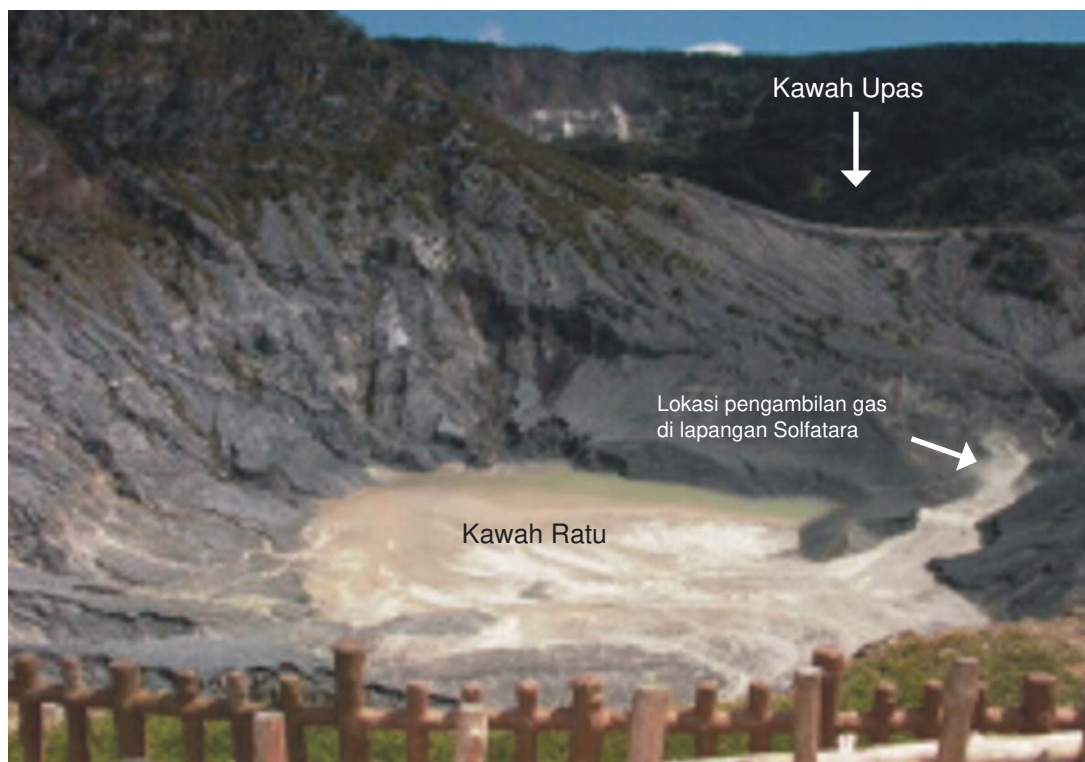
### Parameter Geofisika dan Aktivitas April 2005.

Penyelidikan dan pengamatan secara geofisis terhadap Gunung Api Tangkubanparahu melibatkan berbagai metode. Pengamatan secara seismik





Gambar 2. Peta situasi puncak Gunung Api Tangkubanparahu.



Gambar 3. Kawah Ratu dilihat dari sebelah timur.

Tabel 2. Komposisi Kimia Gas Vulkanik Kawah Ratu

Elemen	Konsentrasi (mol %)		
	Juli 1994	Juni 1997	November 1998
H <sub>2</sub>	0,00063	0,01	0,01
O <sub>2</sub> + Ar	0	0,05	0,04
N <sub>2</sub>	0	0,14	0,36
CH <sub>4</sub>	0	0	0
CO	0	0	0,41
CO <sub>2</sub>	0,80	0,35	0,02
SO <sub>2</sub>	0,28	0,12	0,10
H <sub>2</sub> S	0,07	0,25	0,005
HCl	0,01	0,04	0,05
H <sub>2</sub> O	98,80	99,02	98,95
S/C	0,66	0,64	0,25
HCl/SO <sub>2</sub>	0,64	0,33	0,50
SO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> S	4,0	0,48	1,0
Suhu (°C)	95	96	96

dilakukan dengan menggunakan stasion permanen satu komponen (Wirakusumah, 1985), sementara itu metode lain seperti pengukuran *leveling*, *Electronic Distance Measurement* (EDM) dan *Global Positioning System* (GPS; deformasi) dilakukan secara temporal.

Kegempaan Gunung Api Tangkubanparahu dalam kondisi normal setiap hari adalah: berjumlah rata-rata gempa tipe A = 0 - 2 kali dan gempa tipe B = 3 - 7 kali (Matahelumual, 1977; Dana dan Patria, 2005). Tetapi, pada 13 April 2005 terjadi kenaikan aktivitasnya yaitu: pada pukul 7.30 status aktivitas ditingkatkan dari level 1 ke level 2; dari jam 07.00 - 13.00 : gempa tipe A = 53 kali; dan gempa tipe B = 67 kali.

Pada pukul 13.00 status ditingkatkan lagi dari *level 2* ke *level 3*. Menanggapi aktivitas kegempaan yang tiba-tiba (sporadis) tersebut, penanganan yang cepat segera dilakukan oleh tim tanggap darurat. Metode lain segera dilibatkan, seperti deformasi, *leveling*, geokimia, dan pemasangan sensor kegempaan digital untuk menentukan hiposentrum, karena dikhawatirkan akan terjadinya suatu letusan sehingga aktivitas wisata di kawasan Kawah Gunung Api Tangkubanparahu ditutup sementara.

## PEMBAHASAN

Secara teoretis, gempa terjadi akibat retaknya batuan karena adanya proses tekanan. Di kawasan gunung api, peretakan terjadi di bawah tubuh atau

di bawah kawah gunung api.

Dalam bulan Maret 2005, kegempaan yang terekam di Pos Pengamatan Gunung Api Tangkubanparahu, khususnya gempa gunung api sebanyak dua kejadian per hari. Nilai tersebut adalah jumlah rata-rata dan merupakan nilai normal bagi kegempaan Gunung Api Tangkubanparahu.

Minggu pertama April 2005, jumlah gempa gunung api masih terbilang normal antara 0 - 2 kali perhari. Pada 12 April secara mendadak jumlahnya meningkat, bahkan keesokan harinya, pada 13 April peningkatan jumlah gempa sangat mencolok. Berdasarkan data kegempaan tersebut, maka terhitung sejak 13 April 2005, pukul 08.25 WIB status kegiatan Gunung Api Tangkubanparahu dinaikkan dari Aktif-Normal (*level I*) menjadi Waspada (*level II*), bahkan beberapa jam kemudian pukul 13.00 WIB mencapai Siaga (*level III*).

Berdasarkan analisis, kedalaman sumber gempa adalah gempa dangkal berada antara 1,6 – 1,9 km di bawah areal Kawah Domas, sehingga gempa tidak terekam oleh seismograf Stasiun Lembang (BMG) yang letaknya sekitar 7 km dari Gunung Api Tangkubanparahu. Data kegempaan saat krisis tersebut yang dapat dilihat pada grafik gempa gunung api (Gambar 5) memperlihatkan adanya peningkatan aktivitas secara tiba-tiba. Hal ini menunjukkan bahwa Tangkubanparahu masih merupakan gunung api aktif dengan memperlihatkan gejala aktivitasnya, bila dibandingkan dengan keadaan normal. Frekuensi kegempaan relatif kecil, amplitudo kecil dengan energi relatif sangat kecil, sedangkan saat itu

secara tiba-tiba terjadi peningkatan yang sporadik yang membuat para pengamat gunung api cukup dikagetkan. Pola kegempaan dimulai dengan naiknya jumlah gempa gunung api dalam (VA), kemudian disusul oleh gempa gunung api dangkal (VB). Hal tersebut menunjukkan terjadinya peretakan yang menerus dari suatu kedalaman dan merembet ke arah permukaan. Kemudian fluida gas naik dan terakumulasi di bawah kawah yang dicirikan dengan terekamnya *tremor* vulkanik selama 8 jam.

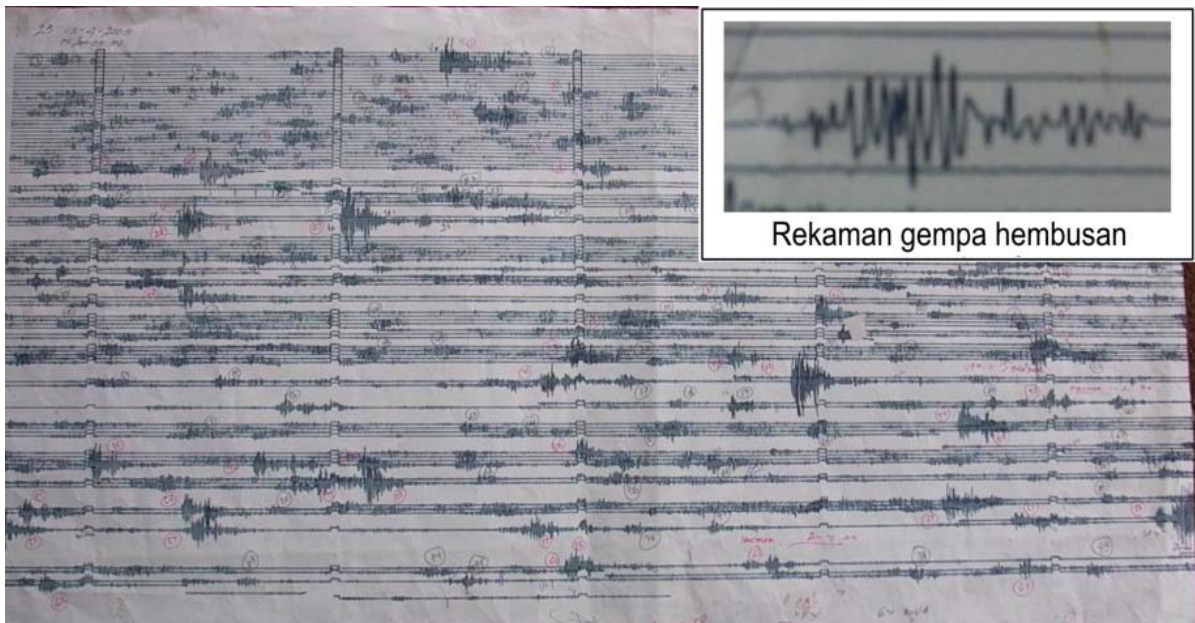
Pada 15 April 2005 mulai terekam gempa hembusan sebagai realisasi dari pelepasan gas yang sebelumnya terkurung di bawah kawah. Adanya pelepasan gas secara perlahan tersebut memperkecil kemungkinan terjadinya pelepasan gas secara mendadak yang dapat menyebabkan letusan. Puncak pelepasan gas terjadi pada 16 April 2005, dimana pada saat itu gempa hembusan terekam sebanyak 72 kejadian. Kecilnya peluang terjadinya letusan, terutama letusan magmatik, juga ditunjukkan oleh hasil pengukuran gas. Gas  $\text{SO}_2$  hanya terdeteksi di Kawah Domas dengan nilai 10 ton/hr,  $\text{CO}_2 = 27,99$  ppm dan  $\text{H}_2\text{S} = 1,23$  ppm (pengukuran 14 April), sedangkan hasil pengukuran 18 April 2005,  $\text{SO}_2 < 2$  ton/hr,  $\text{CO}_2 = 14,88$  ppm,  $\text{H}_2\text{S} = 0,58$  ppm, (bandingkan dengan nilai  $\text{SO}_2$  di Gunung Api Merapi yang sifatnya magmatik sebesar 150 – 200 ton/hr).

Di kawasan Kawah Ratu tidak ditemukan adanya gas tersebut, kecuali gas belerang.

Data pendukung lainnya seperti deformasi atau pemantauan *leveling* menunjukkan adanya perubahan bila dibandingkan dengan hasil pengukuran sebelumnya, yaitu pengukuran 1998 (Rosadi dkk, 1998), 2000, dan 2002 yang dapat dilihat pada Gambar 6. Dari gabungan metode tersebut, ada beberapa hal yang dapat dijelaskan, bahwa hiposentrum terdapat pada kedalaman kurang dari 2 km dan terletak di bawah permukaan antara Kawah Ratu dan Kawah Domas. Sementara itu, sumber tekanan deformasi diduga berada di bawah Kawah Domas dengan kedalaman kira-kira 0,55 km. Dugaan ini ditunjang oleh banyaknya gempa-gempa gunung api berfrekuensi rendah yang meningkat pada saat krisis. Hal ini diduga terjadi akibat adanya pelepasan gas secara perlahan dari akumulasi gas di bawah permukaan (Gambar 4).

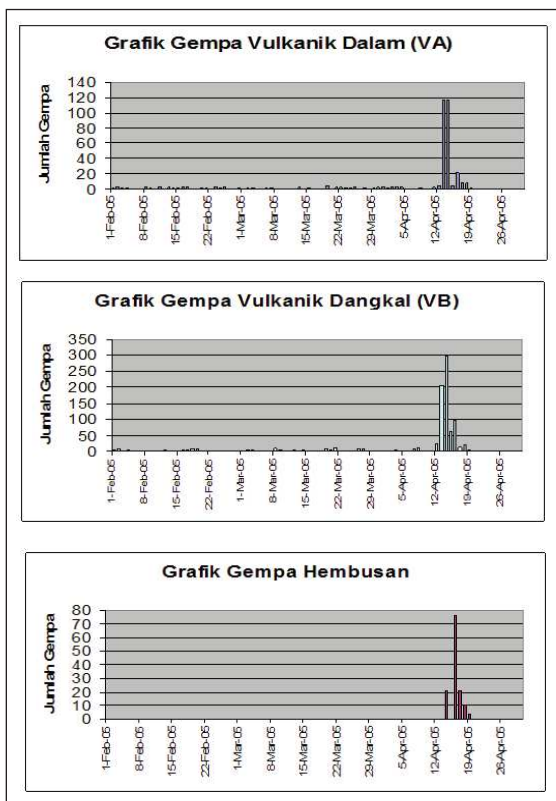
#### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari konsentrasi gas yang muncul diketahui adanya pergerakan fluida bertemperatur tinggi secara cepat dari sumber yang dalam, sebelum terkonkonsentrasi pada daerah air permukaan yang dangkal,



Gambar 4. Rekaman Gempa 13 April 2005, pukul 05.50 - 12.08 WIB.

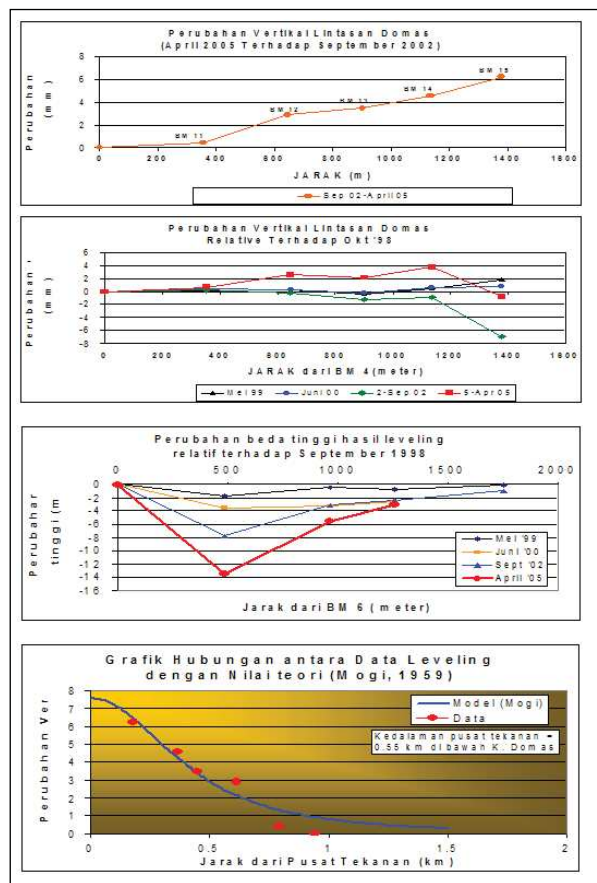




Gambar 5. Grafik Gempa yang terekam di Pos PGA Tangkubanparahu tahun 2005.

dengan temperatur bawah permukaan antara 337<sup>0</sup> C sampai 397<sup>0</sup> C. Komposisi kimia air panas yang diambil dari Kawah Domas diklasifikasikan sebagai “Air Sulfat Asam”. Tingginya sulfat menandakan bahwa gas-gas vulkanik, terutama hidrogen sulfida teroksidasi di dekat permukaan, dan mempengaruhi komposisi kimia air dangkal.

Krisis vulkanik yang terjadi di Gunung Api Tangkubanparahu saat itu berpusat di areal Kawah Domas. Sejak 18 April 2005 jumlah gempa gunung api sudah mulai berkurang dengan drastis. Hiposentrum ditemukan pada kedalaman kurang dari 2 km dan terletak di bawah antara Kawah Ratu dan Kawah Domas, dengan sumber tekanan deformasi berada di bawah Kawah Domas pada kedalaman 0,55 km. Gempa-gempa gunung api frekuensi rendah yang mengalami peningkatan setelah peningkatan gempa gunung api (VB), diduga diakibatkan oleh pelepasan gas secara perlahan akibat akumulasi gas di bawah permukaan. Peluang terjadinya letusan, terutama letusan yang sifatnya magmatis, di Gunung Api Tangkubanparahu, saat ini sangat kecil. Bila kegiatan



Gambar 6. Grafik-grafik hasil pengukuran deformasi bulan-an tahun 1998 dan 2002 serta hubungan antara data leveling dengan nilai teori.

vulkanik berlanjut, hal yang mungkin terjadi adalah munculnya letusan gas (*freatik*) yang berpotensi mengambil tempat di Kawah Domas. Oleh karena itu, sejak 19 April 2005, pukul 12.00 WIB status kegiatan Gunung Api Tangkubanparahu diturunkan kembali dari SIAGA (*level III*) menjadi WASPADA (*level II*) dan kemudian diturunkan kembali menjadi NORMAL (*level I*) pada awal Maret 2005.

Gunung Api Tangkubanparahu masih menunjukkan aktivitasnya, sehingga pemantauannya harus sangat diperhatikan dengan lebih baik karena merupakan daerah wisata yang sangat banyak pengunjungnya. Meskipun status aktivitasnya dinyatakan Normal pada *level I*, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi merekomendasikan agar para pengunjung (wisatawan, pedagang, dsb) tidak diperkenankan untuk turun ke dasar Kawah Ratu atau Kawah Upas, serta Pengelola Kawasan

Wisata Tangkubanparahu disarankan agar menata ulang kendaraan (parkir), sehingga memudahkan pengunjung segera meninggalkan area puncak/kawah bila terjadi perubahan kondisi yang sifatnya mendadak.

**Ucapan Terima Kasih**—Para penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi yang telah memberi tugas untuk mengamati dan memantau kegiatan Gunung Api Tangkubanparahu, sehingga hasilnya dapat diwujudkan dalam bentuk tulisan ini.

#### ACUAN

- Dana, I. N. dan Patria, C., 2005. *Laporan Krisis G. Tangkuban Parahu*. Direktorat Vulkanologi. Tidak diterbitkan.
- D'Amore, F. and Panichi, C., 1981. Evaluation of deep temperatures of hydrothermal systems by a new gas geothermometer. *Geochimica. Cosmochimica, Acta*, 44, h. 549-556.
- Kadarsetia, E., R., Wahyuningsih, W., dan Suherman, 1977. *Penyelidikan Kimia Gas G. Papandayan & G. Tangkubanparahu*. Direktorat Vulkanologi. Tidak diterbitkan.
- Kusumadinata, K., 1962. *Gas racun dan gas lemas di kawah-kawah Tangkubanparahu* Direktorat Vulkanologi. Tidak diterbitkan.
- Kusumadinata, K., 1979. *Data Dasar Gunung api Indonesia*. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Pertambangan Umum. Direktorat Vulkanologi
- Matahelumual, J., 1977. *Pengamatan Seismik Gunung Tangkubanparahu*. Direktorat Vulkanologi. Tidak diterbitkan.
- Nasution, A., Kartadinata, M.N., Kobayashi, T., Siregar, D., Sutaningsih., Hadisantono, R. and Kadarsetia, E., 2004. Geology, Age Dating and Geochemistry of the Tangkubanparahu Geothermal Area, West Java, Indonesia. *Journal of Geothermal Resource Society Japan*.
- Nugraha, J. dan Sriwana, T., 1984. *Laporan penelitian analisis kimia gas vulkanik dan kondensat G. Tangkubanparahu*. Direktorat Vulkanologi. Tidak diterbitkan.
- Rosadi, U., Rochanan, dan Rukada, T., 1998. *Laporan pengukuran deformasi leveling G. Tangkubanparahu, Jawa Barat*. Direktorat Vulkanologi. Tidak diterbitkan.
- Wirakusumah, A.D., 1985. *Laporan pemasangan seismograf RTS di G. Tangkubanparahu*. Direktorat Vulkanologi. Tidak diterbitkan.