

**ANALISIS FISIS AKTIVITAS GUNUNG TALANG-  
SUMATERA BARAT BERDASARKAN KARAKTERISTIK  
SPEKTRAL DAN ESTIMASI HIPOSENTER  
GEMPA VULKANIK**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

oleh :

**WELAYATURROMADHONA**

**0910930019-93**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2013**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**ANALISIS FISIS AKTIVITAS GUNUNG TALANG-  
SUMATERA BARAT BERDASARKAN KARAKTERISTIK  
SPEKTRAL DAN ESTIMASI HIPOSENTER  
GEMPA VULKANIK**

HALAMAN PENGESAHAN

Oleh :

**WELAYATURROMADHONA  
0910930019-93**

**Telah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal .....  
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Adi Susilo, Ph.D  
NIP.196312271 991 031 002**

**Dr. Hetty Triastuty  
NIP.197106231 998 032 001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Adi Susilo, Ph.D  
NIP. 196312271 991 031 002**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : WELAYATURROMADHONA

NIM : 0910930019-93

Jurusan : FISIKA

Penulis Tugas Akhir berjudul :

### **ANALISIS FISIS AKTIVITAS GUNUNG TALANG SUMATERA BARAT BERDASARKAN KARAKTERISTIK SPEKTRAL DAN ESTIMASI HIPOSENTER GEMPA VULKANIK**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Tugas Akhir adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain, karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka Tugas Akhir ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila kemudian hari diketahui bahwa isi Tugas Akhir saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

**Malang, Juli 2013**  
**Yang menyatakan,**

**(Welayaturromadhona)**  
**NIM. 0910930019-93**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## ABSTRAK

Aktivitas vulkanik Gunung Talang Sumatera Barat sangat menarik untuk dikaji dan dipelajari, sebab aktivitasnya dipengaruhi oleh struktur geologi di sekitar Gunung Talang yang merupakan daerah zona depresi Sesar Sumatera. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik gempa vulkanik di Gunung Talang periode Januari hingga Maret 2013 berdasarkan analisis spektral serta analisis hiposenter. Selain itu dilakukan estimasi kecepatan untuk mengetahui nilai kecepatan gelombang seismik yang sesuai di sekitar Gunung Talang.

Sinyal gempa vulkanik diperoleh dari 4 stasiun seismik yaitu stasiun Gabuo, stasiun Ketah, stasiun Puncak dan stasiun Kopi. Sinyal gempa diseleksi terlebih dahulu untuk kemudian dikelompokkan berdasarkan tipe gempanya. Analisis spektral dilakukan untuk mengetahui nilai frekuensi dominan dan frekuensi *cut-off* (*corner frequency*) dari gempa vulkanik. Analisis hiposenter bertujuan untuk mengetahui kedalaman sumber gempa vulkanik.

Berdasarkan analisis spektral, diperoleh kandungan frekuensi gempa vulkanik berkisar antara 3,12 hingga 17,87 Hz. Tingginya kandungan frekuensi dapat dikorelasikan dengan struktur geologi di sekitar Gunung Talang yang berupa rekahan/patahan sebagai manifestasi dari zona Sesar Besar Sumatera. Berdasarkan rumus empiris yang ada dapat diketahui hasil estimasi panjang *rupture* (*length of rupture*) akibat gempa vulkanik bernilai antara 67 hingga 142 m. Adapun sebaran hiposenter gempa vulkanik berkisar antara 2 hingga 9 km di bawah puncak Gunung Talang. Berdasarkan hasil estimasi kecepatan gelombang seismik yang sesuai di sekitar Gunung Talang adalah pada kecepatan antara 2,5 hingga 2,8 km/s.

Kata kunci : Gunung Talang, gempa vulkanik, frekuensi, hiposenter, kecepatan



UNIVERSITAS BRAWIJAYA





## ABSTRACT

Volcanic activity of Mount Talang – West Sumatera is very interesting to be studied and to be learned, because its activity was influenced by geological structures in the vicinity of Mount Talang which is a depression zone of Sumatera Fault. This study is aimed to investigate the characteristics of volcanic earthquakes at Mount Talang in the period from January to March 2013 based on the spectral analysis and hypocenter analysis. In addition, the velocity estimation was carried out to determine the value of the corresponding seismic wave velocity in the vicinity of Mount Talang.

Volcanic earthquake signals were obtained from four seismic stations Gabuo, Ketah, Puncak and Kopi. The seismic signals are selected first and then grouped by the type of the earthquake. Spectral analysis is performed to determine the value of the dominant frequency and the cut-off frequency (corner frequency) of volcanic earthquakes. Hypocenter analysis aims to determine the hypocenter depth of volcanic earthquake.

Based on the spectral analysis, the frequency content of volcanic earthquakes ranged from 3.12 to 17.87 Hz. The high frequency content can be correlated with geological structures in the vicinity of Mount Talang which is in the form of cracks / faults as a manifestation of the Great Sumatera Fault zone. Based on a formula, which is known before, it can be seen that the estimation of rupture length ranged between 67 to 142 m. The hypocenter distribution of volcanic earthquakes ranged from 2 to 9 km below the summit of Mount Talang. Based on the results of seismic wave velocity estimation that fits around Mount Talang is at the velocity between 2.5 to 2.8 km / s.

Keywords: Mount Talang, volcanic earthquakes, frequency, hypocenter, velocity

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah segala puji dan syukur hanya untuk Allah SWT atas limpahan kasih dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “*ANALISIS FISIS AKTIVITAS GUNUNG TALANG – SUMATERA BARAT BERDASARKAN KARAKTERISTIK SPEKTRAL DAN ESTIMASI HIPOSENTER GEMPA VULKANIK*”. Penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkenan memberikan bantuan berupa ilmu, pengarahan dan semangat. Terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Allah SWT (Sang Maha pengatur segalanya yang selalu memberikan rencana yang terbaik) atas segala kesempatan, kesehatan, dan rezeki-Nya sehingga penulis bisa menyelesaikan Skripsi dengan baik.
2. Kedua orang tua terhebat, Ibu Sri Sugiarti dan Bapak Machsuni yang tidak lelah mendoakan penulis sehingga bisa seperti sekarang ini, kakak saya mbak Iva Amaliasari serta segenap keluarga besar tercinta yang selalu memberikan dukungan serta doa untuk kesuksesan penulis.
3. Bapak Adi Susilo Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Brawijaya serta Pembimbing I. Terima kasih untuk bimbingan, ilmu, arahan, doa, dan berkenan meluangkan waktu untuk penulis.
4. Ibu Hetty Triastuty selaku Pembimbing II di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Bandung. Terima kasih untuk bimbingan, motivasi, arahan, serta segudang ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis. Terima kasih telah meluangkan waktu untuk penulis ditengah super sibuknya pekerjaan ibu.
5. Bapak Adurrouf selaku pembimbing akademik, terima kasih atas arahan dan bimbingannya. Serta segenap bapak ibu dosen di Jurusan Fisika Universitas Brawijaya atas ilmu dan motivasi yang diberikan.
6. Seluruh staff di PVMBG ( khusunya Pak Aluk, Pak Hendra, Pak Yoga, Pak Yasa, dan pak penjaga perpus PVMBG).
7. Rekan-rekan semasa di PVMBG (Yoppie, Sasmita, Indri), terima kasih telah menjadi teman diskusi yang baik yang telah menghibur penulis saat sumpek, stress, jenuh. Terima kasih atas semangat dan saran yang diberikan.

8. Keluarga Fisika 2009 : Ratih (*terima kasih telah membantu dalam pembuatan slide, terima kasih atas bantuan dan dukungannya selama ini, terima kasih telah mendengarkan ceramah penulis, dan terima kasih telah menjadi sahabat yang baik*). Nella Fhma (*terima kasih atas dukungan dan telah mengibur penulis disaat masa-masa stress pengerjaan skripsi, terima kasih telah menjadi sahabat yang baik*). Dhewi Violetta (*terima kasih telah membuat penulis tertawa lebar dengan foto ginuk-ginuknya, terima kasih telah menjadi sahabat yang baik*). Intan, Rio, Vido, Mas Panji (*rekan-rekan keluar malam penghilang stress*). Robby (*semoga bisa mengemban amanah sebagai ketua genk mengste dg baik, haha*). Kevin (*yang telah membantu dalam pen-download-an software2 yg dibutuhkan penulis, suwun bro*). Iin (*yang biasa membelikan mie cak gondrong, terima kasih untuk tempatnya, dan lanjutkan mimpimu utk menjadi rocker muslimah, huaha*). Firman, Soufi, Hasib (*terima kasih telah menjadi teman diskusi yang baik, terima kasih untuk traktiran berkali-kalinya*). Binti, Diah, Nurul, Dahlia, Delfi, Devita, Nella plis (*atas bantuan dan hiburannya selama ini*). Atok, Ibnu, Muslihuiddin, Mbah Ali, Sofyan (*atas bantuannya selama di labkom*). Dan rekan-rekan fisika lainnya, Sutasoma, Hermawan, Eko Teguh, Zarnuji, Yunita, Chum, Yesika, Fera, Cui, Nia pink, Vivin, Umi, Yunia, Rouf, Ella, Agus Salim, Dayadi, Husein, Mareta, Ade Giri, Elmiar, Silvi, Tia, Randy, Hilman, Momo, serta kakak tingkat maupun adik tingkat yang membantu penulis selama menempuh pendidikan di Fisika UB. Terima kasih telah berkenan menjadi teman dan keluarga yang baik. Semoga bisa dipertemukan lagi suatu saat nanti dengan kesuksesan masing-masing.
9. Teman-teman ngopi dan satu perjuangan ( Angga, Rizal, Reza, Pandu, Ardi, Arif, Aji). Terima kasih atas persahabatannya.
10. Dan seluruh pihak selama penulis menempuh pendidikan S1 yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih atas bantuannya selama ini. Semoga Allah selalu memberikan perlindungan dan membalas kebaikan kalian semua.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih sangat jauh dari sempurna. Kritik maupun saran masih diharapkan untuk perbaikan berikutnya. Semoga penelitian ini bisa memberikan barokah dan bermanfaat bagi kita semua. A min Ya Rabb.

Wassalamu`alaikum Wr. Wb.

Malang, 26 Juni 2012  
Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1.    Latar Belakang .....	1
1.2.    Perumusan Masalah.....	2
1.3.    Batasan Masalah.....	2
1.4.    Tujuan Penelitian .....	3
1.5.    Manfaat Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1.    Kondisi Geografi dan Geologi Gunung Talang.....	5
2.2.    Gelombang Seismik .....	8
2.3.    Prinsip Perambatan Gelombang Seismik .....	11
2.3.1.    Hukum Snellius .....	12
2.3.2.    Prinsip Huygens.....	12
2.3.3.    Asas Fermat.....	13
2.4.    Gunungapi.....	14
2.5.    Klasifikasi Gempa Gunungapi .....	16
2.6.    Teori Spektral.....	19
	xiii



2.6.1.	Transformasi Fourier .....	19
2.6.2.	Teori Pencuplikan dan Frekuensi Nyquist .....	20
2.7.	Penentuan Hiposenter .....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>25</b>
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
3.2.	Rancangan Penelitian .....	25
3.3.	Materi Penelitian .....	25
3.4.	Langkah Penelitian .....	26
3.4.1.	Seleksi Data .....	26
3.4.2.	Analisis Spektral .....	30
3.4.3.	Analisis Hiposenter .....	33
3.4.4.	Analisis Estimasi Kecepatan .....	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>35</b>
4.1.	Hasil Spektral Vulkanik Gunung Talang .....	38
4.2.	Hasil Penentuan Hiposenter .....	47
4.3.	Hasil Estimasi Kecepatan Gelombang.....	52
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>59</b>
5.1.	Kesimpulan.....	59
5.2.	Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>61</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Peta Lokasi Kabupaten Solok dan Sekitarnya, Sumatera Barat (Triastuty, 2010) .....	5
<b>Gambar 2.2</b> Peta Lokasi Gunung Talang, Sumatera Barat dimana Skala Tidak Sesuai dengan Gambar (Kriswati, 2010) ..	6
<b>Gambar 2.3</b> Peta Geologi Gunungapi Talang Sumatera Barat dimana Skala Tidak Sesuai dengan Gambar .....	7
<b>Gambar 2.4</b> Penjalaran Gelombang P (Abdullah, 2011) .....	9
<b>Gambar 2.5</b> Penjalaran Gelombang S (Abdullah, 2011) .....	9
<b>Gambar 2.6</b> Karakteristik gelombang permukaan dibandingkan dengan gelombang badan (Lilie, 1999) .....	10
<b>Gambar 2.7</b> Tampilan gelombang P, gelombang S dan gelombang permukaan pada seismogram (Zobrin, 2003) .....	11
<b>Gambar 2.8</b> Hukum Snellius (Prasetya, 2010) .....	12
<b>Gambar 2.9</b> Prinsip Huygens (Abdullah, 2011) .....	13
<b>Gambar 2.10</b> Asas Fermat (Abdullah, 2011) .....	13
<b>Gambar 2.11</b> Gempa vulkanik tipe A .....	16
<b>Gambar 2.12</b> Gempa Vulkanik tipe B .....	17
<b>Gambar 2.13</b> Gempa Letusan .....	17
<b>Gambar 2.14</b> Gempa tremor vulkanik .....	18
<b>Gambar 2.15</b> Ilustrasi dari klasifikasi gempa gunungapi menurut Minakami (Zobrin, 2003) .....	18
<b>Gambar 2.16</b> Ilustrasi grafis penentuan hiposenter .....	21
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	26
<b>Gambar 3.2</b> Posisi stasiun seismik Gunung Talang .....	27
<b>Gambar 3.2</b> Seismometer KVS-300 (Triastuty, 2010) .....	28
<b>Gambar 3.3</b> Antenna (Triastuty, 2010) .....	28



<b>Gambar 3.4</b> Sinyal gempa vulkanik pada tanggal 7 Februari 2013 pukul 16.52 WIB .....	29
<b>Gambar 3.5</b> Sinyal gempa vulkanik yang terekam di stasiun kopi pada tanggal 7 Februari 2013 pukul 16.52 WIB .....	30
<b>Gambar 3.6</b> (a) Sinyal asli (seismogram), (b) Seismogram yang telah difilter band pass (sebelah kiri merupakan spektrum gelombang P dan sebelah kanan spektrum gelombang S), (c) Spektral frekuensi dari gelombang P (kiri) dan gelombang S (kanan). .....	32
<b>Gambar 3.7</b> Spektral dalam bentuk log di stasiun puncak tanggal 2 Februari 2013 jam 00.34 WIB (selengkapnya pada lampiran C).....	32
<b>Gambar 4.1</b> Seismisitas vulkanik tipe A Gunung Talang periode Januari 2013 sampai Maret 2013 .....	35
<b>Gambar 4.2</b> Seismisitas vulkanik tipe B Gunung Talang periode Januari 2013 sampai Maret 2013 .....	36
<b>Gambar 4.3</b> Sinyal gempa vulkanik dan spektral pada stasiun Gabuo pada 7 Februari 2013 jam 16.52 WIB. (a) Kenampakan sinyal vulkanik (b) Spektral pada gelombang P (frekuensi dominan=14.84 Hz) (c) Spektral pada gelombang S (frekuensi dominan = 15.62 Hz) .....	39
<b>Gambar 4.5</b> Sinyal gempa vulkanik dan spektral pada stasiun Gabuo pada 7 Februari 2013 jam 17.51 WIB. (a) Kenampakan sinyal vulkanik (b) Spektral pada gelombang P (frekuensi dominan = 14.06 Hz) (c) Spektral pada gelombang S (frekuensi dominan = 17.18 Hz) .....	41
<b>Gambar 4.6</b> (a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi .....	42
<b>Gambar 4.7</b> Spektral Frekuensi Corner pada tanggal 7 Februari 2013 jam 09.00 WIB .....	44
<b>Gambar 4.7</b> Penyebaran episenter .....	49
<b>Gambar 4.8</b> Penyebaran hiposenter pada proyeksi Barat-Timur....	50
<b>Gambar 4.9</b> Penyebaran hiposenter pada proyeksi Selatan-Utara..	50

**Gambar 4.10** Hubungan waktu terjadinya gempa dengan jumlah gempa, kedalaman hiposenter, panjang rekahan dan frekuensi corner..... 56

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b> Posisi stasiun seismik Gunung Talang .....	27
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi Seismometer .....	28
<b>Tabel 4.1</b> Data hasil seleksi gempa vulkanik .....	37
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Estimasi Panjang Rekahan (Length of Rupture)....	46
<b>Tabel 4.3</b> Koordinat hiposenter gempa vulkanik .....	47

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Hasil Analisis Spektral dan Waktu Tiba.....	63
LAMPIRAN B Spektral Frekuensi.....	69
LAMPIRAN C Frekuensi Cut-off (Corner Frequency) .....	75

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia terletak di antara pertemuan tiga lempeng, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan pasifik. Interaksi antar lempeng-lempeng tersebut membentuk jalur pegunungan berapi yang membentang dari Sumatera hingga laut Banda (Witton dan Elliot, 2003), serta sampai ke perairan Maluku dan kawasan Sulawesi Utara. Di sepanjang zona penujaman lempeng terdapat 129 gunungapi yang masih aktif dari total keseluruhan sekitar 500 gunungapi di Indonesia.

Negara Indonesia memiliki gunungapi terbanyak di dunia. Di antara jumlah total 129 gunungapi aktif di Indonesia atau sekitar 15% dari seluruh gunungapi yang ada di bumi. Kalangan vulkanologi Indonesia mengelompokkan gunung berapi ke dalam tiga tipe berdasarkan catatan sejarah letusan/erupsinya yaitu gunung api tipe-A, gunungapi tipe-B dan gunungapi tipe-C.

Terdapat sekitar 80 gunungapi yang masuk dalam klasifikasi tipe-A, yaitu gunungapi yang melakukan kegiatan erupsi magmatik sesudah tahun 1600. Contoh gunungapi tipe-A yang ada di Indonesia diantaranya yaitu Gunung Merapi, Gunung Bromo, Gunung Semeru, Gunung Guntur, Gunung Rinjani, Gunung Raung, Gunung Arjuno-Welirang, Gunung Papandayan, Gunung Talang dan lain sebagainya. Sementara itu gunungapi tipe-B yaitu gunungapi yang sesudah tahun 1600 belum tercatat lagi mengadakan erupsi magmatik namun masih memperlihatkan gejala kegiatan vulkanik seperti kegiatan solfatara, contohnya adalah Gunung Wilis. Adapun gunungapi tipe-C yaitu gunungapi yang sejarah erupsinya tidak diketahui dalam catatan manusia, namun masih terdapat tanda-tanda kegiatan masa lampau berupa lapangan solfatara/fumarola pada tingkat lemah, contohnya adalah Gunung Kamojang.

Salah satu gunungapi yang masuk dalam klasifikasi tipe-A yaitu Gunungapi Talang. Gunung Talang yang disebut juga Gunung Soelasih adalah gunungapi aktif tipe A berbentuk strato atau berlapis artinya gunungapi yang dibangun oleh perulangan batuan lava dan piroklastika. Gunungapi ini merupakan suatu kompleks gunungapi



yang terdiri dari kerucut Gunung Batino dan kerucut Gunung Jantan yang tumbuh di zona bagian tengah Sesar Semangko yang aktif (Munandar, 1995).

Sejarah kegiatan gunungapi Talang mempunyai periode yang relatif cukup panjang, dengan interval terpendek 2 tahun dan terpanjang 40 tahun. Letusan tersebut bersifat magmatik yang umumnya disertai asap hitam membumbung tinggi. Setelah letusan tahun 1883, kegiatan vulkanik gunungapi ini hanya bersifat peningkatan kegiatan yang tidak diikuti oleh letusan besar.

Masih sedikit peneliti yang membahas terkait aktifitas vulkanik gunungapi Talang pada awal tahun 2013 dengan analisis fisisnya. Apalagi aktivitas vulkanik gunungapi Talang ini sangatlah menarik untuk dikaji dan dipelajari, mengingat lokasi Gunung Talang yang terletak di Pulau Sumatera yang notabene syarat akan zona-zona subduksi maupun zona-zona patahan. Sehingga aktivitas vulkaniknya merupakan manifestasi dari struktur geologi sekitar. Hal inilah yang mendorong penulis untuk mengkajinya dalam penelitian ini.

## **1.2. Perumusan Masalah**

Yang menjadi masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana karakteristik gempa vulkanik Gunung Talang Sumatera Barat pada bulan Januari 2013 – Maret 2013 berdasarkan analisis fisis spektralnya?
- b. Bagaimana mengestimasi panjang *rupture* (*length of rupture*) dari gempa vulkanik?
- c. Bagaimana sebaran hiposenter gempa vulkanik di Gunung Talang Sumatera Barat pada bulan Januari 2013 – Maret 2013?
- d. Bagaimana mengestimasi kecepatan gelombang seismik yang sesuai pada lapisan di Gunung Talang?

## **1.3. Batasan Masalah**

Yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

- a. Aktifitas gempa vulkanik di Gunung Talang Sumatera Barat pada bulan Januari, Februari dan Maret pada tahun 2013.
- b. Gempa vulkanik yang dianalisis yaitu gempa vulkanik tipe A dan gempa vulkanik tipe B
- c. Pengolahan data terfokus pada analisis spektral, penentuan hiposenter dan estimasi kecepatan



#### 1.4. Tujuan Penelitian

Yang menjadi tujuan dalam penelitian ini adalah:

- a. Menentukan karakteristik gempa vulkanik Gunung Talang Sumatera Barat pada bulan Januari 2013 – Maret 2013 berdasarkan analisis fisis spektralnya.
- b. Mengestimasikan panjang *rupture* (*length of rupture*) dari gempa vulkanik.
- c. Menentukan sebaran hiposenter gempa vulkanik.
- d. Mengestimasikan kecepatan gelombang seismik yang sesuai pada lapisan di Gunung Talang.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi kepada khalayak ramai terkait aktifitas vulkanik Gunung Talang Sumatera Barat pada awal tahun 2013. Serta diharapkan dapat menjadi tambahan ilmu dan penelitian yang belum pernah dilakukan sebelumnya sehingga nantinya bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.



# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB II

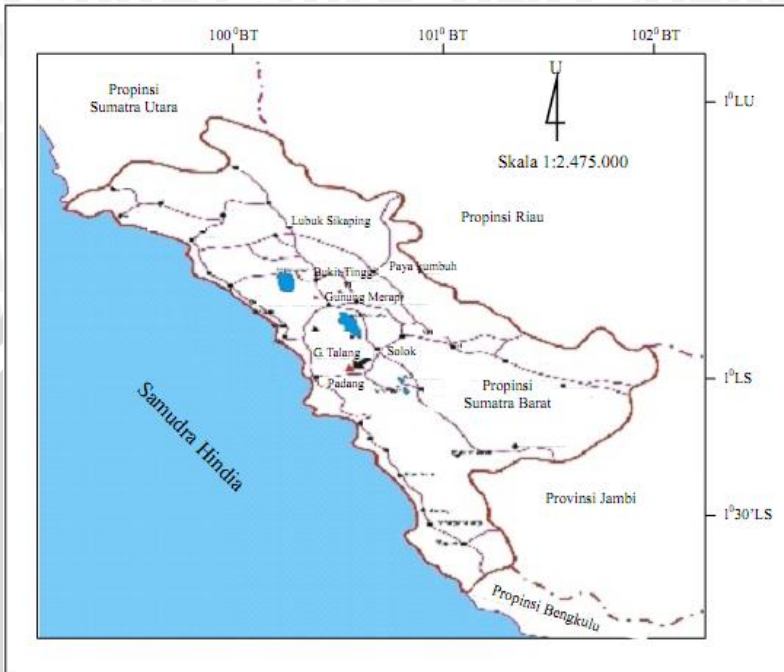
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Kondisi Geografi dan Geologi Gunung Talang

Gunung Talang termasuk wilayah Kecamatan Lembang Jaya, Kecamatan Gunung Talang dan Kecamatan Danau Kembar, Kabupaten Solok, Provinsi Sumatera Barat, yang secara geografis puncaknya berada pada posisi  $0^{\circ} 58' 42,24''$  Lintang Selatan dan  $100^{\circ} 40' 46,19''$  Bujur Timur.



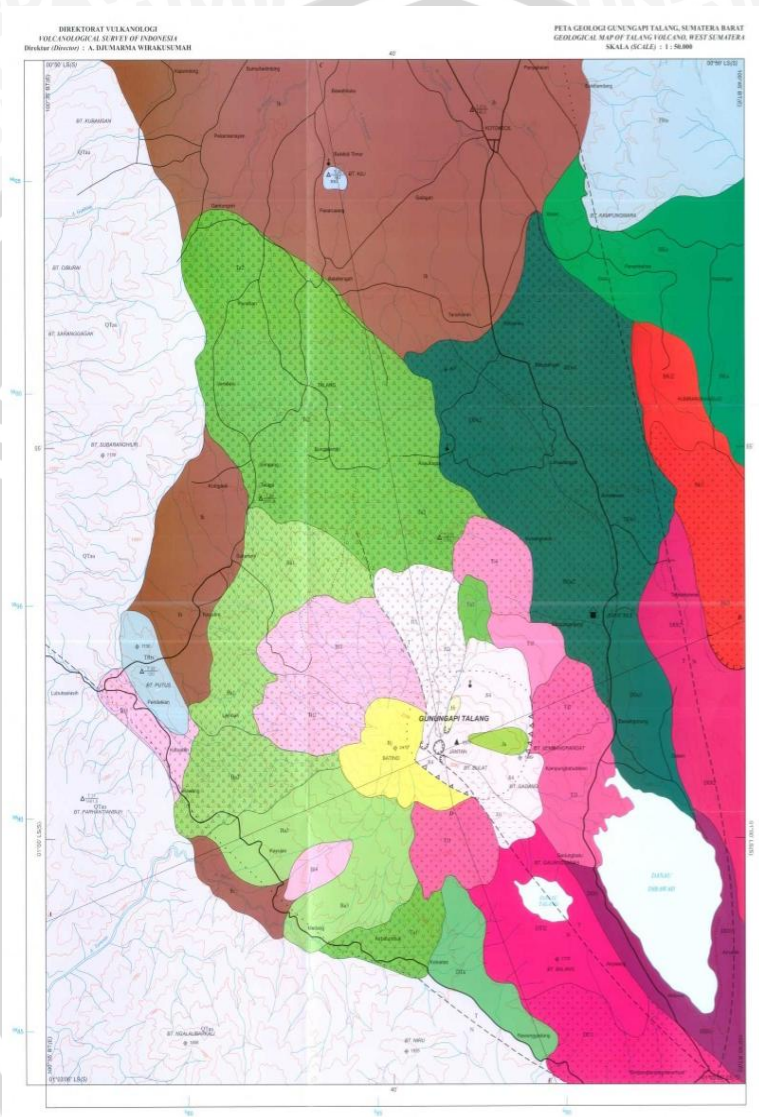
**Gambar 2.1** Peta Lokasi Kabupaten Solok dan Sekitarnya, Sumatera Barat (Triastuty, 2010)



**Gambar 2.2** Peta Lokasi Gunung Talang, Sumatera Barat dimana Skala Tidak Sesuai dengan Gambar (Kriswati, 2010)

Secara geologis, dua puncak Gunung Talang terletak dalam suatu pola berbentuk elips yang berkaitan dengan zona depresi pada sebuah segmen Sesar Besar Sumatra. Dari morfologi lerengnya, zona depresi ini kemungkinan besar terbentuk karena sesar (Purbawinata, 2005). Adanya rekahan dan terdapatnya Danau Talang di daerah lereng serta beberapa fumarol yang membentuk kelurusan mengindikasikan bahwa aktivitas Gunung Talang dikontrol oleh struktur geologi. Berdasarkan pembagian segmen tektonik Sumatra, gunung api ini terletak di dalam segmen Sumani (Sieh dan Natawidjaja, 2000). Wilayah Gunung Talang berada di bagian tenggara segmen ini dan memiliki intensitas kegempaan yang tinggi. (dalam Sieh, 2000) memperlihatkan bahwa akumulasi strain selama awal hingga

tahun 1990 konsisten dengan kecepatan  $23 \pm 5$  mm/tahun pada mekanisme pergerakan menganan (dextral).



**Gambar 2.3** Peta Geologi Gunungapi Talang Sumatera Barat dimana Skala Tidak Sesuai dengan Gambar



## 2.2. Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang mekanis yang muncul akibat adanya gempa bumi. Yang dimaksud gempa bumi disini adalah gempa bumi dengan sumber gelombang seismik buatan. Ada beberapa macam sumber gelombang seismik buatan, seperti dinamit, air gun, water gun, maupun vibroseis. Sumber gelombang buatan tersebut pada hakekatnya membangkitkan gangguan sesaat dan lokal yang disebut sebagai gradien tegangan (*stress*). Gangguan ini menyebabkan terjadinya osilasi (pergeseran) kedudukan partikel-partikel medium, osilasi tekanan ataupun osilasi rapat massa. Karena gangguan merambat dari satu tempat ke tempat lain, berarti ada transportasi energi. gelombang merambat melalui medium (tanah/batuan) yang memenuhi hukum-hukum elastisitas yaitu menyebar ke segala arah dan mengalami pemantulan ataupun pembiasan akibat munculnya perbedaan kecepatan. Kemudian, pada suatu jarak tertentu, gerakan partikel tersebut di rekam sebagai fungsi waktu. Data inilah yang kemudian dianalisa untuk mendapatkan struktur permukaan bawah tanah.

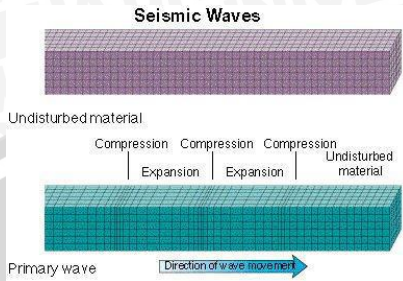
Gelombang seismik merupakan gelombang elastis dimana dalam penjalrannya gelombang seismik terdiri dari dua jenis yaitu:

### a. Gelombang Badan

Gelombang badan terdiri dari gelombang P dan S. Gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi.

#### • Gelombang P

Gelombang P (Gelombang Primer) disebut juga gelombang kompresi, gelombang longitudinal atau gelombang dilatasi. Gelombang ini menginduksi gerakan partikel media dalam arah paralel terhadap arah penjalaran gelombang.



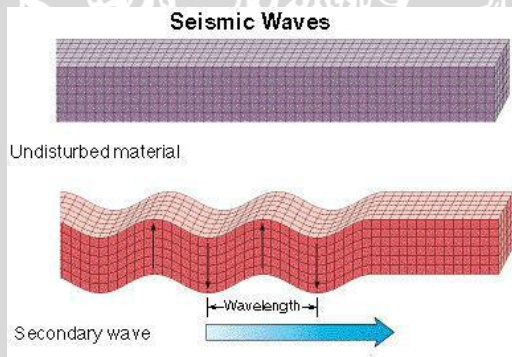
**Gambar 2.4** Penjalaran Gelombang P (Abdullah, 2011)

Sifat gelombang P adalah sebagai berikut :

1. P berarti *primary wave*, datang paling awal.
2. P berarti *pressure wave* gelombang yang cara Bergeraknya dengan mendasarkan pada efek tekanan.

• **Gelombang S**

Gelombang S (Gelombang Sekunder) disebut juga gelombang shear, gelombang transversal atau gelombang rotasi. Gelombang ini menyebabkan gerakan partikel – partikel media dalam arah tangensial terhadap arah penjalaran gelombang.



**Gambar 2.5** Penjalaran Gelombang S (Abdullah, 2011)

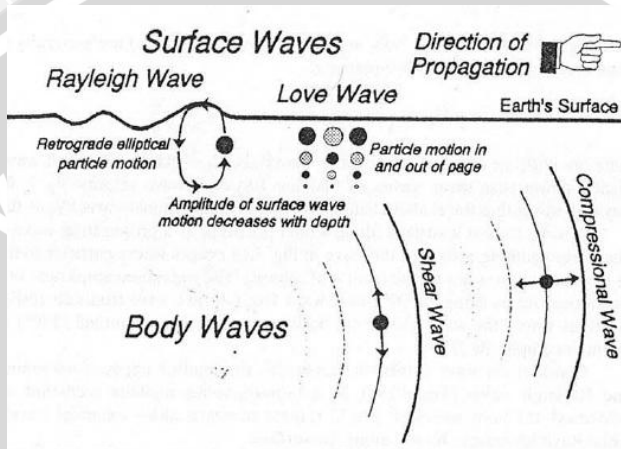
Sifat gelombang S bersifat sebagai berikut :

1. berarti *secondary wave*, datang kedua setelah P.
2. S berarti *shear wave*, gelombang yang cara Bergeraknya mendasarkan pada geseran.



## b. Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang merambat melalui permukaan dari sebuah materi dimana amplitudo dari gelombang ini akan semakin melemah bila semakin masuk ke dalam medium.

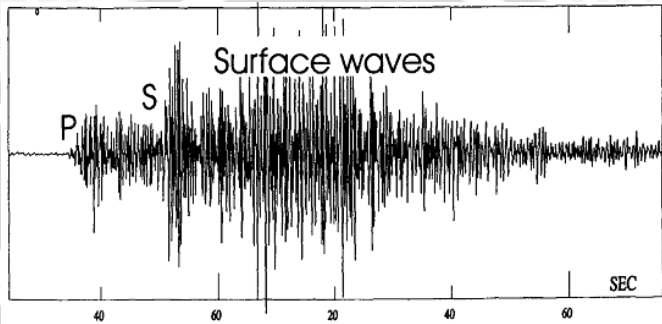


**Gambar 2.6** Karakteristik gelombang permukaan dibandingkan dengan gelombang badan (Lilie, 1999)

Gelombang permukaan ini dapat dibagi menjadi dua yaitu:

- Gelombang Rayleigh, yaitu gelombang yang pergerakannya merupakan gabungan dari getaran transversal dan longitudinal sehingga menimbulkan pergerakan partikel berbentuk elips.
- Gelombang Love, yaitu gelombang transversal yang merambat di permukaan materi
- Gelombang Stoneley : gelombang dimana arah penjarannya seperti gelombang Rayleigh yang berbentuk elips vertikal tetapi menjar melalui batas antara dua lapisan di dalam bumi. Gelombang Stoneley dapat merambat pada medium padat atau cair dan

merupakan komponen frekuensi rendah dari sinyal yang dihasilkan oleh sumber sonik dalam lubang bor.



**Gambar 2.7** Tampilan gelombang P, gelombang S dan gelombang permukaan pada seismogram (Zobrin, 2003)

### 2.3. Prinsip Perambatan Gelombang Seismik

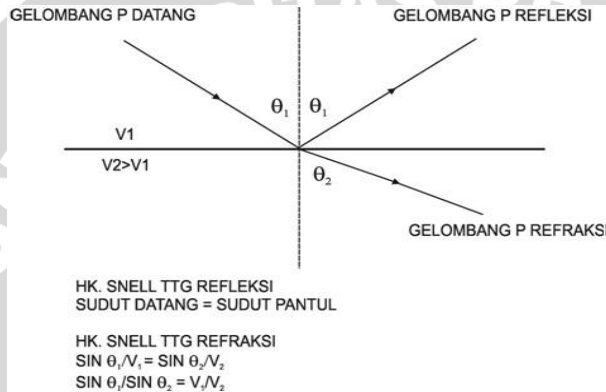
Dalam penjalaran gelombang seismik pada bawah permukaan bumi digunakan beberapa asumsi sebagai berikut :

1. Gelombang seismik dipandang sebagai sinar yang memenuhi hukum Snellius, prinsip Huygens, dan azas Fermat.
2. Panjang gelombang seismik yang digunakan jauh lebih kecil jika dibandingkan ketebalan lapisan batuan.
3. Semakin bertambahnya kedalaman suatu lapisan, maka semakin kompak batuanannya sehingga kecepatan gelombang pun bertambah seiring dengan kedalaman.
4. Bumi dianggap berlapis-lapis dan tiap lapisan dapat menyalurkan gelombang seismik dengan kecepatan yang berbeda.
5. Pada bidang batas antar lapisan (interface), gelombang seismic menjarlar dengan kecepatan gelombang pada lapisan dibawahnya.

Gelombang seismik mempunyai sifat yang hampir sama dengan gelombang cahaya, sehingga hukum-hukum yang berlaku untuk gelombang cahaya berlaku juga untuk gelombang seismik. Hukum-hukum tersebut antara lain :

### 2.3.1. Hukum Snellius

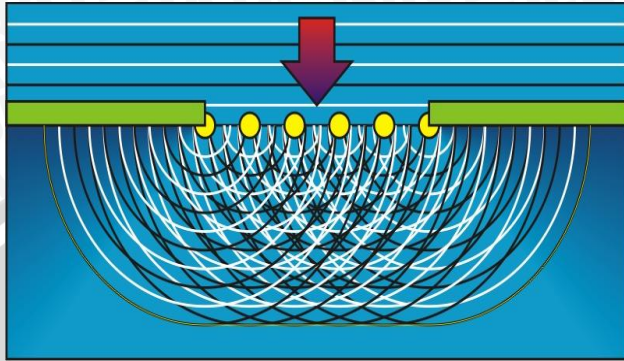
Hukum Snellius menyatakan bahwa gelombang yang merambat melalui suatu medium dan melewati medium lain, yang memiliki kerapatan berbeda, maka akan mengalami proses pemantulan dan pembiasan pada bidang batas medium tersebut. Gelombang akan dipantulkan jika sudut datangnya lebih besar dari sudut kritisnya. Gelombang datang, gelombang bias, gelombang pantul terletak pada suatu bidang datar.



Gambar 2.8 Hukum Snellius (Prasetya, 2010)

### 2.3.2. Prinsip Huygens

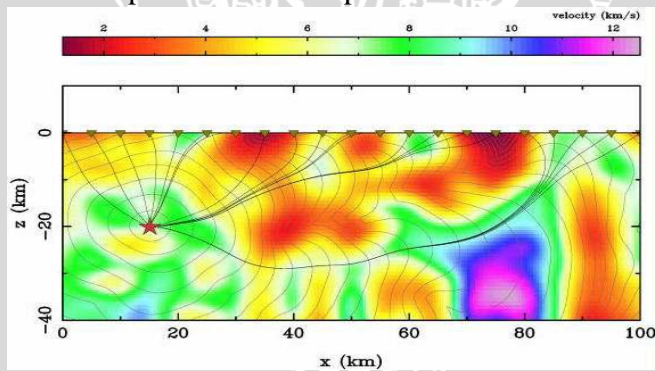
Huygens menyatakan bahwa setiap titik yang berada di depan muka gelombang utama akan menjadi sumber gelombang yang baru. Jumlah energi total deretan gelombang baru tersebut sama dengan energi utama. Di dalam eksplorasi seismik titik-titik di atas dapat berupa patahan, rekahan, pembajian, antiklin, dll.



**Gambar 2.9** Prinsip Huygens (Abdullah, 2011)

### 2.3.3. Asas Fermat

Asas Fermat menyatakan bahwa jika sebuah gelombang merambat melalui lintasan yang tercepat waktu penjarannya. Jejak yang akan dilalui oleh sebuah gelombang adalah jejak dengan waktu tercepat bukan yang terpendek secara jarak, sehingga jarak terpendek belum tentu merupakan waktu tercepat.



**Gambar 2.10** Asas Fermat (Abdullah, 2011)

Pada teori elastisitas sederhana, berkaitan dengan penjaran gelombang seismic pada medium homogeny, sifat elastis material hanya dicirikan oleh dua parameter bebas yaitu  $k$  (modulus Bulk atau kompressibilitas) dan  $\mu$  (modulus geser atau rigiditas). Kecepatan

gelombang P ( $V_p$ ) dan gelombang S ( $V_s$ ) yang menjalar pada medium homogeny dengan kontras densitas  $\rho$  mempunyai persamaan sebagai berikut (Aki & Richard, 1980) :

$$V_p = \left[ \frac{k+4/3\mu}{\rho} \right]^{1/2} \quad (1.1)$$

$$V_s = \left[ \frac{\mu}{\rho} \right]^{1/2} \quad (1.2)$$

di mana :

$V_p$  : kecepatan gelombang P (m/s)

$V_s$  : kecepatan gelombang S (m/s)

$k$  : modulus bulk ( $N/m^2$ )

$\mu$  : modulus geser ( $N/m^2$ )

$\rho$  : rapat massa ( $kg/m^3$ )

Pada kerak bumi dan mantel bagian atas hubungan antara modulus Bulk dan modulus rigiditas bisa didekati dengan  $k=5/3 \mu$  (poisson ratio=1/4). Bila nilai-nilai ini disubstitusikan ke persamaan di atas akan diperoleh hubungan antara kecepatan gelombang P dan gelombang S yang menjalar pada bumi bagian atas sebagai  $V_p: V_s = \sqrt{3} : 1$ .

#### 2.4. Gunungapi

Gunung bisa terdapat di daratan maupun di lautan. Sedangkan definisi api yang digunakan dalam istilah gunungapi merujuk kepada material pijar yang keluar dari dalam inti bumi. Istilah gunungapi secara harfiah sendiri telah begitu banyak didefinisikan. Seperti dikutip dalam (Mulyo, 2004), Koesoemadinata menyatakan bahwa gunungapi adalah lubang atau saluran yang menghubungkan suatu wadah berisi bahan yang disebut magma, sedangkan seperti dikutip dalam (Mulyo, 2004), Matahalemual menyatakan bahwa gunungapi adalah suatu bentuk timbulan di muka bumi yang pada umumnya berupa suatu kerucut raksasa, kerucut terpancung, kubah ataupun bukit yang diakibatkan oleh penerobosan



magma ke permukaan bumi. Gunung berapi atau gunungapi juga dapat didefinisikan sebagai suatu system saluran fluida panas (batuan dalam wujud cair atau lava) yang memanjang dari kedalaman sekitar 10 km di bawah permukaan bumi sampai ke permukaan bumi, termasuk endapan hasil akumulasi material yang dikeluarkan pada saat dia meletus.

Secara umum gunungapi aktif adalah gunung yang masih aktif melakukan aktifitas vulkaniknya seperti letusan atau erupsi. Aktifitas vulkanik adalah proses naiknya magma yang terkandung di dalam gunung tersebut ke permukaan bumi. Erupsi yang merupakan hasil dari aktifitas ini akan terjadi apabila tekanan di dalam tubuh gunungapi lebih besar dibandingkan tekanan di permukaan. Selain itu, pada gunungapi juga terdapat geyser, fumarol (lubang di dalam kerak bumi maupun objek astronomi yang lain yang sering terdapat di sekitar gunung berapi, yang mengeluarkan uap dan gas seperti karbondioksida, sulfur dioksida, asam hidroklorik, dan hidrogen sulfida), solfatara (fumarol yang mengeluarkan gas belerang yang terdapat di sekitar kepundan, dan lain-lain).

Erupsi yang terjadi pada gunungapi berasal dari adanya magma, yaitu batuan dalam bentuk fasa cair yang sangat panas dan berasal dari dalam bumi, yang mendesak keluar sampai permukaan dalam bentuk lava dan dapat menjadi asal muasal bentukan pegunungan, gunungapi, maupun kubah lava. Peristiwa ini disebut dengan vulkanisme. Magma pada vulkanisme keluar melalui rekahan-rekahan yang terjadi pada kerak bumi. Rekahan tersebut ada karena lempeng bumi saling bergerak dan didorong oleh energi dari material magma itu sendiri.

Asal mula teori lempeng bumi lahir pada decade 1960-an. Teori yang berisikan tentang bumi sebagai materi yang bersifat dinamik dan mengalami pergeseran dari waktu ke waktu ini mampu menjelaskan fenomena alam seperti gunungapi. Rekahan yang menjadi tempat keluarnya magma yang menyebabkan adanya gunungapi terjadi karena antar lempeng terjadi tumbukan lempeng samudera dan benua atau penunjaman (subduksi) serta pemekaran lempeng samudera dan benua. Rekahan yang terbuka itu menjadi akses keluar magma hingga sampai ke permukaan bumi. Gunungapi terletak pada zona rekahan dari lempeng bumi, sehingga panjang dari suatu rangkaian gunungapi sangat bervariasi, dari beberapa kilometer

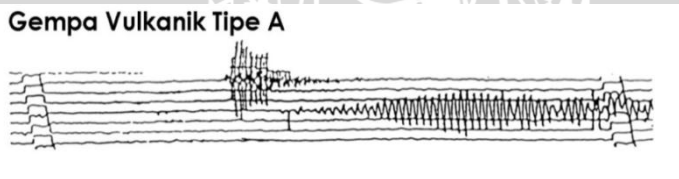


sampai ratusan kilometer bahkan ada pula yang mencapai ribuan kilometer (Mulyo, 2004).

## 2.5. Klasifikasi Gempa Gunungapi

Pengelompokan gempa gunungapi dibuat berdasarkan beberapa klasifikasi tertentu, misalnya berdasarkan kedalaman sumber, bentuk sinyal gempa, spectrum gempa, durasi gempa dan sebagainya. Salah satu klasifikasi gempa gunungapi adalah yang ditunjukkan oleh (Minakami, 1974). Minakami membagi tipe gempa gunungapi yang berasal dari berbagai gunungapi menjadi 4 tipe berdasarkan kedalaman sumber gempa dan kenampakan bentuk sinyal gempa. Keempat tipe gempa gunungapi itu adalah :

1. Gempa gunungapi tipe A, sumber dari gempa ini terletak di bawah gunungapi pada kedalaman 1 hingga 20 km. Tipe gempa ini biasanya terdapat pada gunungapi yang berada dalam keadaan aktif. Penyebab dari gempa gunungapi tipe ini adalah naiknya magma ke permukaan dengan disertai oleh rekahan-rekahan dengan cirri-ciri waktu tiba gelombang P dan S terlihat jelas. Berdasarkan asal gempanya, gempa gunungapi tipe ini terdiri dari 2 macam, yang pertama yaitu gempa yang disebabkan oleh tekanan dari bawah ke atas pada saat sebelum terjadi letusan dan yang kedua adalah gempa yang terjadi karena adanya penurunan tekanan sesudah letusan berlangsung. Kedua gempa ini dibedakan dari gerakan awalnya.

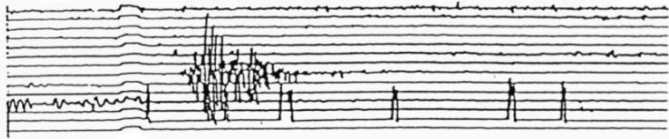


**Gambar 2.11** Gempa vulkanik tipe A

2. Gempa gunungapi tipe B, sumber gempa gunungapi tipe ini terdapat pada kedalaman lebih kecil dari 1 km diukur dari kawah yang sedang aktif, oleh karena itu gempa yang tercatat mempunyai gerakan awal yang cukup jelas, tetapi waktu tiba gelombang S tidak dapat dilihat dengan jelas.

Gempa gunungapi tipe B sering kali dijumpai pada gunungapi yang mempunyai letusan tipe Vulkaniko.

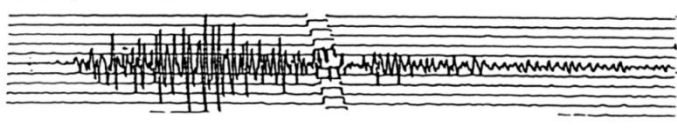
**Gempa Vulkanik Tipe B**



**Gambar 2.12** Gempa Vulkanik tipe B

3. Gempa letusan, gempa letusan adalah gempa yang diakibatkan oleh terjadinya letusan yang bersifat eksplosif. Berdasarkan hasil pengamatan seismic sampai saat ini dapat dikatakan bahwa gerakan pertama dari gempa letusan adalah push atau up atau gerakan ke atas. Dengan kata lain gempa letusan ditimbulkan oleh mekanisme sebuah sumber tunggal yang positif.

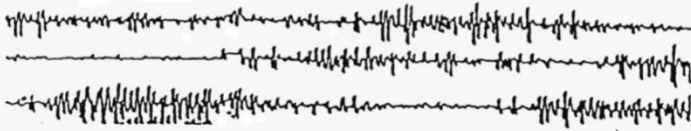
**Gempa Letusan**



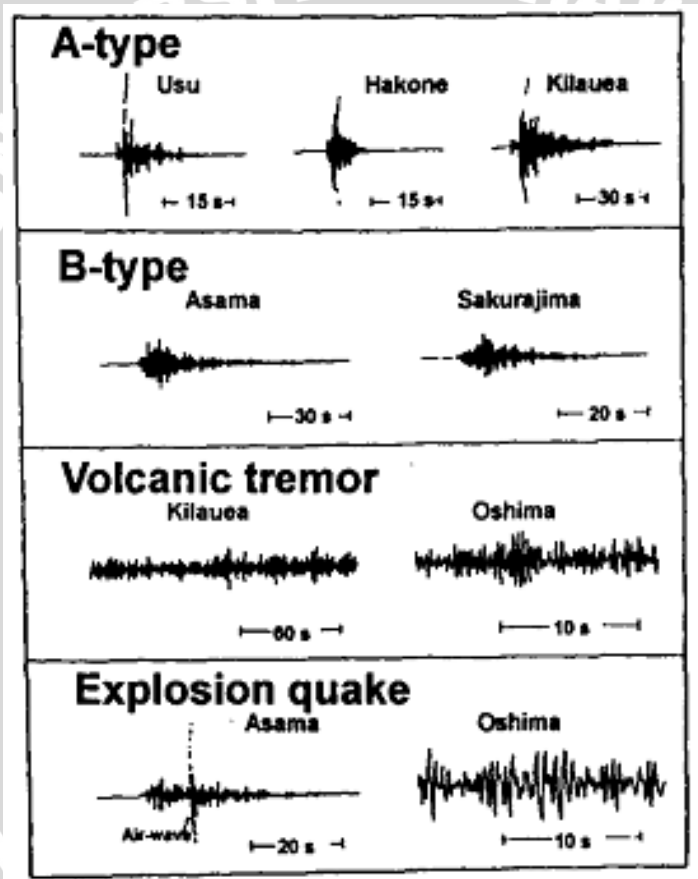
**Gambar 2.13** Gempa Letusan

4. Tremor gunungapi, tremor gunungapi adalah getaran yang menerus di sekitar gunungapi yang dapat dibedakan dalam 2 jenis, yaitu getaran terus menerus dengan frekuensi kuasi harmonic (tremor harmonic) dan tremor yang terbentuk karena gempa gunungapi yang saling bertumpukan (tremor spasmodic). Tremor jenis kedua dapat ditemui pada gunungapi dengan letusannya selalu berulang setiap beberapa detik saja dan berakhir dalam waktu yang lama. Gempa yang ditimbulkan oleh letusan-letusan tersebut selalu berulang-ulang dan dalam seismogram terlihat seperti getaran yang menerus karena saling bertumpukan.

### Gempa Tremor Vulkanik



Gambar 2.14 Gempa tremor vulkanik



Gambar 2.15 Ilustrasi dari klasifikasi gempa gunungapi menurut Minakami (Zobrin, 2003)

## 2.6. Teori Spektral

Dalam pengolahan data rekaman gempabumi, data yang berada dalam domain (kawasan) waktu akan ditransformasikan ke dalam kawasan frekuensi untuk mempermudah analisis. Tujuan dari transformasi ini karena berdasarkan beberapa aspek dimana frekuensi merupakan variable yang lebih berarti daripada waktu. Keuntungan analisis dalam kawasan frekuensi, antara lain : perhitungan matematis dalam kawasan frekuensi lebih mudah diterapkan disbanding bila dalam kawasan waktu, fenomena geofisika pada umumnya dalam bentuk ketergantungan terhadap frekuensi, sehingga dalam beberapa fenomena fisik, frekuensi menjadi parameter yang sangat penting dalam menjelaskan fenomena-fenomena tersebut.

Salah satu contoh analisis dalam kawasan waktu adalah penentuan pusat gempa dengan menggunakan waktu tiba gelombang P dan S ini berarti analisis dalam kawasan waktu bergantung pada efek penjalaran gelombang. Analisis dalam kawasan frekuensi memberikan informasi yang lebih banyak disbanding analisis dalam kawasan waktu.

Untuk mengubah rekaman data dari kawasan waktu ke dalam kawasan frekuensi digunakan Transformasi Fourier. Dengan Transformasi Fourier analisis dalam kawasan frekuensi hanyalah penyusunan kembali sinyal dalam bentuk amplitud vs frekuensi dengan tidak mengubah informasi yang terkandung. Apabila dilakukan proses balik dari kawasan frekuensi ke kawasan waktu akan didapat informasi yang tidak berubah.

### 2.6.1. Transformasi Fourier

Dalam geofisika, spektral merupakan kuantitas statistik dengan pernyataan matematis berhingga yang diturunkan dari fungsi ruang dan waktu oleh transformasi tertentu, seperti transformasi Fourier. Transformasi Fourier dari suatu fungsi  $f(t)$  dinyatakan sebagai :

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.1)$$

dengan  $\omega = 2\pi f$  (=variable frekuensi sudut dengan satuan radian per detik) dan invers dari transformasi Fourier dinyatakan sebagai :

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{i\omega t} d\omega \quad (2.2)$$

kedua fungsi tersebut yaitu  $f(t)$  dan  $F(\omega)$  merupakan pasangan transformasi Fourier yang dapat dinyatakan dengan :

$$f(t) \iff F(\omega)$$

### 2.6.2. Teori Pencuplikan dan Frekuensi Nyquist

Dalam proses analisis spektral digunakan seismogram yang berbentuk digital, dengan sampling rate (cuplikan) dibuat tetap. Dalam proses pencuplikan dapat terjadi kesalahan antara lain ditimbulkan oleh pemilihan selang waktu pencuplikan yang kurang sesuai. Hal ini dapat berpengaruh dalam estimasi spektralnya. Untuk menghindari kesalahan tersebut, pemilihan selang pencuplikan harus memenuhi *Teorema Sampling* yaitu :

“ Jika transformasi Fourier dari fungsi  $f(t)$  untuk semua frekuensi yang lebih besar dari frekuensi tertentu  $f_N$  sama dengan nol maka fungsi kontinu  $f(t)$  dapat diwakili oleh harga-harga cuplikannya “

Batasan yang diberikan oleh teorema ini adalah :

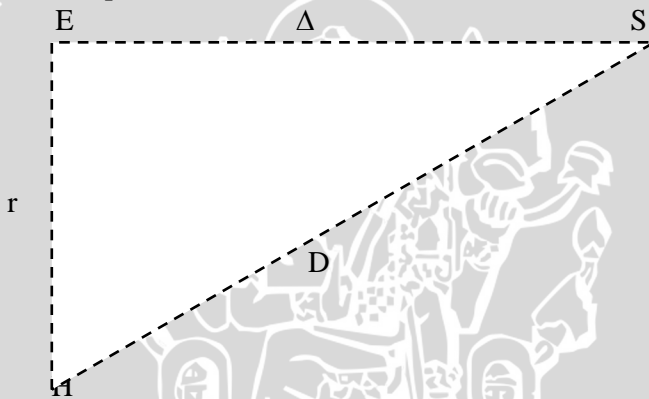
- a. Transformasi Fourier dari  $f(t)$  sama dengan nol untuk frekuensi yang lebih besar dari  $f_N$
- b.  $\Delta t = 1/2f_N$  dipilih sebagai selang pencuplikan, sedangkan  $1/\Delta t = 2f_N$  disebut sebagai frekuensi pencuplikan

Jika selang waktu pencuplikan  $\Delta t > 1/2f_N$ , maka akan terjadi distorsi dari spektral aslinya yang dikenal dengan aliasing. Apabila selang waktu pencuplikan  $\Delta t < 1/2f_N$  teorema sampling terpenuhi. Frekuensi batas ini disebut frekuensi Nyquist. Jadi frekuensi Nyquist merupakan frekuensi maksimum dimana selang pencuplikan  $\Delta t$  masih dapat digunakan untuk mendapatkan informasi sinyal yang diharapkan. Frekuensi ini merupakan batasan frekuensi untuk menghindari terjadinya aliasing. Seismogram pada pengamatan kegempaan Gunung Talang menggunakan sampling rate yaitu 0.01 detik atau 100 Hz. Dengan demikian frekuensi maksimum gempa vulkanik dan tremor harus  $\leq 50$  Hz.



## 2.7. Penentuan Hiposenter

Dalam penentuan lokasi gempa, baik itu hiposenter (titik di dalam bumi tempat bermulanya gempa bumi) ataupun episenter (proyeksi hiposenter pada permukaan bumi) terdapat banyak sekali metode-metode yang digunakan. Asumsi yang digunakan untuk menurunkan perumusan estimasi hiposenter adalah gelombang seismik dianggap merambat dalam lapisan homogeny isotropic sehingga kecepatan gelombang konstan dalam penjarannya. Dapat pula dikatakan bahwa apabila medium dianggap homogeny dan pancaran sumber berada dalam kondisi simetri bola (sferis), maka muka gelombang (wave front) dalam penjarannya akan berbentuk sferis dengan kecepatan konstan. Berikut ditunjukkan garis hiposenter dan episenter :



keterangan :

E : Episenter

D : Jarak hiposenter

H : Hiposenter

$\Delta$  : Jarak episenter

S : Stasiun seismik

r : kedalaman hiposenter

**Gambar 2.16** Ilustrasi grafis penentuan hiposenter

Salah satu metode untuk menentukan hiposenter adalah dengan analisis beda waktu tiba sinyal seismik yang datang pada beberapa stasiun. Jika menggunakan banyak stasiun, perlu diketahui

dahulu factor  $k$  (koefisien jarak) dari gunung. Dasar perhitungannya adalah dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2 = (t_i - t_0)^2 V_p^2$$

$$(t_i - t_0)V_p = (S - P)_i k \tag{2.3}$$

di mana :

- $I$  = 1,2,3, dan 4 (stasiun ke- $i$ )
- $X, Y, Z$  = koordinat sumber gempa yang tidak diketahui
- $(X, Y, Z)_i$  = koordinat stasiun seismograph
- $K$  = koefisien jarak yang tidak diketahui
- $t_i$  = waktu tiba gelombang P
- $t_0$  = saat terjadinya gempa yang tidak diketahui

Konstanta jarak ( $k$ ) adalah merupakan konstanta OMORI :

$$D = \frac{V_p \cdot V_s}{V_p - V_s} (S - P) \tag{2.4}$$

$$\frac{V_p \cdot V_s}{V_p - V_s} = k \tag{2.5}$$

di mana :

- $V$  = cepat rambat gelombang P
- $V_s$  = cepat rambat gelombang S
- $D$  = jarak hiposenter (sumber gempa)
- $S - P$  = beda waktu tiba gelombang S dan P

Untuk memudahkan penjelasan, diumpamakan koordinat titik sumber adalah  $S$  yaitu  $X_i, Y_i, Z_i$ . Dan koordinat stasiun diumpamakan titik  $H$  yaitu  $X, Y, Z$ . Dengan kedua koordinat tersebut, dapat dihitung panjang garis  $SH$  atau  $D$ , yaitu :

$$SH^2 = (Y - Y_i)^2 + (X - X_i)^2$$

Dan 
$$D^2 = SH^2 + (Z - Z_i)^2 \tag{2.6}$$

$$D^2 = (X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2$$

Dengan contoh penurunan rumus di atas, bila digunakan untuk kasus 4 stasiun seismograph, didapat 4 rumusan pula, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}D_1 &= (X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2 \\D_2 &= (X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2 \\D_3 &= (X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + (Z - Z_3)^2 \\D_4 &= (X - X_4)^2 + (Y - Y_4)^2 + (Z - Z_4)^2\end{aligned}\quad (2.7)$$

Analisa dengan cara di atas memerlukan ketelitian pembacaan beda waktu tiba antara gelombang P dan S, atau lebih dikenal dengan istilah (S-P) (Siswawidjono,1981).



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun lokasi penelitian ini adalah di Sub-Bidang Pengamatan Gunungapi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Bandung, Jawa Barat dan di Jurusan Fisika Universitas Brawijaya. Dimana penelitian ini dilaksanakan selama bulan April 2013 sampai Mei 2013.

#### 3.2. Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menganalisis dan mengkaji data sekunder yang diperoleh dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Bandung. Adapun data yang diolah adalah data Gunung Talang Sumatera Barat terhitung mulai bulan Januari 2013 sampai bulan Maret 2013. Dalam hal ini data tersebut diolah untuk nantinya dapat dianalisis spektral dan penyebaran hiposenternya berdasarkan prinsip-prinsip fisika.

#### 3.3. Materi Penelitian

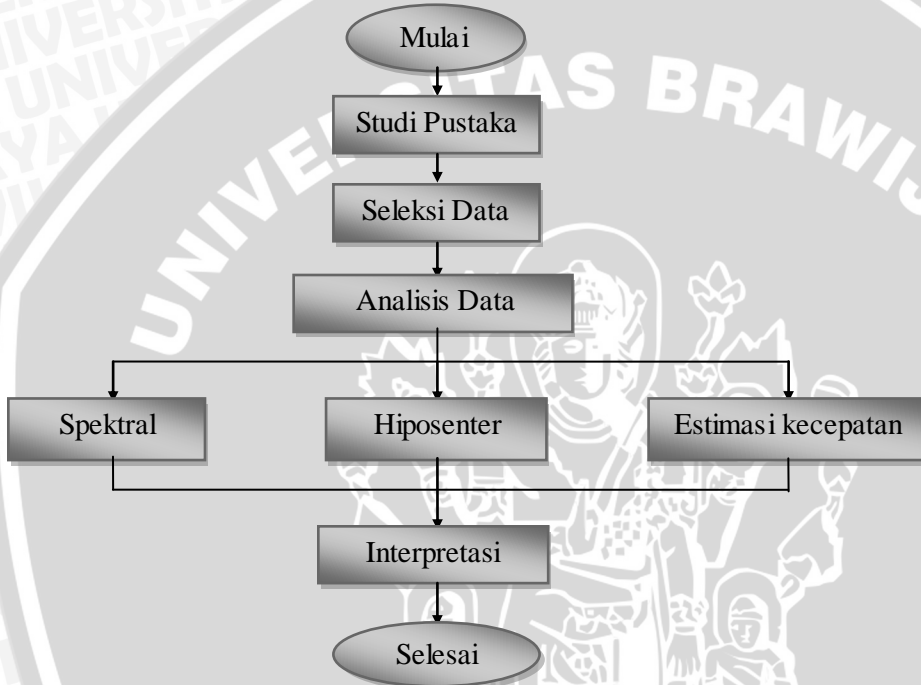
Adapun data serta perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah :

- a. Rekaman seismik digital gempa vulkanik Gunung Talang periode Januari 2013 sampai Maret 2013
- b. Perangkat lunak yang meliputi :
  - LS7 WVE untuk membuka file rekaman seismik digital
  - Origin 7.0 untuk pengolahan spektral frekuensi
  - GAD (Geiger's method with Adaptive Damping) untuk pengolahan dan penentuan lokasi hiposenter
  - Global Mapper 8 untuk pembuatan peta kontur dan penentuan koordinat
  - Microsoft Excel untuk perhitungan data serta plotting data



### 3.4. Langkah Penelitian

Diagram alir dalam penelitian dapat ditunjukkan sebagai berikut :



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

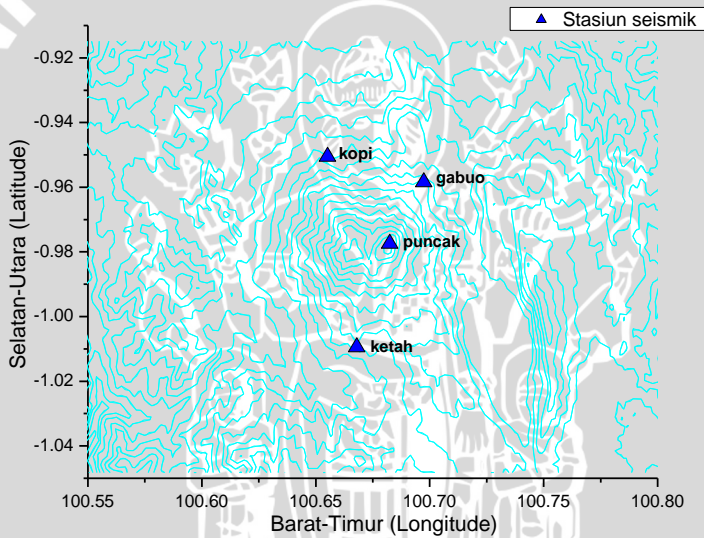
#### 3.4.1. Seleksi Data

Seleksi data merupakan tahap awal dalam pengolahan data yang bertujuan untuk memilih data dari data digital sinyal seismik Gunung Talang Sumatera Barat sehingga bisa dikelompokkan sesuai dengan tipe gempanya. Dimana dalam penelitian ini data yang diseleksi adalah data untuk gempa vulkanik.

Data seismik diperoleh dari hasil rekaman 4 stasiun seismometer yang terletak di sekitar Gunung Talang yaitu stasiun Gabuo, Ketah, Puncak dan Kopi. Koordinat pada masing-masing stasiun ditunjukkan oleh tabel 3.1 di bawah ini:

**Tabel 3.1** Posisi stasiun seismik Gunung Talang

Channel	Stasiun	Posisi Geografis		
		Latitude	Longitude	Altitude (m)
ac20h	Gabuo	000 57' 30.2" S	1000 41' 50.6" T	1607
ac21h	Ketah	000 00' 34.0" S	1000 40' 04.7" T	1609
ac16h	Puncak	000 58' 38.7" S	1000 40' 56.8" T	2589
ac1ch	Kopi	000 57' 02.0" S	1000 39' 18.5" T	1296



**Gambar 3.2** Posisi stasiun seismik Gunung Talang

Gambar 3.2 di atas menunjukkan lokasi 4 stasiun seismik yang diletakkan di sekitar Gunung Talang, dengan simbol segitiga menunjukkan stasiun sebagai tempat seismometer diletakkan.

Keempat Seismometer yang diletakkan di masing-masing stasiun adalah tiga seismometer digital yang dipasang secara temporer dan satu stasiun permanen. Seismometer pada stasiun

Gabuo dan Ketah adalah seismometer satu komponen sedangkan seismometer pada stasiun Puncak dan Kopi adalah seismometer tiga komponen. Berikut spesifikasi dari masing-masing seismometer tersebut :

**Tabel 3.2** Spesifikasi Seismometer

Win address	Station	Component	Seismometer	Sampling	Frequency
AC10	Gabuo	UD	L4C	100 Hz	1 Hz
AC11	Ketah	UD	L4C	100 Hz	1 Hz
AC16	Puncak	UD	KVS-300	100 Hz	2 Hz
AC17	Puncak	NS	KVS-300	100 Hz	2 Hz
AC18	Puncak	EW	KVS-300	100 Hz	2 Hz
AC1C	Kopi	UD	KVS-300	100 Hz	2 Hz
AC1D	Kopi	NS	KVS-300	100 Hz	2 Hz
AC1E	Kopi	EW	KVS-300	100 Hz	2 Hz



**Gambar 3.2** Seismometer KVS-300 (Triastuty, 2010)



**Gambar 3.3** Antenna (Triastuty, 2010)

Pembacaan data seismik dilakukan dengan menggunakan software LS7 WVE. Semua data yang diolah adalah berupa data

digital. Software ini pada dasarnya membaca gempa selama satu menit dalam satu kali jendela pembacaan.

Data event dari hasil rekaman di stasiun seismik direpresentasikan oleh nama file yang secara berurutan memuat nama tahun, bulan, tanggal, jam dan menit. Sebagai contoh data dengan nama file 13032603.30, artinya data tersebut adalah event yang terjadi pada tanggal 26 Maret 2013 pada jam 03.30 WIB.

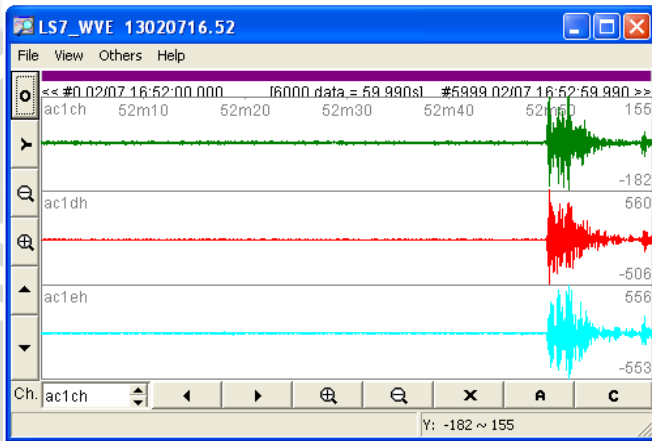
Tampilan software LS7 WVE ini dapat ditunjukkan sebagaimana berikut ini :



**Gambar 3.4** Sinyal gempa vulkanik pada tanggal 7 Februari 2013 pukul 16.52 WIB

Pada gambar 3.3 di atas merupakan tampilan dari sinyal seismik yang terbaca oleh software LS7 WVE. Gambar di atas merupakan tampilan dari seismogram. Terdapat lima tampilan seismogram yang terbagi menjadi 5 baris. Dan setiap barisnya disebut dengan channel. Nama stasiun ditunjukkan di sebelah kiri pada setiap channel. Pada tampilan di atas terdapat 3 stasiun seismik yang terekam. Diantaranya yaitu ac20h (stasiun gabuo), ac21h (stasiun ketah), serta stasiun puncak yaitu ac16h, ac17h dan ac18h. Pada stasiun puncak sendiri terekam 3 channel, hal ini dikarenakan stasiun puncak sendiri merupakan stasiun dengan instrumensinya yang merekam untuk 3 komponen (up-down, utara-selatan dan

timur-barat). Sedangkan untuk stasiun kopi mempunyai data file tersendiri sehingga data seismiknya terpisah dengan data seismik pada stasiun lainnya. Sama halnya dengan stasiun puncak, pada stasiun kopi ini juga digunakan instrumentasi 3 komponen diantara channel-nya yaitu ac1ch, ac1dh dan ac1eh dengan tampilannya adalah sebagai berikut :



**Gambar 3.5** Sinyal gempa vulkanik yang terekam di stasiun kopi pada tanggal 7 Februari 2013 pukul 16.52 WIB

### 3.4.2. Analisis Spektral

Analisis spektral dilakukan dengan tujuan untuk menentukan nilai-nilai frekuensi dari sinyal-sinyal vulkanik yang telah diseleksi sebelumnya.

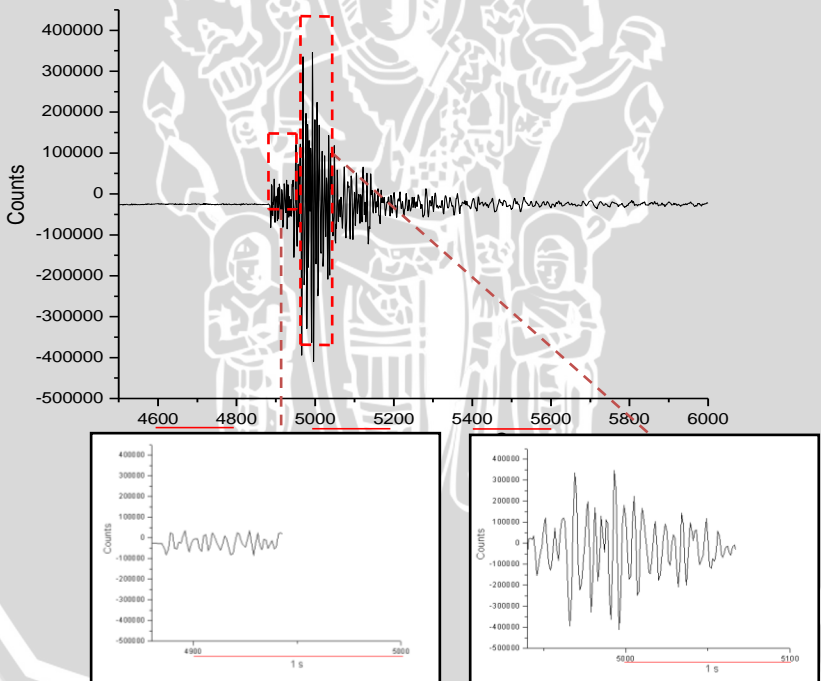
Analisis spektral ini dilakukan dengan menggunakan software origin 7.0 yang mengacu pada konsep Fast Fourier Transform (FFT). Dalam hal ini file event gempa yang telah diformat dan disimpan dalam bentuk ASCII kemudian di *import* ke *worksheet* dalam software origin. Selanjutnya untuk menampilkan kembali file dalam bentuk ASCII tersebut untuk bisa dilihat dalam bentuk sinyal maka dapat dilakukan dengan memilih *plot, line* pada software origin.

Terdapat 3 langkah yang dilakukan dalam proses analisis spektral pada software origin. Diantaranya yaitu pemotongan data,

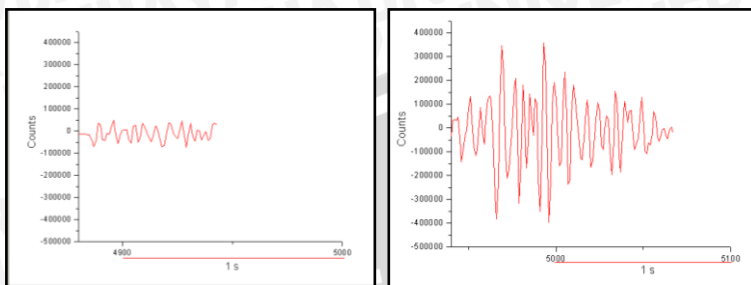


pemfilteran dan pengaplikasian FFT sehingga diperoleh spektrum frekuensi dari sinyal-sinyal vulkanik. Pemotongan data bertujuan untuk memperoleh spektrum sinyal yang diinginkan. Dimana dalam penelitian ini proses pemotongan data dilakukan dengan memisahkan sinyal gelombang P dengan sinyal gelombang S untuk dapat diperoleh spektrum frekuensi yang lebih jelas. Dalam proses pemotongan data (sampling) ini mengacu pada kaidah dalam metode FFT itu sendiri yaitu sampling datanya bernilai  $2^n$ , dimana  $n$  sendiri adalah waktu (dalam sekon) yang merepresentasikan panjangnya data yang akan dipotong. Pemfilteran data dilakukan dengan menggunakan filter band pass. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan efek noise berfrekuensi rendah maupun noise berfrekuensi tinggi. Dalam pemfilteran ini digunakan range frekuensi antara 0.05 Hz sampai 30 Hz.

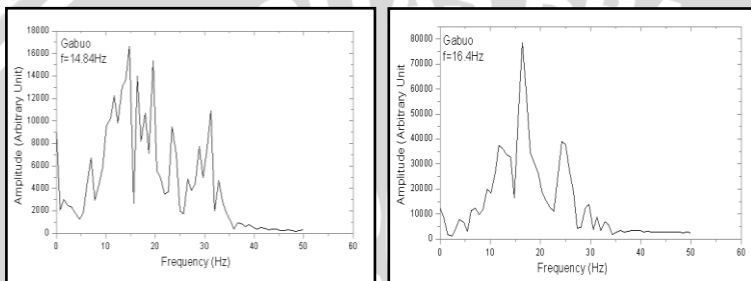
(a)



(b)

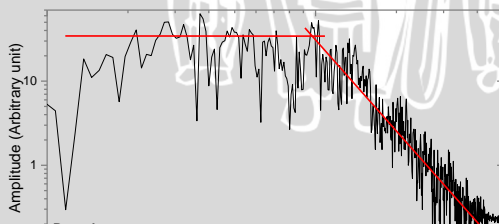


(c)



**Gambar 3.6** (a) Sinyal asli (seismogram), (b) Seismogram yang telah difilter band pass (sebelah kiri merupakan spektrum gelombang P dan sebelah kanan spektrum gelombang S), (c) Spektral frekuensi dari gelombang P (kiri) dan gelombang S (kanan).

Dengan mengubah tipe tampilan spektral dari bentuk linear menjadi bentuk log maka dapat diperoleh nilai dari Frekuensi Corner sebagai berikut :



**Gambar 3.7** Spektral dalam bentuk log di stasiun puncak tanggal 2 Februari 2013 jam 00.34 WIB (selengkapnya pada lampiran C)

### **3.4.3. Analisis Hiposenter**

Berdasarkan data sinyal seismik yang telah diseleksi untuk kemudian dikategorikan sebagai gempa vulkanik, maka selanjutnya data tersebut diolah untuk menentukan letak titik hiposenternya. Tujuan dari penentuan letak hiposenter ini adalah untuk mengetahui kedalaman gempa vulkanik sehingga nantinya dapat dianalisis aktifitas dari Gunung Talang itu sendiri.

Dalam penentuan hiposenter ini digunakan software GAD atau Geiger's method with Adaptive Damping. Software GAD membutuhkan tiga file input, yaitu station.dat, arrival.dat, dan velocity.dat. File velocity.dat sendiri tidak dirubah karena dianggap kecepatan gelombang seismik yang merambat pada kerak bumi adalah relatif konstan. File station.dat diisi dengan jumlah stasiun serta koordinat relatif dan ketinggian masing – masing stasiun seismik yang digunakan. Pengisian koordinat dan ketinggian tersebut harus sesuai dengan format yang digunakan GAD. File arrival.dat diisi dengan kode stasiun, tanda pengenalan gempa yang berupa waktu terjadinya gempa dalam format tahun, bulan, tanggal, jam, dan menit, waktu tiba gelombang P dan S (detik), serta gerak awal gelombang P dan S. Nilai – nilai tersebut harus dimasukkan sesuai format yang digunakan GAD.

### **3.4.4. Analisis Estimasi Kecepatan**

Pada dasarnya kecepatan gelombang seismik pada kerak bumi adalah sekitar 2.5 km/detik sampai 2.8 km/detik. Begitu pula seharusnya kecepatan pada lapisan di Gunung Talang jika kondisinya dianggap normal dan homogen isotropik. Namun demikian kondisi asli di area Gunung Talang adalah banyak terdapat sumber mata air panas serta lapangan solfatara ataupun fumarola. Oleh karena itu diperkirakan lapisan pada Gunung Talang sendiri sudah tidak dalam kondisi normal, artinya kecepatan gelombang seismik yang merambat akan semakin menurun disebabkan oleh kondisi lapisan yang sudah tergolong lapuk yang menyebabkan gelombang seismik mengalami perlambatan dalam penjarannya yang berakibat pada waktu tiba gelombang yang tertangkap oleh seismometer mengalami perlambatan (delay time). Untuk itu dalam hal ini dilakukan estimasi kecepatan yang bertujuan untuk mengetahui besarnya kecepatan gelombang seismik yang merambat di sekitar Gunung Talang. Dengan demikian dapat diketahui zona-zona lapuk (weathering zone)

untuk nantinya sebagai proses analisis aktifitas vulkanik Gunung Talang. Proses pengestimasiian kecepatan ini dilakukan dengan mengubah-ubah input data kecepatan dalam software GAD.

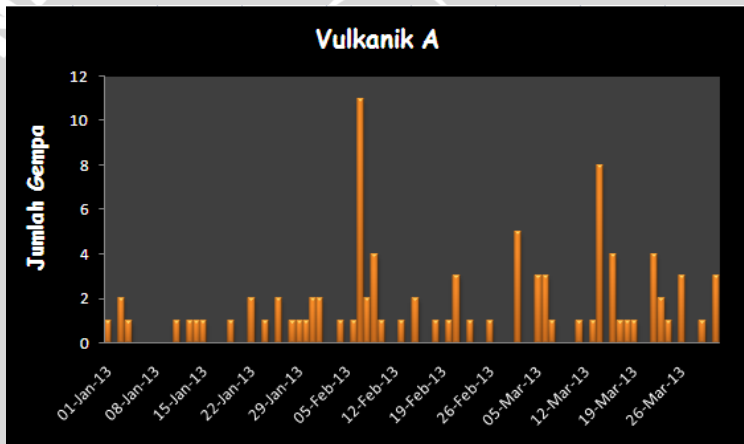
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB IV

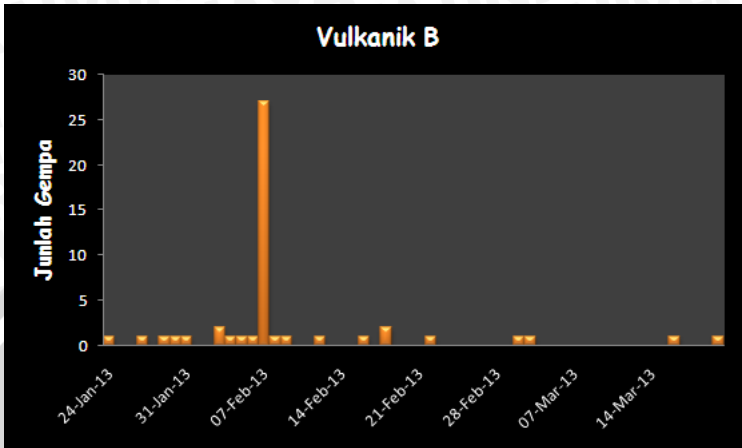
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengamatan seismik yang dilakukan secara berkala terhadap aktifitas kegempaan vulkanik Gunung Talang Sumatera Barat, maka dapat dianalisis bahwa adanya peningkatan aktifitas vulkanik pada awal tahun 2013 ini. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya gempa vulkanik tipe A ataupun gempa vulkanik tipe B yang memiliki frekuensi lebih tinggi dibandingkan sebelumnya. Dengan mengetahui besarnya nilai frekuensi pada tiap-tiap gempa vulkanik maka berikutnya dapat diketahui karakteristik dari gempa vulkanik Gunung Talang pada awal tahun 2013.



**Gambar 4.1** Seismisitas vulkanik tipe A Gunung Talang periode Januari 2013 sampai Maret 2013





**Gambar 4.2** Seismisitas vulkanik tipe B Gunung Talang periode Januari 2013 sampai Maret 2013

Gambar 4.1 dan gambar 4.2 di atas menunjukkan jumlah gempa vulkanik tipe A dan gempa vulkanik tipe B yang terjadi di Gunung Talang pada awal tahun 2013. Terlihat bahwasanya pada tanggal 7 Februari 2013 terjadi peningkatan aktifitas vulkanik secara signifikan. Hal ini dapat dikorelasikan dengan adanya gempa tektonik yang terjadi di wilayah Sumatera Barat pada hari itu juga. Sehingga dengan adanya gempa tektonik yang notabene berkekuatan  $\pm 5.6$  skala richter (SR) itu telah mempengaruhi sekaligus memicu aktifitas vulkanik dari Gunung Talang itu sendiri. Tercatat pada tanggal 7 Februari 2013 tersebut terjadi gempa vulkanik tipe A sebanyak 11 gempa dan gempa vulkanik tipe B sebanyak 27 gempa. Gempa-gempa vulkanik tersebut selanjutnya diseleksi sehingga diperoleh gempa-gempa yang bagus. Dalam artian diperoleh gempa-gempa vulkanik yang dapat diamati secara jelas antara gelombang primer (P) dan gelombang sekundernya (S) sehingga dapat dikaji dalam pengkarakteristikan gempa dan mempermudah dalam penentuan hiposenter.

Berdasarkan seleksi data dengan menggunakan software LS7\_WVE maka diperoleh data yang akan dianalisis lebih lanjut untuk dikaji spektral dan ditentukan kedalaman hiposenter gempa

tersebut. Serta selain itu juga dapat diestimasi terkait besarnya kecepatan gelombang seismik di sekitar Gunung Talang Sumatera Barat. Berikut data-data gempa vulkanik yang telah diseleksi :

**Tabel 4.1** Data hasil seleksi gempa vulkanik

<b>Tanggal</b>	<b>Jam (WIB)</b>
01 Januari	01.22
02 Januari	00.00
03 Januari	12.33
03 Januari	18.16
04 Januari	03.36
07 Januari	05.11
09 Januari	19.38
11 Januari	12.31
15 Januari	03.55
01 Februari	16.12
02 Februari	00.34
04 Februari	00.21
04 Februari	13.32
05 Februari	22.07
05 Februari	22.13
07 Februari	02.04
07 Februari	04.40
07 Februari	05.24
07 Februari	07.06
07 Februari	08.45
07 Februari	09.00
07 Februari	16.52
07 Februari	17.51
08 Februari	04.39
08 Februari	04.54
09 Februari	07.28
09 Februari	11.21
12 Februari	11.12
03 Maret	02.31
03 Maret	03.31
05 Maret	00.15
08 Maret	21.25
11 Maret	07.11

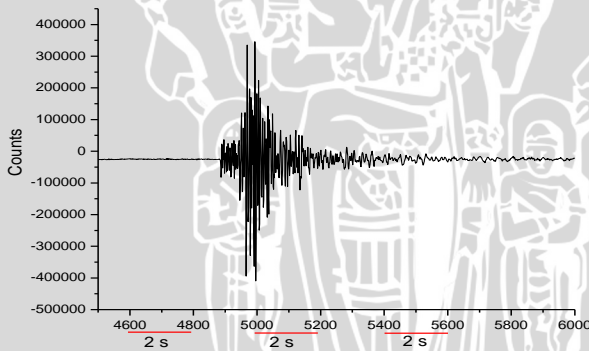
#### 4.1. Hasil Spektral Vulkanik Gunung Talang

Berdasarkan hasil estimasi spektral yang dilakukan pada rekaman sinyal gempa vulkanik Gunung Talang yang telah diseleksi maka diperoleh nilai frekuensi dominan yang relatif sama pada tiap-tiap stasiun seismik. Dalam hal ini dilakukan pemisahan antara gelombang P dan gelombang S. Sehingga diperoleh masing-masing frekuensi dominan pada gelombang P dan frekuensi dominan pada gelombang S. Hal ini dimaksudkan agar diketahui lebih jelas nilai frekuensi dominannya.

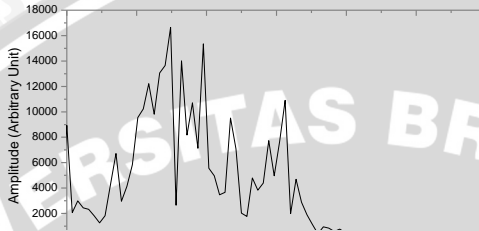
Dalam domain frekuensi dapat dikaji dan dianalisis sifat-sifat fisis gempa vulkanik tersebut. Berbeda dengan apabila bekerja dalam domain waktu yang notabene tidak akan memperoleh informasi apapun. Dengan demikian terlihat jelas manfaatnya apabila bekerja dalam domain frekuensi (spektral) dibanding dalam domain waktu.

Di bawah ini ditunjukkan beberapa contoh hasil estimasi spektral pada event-event di beberapa stasiun seismik :

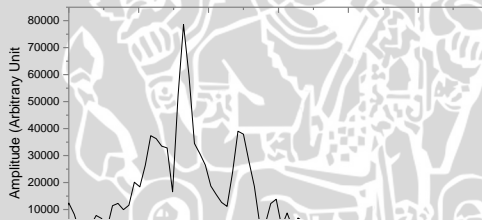
(a)



(b)

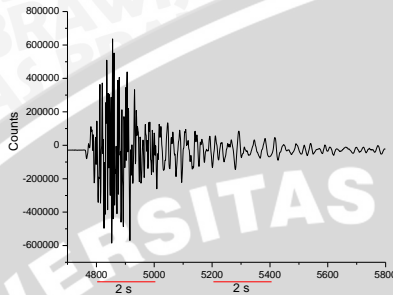


(c)

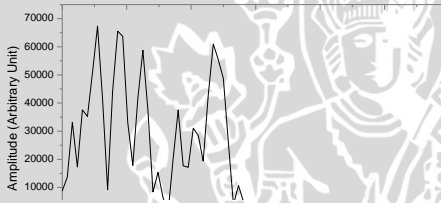


**Gambar 4.3** Sinyal gempa vulkanik dan spektral pada stasiun Gabuo pada 7 Februari 2013 jam 16.52 WIB. (a) Kenampakan sinyal vulkanik (b) Spektral pada gelombang P (frekuensi dominan=14.84 Hz) (c) Spektral pada gelombang S (frekuensi dominan = 15.62 Hz)

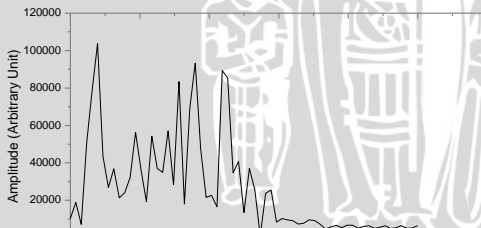
(a)



(b)



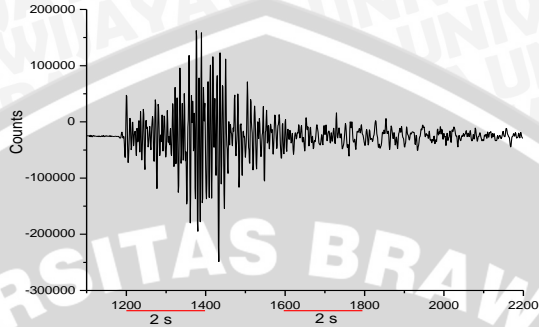
(c)



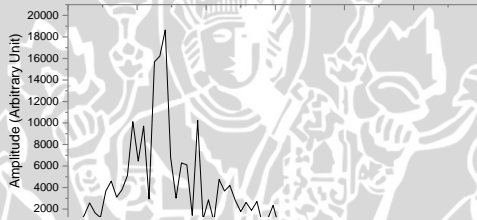
**Gambar 4.4** Sinyal gempa vulkanik dan spektral pada stasiun Gabuo pada 8 Februari 2013 jam 04.54 WIB. (a) Kenampakan sinyal vulkanik (b) Spektral pada gelombang P (frekuensi dominan = 5.46 Hz) (c) Spektral pada gelombang S (frekuensi dominan = 3.90 Hz)



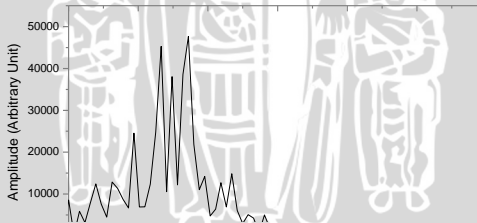
(a)



(b)



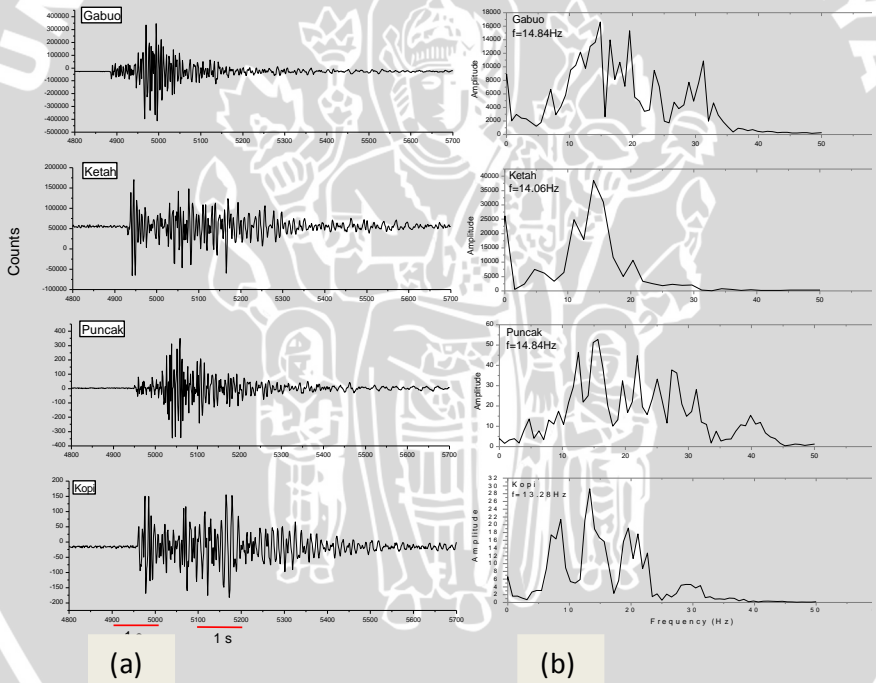
(c)



**Gambar 4.5** Sinyal gempa vulkanik dan spektral pada stasiun Gabuo pada 7 Februari 2013 jam 17.51 WIB. (a) Kenampakan sinyal vulkanik (b) Spektral pada gelombang P (frekuensi dominan = 14.06 Hz) (c) Spektral pada gelombang S (frekuensi dominan = 17.18 Hz)

Ketiga gambar di atas merupakan contoh keluaran spektral frekuensi dari stasiun Gabuo. Terlihat bahwa antara frekuensi pada gelombang P dan frekuensi pada gelombang S memiliki selisih namun tidak terlalu besar.

Jika dibandingkan nilai frekuensi pada keempat stasiun yakni di stasiun gabuo, ketah, puncak serta stasiun kopi akan diperoleh nilai frekuensi yang tidak jauh berbeda. Meskipun ada beberapa yang menunjukkan nilai dengan selisih yang cukup besar. Seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini yang dicuplik dari event pada tanggal 7 Februari 2013 jam 16.52 WIB sebagai berikut :

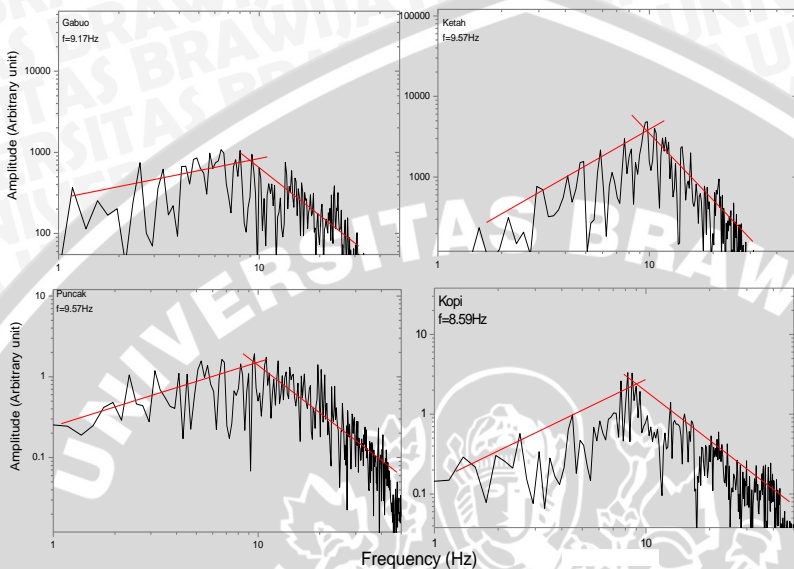


**Gambar 4.6** (a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi

Gambar 4.6 di atas menunjukkan sinyal event gempa serta hasil analisis spektral dengan mengetahui nilai frekuensi dominannya. Berdasarkan gambar di atas terlihat bahwa nilai frekuensi yang dihasilkan dari stasiun Gabuo adalah 14.84 Hz, stasiun Ketah adalah 14.06 Hz, stasiun Puncak adalah 14.84 Hz dan di stasiun Kopi adalah 13.28 Hz. Dari hasil di atas maka dapat dianalisis bahwa nilai frekuensi yang diperoleh menunjukkan nilai yang relatif tidak jauh berbeda dari keempat stasiun yang ada. Adapun selisih nilai frekuensi pada masing-masing stasiun dipengaruhi oleh beberapa faktor. Diantaranya yaitu perbedaan jarak masing-masing stasiun dengan sumber gempa. pada dasarnya gelombang seismik yang merambat di bawah permukaan akan mengalami pelemahan (atenuasi gelombang) seiring dengan bertambahnya jarak yang ditempuh gelombang seismik dari sumbernya. Salah satunya karena efek *spherical divergence* atau penyebaran energi ke segala arah akibat geometri.

Rentang nilai frekuensi yang hampir sama juga ditunjukkan pada nilai frekuensi *cut-off* (*corner frequency*) yang diperoleh. Frekuensi *cut-off* ini diperoleh dengan mengubah dari tipe linear menjadi tipe dalam bentuk log (dalam software origin) yang hasilnya dapat ditunjukkan sebagaimana berikut :





**Gambar 4.7** Spektral Frekuensi Corner pada tanggal 7 Februari 2013 jam 09.00 WIB

Berdasarkan hasil spektral pada tanggal 7 Februari 2013 jam 09.00WIB di atas terlihat dari keempat stasiun diperoleh nilai frekuensi corner dengan rata-rata sekitar 9 Hz. Nilai yang relatif sama juga ditunjukkan pada hasil spektral dalam tipe linear yang juga menunjukkan hasil dengan rentang yang sama. Begitu pula pada event gempa vulkanik lainnya. Sehingga antara hasil spektral tipe linear dengan spektral tipe log akan menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda.

Nilai frekuensi yang didapatkan dari penelitian ini adalah tergolong frekuensi tinggi. Terlihat pada frekuensi gempa vulkanik yang diperoleh relatif lebih dari 10Hz. Jika dianalisis hasil data tersebut maka terdapat korelasi antara nilai tersebut dengan struktur geologi di sekitar Gunung Talang. Pasalnya Gunung Talang sendiri

terletak di daerah yang berkaitan dengan zona depresi pada sebuah segmen Sesar Besar Sumatra (Sesar Semangko) yang memanjang sepanjang Sumatera. Seperti dikutip (dalam Sieh, 2000) dikatakan bahwa Wilayah Gunung Talang berada di bagian tenggara segmen ini dan memiliki intensitas kegempaan yang tinggi.

Berdasarkan James N. Brune dalam bukunya *Tectonic Stress and Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes*, panjang *rupture* (Length of rupture) dapat dihitung menggunakan rumus empiris sebagaimana berikut :

$$r = \frac{2.34 \beta}{2 \pi f_0} \quad (4.1)$$

$$L = 2 r \quad (4.2)$$

di mana :

$r$  : radius dari sumber ( radius of circular source) (m)

$L$  : panjang *rupture* (length of rupture) (m)

$\beta$  : kecepatan gelombang S (m/s)

$f_0$  : frekuensi cut off ( corner frequency) (Hz)

Dalam hal ini kecepatan gelombang P dianggap 2800 m/s, sebab sesuai dengan kecepatan gelombang pada kerak bumi. Dengan demikian berdasarkan perbandingan  $V_p:V_s = \sqrt{3}:1$  maka diperoleh nilai kecepatan gelombang S ( $\beta$ ) adalah 1618 m/s. Sehingga jika semua parameter dimasukkan kedalam rumus empiri di atas akan didapatkan hasilnya seperti ditunjukkan pada tabel dibawah ini :



**Tabel 4.2** Hasil Estimasi Panjang Rekahan (Length of Rupture)

<b>Tanggal Event</b>	<b>Corner Frequency <math>F_0</math> (Hz)</b>	<b>Radius of Circular Source (m)</b>	<b>Length of Rupture (m)</b>
01 Januari	16.4	36.76	73.52
03 Januari	13.67	44.10	88.20
04 Januari	17.87	33.73	67.47
07 Januari	14.84	40.62	81.25
09 Januari	16.79	35.90	71.81
11 Januari	15.23	39.58	79.17
15 Januari	11.32	53.25	106.51
02 Februari	8.49	71.01	142.02
04 Februari	14.64	41.18	82.36
04 Februari	15.82	38.10	76.21
05 Februari	12.30	49.01	98.03
05 Februari	17.57	34.31	68.62
07 Februari	16.89	35.69	71.38
07 Februari	16.21	37.19	74.38
07 Februari	9.17	65.74	131.49
07 Februari	16.60	36.31	72.63
07 Februari	16.99	35.48	70.96
09 Februari	16.01	37.65	75.31
09 Februari	16.79	35.90	71.81
12 Februari	4.88	123.54	247.08
03 Maret	16.79	35.90	71.81
03 Maret	12.89	46.77	93.54
05 Maret	14.55	41.43	82.87
08 Maret	16.79	35.90	71.81
11 Maret	12.59	47.88	95.77

## 4.2. Hasil Penentuan Hiposenter

Setelah dilakukan analisis data menggunakan software GAD maka diperoleh nilai kedalaman hiposenter yang bervariasi. Berikut koordinat serta kedalaman (depth) tiap-tiap event gempa yang telah diseleksi :

**Tabel 4.3** Koordinat hiposenter gempa vulkanik

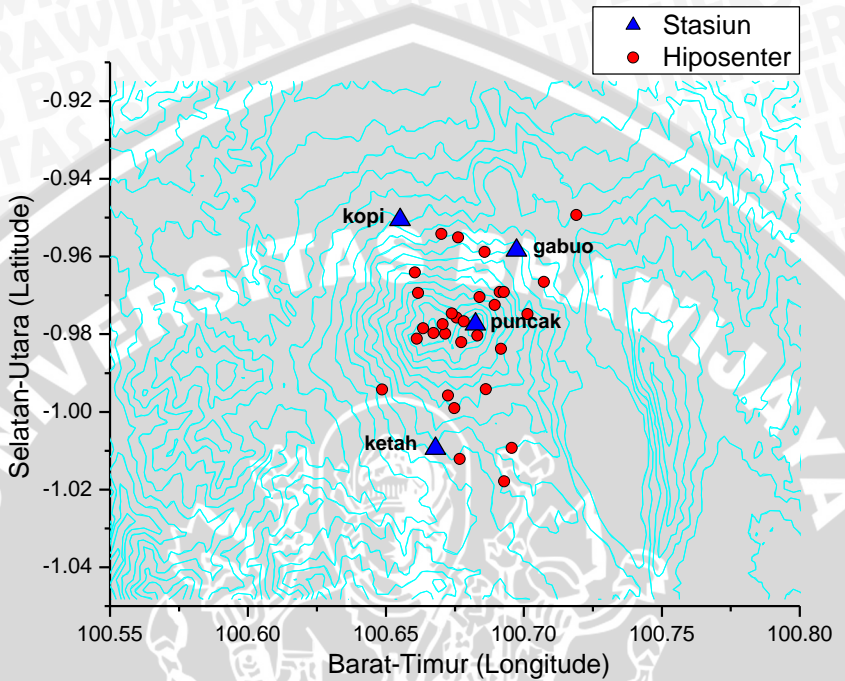
Tanggal Event	Jam (WIB)	Hiposenter		
		x	y	z
01 Januari	01.22	-0.241	0.408	-0.181
02 Januari	00.00	0.705	-2.17	-4.767
03 Januari	12.33	-3.428	1.76	-7.091
03 Januari	18.16	-2.03	0.304	-0.158
04 Januari	03.36	1.101	-0.653	-0.653
07 Januari	05.11	-6.1	4.578	-6.975
09 Januari	19.38	-0.435	-0.296	-0.894
11 Januari	12.31	-0.136	-0.187	-1.04
15 Januari	03.55	-1.977	-0.999	-0.002
01 Februari	16.12	-2.099	-1.586	-0.175
02 Februari	00.34	-0.89	0.16	-0.519
04 Februari	00.21	1.312	-1.027	-1.331
04 Februari	13.32	-1.773	0.009	-1.155
05 Februari	22.07	0.503	-0.882	-0.184
05 Februari	22.13	1.475	-1.026	-1.478
07 Februari	02.04	3.08	-1.312	-1.29
07 Februari	04.40	4.388	-3.227	-1.717
07 Februari	05.24	0.406	0.218	-0.309
07 Februari	07.06	-1.041	-2.686	-4.27
07 Februari	08.45	-0.52	2.29	-1.624
07 Februari	09.00	-0.364	-2.584	-1.901
07 Februari	16.52	1.361	0.595	-1.448
07 Februari	17.51	2.431	-0.393	-5.942

08 Februari	04.39	-0.622	-0.416	-2.327
08 Februari	04.54	-1.359	0.142	-1.371
09 Februari	07.28	-0.773	1.928	-6.973
09 Februari	11.21	0.754	1.75	-1.843
12 Februari	11.12	-0.302	3.747	-0.962
03 Maret	02.31	1.789	3.425	-0.107
03 Maret	03.31	-0.987	-0.11	-4.978
05 Maret	00.15	7.771	4.101	-1.431
08 Maret	21.25	1.484	4.389	-0.134
11 Maret	07.11	4.756	3.538	-1.757

Tabel 4.2 di atas menunjukkan lokasi dari hiposenter gempa-gempa vulkanik Gunung Talang. Dimana X merepresentasikan koordinat hiposenter dalam sumbu X. Y merepresentasikan koordinat hiposenter dalam sumbu Y. Serta Z merepresentasikan kedalaman (depth). Nilai Z (depth) semuanya dikonversi ke dalam format negatif. Hal ini dimaksudkan karena sebagai acuan lokasi hiposenter berada di bawah permukaan laut.

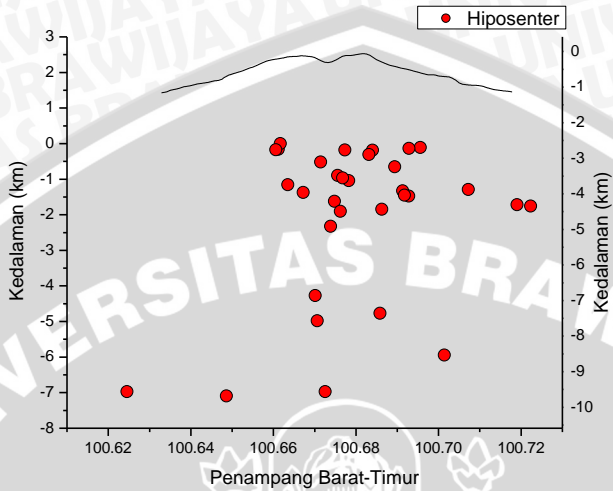
Visualisasi lokasi penyebaran hiposenter di bawah permukaan Gunung Talang dapat dinyatakan dalam 3 penampang. Diantaranya yaitu penampang horizontal, penampang barat-timur dan penampang selatan-utara. Dalam hal ini titik 0.0 dianggap sebagai lokasi dari puncak Gunung Talang.

Dengan mengplot koordinat sumbu x dan sumbu y maka diperoleh :

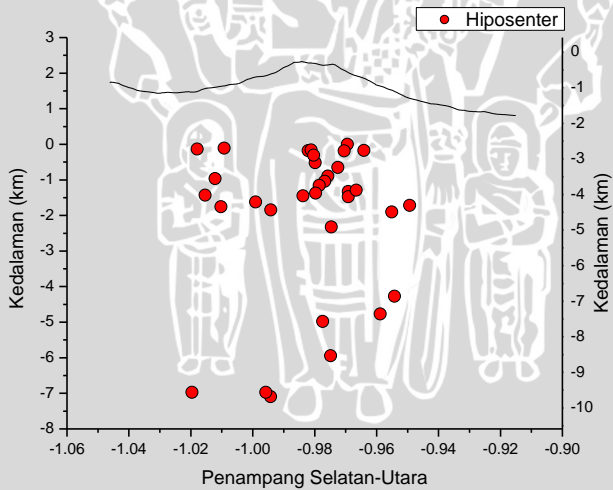


**Gambar 4.7** Penyebaran episenter

Dengan mengplot koordinat sumbu x dengan sumbu z (depth) serta sumbu y dengan sumbu z maka diperoleh lokasi beserta kedalaman hiposenter, yang mana ditunjukkan oleh penampang dibawah ini :



**Gambar 4.8** Penyebaran hiposenter pada proyeksi Barat-Timur



**Gambar 4.9** Penyebaran hiposenter pada proyeksi Selatan-Utara



Estimasi hiposenter gempa vulkanik Gunung Talang pada bulan Januari hingga bulan Maret 2013 menunjukkan nilai kedalaman yang bervariasi. Kedalaman hiposenter tersebut berkisar antara 2 km sampai 9 km di bawah puncak Gunung Talang.

Peningkatan aktivitas vulkanik Gunung Talang ditandai dengan adanya kemunculan gempa tektonik Mentawai 6.8 SR pada tahun 2005. Erupsi terjadi pada tanggal 12 April 2005 dan menghasilkan dua kawah baru yaitu Kawah Utama dan Kawah Selatan (Purbawinata, 2005). Erupsi tersebut kemungkinan terjadi akibat adanya penumpukan energi akibat akumulasi uap air yang terjebak yang mempunyai kekuatan yang tinggi, kemudian batuan disekitarnya terkoyak oleh gempa terasa mentawai yang akhirnya terjadi letusan freatik (letusan uap air tekanan tinggi).

Penyebaran episenter gempa vulkanik (VA dan VB) Gunung Talang setelah letusan tahun 2005 berada di bagian utara-baratdaya yang hampir searah dengan rekahan yang terbentuk sebelum tahun 2005, sedangkan hiposenternya berada di kedalaman 1.5 hingga 4.5 km dari puncak Gunung Talang (Irawan, 2005).

Distribusi episenter gempa vulkanik pada maret 2007 (Sulaeman, 2007) berada di bagian tenggara-baratlaut pada kedalaman 0.5 hingga 5 km dari puncak Gunung Talang. Begitu juga pada periode 2008 yang sebaran episenternya berada pada tenggara-baratlaut, namun kedalamannya mengalami perubahan yaitu berkisar antara 2 hingga 6 km dari puncak Gunung Talang.

Sebaran episenter gempa vulkanik Gunung Talang pada periode Agustus-September 2009 berorientasi tenggara-baratlaut dengan kedalaman 2 hingga 9 km dibawah puncak.

Hal yang relatif berbanding lurus juga ditunjukkan pada hasil penyebaran hiposenter pada awal tahun 2013 yang juga berkisar pada kedalaman 2 hingga 9 km dibawah puncak Gunung Talang. Episenter yang berorientasi tenggara-baratlaut searah dengan Sesar Besar Sumatera segmen Sumani tempat Gunung Talang berada. Dari penyebaran episenter ini terlihat bahwa pengaruh tektonik terhadap kemunculan gempa vulkanik di Gunung Talang lebih kuat daripada pengaruh aktivitas vulkanik.

Sistem hidrotermal dibawah Gunung Talang sangat aktif, terlihat dari alterasi batuan sekitar pusat-pusat kegiatan akibat pengeluaran gas solfatara dari magma dan uap air dari bawah

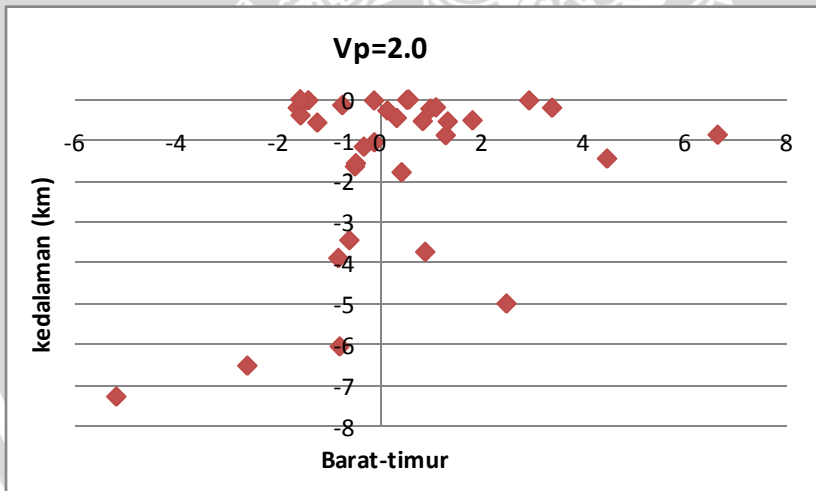
permukaan. Uap air ini apabila terhambat pengeluarannya akan berakumulasi menghimpun energi yang akan menghancurkan penutup disekitarnya. Sangat aktifnya system hidrotermal dibawah Gunung Talang, terlihat pula dari rekaman kegempaan dengan munculnya gempa tipe T (monokromatik). Gempa tersebut mengindikasikan adanya proses pelepasan/pengeluaran gas/uap air ke permukaan akibat adanya proses infiltrasi yang bersumber dari danau-danau yang ada di sekitar Gunung Talang.

### 4.3. Hasil Estimasi Kecepatan Gelombang

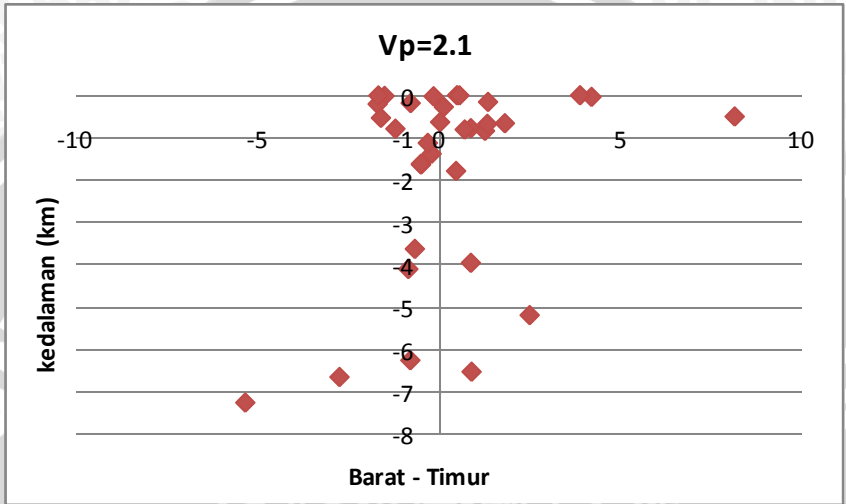
Berdasarkan persamaan  $V_p:V_s = \sqrt{3}:1$  maka dapat diubah-ubah nilai kecepatan gelombang P dan gelombang S sebagai input pada software GAD yang kemudian dapat dilakukan estimasi kecepatan untuk gelombang seismik di sekitar Gunung Talang.

Adapun hasil dari pengolahannya dapat ditunjukkan sebagaimana berikut :

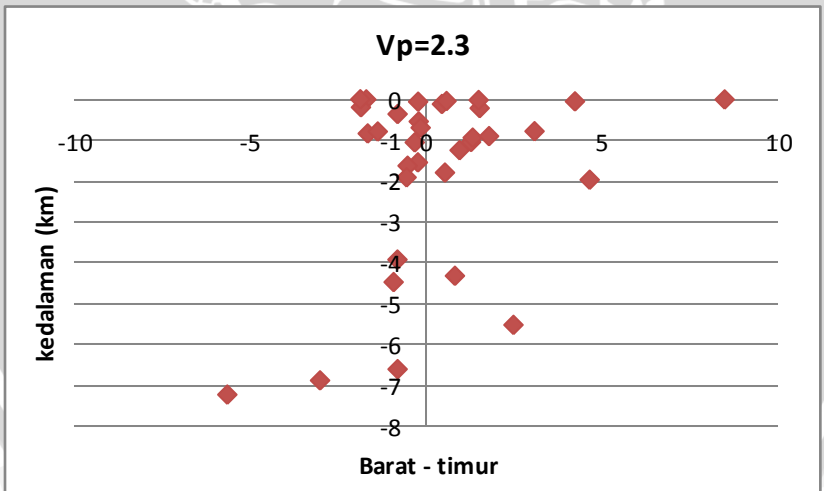
- a. Kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) = 2,0 km/s dan kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) = 1,154 km/s



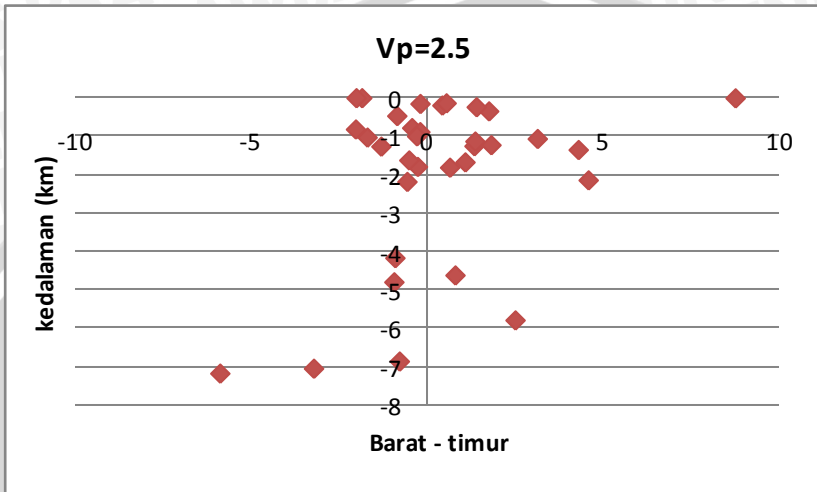
- b. Kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) = 2,1 km/s dan kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) = 1,213 km/s



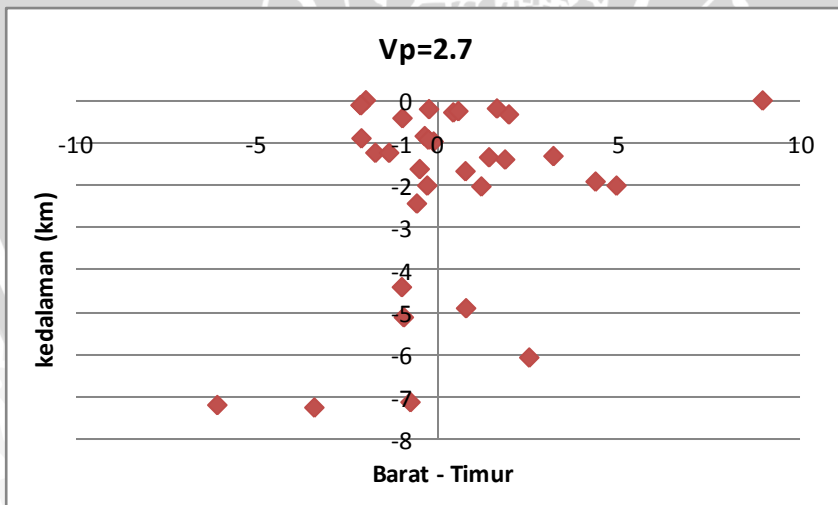
- c. Kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) = 2,3 km/s dan kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) = 1,327 km/s



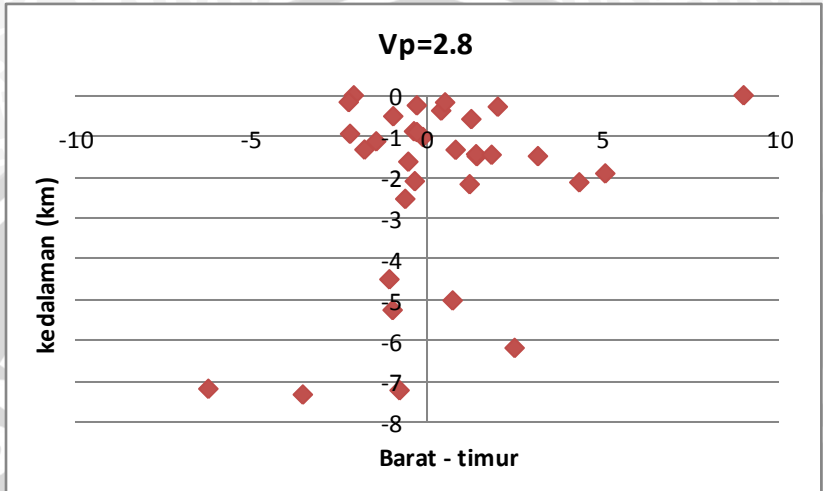
- d. Kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) = 2,5 km/s dan kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) = 1,443 km/s



- e. Kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) = 2,7 km/s dan kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) = 1,560 km/s



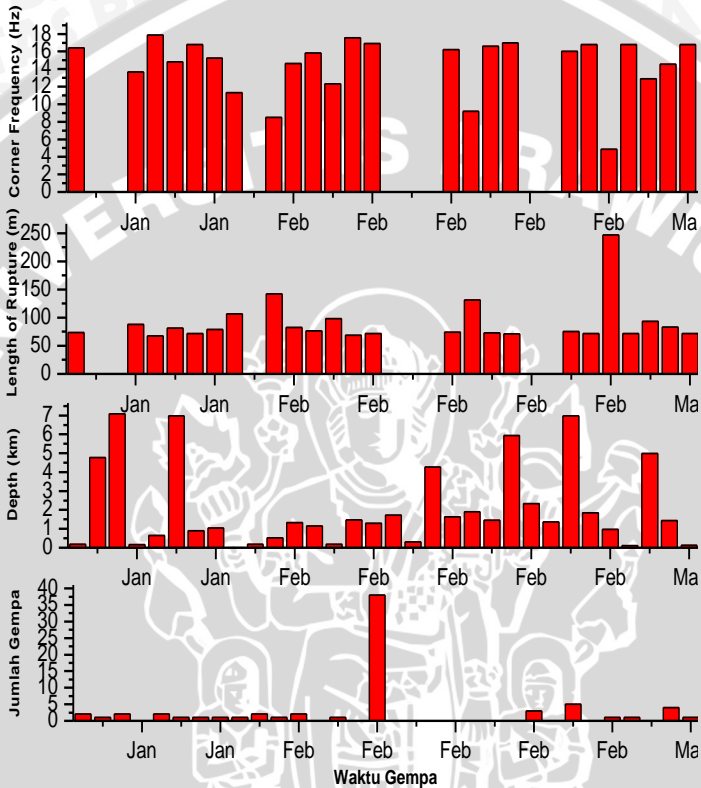
- f. Kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) = 2,8 km/s dan kecepatan gelombang S ( $V_s$ ) = 1,616 km/s



Berdasarkan gambar penyebaran hiposenter di atas dapat dianalisis bahwa penyebaran hiposenter yang kurang beraturan atau kurang rapat terlihat pada kecepatan 2.0 km/s ataupun 2.3 km/s. Sedangkan pada kecepatan 2.5 km/s ataupun 2.8 km/s terlihat adanya penyebaran hiposenter yang rapat dan beraturan. Sehingga dapat dikatakan bahwa kecepatan gelombang seismik di sekitar Gunung Talang adalah antara 2.5 km/s sampai 2.8 km/s. Hal tersebut dapat dikorelasikan dengan kecepatan gelombang seismik pada kerak bumi yang juga memiliki nilai sekitar 2.5 km/s sampai 2.8 km/s, dengan anggapan bahwa medium yang dilewati masih kompak atau memiliki densitas yang cukup tinggi. Hal ini juga terlihat dari tingginya nilai frekuensi yang diperoleh.



Berikut ditunjukkan korelasi antara waktu terjadinya gempa dengan beberapa parameter yang telah diestimasi sebelumnya sehingga dapat dianalisa terkait perubahan yang muncul pada periode Januari hingga Maret 2013 :



**Gambar 4.10** Hubungan waktu terjadinya gempa dengan jumlah gempa, kedalaman hiposenter, panjang rekahan dan frekuensi corner

Merujuk pada gambar di atas terlihat bahwa terjadi peningkatan jumlah gempa vulkanik secara signifikan pada bulan Februari 2013. Gempa vulkanik dengan jumlah yang tidak sedikit

muncul pada tanggal 7 Februari 2013. Tercatat pada tanggal tersebut terjadi gempa vulkanik tipe A sebanyak 11 gempa dan gempa vulkanik tipe B sebanyak 27 gempa. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), terjadi gempa berkekuatan 5.6 Skala Richter atau 5.5 Skala Richter berdasarkan USGS pada tanggal 7 Februari 2013 di 56 kilometer barat daya Pesisir Selatan, Sumatera Barat. Serta menurut data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Padang Panjang, terjadi dua gempa pada tanggal 19 Februari 2013. Sehingga dengan adanya gempa tektonik di wilayah Sumatera Barat tersebut telah mempengaruhi aktivitas vulkanik Gunung Talang yang ditandai dengan adanya peningkatan jumlah kegempaan secara progresif. Dan setelah kejadian tersebut, aktivitas kegempaan vulkanik kembali normal seperti terlihat pada akhir bulan Februari dan Maret 2013 yang menunjukkan jumlah kegempaan vulkanik rata-rata sama dengan jumlah gempa pada bulan Januari atau sebelum adanya gempa tektonik di Sumatera Barat.

Berkaitan dengan kedalaman gempa, tidak terlihat perbedaan ataupun perubahan yang mencolok dalam periode Januari hingga Maret 2013. Kedalaman hiposenter tergolong relatif sama yaitu berkisar antara 2 sampai 9 km dibawah puncak. Begitu juga berlaku untuk nilai panjang rekahan (length of rupture) dan besarnya frekuensi corner (cut off) yang menunjukkan selisih relatif sedikit pada periode Januari hingga Maret 2013. Untuk panjang rekahan (length of rupture) saja misalnya terlihat nilai yang diperoleh berkisar antara 67 m hingga 142 m, meskipun terdapat satu gempa pada tanggal 12 Februari 2013 yang memiliki nilai jauh dari keadaan normal yaitu sekitar 247 m. Sedangkan untuk nilai Frekuensi Corner dari bulan Januari hingga Maret 2013 sendiri juga memiliki nilai yang relatif sama, seperti terlihat pada gambar di atas. Dengan rata-rata nilai lebih dari 10 Hz yang juga berkorelasi dengan keadaan geologi disekitar Gunung Talang yang merupakan manifestasi dari Sesar Besar Sumatera.

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Seismisitas kegempaan pada Gunung Talang pada periode Januari hingga Maret 2013 masih didominasi oleh gempa-gempa Vulkanik Dalam (VA), Vulkanik Dangkal (VB) dan Tektonik Jauh. Peningkatan aktivitas Gunung Talang pada umumnya dipicu oleh adanya gempa-gempa tektonik dengan intensitas besar. Adapun kesimpulan dari analisis fisis aktivitas kegempaan Gunung Talang adalah sebagai berikut :

1. Nilai frekuensi dominan maupun frekuensi *cut-off* (*corner frequency*) adalah berkisar antara 3,12 hingga 17,87 Hz. Tingginya nilai yang diperoleh merupakan manifestasi dari kondisi geologi di sekitar Gunung Talang yang notabene adalah kawasan Sesar Besar Sumatera.
2. Hasil estimasi panjang *rupture* (*length of rupture*) akibat gempa vulkanik bernilai antara 67 hingga 142 m.
3. Sebaran hiposenter gempa vulkanik berkisar antara 2 hingga 9 km dibawah puncak Gunung Talang.
4. Hasil estimasi kecepatan gelombang seismik yang sesuai di sekitar Gunung Talang adalah pada kecepatan antara 2,5 hingga 2,8 km/s. Dimana kondisi medium di sekitarnya tergolong masih kompak.

#### 5.2. Saran

Beberapa saran untuk mendapatkan informasi yang lebih rinci dan akurat dalam pemantauan aktivitas Gunung Talang adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian ini digunakan *software* GAD dalam penentuan hiposenter dengan menggunakan nilai kecepatan gelombang yang sudah ada dalam *software* tersebut. Sehingga perlu dilakukan estimasi kecepatan pada beberapa medium di sekitar Gunung Talang untuk mendapatkan nilai yang sesuai.
2. Dalam penjalarnya, gelombang seismik dalam penelitian ini diasumsikan homogen isotropis. Oleh karena itu ada

kalanya jika penjalarnya dianggap anisotropis, sehingga hasil yang diperoleh semakin akurat.

3. Perlu dilakukan penambahan peralatan pemantauan kegempaan di sekitar Gunung Talang atau tepatnya di lereng selatan untuk membedakan gempa-gempa yang berasal dari aktivitas gunungapi dengan gempa-gempa gangguan (*noise*).

UNIVERSITAS BRAWIJAYA





## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Agus. 2011. *Ensiklopedi Seismik Online*.  
<http://ensiklopediseismik.blogspot.com>. Diakses pada tanggal 1 Juli 2013.
- Aki, K. & P.G. Richard. 1980. *Quantitative Seismology : Theory and Methods*. W.H Freeman and Co. San Fransisco.
- Brune, J,N. 1970. *Tectonic Stress and Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes*. J Geophys Res.
- Irawan,W.,Purbawinata M.A., & Dana I.N., 2005. *Laporan Tanggap Darurat Kegiatan G.Talang 2005*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung
- Kriswati E.,Pamitro Y., Basuki A., 2010. *Mekanisme Gempa Vulkanik Gunung Talang Pasca Gempa Tektonik Mentawai Tahun 2007-2009, Sumatera Barat*. Jurnal Geologi Indonesia.
- Lilie, Robert J. 1999. *Whole Earth Geophysics*. Prentice Hall, New Jersey.
- Minakami, T. 1974. *Seismology of Vulcanoes in Japan*.Journal of Physical Volcanology.Development in Solid Earth geophys.
- Mulyo, Agung. 2004. *Pengantar Ilmu Kebumihan*. Pustaka Setia, Bandung.
- Munandar, A. 1995. *Pemetaan Geologi Gunungapi Talang dan Sekitarnya*. Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- Perwita, C.A. 2011. *Analisis Sinyal Seismik Gempa Letusan Gunung Semeru Jawa Timur Tahun 2009*. Tugas Akhir, Universitas Brawijaya, Malang.
- Prasetya, A. 2010. *Belajar Seismik Refleksi*. <http://cak-di.blogspot.com> . Diakses pada tanggal 1 Juli 2013.
- Purbawinata, M.A., 2001. *Peningkatan Kegiatan Gunung Talang Sumatera Barat*. Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung
- Sieh, K & Natawidjaja. 2000. *Neotectonics of Sumatran Fault, Indonesia*. Journal of Geophysical Research.
- Siswowidjoyo, S.S., 1981. *Metoda Pengamatan, Analisis Gempa dan Hubungannya dengan Tingkat Kegiatan Gunungapi*. Sub Direktorat Pengamatan Gunungapi Direktorat Vulkanologi, Bandung
- Sulaeman, C. 2007. *Tanggap Darurat Letusan Gunungapi Talang*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung.

- Triastuty, H. 1996. *Analisis Fisis Tingkat Kegiatan Gunung Bromo Berdasarkan Spektral Tremor dan Hiposenter Gempa Gunungapi*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung.
- Triastuty, H. 2010. *Instalasi Peralatan Seismik Gunungapi Talang Maret 2010*. Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Bandung.
- Witton, Pattick dan Mark Elliot. 2003. *Indonesia*. Lonely Planet Publications, Ltd.
- Yunazwardi, M. 2010. *Analisis Deformasi Gunungapi Talang Berdasarkan Data Pengamatan GPS*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung.
- Zobrin V.M. 2003. *Introduction to Volcano Seismology*. Elsevier Science. Amsterdam



## LAMPIRAN A

Tabel L.A.1 Hasil Analisis Spektral dan Waktu Tiba

Tanggal Event	Jam (WIB)	Frekuensi (Hz)				Waktu Tiba Gelombang P (s)				Waktu Tiba Gelombang S (s)			
		GBU	KTH	PCK	KPI	GBU	KTH	PCK	KPI	GBU	KTH	PCK	KPI
01 Januari	01.22	16.4	9.76	12.5	8.98	38.9	39.21	38.9	38.8	39.31	39.75	39.27	39.87
02 Januari	00.00	-	-	-	-	53.16	52.77	52.94	53.42	54.91	54.46	54.9	55.09
03 Januari	12.33	-	-	-	-	35.15	35.26	34.88	34.66	37.46	37.37	37.55	36.38
03 Januari	18.16	13.67	10.54	9.37	8.59	56.52	56.08	55.74	55.63	57.14	56.83	56.54	56.29
04 Januari	03.36	14.06	12.10	14.06	8.59	19.66	20.2	19.68	20.06	21.11	20.86	20.94	21.77
07 Januari	05.11	13.28	12.5	15.23	14.45	22.91	23.41	23.35	22.26	25.9	25.87	-	-
09 Januari	19.38	15.62	-	12.5	8.59	47.06	47.07	46.5	47.24	47.77	47.57	46.89	48.28
11 Januari	12.31	-	13.28	14.06	8.98	56.44	56.32	55.72	56.48	56.95	57.34	56.12	57.89
15 Januari	03.55	5.46	10.15	5.46	8.59	51.29	50.59	51.14	51.02	52.67	51.39	51.62	51.88
01 Februari	16.12	-	-	-	-	11.75	10.71	11.64	11.36	12.58	11.25	12.39	12.31
02 Februari	00.34	4.29	-	7.03	7.81	4.56	4.57	4.63	4.44	5.18	5.2	5.08	5.11
04 Februari	00.21	14.06	-	14.06	8.59	17.22	17.28	17.49	17.91	18.18	18.33	18.53	19.11
04 Februari	13.32	10.93	12.5	-	9.37	8.04	7.79	8.15	8.15	9.05	8.82	9.07	8.62
05 Februari	22.07	7.81	-	9.37	-	10.97	10.72	10.87	11.24	11.36	11.46	11.2	12.4

Lanjutan Tabel A.1

05 Februari	22.13	14.84	-	10.93	12.5	54.87	54.84	55.18	55.53	55.84	-	56.11	56.82
07 Februari	02.04	14.84	-	13.28	12.5	43.17	43.21	43.68	44.16	44.04	-	44.83	45.59
07 Februari	04.40	-	-	-	-	26.72	26.5	27.01	27.45	28.04	28.17	28.6	29.8
07 Februari	05.24	9.37	-	-	7.8	2.75	2.84	2.46	2.96	3.09	-	3.38	3.93
07 Februari	07.06	-	-	-	-	4.98	4.13	5.19	5.14	6.67	5.9	6.92	6.61
07 Februari	08.45	14.06	11.71	14.06	12.5	8.45	-	8.24	8.34	8.79	-	9.08	8.74
07 Februari	09.00	7.03	9.37	10.93	8.59	53.19	52.26	53.4	53.46	54.39	53.46	54.57	54.79
07 Februari	16.52	14.84	14.06	14.84	13.28	48.89	49.37	49.59	49.62	49.69	-	50.26	50.64
07 Februari	17.51	14.06	10.93	13.28	8.59	12	12.28	12.69	12.72	13.93	14.42	14.69	14.44
08 Februari	04.39	-	-	-	-	37.87	37.78	38.16	38.18	39.26	-	39.35	39.03
08 Februari	04.54	5.46	-	10.15	6.25	47.67	47.67	48.16	47.55	48.68	48.52	48.75	48.39
09 Februari	07.28	13.28	-	9.76	8.59	34.16	-	34.91	34.2	36.6	-	36.62	36.12
09 Februari	11.21	14.06	-	14.06	8.59	15.69	-	16.01	16.72	16.26	-	16.43	17.62
12 Februari	11.12	3.12	-	4.68	6.25	42.28	-	43.01	42.24	42.69	-	43.82	42.52
03 Maret	02.31	14.06	-	14.06	-	14.55	-	15.82	15.61	15.67	-	16.69	16.65
03 Maret	03.31	12.89	-	12.5	7.81	11.17	11.18	11.92	11.22	13.10	-	13.19	-
05 Maret	00.15	14.45	-	12.10	-	36.35	-	37.49	37.69	38.37	-	39.64	-
08 Maret	21.25	16.01	-	11.32	13.86	37.22	-	38.77	38.12	38.20	-	39.80	38.93
11 Maret	07.11	12.89	-	10.54	-	41.03	-	42.39	42.96	42.25	-	43.80	-

Tabel L.A.2 Hasil Analisis Spektral dan Frekuensi Corner

Tanggal Event	Jam (WIB)	Frekuensi Gelombang P (Hz)				Frekuensi Gelombang S (Hz)				Frekuensi Corner (Hz)			
		GBU	KTH	PCK	KPI	GBU	KTH	PCK	KPI	GBU	KTH	PCK	KPI
01 Januari	01.22	16.4	9.76	12.5	8.98	9.17	12.5	10.15	8.59	16.4	12.5	12.5	8.78
02 Januari	00.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03 Januari	12.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03 Januari	18.16	13.67	10.54	9.37	8.59	13.28	10.93	13.28	8.98	13.67	10.54	12.89	8.78
04 Januari	03.36	14.06	12.10	14.06	8.59	12.5	11.71	17.18	8.59	17.87	12.59	16.79	14.06
07 Januari	05.11	13.28	12.5	15.23	14.45	14.84	10.93	10.54	14.84	14.84	11.13	10.54	14.45
09 Januari	19.38	15.62	-	12.5	8.59	17.18	-	14.06	8.59	16.79	-	15.62	8.20
11 Januari	12.31	-	13.28	14.06	8.98	14.84	12.5	14.84	14.84	15.23	12.69	15.23	14.84
15 Januari	03.55	5.46	10.15	5.46	8.59	7.03	9.37	9.37	7.81	11.32	10.74	5.27	7.81
01 Februari	16.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02 Februari	00.34	4.29	-	7.03	7.81	5.46	-	5.46	8.20	8.49	-	9.66	8.39
04 Februari	00.21	14.06	-	14.06	8.59	14.84	-	12.5	6.25	14.64	-	14.45	14.25
04 Februari	13.32	10.93	12.5	-	9.37	10.15	9.37	-	8.20	15.82	12.10	-	8.39
05 Februari	22.07	7.81	-	9.37	-	12.5	-	15.62	-	12.30	-	14.06	-
05 Februari	22.13	14.84	-	10.93	12.5	15.62	-	16.7	8.20	17.57	-	16.40	8.59



Lanjutan Tabel A.2

07 Februari	02.04	14.84	-	13.28	12.5	16.40	-	14.06	-	16.89	-	13.47	14.45
07 Februari	04.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07 Februari	05.24	9.37	-	-	7.8	15.62	-	13.28	8.2	-	-	-	-
07 Februari	07.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07 Februari	08.45	14.06	11.71	14.06	12.5	16.40	13.28	17.18	12.5	16.21	11.91	14.06	8.20
07 Februari	09.00	7.03	9.37	10.93	8.59	7.03	8.59	5.46	8.59	9.17	9.57	9.57	8.59
07 Februari	16.52	14.84	14.06	14.84	13.28	16.40	10.93	15.62	8.2	16.60	15.23	16.21	13.47
07 Februari	17.51	14.06	10.93	13.28	8.59	17.18	8.59	13.28	8.59	16.99	8.20	13.47	8.39
08 Februari	04.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
08 Februari	04.54	5.46	-	10.15	6.25	3.90	-	14.84	8.59	-	-	14.25	8.59
09 Februari	07.28	13.28	-	9.76	8.59	7.81	-	10.15	8.59	16.01	-	14.06	8.78
09 Februari	11.21	14.06	-	14.06	8.59	17.18	-	18.75	7.81	16.79	-	15.03	8.20
12 Februari	11.12	3.12	-	4.68	6.25	5.46	-	-	-	4.88	-	5.46	8.00
03 Maret	02.31	14.06	-	14.06	-	17.18	-	14.06	-	16.79	-	14.06	-
03 Maret	03.31	12.89	-	12.5	7.81	12.89	-	14.06	7.81	12.89	-	12.69	7.71
05 Maret	00.15	14.45	-	12.10	-	14.45	-	12.10	-	14.55	-	12.30	-
08 Maret	21.25	16.01	-	11.32	13.86	16.01	-	11.32	13.86	16.79	-	14.25	13.86
11 Maret	07.11	12.89	-	10.54	-	12.89	-	10.54	-	12.59	-	13.47	-

Tabel L.A.3 Hasil Estimasi Panjang Rekahan (Length of Rupture)

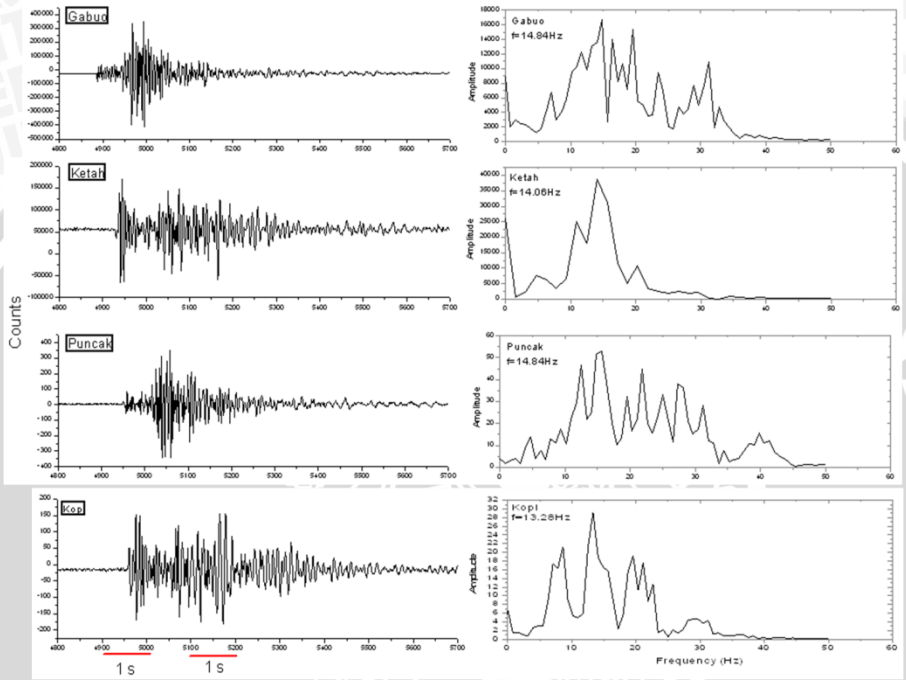
<b>Tanggal Event</b>	<b>Jam (WIB)</b>	<b>Corner Frequency <math>F_0</math> (Hz)</b>	<b>Radius of Circular Source (m)</b>	<b>Length of Rupture (m)</b>
01 Januari	01.22	16.4	36.76	73.52
02 Januari	00.00	-	-	-
03 Januari	12.33	-	-	-
03 Januari	18.16	13.67	44.10	88.20
04 Januari	03.36	17.87	33.73	67.47
07 Januari	05.11	14.84	40.62	81.25
09 Januari	19.38	16.79	35.90	71.81
11 Januari	12.31	15.23	39.58	79.17
15 Januari	03.55	11.32	53.25	106.51
01 Februari	16.12	-	-	-
02 Februari	00.34	8.49	71.01	142.02
04 Februari	00.21	14.64	41.18	82.36
04 Februari	13.32	15.82	38.10	76.21
05 Februari	22.07	12.30	49.01	98.03
05 Februari	22.13	17.57	34.31	68.62

Lanjutan Tabel A.3

07 Februari	02.04	16.89	35.69	71.38
07 Februari	04.40	-	-	-
07 Februari	05.24	-	-	-
07 Februari	07.06	-	-	-
07 Februari	08.45	16.21	37.19	74.38
07 Februari	09.00	9.17	65.74	131.49
07 Februari	16.52	16.60	36.31	72.63
07 Februari	17.51	16.99	35.48	70.96
08 Februari	04.39	-	-	-
08 Februari	04.54	-	-	-
09 Februari	07.28	16.01	37.65	75.31
09 Februari	11.21	16.79	35.90	71.81
12 Februari	11.12	4.88	123.54	247.08
03 Maret	02.31	16.79	35.90	71.81
03 Maret	03.31	12.89	46.77	93.54
05 Maret	00.15	14.55	41.43	82.87
08 Maret	21.25	16.79	35.90	71.81
11 Maret	07.11	12.59	47.88	95.77

## LAMPIRAN B

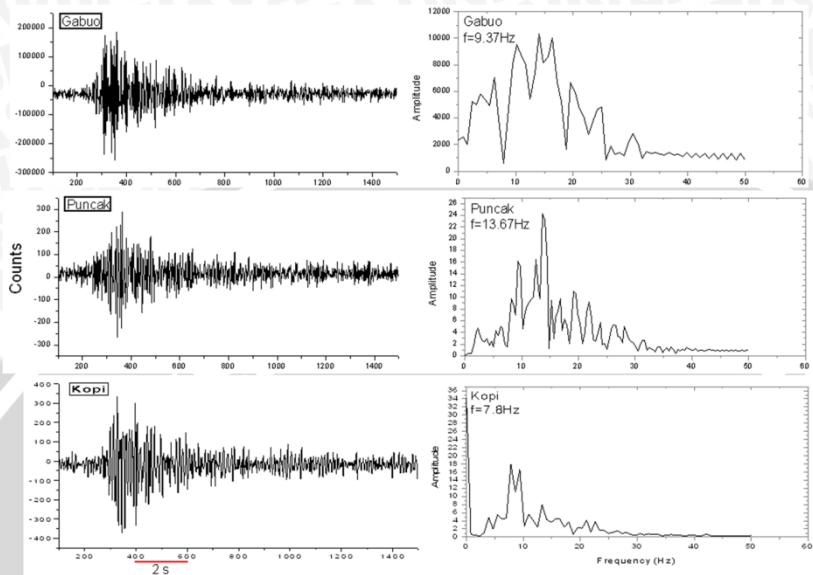
### Lampiran B Waveform Gempa Vulkanik dan Spektral



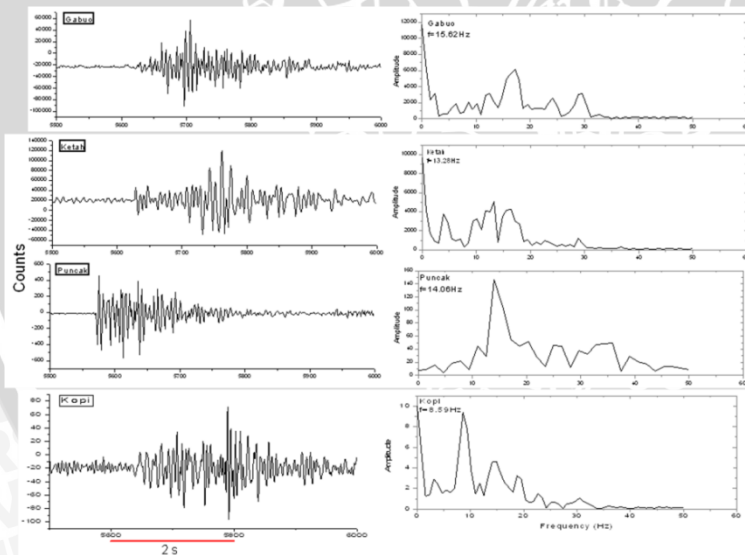
(a)

(b)

**Gambar B.1** Event pada tanggal 7 Februari 2013 jam 16.52 WIB  
(a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi

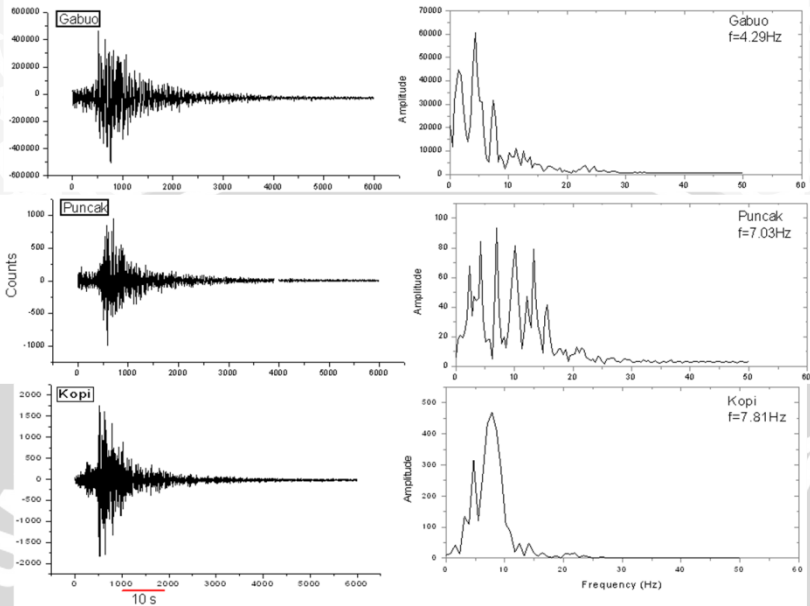


**Gambar B.2** Event pada tanggal 7 Februari 2013 jam 05.24 WIB  
 (a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi



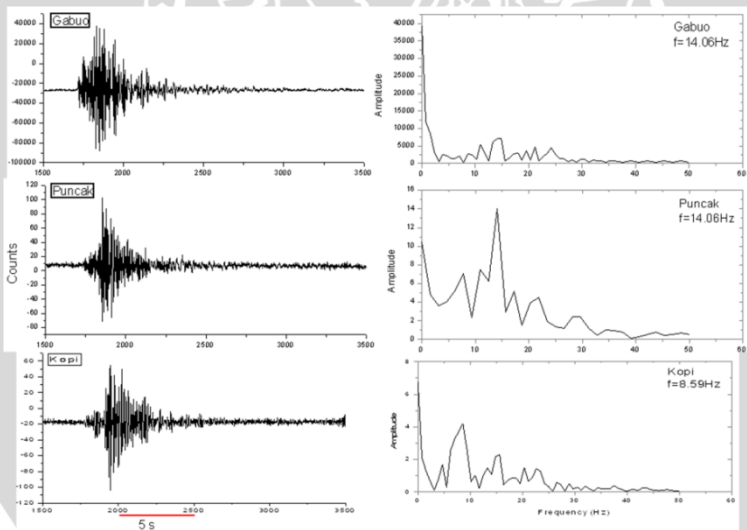
**Gambar B.3** Event pada tanggal 11 Januari 2013 jam 12.31 WIB  
 (a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi





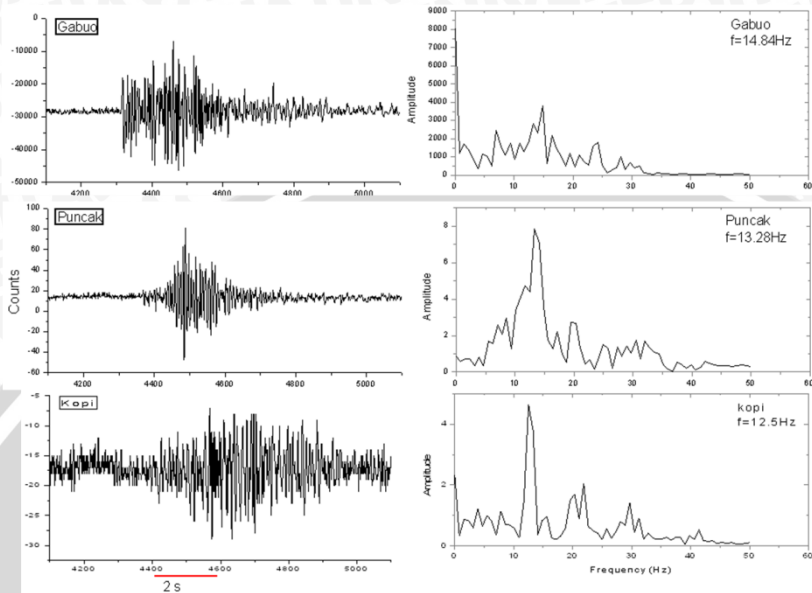
**Gambar B.4** Event pada tanggal 02 Februari 2013 jam 00.34 WIB

(a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi

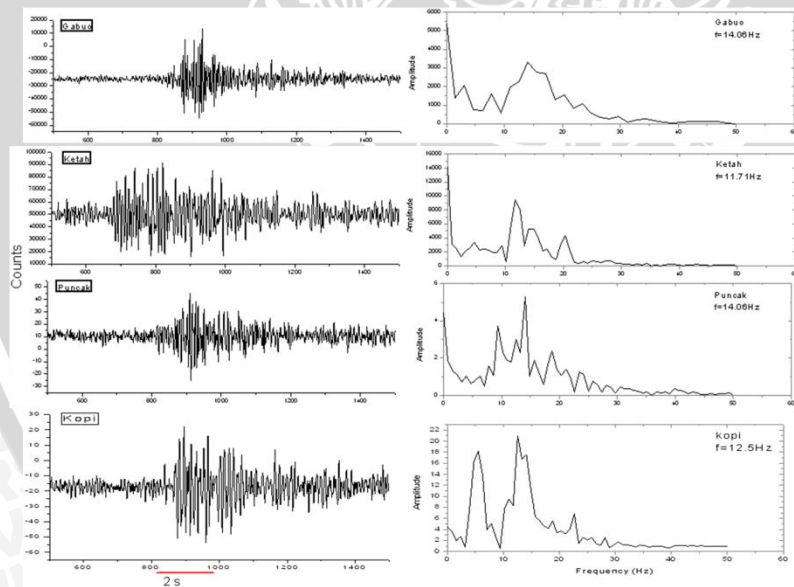


**Gambar B.5** Event pada tanggal 04 Februari 2013 jam 00.21 WIB

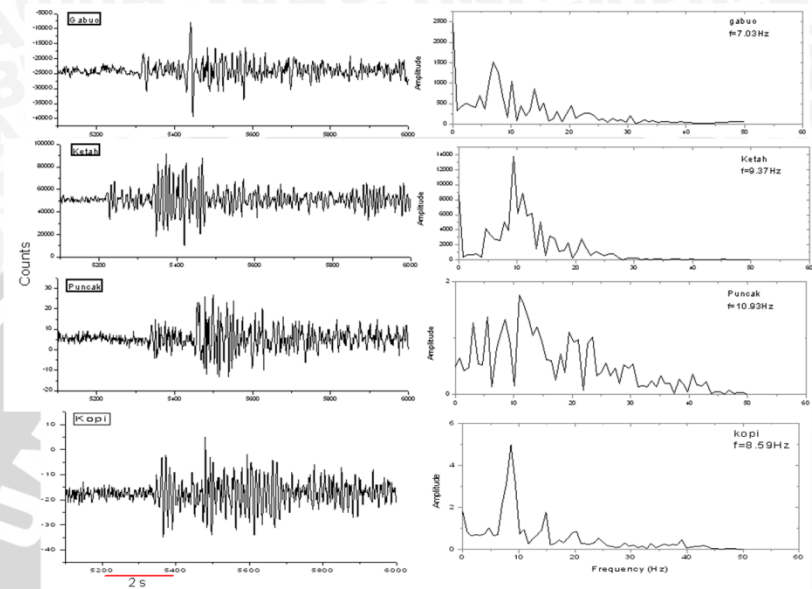
(a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi



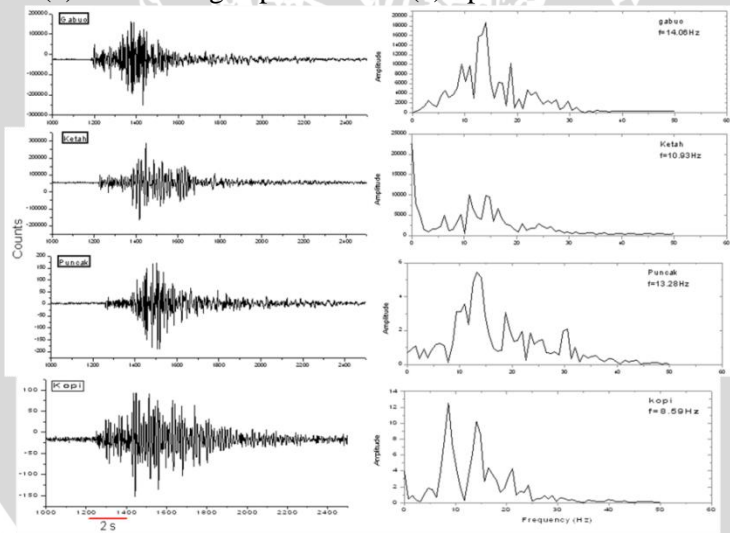
**Gambar B.6** Event pada tanggal 07 Februari 2013 jam 02.04 WIB  
 (a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi



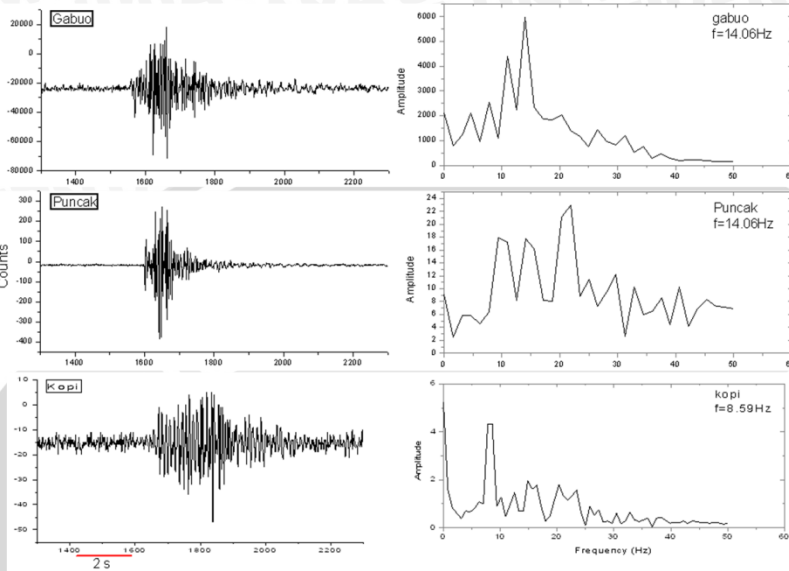
**Gambar B.7** Event pada tanggal 07 Februari 2013 jam 08.45 WIB  
 (a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi



**Gambar B.8** Event pada tanggal 07 Februari 2013 jam 09.00 WIB  
 (a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi



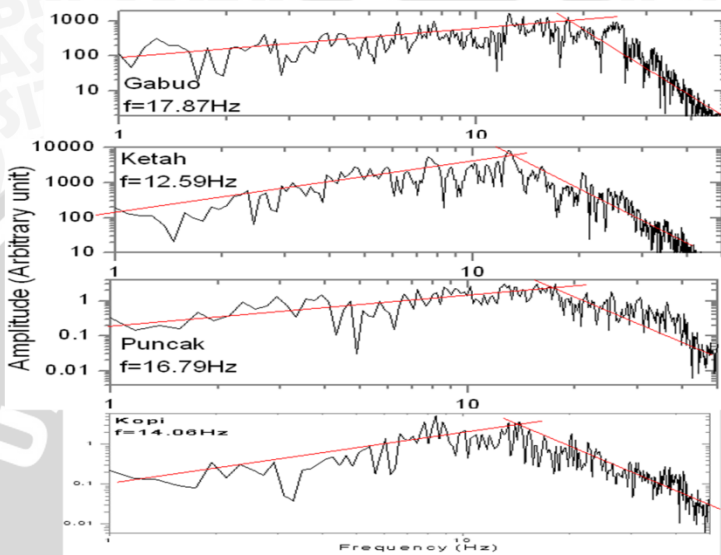
**Gambar B.9** Event pada tanggal 07 Februari 2013 jam 17.51 WIB  
 (a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi



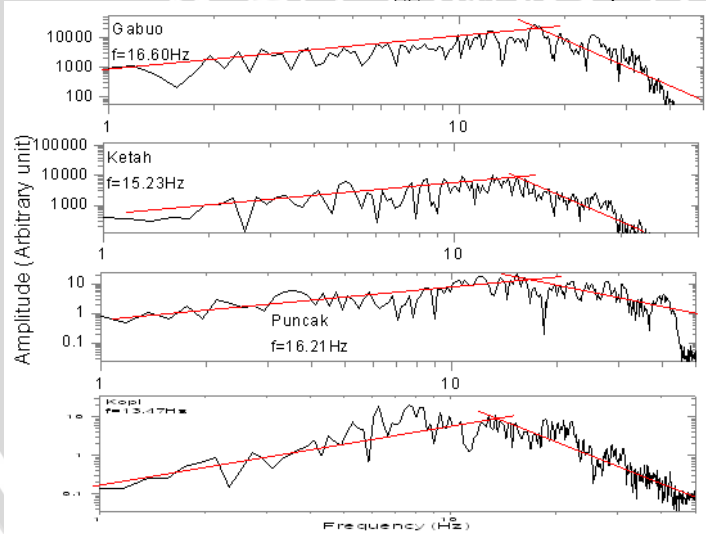
**Gambar B.10** Event pada tanggal 09 Februari 2013 jam 11.21 WIB  
 (a) waveform gempa vulkanik (b) Spektral frekuensi

## LAMPIRAN C

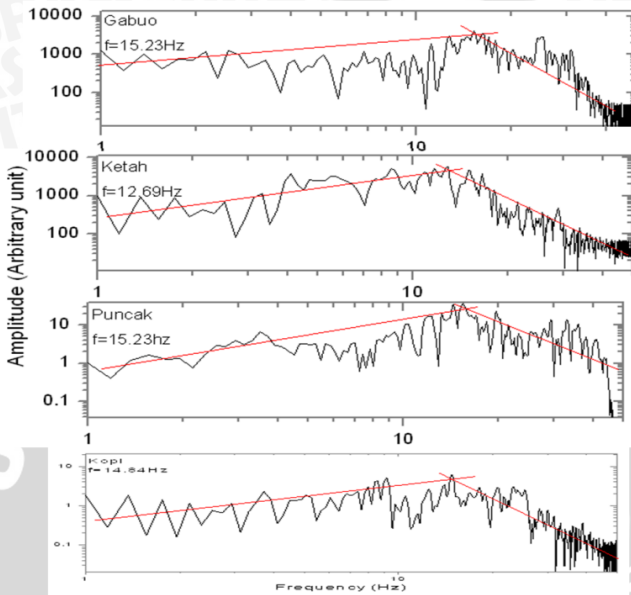
### Lampiran C Spektral dari Frekuensi Corner



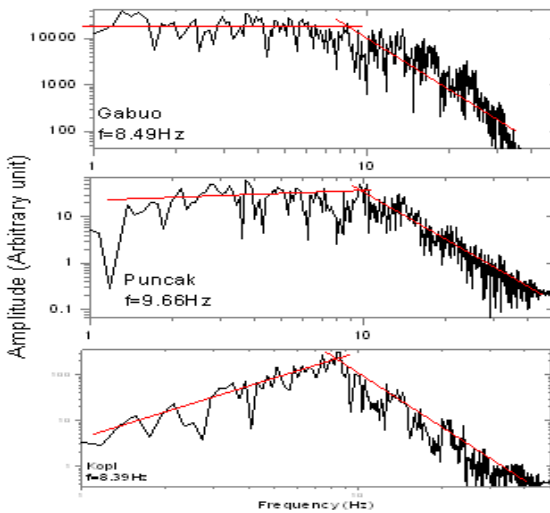
**Gambar C.1** Frekuensi Corner tanggal 4 Januari 2013 jam 03.36 WIB



**Gambar C.2** Frekuensi Corner tanggal 7 Februari 2013 jam 16.52 WIB

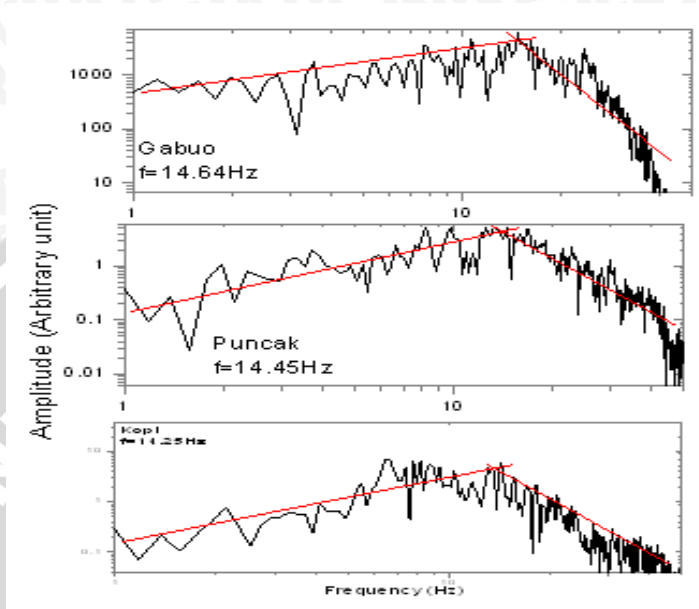


**Gambar C.3** Frekuensi Corner tanggal 11 Januari 2013 jam 12.31 WIB

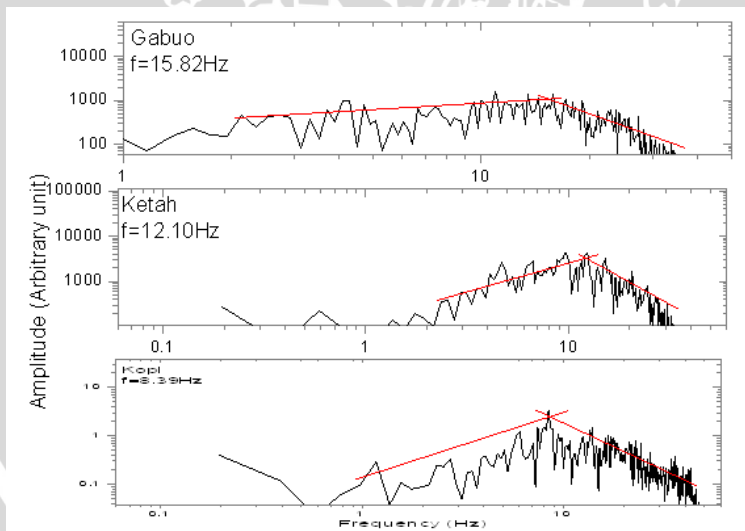


**Gambar C.4** Frekuensi Corner tanggal 2 Februari 2013 jam 00.34 WIB

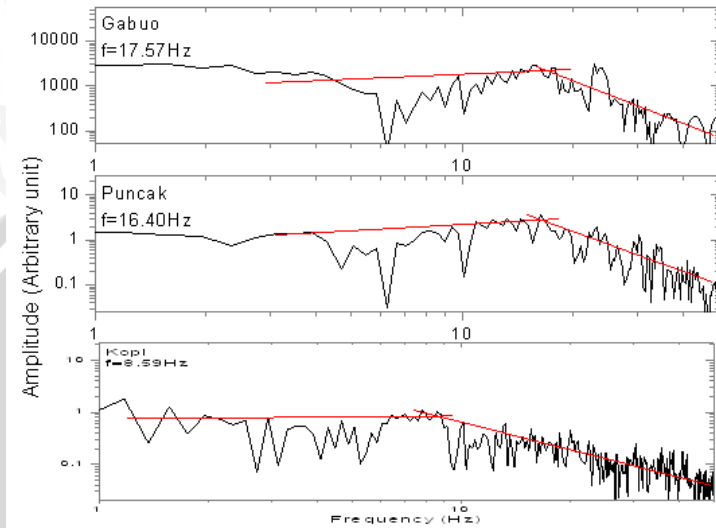




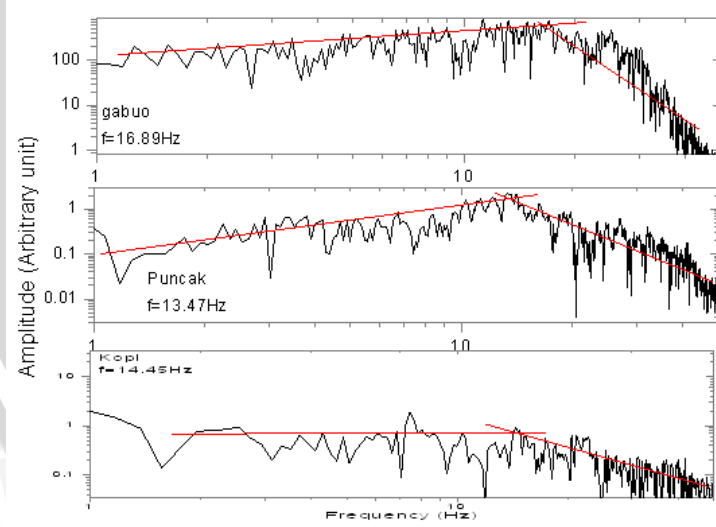
**Gambar C.5** Frekuensi Corner tanggal 4 Februari 2013 jam 00.21 WIB



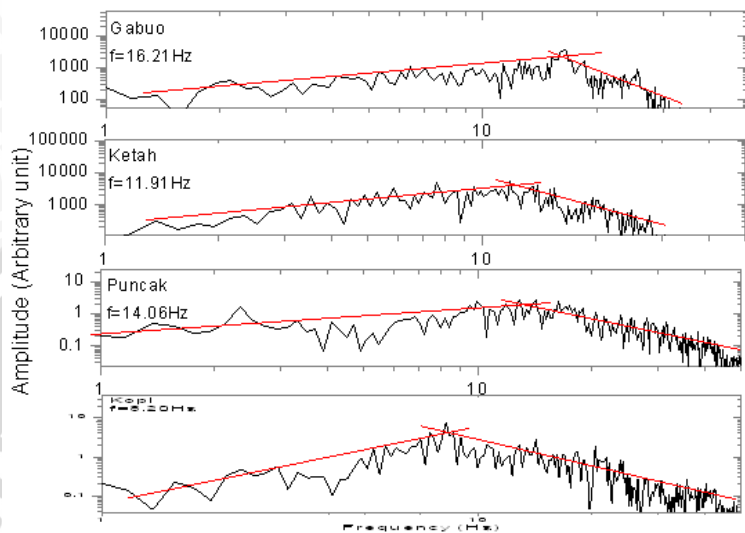
**Gambar C.6** Frekuensi Corner tanggal 4 Februari 2013 jam 13.32 WIB



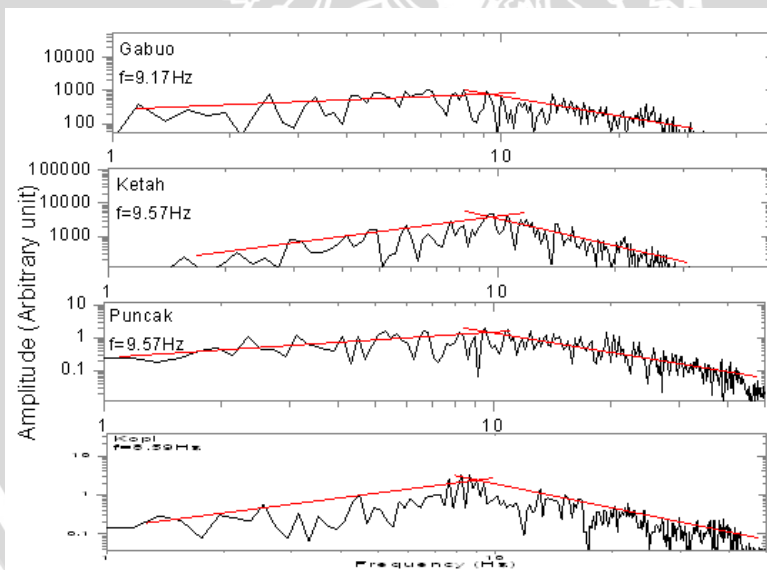
**Gambar C.7** Frekuensi Corner tanggal 5 Februari 2013 jam 22.13 WIB



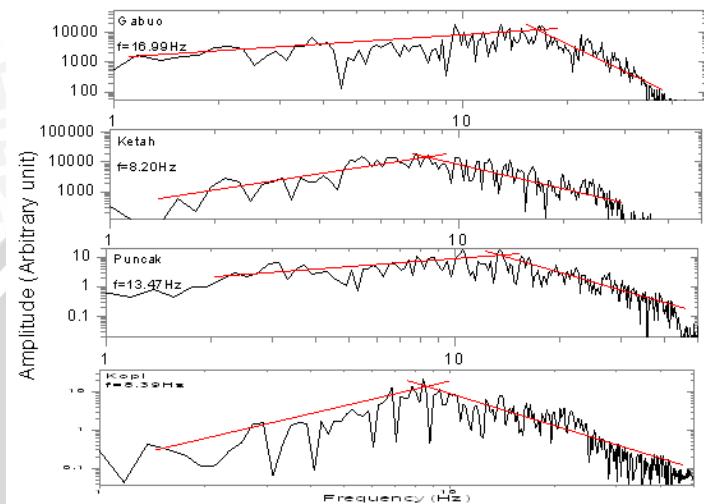
**Gambar C.8** Frekuensi Corner tanggal 7 Februari 2013 jam 02.04 WIB



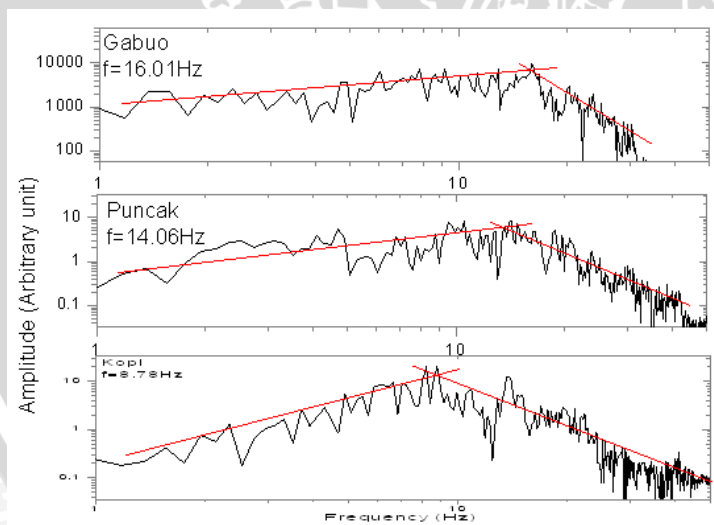
**Gambar C.9** Frekuensi Corner tanggal 7 Februari 2013 jam 08.45 WIB



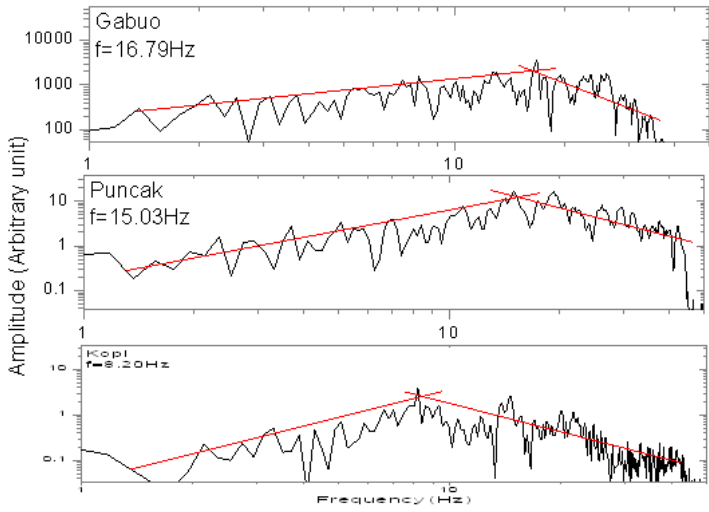
**Gambar C.10** Frekuensi Corner tanggal 7 Februari 2013 jam 09.00 WIB



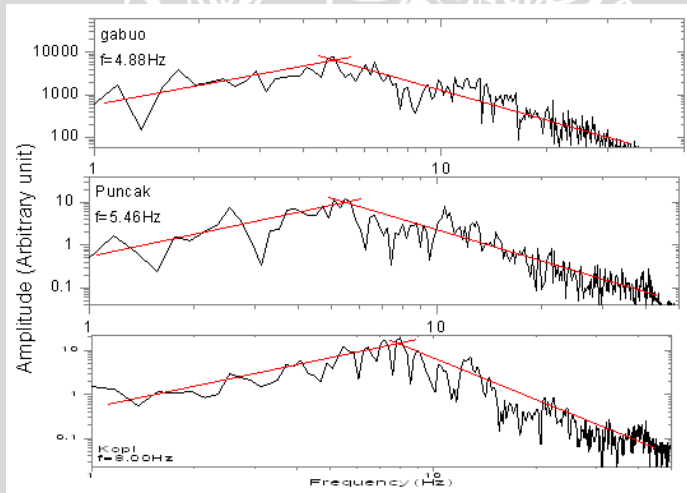
**Gambar C.11** Frekuensi Corner tanggal 7 Februari 2013 jam 17.51 WIB



**Gambar C.11** Frekuensi Corner tanggal 9 Februari 2013 jam 07.28 WIB



**Gambar C.12** Frekuensi Comer tanggal 9 Februari 2013 jam 11.21 WIB



**Gambar C.12** Frekuensi Comer tanggal 12 Februari 2013 jam 11.12 WIB