

ANALISIS KARAKTERISTIK DAN KLASIFIKASI GEMPA PADA GUNUNG LOKON BERDASARKAN REKAMAN DATA SEISMOGRAM APRIL – MEI 2012

Leovina Prinanda Putri¹, Prof.Drs.Suharno, B.Sc., M.Sc., Ph.D¹,

Bagus Sapto Mulyatno, S.Si, M.T¹, Kristiato²

¹Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung

²PVMBG

ABSTRACT

This research has been carried out aiming to classify earthquakes at Lokon Volcano and analyze the character of the earthquakes to determine the mechanism of the eruption of Lokon Volcano is based on the data recorded seismograms April to May 2012. The stages in analyzing the characteristics of the earthquake is the waveform analysis and spectral analysis . On waveform analysis aims to determine the P wave comes time (T_p) and S waves (T_s) and the duration of the earthquake . While spectral analysis aimed to determine the frequency of these earthquakes . The second stage of the obtained classification of volcanic earthquakes in the earthquakes , shallow volcanic earthquakes , earthquake monochromatic , and tectonic earthquake . Shallow volcanic earthquakes located at depths of 0.5 to -1.5 km , duration range from 3 to 16 seconds with a frequency range from 4 Hz to 18 Hz . Volcanic earthquakes located at depths -6 km to -1 , duration range from 6 to 20 seconds with a frequency range from 6 Hz to 13 Hz . Earthquake discovered long period is two monochromatic low frequency earthquakes at depths of up to -1.5 -2 km which has two peaks in each of the station frequency is the frequency of the dominant and sub - dominant . Dominant frequency of the seismic monochromatic range 2.88 Hz to 4.88 Hz and sub - dominant frequency range from 5.04 Hz to 8.7 Hz . Duration of tectonic earthquakes about 50 until 470 seconds with a frequency range from 1 to 6 Hz . Volcanic earthquakes and monochromatic associated with normal faulting . Increased seismic activity indicates impending eruption .

Keywords : *hypocenter , classification earthquake , monochromatic earthquake , eruption mechanisms.*

PENDAHULUAN

Gunung Lokon merupakan salah satu gunungapi aktif di antara lima gunungapi aktif yang ada di Minahasa. Gunung Lokon yang berlokasi di Tomohon, Provinsi Sulawesi Utara merupakan salah satu gunungapi yang sering meletus. Dalam kurun waktu antara tahun 2000 sampai dengan 2003, letusan berlangsung secara beruntun hampir setiap tahun. Setelah istirahat selama 4 tahun, aktivitas Gunung Lokon meningkat kembali pada Desember 2007. Peningkatan aktivitas vulkanik tersebut ditandai oleh peningkatan jumlah gempa vulkanik dan gempa hembusan. Sampai dengan awal 2011 jumlah gempa vulkanik berfluktuasi antara 100 - 800 kejadian setiap bulan (Kristianto, 2012).

Penelitian mengenai gempa monokromatik (*quasi monotonic*) pertama kali dilakukan oleh Yamamoto, dkk pada Gunung Kuchinoerabujima di Jepang (1996) kemudian di Indonesia oleh Triastuty, dkk pada Gunung Papandayan di Jawa Barat (2001).

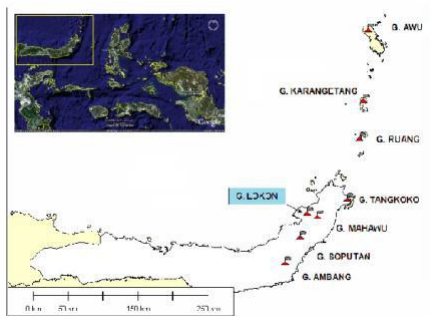
Analisis gempa vulkanik telah dilakukan untuk memperoleh perubahan karakteristik dan mekanisme sumber untuk memahami proses vulkanik. Jenis gempa vulkanik tersebut yang diamati pada banyak gunungapi sebelum dan selama letusan magmatik (Triastuty, 2009).

Dalam penelitian ini digunakan data gempa dari hasil rekaman lima stasiun di Gunung Lokon, yaitu stasiun Empung (EMP), Kinilow (KIN), Sea (SEA), Tatawiran (TTW), dan Wailan (WLN) pada bulan April – Mei 2012. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengklasifikasikan gempa vulkanik dangkal (Vb), vulkanik dalam (Va), gempa monokromatik, dan gempa tektonik berdasarkan frekuensinya, serta untuk menemukan mekanisme gempa di Gunung Lokon.

GEOLOGI REGIONAL

Berdasarkan bentuk morfologinya, puncak Gunung Lokon berdampingan dengan puncak Gunung Empung dengan jarak antara

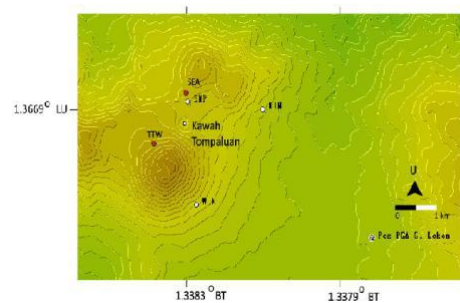
keduanya 2,3 km, sehingga merupakan gunung kembar, oleh karena itu sering disebut Kompleks Lokon - Empung. Secara geografis puncak Gunung Lokon terletak pada $1^{\circ}21,5'$ LU dan $124^{\circ}47'$ BT dengan ketinggian 1579,5 m dpl, sedangkan puncak Gunung Empung pada $1^{\circ}22'$ LU dan $124^{\circ}47'$ BT mencapai ketinggian 1340 m dpl (Kusumadinata, 1979).



Gambar 1 Peta lokasi Gunung Lokon, Sulawesi Utara (Kristianto dkk, 2012)

Berdasarkan sejarah kegiatannya, letusan semula berpusat di puncak Empung yang berlangsung dalam tahun 1350 dan 1400. Sejak tahun 1829 titik kegiatannya pindah ke pelana antara dua puncak yang dikenal dengan Kawah Tompaluan dan menjadi kawah aktif hingga saat ini. Secara geografi Kawah Tompaluan berada pada posisi $1^{\circ}21'52,68''$ LU dan $124^{\circ}47'57,58''$ BT (Kusumadinata, 1979).

Pemantauan kegempaan Gunung Lokon menggunakan 5 stasiun seismik (Tabel 2.1) yang terdiri dari stasiun Empung (EMP), Sea (SEA), Kinilow (KIN), Tatawiran (TTW), dan Wailan (WLN). Data gempa analog ditransmisikan dengan gelombang radio dari setiap stasiun seismik di lapangan menuju Pos PGA Lokon. Data diakuisisi dan menjadi data digital dengan sistem *earthworm* dan *argalite* serta disimpan dalam format *seisan* dan *win*.



Gambar 2. Peta lokasi stasiun seismik Gunung Lokon (Kristianto dkk, 2012)

Aktivitas Vulkanik Dan Karakter Letusan

Dalam abad ke 14 pusat letusan kompleks Gunung Lokon – Empung berada di puncak Gunung Empung. Sejak 1829 titik letusan bergeser ke arah selatan, yaitu di pelana antara puncak Gunung Lokon dan puncak Gunung Empung yang dikenal dengan Kawah Tompaluan. Interval

letusan yang pendek antara 1 – 8 tahun, sedangkan interval letusan yang panjang sekitar 64 tahun. Karakter letusan umumnya berupa letusan freatik – freatomagmatik, terkadang diakhiri dengan letusan magmatik (Kristianto, 2012).

METODE PENELITIAN

Data yang didapatkan dari penelitian ini merupakan data seismogram rekaman Gunung Lokon periode April – Mei 2012. Dari data-data tersebut dilakukan analisa *waveform*, analisa spektral dan menentukan hiposenter.

Analisis *Waveform*

Analisis *waveform* bertujuan untuk mengetahui bentuk gelombang dan *picking* gelombang. Proses *picking* bertujuan untuk menentukan waktu tiba gelombang primer (tp) dan gelombang sekunder (ts) pada suatu stasiun gempa. Khusus untuk gempa monokromatik, *picking* gempa dilakukan dengan melihat *trigger*.

Analisis Spektral

Analisis spektral diterapkan dalam penelitian ini dan didasarkan pada salah satu parameter fisis yang berkaitan dengan fenomena geofisika yaitu frekuensi. Frekuensi inilah yang menjadi pusat informasi dalam analisis karakteristik sinyal seismik pada suatu gunungapi. Data gempa Gunung Lokon selama periode April – Mei 2012 dispektralkan untuk melihat fekuensinya.

Plotting Hiposenter dan Episenter

Penentuan hiposenter gempa menggunakan bantuan *software* GAD (*Geiger's method with Adaptive Damping*). buatan K. Nishi Ph.D. (*Silver Expert JICA Indonesia*), yaitu *software* untuk mencari titik X, Y, Z, setiap gempa. *Software* ini menggunakan prinsip metoda lingkaran, dimana data yang diperlukan untuk menjalankan *software* ini adalah waktu tiba gelombang S dan P, serta arah gelombang awal untuk setiap gempa minimal dari 3 stasiun. Prosesnya adalah memasukkan data hasil *picking* (*arrival.dat*), koordinat stasiun (*station.dat*), dan kecepatan (*velocity.dat*) yang disimpan dalam

format ASCII (dalam *Notepad* dengan format DAT.file). Kemudian jalankan *software* GAD. Hasil penentuan hiposenter akan keluar secara otomatis dengan nama "Result.dat". Selanjutnya dihasilkan koordinat X, Y, dan Z untuk setiap gempa. Titik episenter dihasilkan dari plot titik X dan Y, sedangkan episenter diperoleh dengan memplot titik X dan Z atau Y dan Z. Kemudian menggunakan *software* Microsoft Excel untuk memplot titik-titik tersebut menjadi sebuah grafik yang hasil akhirnya berupa peta sebaran episenter dan hiposenter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengolahan Data

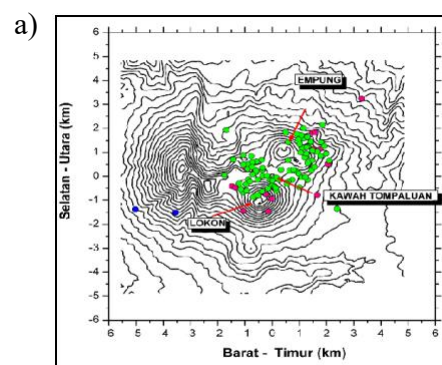
Setelah melakukan pengolahan data rekaman gempa bulan April - Mei 2012, didapatkan 24 gempa Va, 99 gempa Vb, 9 gempa tektonik, dan 2 gempa monokromatik.

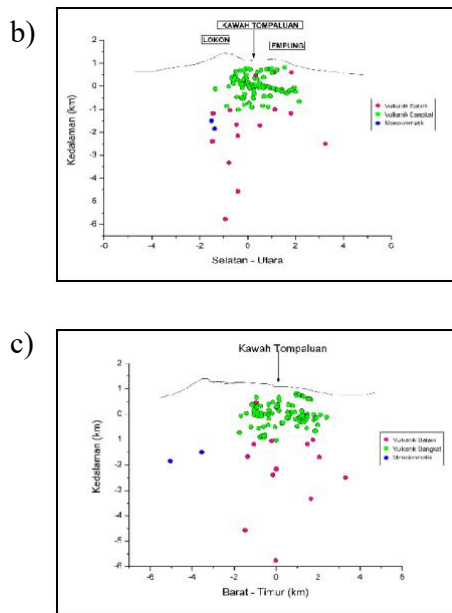
Pada bulan April 2012, tidak terlalu banyak aktivitas kegempaan. Terjadi 3 gempa tektonik dari tanggal 2 s.d 4 April 2012 dan 1 gempa vulkanik dangkal pada tanggal 19 April 2012.

Setelah itu tidak ada aktivitas kegempaan lagi.

Pada bulan Mei 2012 terjadi peningkatan jumlah gempa. Pada tanggal 2 Mei 2012 terjadi 15 gempa vulkanik dangkal. Kemudian terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada tanggal 17 Mei 2012. Sebanyak 16 gempa vulkanik dalam, 58 vulkanik dangkal, 1 gempa monokromatik, dan 1 gempa tektonik terjadi pada 17 Mei 2012. Setelah itu terjadi penurunan gempa yang cukup drastis di tanggal 18 Mei 2012. Hanya terdapat 2 gempa vulkanik dangkal saja. Pada tanggal 23 Mei 2012 hanya terjadi 1 gempa monokromatik. Dan pada 26 Mei 2012 hanya terjadi 1 gempa vulkanik dangkal.

Episenter dan Hiposenter



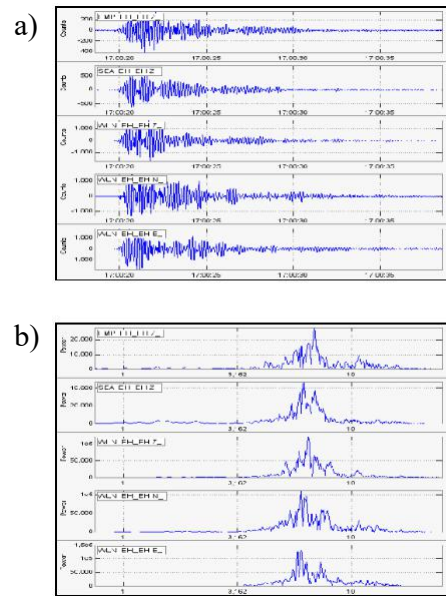


Gambar 3 Persebaran episenter (a) dan episenter (b dan c) gempa vulkanik

Terlihat pada gambar 3 b dan c, terdapat pendistribusian gempa vulkanik serta monokromatik disekitar kawah pada kedalaman 0,5 s.d -6 km. Untuk gempa vulkanik dalam tersebar pada kedalaman -1 s.d -6 km, sedangkan untuk vulkanik dangkal tersebar pada 0,5 s.d -1,5 km. Gempa monokromatik berada pada kedalaman -1,5 s.d 2 km dari bawah kawah. Persebaran gempa-gempa tersebut terdapat di sekitar kawah (gambar 3 a).

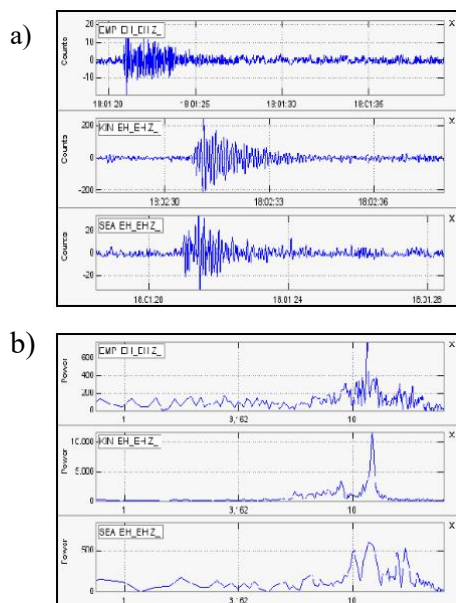
Gempa Vulkanik

Gempa vulkanik yang terekam adalah gempa vulkanik dalam (Va) dan gempa vulkanik dangkal (Vb).



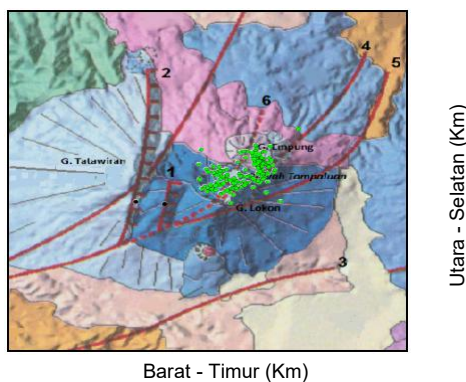
Gambar 4 Rekaman gempa Va 19 April 2012 00:00:19.730 (a) dan hasil frekuensi gempa (b)

Gambar 4 merupakan rekaman gempa Va pada tanggal 19 April 2012 pukul 00:00:19.730 yang terekam di stasiun EMP, SEA, dan WLN (3 komponen) dengan frekuensinya secara berturut-turut sebesar 6,61 Hz, 5,97 Hz, 6,45 Hz, 5,97 Hz, 5,85 Hz. Adapun durasi gempanya adalah 15,73 detik, 17,94 detik, 19,59 detik, 19,74 detik, dan 20,75 detik. Rekaman di stasiun KIN dan TTW tidak dapat ditampilkan dikarenakan tidak merekam dengan baik sehingga berbentuk *noise*.



Gambar 5 Rekaman gempa Va 17 Mei 2012 pukul 01:01:20.856 (a) dan hasil frekuensi gempa (b)

Gambar 5 rekaman gempa Va tanggal 17 Mei 2012 pukul 01:01:20.856. Gempa hanya terekam di stasiun EMP, KIN, dan SEA dengan frekuensinya sebesar 6,42 Hz, 6,64 Hz, dan 4,16 Hz, serta durasinya selama 11,62 detik, 11,82 detik, dan 12,09 detik.



Gambar 6 Peta sebaran gempa vulkanik berasosiasi dengan struktur geologi di Komplek Gunung Lokon (Haerani, dkk. 2010)

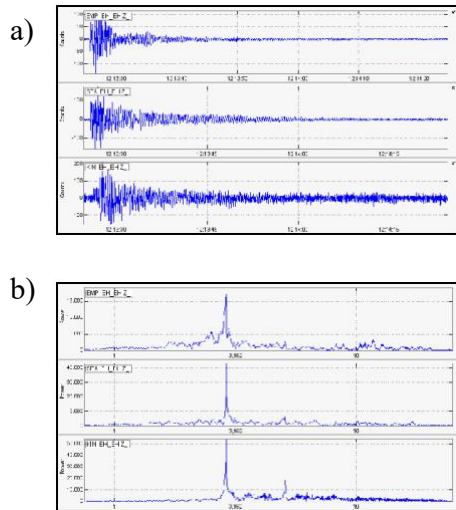
Lamanya durasi gempa dan besarnya frekuensi gempa ini berasosiasi dengan struktur geologi Komplek Gunung Lokon. Ditinjau dari struktur geologi (gambar 23) dapat dilihat bahwa gempa - gempa vulkanik yang terekam selama April – Mei 2012 berasosiasi dengan aktivitas sesar normal (nomor 1) dan sesar yang memotong Kawah Tempaluan (nomor 6). Kemungkinan besar diakibatkan oleh pergerakan sesar mendatar (nomor 3) di sekitar Danau Tondano.

Gempa Monokromatik

Pada penelitian ini, ditemukan juga gempa dengan durasi panjang (*long periode*), yaitu gempa monokromatik. Pada data dari bulan April – Mei 2012, tercatat hanya terjadi dua kejadian gempa monokromatik yaitu pada 17 Mei 2012 pukul 19:13:25 dan 23 Mei 2012 pukul 23:27:21.

Tanggal	Durasi (Detik)			Frekuensi (Hz)		
	EMP	KIN	SEA	EMP	KIN	SEA
17/05/12	52,8	35,44	57,16	2,88	2,88	2,88
				5,043	5,043	5,043
23/05/12	42,36	32,49	50,09	4,88	4,88	4,88
				8,7	8,7	8,7

Tabel 1 Durasi dan frekuensi gempa monokromatik

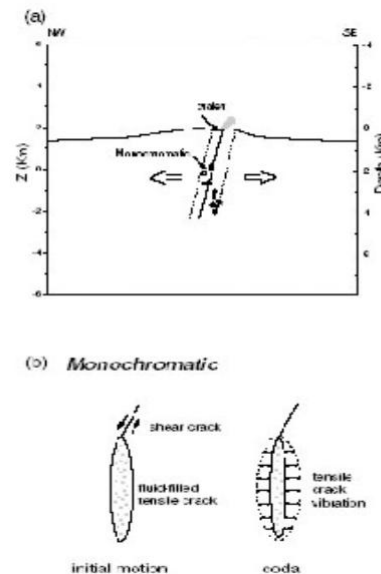


Gambar 7 Gempa monokromatik
17 Mei 2012 pukul 19:13:25

Tabel 1 dan gambar 6 menunjukkan bahwa terdapat dua puncak frekuensi yang terdiri dari satu frekuensi dominan dan satu frekuensi sub-dominan. Frekuensi dominan merupakan frekuensi yang paling terlihat (puncaknya tertinggi) sedangkan frekuensi sub-dominan merupakan frekuensi yang mengikuti frekuensi dominan.

Gambar 8a merupakan ilustrasi lokasi hiposenter dari gempa monokromatik dengan garis putus-putus yang menunjukkan zona rekahan (*fracture zone*). Gempa monokromatik berada pada zona rekahan dangkal (*shallow fracture zone*). Garis lurus adalah sesar normal (*normal fault*). Gempa

monokromatik disebabkan oleh adanya rekahan pada sesar normal (Gambar 8 b). Rekahan tersebut bergetar karena terisi oleh fluida yang pada akhirnya merupakan bagian koda (*coda part*) dari gempa monokromatik. Ilustrasi ini sesuai dengan struktur geologi dari Komplek Gunung Lokon (Gambar 7). Bulatan berwarna hitam pada Gambar 7 merupakan gempa monokromatik yang di plot pada struktur geologi Komplek Gunung Lokon. Garis nomor 1 dan 2 merupakan sesar normal.

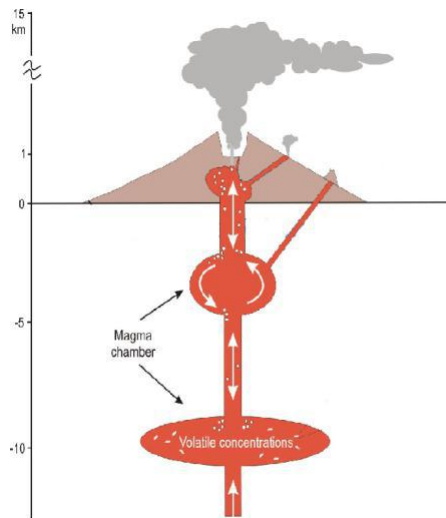


Gambar 8 Ilustrasi penyebab gempa monokromatik (Triastuty, dkk. 2006)

Gempa Tektonik

terdapat 9 gempa tektonik selama periode ini yang berdurasi 50 s.d 470 detik dengan frekuensi 1 s.d 6 Hz. Untuk gempa tektonik ini tidak bisa diketahui hiposenternya, karena sulit untuk menentukan Tp-Ts dan kedalamannya juga terletak 100 s.d 500 km (Minakami, 1974). Tetapi dengan adanya gempa tektonik, menunjukkan bahwa terdapat gaya tektonik yang mempengaruhi aktifitas seismik dan deformasi pada Kawah Tompaluan (Haerani, 2010).

Mekanisme Letusan



Aktivitas magmatik berhubungan dengan mekanisme letusan. Terjadinya vulkanik dalam adalah dikarenakan *normal fault* dan untuk

vulkanik adalah dangkal *reverse*

fault, yang diinterpretasikan disebabkan oleh *local stress* karena adanya tekanan dari gas vulkanik atau magma (Hidayati, 2008). Pada sebelum letusan yang terjadi pada bulan April 2012 ditandai dengan tidak adanya peningkatan intensitas gempa vulkanik atau dalam jumlah normal. Kemudian terjadi peningkatan keaktifan kegempaan Ini terjadi pada awal Mei 2012, dimana gempa vulkanik mulai banyak bermunculan terutama vulkanik dangkal. Frekuensi dari gempa-gempa tersebut juga meningkat.

Biasanya terdapat hembusan bermuatan abu dan terkadang terjadi letusan. Pada keadaan ini terjadi migrasi fluida. Wittiri (1991) menunjukkan bahwa lokasi kawah yang aktif terdapat pada zona aseismik di kedalaman 4 s.d 6 km dibawah kawah, yang diinterpretasikan menjadi penyimpanan magma (*magma storage*). Akumulasi magma pada kedalaman 4 s.d 6 km akan menyebabkan peningkatan *horizontal tension* dan menghasilkan peristiwa vulkanik dalam pada sesar normal. Kemudian magma

bermigrasi keatas dan terakumulasi pada penyimpanan magma dangkal (*shallower magma storage*) dan memicu gempa vulkanik dangkal. Ini dapat diartikan dalam kondisi aktif.

Penurunan aktifitas terjadi pasca letusan. Inflasi penyimpanan magma (*magma storage*) menyebabkan stress tensional pada kedalaman yang lebih dangkal dari penyimpanan magma (*magma storage*). Oleh karena itu vulkanik dalam dan vulkanik dangkal menunjukkan jenis patahan normal. Magma tetap berada pada *magma storage* pada periode normal. Saat fase tenang, tidak ada kontraksi saat pelepasan gas terjadi (gambar 29)

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, di dapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Gempa vulkanik dangkal terletak pada kedalaman 0,5 s.d - 1,5 km, berdurasi 3 – 16 detik dengan frekuensinya berkisar 4 Hz – 18 Hz.
2. Gempa vulkanik dalam terletak pada kedalaman -1 s.d -6 km,

berdurasi antara 6 – 20 detik dengan frekuensinya berkisar 6 Hz – 13 Hz.

3. Gempa *long periode* yang ditemukan adalah dua gempa monokromatik *low frequency* pada kedalaman -1,5 s.d -2 km yang mempunyai dua puncak frekuensi di setiap stasiunnya yaitu frekuensi dominan dan sub-dominan. Frekuensi dominan pada gempa monokromatik berkisar 2,88 Hz s.d 4,88 Hz dan frekuensi sub-dominan berkisar 5,04 Hz s.d 8,7 Hz.
4. Gempa tektonik berdurasi 50 s.d 470 detik dengan frekuensi 1 s.d 6 Hz
5. Peningkatan gempa vulkanik yang terjadi menunjukkan adanya aktivitas magmatik yang menandakan akan terjadi erupsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Haerani, N., Gunawan, H., Kristianto, Kushendratno, Wittiri, S.R. 2010. *Studi Terpadu seismik dan deformasi di Gunung Lokon, Sulawesi Utara, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Volume 1 No. 3, Desember 2010.*

- Kristianto, Gunawan H, dkk. 2012. *Gejala Awal Letusan Gunung Lokon Februari 2011 – Maret 2012*. Pusat Vulkanologi Dan Mitigasi BencanaGeologi. Bandung.
- Kusumadinata, K., Ed. 1979. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Direktorat Vulkanologi. Bandung
- Minakami, T. 1974 *Seismology and volcanoes in Japan*. In *Physical Volcanology* (eds. Civetta, L., Gasparini, P., Luongo, G., Rapolla, A.). Elsevier. Amsterdam.
- Triastuty, H., 2006. *Source mechanism of monochromatic earthquakes at Papandayan volcano, Indonesia*. Indonesian Jour. Physics., 17, 3, 63-72.
- Triastuty, H.,. 2009. *Journal of Volcanology and Geothermal Research : Temporal change of characteristics of shallow volcano-tectonic earthquakes associated with increase in volcanic activity at Kuchinoerabujima Volcano,.* Elsevier. Japan