Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 3 No. 1 April 2012: 41 - 55

Model Erupsi Gunung Bromo di Jawa Timur pada Tahun 2010 – 2011

Eruption model of Bromo Volcano, East Java, in the year 2010 - 2011

Akhmad Zaennudin, Kristianto, dan Efrita Lusy A.S.

Badan Geologi

Jln. Diponegoro 57 Bandung 40122

SARI

Kegiatan Gunung Bromo, Jawa Timur dalam periode tahun 2010 - 2011 adalah proses erupsi freatik disusul oleh freatomagmatik yang diakhiri dengan erupsi magmatik. Erupsi ini dipicu oleh adanya suplai magma baru berulang kali yang berkomposisi andesit basaltik. Seismometer merekam adanya suplai magma baru sebanyak lima kali selama sebelas bulan terakhir. Suplai magma yang berlangsung cukup lama dan berulang-ulang tentunya dapat mempengaruhi durasi erupsi. Erupsi yang terjadi pada saat ini sangat berbeda dengan erupsi-erupsi dalam sejarahnya, berlangsung cukup lama dengan menghembuskan material halus secara menerus dan diakhiri oleh erupsi magmatik. Erupsi seperti ini sangat dipengaruhi oleh volume magma baru yang diinjeksikan ke kantong magma dan kandungan air tanah. Proses erupsi freatomagmatik itu terjadi ketika magma yang sedang bergerak ke permukaan bersentuhan dengan formasi batuan (akuifer) yang jenuh air, sehingga terjadi fragmentasi yang menghasilkan material halus dan kemudian disemburkan ke udara. Ketika kandungan air dalam akuifer sudah tidak ada lagi maka magma dapat mencapai permukaan dengan ditandai oleh erupsi tipe Stromboli.

Kata kunci: Bromo, freatomagmatik, 2010 - 2011, model erupsi

ABSTRACT

The activities of Bromo volcano in East Java in the period of 2010 – 2011 were phreatic and followed by phreatomagmatic which is terminated by magmatic eruptions. These eruptions were triggered by the supply of new magma of basaltic andesite ~~in~~ composition repeatedly. Seismometer recorded five events of new magma supply within eleven months. This prolonged supply of new magmas influenced the duration of eruption. This eruption was different from the previous ones in historical records. The eruption took place in a long period of time that ejected fine grained volcanic materials continuously and terminated with magmatic eruption. It was influenced by the volume of new magma intruded to the magma pocket; while migrating to the surface in contact with the groundwater below the crater. The process produced fragmentation of fine materials that are ejected to the air. When the water content in the aquifer emptied, the magma will reach the surface to produce magmatic eruption of Strombolian type.

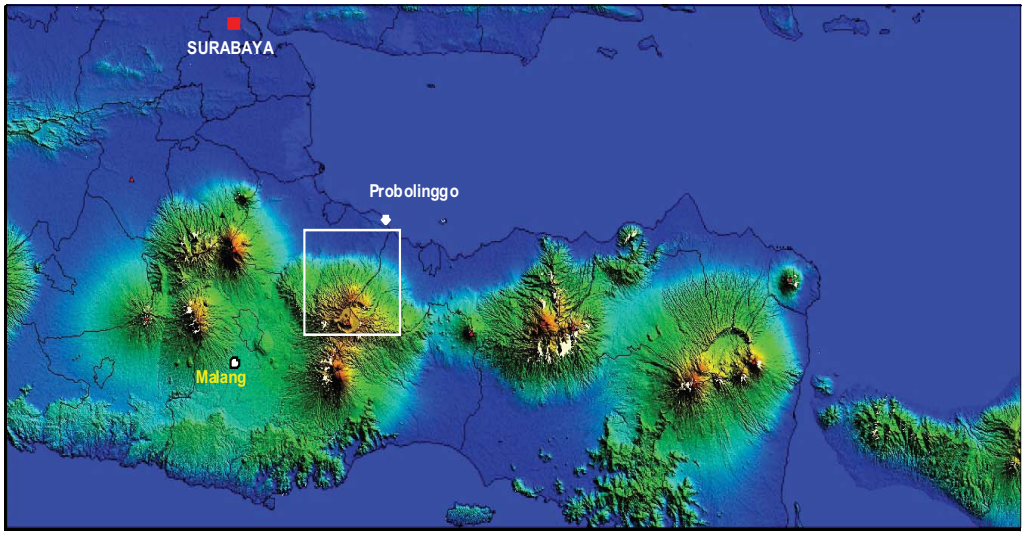
Keywords: *Bromo, phreatomagmatic, 2010 -2011, eruption model*

Naskah diterima 27 Februari 2012, selesai direvisi 10 April 2012
Korespondensi, email: akhmadzen@vsi.esdm.go.id

m sampai 1.000 m, kadang-kadang disertai oleh suara gemuruh dan dentuman. Fenomena tersebut berhubungan dengan erupsi freatomagmatik (Zaennudin, 1990), biasanya berlangsung dalam kurun waktu yang cukup lama. Erupsi pada tanggal 5 Februari 2011 merupakan yang cukup besar terjadi pada periode erupsi yang sedang berlangsung tersebut. Produk letusan disertai fragmen lava berdiameter 50 cm dilontarkan hingga sejauh 1.300 m di sekitar kawah Gunung Bromo.

Wilayah terparah yang terkena hujan abu adalah daerah di dalam lembah Cemoro Lawang - Sapikerep, yaitu wilayah di sebelah timur-laut Kaldera Lautan Pasir. Desa Ngadirejo, Ngadisari, dan Wonokerto, Kecamatan Sukapura merupakan desa-desa yang ada dalam wilayah tersebut dengan ketebalan abu 30 - 50 cm. Desa Ngadirejo yang berjarak sekitar 2 km dari bibir kaldera Lautan Pasir merupakan wilayah yang terparah tertimbun endapan hasil erupsi Gunung Bromo. Sedangkan wilayah yang berada di sebelah timur kaldera adalah Desa Wonokerto, Kecamatan Sumber, Kabupaten Probolinggo merupakan wilayah yang paling parah tertutupi abu vulkanik Bromo setebal 15 cm sampai 25 cm, yang berjarak antara 5 - 6 km dari pusat erupsi.

Erupsi yang terjadi pada periode 2010 - 2011 ini merupakan perselingan antara jenis freatomagmatik dan magmatik. Pada awal kegiatan yang berlangsung antara 23 November 2010 hingga pertengahan Desember 2010 merupakan erupsi freatik yang menyemburkan material halus (abu sampai pasir kasar), disemburkan setinggi 400 - 800 m. Bertepatan pada saat itu angin bertiup ke arah barat dan barat laut sehingga abu tersebar ke arah tersebut. Pada tahap erupsi berikutnya yang dimulai pada akhir Desember 2010, sampai



Gambar 1. Lokasi Gunung Bromo terletak pada empat kabupaten, yaitu Kabupaten Probolinggo, Pasuruan, Malang, dan Lumajang, Provinsi Jawa Timur.

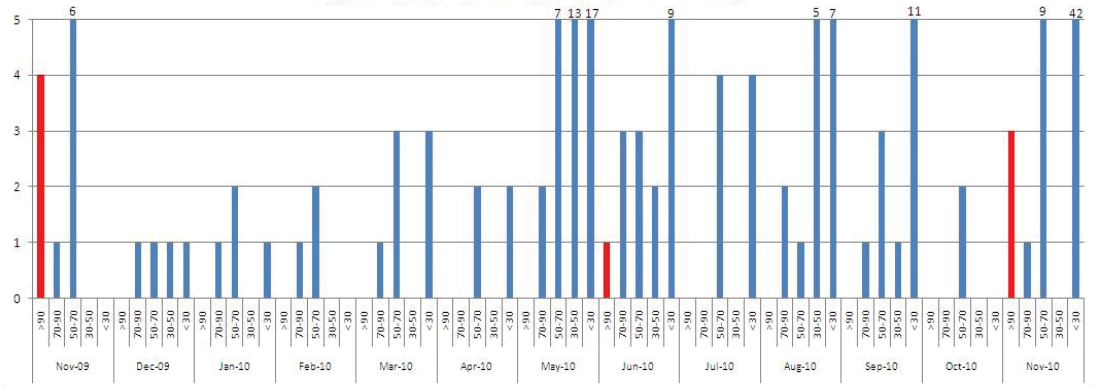
dianggap semua energi telah lepas, maka periode berikutnya merupakan tahapan proses erupsi selanjutnya.

Berdasarkan data rekaman kegempaan dengan menggunakan dua stasiun seismik, tercatat bahwa pada masa kegiatan selanjutnya yang dianggap sebagai awal periode berikutnya adalah November 2009 karena pada bulan tersebut terjadi empat kali gempa yang kedalamannya > 9 km. Gempa vulkanik dalam yang terjadi lebih dari 9 km diinterpretasikan sebagai gejala penambahan magma baru dari lokasi yang lebih dalam ke dapur magma yang lebih dangkal.

Gunung Bromo merupakan gunung api yang sangat aktif dengan masa isitirahat hanya berlangsung antara enam bulan sampai beberapa tahun. Oleh karena itu penelitian ini dibatasi hanya menganalisis gempa dalam yang terjadi pada kurun waktu setelah adanya gempa hembusan. Adanya hembusan asap mencirikan adanya pelepasan energi dan ini sebagai akhir dari suatu krisis aktivitas, sehingga setelah adanya hembusan tersebut aktivitas Gunung Bromo selama Oktober 2009 dinyatakan aktif normal kembali.

Analisis gempa vulkanik dalam yang dilakukan adalah gempa yang terjadi dalam bulan November 2009 sampai dengan bulan November 2010. Gempa-gempa vulkanik dalam yang terjadi dalam kurun waktu tersebut dapat dibagi menjadi 5 kelompok, yaitu kelompok pertama yang terjadi pada kedalaman: < 3.000 m; ke dua: 3.000 – 4.999 m; ke tiga: 5.000 – 6.999 m; ke empat: 7.000 – 9.000 m; dan kelompok ke lima: > 9.000 m. Jumlah dan distribusi setiap bulan dari gempa-gempa tersebut dengan tanpa mencamtumkan tanggal kejadiannya disajikan dalam Gambar 2.

Dari data gempa vulkanik dalam yang tercatat selama November 2009 sampai dengan November 2010 menunjukkan bahwa pada bulan November 2009 merupakan awal terjadi gempa vulkanik yang berkedalaman lebih dari 9 km, tercatat terjadi sebanyak empat kali. Kemudian pada bulan ini juga disusul oleh gempa vulkanik yang lebih dangkal,



Gambar 2. Gempa vulkanik dalam Gunung Bromo dalam kurun waktu antara November 2009 sampai dengan November 2010. Garis merah adalah gempa vulkanik kedalaman > 9.000 m, yang diinterpretasikan bahwa ada gerakan magma dari suatu kedalaman ke arah permukaan.

kasar secara menerus hingga setinggi 400 – 800 m tanpa diikuti suara gemuruh maupun dentuman (Gambar 4) dan endapan produknya terlihat dalam Gambar 5. Rekaman seismograf menunjukkan kegiatan tremor yang menerus dengan amplitudo antara 15 – 40 mm. Gejala ini menandakan bahwa kegiatan masih terus berlangsung.

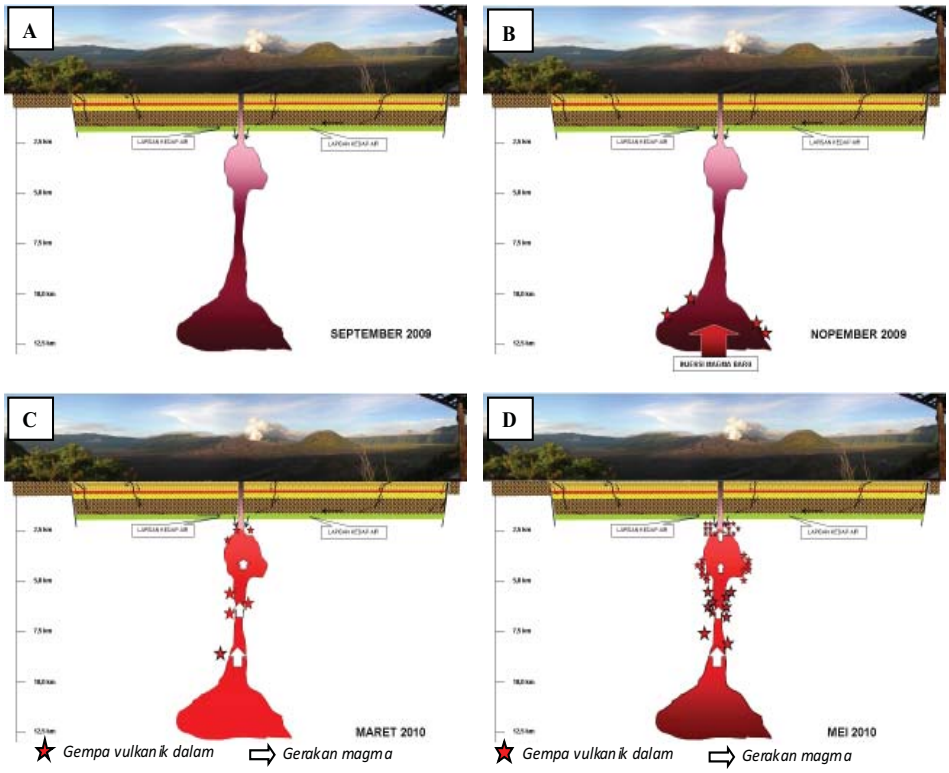
PEMBAHASAN

Sebelum erupsi tahun 2010 – 2011 Gunung Bromo telah mengalami peningkatan aktivitas gempa vulkanik dan berakhir pada bulan Oktober 2009, tetapi tidak diikuti oleh erupsi, hanya diikuti oleh hembusan material halus beberapa kali pada bulan September 2009. Setelah terjadinya hembusan tersebut, aktivitasnya menurun ditandai oleh menurunnya aktivitas gempa vulkanik dangkal secara nyata, sehingga Gunung Bromo pada bulan Oktober 2009 dinyatakan kembali dalam aktif normal.

Kegiatan seismik Gunung Bromo pada minggu pertama November 2009 terjadi satu kali gempa dengan kedalaman 12 km dan beberapa hari kemudian disusul oleh gempa berke-

Gambar 3. Pelepasan gas bercampur abu sebagai proses awal erupsi Gunung Bromo tahun 2010 – 2011 pada tanggal 23 November 2010. Foto: Ahmad Subhan Nur Fajidi.

Gambar 4. Hembusan material halus yang didominasi oleh abu sampai pasir kasar bersama-sama gas vulkanik yang dihasilkan oleh proses erupsi freatomagmatik. Foto diambil tanggal 30 Desember 2010.

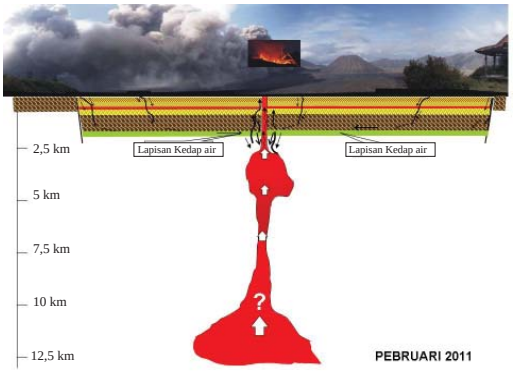


Gambar 6. Suplai magma belum terjadi pada September 2009 (A), Suplai magma baru terjadi pada bulan November 2009, terlihat dengan adanya gempa pada kedalaman > 12 km (B). Gerakan magma tersebut setelah empat bulan yaitu Maret 2010 kemudian terlihat lebih dangkal lagi (C) dan pada bulan Mei 2010 (D) gempa-gempa yang lebih dangkal meningkat tajam.

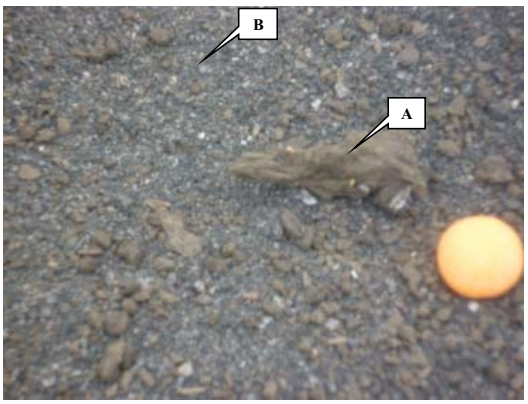
oleh gempa vulkanik pada kedalaman > 12,5 km di bawah Gunung Bromo, beberapa hari kemudian gempa-gempa vulkanik dengan kedalaman < 3 km meningkat tajam, terjadi sebanyak 42 kali (Gambar 7). Kemudian gejala ini diikuti oleh gempa dangkal kedalamannya < 1 km yang meningkat tajam.

Pada minggu kedua dan ketiga bulan November 2010 tercatat gempa vulkanik dangkal yang sangat besar jumlahnya mencapai 894 kejadian. Hal ini menunjukkan bahwa gerakan magma sudah hampir mencapai permukaan. Gejala tersebut dibuktikan dengan terjadinya tremor yang menerus dengan amplitudo antara 1,5 – 7 mm sampai beberapa hari kemudian. Puncaknya tremor dengan amplitudo maksimum 30 mm terjadi menerus pada tanggal 23 November 2010 yang diikuti oleh pelepasan gas vulkanik disertai abu vulkanik dari kawah Gunung Bromo setinggi 400 – 1.200 m.

Tremor yang menerus dengan amplitudo maksimum 30 mm ini menandakan bahwa saat itu terjadi pelepasan gas (Ripepe drr., 1996) dan material halus sebagai suatu proses awal dari erupsi suatu gunung api. Tremor



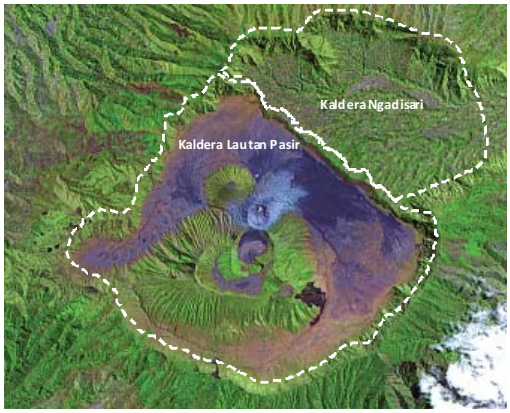
Gambar 8. Pada Februari 2010 suplai magma baru tidak dapat dideteksi lagi, karena yang terekam hanya tremor yang menerus dengan amplitudo maksimum 40 mm, menutup gempa lainnya. Lontaran material pijar terlihat bagaikan kembang api sebagai indikasi bahwa terjadi erupsi magmatik.



Gambar 9. Fragmen "juvenile" magma baru (A) yang tercampur dengan material lama (B) dalam endapan erupsi Gunung Bromo pada 24 Desember 2010, hasil erupsi freatomagmatik.

magma tersebut mengakibatkan terjadinya fragmentasi membentuk material halus yang kemudian disemburkan ke udara. Mekanisme proses kejadian tersebut diilustrasikan pada Gambar 10.

Air hujan yang jatuh di sekitar Kaldera Lautan Pasir dan Kaldera Ngadisari (Gambar 10) meresap ke bawah permukaan melewati la-



Gambar 10. Foto satelit Kaldera Lautan Pasir dan Ngadisari sebagai penangkap air hujan yang kemudian merembes ke bawah.

pisan batuan lolos air yang kemudian terperangkap pada kedalaman tertentu karena ada lapisan kedap air. Proses ini berlangsung bertahun-tahun sehingga air terakumulasi pada *"reservoir"* lapisan batuan akuifer tersebut, karena di sekitar kompleks Gunung Bromo - Tengger tidak dijumpai mata air dingin atau air panas yang cukup besar pada lereng dan kakinya sebagai jalan keluarnya air hujan yang terperangkap dalam kedua kaldera tersebut.

Air yang terperangkap tersebut bersentuhan dengan magma yang sedang menuju ke permukaan, maka terjadilah fragmentasi magma membentuk material halus yang disemburkan ke udara bercampur dengan batuan samping yang dilaluinya. Berdasarkan litologi yang dijumpai di sekitar komplek Gunung Bromo - Tengger, erupsi seperti ini sering terjadi di komplek gunung api ini. Pada umumnya terjadi pada pra sejarah (Zaennudin, 2011). Erupsi tersebut merupakan erupsi freatomagmatik. Secara sederhana dimodelkan seperti dalam Gambar 11.

Gambar 12. Fragmen batu apung yang dilemparkan sampai sejauh 2,2 km dari kawah. Ini menunjukkan endapan disekitar Pos Pengamatan Gunung Bromo hasil erupsi pada 23 Desember 2010. Foto diambil pada tanggal 25 Desember 2010.

Gambar 13. Jejak material padat yang berukuran 50 cm terlemparkan hingga sejauh 1.300 m dari kawah Gunung Bromo. Fragmen tersebut ketika mendarat di permukaan membentuk lubang berdiameter 90 cm dan kedalaman 50 cm. Sebagian pecah menjadi fragmen yang berukuran lebih kecil. Foto diambil pada tanggal 10 Februari 2011.

Sejak erupsi tersebut, setiap terjadi letusan selalu diikuti oleh suara gemuruh dan dentuman yang keras dan merupakan awal dari erupsi magmatik walaupun sesekali diselingi oleh erupsi freatomagmatik yang menyemburkan material halus. Erupsi magmatik yang diselingi erupsi freatomagmatik ini terjadi menerus sampai bulan Juli 2011. Bila erupsi magmatik terjadi pada siang hari maka kolom asap erupsi terlihat berwarna abu-abu tipis yang dibarengi oleh suara dentuman (Gambar 14A), tetapi bila terjadi pada malam hari terlihat sangat indah seperti kembang api raksasa yang muncul dari kawah Gunung Bromo dengan diiringi suara dentuman (Gambar 14B). Suara dentuman ini kadang-kadang cukup mengkhawatirkan petugas di Pos Pengamatan Gunung Bromo, yang berjarak sekitar 2.300 m dari bibir kawah dan hanya dibatasi oleh dinding Kaldera Lautan Pasir. Erupsi dikha-

diamati. Berdasarkan endapan tersebut dapat diketahui bahwa kegiatan diawali oleh erupsi freatik yang menghembuskan material-material tua (litik) dari pipa kepundan dan kawah kemudian disusul oleh erupsi freatomagmatik sampai terdobraknya penghalang pada saluran pipa kepundan dan diakhiri oleh erupsi magmatik. Dengan berakhirnya erupsi perioda 2010 – 2011 kondisi pipa kepundannya terbuka. Bila ada proses injeksi magma baru pada masa datang diduga akan terjadi proses erupsi yang berlangsung dalam waktu lebih singkat, karena sistem pipa kepundan yang terbuka.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada Ir. M. Hendrasto, M.Sc. yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk terlibat dalam Tim Tanggap Darurat Erupsi Gunung Bromo tahun 2010 - 2011, sehingga mendapatkan data yang sangat aktual seperti data visual, endapan hasil erupsi dan data kegempaan selama terjadi krisis dan erupsi Gunung Bromo. Di samping itu penulis sangat berterima kasih kepada para pengamat Gunung Bromo yang telah membantu penulis dalam melaksanakan kegiatan di lapangan, khususnya kepada Ahmad Subhan Nur Fajidi yang telah menyediakan data kegempaan selama kurun waktu September 2009 sampai November 2010.

ACUAN

Gottschämmer, E., and Surono, 2000, Locating tremor and shock sources recorded at Bromo Volcano, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 101, Elsevier, pp 199 – 209.

Kusumadinata, K., 1979, Data Dasar Gunung api di Indonesia, Direktorat Vulkanologi, Departemen Pertambangan dan Energi.

Minakami, T., 1974, Seismology of Volcanoes in Japan. In: Physical Volcanology, Developments in Solid Earth Geophysics, Vol. 6, Civetta, L. (Eds), Elsevier, Amsterdam, pp. 1 – 27.

Ripepe, M., Poggi, P., Braun, T., and Gordeev, E., 1996, Infrasonic waves and volcanic tremor at Stromboli. Geophys. Res. Lett. 23, 181 – 184.

Ratdomopurbo, A., and Poupinet, G., 1995, Monitoring a temporal change of seismic velocity in a volcano: Application to the 1992 eruption of Mt. Merapi (Indonesia), Geophys. Res. Lett., 22 (7), 775 – 778.

Zaennudin, A., 1990, The Stratigraphy and Nature of The Stratocone of Mt. Cemara Lawang in The Bromo – Tengger Caldera, East Java, Indonesia. Victoria Univ. of Wellington (Master thesis).

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

Zaennudin, A., 2011, Perbandingan antara erupsi Gunung Bromo Tahun 2010 – 2011 dan erupsi Kompleks Gunung Tengger. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. V. 2, No.1, h 21 – 37.