

Indikasi munculnya Kubah Lava berdasarkan Rekaman Seismik

S.R. WITTIRI

Badan Geologi, Jl. Diponegoro No. 57, Bandung

SARI

Dalam dua dasawarsa terakhir ada enam gunung api yang meletus dan berakhir dengan terbentuknya sumbat lava berupa kubah lava yang menutupi kawah. Dari keenam gunung api tersebut, tiga di antaranya sebelum letusan merupakan gunung api yang berdanau kawah.

Munculnya sumbat lava pada gunung api berkomposisi magma intermedier (pertengahan), seperti pada umumnya gunung api di Indonesia, sesungguhnya merupakan suatu fenomena yang sangat lazim.

Suatu fakta yang menarik adalah terlihatnya gejala seismik yang sangat khas menjelang naiknya magma menerobos batuan penutup di semua gunung api tersebut. Gejala itu berupa kesamaan bentuk rekaman gempa (*seismic signature*). Kenyataan tersebut menunjukkan bahwa terjadinya mekanisme perekahan menjelang terkuaknya batuan penutup mempunyai sifat fisik yang relatif sama.

Kata kunci: kubah lava, danau kawah, magma intermedier

ABSTRACT

In the last two decades, there are six volcanoes erupting and are ended up with the growth of lava dome at the crater. Among them, formerly there are three volcanoes that have crater lakes.

For the intermediate magma, like most Indonesian volcanoes, the lava dome formation is a usual phenomenon.

The interesting symptom is indicated by the seismic waves. They are supposed to relate to the magma breakthrough into the surface. The seismic phenomena of those volcanoes have a similarity, which can be estimated that the mechanism of rock fracturing is relatively similar.

Keywords: lava dome, crater lake, intermediate magma

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gunung api Indonesia dikenal mempunyai kandungan magma intermedier atau pada komposisi pertengahan dengan kandungan silika (SiO_2) antara 47 – 56 %. Batuan yang dikenal sebagai andesit tersebut mempunyai dua karakteristik, yaitu apabila kandungan silikanya terlalu rendah (cenderung bersifat basa), maka kekentalan magmanya agak encer dan akan menghasilkan letusan yang efusif (leleran) karena kandungan gasnya relatif rendah. Tetapi apabila bersifat asam dengan silika tinggi (> 54 %), maka cenderung eksplosif karena magmanya kental

dengan kandungan gas yang relatif tinggi. Kondisi yang pertama di atas sangat berpeluang menghasilkan leleran lava, atau lidah lava, sedangkan pada kondisi yang kedua cenderung dapat membentuk kubah lava.

Secara logika magma jenis terakhir tersebut membutuhkan energi yang besar untuk menerobos batuan penutup atau tudung hingga ke permukaan. Sebelum magma muncul ke permukaan akan menekan batuan penutup, dan tubuh gunung akan menggelembung dan menyebabkan deformasi. Apabila batas elastisitas batuan sudah terlampaui, maka pada saat yang sama akan terjadi perekahan dan pelepasan energi yang kemudian terekam sebagai

gempa bumi. Deformasi pada tubuh gunung api akan berangsur-angsur kembali normal bersamaan dengan magma yang mencapai permukaan karena tekanan dari dalam mulai berkurang.

Fenomena tersebut di atas dapat diamati dengan baik dalam proses erupsi Merapi 2006. Sangat disayangkan gejala deformasi serupa pada gunung api lainnya tidak terekam karena pengamatan deformasi belum dilakukan secara berkesinambungan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data pengamatan gempa bumi vulkanik dan data deformasi sebagai pelengkap analisis. Untuk membedakan jenis gempa vulkanik berdasarkan kedalaman, mekanisme, dan intensitasnya perlu dilakukan analisis, antara lain bentuk rekaman gempa (*seismic signature*), periode gelombang (*wave period*), nilai selisih waktu tiba antara gelombang sekunder dan gelombang primer (*S-P time*), dan lama gempa (*duration*) (Malone, 1983; Siswawidjojo, 1989; dan Kulhanek, 1990).

Berdasarkan prinsip tersebut, hampir semua gempa bumi vulkanik (terutama pada gunung api yang mempunyai komposisi magma yang sama) yang mempunyai kesamaan bentuk gempa, kesamaan periode gelombang, dan sebagainya, dapat dikategorikan mempunyai mekanisme dan kedalaman yang sama.

Berangkat dari pemahaman tersebut, metode penentuan awal pada saat lava mulai menerobos batuan penutup gunung api yang kemudian menjadi sumbat lava, dilakukan berdasarkan analisis gempa bumi vulkanik sesuai dengan kesamaan bentuknya, termasuk di dalamnya nilai (S-P) dan durasi gempa.

Hasil pengamatan pada letusan gunung api Merapi (DIY-Jawa Tengah), Kelut (Jawa Timur), Soputan (Sulawesi Utara), Awu (Sulawesi Utara), dan Kie Besi (Halmahera) ditemukan bukti bahwa sebelum lava mencapai permukaan dan kemudian membentuk sumbat lava/kubah lava, terekam gempa dengan indikasi kesamaan bentuk rekaman gempa (*seismic signature*) yang sama antara satu dengan lainnya. Hal tersebut membuktikan bahwa kedalaman dan mekanisme gempa relatif sama selama bentuk rekamannya sama.

LETUSAN GUNUNG API YANG DISERTAI TERBENTUKNYA KUBAH LAVA

Dalam dua dekade terakhir ada enam gunung api yang meletus kemudian menghasilkan kubah lava (*lava dome*) yang menyumbat kawah. Dari keenam gunung api tersebut terdapat tiga gunung api dengan kawah kering dan tiga gunung api yang berdanau kawah.

Gunung Api Dengan Kawah Kering

Gunung Merapi

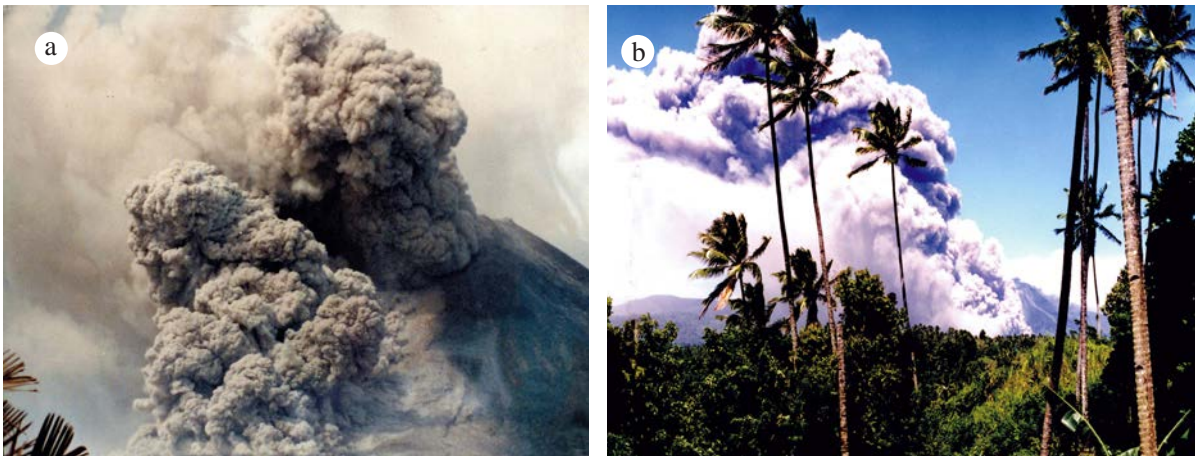
Gunung Merapi menempati wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah pada posisi geografi 7°32,5' Lintang Selatan dan 110°26,5' Bujur Timur (Kusumadinata, 1979). Pembentukan kubah lava di puncak Gunung Merapi menjadi ciri khas karena hampir selalu berlangsung setiap kegiatan letusannya (Wittiri, 2006). Dalam aktivitas menjelang stabilnya kubah akan terjadi guguran lava pijar yang menimbulkan awan panas guguran yang dikenal dengan Letusan Tipe Merapi (Gambar 1).

Gunung Soputan

Gunung api ini berada di lengan utara Sulawesi Utara pada posisi geografi 1°06,5' Lintang Utara dan 124°43' Bujur Timur setinggi 1783,7 m dpl. Di penghujung tahun 1991, Gunung Soputan yang semula mempunyai kawah terbuka dengan volume kosong hampir 30 juta m³ mulai terisi lava. Sepuluh tahun kemudian, pada tahun 2001 seluruh ruang kosong kawah dipenuhi oleh lava hingga membentuk sumbat lava yang menyerupai kubah. Sampai saat ini kubah lava masih terus tumbuh, bahkan lava meluber keluar dari bibir kawah. Setiap akhir musim hujan selalu terjadi letusan yang menghancurkan lava bagian luar akibat desakan uap air (*steam*) yang terbentuk karena air menyentuh massa magma yang masih panas. Pada kejadian tersebut lava yang masih pijar ikut terdorong keluar dan mengakibatkan guguran lava pijar semacam awan panas guguran Tipe Merapi.

Gunung Ibu

Pada awalnya gunung api ini tidak dikenal secara luas, selain karena letaknya di tengah pedalaman Pulau Halmahera (1°29' Lintang Utara



Gambar 1. (a) Awan panas letusan Tipe Merapi di Gunung Merapi tahun 1994 (Foto: Panut, 1994). (b) Letusan Tipe Merapi di Gunung Soputan tahun 2003 (Foto: Wittiri, 2003). Tipe letusan ini menjadi ciri khas pada gunung api dengan kubah lava yang terbentuk di puncak.

dan $127^{\circ} 38'$ Bujur Timur), juga terjadi selisih pendapat para ahli tentang keberadaannya apakah termasuk kategori gunung api Tipe A (gunung api yang pernah meletus sejak tahun 1600 dan masih aktif sampai sekarang) atau Tipe B (gunung api yang mempunyai kawah bekas letusan di masa silam, tetapi tidak ada catatan dalam sejarah pernah meletus sejak tahun 1600 sampai sekarang). Van Padang (1951) menyebutkan bahwa Gunung Ibu pernah meletus dalam tahun 1911, tetapi tidak berlangsung lama. Sejak itu tidak pernah ada kegiatan dan kawahnya ditumbuhi pepohonan lebat hingga lantai kawah.

Setelah 87 tahun hilang dari daftar gunung api giat, di penghujung tahun 1998 Gunung Ibu tiba-tiba menunjukkan aktivitas vulkanik. Pada Desember 1998 terjadi letusan asap dari Kawah Pusat. Pada 16 Januari 1999 mulai terlihat lontaran lava pijar keluar dari bibir kawah. Dari pendakian yang dilakukan pada 2 Februari 1999 diketahui bahwa telah terbentuk sumbat lava di lantai kawah (Wittiri, 2003).

Gunung Api Berdanau Kawah

Gunung Kelut

Gunung api ini yang berdiri di Dataran Kediri, Jawa Timur, memiliki danau kawah, dengan volume air sebanyak 4,5 juta m^3 . Dalam catatan sejarah, letusan Kelut tercatat beberapa kali berakhir dengan terbentuknya kubah lava, antara lain yang diketahui adalah letusan 1376 dan 1920. Beberapa puncak

yang ada di sekitar kawah juga merupakan kubah lava sisa kegiatan masa lalu.

Letusan 1990 meskipun tidak signifikan, tetapi ditengarai membentuk kubah lava di dasar kawah (Pratomo, 2006, informasi lisan). Tiga bulan kemudian kawah kembali berisi air hingga mencapai volume 3,25 juta m^3 .

Pada September 2007, Gunung Kelut giat kembali setelah mengalami masa istirahat selama 16 tahun. Letusan tersebut berakhir dengan terbentuknya kubah lava di dasar kawah, volumenya sebesar 16,3 m^3 .

Gunung Awu

Gunung Awu merupakan puncak tertinggi di Pulau Sangihe, Sulawesi Utara pada posisi geografi $3^{\circ}40'$ Lintang Utara dan $125^{\circ} 30'$ Bujur Timur, yang mencapai tinggi 1220 m dpl. dan merupakan gunung api yang berdanau kawah.

Pembentukan kubah lava di dasar kawah merupakan kegiatan yang sering terjadi. Letusan Februari 1931 berakhir dengan terbentuknya kubah lava setinggi 80 m. Kubah tersebut hancur pada letusan Agustus 1966 dan kawahnya kembali terisi air membentuk danau dengan volume air sebesar 3,5 juta m^3 (pengukuran tahun 1984).

Pada 6 Juni 2004 terjadi letusan dan berakhir dengan terbentuknya kubah lava di dasar kawah (Wittiri, 2004). Volume kubah sebesar 3 juta m^3 , sedikit lebih kecil dibanding dengan volume air danau sebelumnya.

Gunung Kie Besi

Gunung api ini membentuk Pulau Makian yang terletak di barat daya Pulau Halmahera pada posisi geografi 0°19' Lintang Utara dan 127°24' Bujur Timur, serta memiliki kawah berukuran 550 x 400 m. Kawah tersebut terbagi dua, satu bagian berupa lapangan pasir dan sisi lainnya digenangi air (danau) dengan volume 375 m³.

Letusan terakhir berlangsung pada 17 Juli 1988 setelah mengalami masa istirahat selama 96 tahun lamanya. Letusan tersebut berakhir dengan terbentuknya kubah lava di dasar kawah (Wimpi dan Wittiri, 1996).

Seismograf merekam gejala munculnya lava di permukaan pada 3 Agustus 1988. Secara visual sinar api mulai terlihat pada 6 Agustus 1988, yang menandakan bahwa lava sudah mencapai permukaan. Pendakian pada 30 September 1988 membuktikan bahwa kubah sudah terbentuk di dasar kawah dengan volumenya sebesar 282.600 m³.

DISKUSI

Dalam rentang waktu yang cukup panjang, antara tahun 1983 hingga 2007, ada enam gunung api yang meletus dan berakhir dengan terbentuknya kubah lava di dasar kawah. Keenam gunung api tersebut masing-masing Kie Besi (1983), Sopotan (1991), Ibu (1999), Awu (2004), Merapi, dan Kelut (2007). Khusus Gunung Merapi, pembentukan kubah selalu terjadi setiap kegiatannya, misalnya letusan 1989, 1994, 1997, 2001, dan letusan 2006. Dalam penelitian ini percontoh gempa yang dianalisis hanya letusan 2006, sedangkan gunung api yang lain gempanya dianalisis dari setiap kegiatan yang sedang berlangsung.

Gejala yang menarik adalah rekaman kejadian gempa yang diduga bersamaan dengan terkuaknya batuan penutup oleh desakan magma yang akhirnya menghasilkan kubah lava, dan mempunyai kesamaan bentuk rekaman gempa (*seismic signature*) antara satu gunung api dengan gunung lainnya. Gempa yang mempunyai kesamaan bentuk dapat terjadi karena mekanisme dan kedalaman yang relatif sama yang dinamakan *earthquake family* (Okada, 1983).

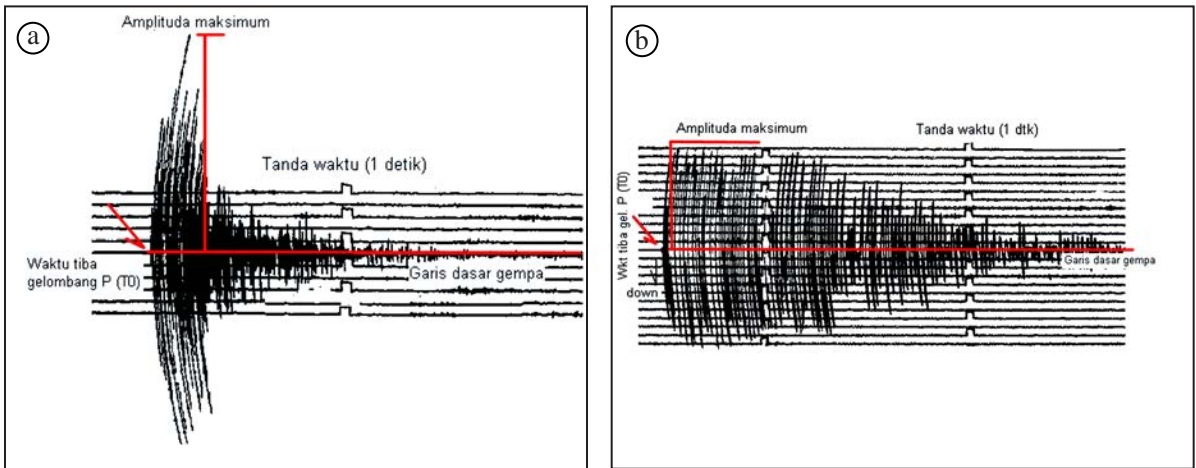
Indikasi munculnya sumbat berupa kubah lava dapat diamati dengan menganalisis gempa hasil

rekaman seismograf. Gempa tersebut mempunyai gerakan awal yang mendadak (*suddenly*) dan tegas diikuti oleh amplitudo maksimum. Beberapa saat kemudian mengecil secara mendadak pula.

Ketika berlangsung akumulasi energi yang disebabkan oleh proses migrasi magma, terjadi peningkatan tekanan. Pada saat batas elastisitas sudah terlampaui, serta-merta energi terlepas bersamaan dengan terjadinya perekahan (*cracking*) pada batuan. Pada proses perekahan tersebut magma terdorong dan menyebabkan terjadinya retakan yang makin melebar. Pada rekaman gempa tercatat gerakan awal yang muncul mendadak disusul oleh amplitudo maksimum yang berlangsung hampir selama gempa berlangsung. Gelombang primer mendadak membesar tanpa diikuti oleh gelombang sekunder. Indikasi tersebut menandakan bahwa sumber gempa sangat dangkal dan disertai pelepasan energi yang singkat dan sesaat. Seringkali diamati gempa semacam itu muncul tidak sebagai kejadian tunggal, tetapi secara berkelompok (*swarm*) karena lava memerlukan jalan keluar yang lebih besar, sehingga terjadi peretakan batuan secara beruntun. Pada hakekatnya, berdasarkan klasifikasi Minakami (1960), gempa tersebut serupa tetapi tidak sama dengan gempa vulkanik Tipe B (vulkanik-dangkal). Untuk membedakannya penulis menyebutnya "gempa vulkanik Tipe B Plus". Perbedaan antara keduanya adalah amplitudo maksimum gempa vulkanik Tipe B mendadak besar kemudian langsung mengecil, sedangkan pada gempa vulkanik Tipe B Plus amplitudo maksimum hampir sepanjang durasi gempa sebagai konsekuensi luasnya bidang yang merekah akibat desakan magma (Gambar 2).

Magma dalam perjalanannya ke permukaan mengalami proses kristalisasi dan bercampur dengan batuan sekitar yang dilaluinya, sehingga ketika menjelang menerobos batuan penutup magma menjadi lebih kental. Oleh karena itu, diperlukan energi yang lebih besar untuk menerobos batuan penutup.

Selama batuan penutup masih mampu menahan tekanan, maka akan menghasilkan deformasi. Apabila batas elastisitas batuan sudah terlampaui, maka batuan akan merekah atau retak, terjadi pelepasan energi dan terjadilah getaran gempa. Itulah sebabnya sebelum lava mencapai permukaan terdeteksi perubahan topografi (deformasi). Teramati adanya perubahan menjelang letusan dan setelah berhasil menerobos batuan penutup deformasi mereda karena



Gambar 2. (a) Contoh rekaman gempa vulkanik dangkal (Tipe B), dan (b) contoh rekaman gempa vulkanik Tipe B Plus. Perbedaan antara keduanya terletak pada durasi amplitudo maksimum sebagai konsekuensi luasnya bidang yang terkuak akibat desakan magma.

tekanan dari dalam sudah relatif berkurang. Fenomena tersebut teramati dengan baik dalam proses erupsi Merapi 2006.

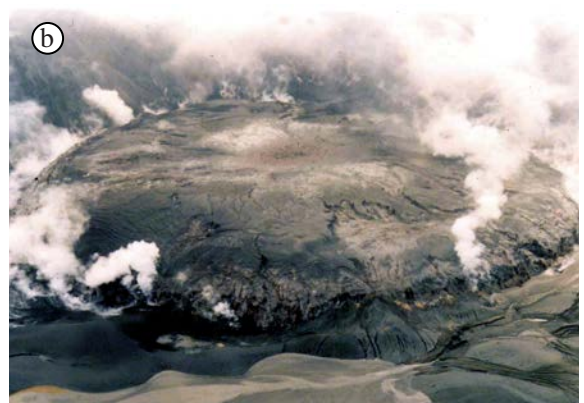
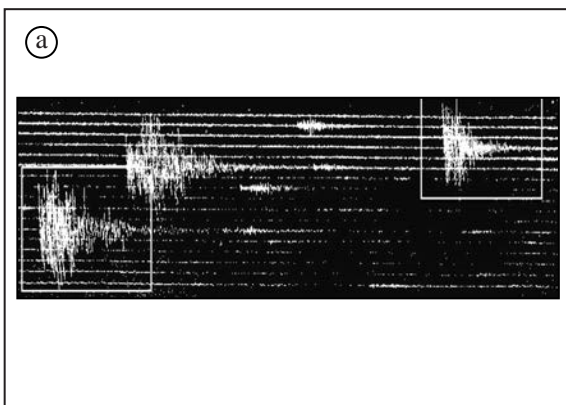
Dalam beberapa kejadian letusan gunung api di Jawa, Sulawesi, dan Halmahera tersebut sekalipun dalam rentang waktu yang relatif lama, teramati fenomena yang sama antara satu dengan letusan lainnya.

Gunung Kie Besi di Pulau Makian, Maluku Utara, yang semula berdanau kawah meletus pada 17 Juli 1988 dan menghasilkan kubah lava. Seismograf merekam gejala munculnya lava di permukaan pada 3 Agustus 1988. Secara visual sinar api mulai terlihat pada 6 Agustus 1988 yang

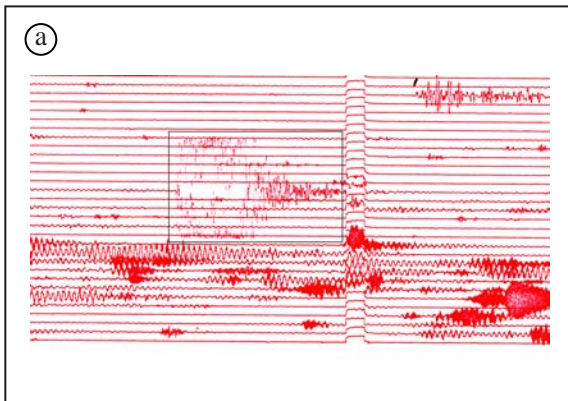
menandakan bahwa lava sudah mencapai permukaan (Gambar 3).

Pada letusan Gunung Sopotan, Sulawesi Utara, 1991, gejala yang sama terekam pada 30 April 1991. Kawah Sopotan berukuran 600 x 450 m dan titik terdalam mencapai 130 m. Pada 5 Mei 1991 cahaya terang dari dalam kawah mulai terpantul hingga keluar menandakan lava dalam jumlah yang besar sudah mulai mengisi dasar kawah (Gambar 4).

Gunung Ibu, di Halmahera, meletus setelah istirahat selama lebih dari 87 tahun. Letusan yang terjadi pada Desember 1998 berakhir dengan munculnya kubah lava di dasar kawah diperkirakan



Gambar 3. (a) Rekaman gempa vulkanik Tipe B Plus menjelang keluarnya lava di Gunung Kie Besi, 3 Agustus 1988. Seismograf elektromagnet sistem kabel dengan kertas bakar (*smoked paper*), seismometer Hosaka, 7 km dari puncak. (b) Kubah lava Gunung Kie Besi, dua bulan setelah muncul ke permukaan. (Foto: Wittiri, 1988).



Gambar 4. (a) Rekaman gempa vulkanik Tipe B Plus menjelang keluarnya lava di Gunung Soputan, 30 April 1991. Seismograf MEQ-800 sistem telemetri radio, seismometer Ranges, 2 km dari puncak. (b) Kubah lava Gunung Soputan ketika pertama kali terbentuk, empat bulan setelah muncul ke permukaan. (Foto: Djuhara, 1991).

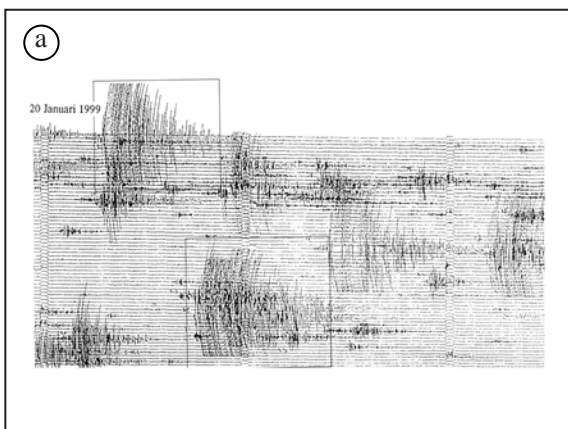
pada Januari 1999. Kubah tersebut diketahui pada 2 Februari 1999, sedangkan seismograf mendeteksi kemunculan sejak 20 Januari 1999 (Gambar 5).

Gunung Awu, Kepulauan Sangihe, yang semula berdanau kawah berakhir dengan munculnya kubah lava setelah meletus pada Juni 2004. Gejala munculnya kubah lava di dasar kawah terekam sejak 7 Juni 2004 (Gambar 6).

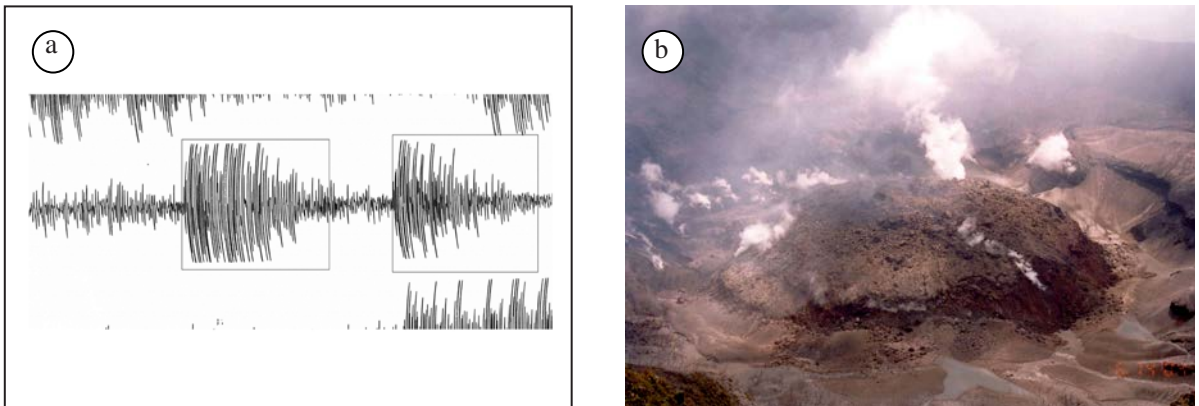
Berdasarkan data seismik, magma mulai menerobos batuan penutup di puncak Merapi pada April 2006 dan berlangsung secara intensif hingga 26 April 2006. Secara visual, dari Pos Pengamatan Gunung Api Merapi di Kaliurang, pada 26 April 2006 kubah lava mulai terlihat. Akan tetapi, jauh hari sebelumnya dari hasil pengukuran EDM

(*Electronic Distance Measurement*) diketahui bahwa magma sudah mendesak sejak Februari 2006 (Gambar 7).

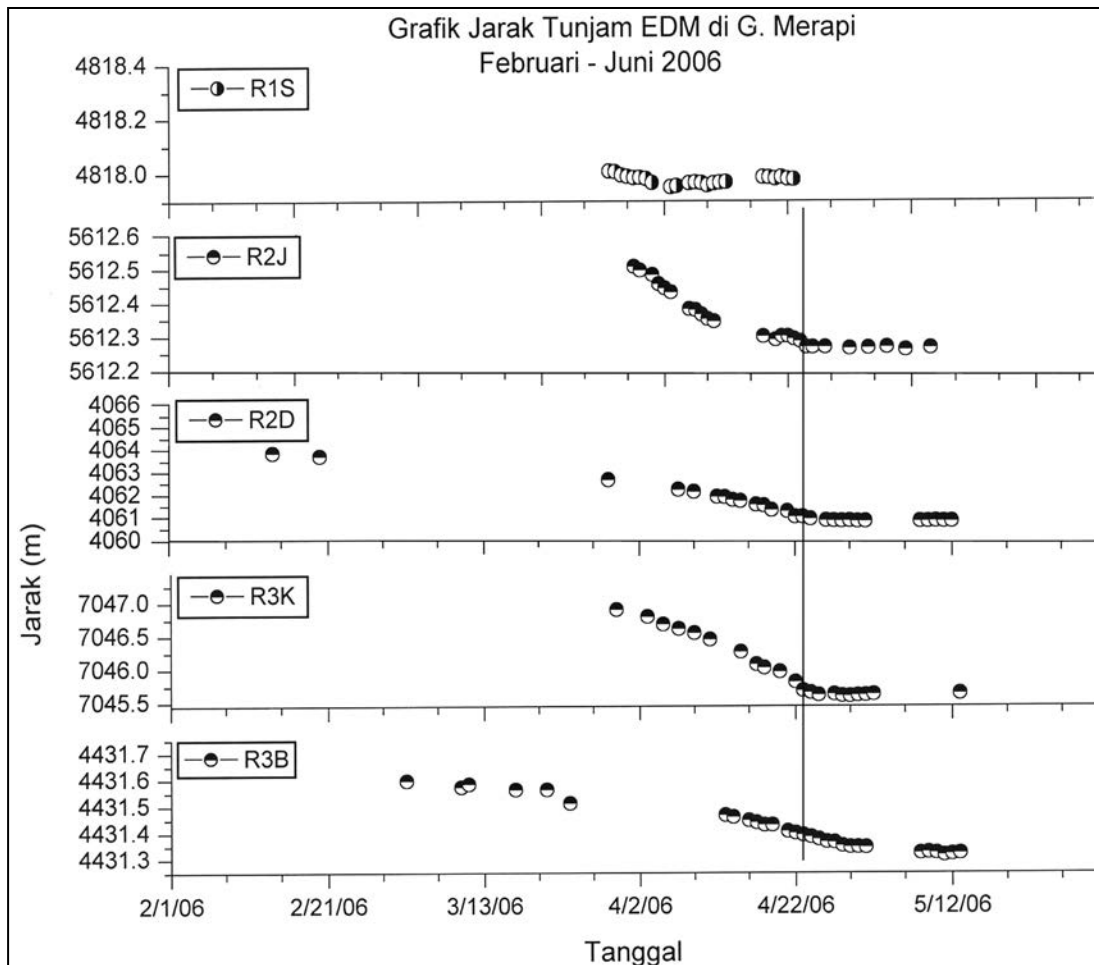
Sejak awal Februari 2006 semua reflektor EDM memberikan reaksi memendek terhadap titik pengukuran. Artinya tubuh Gunung Merapi bertambah besar atau mendekat ke titik pengukuran. Minggu terakhir April semua reflektor menunjukkan nilai normal atau hampir datar yang diartikan bahwa tekanan dari dalam mulai melemah. Hal tersebut diinterpretasikan bahwa magma sudah mencapai permukaan. Dugaan itu sejalan dengan kegempaan yang direkam oleh seismograf (Gambar 8) dan pengamatan visual yang dilakukan dari Pos Pengamatan Gunung Api (Gambar 9).



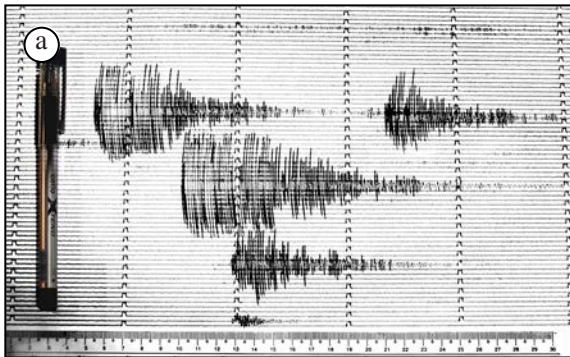
Gambar 5. (a) Rekaman gempa vulkanik Tipe B Plus menjelang keluarnya kubah lava di Gunung Ibu, 20 Januari 1999. Seismograf PS-2 sistem kabel, seismometer Ranges, 5 km dari puncak. (b) Kubah lava Gunung Ibu, seminggu setelah muncul ke permukaan dan masih membara. (Foto: Solihin, 1999).



Gambar 6. (a) Rekaman gempa vulkanik Tipe B Plus menjelang keluarnya kubah lava di Gunung Awu, 7 Juni 2003. Seismograf PS-2 sistem telemetri radio, seismometer L4C, 1,5 km dari bibir kawah. Getaran lumpur yang mendidih menyebabkan *background noise* gempa menjadi sangat besar. (b) Kubah lava Gunung Awu, seminggu setelah muncul ke permukaan. (Foto: Solihin, 2003).



Gambar 7. Hasil pengukuran deformasi dengan EDM di Gunung Merapi. Sejak tanggal 20 April 2006 hampir semua sensor mulai menunjukkan pengurangan tekanan (tampak pada garis tegak). Hal tersebut sejalan dengan terekamnya gempa yang mengindikasikan munculnya kubah lava antara 21 – 26 April 2006.

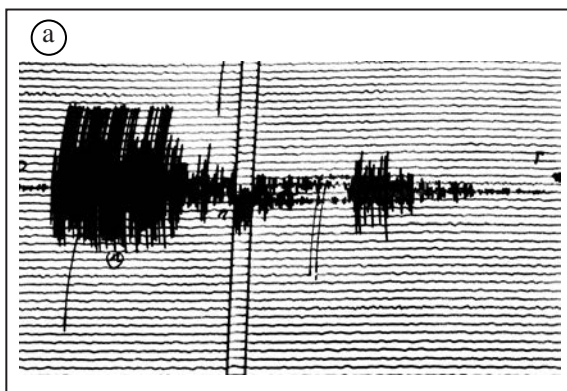


Gambar 8. Rekaman gempa vulkanik Tipe B Plus menjelang keluarnya kubah lava di Gunung Merapi, 24 April 2006: a). Stasiun Klatakan, seismometer L4C 1,5 km dari puncak, sistem telemetri radio direkam dengan VR 65 di Kantor BPPTK Yogyakarta; b). Stasiun yang sama dengan (a) direkam dengan seismograf elektromagnet dengan *smoked paper* di Pos PGA Merapi, Ngepos.



Gambar 9. Kubah Lava Merapi 2006, setelah berumur tiga minggu. Kubah ini mengisi celah yang terbentuk akibat longornya sebahagian dinding kawah bagian timur puncak. (Foto: Wittiri, 2006).

Krisis seismik sudah berlangsung sejak Juli 2007 di Gunung Kelut, dan gempa vulkanik dalam (Tipe A) yang sudah dominan disusul oleh gempa vulkanik dangkal (Tipe B). Hal tersebut diinterpretasikan bahwa sudah terjadi migrasi fluida dari suatu kedalaman menuju permukaan. Tetapi setelah berlangsung hampir dua bulan letusan tidak kunjung terjadi. Yang terjadi adalah terekamnya indikasi akan munculnya sumbat lava di dasar kawah dengan terekamnya gempa vulkanik Tipe B Plus (Gambar 10 a) pada 10 September 2007. Indikasi tersebut sempat disangsikan, tetapi air danau yang berangsur-angsur menyusut akibat penguapan karena suhu kawah yang tinggi dan kemunculan kubah lava di dasar kawah Gunung Kelut membuktikannya (Gambar 10 b).



Gambar 10. a) Rekaman gempa vulkanik Tipe B Plus Gunung Kelut menjelang terbentuknya kubah di dalam danau kawah, 10 September 2007. Seismograf SP-2 sistem telemetri radio, seismometer 1 km dari kawah. b) Kubah lava sudah muncul di permukaan dan masih membara menunjukkan masih tumbuh, kondisi 25 November 2007. (Foto Anton Susilo, 2007).

KESIMPULAN

Dalam rentang waktu antara 1983 hingga 2007 ada enam gunung api yang meletus dan menghasilkan kubah lava. Berdasarkan hasil rekaman gempa, keenam gunung api tersebut mempunyai indikasi yang sama menjelang lava mendobrak batuan penutup.

Gempa bumi vulkanik yang mempunyai kesamaan bentuk diyakini mempunyai mekanisme dan kedalaman yang relatif sama di semua gunung api.

Fakta dari rekaman gempa bumi vulkanik yang mengawali terkuaknya batuan penutup akibat dorongan lava mempunyai ciri khas sebagai berikut: gerakan awalnya tiba-tiba (*suddenly*), amplitudonya langsung besar dengan perubahan amplitudo yang mengecil secara mendadak pula.

Ucapan Terima Kasih—Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Kepala Bidang Pengamatan dan Penyelidikan Gunung Api, dan Kepala Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian yang telah memberikan fasilitas, sehingga tulisan ini dapat di selesaikan.

ACUAN

- Katili, J.A. dan Sudradjat, A., 1984. The Devastating 1984 Eruption of Colo Volcano, Una-Una Island, Central Sulawesi, Indonesia. *Geologische Jahrbuch*, Hannover, h. 27-47.
- Kulhanek, O., 1990. *Anatomy of Seismograms*. Seismological Section, University of Uppsala, Sweden, IASPEI/Unesco Working Group, 178 h.
- Kusumadinata, K., 1979. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Direktorat Jenderal Pertambangan Umum, Direktorat Vulkanologi, 820 h.
- Malone, S.D., 1983. *Volcanic Earthquakes: Example from Mount St. Helens*, Geophysics Program, University of Washington – Seattle, USA. From Earthquakes: Observation, Theory and Interpretation, Italiana di Fisica - Bologna - Italy, LXXXV, Corso, h. 436 – 455.
- Minakami, T., 1960. Fundamental Research for Predicting Volcanic Eruption, Earthquake and Crustal Deformation from Volcanic Activities. *Bulletin of The Earthquake, Earthquake Research Institute, Tokyo University*, 38, h. 498 – 543.
- Okada, Hm., 1983. *Earthquake Family*, Usu Volcano Observatory, Kyoto University, Japan
- Siswowardjojo, S., 1989. Seismicity And Other Phenomena Associated With The Eruption of Galunggung Volcano in West Java, Indonesia, in 1982/1983 and Their Volcanological Implication. *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, Tsukuba, Japan, h. 433 – 466.
- Van Padang, M., Neumaan 1951. Catalogue of the Active Volcanoes Of The World Including Solfatara Fields, Part I, Indonesia. *International Volcanological Association – UNESCO*, 270 h.
- Wimpy, S. Tjetjep dan Wittiri, S.R., 1996. *75 Tahun Penyelidikan Gunungapi di Indonesia*. Direktorat Vulkanologi, 121 h.
- Wittiri, S.R., 2003. *Gunungapi Yang Meletus 1995 – 2003*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 97 h.
- Wittiri, S.R., 2004. *Riwayat Gunung Awu*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 52 h.
- Wittiri, S.R., 2006. Indikasi Munculnya Sumbat Lava di Merapi 2006. *Buletin Vulkanologi dan Bencana Geologi*, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, h. 5 - 9.