

Perbandingan antara erupsi Gunung Bromo Tahun 2010 – 2011 dan erupsi Kompleks Gunung Tengger

Akhmad Zaennudin

Badan Geologi

Jln. Diponegoro 57 Bandung 40122

SARI

Erupsi semburan abu secara terus-menerus berlangsung di Gunung Bromo sejak akhir November 2010 sampai saat ini merupakan kejadian erupsi yang tidak seperti biasanya. Di dalam catatan sejarah yang dimulai tahun 1804 erupsi Gunung Bromo pada umumnya hanya berlangsung dalam beberapa hari saja, walaupun pernah terjadi erupsi selama empat bulan pada tahun 1995. Erupsi seperti yang terjadi saat ini sebenarnya merupakan ciri erupsi dari Kompleks Gunung Tengger. Proses ini adalah erupsi freatomagmatik yang diakibatkan oleh kontak antara magma dengan air bawah permukaan atau formasi batuan yang banyak mengandung air menghasilkan abu dan material vulkanik halus lainnya, ketika terjadi erupsi.

Kata kunci: erupsi, abu, Bromo

ABSTRACT

There bursts of ash eruptions took place continuously in Mt. Bromo since late November 2010 until now, these eruptive events are not as usual. In historical record that began in 1804 the eruption of Mt. Bromo generally only lasts a few days, even though eruptions have occurred during four months in 1995. Eruption as it happened when it is actually a characteristic eruption of Mount Tengger Complex. This process is a phreatomagmatic eruptions caused by a contact between the magma below the surface with ground water or rock formations that contain lots of water to produce fine volcanic ash and other materials, when the eruption occurred.

Keywords: eruption, ash, Bromo

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gunung Bromo adalah kerucut gunung api aktif yang paling muda paska pembentukan Kaldera Lautan Pasir dari Kompleks Gunung Tengger. Kerucut ini tercatat sebagai salah satu gunung api yang sering mengalami erupsi dari 129 gunung api aktif di Indonesia. Tenggang waktu antara satu erupsi dengan erupsi lainnya terjadi kurang dari satu tahun sampai dengan 16 tahun sejak pertama kali tercatat tahun 1804. Pada waktu sebelum tahun tersebut bukannya gunung api ini tidak pernah mengalami erupsi, tetapi pencatatan erupsinya baru dimulai pada 1804 oleh Belanda.

Aktivitas Gunung Bromo yang terjadi saat ini tidak terlepas dari catatan sejarah geologi Kompleks Tengger itu sendiri. Endapan-endapan jatuhnya abu atau jatuhnya piroklastik

yang didominasi oleh pasir halus merupakan ciri khas kompleks gunung api ini. Batuan di sekitar dan di dalam Kaldera Lautan Pasir terbentuk dari endapan abu dan pasir yang berhubungan dengan pembentukan Kaldera Lautan Pasir dan kawah Gunung Widodaren (Zaennudin, 1990).

Pembentukan kaldera umumnya selalu menghasilkan endapan aliran piroklastik (ignimbrit) yang sangat besar yang kadangkala terelaskan (*welded ignimbrite*) atau sebagian terelaskan (*partially welded ignimbrite*). Di Kompleks Gunung Tengger ini tidak dijumpai adanya *welded ignimbrite*, padahal ada dua kaldera yang terbentuk di kompleks gunung api ini. Endapan ignimbrit yang dijumpai hanya *partially welded ignimbrite* ketika pembentukan Kaldera Ngadisari (Zaennudin, 1990 dan Hadisantono, 1990), dan tidak dijumpai adanya jenis ignimbrit lainnya.



Gambar 1. Peta lokasi Gunung Bromo berada di wilayah Kabupaten Probolinggo, Pasuruan, Malang, dan Lumajang, Jawa Timur.

Disamping itu dalam pembentukan Kaldera Lautan Pasir juga tidak dijumpai adanya endapan aliran piroklastik atau ignimbrit dalam volume yang cukup besar dan luas sebarannya. Ada beberapa endapan aliran piroklastik, tetapi endapan tersebut bervolume sangat kecil dan secara stratigrafi berumur lebih tua dari pembentukan kaldera itu sendiri. Oleh sebab itu timbul pertanyaan yang mendasar, tentang hasil endapan batuan yang dihasilkan dalam pembentukan kaldera tersebut. Kaldera ini mempunyai ukuran cukup besar, yaitu 7 km x 8 km. Dalam pembentukan suatu kaldera gunung api antara volume yang hilang akan sebanding dengan volume yang diendapkan. Zaennudin (1990) dan Hadisantonio (1990) berpendapat bahwa pembentukan Kaldera Lautan Pasir ini menghasilkan endapan jatuhnya abu berwarna coklat yang berumur sekitar 33.000 ± 1.000 tahun yang lalu.

Maksud dan Tujuan

Aktivitas erupsi suatu gunung api baik yang tercatat dalam sejarah manusia maupun yang terekam dalam sejarah geologi, mempunyai keterkaitan. Oleh karena itu mempelajari sejarah geologi suatu gunung api akan sangat bermanfaat dalam mempelajari erupsi yang sedang dan akan terjadi. Endapan batuan yang telah dihasilkan oleh kompleks gunung api ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam mempelajari proses erupsi yang sedang terjadi. Tujuannya adalah membandingkan proses erupsi dan endapan yang dihasilkan dengan endapan batuan yang dihasilkan dalam erupsi masa lalu. Pada umumnya karakteristik erupsi suatu gunung api tidak jauh berbeda dari sejarah erupsinya. Sehingga dengan cara demikian kita dapat memprediksi jenis dan

besaran suatu erupsi yang sedang terjadi maupun pada erupsi mendatang.

Metoda Penyelidikan

Penyelidikan ditekankan pada pengamatan endapan di lapangan untuk mengetahui jenis endapan dan genesisnya. Juga dengan mempelajari posisi stratigrafi dari suatu seri endapan batuan berdasarkan umur mutlak endapan hasil analisis *carbon dating* dan *potassium argon dating* dari beberapa lapisan endapan batuan. Disamping itu dilakukan pula analisis kimia material baru (*juvenile*) yang di erupsi-kan untuk diketahui komposisi kimianya yang merefleksikan komposisi magma di bawah permukaan. Dalam sejarah geologi suatu gunung api sangat dipengaruhi oleh evolusi magma di bawah permukaan.

Komposisi kimia dari endapan baru hasil erupsi 2010 – 2011 dapat dikorelasikan dengan komposisi kimia dari beberapa kerucut vulkanik paska Kaldera Lautan Pasir. Karena dengan mengetahui komposisi kimia suatu endapan dan posisi stratigrafinya akan dapat diketahui evolusi magma yang memicu erupsi gunung api tersebut.

Geologi Kompleks Gunung Tengger

Kompleks Gunung Tengger adalah kompleks gunung api Kuartar, yang membentuk rangkaian vulkanik berarah timur – barat. Kompleks Gunung Tengger ini dapat dikenali dari bentuknya berupa gunung api raksasa yang bagian puncaknya terpancung. Pemandangan ini terlihat sangat jelas dari arah utara ketika berkendara antara Pasuruan ke Probolinggo atau sebaliknya. Secara umum Kompleks Gunung Tengger dapat dibagi menjadi dua ba-

gian, yaitu endapan gunung api Kuartar Tua dan Kuartar Muda.

Endapan gunung api Kuartar Tua adalah hasil erupsi sebelum terbentuknya Kaldera Lautan Pasir, sedangkan Kuartar Muda merupakan endapan vulkanik paska kaldera tersebut. Wilayah Kompleks Gunung Tengger ini secara geologi merupakan daerah yang sangat menarik. Beberapa ahli kebumiharian banyak yang tertarik untuk meneliti dan memecahkan teka-teki sejarah geologinya seperti pembentukan Kaldera Ngadisari, Argowulan, Lautan Pasir, dan Lembah Sapikerep yang sangat menakjubkan, serta pematang Cemara Lawang itu sendiri yang membatasi Kaldera Lautan Pasir. Dasar Kaldera Lautan Pasir yang datar dan tidak berair merupakan suatu fenomena geologi lainnya yang perlu diketahui. Kaldera yang terdapat di Indonesia pada umumnya terisi air membentuk danau kaldera, tetapi Kaldera Lautan Pasir tidak terisi air.

Para ahli yang telah meneliti wilayah Gunung Tengger mempunyai berbagai teori yang berhubungan dengan fenomena yang terjadi di wilayah ini. Para peneliti tersebut antara lain Verbeek dan Fennema pada tahun 1896, Escher pada tahun 1928, Akkersdijk pada 1928, van den Bosch pada 1929 dan Bemmelen pada 1930 (Kusumadinata, 1972). Hasil penelitian mereka dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok yang sangat berbeda, yaitu kelompok Verbeek dan Escher berpendapat bahwa Kompleks Gunung Tengger ini terbentuk oleh dua gunung api kembar yang berketinggian sekitar 4.000 m di atas permukaan laut. Kelompok lainnya berpendapat bahwa kompleks gunung api ini asal mulanya berupa

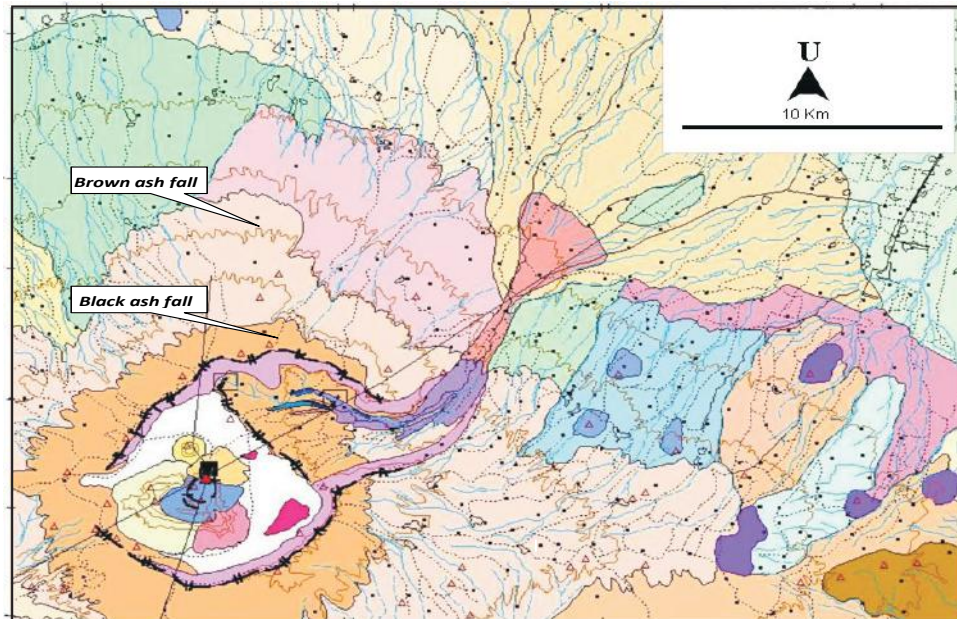
sebuah gunung api raksasa yang mempunyai ketinggian 4.500 m di atas muka laut, karena mengalami berbagai proses geologi akhirnya terbentuk seperti yang terlihat sekarang.

Zaennudin dr. (1995) telah memetakan geologi Kompleks Gunung Tengger yang dituangkan dalam Peta Geologi Gunung Tengger (Gambar 2). Beberapa aliran lava, aliran piroklastik, dan jatuhnya piroklastik diketahui umur absolutnya, sehingga dapat membantu dalam interpretasi endapan hasil erupsi gunung api dalam kompleks gunung api ini. Kompleks Gunung Tengger ini dalam sejarah perkembangannya dibentuk minimal oleh dua kaldera, yaitu Kaldera Ngadisari berumur 152.000 ± 30.000 tahun yang lalu dan Kaldera Lautan Pasir yang berumur 33.000 ± 1.000 tahun yang lalu.

Sejarah Erupsi Gunung Bromo

Erupsi Gunung Bromo yang terjadi pada masa lalu dan saat ini tidak terlepas dari sejarah pembentukan kompleks Gunung Tengger itu sendiri. Rekaman erupsi dalam kurun waktu pendek adalah catatan erupsi yang terjadi dalam catatan manusia, dan pertama kali dicatat adalah erupsi bulan September 1804.

Catatan erupsi Gunung Bromo yang dimulai 1804 sampai sekarang menginformasikan bahwa Gunung Bromo merupakan gunung api yang sangat aktif dengan tenggang waktu istirahat antara erupsi yang satu dengan erupsi lainnya hanya berlangsung beberapa bulan sampai paling lama 16 tahun. Periode erupsi dapat berlangsung hanya satu hari dan paling lama empat bulan. Periode erupsi yang lama ini terjadi pada bulan September 1995



Gambar 2. Peta geologi Kompleks Gunung Tengger, Jawa Timur (Zaennudin, drr., 1995).

dan berakhir bulan Desember 1995 dan hanya berupa hembusan abu berwarna abu-abu, yang endapannya tidak terlalu tebal.

Dalam kurun waktu empat dekade terakhir aktivitas Gunung Bromo telah terjadi enam kali erupsi dengan jeda waktu istirahat antara empat bulan sampai 11 tahun (Tabel 1). Semakin lama jeda waktu istirahat maka erupsi selanjutnya akan terjadi lebih besar seperti yang terjadi pada tahun 1995. Dalam periode ini terjadi dua kali periode erupsi, yaitu erupsi pada Maret–Mei 1995 dan September–Desember 1995.

Kegiatan Erupsi Tahun 2010 - 2011

Dalam kondisi normal Gunung Bromo terlihat sangat cantik dengan panorama yang khas berupa kaldera yang datar tertutup pasir dipadukan dengan adanya kehadiran kerucut sinder Gunung Batok yang indah di sebelah utaranya, kepulan asap solfatara yang tipis

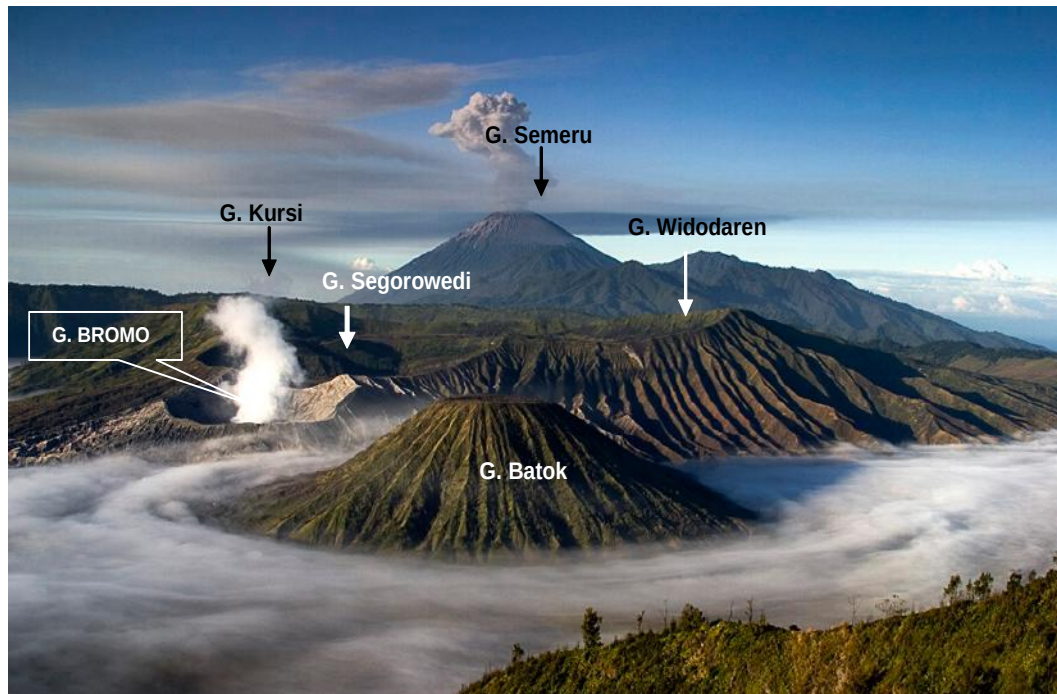
yang kadang-kadang berwarna putih muncul secara terus-menerus dari Gunung Bromo. Serta adanya kerucut-kerucut gunung api lainnya yang telah rusak puncaknya sebagai latar belakangnya dan pada kejauhan Gunung Semeru yang sedang bererupsi (Gambar 3). Pemandangan ini dapat dinikmati oleh para wisatawan pada pagi hari sampai pukul 9.00 WIB dari lokasi pandang Penanjakan. Situasi seperti ini biasanya akan berubah menjadi berkabut pada siang dan sore hari.

Sejak tanggal 23 November 2010 sampai pertengahan Februari 2011 (saat makalah ini ditulis), Gunung Bromo masih terus bererupsi dan belum dapat dipastikan kapan akan berakhir. Gunung api ini terus menerus mengeluarkan material vulkanik, bergumpal-gumpal menembus udara setinggi 400 – 1.000 m berupa abu–pasir kasar. Dalam seismogram kondisi ini terekam berupa gempa *tremor* terus menerus dengan amplitudo antara 5 mm sam-

Tabel 1. Sejarah Erupsi Gunung Bromo Selama Empat Dekade Terakhir

Tahun erupsi	Keterangan
1972	Pada 26 Januari diawali dengan terdengarnya suara gemuruh dari dalam bumi, kemudian disusul oleh munculnya tiang asap yang berwarna abu-abu agak gelap. Hujan abu terus menerus terjadi dari 26 Januari–13 Februari, selanjutnya hujan abu turun kadang-kadang saja.
1980	Hembusan asap selama 1–2 hari, kemudian diikuti oleh suara dentuman dan lemparan material gunung api pijar ke udara. Kegiatan terus meningkat sampai 21 Juni 1980 yang merupakan puncak kegiatan. Erupsi yang terjadi berupa erupsi-erupsi kecil secara terus menerus berlangsung setiap menit terjadi 2–3 kali. Sedangkan erupsi besar terjadi dengan selang waktu setiap 2–3 menit menyemburkan abu, pasir, dan bongkah lava bergaris tengah 1–1,7 m tersebar di sekitar kawah. Material yang berdiameter antara 10 – 25 cm terlempar sejauh 1.700 m sampai di kaki Gunung Batok. Sebaran abu ke arah barat laut sejauh 5 km mencapai daerah Tosari. Pada 11–14 Juli terjadi lagi peningkatan aktivitas berupa semburan asap berwarna hitam setinggi kurang lebih 800 – 1.500 m di atas kawah. Hujan abu terjadi di daerah Ngadisari yang berjarak sekitar 5 km dari kawah. Pada 24 Juli terlihat pertumbuhan sumbat lava di dasar kawah.
1984	Pada 12 – 31 Mei terjadi peningkatan kegiatan kemudian disusul dengan erupsi yang disertai suara dentuman. Asap putih tebal keabu-abuan setinggi kurang lebih 500 – 1.000 m di atas puncak. Titik erupsi terdapat di dasar kawah bagian utara dengan lubang erupsi berdiameter kurang lebih 7 m.
1995	Pada 9 Maret terjadi erupsi asap disertai hujan abu dengan ketinggian asap berkisar 80 – 250 m di atas puncak. Sebaran abu halus mencapai jarak 20 km terutama ke arah tenggara, mengakibatkan kurang lebih 1.000 hektar perkebunan rakyat rusak, kegiatan ini terus berlangsung sampai pada bulan Mei. Setelah beristirahat lebih kurang 3,5 bulan, pada 9 September Gunung Bromo kembali meng-erupsikan abu setinggi lebih kurang 70 m. Kegiatan erupsi ini makin meningkat dan mencapai puncaknya pada 25 September dengan ketinggian asap mencapai 700 m di atas puncak. Gempa hembusan terjadi terus menerus dan diselingi oleh gempa erupsi dengan amplitudo maksimum mencapai 51 mm. Kegiatan ini berlangsung-angsur menurun dan berakhir pada bulan Desember.
2004	Erupsi terjadi 8 Juni 2004 pukul 15.26 WIB secara tiba-tiba tanpa diawali oleh gempa vulkanik A dalam jumlah yang signifikan. Material erupsi berupa lontaran abu dan batu yang dilemparkan ke udara mencapai 3.000 m dari bibir kawah. Lontaran batu berjatuh di sekitar bibir kawah dengan radius kurang dari 300 m. Erupsi berlangsung singkat selama 20 menit. Pukul 16.05 WIB secara visual tampak asap putih kelabu dengan tekanan lemah, ketinggian kolom asap berkisar antara 10 m hingga 25 m dari bibir kawah. Pada 9 Juni 2004 pukul 02.00 – 05.00 WIB masih terekam gempa-gempa hembusan dengan amplituda semakin melemah (3 mm). Akibat erupsi ini 2 orang meninggal dunia dan 5 orang luka-luka.

Sumber: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi



Gambar 3. Pemandangan kerucut muda di dalam Kompleks Gunung Tengger dalam kondisi normal. Asal solfata tipis selalu diemisikan oleh Gunung Bromo. Pada latar belakang terlihat kerucut Semeru.
(Foto: Dokumen PVMBG).

pai 30 mm. Apabila erupsi disertai oleh suara gemuruh dan dentuman maka amplitudonya meningkat melebihi 40 mm (Gambar 4).

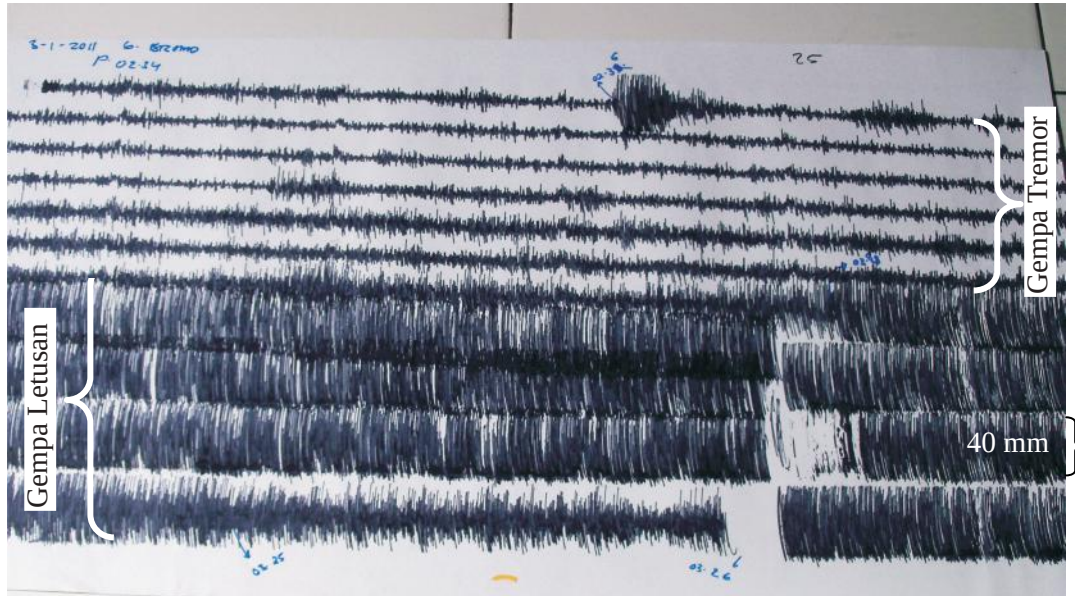
Erupsi yang disertai oleh suara dentuman merupakan erupsi magmatik melemparkan fragmen-fragmen baru (*juvenile*) yang berukuran *lapilli* (> 6 mm) sampai bongkah yang berukuran > 2 m. Fragmen-fragmen tersebut terlemparkan hanya di dalam Kaldera Lautan Pasir. Pada 5 Februari 2011 terjadi erupsi cukup besar sehingga fragmen yang berukuran 50 cm terlempar sampai sejauh 1.300 m (Gambar 5). Oleh karena itu wilayah di dalam kaldera tersebut merupakan daerah rawan terhadap lemparan batu pijar.

Erupsi yang terjadi pada akhir bulan November 2010 sampai pertengahan bulan Desember

2010 disertai angin ke arah barat dan baratlaut, sehingga wilayah tersebut sampai ke Malang bagian barat dan Pasuruan bagian baratlaut dihujani abu Gunung Bromo (Gambar 6). Di Bandara Juanda, Waru, Sidoarjo dilaporkan adanya endapan abu tipis juga diperkirakan berasal dari erupsi Gunung Bromo.

Pada akhir Desember 2010 sampai Februari 2011 tiupan angin berubah arah ke arah utara, timurlaut, timur, dan kadang-kadang ke tenggara, sehingga daerah di wilayah tersebut selalu dihujani abu vulkanik Bromo. Ke arah utara dikabarkan endapan abu tipis mencapai pantai selatan Pulau Madura, Situbondo di sebelah timur, dan Jember di sebelah tenggara.

Bila terdengar suara dentuman maka getaran udara (*air shock*) dapat mengakibatkan kaca



Gambar 4. Rekaman gempa letusan terjadi pada 3 Januari 2011, yang sebelumnya terlihat diawali oleh “swarm” tremor (Foto: Ahmad Subhan Nur Fajidi).



Gambar 5. Jejak tempat mendaratnya bongkah lava yang dilemparkan dari erupsi Gunung Bromo pada 5 Februari 2011.



Gambar 6. Erupsi abu Gunung Bromo pada November 2010. Pada saat itu angin bertiup ke arah barat dan baratlaut dilihat dari arah timur. (Foto: Ahmad Subhan Nur Fajidi).

jendela dan pintu Pos Pengamatan Gunung Bromo yang berada sekitar 2,2 km dari kawah bergetar cukup kuat. Hal ini dapat digunakan sebagai indikator erupsi Gunung Bromo yang lebih besar biasanya diiringi oleh suara dentuman. Suara dentuman yang paling keras terdengar sampai kota Probolinggo sejauh 50 km dari kawah Gunung Bromo. Pada periode antara akhir November 2010 sampai pertengahan Desember 2010 tidak pernah terdengar adanya suatu dentuman. Suara dentuman ini mulai terdengar pada erupsi 29 Desember 2010 dan terus berlangsung sampai saat ini (pertengahan Februari 2011).

Erupsi abu yang terjadi pada periode ini menghembuskan abu terus menerus berupa asap yang bergumpal-gumpal keluar dari dapur magma menembus udara setinggi 400 – 1.000 m, yang sudah berlangsung selama hampir tiga bulan (Gambar 7). Erupsi seperti ini adalah erupsi freatomagmatik yang merupakan proses keluarnya magma ke permukaan kemudian kontak dengan batuan samping yang jenuh air atau air bawah permukaan se-

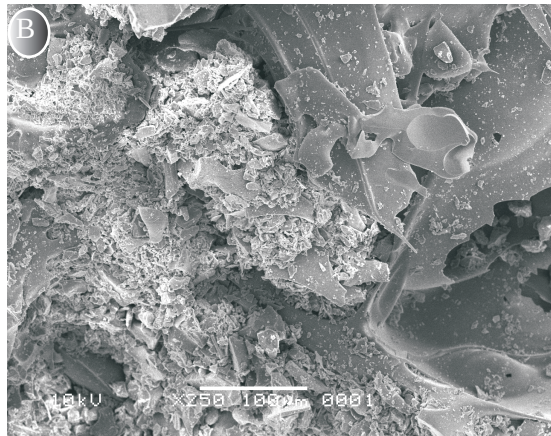
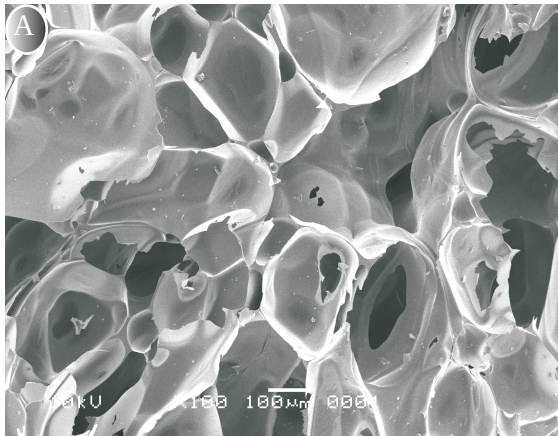
hingga terjadi fragmentasi membentuk material halus. Hasil penelitian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dari abu erupsi Gunung Bromo pada 23 Desember 2010 mengindikasikan adanya percampuran dua fragmen magmatik dan litik (Gambar 8).

Dalam erupsi ini kadang-kadang diikuti oleh lemparan fragmen magma berupa bom vulkanik dan fragmen yang berukuran lebih kecil lagi di sekitar kawah. Bom vulkanik ini banyak dijumpai di sekitar kawah sampai radius 1.300 m, sedangkan material yang berukuran sekitar 1 cm terdapat dalam radius 2,5 km. Di sekitar Pos Pengamatan Gunung Bromo yang berjarak sekitar 2,2 km terdapat fragmen batuapung yang berukuran sekitar 2 – 3 cm (Gambar 9).

Pada awal erupsi merupakan erupsi freatik yang mengendapkan batuan tua berkomposisi basaltik andesit sampai andesit dengan kandungan SiO_2 antara 50,03 – 55,85 % berat. Fragmen *juvenile* pertama kali terdapat pada erupsi 24 Desember 2010 yang kemudian



Gambar 7. Hembusan abu vulkanik Gunung Bromo yang diurupsikan secara terus-menerus pada Desember 2010. Tiupan angin pada saat itu mengarah ke timur dan timurlaut, sehingga daerah wilayah ini selalu dihujani abu Bromo (Foto: Akhmad Zaennudin).



Gambar 8. SEM (Scanning Electron Microscope) abu hasil erupsi Bromo pada 23 Desember 2010. Dalam endapan abu tersebut terdiri atas dua jenis fragmen, yaitu: fragmen magmatik (A) dan litik (B). Endapan ini sebagai hasil erupsi freatomagmatik.

terus berlanjut sampai awal Februari 2011. Analisis kimia dari fragmen baru (*juvenile*) dalam endapan jatuhan piroklastik menunjukkan adanya kecenderungan perubahan komposisi. Pada awalnya kandungan SiO_2 terdapat 54,67 % berat (24 Desember 2010) berubah menjadi 55,77 % berat pada 30 Desember 2010 (Tabel 2). Komposisi kimia dari endapan abu dan fragmen batu apung dari

erupsi Gunung Bromo 2010 – 2011 (Tabel 3).

Hasil analisis kimia dari sampel yang diambil dari erupsi Gunung Bromo 2010 – 2011 yang tersaji dalam Tabel 2 dan 3 dikelompokkan menjadi endapan abu yang didominasi oleh material lama (*lithic*) dan baru (*juvenile*). Terlihat dalam unsur yang habis dibakar (LoI), semakin tinggi nilainya maka semakin lapuk



Gambar 9. Fragmen batu apung yang dilontarkan oleh erupsi Gunung Bromo pada 23 – 24 Desember 2010. Beberapa fragmen batuapung berukuran melebihi 2 cm terdapat pada lokasi sekitar 2 km dari kawah Gunung Bromo. (Foto: Akhmad Zaennudin).

batuannya, dan dikelompokkan fragmen batuan lama (*lithic*) bukan hasil dari magma baru. Jadi batuan tersebut merupakan endapan hasil erupsi freatik yang melemparkan batuan tua yang telah ada sebelumnya.

Dalam kurun waktu Desember 2010 – Februari 2011 arah angin berubah ke timur dan timurlaut sehingga daerah di wilayah ini terkena hujan abu terus menerus. Ketebalan endapan abu – pasir halus setebal 15 – 20 cm menyelimuti permukaan tanah di wilayah ini (Gambar 12). Tanaman, genting rumah, dan bangunan lainnya tidak luput dari endapan abu tebal. Beberapa bangunan telah ambruk karena tidak dapat menahan beban, terutama bila terkena hujan sehingga bebannya bertambah berat karena ada tambahan beban air hujan.

Agar atap rumah dan bangunan lainnya tidak ambruk, maka selalu dilakukan pembersihan abu dan pasir yang menumpuk di atap oleh penduduk setempat secara bergotong

royong yang dibantu oleh para sukarelawan, anggota militer, dan kepolisian Probolinggo. Perkebunan sayur mayur dan kentang penduduk setempat juga tertutupi abu dan rata bagaikan perbukitan gundul tanpa tanaman, hanya tertinggal pohon-pohon yang patah cabangnya.

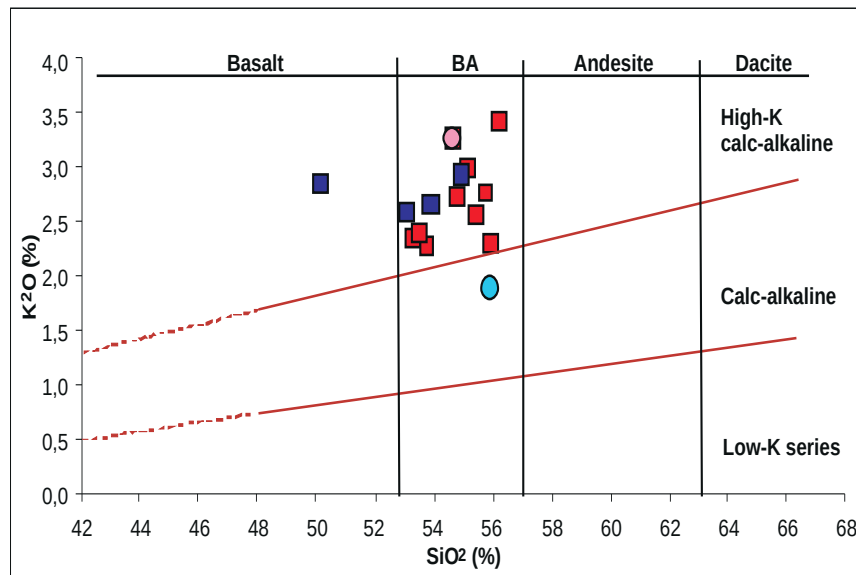
Karena erupsi abu ini terus menerus terjadi sehingga wilayah yang terkena hujan abu tersebut bagaikan pedesaan mati. Semua tanaman dan pohon yang ada di wilayah ini tertutupi endapan material vulkanik. Aliran listrik, air, dan penyaluran bahan makanan menjadi permasalahan yang rumit. Walaupun tidak ada korban langsung akibat endapan abu ini, tetapi secara tidak langsung akan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang ada di wilayah ini (Gambar 13). Endapan material vulkanik lepas dari endapan abu dan pasir halus bila terkena siraman hujan yang cukup lebat dapat mengakibatkan terjadinya lahar.

Tabel 2. Komposisi Kimia Fragmen Baru (*Juvenile*) dari Erupsi Gunung Bromo 2010 – 2011 dan Sampel Batuan Tua Gunung Bromo (dalam % berat)

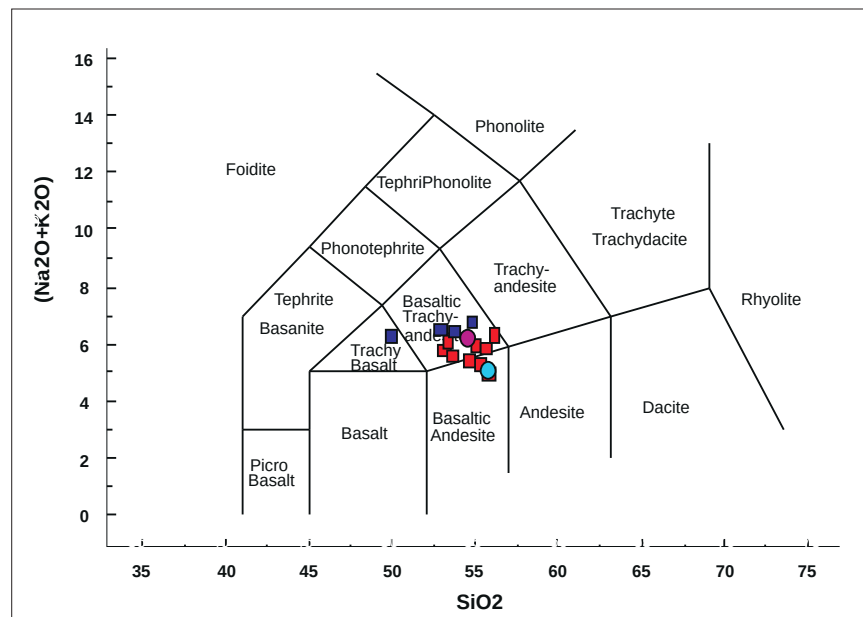
Oksida	Sampel 1 (24 Des. 2010)	Sampel 2 (25 Des. 2010)	Sampel 3 (30 Des. 2010)	Prasejarah (Zaennudin, 1990)
SiO ₂	54,70	54,56	55,77	52,10
Al ₂ O ₃	19,09	17,75	16,87	19,13
Fe ₂ O ₃	9,05	9,64	10,20	9,64
MnO	0,15	0,17	0,14	0,18
CaO	6,95	6,63	10,13	8,75
MgO	2,97	2,88	1,98	4,17
Na ₂ O	2,58	2,80	3,07	2,93
K ₂ O	2,76	3,30	1,93	1,13
TiO ₂	0,75	1,11	0,17	0,91
P ₂ O ₅	0,49	0,52	0,39	0,19
LoI	0,00	0,00	0,00	0,80
Total	99,49	99,36	100,65	99,91

Tabel 3. Hasil Analisis Kimia Batuan Gunung Bromo dari Erupsi 2010 – 2011 (dalam % berat)

Oksida	Smp. 4 (1-12-10)	Smp.5 (2-12-10)	Smp.6 (6-12-10)	Smp.7 (17-12-10)	Smp.8 (18-12-10)	Smp.9 (21-12-10)	Smp.10 (22-12-10)	Smp.11 (23-12-10)	Smp.12 (23-12-10)
SiO ₂	53,20	53,67	53,41	56,13	55,85	55,34	55,08	55,67	50,03
Al ₂ O ₃	19,94	16,83	16,78	18,17	18,52	18,64	18,08	17,84	16,26
Fe ₂ O ₃	8,98	8,44	8,37	8,69	9,02	8,58	9,30	9,28	8,27
MnO	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16
CaO	7,18	7,31	7,11	6,53	7,01	6,66	6,62	6,88	5,61
MgO	3,03	3,05	2,91	2,52	3,25	2,84	2,72	3,10	1,89
Na ₂ O	3,30	3,18	3,53	2,72	2,54	2,60	2,82	2,97	3,28
K ₂ O	2,38	2,30	2,43	3,46	2,34	2,60	3,02	2,79	2,87
TiO ₂	0,73	0,72	0,81	0,68	0,84	0,81	1,18	1,03	0,99
P ₂ O ₅	0,55	0,54	0,56	0,36	0,18	0,38	0,38	0,30	0,47
LoI	2,69	3,36	3,08	0,30	0,00	0,47	0,07	0,00	9,80
Total	102,16	99,57	99,15	99,71	99,69	99,06	99,42	100,02	99,64



Gambar 10. Klasifikasi batuan vulkanik berdasarkan K_2O terhadap SiO_2 menurut Peccerillo dan Taylor (1976) dari batuan hasil erupsi Gunung Bromo tahun 2010 -2011. Simbol bulat merah dan biru adalah sampel batu apung (*pumice*).



Gambar 11. Klasifikasi batuan vulkanik berdasarkan SiO_2 terhadap $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, menurut Le Bas dr., (1986). Simbol bulat merah dan biru adalah sampel batu apung (*pumice*).



Gambar 12. Perkebunan rakyat tertutupi abu vulkanik Bromo setebal 20 cm sehingga tanaman banyak yang mati layu. Bukit-bukit di sekitar Bromo sampai radius 2 km dari dinding Kaldera Lautan Pasir semua tanaman layu dan meranggas (Foto: Akhmad Zaennudin).



Gambar 13. Endapan abu sampai pasir halus ini tertiuap jauh dari kawah Gunung Bromo sehingga dapat mengganggu penghidupan dan kehidupan masyarakat di sekitarnya.

PEMBAHASAN

Semburan material vulkanik yang terus menerus terjadi pada akhir 2010 sampai saat ini (Februari 2011) adalah salah satu erupsi yang paling besar dari beberapa erupsi yang tercatat dalam sejarah. Erupsi seperti ini adalah erupsi freatomagmatik yang dicirikan dengan semburan abu vulkanik secara terus-menerus tanpa henti yang kadangkala diselingi oleh suara gemuruh dan dentuman.

Suara dentuman yang paling keras terdengar sampai ke kota Probolinggo yang berjarak 50 km dari kawah Bromo, terjadi pada 5 Februari 2011 (Gambar 5).

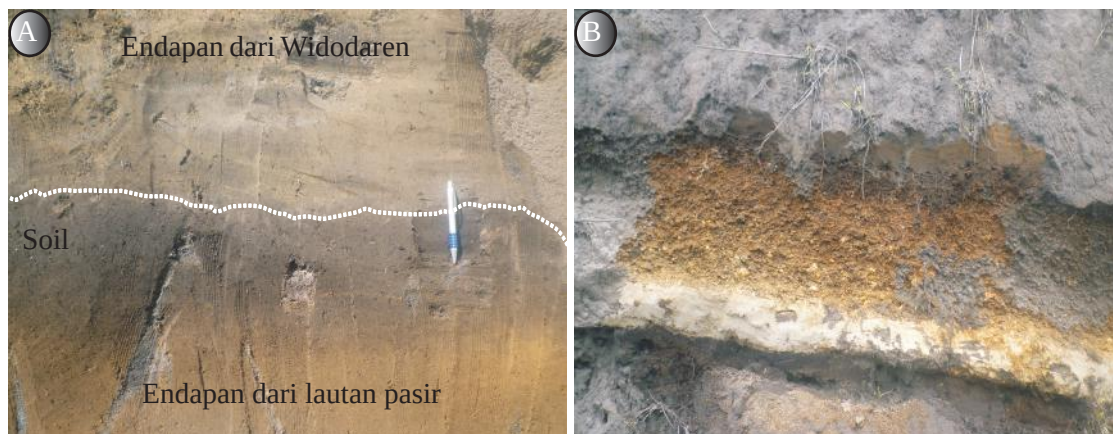
Di Kompleks Gunung Tengger sedikitnya telah terbentuk dua kaldera, yaitu Kaldera Ngadisari yang berumur 152.000 ± 30.000 tahun dan Kaldera Lautan Pasir berumur 33.000 ± 1.000 tahun yang lalu. (Zaennudin, 1990; Hadisantono, 1990). Tetapi berdasarkan data

geokimia dan citra satelit dapat dideteksi adanya kaldera yang terbentuk diantara umur tersebut yaitu Kaldera Argowulan yang terbentuk sekitar 100.000 ± 30.000 tahun yang lalu (Zaennudin, 1990).

Setelah pembentukan Kaldera Lautan Pasir terjadi kekosongan dapur magma, sehingga aktivitas vulkanik terhenti cukup lama. Kegiatan vulkanik terjadi lagi bila ada suplai magma baru. Proses ini memerlukan waktu yang cukup lama. Dengan tidak adanya endapan batuan yang baru, maka proses pelapukan dapat terjadi pada endapan batuan yang paling atas dari susunan perlapisan batuan. Lapisan batuan yang paling atas setelah pembentukan Kaldera Lautan Pasir adalah endapan jatuhan abu yang berwarna coklat terjadi pelapukan yang intensif membentuk lapisan tanah (Gambar 14). Hal ini menunjukkan bahwa dalam kurun waktu yang lama tidak ada aktivitas vulkanik setelah terbentuknya kaldera tersebut.

Dalam sejarah geologi Kompleks Gunung Tengger terdapat dua satuan batuan abu vulkanik yang sangat tebal. Satuan batuan yang pertama adalah endapan abu berwarna coklat setebal 30 m di tepi Kaldera Lautan Pasir dan sekitar 15 m di sekitar Ngadas (5 km dari dinding Kaldera Lautan Pasir). Jatuhan abu berwarna coklat ini berhubungan dengan pembentukan Kaldera Lautan Pasir yang berumur sekitar 33.000 ± 1.000 tahun yang lalu. Satuan endapan jatuhan abu kedua adalah satuan batuan abu berwarna hitam yang berhubungan dengan pembentukan kawah berukuran cukup besar dari Gunung Widodaren berumur 1.810 sampai 1.620 ± 60 tahun yang lalu (Zaennudin, 1990).

Satuan jatuhan abu coklat yang berasal dari Kaldera Lautan Pasir ini diselingi oleh lapisan jatuhan lapili hasil erupsi plinian setebal 30 – 90 cm (Gambar 14B). Begitu juga pada satuan jatuhan abu hitam yang berasal dari Gunung Widodaren terdapat selingan endapan jatuhan lapili setebal 20 – 30 cm (Zaennudin, 1990).



Gambar 14. Kontak antara endapan jatuhan abu coklat yang berasal dari Kaldera Lautan Pasir dengan endapan abu hitam yang berasal dari Gunung Widodaren terdapat pelapukan tanah (*soil*) setebal 30 cm yang mengindikasikan keduanya terdapat selang waktu yang cukup lama (A). Gambar (B) menunjukkan endapan hasil erupsi plinian pada pembentukan kaldera Lautan Pasir (Foto: Akhmad Zaennudin).

Endapan jatuhnya abu seperti ini adalah ciri dari erupsi freatomagmatik yang ideal dari suatu gunung api. Pada beberapa perlapisan dari endapan abu tersebut dijumpai *accretionary lapilli* berdiameter sampai 1 cm. *Accretionary lapilli* ini petunjuk yang sangat baik dari suatu erupsi freatomagmatik. Hal ini disebabkan oleh proses fragmentasi sempurna karena magma kontak dengan air bawah permukaan yang terdapat di bawah permukaan Kaldera Lautan Pasir.

Indonesia merupakan negara tropis dengan curah hujan yang cukup tinggi, sehingga cekungan permukaan tanah akan terisi air hujan membentuk danau. Wilayah dataran tinggi dan gunung api mempunyai curah hujan tinggi yang terjadi hampir sepanjang tahun. Sehingga wilayah pegunungan pada umumnya ditutupi hutan tropis yang sangat subur. Kaldera merupakan bentuk cekungan yang terdapat akibat suatu letusan gunung api yang sangat hebat. Kaldera di Indonesia hampir semuanya terisi air membentuk danau seperti danau Batur, Rinjani, Toba, Maninjau, Tondano, dan Kelimutu. Bahkan ada beberapa kawah gunung api juga terisi air membentuk danau kawah. Kompleks Gunung Tengger tidak dijumpai adanya danau kaldera maupun danau kawah. Kemungkinan besar dasar kaldera ini terbentuk oleh lapisan batuan yang tidak kedap air (*porous*) sehingga air dapat dengan mudah menembus lapisan batuan di bawahnya. Air hujan di sekitar kaldera dan dalam kaldera lenyap dari permukaan. Setiap selesai hujan hanya membentuk alur-alur air menuju ke daerah yang lebih rendah kemudian lenyap begitu saja, tanpa menyisakan air di permukaan kaldera. Pada kedalaman ter-

tentu air akan terakumulasi membentuk formasi jenuh air.

Erupsi suatu gunung api adalah proses keluarnya magma ke permukaan. Pergerakan magma Gunung Bromo ke permukaan melewati berbagai formasi yang diantaranya formasi jenuh air. Kontak antara magma panas dengan formasi jenuh air menghasilkan uap bercampur gas yang bertekanan tinggi menyebabkan fragmentasi membentuk fragmen halus yang kemudian diersipkan sebagai erupsi freatomagmatik.

Erupsi freatomagmatik ini akan terus berlangsung menghasilkan material halus sampai berakhirnya proses kemunculan magma berakhir. Pada saat ini material pijar berupa batuan dan fragmen lava dari magma baru sering terlemparkan ke sekitar kawah Gunung Bromo sebagai indikasi bahwa pergerakan magma sudah hampir mencapai permukaan. Bila magma telah sampai ke permukaan maka akan berakhir erupsi yang terjadi pada saat ini.

KESIMPULAN

Erupsi yang terjadi pada akhir bulan November 2010 sampai saat ini (pertengahan Februari 2011) merupakan erupsi freatomagmatik menghasilkan material yang didominasi oleh abu sampai pasir halus. Endapan batuan seperti ini adalah ciri khas dari erupsi yang terjadi di Kompleks Gunung Api Bromo – Tengger. Dalam evolusinya kompleks gunung api telah mengalami dua kali pembentukan kaldera yang sangat dipengaruhi oleh kehadiran air.

Sebaran dari endapan freatomagmatik yang terjadi dari erupsi 2010 – 2011 ini cukup luas yang tersebar ke wilayah di sekitar Kaldera Lautan Pasir karena terdorong oleh tiupan angin. Daerah yang cukup parah terkena hujan abu tebal adalah daerah yang berada di sebelah timur dan timurlaut, khususnya wilayah yang terdapat di dalam lembah Sapikerep. Daerah rawan lemparan material pijar yang berukuran lapilli sampai bongkah adalah daerah di dalam Kaldera Lautan Pasir.

Berdasarkan komposisi kimia dari fragmen juvenile dalam endapan jatuhan piroklastik termasuk dalam batuan trakhi andesit basaltik menurut Le Bas, dr. (1986) dan andesit basaltik potassium tinggi (Peccerillo & Taylor, 1976). Bila ditinjau dari kandungan silika (SiO_2), maka masih memerlukan waktu cukup lama untuk menuju ke erupsi yang lebih besar. Kandungan silika pada erupsi 2010 – 2011 terdapat sekitar 55 – 56 % berat, sedangkan pada pembentukan kaldera di kompleks ini mempunyai kandungan silika sekitar 59 – 60 % berat.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada M. Hendrasto dan Agus Budianto yang memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penyelidikan tentang proses erupsi gunung api dalam Tim Tanggap Darurat Gunung Bromo. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Kristianto yang telah memberikan izin kepada penulis untuk bergabung ke dalam Tim Tanggap Darurat Gunung Bromo, M. Nugraha dan Deden Wahyu-

din atas koreksi dan diskusinya, dan M. Syafi'i, Ahmad Subhan Nur Fajidi, Mulyono, dan Poniman, para pengamat Gunung Bromo yang telah membantu penulis selama kegiatan di lapangan, serta berbagai pihak yang telah membantu penulis sehingga terselesaikannya makalah ini.

ACUAN

Hadisantono, R.D., 1990, The Sukapura and other ignimbrites, in the Sapikerep – Sukapura valley and their relationship to caldera formation of Bromo – Tengger volcanic complex, Mater thesis at Victoria University of Wellington, New Zealand.

Kusumadinata, K., 1972, Kumpulan tulisan mengenai Gunung Bromo (Pegunungan Tengger). Terjemahan dari peneliti terdahulu antara tahun 1835 – 1963, open file di Perpustakaan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

Le Bas, M.J, Le Maitre, R.W., Streckeisen, A., and Zanettin, B., 1986, A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali – Silica Diagram. *Journal of Petrology*, 27 (3) : 745 – 750.

Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976, Geochemistry of Eocene calc alkaline volcanic rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey, *Contrib. Mineral Petrol*, 58 : 63 – 81.

Zaennudin, A., 1990, The Stratigraphy and Nature of The Stratocone of Mt. Cemara Lawang in The Bromo – Tengger Caldera, East Java, Indonesia, Mater thesis at Victoria University of Wellington, New Zealand.

Zaennudin, A., Hadisantono, R.D., Erfan, R., and Mulyana, A.R., 1995, Peta Geologi G. Bromo – Tengger, Direktorat Vulkanologi.

