

FENOMENA GUNUNGAPI GAMALAMA TERHADAP DAMPAK ALIRAN LAHAR

Alwi La Masinu*, Mohamad Riva**, Darno La Mane***

* Program Studi Pendidikan Geografi STKIP Kie Raha Ternate, ** Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Kelas I Babullah Ternate, *** Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Pos Pengamatan Gunungapi Gamalama Ternate

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 25-4-2018

Disetujui: 8-5-2018

Kata kunci: banjir lahar;
curah hujan

ABSTRAK

Abstract: Penelitian ini dilakukan semenjak di bulan Maret tahun 2018. Tujuan awal dari penelitian ini adalah untuk mengungkapkan fenomena gunungapi Gamalama terhadap dampak aliran lahar yang terjadi di Kota Ternate. Lokasi daerah yang menjadi fokus untuk melakukan pengambilan data sekunder di dua instansi yang berbeda-beda diantaranya; Stasiun Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kelas I Babullah Ternate (BMKG), untuk mendapatkan catatan curah hujan selama satu tahun terakhir 2012. Badan Vulkanologi Mitigasi dan Bencana Geologi (BVMBG) Ternate untuk mendapatkan data kegempaan di tahun 2012. Fenomena erupsi gunungapi Gamalama Ternate tahun 2012 di picu oleh gempa tektonik lokal yaitu sebanyak 39 kali kejadian, gempa vulkanik dalam 39 kali kejadian, gempa vulkanik dangkal 11 kali kejadian, gempa tektonik jauh 432 kali kejadian, gempa Tektonik Terasa 5 kali kejadian, gempa Teleseismik 12 kali kejadian, gempa hembusan 400 kali kejadian, gempa tremor hembusan menerus 24 kali kejadian, gempa tremor harmonis menerus 9 kali kejadian dan gempa getaran banjir 10 kali kejadian. Dari jenis-jenis gempa yang terekam melalui seismograf hal ini akan memicu pergerakan aliran fluida untuk melewati pipa kepunduan karena ada desakan arus konveksi untuk menuju di bagian permukaan bumi sehingga terjadi erupsi gunungapi Gamalama. Saat terjadi erupsi material gunungapi masih terkumpul diatas fasies piroksimal kemudian terjadi hujan lebat menyebabkan terjadinya banjir lahar dingin (lahar sekunder). Potensi banjir lahar dingin akan lebih cepat untuk memindahkan material gunungapi dari atas fasies piroksimal, yang melewati lembah terutama di kemiringan lereng > 40%. Jumlah harian hujan yang terjadi cukup besar setiap bulannya di Kota Ternate terutama pada bulan Januari hingga Juli. Bulan Agustus sampai Oktober curah hujan berkurang kemudian terjadi peningkatan curah hujan di bulan November dan Desember.

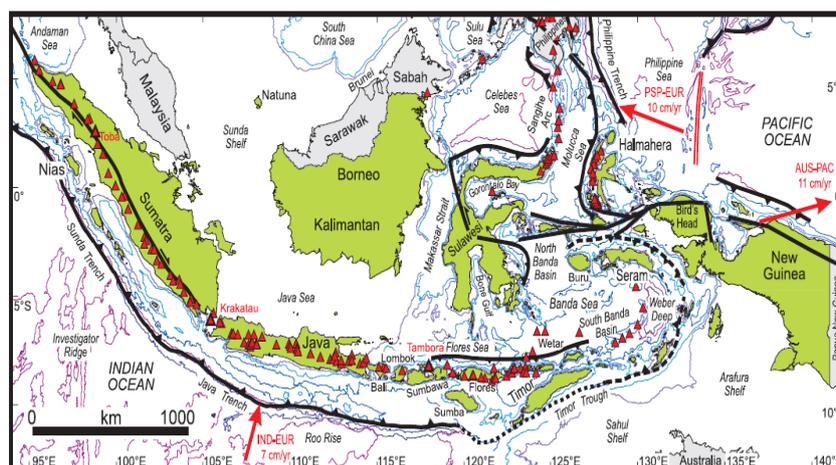
Alamat Korespondensi:

Alwi La Masinu
Program Studi Pendidikan Geografi
STKIP Kie Raha Ternate
Sasa, Ternate Selatan, Kota Ternate, Maluku Utara
E-Mail: Alwi_lamasinu@yahoo.com

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia mempunyai jalur gunungapi serta rawan erupsi (*eruption*) di sepanjang *ring of fire* mulai Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Banda, Maluku dan Papua (USGS 1999). Gunungapi tersebut berada di zona subduksi (zona batas pertemuan dua lempeng yang bersifat konvergen, bergesekan satu sama lain) dan merupakan jenis gunung komposit yang dapat mengeluarkan lahar panas, awan panas, abu vulkanik dan material lainnya yang cukup besar yang dapat mempengaruhi kondisi atmosfer serta menyebabkan gempa vulkanik, longsor, hingga tsunami jika berasal dari gunung api laut. Di Indonesia terdapat sekitar 127 gunungapi yang tersebar di berbagai pulau dan beberapa diantaranya ialah Gamalama di Ternate, Dokono di Halmahera Utara, Gamkonora di Halmahera Barat, Gunung Ibu di barat laut pulau Halmahera dan Kei Besi di Halmahera Selatan. Jalur gunungapi tersebut merupakan sumber terjadinya gempa dan letusan, sehingga secara fisik gunungapi sebagai pemicu terjadinya bencana gempa vulkanik, lahar panas, awan panas, longsor, dan tsunami jika berasal dari gunungapi laut.

Hall (2009) mengatakan bahwa setidaknya ada 95 gunungapi di Indonesia yang telah meletus semenjak 1500 Masehi, dan 32 gunungapi memiliki catatan erupsi yang sangat besar dengan indeks ledakan vulkanik (VEI) lebih besar dari 4 dan 19 gunung api telah meletus dalam 200 tahun terakhir termasuk Tambora pada tahun 1815 (VEI) lebih besar dari 7 dan Krakatau pada tahun 1883 (VEI) lebih besar dari 6.



Gambar 1 Geografi Indonesia dan wilayah sekitarnya menunjukkan batas tektonik lempeng dan aktivitas gunung berapi (Hall 2009).

Indonesia berbayang hijau, dan negara-negara tetangga berbayang abu-abu pucat. Kontur bathimetrik berada pada 200 meter, 1000 meter, 3000 meter, 5000 meter, dan 6000 meter. Lokasinya dari tiga letusan eksplosif paling terkenal dari Indonesia ditunjukkan dalam teks merah. Panah merah menunjukkan vektor konvergensi lempeng untuk Plat India (IND-EUR) dan lempeng Laut Filipina (PSP-EUR) relatif terhadap Eurasia dan untuk lempeng Australia relatif terhadap Pasifik (AUSPAC).

Gunung api adalah lubang atau saluran yang menghubungkan suatu wadah berisi bahan yang disebut magma. Suatu ketika bahan tersebut ditembakkan lewat saluran ke permukaan bumi dan sering terhimpun di sekeliling sehingga membangun suatu kerucut yang dinamakan kerucut gunung api. Sebagian besar magma naik melalui pipa kepundan, muntahan lava yang berulang-ulang membentuk sisi gunung yang terjal, mengelilingi pipa kepundan utama (Mulyo 2008).

Magma dan gas keluar melalui pipa kepundan sekunder atau fumarola yang mengeluarkan gas dan uap. bagian dalam gunung berapi mungkin berupa saluran, lubang dan retakan. Setelah terjadi letusan, pipa kepundan tertutup magma yang mendingin dan mengeras (Philip dan Neil *et al*; 2007).

Macdonald (1972) mendefinisikan gunungapi sebagai tempat atau bukaan yang menjadi titik awal bagi batuan pijar dan atau gas yang keluar ke permukaan bumi dan bahan sebagai produk yang menumpuk di sekitar bukaan tersebut membentuk bukit atau gunung. Tempat atau bukaan tersebut disebut kawah atau kaldera, sedangkan batuan pijar dan gas adalah magma. Batuan atau endapan gunungapi adalah bahan padat berupa batuan atau endapan yang terbentuk sebagai akibat kegiatan gunungapi, baik secara langsung maupun tidak langsung. Grove (2000) mendefinisikan magma sebagai batuan pijar yang terdiri dari tiga atau lebih komponen lelehan cair silikat, kristal padat dan gelembung gas. Magma yang membeku di dalam bumi akan menghasilkan batuan intrusi atau batuan plutonik, sedangkan lava adalah magma yang membeku di permukaan bumi.

Ternate merupakan pulau vulkanik yang hampir berbentuk lingkaran dengan jari-jari 5,8 km tipe strato A dan puncak ketinggian mencapai 1.715 meter (mdpl) yang letusan pertama kali terjadi di tahun 1538, kegiatan erupsinya sebagian terjadi pada masa sejarah manusia. Dari catatan sejarah letusan, masa terjadinya letusan berjangka pendek dan umumnya dalam waktu beberapa hari saja. Jarak antara letusan memperlihatkan interval istirahat minimal 1 tahun dan maksimal 44 tahun. Berdasarkan data statistik letusan yang terjadi dalam masa sejarah rata-rata 5,5 tahun (Bahrudin, Martono dan Djuhara 1996).

Berbagai jenis kegiatan sebelum letusan, gempa bumi (tektonik) dan gempa vulkanik merupakan gejala umum yang biasa terjadi, hal ini disebabkan karena gunungapi Gamalama Ternate terletak di daerah zona pertemuan lempeng besar yakni Eurasia Pasifik dan Indo-Australia sehingga wilayah Maluku Utara di bagi menjadi dua bagian yaitu pulau vulkanik dan pulau non vulkanik. Pulau vulkanik menempati bagian barat, yakni Pulau Ternate, Pulau Tidore, Pulau Moti, Pulau Mare, Pulau Makian, dan Pulau Sangihe. Sedangkan pulau non-vulkanik yaitu Pulau Bacan, Pulau Kasiruta, Pulau Talaud, dan Pulau Obi (Hall dan Spakman 2003).

Berdasarkan hasil laporan tentang analisa kegempaan yang terekam pada seismograf menunjukkan bahwa dominasi gempa tektonik selalu di imbangi dengan gempa vulkanik sehingga dapat dikatakan bahwa gempa tektonik merupakan pemicu terjadinya gempa vulkanik yang dapat mengakibatkan letusan gunungapi Gamalama, data kegempaan menunjukkan bahwa terutama sejak tahun 1990 semua letusan diawali dengan meningkatnya intensitas gempa bumi tektonik (Bahrudin, Martono dan Djuhara 1996).

METODE

Penelitian ini dilakukan semenjak di bulan Maret tahun 2018. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengumpulkan sumber data sekunder di dua instansi yang berbeda-beda diantaranya; Stasiun Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Kelas I Babullah Ternate (BMKG), untuk mendapatkan pencatatan curah hujan selama satu tahun terakhir 2012. Badan Vulkanologi Mitigasi dan Bencana Geologi (BVMBG) Ternate untuk mendapatkan data kegempaan di tahun 2012 menggunakan peralatan pemantauan seismik atau analisis

Tremor vulkanik untuk mendapatkan jenis-jenis gempa bumi yang terekam melalui alat seismograf.

PEMBAHASAN

a. Aktifitas Kegempaan

Aktifitas kegempaan dan gunungapi Gamalama Ternate selalu di pantau oleh satu lembaga formal yaitu Badan Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (BVMBG) melalui pos pengamatan gunung api yang secara administratif berada di Kelurahan Sangaji Utara Kota Ternate Utara. Di Tahun 2012 Gamalama Ternate terjadi aktifitas kegempaan di bulan Mei serta meningkatnya gempa-gempa hambusan dengan amplitude maksimum 45 mm yang di rekam oleh alat seismograf PS-2 melalui pos pengamatan gunung api. Aktifitas kegempaan yang mendominasi diantaranya gempa tektonik lokal yaitu sebanyak 39 kali kejadian, gempa vulkanik dalam 39 kali kejadian, gempa vulkanik dangkal 11 kali kejadian, gempa tektonik jauh 432 kali kejadian, gempa tektonik terasa 5 kali kejadian, gempa Teleseismik 12 kali kejadian, gempa hambusan 400 kali kejadian, gempa tremor hambusan menerus 24 kali kejadian, gempa tremor harmonis menerus 9 kali kejadian dan gempa getaran banjir 10 kali kejadian.

b. Dampak aliran lahar

Banjir lahar yang melanda Kota Ternate terjadi pada tanggal 8-9 Mei 2012 disertai dengan hujan yang begitu deras. Akibat dari banjir lahar ini menyebabkan kerusakan di tiga kecamatan yaitu Kecamatan Kota Ternate Utara, Kecamatan Kota Ternate Tengah dan Kecamatan Kota Ternate Selatan serta merusak fasilitas pemerintah berupa jembatan dan jalan terdapat beberapa korban jiwa serta merusak rumah penduduk yang berada di sepanjang aliran sungai yang berhulu di puncak



Gambar 2 (a) rumah mengalami kerusakan akibat dari luncuran bebatuan gunungapi di kelurahan dufa-dufa (b) kerusakan tanggul sungai, rumah roboh dan jembatan rusak di kelurahan Tubo (sumber data Badan Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Pos Pengamatan Gunungapi Gamalama Ternate 2012).



Gambar 3 (c) Tumpukan material sedimentasi menutupi badan jalan (d) dinding rumah hancur dan sebagian besar badan jalan di tutupi material sedimen (sumber data Badan Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Pos Pengamatan Gunungapi Gamalama Ternate 2012)

Lahar sebagai aliran lumpur pekat yang terbentuk dari campuran air, partikel, dan lumpur. Komponen air dapat berasal dari air hujan, danau kawah dan mencairnya es, sedangkan partikelnya berasal dari longsoran piroklastik yang telah ada sebelumnya maupun material yang dihasilkan langsung dari letusan. Sementara itu, lahar hujan (lahar sekunder) atau yang lebih dikenal sebagai lahar dingin merupakan material gunungapi yang belum terkonsolidasi, yang terkumpul di bagian puncak dan lereng, pada saat atau beberapa saat setelah erupsi kemudian terjadi hujan, maka bahan-bahan piroklastik tersebut akan diangkat dan bergerak ke bawah sebagai aliran pekat dengan densitas tinggi. Material piroklastik mulai dari bongkah, bom vulkanik, lapili, dan debu akan bergerak ke bawah, melalui lembah-lembah pada lereng gunung berapi. Karena densitasnya yang besar, gerakannya dikendalikan oleh tarikan gaya berat dan topografi, maka aliran lahar mampu mengangkut bongkah-bongkah ukuran besar hingga jarak yang sangat jauh. Lahar hujan terjadi beberapa waktu setelah periode erupsi berlangsung. Lahar hujan biasanya lebih sering terjadi dibandingkan dengan lahar letusan (Mulyaningsih 2010). Letusan gunung berapi membahayakan orang yang tinggal di sekitarnya terutama yang berada dalam zona risiko tinggi (kawasan rawan bencana), baik kelompok anak-anak maupun muda dan dewasa serta tua, wanita maupun pria, sehat maupun sakit, miskin maupun kaya, pemilik tanah pertanian maupun buruh tani (Coppola dan Damon 2007).



Gambar 4 Fasies sentral atau daerah puncak terdapat kawah kerucut gunungapi Gamalama dan masih banyak material vulkanik (sumber gambar Program Studi Pendidikan Geografi STKIP Kie Raha Ternate tahun 2018)

Daerah yang terlanda banjir lahar dingin tanggal 9 Mei 2012 diantaranya:

Kecamatan Ternate Utara

- a. Kelurahan Tubo
- b. Kelurahan Tofure
- c. Kelurahan Dufa-Dufa

Kecamatan Ternate Tengah

- a) Kelurahan Marikurubu
- b) Kelurahan Salahudin
- c) Kelurahan Kalumpang
- d) Kelurahan Kampung Pisang
- e) Kelurahan Maliaro
- f) Kelurahan Takoma

Kecamatan Ternate Selatan

- a) Kelurahan Tanah Tinggi
- b) Kelurahan Toboko

Jumlah pengungsi sebanyak 1041 Jiwa dari 272 KK, Jumlah rumah yang rusak total, rusak berat dan rusak ringan berjumlah 910 unit rumah. Rekapitulasi jumlah jiwa dan kepala keluarga korban bencana banjir lahar di beberapa kelurahan dalam wilayah Kota Ternate tanggal 9 Mei 2012 (sumber data Badan Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Pos Pengamatan Gunungapi Gamalama Ternate 2012)

No	Asal Kelurahan	Jumlah KK	Jumlah Jiwa	Laki-laki	Perempuan
1	Eks Kantor Gubernur	35	142	72	70
2	Kantor Lurah Takoma	21	75	37	38
3	Kantor Lurah Maliaro	38	132	70	62
4	SMK N 2 Ternate	164	635	325	310
5	STAIN Ternate	14	57	27	30
	Jumlah	272	1041	531	510

Dari gambar tersebut diatas terdapat penumpukan material vulkanik di atas fasies sentral yang berulang kali terjadi erupsi dan terakhir di tahun 2015. Material vulkanik di atas fasies sentral atau daerah puncak kapan saja dapat meluncur ke daerah fasies distal sewaktu terjadi musim hujan dengan waktu yang sangat lama, meyebabkan transportasi sedimentasi semakin besar dan kerusakan akibat dari penimbunan material vulkanik sebagai sedimentasi seperti pada gambar 1.3

Selain itu juga bahwa kemiringan lereng merupakan salah satu indikator ancaman yang terkait dengan banjir lahar, tingkat kemiringan lereng sangat berpengaruh terhadap tingkat penampungan volume lahar. Semakin tinggi tingkat kemiringan lereng yang berarti curam, diasumsikan dapat menampung volume lahar yang masuk, sedangkan jika lerengnya landai maka banjir lahar akan langsung diteruskan ke daerah sekitar sungai. Aliran lahar dengan massa jenis besar meluncur dengan percepatan makin besar, karena laju alirannya ditopang gaya gravitasi. Aliran tersebut biasanya berkembang pada daerah dengan perbedaan morfologi berkemiringan lereng tinggi ke landai, atau yang sering dikenal sebagai daerah tekuk lereng. Laju aliran lahar makin kencang dengan tenaga yang besar pada tipe gunungapi strato. Volume Material Lepas Material hasil erupsi memiliki sifat berat maupun ringan. Tersedianya sumber material sedimen di wilayah hulu alur, di

lereng-lereng atau di sekitar puncak gunung sebagai bagian dari bahan pembentuk aliran lahar (Nur dan Dwi 2012).

Maka secara umum morfologinya dapat dibagi menjadi tiga satuan morfologi. Pembagian satuan morfologi tersebut sebagai berikut:

1) Morfologi Kaki Gunung Gamalama

Merupakan daerah kaki gunungapi yang datar sehingga hampir datar, terletak di kaki timur, utara dan selatan dari gunung Gamalama dan terhampar memanjang sejajar pantai. Dilihat dari bentuk pendataran pantai ini, proses awalnya adalah adanya proses erosi yang terjadi di permukaan tubuh gunungapi tersebut, kemudian material yang tererosi diendapkan ke tempat yang kemiringan lerengnya agak landai, pada bagian tubuh gunung terjal material erosi akan masuk ke dalam laut sehingga terbentuk endapan. Kemiringan lereng gunungapi ini sangat berpengaruh terhadap terbentuknya pedataran di pulau Ternate yaitu yang paling luas adalah pedataran Timur sekarang menjadi pusat Kota Ternate, pedataran Selatan dan Utara yang relatif kecil.

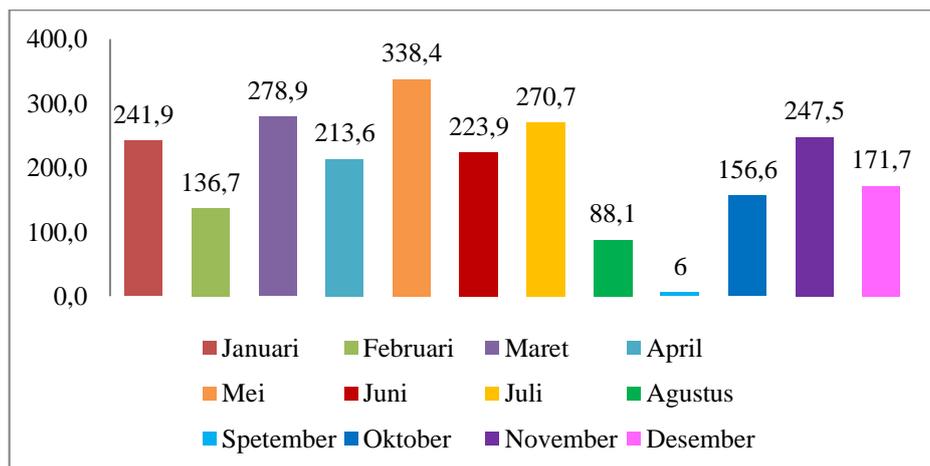
2) Morfologi Tubuh Gunung Gamalama

Satuan ini merupakan bagian terbesar dari morfologi gunungapi di pulau Ternate, mulai dari kaki hingga tubuh pada elevasi 1000 meter, dengan kemiringan lereng antara 8%-40%. Di bagian Timur- Utara tubuh gunung Gamalama kemiringan lereng relatif lebih landai dibandingkan di bagian Barat. Pada morfologi ini dijumpai 2 buah kaldera yang dikenal dengan danau Tolire dan Laguna, hal ini menunjukkan bahwa gunung Gamalama pernah terbentuk kawah-kawah lain selain di puncak gunung. Batuan pembentuk morfologi ini adalah endapan vulkanik yang berasal dari gunungapi itu sendiri, yang terdiri dari breksi vulkanik, stufa dan pasir.

3) Morfologi Puncak Gunung Gamalama

Satuan ini merupakan bagian paling atas puncak gunung, pada elevasi di atas 1.000 meter dengan kemiringan lereng $> 40\%$, di daerah puncak memperlihatkan perpindahan titik kegiatan dari Selatan ke Utara (Bronto, Hadisantono, dan Lockwood 1982) sejarah gunung Gamalama awalnya dimulai terbentuknya pematang kawah terluar (tertua) berada di bagian tenggara disebut Bukit Melayu. Kemudian pematang kawah tengah membuka ke arah utara dikenal dengan nama Bukit Keramat atau Bukit Mediana (+1.669 m), selanjutnya terbentuk kawah baru berada dibagian Utara berbentuk lingkaran dengan diameter sekitar 300 meter, puncak setinggi +1.715 m dikenal dengan nama Gunung Arfat atau Piek van Ternate. Pulau Ternate dilihat dari stratigrafinya, tersusun oleh Gunungapi Holosen terdiri dari breksi vulkanik, lava andesit, pasir dan tuff.

Kota Ternate memiliki curah hujan yang berbeda-beda dalam setiap bulan terutama terjadi pada tahun 2012. Berdasarkan rekapan data curah hujan menunjukkan bahwa pada bulan Januari curah 241.9 mm bulan Februari curah 136.7 mm. Kemudian terjadi peningkatan curah hujan secara signifikan rata-rata berada diantara bulan Maret hingga Juli 278.9 mm 213.6 mm 338.4 mm 223.9 mm dan 270.7 mm. Di bulan Agustus dan September curah hujan sudah mulai berkurang 88.1 mm dan 6 mm kemudian pada bulan Oktober, November dan Desember curah hujan sudah mulai meningkat lagi 156.6 mm 247.5 mm dan 171.7 mm. Sebaran curah hujan selengkapnya dapat dilihat dalam grafik berikut ini.



Gambar 4. Grafik curah hujan (Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Kelas I Babullah Ternate 2012).

KESIMPULAN

Dari analisis data yang dilakukan dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Fenomena gunungapi Gamalama dipicu oleh gempa tektonik lokal yaitu sebanyak 39 kali kejadian, gempa vulkanik dalam 39 kali kejadian, gempa vulkanik dangkal 11 kali kejadian, gempa tektonik jauh 432 kali kejadian, gempa Tektonik Terasa 5 kali kejadian, gempa Teleseismik 12 kali kejadian, gempa hembusan 400 kali kejadian, gempa tremor hembusan menerus 24 kali kejadian, gempa tremor harmonis menerus 9 kali kejadian dan gempa getaran banjir 10 kali kejadian. Gempa tersebut dapat memicu aliran fluida keluar menuju di bagian permukaan bumi dan membentuk material gunungapi
2. Proses erupsi Gamalama terjadi pada tanggal 8-9 Mei 2012 bertepatan dengan terjadinya musim hujan yang sangat lebat mengakibatkan terjadinya banjir lahar dingin

DAFTAR RUJUKAN

- Bronto, S., (2006). Fasies Gunungapi dan Aplikasinya. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol.2 (1). 59-71. Pusat Survei Geologi Bandung Indonesia.
- Bronto S., Hadisantono R.D., dan Lockwood J.P., (1982). *Geologic Map of Gamalama Vulcano* Ternate North Maluku
- Bahrudin R., Martono A., dan Djuhara A., (1996). *Disaster Prone Zone Map Of Gamalama Vulcano* Ternate Maluku
- Coppola, Damon P (2007): *Introduction to International Disaster Management*. Elsevier, Oxford.
- Grove T.L. 2000. Origin of Magma, in Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J., (Ed.), *Encyclopedia of Volcanoes*, Academic Press., San Diego, hal. 133-147.
- Hall R., (2009). *Indonesia Geology*. Royal Holloway University of London
- Hall R., dan Spakman W., 2003, *Australian Plate Tomography and Tectonics in Evolution and Dynamics of the Australian Plate*, Geological Society of America Special Papers 372, p377
- Mulyo A., (2008). *Pengantar Ilmu Kebumihan*. Penerbit Pustaka Setia Bandung

Jurnal Pendidikan Geografi:
Kajian, Teori, dan Praktik dalam Bidang Pendidikan dan Ilmu Geografi
Tahun 23, Nomor 2, Jun 2018 , Hal 113-121

Mulyaningsih, S., (2010). Pengantar Geologi Lingkungan, Cetakan 1, Percetakan Panduan
Yogyakarta

Macdonald, A.G., 1972, Volcanoes, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey,
510h.

Nur A., dan Dwi I.,P., (2012). Tinjauan Dampak Banjir Lahar Kali Putih, Kabupaten
Magelang Pasca Erupsi Merapi 2010. Jurnal Teknologi Technoscientia Vol 5. No I
Agustus 2006 hal 22.

Philip S., Neil M., dan Nicola B., (2007). Planet Yang Bergejolak. Penerbit Erlangga
USGS (1999) Geological survey *This Dynamic Earth : The Story of Plate Tectonic.*