

## **Prekursor peningkatan kegiatan Gunung Tangkubanparahu pada Agustus – September 2012**

*Increased activity Tangkubanparahu volcano precursor  
on August - September 2012*

Ugan Boyson Saing, Ony K. Suganda, Iyan Mulyana, dan Ahmad Basuki

Badan Geologi

Jl. Diponegoro 57 Bandung

### **ABSTRAK**

Pada 23 Agustus 2012 status Gunung Tangkubanparahu dinaikkan dari Normal (Level 1) menjadi Waspada (Level 2) karena adanya peningkatan aktivitas di Kawah Ratu. Prekursornya meningkat secara seismik, visual, temperatur solfatara, geokimia, dan deformasi. Saat kondisi normal, kegempaan Gunung Tangkubanparahu didominasi oleh gempa vulkanik dangkal (VB) berkisar 5 kejadian per hari, sedangkan vulkanik dalam (VA) kurang dari 1 kejadian per hari. Setelah peningkatan kegiatan, tremor menerus muncul, gempa vulkanik dangkal pada 12 – 20 Agustus 2012 meningkat menjadi 9 – 18 kejadian per hari. Saat status normal, tinggi asap solfatara Kawah Ratu antara 20 – 50 m di atas dasar kawah. Setelah meningkat status Waspada pada 24 Agustus 2012 tinggi asap solfatara menjadi 50 – 100 m dari dasar kawah. Temperatur solfatara dari 106,3° C pada 18 Agustus 2011 naik menjadi 246,0° C pada 24 Agustus 2012 dan 286,0° C pada 11 September 2012. Fluks SO<sub>2</sub> solfatara Kawah Ratu dari 0,15 ton/hari pada 24 Agustus 2012 naik menjadi 1,85 ton/hari pada 6 September 2012. Rasio Cl/SO<sub>4</sub> dari 0,11 pada Desember 2011 naik menjadi 3,98 pada 24 Agustus 2012 dan 3,52 pada 11 September 2012. Deformasi EDM (PARK – LRNG) mengalami pemanjangan jarak miring (*slope*) sebesar 2,30 cm pada 9 – 16 September 2012. Bila dibandingkan dengan data GPS bulan Agustus 2012, deformasi GPS pada bulan September 2012 menghasilkan perubahan nilai vektor horizontal sebesar 1,22 – 8,97 cm dengan arah vektor dominan ke luar Kawah Ratu.

**Kata kunci** : gempa vulkanik, solfatara, fluks SO<sub>2</sub>, rasio Cl/SO<sub>4</sub>, deformasi

### **ABSTRACT**

*On August 23, 2012 Alert level of Tangkubanparahu Volcano raised from Normal (Level 1) to Level 2 due to an increased activity in the Kawah Ratu. In addition to increasing activity shown by seismic precursors, also improved visually, solfatara temperature, geochemical, and deformation. In normal condition, seismicity of Tangkubanparahu is dominated by shallow volcanic earthquake less than 5 events per day, whereas the deep volcanic earthquake less than 1 event per day. After the increasing activity, continuous tremor appears, number of shallow volcanic earthquake increased on 12 to 20 August 2012 to 9-18 events per day. In Normal status, solfatara plume height of Kawah Ratu was 20-50 m above the bottom of the crater, after increasing on August 24, 2012 (Level 2) solfatara plume height be*

---

Naskah diterima 22 Mei 2013, selesai direvisi 18 Juli 2013

Korespondensi, email: ugan\_saing@usi.esdm.go.id

50-100 m from the bottom of the crater. Solfatara temperature was 106.3° C on August 18, 2011 raised to 246.0° C on August 24, 2012 and 286.0° C on September 11, 2012. SO<sub>2</sub> flux of Kawah Ratu solfatara of 0.15 tonnes/day on August 24, 2012 increased to 1.85 tonnes/day on September 6, 2012. Cl/SO<sub>4</sub> ratio of 0.11 in December 2011 raised to 3.98 on August 24, 2012 and 3.52 on 11 September 2012. Lengthening of slope distance of PARK - LRNG was 2.30 cm from 9 to 16 September 2012. Compared to the August 2012 GPS data, deformation on September 2012 changes in the value of the horizontal vector of 1.22 to 8.97 cm with the dominant vector outward from the Kawah Ratu Crater.

**Keywords:** volcanic earthquake, solfatara, SO<sub>2</sub> flux, Cl/SO<sub>4</sub> ratio, deformation

## PENDAHULUAN

Gunung Tangkubanparahu tumbuh di bagian dalam sebelah timur Kaldera Sunda (Van Bemmelen, 1934, dalam Kusumadinata, 1979) dan merupakan gunung api aktif tipe strato yang memiliki 10 buah kawah. Dua kawah utama di puncak adalah Kawah Ratu dan Kawah Upas, keduanya masing-masing berdiameter sekitar 1000 m dan kedalaman kawah sekitar 400 m. Secara administratif Gunung Tangkubanparahu terletak di dua kabupaten, yaitu Kabupaten Bandung Barat dan Kabupaten Subang, Provinsi Jawa Barat. Posisi geografis puncak terletak pada 6°46' LS dan 107°36' BT dengan ketinggian 2084 m dpl (Sthern, 1972, dalam Kusumadinata, 1979) atau 1300 m di atas dataran tinggi Bandung.

Letusan Gunung Tangkubanparahu sudah tercatat sejak tahun 1829 dengan interval terlama antar letusan adalah 25 tahun dan terpendek 1 tahun. Dari sejarah letusannya diketahui bahwa letusan Gunung Tangkubanparahu digolongkan sebagai letusan kecil. Sejak abad ke-19, gunung api ini tidak pernah menunjukkan letusan magmatik besar kecuali letusan abu yang sebarannya terbatas di sekitar daerah puncak tanpa diikuti oleh leleran lava, awan panas, ataupun lontaran batu pijar. Umumnya yang dominan

adalah letusan freatik dengan sebaran lumpur di area kawah. Letusan freatik biasanya diikuti oleh peningkatan suhu solfatara/fumarola di beberapa kawah yang aktif seperti Kawah Ratu, Kawah Baru, dan Kawah Domas. Letusan terakhir terjadi pada 1996 berupa letusan freatik/abu dari Kawah Ratu. Setelah itu hingga tahun 2012 aktivitas Gunung Tangkubanparahu berupa peningkatan kegiatan tanpa diakhiri letusan. Peningkatan kegiatan tidak jarang hanya berupa peningkatan kegempaan saja kemudian menurun kembali ke aktivitas normal. Pada saat terjadi peningkatan kegiatan kadang-kadang diikuti oleh peningkatan konsentrasi gas-gas vulkanik seperti gas racun CO dan CO<sub>2</sub> yang bila terakumulasi dapat menjadi bahaya primer terbatas.

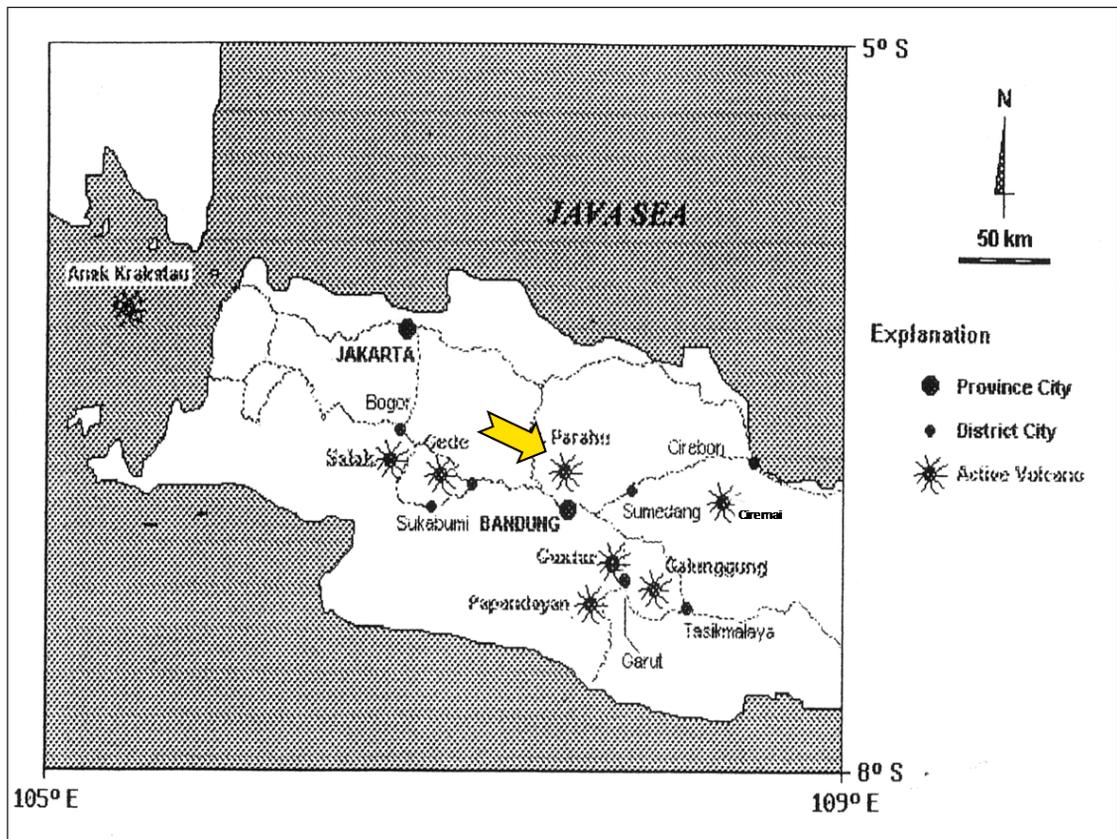
Pada 23 Agustus 2012, pukul 23.00 WIB status kegiatan Gunung Tangkubanparahu dinaikkan dari Normal (Level 1) menjadi Waspada (Level 2) karena peningkatan kegempaan dan suhu tanah di sekitar solfatara Kawah Ratu (Saing, dr, 2012). Dalam status waspada, perkembangan dan peningkatan kegiatan Gunung Tangkubanparahu terus dipantau secara intensif guna mengantisipasi dan memitigasi dampak letusan jika aktivitasnya terus meningkat, mengingat gunung api ini merupakan lokasi tujuan wisata

yang ramai dikunjungi baik wisatawan domestik maupun manca negara. Karena letusan kecil sekalipun berpotensi membahayakan para pengunjung dan pedagang yang berada di area kawah dan kepanikan pengunjung dapat berpotensi menimbulkan korban jiwa.

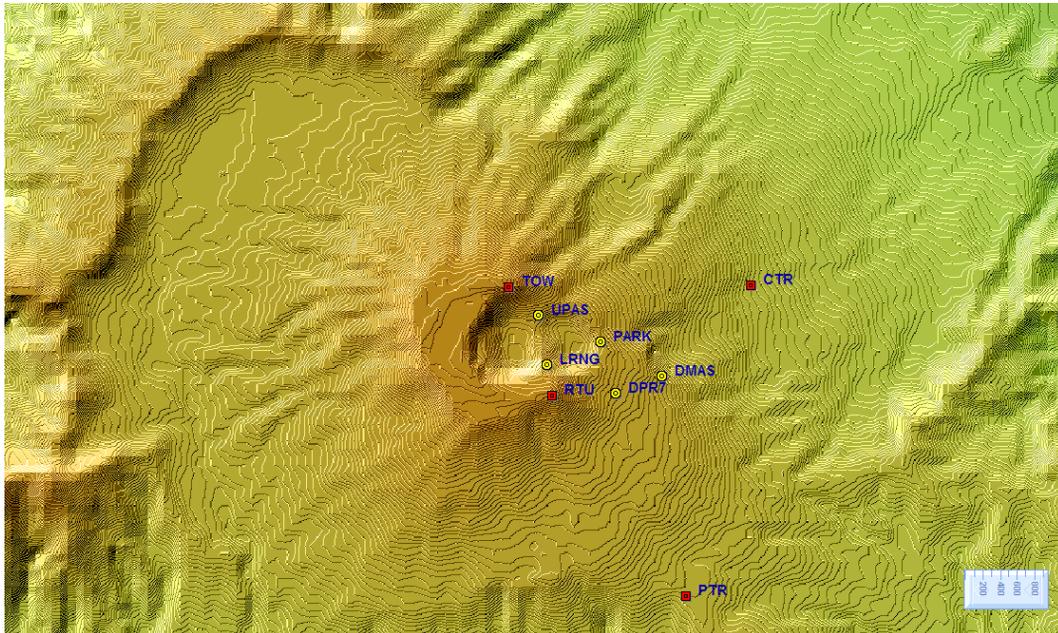
## METODOLOGI

Metoda yang digunakan terdiri dari metoda visual, seismik, geokimia, dan metoda deformasi (EDM dan GPS). Metoda visual dilakukan melalui pengamatan kawah secara langsung. Untuk metoda seismik melalui analisis data gempa analog dan digital untuk mengetahui

aktivitas kegempaan di bawah tubuh Gunung Tangkubanparahu. Alat seismik terdiri dari 4 unit seismometer L-4C, 1 unit seismograf PS-2, dan 1 unit komputer sebagai rekorder gempa digital. Data gempa analog ditelemetrikan dari stasiun seismik Ratu (RTU) ke Pos Pengamatan Gunung TangkubanParahu menggunakan gelombang radio sistem RTS (*Radio Telemetry System*). Sedangkan data digital ditransmisikan secara *realtime* dari stasiun seismik Ratu (RTU), Ciater (CTR), Tower (TOW), dan Putri (PTR) ke Pos Pengamatan yang sama. Kemudian digunakan *software* GAD untuk menghitung posisi episenter dan hiposenter gempa vulkanik (Gambar 2).



Gambar 1. Peta lokasi GunungTangkubanparahu, Jawa Barat.



Gambar 2. Lokasi stasiun seismik RTU, TOW, CTR, dan PTR, serta titik benchmark UPAS, LRNG, PARK, DPR7, dan DMAS untuk EDM dan GPS di Gunung Tangkubanparahu.

Metoda geokimia terdiri atas metoda *gas remote sensing* dengan alat DOAS (*Differential Optical Absorption Spectrometer*) tipe USB 2000. Metoda DOAS untuk pengukuran fluks gas  $\text{SO}_2$  dalam asap solfatara Kawah Ratu. Pengukuran suhu tanah di sekitar solfatara Kawah Ratu dilakukan *realtime* dengan pengiriman data ke Pos Pengamatan Gunung Tangkubanparahu secara TLR (Telemetry Laju Rendah). Sensor suhu sebanyak 3 buah ditanam pada kedalaman sekitar 1 meter di bawah permukaan tanah pada jarak yang berbeda dari solfatara.

Selain itu dilakukan juga pengukuran suhu dan keasaman (pH) untuk mengetahui perubahan suhu dan pH air kawah. Lalu dilakukan pengambilan sampel air dan analisis di laboratorium dengan Kromatograf Ion (*Ion Chromatograph*) Dionex ICS-900 untuk memperoleh data-data unsur kimia air dan melihat

perubahan komposisi/rasio unsur kimia yang terjadi dalam air kawah.

Metoda deformasi EDM didasarkan data pengukuran jarak miring (*slope*) antara dua titik. Perubahan jarak (memendek atau memanjang) menjadi indikasi adanya deformasi pada tubuh gunung api. Metoda EDM ini menggunakan 1 unit Leica TS 06 dengan reflektor triple prisma. Metoda deformasi GPS didasarkan pada besar perubahan vektor suatu titik pantau, alat yang digunakan berupa 3 unit *GPS Leica*.

## HASIL DAN ANALISIS

### Visual

Peningkatan kegiatan secara visual hanya teramati di Kawah Ratu Gunung Tangkubanparahu, sedangkan di Kawah Upas, Kawah

Domas, maupun kawah-kawah lainnya tidak terjadi peningkatan. Prekursor peningkatan kegiatan pada Agustus 2012 terlihat melalui perbedaan tinggi asap solfatara Kawah Ratu jika dibandingkan dengan hasil pengamatan pada Agustus 2011, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Secara kualitatif pada 24 Agustus 2012, asap solfatara Kawah Ratu berwarna putih lebih tebal dan suara blazer serta tekanan emisi gas terdengar dan terlihat lebih kuat. Secara kuantitatif, hembusan asap solfatara Kawah Ratu terlihat lebih tinggi. Pada status normal (Agustus 2011 - Juli 2012), tinggi asap solfatara biasanya antara 20 – 50 m di atas dasar kawah (Pos Pengamatan Gunung Api Tangkubanparahu, 2011, 2012). Sedangkan pada 24 Agustus 2012 (status waspada) asap solfatara terlihat lebih tinggi antara 50 – 100 m dari dasar kawah.

### Seismik

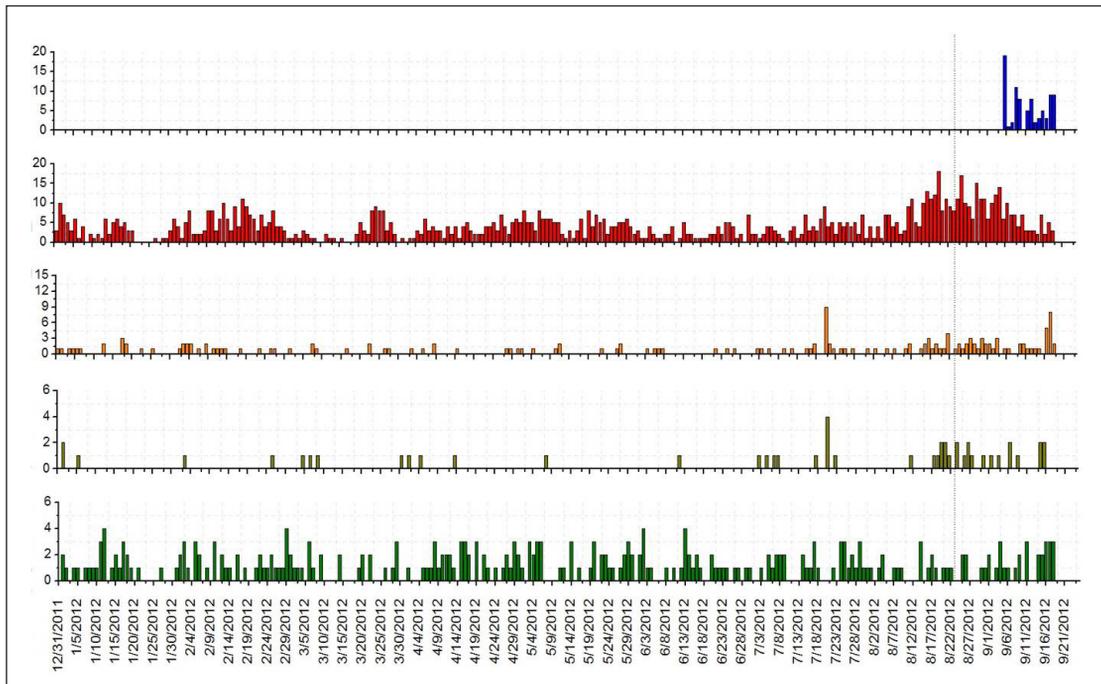
Dalam kondisi normal, kegempaan Gunung Tangkubanparahu didominasi oleh gempa vulkanik dangkal (VB) sekitar 5 kejadian per hari, gempa vulkanik dalam (VA) kurang dari 1 ke-

jadian per hari, sedangkan gempa hembusan tidak terekam. Berdasarkan analisis data analog dari stasiun Ratu (RTU) dan data digital dari stasiun Ratu (RTU), Ciater (CTR) dan Tower (TOW), prekursor peningkatan kegempaan Gunung Tangkubanparahu yang cukup signifikan terlihat sejak 12 Agustus 2012 yang ditandai oleh semakin meningkatnya jumlah harian gempa VB maupun VA. Pada interval waktu 12 – 20 Agustus 2012, gempa VB meningkat secara fluktuatif dari 9 kejadian per hari menjadi 18 kejadian per hari (Gambar 4).

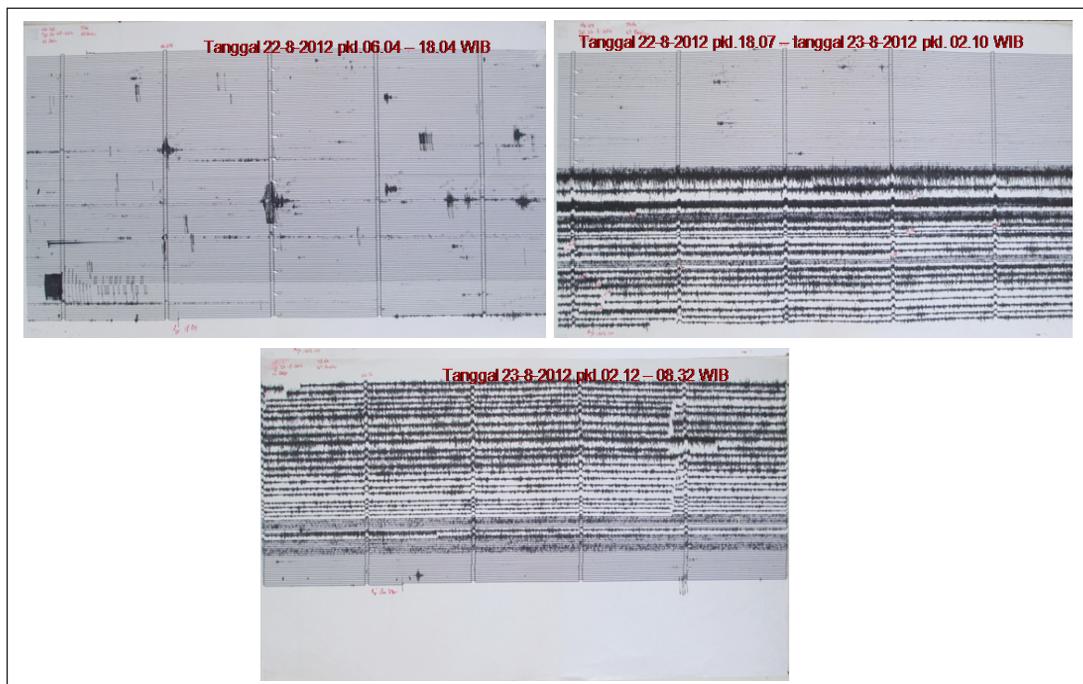
Peningkatan terus berlanjut hingga terjadi tremor menerus selama hampir 5 jam dengan amplituda 5 – 20 mm pada 22 Agustus 2012 pukul 23.15 WIB hingga 23 Agustus 2012 pukul 04.00 WIB (Gambar 5). Kejadian tremor ini dapat terekam baik secara analog maupun digital. Spektrogram digital berjalan (*running digital spectrogram*) menunjukkan kandungan frekuensi tremor relatif sama pada kisaran 4 – 7 Hz (Gambar 6). Kejadian tremor menerus tersebut menjadi dasar utama menaikkan status



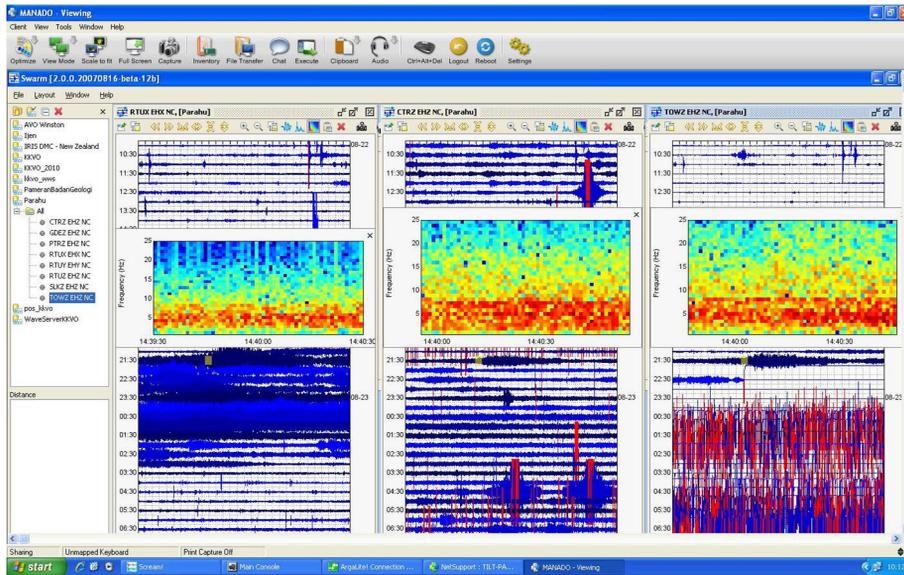
Gambar 3. Visual perbedaan tinggi asap solfatara Kawah Ratu, pada 18 Agustus 2011 (kiri) terlihat tinggi asap solfatara sekitar 20 meter dari dasar kawah sedangkan pada 24 Agustus 2012 (kanan) tinggi asap sekitar 100 m dari dasar kawah (Foto kiri: Sofyan Primulyana, Agustus 2011; Foto kanan: Ugan B. Saing, Agustus 2012).



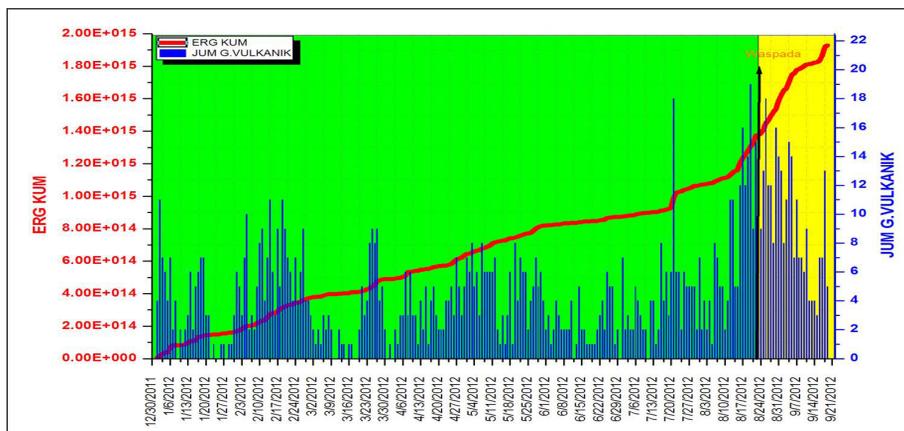
Gambar 4. Gempa harian Gunung Tangkubanparahu dari 1 Januari – 19 September 2012.



Gambar 5. Rekaman seismograf analog yang memperlihatkan kegempaan sebelum dan saat terjadi tremor menerus pada 22 – 23 Agustus 2012.



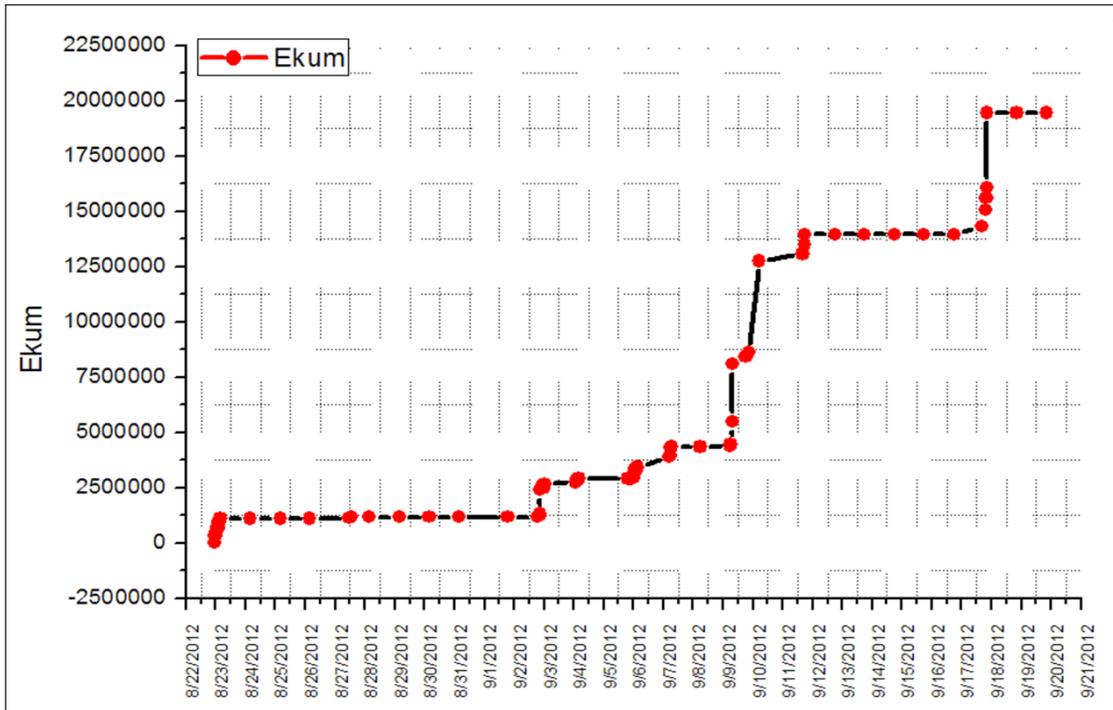
Gambar 6. Spektrogram yang memperlihatkan rekaman digital tremor menerus dari stasiun seismik Ratu (RTU), Ciater (CTR) dan Tower (TOW) pada 22 Agustus 2012.



Gambar 7. Perbandingan energi kumulatif vulkanik dan jumlah gempa vulkanik Gunung Tangkubanparahu dari 1 Januari – 19 September 2012.

Gunung Tangkubanparahu dari Normal (Level 1) menjadi Waspada (Level 2) pada 23 Agustus 2012 pukul 23.00 WIB. Pada interval 15 Agustus – 18 September 2012 terlihat gempa VA lebih sering terekam dan gempa tektonik lokal (TL) juga terlihat sedikit meningkat. Gempa hembusan mulai terekam sejak 6 September 2012. Gradien (*slope*) peningkatan

energi kumulatif gempa vulkanik terlihat cukup tajam menjelang dan setelah kejadian tremor menerus. *Slope* energi kumulatif melandai dari 4 – 16 September, meningkat tajam 17 – 18 September, dan mulai melandai kembali dari 19 September 2012 (Gambar 7). Energi kumulatif tremor juga mulai melandai dari 18 September 2012 (Gambar 8).



Gambar 8. kumulatif tremor GunungTangkubanparahu dari 22 Agustus – 19 September 2012.

Hasil *plotting* episenter dan hiposenter gempa menggunakan *software* GAD dengan model kecepatan 2 layer dengan data dari 4 stasiun seismik Ratu (RTU), Ciater (CTR), Tower (TOW), dan Putri (PTR) diketahui sumber gempa vulkanik dominan berada di bawah Kawah Ratu (Gambar 9). Pada Agustus 2012 terekam gempa-gempa vulkanik dari kedalaman 0,5 – 9 km (dominan 3 – 5 km) di bawah Kawah Ratu. Sumber gempa vulkanik dominan semakin dangkal pada September 2012, yaitu dari kedalaman 0,5 – 8 km (dominan 0,5 – 4 km) di bawah Kawah Ratu. Sedangkan magnituda gempa vulkanik tampak memiliki kecenderungan semakin mengecil dari Agustus – September 2012 (Gambar 10).

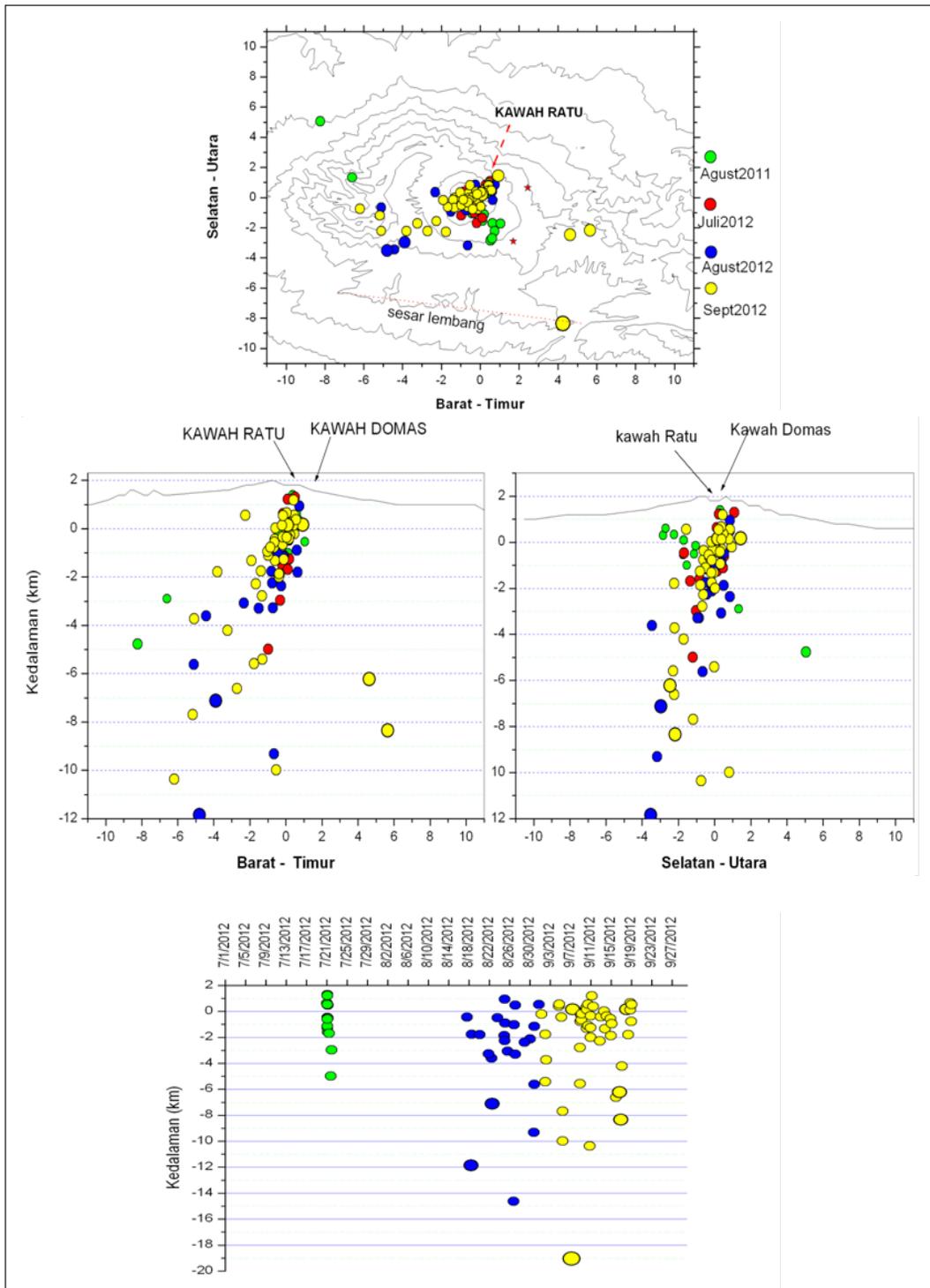
Sebagai pembandingan, pada Agustus 2011 terekam beberapa *swarm* gempa vulkanik yang berlokasi di sekitar dan sebelah tenggara Kawah

Ratu dengan kedalaman 0,6 – 3 km di bawah Kawah Ratu. Terekam juga gempa-gempa yang berpusat di luar Gunung Tangkubanparahu (di bagian barat-barat laut) dengan kedalaman 3 – 5 km dpl. Pada Juli 2012 terekam gempa-gempa vulkanik dengan sebaran sumber gempa yang relatif sama dengan *swarm* gempa vulkanik Agustus 2011. Gempa Juli 2012 terdistribusi di sekitar Kawah Ratu dengan kedalaman 0,5 – 4 km di bawah Kawah Ratu.

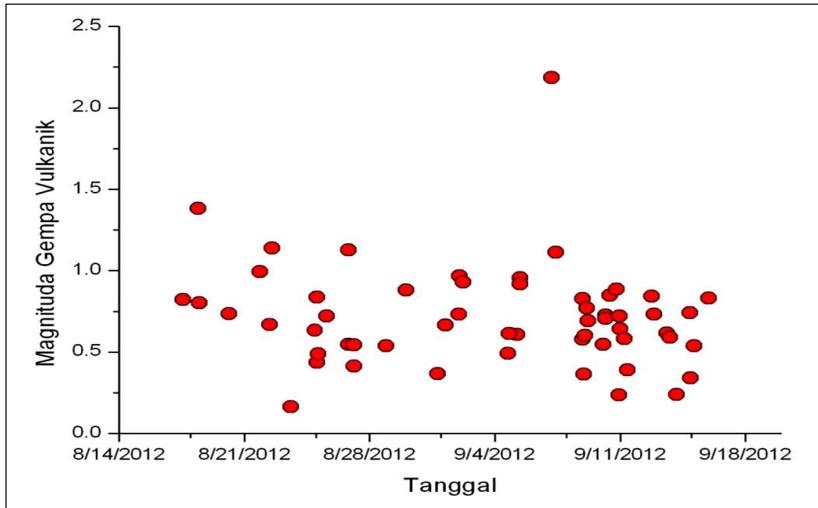
## Geokimia

### *Subu Solfatarata dan Subu Tanah*

Berdasarkan hasil pengukuran manual dengan Termokopel (*Thermocouple*), suhu solfatarata 1 Kawah Ratu mengalami peningkatan dari 108,8°C pada 18 Agustus 2011 menjadi 115,1°C pada 24 Agustus 2012 dan 130,9°C pada 11



Gambar 9. Plot episenter dan hiposenter gempa vulkanik Gunung Tangkubanparahu pada Agustus 2011 dan Juli – 19 September 2012.



Gambar 10. Plot magnituda gempa vulkanik GunungTangkubanparahu, Agustus – September 2012.

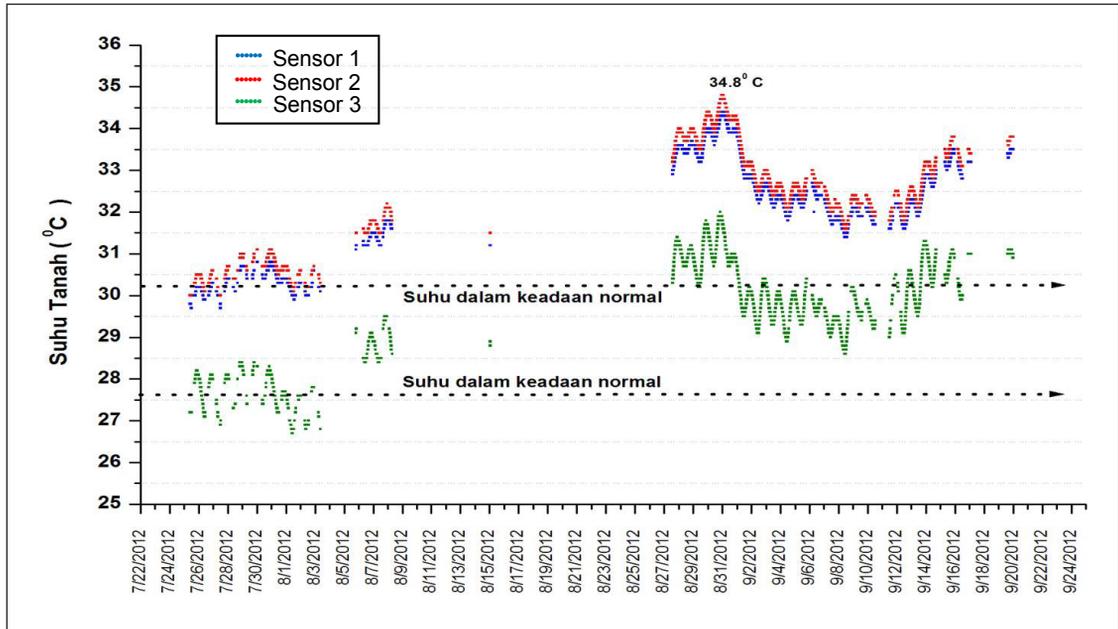
September 2012, demikian juga dengan suhu solfatara 2 Kawah Ratu meningkat dari 106,3° C pada 18 Agustus 2011 menjadi 246,0° C pada 24 Agustus 2012 dan 286,0° C pada 11 September 2012. Tetapi pada 19 September 2012, suhu solfatara Kawah Ratu sudah menurun kembali menjadi 108,0° C (solfatara 1) dan 97,6° C (solfatara 2). Untuk Kawah Domas, suhu solfataranya relatif tidak ada perubahan yang signifikan. Suhu solfatara Kawah Domas berkisar antara 91,2 – 94,0° C dari 18 Agustus 2011 hingga 19 September 2012. Suhu tanah di sekitar solfatara Kawah Ratu terekam meningkat dari 30° C pada 25 Juli 2012 menjadi 34,8° C pada 31 Agustus 2012 (sensor 2). Kemudian menurun secara fluktuatif hingga 8 September 2012, cenderung naik hingga 15 September 2012, dan selanjutnya menurun hingga 19 September 2012. Sensor suhu tanah yang lainnya, yaitu sensor 1 dan 3 mengikuti pola yang sama dengan sensor 2 meskipun besar suhu tanah yang terukur berbeda karena pengaruh perbedaan jarak sensor dengan solfatara (Gambar 11)

#### ***Fluks SO<sub>2</sub> Solfatara Kawah Ratu***

Berdasarkan data dari dua kali pengukuran, fluks gas SO<sub>2</sub> dalam asap solfatara Kawah Ratu mengalami peningkatan. Pengukuran 24 Agustus 2012 dari dasar kawah dengan jarak sekitar 150 meter dari titik solfatara secara *walking traverses* terukur sebesar 0,15 ton/hari. Pengukuran kedua pada 6 September 2012 dari parkir/bibir kawah (300 meter dari solfatara) secara *car traverses* terukur sebesar 1,85 ton/hari (Tabel 1). Ini mengindikasikan adanya peningkatan fluks SO<sub>2</sub> sebesar 12 kali lipat.

#### ***Komposisi Kimia Air***

Berdasarkan data rasio Cl/SO<sub>4</sub>, Kawah Ratu mengalami peningkatan aktivitas, rasio Cl/SO<sub>4</sub> dari 0,11 (Desember 2011) menjadi 3,98 (24 Agustus 2012). Kemudian rasio menurun menjadi 3,52 pada 11 September 2012 (Gambar 12). Sedangkan Kawah Domas tidak mengalami peningkatan rasio Cl/SO<sub>4</sub>.



Gambar 11. Suhu tanah Kawah Ratu dari 25 Juli – 19 September 2012.

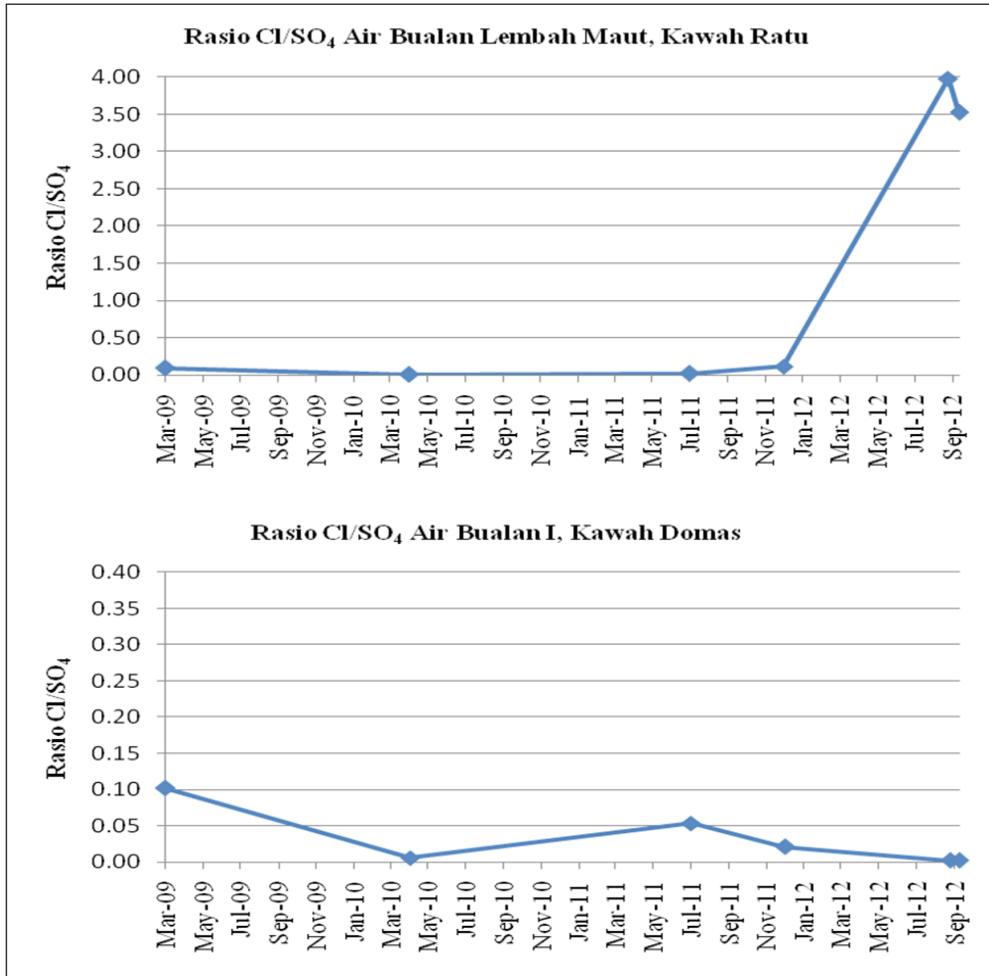
Tabel 1. Data Pengukuran Fluks SO<sub>2</sub> Solfatara Kawah Ratu Tiap *Traverses*

Jumlah <i>Traverses</i>	24 Agustus	6 September
	2012	2012
	Fluks SO <sub>2</sub>	Fluks SO <sub>2</sub>
Traverse 1	0.07	2.58
Traverse 2	0.13	2.01
Traverse 3	0.13	2.49
Traverse 4	0.20	0.99
Traverse 5	0.10	1.81
Traverse 6	0.23	2.41
Traverse 7	0.10	1.61
Traverse 8	0.04	0.93
Traverse 9	0.08	-
Traverse 10	0.39	-
Rata-rata	0.15 ton/hari	1.85 ton/hari

### Deformasi EDM dan GPS

Pengukuran jarak miring dilakukan dari titik tetap/referensi yang berada di Parkiran (PARK) terhadap dua titik pantau/reflektor yang terpasang di Lereng (LRNG) dan Upas (UPAS) (Tabel 2). Ketiga titik PARK, LRNG, maupun UPAS terdapat di bibir Kawah Ratu seperti diperlihatkan pada Gambar 2.

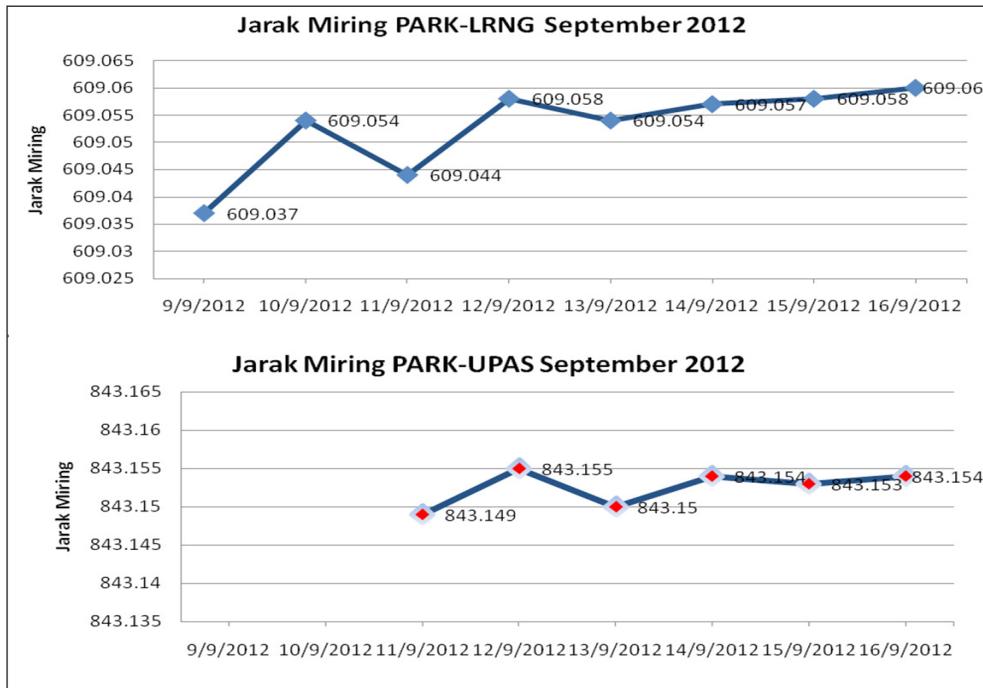
Hasil pengukuran jarak miring PARK – LRNG dari 9 – 12 September 2012 mengalami pemanjangan dengan *slope* yang cukup tajam, sedangkan dari 12 – 16 September 2012 *slope* perubahan jarak miring relatif melandai dan stabil. Total pemanjangan jarak miring PARK – LRNG dari 9 – 16 September 2012 adalah sebesar 2,30 cm. Sedangkan jarak miring PARK – UPAS hanya mengalami pemanjangan 0,50 cm dari 11 – 16 September 2012 (Gambar 13). Jika dibandingkan dengan data pengukuran Juni 2000 (Zaennudin, dr, 2007) maka pada



Gambar 12. Rasio Cl/SO<sub>4</sub> Air Bualan Lembah Maut, Kawah Ratu (atas) dan Air Bualan I, Kawah Domas (bawah) dari Maret 2009 – September 2012 (Laboratorium PVMBG, 2012).

Tabel 2. Koordinat *benchmark* EDM dan GPS Gunung Tangkubanparahu

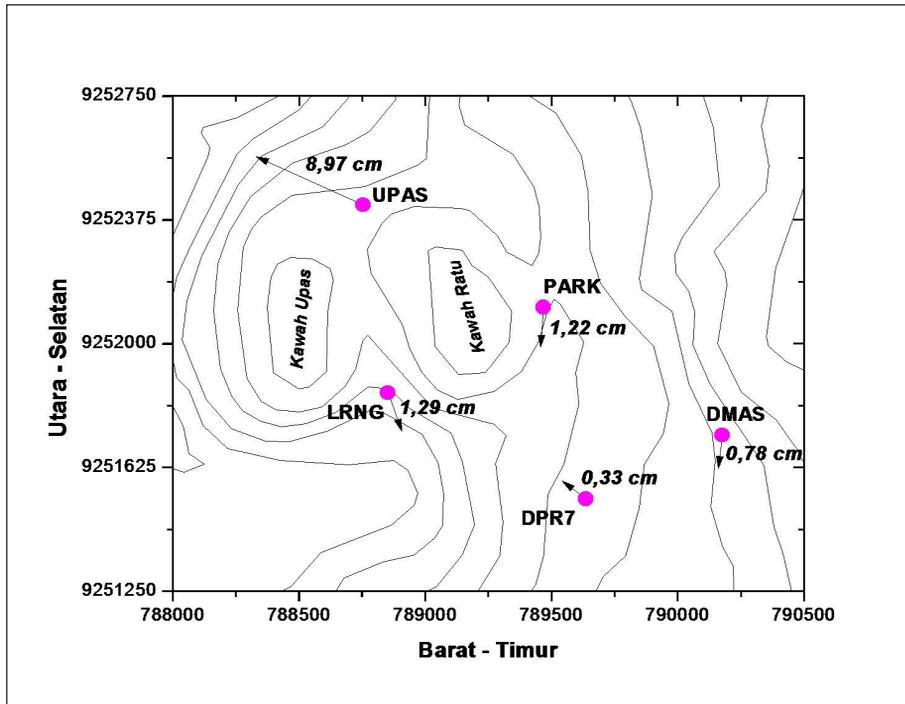
Kode Patok/ <i>Benchmark</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	Elevasi (m)
UPAS	06045'22.6" LS	107036'43.5" BT	1871
LRNG	06045'41.1" LS	107036'46.9" BT	1988
PARK	06045'32.5" LS	107037'06.8" BT	1850
DMAS	06045'45.0" LS	107037'30.0" BT	1708
DPR7	06045'51.4" LS	107037'12.4" BT	1797



Gambar 14. Jarak miring EDM antara PARK – LRNG dan PARK – UPAS dari Juni 2000 – September 2012.

Tabel 3. Koordinat Grid Titik GPS Gunung Tangkubanparahu Tahun 2012

AGUSTUS 2012				
Nama Titik	Waktu	<i>Easting</i> (UTM)	<i>Northing</i> (UTM)	Elevasi (m)
TNKP	8/25/2012 6:59	791114.2776	9250581.394	1567.8005
DMAS	8/25/2012 6:59	790177.1158	9251722.657	1708.1353
DPR7	8/24/2012 19:33	789636.7705	9251529.167	1796.7746
PARK	8/24/2012 19:53	789468.1509	9252110.226	1850.0379
LRNG	8/25/2012 7:12	788852.5552	9251851.021	1987.4928
UPAS	8/25/2012 6:59	788753.8071	9252420.209	1871.0072
SEPTEMBER 2012				
TNKP	9/12/2012 6:59	791114.2776	9250581.394	1567.8005
DMAS	9/10/2012 9:21	790177.1146	9251722.650	1708.1237
DPR7	9/12/2012 10:16	789636.7674	9251529.168	1796.7656
PARK	9/9/2012 9:35	789468.1499	9252110.213	1849.9920
LRNG	9/11/2012 9:18	788852.5606	9251851.009	1987.7413
UPAS	9/9/2012 10:21	788753.7222	9252420.238	1871.1254



Gambar 15. Perubahan posisi GPS September 2012 relatif terhadap Agustus 2012.

September 2012 ini terjadi pemanjangan jarak miring PARK – LRNG sebesar 19,40 cm dan PARK – UPAS sebesar 15,30 cm (Gambar 14). Perbandingan hasil pengukuran GPS antara Agustus 2012 dengan September 2012 menghasilkan perubahan nilai vektor horizontal pada beberapa titik yang ada di sekitar Kawah Ratu. Perubahan nilai vektor horizontal tersebut sebesar 1,22 – 8,97 cm dengan arah vektor dominan keluar dari Kawah Ratu seperti diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 15.

## PEMBAHASAN

Berdasarkan data pengamatan baik visual, seismik, geokimia, dan deformasi, peningkatan aktivitas Gunung Tangkubanparahu khususnya Kawah Ratu hanya berlangsung dalam waktu relatif singkat, yaitu Agustus – September 2012.

Visual asap solfatara Kawah Ratu tidak semakin tinggi lagi. Dalam interval waktu tersebut tinggi asap solfatara maksimum hanya sekitar 100 meter dari dasar kawah dan memiliki kecenderungan menurun secara fluktuatif.

Akumulasi energi kumulatif gempa vulkanik sudah terlepas yang tercermin dari terekamnya gempa-gempa hembusan sejak 6 September 2012 dan penurunan jumlah gempa hembusan menjadi indikasi akumulasi energi semakin mengecil. Tremor terekam terakhir pada 17 September 2012. Laju energi kumulatif gempa vulkanik secara umum menurun, termasuk juga energi kumulatif tremor cenderung menurun sejak 12 September 2012 dan mendatar sejak 18 September 2012.

Hasil perhitungan episenter gempa vulkanik dalam (VA) dan gempa vulkanik dangkal (VB)

menunjukkan sumber gempa terletak di sekitar Kawah Ratu dan sebelah barat Gunung Tangkubanparahu (membentuk kelurusan barat laut – tenggara). Rekaman seismik hingga 15 September 2012 umumnya didominasi oleh gempa pada kedalaman sekitar 0,5 – 4 km di bawah Kawah Ratu. Dari perhitungan hiposenter, sumber tekanan (aseismik) diperkirakan berada pada kedalaman sekitar 6 – 8 km di bawah puncak Gunung Tangkubanparahu. Magnituda gempa vulkanik dangkal dan vulkanik dalam umumnya masih berada di bawah 1 dengan kecenderungan menurun sehingga diperkirakan energi gempa yang dihasilkan tidak akan menghasilkan erupsi eksplosif.

Secara kimia, keterdapatannya ion  $\text{Cl}$  dan  $\text{SO}_4$  dalam air merupakan indikasi adanya suplai gas/fluida  $\text{HCl}$  dan  $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$  ke dalam air kawah. Urutan kelarutan gas magmatik dalam air adalah  $\text{HCl} > \text{SO}_2 > \text{CO}_2$ . Sulfat, klorida, dan fluorida merupakan komponen-komponen konservatif yang tidak dipengaruhi oleh air tanah netral dan endapan mineral. Komponen-komponen itu berasal dari fluida magmatik. Sifat dasar konservatif dari sulfat, klorida, dan fluorida diindikasikan oleh fakta bahwa konsentrasi mereka jauh lebih tinggi dalam fluida magmatik origin daripada dalam air tanah meteorik. Konsentrasi anion tersebut dapat diabaikan dalam air tanah dan interaksi air-batuan tidak dapat mengubah rasio anion ( $\text{SO}_4/\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4/\text{F}$ ). Oleh karena itu perbedaan rasio volatile  $\text{SO}_4/\text{Cl}$  dan  $\text{SO}_4/\text{F}$  akan merefleksikan perbedaan fluida magmatik sumber yang terbagi antara spesies liquid dan uap (Giggenbach, 1974).

Rasio  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  air bualan Kawah Ratu pada 11 September 2012 sudah memperlihatkan penurunan meskipun kecil yang dapat diinterpretasi-

sikan suplai fluida dari kedalaman juga mengalami penurunan. Fluks  $\text{SO}_2$  solfatara Kawah Ratu yang terukur tergolong sangat kecil maka gas  $\text{SO}_2$  sudah larut dalam air dekat permukaan atau mengalami kondensasi sehingga asap solfatara menjadi lebih didominasi uap air. Dan oleh karena itu saat ini kecil kemungkinannya untuk meletus secara eksplosif.

Berdasarkan data konsentrasi  $\text{Cl}$  dan  $\text{SO}_4$  Kawah Ratu, saat ini terjadi peningkatan konsentrasi  $\text{Cl}$  sangat besar sementara konsentrasi  $\text{SO}_4$  justru sedikit menurun jika dibandingkan dengan Desember 2011. Konsentrasi  $\text{F}$  juga meningkat jauh lebih tinggi dibandingkan April 2008. Tingginya konsentrasi  $\text{Cl}$  dan  $\text{F}$  Air Kawah Ratu, pH dan suhu solfatara merupakan indikasi adanya kondensasi gas/uap magmatik ke dalam air tanah di kedalaman dekat permukaan (fluida hidrotermal) dan fluida tersebut kemudian keluar/lepas ke permukaan melalui rekahan Kawah Ratu. Rekahan terbentuk akibat akumulasi tekanan gas/uap (dominan uap air) yang sangat kuat di bawah permukaan yang melebihi daya tahan dari lapisan permukaan tanah di atasnya. Akumulasi gas/uap ini dapat terbentuk akibat sentuhan secara langsung atau tidak langsung lapisan air dengan magma. Oleh karena itu peningkatan aktivitas Kawah Ratu lebih disebabkan oleh aktivitas hidrotermal daripada magmatik secara langsung. Jika peningkatan aktivitas bersifat magmatik maka selain peningkatan  $\text{Cl}$  yang sangat drastis, konsentrasi sulfat ( $\text{SO}_4$ ) juga akan meningkat tinggi sebagai konsekuensi pelepasan (degassing)  $\text{SO}_2$  dari magma.

Deformasi GPS menunjukkan perubahan nilai vektor horizontal dengan arah vektor dominan keluar dari Kawah Ratu. Perubahan vektor ini

mengindikasikan adanya pemekaran (inflasi) Kawah Ratu dari Agustus 2012 hingga September 2012 sekitar 1 – 9 cm. Dan dari hasil pengukuran EDM dari 9 – 16 September 2012 terjadi inflasi Kawah Ratu sekitar 2 cm.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa:

- Data visual, seismik, geokimia, dan deformasi umumnya memperlihatkan ada peningkatan aktivitas Gunung Tangkubanparahu pada medio Agustus hingga medio September 2012, lalu cenderung menurun kembali menuju kondisi normal.
- Prekursor peningkatan aktivitas Gunung Tangkubanparahu secara umum tergolong kecil. Magnituda gempa vulkanik kurang dari 1. Rasio  $Cl/SO_4$  dan fluks  $SO_2$  solfatara Kawah Ratu juga tergolong sangat kecil dengan dominasi uap air. Inflasi Kawah Ratu berdasarkan deformasi EDM dan GPS sekitar 0,5 – 9 cm. Oleh karena itu peningkatan aktivitas Kawah Ratu Gunung Tangkubanparahu saat ini lebih disebabkan aktivitas hidrotermal berupa *degassing* daripada magmatik secara langsung.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada Bapak M. Hendrasto dan Bapak Kristianto yang telah meng-

izinkan penulis melakukan penelitian aktivitas vulkanik Gunung Tangkubanparahu. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada pengamat gunung api, yaitu saudara Ade, Ilham, dan Aziz, serta pihak-pihak lain yang telah membantu tersusunnya tulisan ini.

## ACUAN

- Giggenbach, W.F., 1974, The chemistry of crater lake, Mt. Ruapehu (New Zealand) during and after the 1971 active period, *New Zealand Journal of Science* 17, 33-45.
- Kusumadinata, K., 1979, *Data Dasar Gunung Api Indonesia*. Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- Laboratorium PVMBG, 2012, *Data Hasil Analisa Air Gunung Tangkubanparahu Tahun 2007-2012*. Yogyakarta dan Bandung.
- Pos Pengamatan Gunung Api Tangkubanparahu, 2011, *Laporan Bulanan Gunung Tangkubanparahu*. PVMBG, Bandung.
- Pos Pengamatan Gunung Api Tangkubanparahu, 2012, *Laporan Bulanan Gunung Tangkubanparahu*. PVMBG, Bandung.
- Saing, U.B., Suganda, dan O.K., Mulyana, I., 2012, *Laporan Tanggap Darurat Letusan Gunung Api Tangkubanparahu, Jawa Barat*. PVMBG, Bandung.
- Zaennudin, A., Hendrasto, M., dan Sulaeman, C., 2007, *Laporan Peringatan Dini Bahaya Gunung Api Tangkubanparahu, Jawa Barat*. PVMBG, Bandung.