

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia mempunyai kecenderungan tingkat bencana alam yang sangat tinggi. Salah satu bencana yang sangat sering terjadi adalah bencana gunungapi, karena Indonesia merupakan sebuah negara yang mempunyai jumlah gunungapi sangat banyak dan sebagian besar gunungapi tersebut dinyatakan masih aktif. Salah satu gunungapi yang dinyatakan sangat aktif di Indonesia bahkan di dunia yaitu G. Semeru. Pada tahun 1961 (Kusumadinata, 1979), Letusan tipe Stromboli dengan ketinggian abu mencapai 3000 m dari atas puncak. Bahan letusan dilemparkan sampai Recopodo, hutan ini berada di sekitar Besuk Sat dan Besuk Tompe. Aliran Lava terjadi di Kali Glidig, Besuk Sarat, Besuk Bang, dan Besuk Kobokan. Pada bulan November Tahun 1993, Gunung Semeru meletus sebanyak 2990 kali. Letusan berupa asap putih, kelabu, sampai hitam dengan tinggi letusan 300-800 meter. Gunung tersebut memuntahkan banyak sekali material-material pada setiap letusannya. Material tersebut berupa abu, pasir, kerikil, bahkan batu-batu panas menyala yang sangat berbahaya. Awal tahun 1994 pada bulan Januari hingga Februari, terjadi letusan, lahar panas yang mengalir lereng selatan Gunung Semeru dan telah memakan banyak korban jiwa serta harta benda di Sumber Urip, Oro-oro Ombo Lumajang (Laporan PGA Gunung Sawur, 2006).

Terkait dengan aktifitas tahun 2009, pada G. Semeru ditemukan beberapa aktifitas gempa yaitu, Gempa Vulkanik Dalam (VA), Gempa Vulkanik Dangkal (VB), Gempa Letusan dan Gempa Tremor. Penelitian Gempa Vulkanik Dalam (VA) yang dilakukan pada tahun 2009 (Utami. P, 2011) didapatkan 3 *event* lokasi sumber gempa, yaitu episenter yang dominan di bagian selatan dan hiposenter yang memiliki kedalaman antara 6 hingga 8 km. Untuk Penelitian Gempa Vulkanik Dangkal (VB) yang dilakukan pada tahun 2009 (Budiarti R. 2011) diperoleh sebanyak 27 kejadian gempa dengan nilai frekuensi gempa Vulkanik Dangkal pada kurun waktu januari sampai dengan mei 2009, pada stasiun Leker berkisar antara 1,85 Hz sampai dengan 4,80 Hz dan pada stasiun Tretes mempunyai frekuensi berkisar antara 0,93 Hz sampai dengan 6,09 Hz. Sedangkan pada Gempa

Letusan yang terjadi pada Tahun 2009 (Perwita A. 2011) mempunyai kandungan frekuensi dominan yang berkisar antara 0,68-4,09 Hz.

Seiring dengan peristiwa tersebut, dilakukan berbagai penelitian untuk memantau aktifitas gempa bumi akibat gunungapi di Indonesia. Salah satunya, yaitu pemantauan aktifitas gunungapi yang dilakukan oleh badan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Pemantauan yang dilakukan oleh PVMBG difokuskan pada dokumentasi rekaman data seismik dan masih belum mencakup penelitian secara menyeluruh. Untuk memahami perilaku suatu gunungapi perlu adanya pemahaman dari aktifitas internalnya, salah satunya adalah dengan memahami karakteristik seismiknya, baik gempa vulkanik maupun tremornya. Tremor harmonik merupakan salah satu tremor vulkanik yang kemunculannya dapat menjadi indikasi peningkatan aktifitas vulkanik menjelang meletusnya suatu gunungapi. Tremor ini memiliki sifat unik yaitu keteraturan spektralnya, dimana biasanya terdiri dari frekuensi dasar dan frekuensi harmonik. Namun, tremor harmonik juga merupakan salah satu jenis aktifitas seismik yang relatif sulit dianalisis karena tidak mempunyai "onset-time" yang jelas.

Pada penelitian tremor harmonik dengan menggunakan interpretasi perubahan estimasi volume gas dalam pipa konduit yang dilakukan oleh Kirbani tahun 1992 nilai L yang didapatkan yaitu 470 m, pada penelitian Yatini tahun 1995 nilai L yang didapatkan yaitu 350 m, sedangkan pada tahun 2008 (Aulia, 2009) nilai L yang didapatkan yaitu 250 m, sehingga pada studi kali ini akan dipelajari perubahan spatial dan temporal tremor harmonik yang terekam di G. Semeru terkait dengan aktifitas tahun 2009, serta menentukan panjang pipa konduitanya. Data yang digunakan berasal dari PVMBG. Analisis spektral yang akan dilakukan terhadap data tremor harmonik bertujuan untuk mengetahui kandungan frekuensinya. Maka diharapkan perilaku G. Semeru semakin bisa dipahami untuk memudahkan dalam melakukan mitigasi dan prediksi potensi bahayanya.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun masalah yang dibahas dalam penelitian ini yaitu menganalisis perubahan spatial dan temporal tremor harmonik yang terjadi pada Gunung Semeru tahun 2009 dari data seismik.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

- Identifikasi tremor harmonik pada Gunung Semeru tahun 2009 yang disebabkan oleh perubahan spasial maupun temporalnya.
- Menganalisa Tremor Harmonik yang terekam pada stasiun Leker, Tretes, dan Besuk Bang.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik Tremor Harmonik G. Semeru tahun 2009, dengan melihat perubahan secara spasial maupun temporal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang telah dilakukan ini adalah memberikan informasi mengenai karakteristik gempa Tremor Harmonik yang terjadi pada Gunung Semeru tahun 2009 yang disebabkan oleh perubahan spasial dan temporalnya.





(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aktivitas Vulkanik Gunungapi

Gunungapi menurut Alzwar dkk (1988) mempunyai pengertian yang cukup kompleks, yaitu:

1. Mempunyai timbunan dipermukaan bumi yang dibangun oleh rempah gunungapi.
2. Dapat diartikan sebagai jenis atau kegiatan magma yang sedang berlangsung.
3. Merupakan tempat munculnya batuan lelehan dan rempah lepas gunungapi yang berasal dari dalam bumi.

Menurut Bronto (2001), gunungapi adalah tempat atau bukaan, dimana batuan kental pijar atau gas atau umumnya kedua-duanya keluar dari dalam bumi ke permukaan.

Sebuah gunungapi disebut aktifitas jika kegiatan magmatiknya dapat dilihat secara nyata, adanya awanpanas letusan dan awanpanas guguran, lahar, letusan, dll, hal itu mencirikan bahwa gunungapi tersebut masih aktif, sebab gas-gas belerang akan dijumpai melimpah di daerah gunungapi aktif. Morfologi gunungapi aktif biasanya menampakkan bentuk kerucut sempurna. Aktivitas gunungapi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu aktivitas di dalam dan di luar gunungapi. Aktivitas di dalam gunungapi ditandai dengan adanya kegempaan yang disebabkan oleh gerakan magma, resonansi pada dinding pipa magma, pengisian kantung magma, dll, untuk aktivitas di luar gunungapi seperti pembentukan kubah lava, dan letusan awanpanas.

Menurut Kirbani dkk (1992), salah satu tanda adanya aktivitas gunung api adalah adanya gejala seismik yang muncul. Sinyal seismik yang terjadi akibat aktivitas gunungapi dapat dikelompokkan dalam dua kategori yang berbeda. Yang pertama adalah adanya letusan yang bersifat impulsif, seperti shock vulkanik, yang kedua bersifat quasi stasioner yang disebut tremor vulkanik. Kirbani dkk (1992) juga mendefinisikan fenomena seismik yang impulsif mempunyai durasi kurang dari 100 detik sebagai shock vulkanik, untuk yang non-

impulsif mempunyai durasi lebih dari 100 detik sebagai tremor vulkanik.

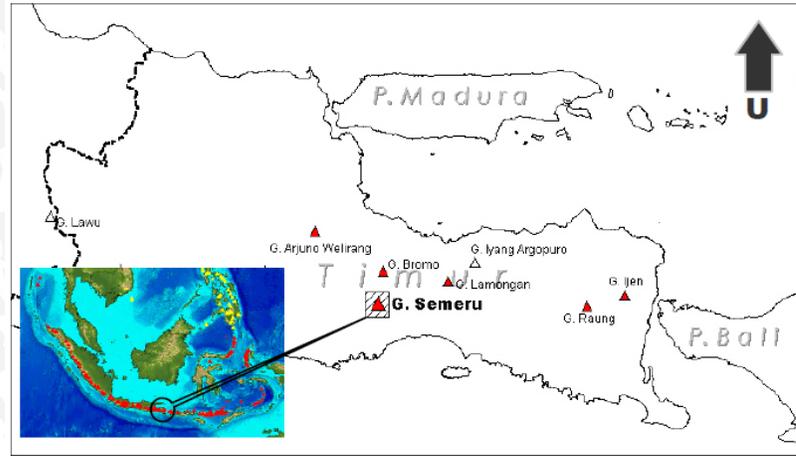
Secara umum gempa vulkanik menurut lokasi yang berhubungan dengan erupsi dan sifat gerakan gempa bumi dibagi menjadi 4 tipe, yaitu :

1. Gempa vulkanik tipe A, berkaitan dengan gempa bumi pada kedalaman 1 sampai 20 km.
2. Gempa vulkanik tipe B, lokasi sumbernya dangkal.
3. Gempa eksplosif atau gempa bumi yang diikuti oleh letusan eksplosif yang biasanya berhubungan dengan kawah yang masih aktif. Pada kejadian letusan eksplosif ini materi-materi berupa gas, cairan maupun padatan yang disebabkan oleh aktivitas fluida.
4. Tremor vulkanik yang disebabkan oleh aktifitas fluida magma. Seidl D & Hellweg M., (1991), mengemukakan bahwa sumber tremor vulkanik dapat dimodelkan sebagai suatu osilasi aktif yang tersusun oleh adanya kantong-kantong magma dan pipa-pipa magma.

2.2 Struktur Geologi Gunung Semeru

Gunung Semeru adalah gunung yang tertinggi di Pulau Jawa dengan puncaknya bernama Mahameru dengan ketinggian ± 366 m dan permukaan air laut. Gunung Semeru merupakan salah satu dari 129 gunung berapi yang paling aktif di Indonesia. Meskipun letusannya relatif kecil, namun berlangsung setiap hari dan kawahnya yang bernama Jonggring Saloka. Gunung Semeru terletak pada posisi $8^{\circ} 6,5'$ LS, dan $112^{\circ} 55'$ BT, di perbatasan Kabupaten Malang dan Kabupaten Lumajang, Propinsi Jawa Timur, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, semeru merupakan daerah pertanian yang subur. Di lereng timur dan tenggara yang merupakan daerah rawan bencana, terletak tanah pertanian dan permukiman dengan kepadatan penduduk lebih dan 850 jiwa/km².

Pada tahun 1913, 1946 hingga akhir November 1973 kawah Jonggring Saloka memiliki kubah dengan ketinggian $3.744,8$ m. Disebelah selatan, kubah ini mendobrak tepi kawah yang menyebabkan aliran lava mengarah ke sisi selatan meliputi daerah Pronojiwo dan Candipuro di Lumajang.



Gambar 2.1 Peta lokasi gunungapi Semeru, Lumajang, Jawa Timur

Struktur geologi yang berkembang di komplek gunung Semeru terdiri dari struktur sesar, kaldera, kawah dan *maar* (danau). Kelurusan struktur atau sesar mempunyai arah Baratlaut-Tenggara, Timur-Barat dan Timurlaut-Baratdaya, umumnya mempunyai indikasi pergeseran litologi dan dianggap sesar normal. Kaldera Jambangan dan Ajek-ajek di cirikan oleh bentuk morfologi berupa suatu dasar kaldera, dinding curam kaldera dan bentuk vulkanik tua.

2.3 Sejarah Aktifitas Gunung Semeru

Aktivitas gunungapi semeru terdapat di kawah Jonggring Saloko yang terletak di sebelah tenggara puncak mahameru. Gunungapi ini memiliki tipe strato yang letusannya bertipe campuran, yaitu vulkano dan stromboli. Letusan gunung api Semeru umumnya bertipe vulkanik dan stromboli. Letusan tipe vulkanik dicirikan dengan letusan eksplosif yang kadang-kadang menghancurkan kubah dan lidah lava yang terbentuk sebelumnya. Selanjutnya terjadi letusan tipe stromboli yang diikuti oleh terjadinya aliran awanpanas yang mengalir ke lembah-lembah yang lebih rendah dari arah alirannya sesuai dengan bukaan kawah dan lembah-lembah di gunung Semeru.

Sejarah letusan gunungapi Semeru tercatat sejak abad ke-19 yaitu mulai tahun 1818. Letusan seringkali terjadi, sedikitnya satu kali dalam setiap tahunnya. Antara periode tahun 1961 sampai sekarang, sedikitnya telah terjadi lima kali aktivitas gunungapi Semeru dalam

skala besar, letusan tipe strombolian, abu vulkanik dengan ketinggian ± 3000 m di atas puncak; tahun 1963, awanpanas Leak Lengkung, Kali Pacing, dan besar sumur mencapai 8 km. Tahun 1967, pembentukan kubah lava dipinggir kawah sebelah selatan yang mencapai ± 3730 m atau 54 m di atas puncak; Tahun 1973, pembentukan kubah lava. Tahun 1994, pada bulan Januari hingga Februari terjadi letusan dan memakan banyak korban jiwa serta harta benda di Sumber Urip, Oro-oro Ombo Lumajang (Laporan PGA Gunung Sawur, 2006).



Gambar 2.2 Gunung Semeru saat terjadi letusan Strombolian

Semeru merupakan salah satu gunung api paling aktif di dunia (Gambar 2.2), terbukti dari letusan yang terjadi setiap harinya selama kurun waktu tiga bulan terakhir (Maret-April 2005) mencapai 110 letusan (sangat aktif). Hal itu belum menjadikan Semeru dalam kondisi siaga, ciri khas akan terjadi letusan yang besar bila aktivitas yang terekam mengalami kevakuman sesaat selama beberapa menit bahkan jam tidak terekam aktivitas apapun. Hal ini menandakan terjadinya pengakumulasian kekuatan dari gunungapi tersebut, hal ini terjadi di Semeru. Letusan pada Semeru keadaan fisisnya dicirikan dengan keluarnya gumpalan asap atau awanpanas pada bibir Semeru (Laporan PGA Gunung Sawur, 2006).

Umumnya tiap asap letusan mencapai ketinggian antara 300 m-500 m di atas kawah. Awan letusan ini biasanya hilang tertiuap angin. Kadang-kadang warna awan letusan berkisar dari putih atau kelabu, dapat juga kehitam-hitaman, tergantung pada kandungan abu di

dalamnya. Pada waktu malam pecahan batuan membara sering terlihat pada bagian bawah dari kolam letusannya. Bila kegiatannya meningkat, tampak bahwa tipe letusan volkano diselingi oleh tipe stromboli, sehingga dapat diklasifikasikan bahwa letusan gunungapi Semeru merupakan tipe campuran. Awanabu dapat terlempar sampai 1000 m di atas puncak, sedangkan bahan gunungapi membara meluncur mengikuti lereng sampai sejauh 1500 m dari tepi kawah. Letusan besar sering diikuti oleh awanpanas letusan.

Magma adalah materi kental yang terbentuk di dalam kerak bumi, merupakan persenyawaan yang sangat kompleks dari berbagai unsur, terutama berupa silikat, air dan gas-gas. Mungkin seluruhnya berupa cair, atau mungkin juga kental. Bila muncul di atas permukaan bumi disebut Lava. Pada dasarnya aktivitas vulkanisme di dalam perut bumi sangat sulit diketahui, orang hanya dapat mengamati dan mengukur beberapa gejalanya di permukaan bumi. Meskipun demikian, orang berusaha mengetahui kapan dan berapa besarnya erupsi yang akan terjadi agar dapat memperkecil bahaya yang ditimbulkannya. Hal itu dimungkinkan oleh karena adanya gejala-gejala yang mendahului suatu erupsi, misalnya gempa bumi, suhu tanah di sekitarnya naik, kadang-kadang mengalami pembumbungan/swelling, perubahan-perubahan komposisi kimia gas, lava dan abu vulkanik dsb.

Selama periode kegiatan atau bila kegiatan menurun, aliran lava mengalir keluar dari kawah sehingga membentuk lidah lava. Karena lereng semeru terjal, sebagian dari ujung lava longsor dan guguran lava pijar terjadi yang kadang-kadang disertai oleh awanpanas guguran. Kenaikan kegiatan gunungapi Semeru biasanya berlangsung singkat, sedangkan fase letusan berlangsung dari beberapa hari sampai beberapa bulan. Periode kegiatan diselingi oleh beberapa hari sampai beberapa bulan. Periode kegiatan diselingi oleh periode istirahat. Gunungapi Semeru merupakan gunung dengan tipe Strato, dimana menggambarkan adanya selang seling aliran lava dan material-material fragmented.

2.4 Sifat letusan Gunungapi Semeru

Aktifitas Gunung Semeru terjadi di kawah Jongring Seloka di sebelah tenggara puncak Mahameru. Letusan G. Semeru umumnya bertipe vulkanik dan strombolian. Letusan tipe vulkanian dicirikan dengan letusan explosif yang kadang-kadang menghancurkan kubah

dan lidah lava yang telah terbentuk sebelumnya. Selanjutnya terjadi letusan bertipe strombolian yang biasanya diikuti dengan pembentukan kubah dan lidah lava baru.

Pada saat terjadi letusan explosif itu biasanya awanpanas mengalir ke lembah-lembah yang lebih rendah dan arah mengalirnya itu tergantung pada arah bukaan kawah, dan lembah-lembah di Gunung Semeru, umumnya ke tenggara dan keselatan.

Letusan G. Semeru sejak 1967 berupa letusan bertipe vulkano yang kadang-kadang menghancurkan kubah lava dan kemudian di lanjutkan dengan pembentukan kembali kubah dan lidah lava (letusan tipe stromboli). Data kegiatan G. Semeru sudah tercatat sejak tahun 1818. (Kusumadinata, K., 1979).

2.5 Bahaya Gunung Semeru

Ada dua macam bahaya yang mengancam lereng dan kaki G. Semeru, yakni bahaya akibat langsung dari kegiatan G. Semeru atau juga disebut bahaya primer dan bahaya tidak langsung dari kegiatan G. Semeru atau bahaya sekunder. Bahaya sekunder ini disebabkan oleh air hujan yang menghanyutkan bahan gunungapi lepas dan oleh karenanya disebut bahaya basah. Sebaliknya bahaya akibat langsung dari kegiatan gunungapi disebut juga bahaya kering.

2.5.1 Bahaya primer atau bahaya kering

Bahaya primer atau bahaya kering adalah bahaya sebagai akibat langsung dari letusan seperti :

1. Awanpanas guguran
2. Awanpanas letusan
3. Lemparan bom gunungapi, lapili, pasir dan pecahan lava
4. Abu gunungapi

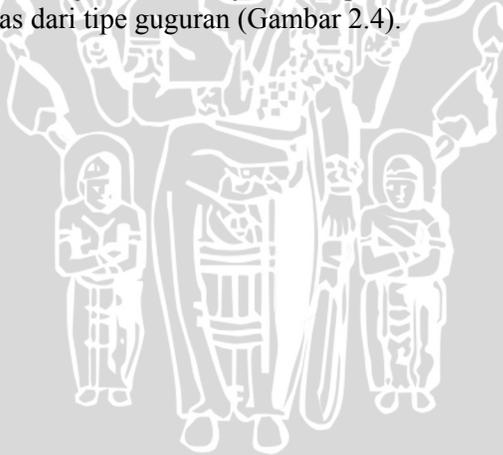
2.5.1.1 Awanpanas guguran

Pada saat G. Semeru giat beraktivitas, lava dapat mengisi kawah sampai penuh dan dapat mengalir keluar kawah lewat tepi yang rendah dan membentuk lidah lava di lereng. Panjangnya sampai ratusan meter dengan volume sampai m^3 . Ujung dari lidah lava ini mudah pecah dan terjadilah longsor gumpalan lava membara atau juga disebut guguran lava (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Guguran membentuk awanpanas kecil di curah lengko.

Dalam perjalanan ke bawah, gumpalan lava ini akan pecah berkeping-keping. Sinar dari gumpalan lava yang masih membara pada siang hari hampir tidak tampak, tetapi pada waktu malam, kepingan lava ini tampak sebagai bungaapi. Sebagian akan menjadi pasir dan abu membara, yang membentuk suspensi butir-butir membara di dalam udara panas dan bergerak kebawah sebagai awan dengan berat jenis tinggi. Jika gumpalan lava yang longsor atau gugur volumenya sekitar 100 m^3 , tidak akan terjadi awanpanas, melainkan guguran lava. Namun jika volumenya mencapai ribuan m^3 maka akan terjadi awanpanas dari tipe guguran (Gambar 2.4).





Gambar 2.4 Awanpanas tipe guguran di Besuk Kobokan dilihat dari pos G. Sawur.

Aliran batuan rombakan gunungapi disebut ladu, sedangkan fraksi ringan yang mengikutinya dan terdiri dari udara panas, gas gunungapi, pasir dan abu disebut awanpanas, pada Gambar 2.4 terlihat awan panas tipe guguran di Besuk Kobokan yang terlihat dari pos G. Sawur.



Gambar 2.5 Ladu di dalam sungai Besuk Bang. Bagian tengah telah tergerus oleh lahar.



Bahan lepas yang ditinggalkan dalam sungai berupa abu, pasir kerikil dan bongkahan yang terbawa dari tepi kawah dan dasar sungaidisebut pula ladu, terlihat pada Gambar 2.5.

Awanpanas dari tipe guguran ini di G. Semeru dapat mencapai jarak 10 kmdari puncak, seperti yang terjadi pada Desember 1977 dan Maret 1981 di Besuk Kembar dan Besuk Bang. Kecepatan awanpanas ini umumnya sekitar 40-70 km/jm bahkan lebih. Berapa tepat suhu dari awanpanas guguran tidak dapat diketahui dengan pasti. Ladu di Besukbang pada jarak 9 km dari puncak setelah beberapa hari diendapkan masih bersuhu 120°C.

Karena sulit untuk menghindari awanpanas ini, maka penduduk yang berada di daerah bahaya perlu diungsikan sebelum gunung meletus.

2.5.1.2 Awanpanas letusan

Pada saat letusan,lava dilemparkan keatas dan sebagian mengalir lewat tepi kawah dan meluncur kebawah. Kemudia bahan gunungapi yang turun dari lereng mengembang menjadi aliran batuan rombakan gunungapi membara dengan disertai oleh awanpanas. Umumnya awanpanas ini mengikuti sungai yang bersumber di puncak. Kalau titik kegiatan terletak di tengah kawah maka awanpanas dapat menyebar ke segala arah, tetapi kalau letusannya berada di tepi kawah, maka awanpanas letusan hanya turun di beberapa sungai, yang sumbernya berdekatan dengan titik kegiatan tersebut (Gambar 2.6).





Gambar 2.6 Awanpanas letusan masuk Besuk Kobokan dan curah lengkong

Suhu dari awanpanas letusan diperkirakan sekitar 1000°C di tempat letusan, sedangkan dibawah atau di ujung aliran masih dapat mencapai 400°C . Jarak yang dicapai oleh awanpanas letusan tergantung pada besarnya letusan. Pada waktu letusan kecil awanpanas tidak mencapai batas hutan. Kecepatan awanpanas letusan pada waktu letusan paroksima dapat melebihi 100 km/jm .

2.5.1.3 Lemparan bom gunungapi, lapili, pasir dan pecahan lava

Pada letusan G. Semeru umumnya tampak abu, lapili dan bom gunungapi dilemparkan tegak lurus ke atas disertai dengan pembentukan awan kol kembang atau cendawan. Kerusakan yang disebabkan oleh letusan semacam ini umumnya terbatas pada daerah disekitar kawah. Kalau terjadi paroksisma, awan cendawan dapat naik hingga beberapa km di atas puncak dan bahan gunungapi seperti pasir dan lapili sebarannya mengikuti tiupan angin. Bom di G. Agung waktu letusan paroksima dapat mencapai jarak 8 km . Karena G. Semeru lebih tinggi maka diperkirakan tinggi bom di G. Semeru dapat mencapai 9 km . Jauhnya sebaran lapili dan pasir tergantung pada

ketinggian lemparan dan pada kencangnya angin yang bertiup pada saat letusan.

2.5.1.4 Abu

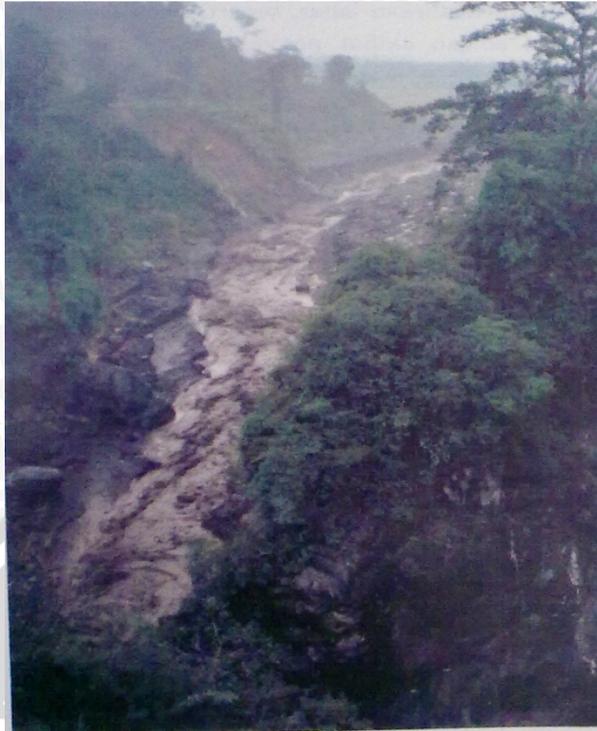
Abu gunungapi yang turun sebagai hujan sangat berbahaya jika endapan yang dihasilkannya tebal, hal ini berbahaya bagi kesehatan manusia karena akan terjadi kesulitan saat bernafas pada Gambar 2.7 merupakan endapan abu merusak tanaman di hutan dekat Besuk Kembar.



Gambar 2.7 Endapan abu merusak tanaman di hutan dekat Besuk Kembar

2.5.2 Bahaya sekunder atau bahaya basah

Bahaya sekunder adalah bahaya tidak langsung dari kegiatan gunungapi. Terjadinya karena air hujan yang menghanyutkan abu hasil letusan dan membentuk aliran yang disebut dengan nama umum lahar.



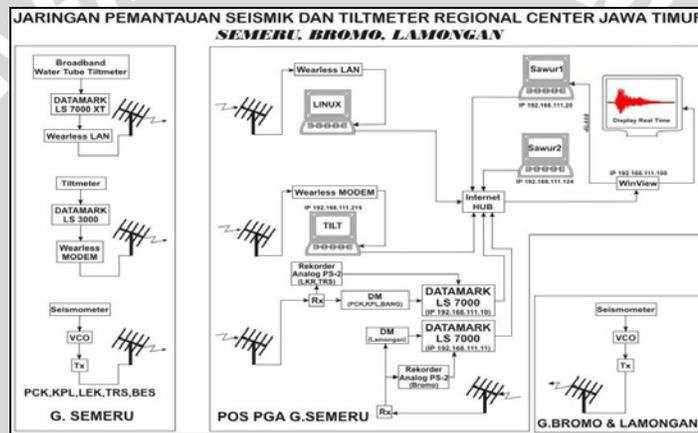
Gambar 2.8 Lahar di Besuk Kobokan dipotret dari Gladak Perak

Di daerah Semeru lahar juga disebut besuk. Apabila turun hujan di lereng gunungapi yang penuh dengan bahan lepas, maka sungai yang bersumber di puncak tidak lagi merupakan sungai yang mengalir seperti biasa, tetapi akan terbentuk lahar yang disebabkan oleh air hujan yang mengalir bercampur dengan bahan gunungapi seperti abu, pasir, lapili dan batuan lainnya yang terbawa sewaktu mengalir ke bawah. Oleh karena tingginya berat jenis inilah, maka batu besar dari beberapa meter kubik dapat melayang dan mengapung di dalamnya. Lahar semacam ini menghancurkan segala yang dijumpainya dalam perjalanan (Gambar 2.8).

2.6 Pemantauan Aktifitas Gunungapi Semeru

Pemantauan terhadap aktifitas gunung semeru dilakukan secara terus menerus oleh PVMBG, dari Pos Pengamatan Gunung Semeru di Gunung Sawur. Sistem pemantauan aktifitas gunung Semeru dibagi menjadi dua yaitu:

- a. **Pengamatan Visual.** Pengamatan visual merupakan pengamatan secara langsung dengan cara melihat kondisi dan lingkungan sekeliling gunung Semeru dari PPGA Semeru yang ada di gunung Sawur. Kriteria pengamatan yang dilakukan meliputi kondisi lingkungan seperti suhu udara, keadaan cuaca, asap/solfatar, letusan bercampur lava, lidah lava, dan lain sebagainya.
- b. **Pengamatan Seismik.** Pengamatan seismik dilakukan dengan menganalisis data rekaman seismometer yang diperoleh dari lima buah seismograf yang dipasang pada lima stasiun di sekitar gunung semeru yaitu stasiun Puncak, Kepolo, Leker, Tretes, dan Besuk Bang. (Dana, dkk., 1995).



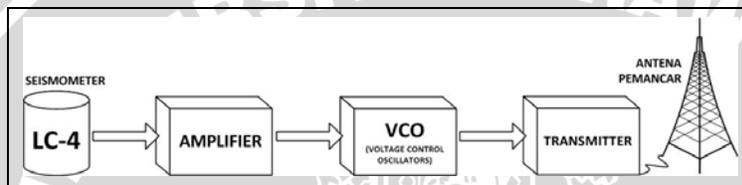
Gambar 2.9 Diagram jaringan pemantauan seismik dan tiltmeter regional center Jawa Timur.

Secara umum sistem pemantauan gunungapi Semeru dan sekitarnya di Pos PGA G. Semeru, Gunung Sawur diilustrasikan dalam Gambar 2.9. Tampak pada gambar, jaringan seismik dan tiltmeter gunungapi Semeru dan gunung Bromo dan Lamongan, pada

awalnya merekam data gempa secara analog. Sementara data analog terekam, rekaman seismometer juga dibentuk dalam bentuk digital, dengan menggunakan jaringan internet semua data rekaman gempa digital dikirim via internet ke kantor pusat PVMBG dan mengalami proses yang lebih lanjut, dan dengan akses semacam ini akan memudahkan proses pengawasan dan pemantauan dari aktifitas gunungapi tersebut.

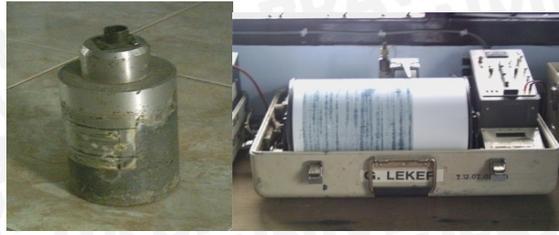
2.7 Instrumen Pengamatan Gunungapi di Pos PGG. Semeru

Seismometer merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur getaran gempa atau pergerakan tanah lainnya. Getaran yang ditangkap oleh geofon diubah menjadi tegangan. Tegangan yang keluar dari seismometer diperkuat dengan menggunakan amplifier. Frekuensi tegangan yang telah diperkuat oleh amplifier diatur oleh VCO (*Voltage Control Oscillator*), Setelah mengalami pengaturan frekuensi sinyal tegangan ditransmisikan ke Pos Pengamatan melalui antenna pemancar.



Gambar 2.10 Diagram alir data pengukuran getaran oleh seismometer

Seismometer merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur getaran gempa atau pergerakan tanah lainnya. Getaran yang ditangkap oleh geofon diubah menjadi tegangan. Tegangan yang keluar dari seismometer diperkuat dengan menggunakan amplifier. Frekuensi tegangan yang telah diperkuat oleh amplifier diatur oleh VCO (*Voltage Control Oscillator*). Setelah mengalami pengaturan frekuensi sinyal tegangan ditransmisikan ke Pos Pengamatan melalui antenna pemancar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



(a)

(b)

Gambar 2.11 Seismometer tipe Mack LC-4 (a) dan seismograf tipe PS-2 stasiun Leker, di Pos PGA G. Semeru (b).

Gambar 2.11, menunjukkan jenis seismometer yang digunakan di Pos PGA G. Semeru, G. Sawur yaitu seismometer tipe Mark L4-C. Sedangkan seismograf atau rekorder yang dipergunakan di Pos PGA G. Semeru, adalah seismograf vertikal tipe PS-2.

2.8 Klasifikasi Gempa Vulkanik

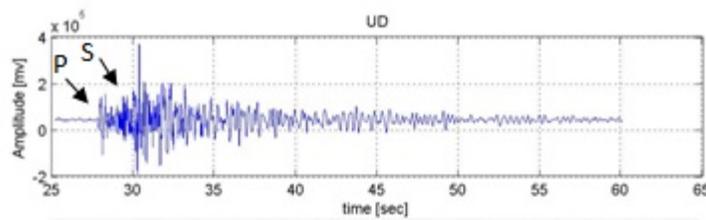
Menurut Minakami gempa gunungapi yang berasal dari berbagai gunungapi di Jepang berdasarkan kenampakan atau bentuk rekaman gempa, perkiraan hiposenternya dan perkiraan proses yang terjadi didalam tubuh gunungapi. Klasifikasi gempa gunungapi dibagi menjadi 4 tipe, yaitu Vulkanik Dalam, Vulkanik Dangkal, Letusan, dan Tremor (Anonymous, 2010b).

2.8.1 Gempa Vulkanik Dalam

Sumber dari tipe gempa ini terletak pada kedalaman 2 sampai 20 km, biasanya muncul pada gunungapi yang aktif. Penyebab dari gempa ini adalah adanya magma yang naik kepermukaan yang disertai rekahan-rekahan.

Ciri utama dari gempa tipe ini mempunyai waktu tiba gelombang P dan S yang sangat jelas. Seperti pada Gambar 2.12 dibawah ini :

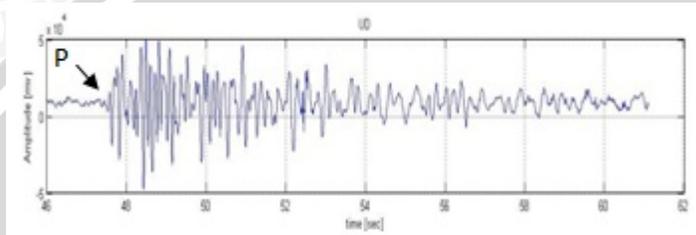




Gambar 2.12 Sinyal Gempa Vulkanik Dalam.

2.8.2 Gempa Vulkanik Dangkal

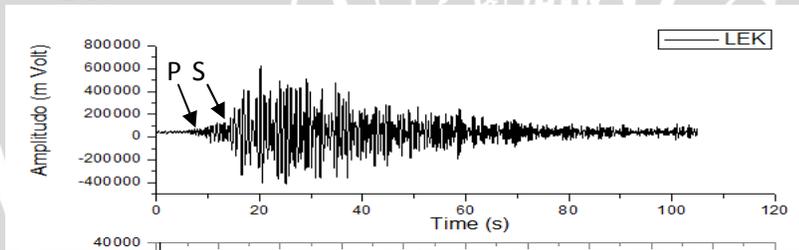
Kedalaman gempa vulkanik tipe B kurang dari 1 km dari kawah gunungapi yang aktif. Gerakan awalnya gelombang P cukup jelas tetapi gelombang S yang tidak jelas dan mempunyai harga magnitudo yang kecil. Seperti pada Gambar 2.13 dibawah ini :



Gambar 2.13 Sinyal Gempa Vulkanik Dangkal.

2.8.3 Gempa Letusan

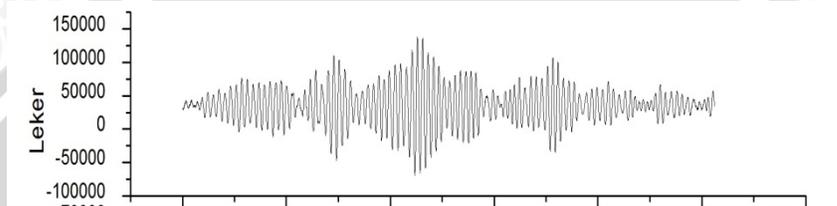
Gempa letusan adalah gempa yang diakibatkan oleh terjadinya letusan. Amplituda maksimum dari gempa tersebut merupakan magnituda letusannya. Gerakan awal dari gempa letusan adalah “push atau up” atau ke atas. Seperti pada Gambar 2.14.



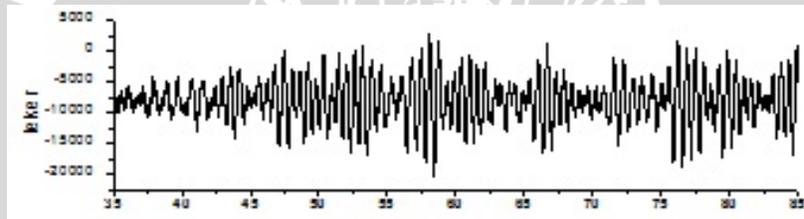
Gambar 2.14 Sinyal Gempa Letusan.

2.8.4 Tremor Vulkanik

Tremor merupakan gempa yang terus menerus terjadi disekitar gunungapi, jenis tremor ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu Tremor Harmonik dan Tremor Spasmodik. Tremor harmonik yaitu getaran yang terus-menerus secara sinusoidal sedangkan Tremor spasmodik yaitu getaran terus-menerus tetapi tidak beraturan. Berdasarkan penelitian Yatini (1995) yang menggunakan data antara tanggal 10 Desember 1993 – 28 Februari 1994 mendapatkan bahwa kandungan frekuensi tremor harmonik G. Semeru sangat rendah, yaitu antara 1 sampai 4 Hz. Frekuensi dasarnya berkisar antara 0,8 sampai 1,3 Hz. Kedalaman tremor harmonik terjadi antara 2,5 hingga 3,5 km di bawah kawah (Susilo, 1997).



Gambar 2.15 Sinyal Tremor Harmonik.



Gambar 2.16 Sinyal Tremor Spasmodik.

2.9 Kemunculan Tremor

Tremor vulkanik merupakan gejala seismik yang sifatnya tidak impulsif, memiliki frekuensi dan berdurasi lebih dari 100 detik. Penyebab terjadinya tremor vulkanik salah satunya dikarenakan adanya aliran magma tak-stasioner (tidak teratur) yang disebabkan adanya fluktuasi tekanan. Klasifikasi tremor vulkanik berdasarkan kandungan

frekuensi dan durasinya menurut Ferrick, M. G. (1982) dibagi menjadi kedalam tiga tipe yaitu

1. Tipe A, adalah tipe tremor dengan frekuensi lebih dari 10 Hz.
2. Tipe B, adalah tipe tremor dengan frekuensi kurang dari 10 Hz dan durasinya pendek atau dalam order detik.
3. Tipe C, (tremor harmonik) adalah tipe tremor dengan frekuensi rendah, kurang dari 10 Hz dan durasinya dalam order jam.

2.10 Tremor Harmonik

Schindwein dan Wassermann J. (1995) menganalisis bahwa sinyal-sinyal tremor yang tercatat pada Gunung Semeru pada bulan Oktober 1992 oleh *German-Indonesia Volcano Expedition* berisi lebih dari 11 harmonik yang integer. Kenampakan spektral ini dapat diterangkan dengan adanya beberapa sumber pulsa berirama yang menghasilkan suatu sumber sinyal sementara yang stabil.

Berdasarkan penelitian Yatini (1995) yang menggunakan data antara tanggal 10 Desember 1993 – 28 Februari 1994 mendapatkan bahwa kandungan frekuensi tremor harmonik G. Semeru sangat rendah, yaitu antara 1 sampai 4 Hz. Frekuensi dasarnya berkisar antara 0,8 sampai 1,3 Hz.

2.11 Transformasi Fourier

Suatu parameter fisis yang berkaitan erat dengan fenomena geofisika adalah frekuensi. Parameter inilah yang menjadi pusat informasi dalam analisis karakteristik sinyal seismik suatu gunungapi. Oleh karena itu, untuk mempermudah analisis sinyal tersebut diperlukan suatu metode yang berfungsi mengubah *domain* waktu kedalam *domain* frekuensi. Metode ini kita kenal dengan Transformasi Fourier.

Jika kita memiliki sinyal $x(t)$ maka pasangan transformasiFouriernya adalah $X(\omega)$ dengan $\omega = 2\pi f$

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.6)$$

Apabila $x(t)$ adalah gelombang yang terpisah menjadi beberapa gelombang sinus dan $X(\omega)$ adalah transformasi Fourier dari $x(t)$ dan $i =$

$\sqrt{-1}$, maka dapat persamaan tersebut dapat dituliskan kembali sebagai berikut

$$\begin{aligned} X(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos(\omega t) dt - i \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin(\omega t) dt \\ &= \text{Re}[X(\omega)] - i \text{Im}[X(\omega)] \\ &= |X(\omega)| e^{i\varphi(\omega)} \end{aligned} \quad (2.7)$$

sehingga diperoleh persamaan spektrum amplitudo yaitu

$$|X(\omega)| = \sqrt{(\text{Re}[X(\omega)])^2 + (\text{Im}[X(\omega)])^2} \quad (2.8)$$

dan persamaan spektrum fasa

$$\varphi[\omega] = \tan^{-1} \left(-\frac{\text{Im}[X(\omega)]}{\text{Re}[X(\omega)]} \right) \quad (2.9)$$

Sedangkan invers dari transformasi Fourier didefinisikan sebagai

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (2.10)$$

Sehingga kedua fungsi tersebut dinyatakan sebagai pasangan transformasi Fourier

$$H(\omega) \Leftrightarrow h(t) \quad (2.11)$$

(Telford dkk, 1990)

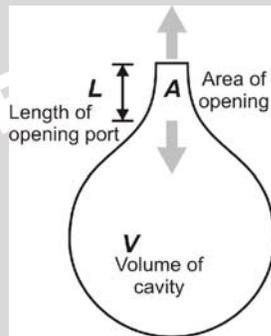
Analisis sinyal dengan menggunakan prinsip metode transformasi Fourier ini dikenal dengan analisis spektral. Pada analisis spektral ini menggunakan seluruh bentuk sinyal sehingga jika terjadi kesalahan informasi akan mudah dihindari dibandingkan dengan pengukuran titik-titik dalam *domain* waktu.

1.12 Interpretasi resonator Helmholtz

Interpretasi tremor harmonik dapat dijelaskan dengan menggunakan prinsip resonator Helmholtz. Prinsip resonator Helmholtz yang diterapkan ini dikondisikan sebagai ruang gas dalam bentuk sebuah bola pada bagian bawah dengan bagian atas berupa pipa silinder seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.18. Mengacu model resonator pada gambar 2.18 kemiripan bentuknya yang menyerupai suatu pipa kondukt dan kantong magma secara umum memberikan persamaan frekuensi resonator Helmholtz yaitu

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL}} \quad (2.12)$$

Dengan V adalah volume ruang gas dan A adalah luas penampang pipa kondukt (Maryanto, dkk. 2005).



Gambar 2.18 Model resonator ruang gas yang diusulkan oleh Helmholtz.

(<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/rescon.html>)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian yang mengambil judul “Perubahan Spatial dan Temporal Tremor Harmonik Gunung Semeru, Jawa Timur tahun 2009”, yang dilaksanakan di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Alam (PVMBG) – Bandung. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli – Agustus 2010.

3.2 Seleksi Data

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, berupa data hasil rekaman (seismogram) dari bulan Januari–September tahun 2009 untuk G. Semeru. Pembacaan data melalui format DAT menggunakan program SR-900. Seleksi data ditekankan pada pemilihan sinyal tremor vulkanik, terutama sinyal tremor harmoniknya. Sinyal tremor harmonik dari hasil rekaman dipilih atau diseleksi berdasarkan bentuk gelombang dari sinyal tersebut kemudian sinyal hasil seleksi disimpan dalam format ASCII.

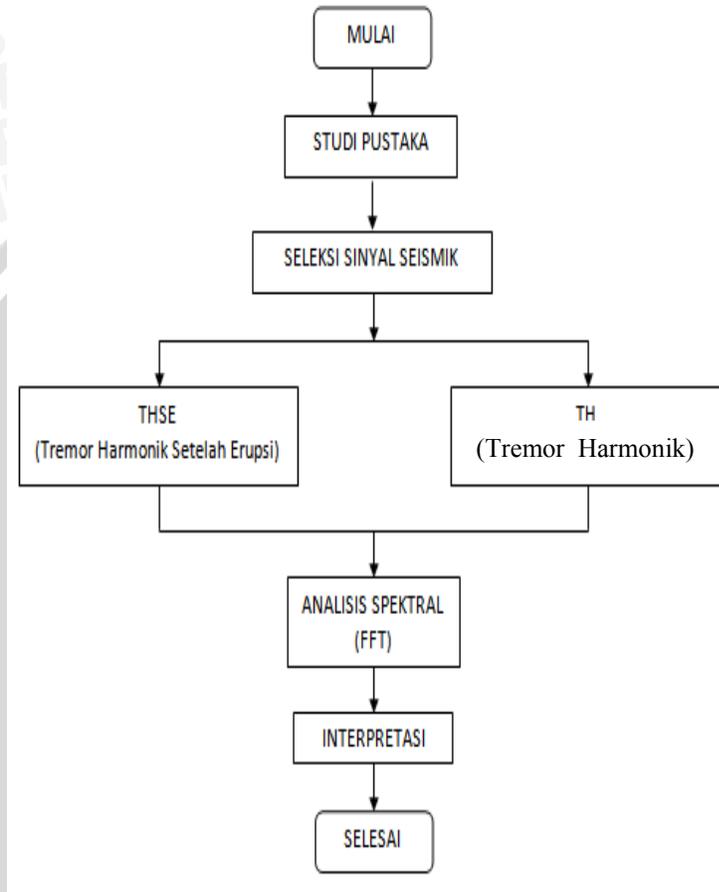
3.3 Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan perangkat komputer karena data yang dipergunakan merupakan data-data digital. Program komputer yang dipergunakan dalam pengolahan dan analisis data adalah sebagai berikut Microsoft Office Excel 2003, MATLAB versi 7.1, dan Origin 7.0. Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 dengan pengolahan data meliputi analisis statistik atau klasifikasi sinyal tremor harmonik dan analisis spektral.



3.4 Alur Penelitian

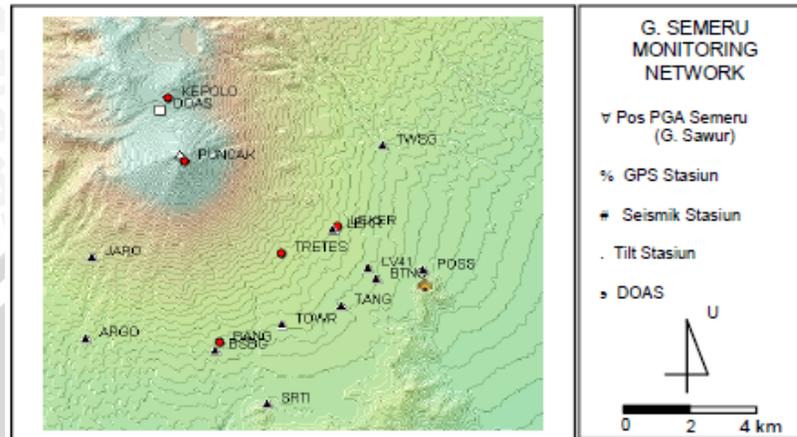
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, berupa data hasil rekaman (seismogram) dari bulan Januari – September tahun 2009 untuk Gunung Semeru. Pembacaan data menggunakan program SR-900. Seleksi data ditekankan pada pemilihan sinyal tremor vulkanik, terutama sinyal harmoniknya. Sinyal tremor harmonik dari hasil rekaman dipilih berdasarkan dari bentuk gelombang dari sinyal tersebut, kemudian sinyal hasil seleksi disimpan dalam format ASCII.



Gambar 3.1 Diagram alur metode penelitian

Tabel 3.1 Koordinat stasiun seismometer G. Semeru (Rosadi, 2008)

No <i>Channel</i>	Stasiun	Posisi Geografis		
		Latitude	Longitude	Altitude (m)
A000	PCK	8°06' 26.3" S	112°55'26.7" T	3657
A001	KEP	8°05' 02.7" S	112°55'13.0" T	2764
A002	LKR	8°08' 14.8" S	112°59'09.4" T	1060
A003	TRS	8°08' 54.5" S	112°57'50.3" T	1208
A004	BANG	8°10' 50.0" S	112°57'09.2" T	917

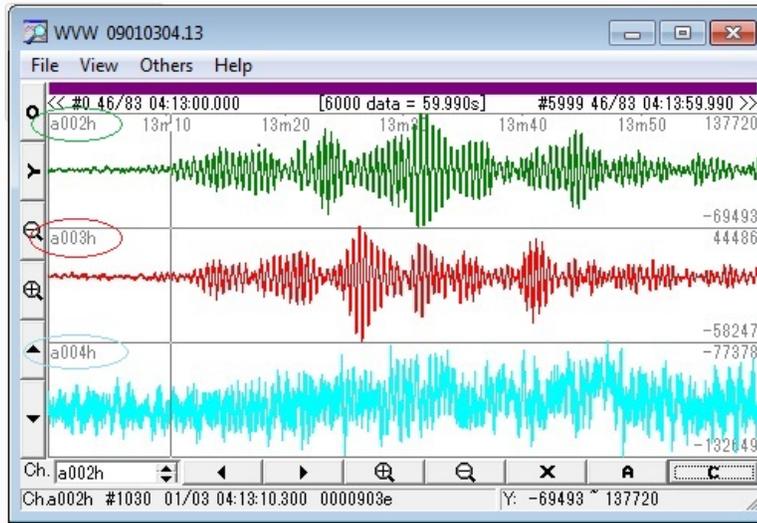


Gambar 3.2 Jaringan pemantauan aktifitas di G. Semeru (Rosadi, dkk 2008)

3.5 Klasifikasi Sinyal Tremor Harmonik

Klasifikasi sinyal tremor harmonik dipilih berdasarkan stasiunnya dengan sinyal hasil rekaman yang bagus. Nama stasiun sudah tercantum dalam data digital yaitu di identifikasikan sebagai nomor *channel*, sehingga dapat dipilih seismogram dari stasiun mana yang menghasilkan tampilan paling bagus.

Pada Gambar 3.3 menampilkan seismogram tremor harmonik dari program SR-900. Tampilan seismogram tersebut terbagi menjadi tiga baris seismogram dimana setiap baris tersebut disebut dengan *channel*.



Gambar 3.3 Seismogram tremor harmonik pada tanggal 03 Januari 2009 pukul 04.13 WIB. Bagian yang dilingkari merupakan nama channel stasiunnya yaitu **A002** : Stasiun Leker, **A003** : Stasiun Tretes, **A004** : Stasiun Besuk Bang.

Klasifikasi selanjutnya yaitu menyeleksi kejadian tremor harmonik. Seleksi ini lebih ditekankan pada tremor berupa kejadian sendiri, dan sesudah letusan sehingga memudahkan dalam proses selanjutnya.

3.6 Analisa Data

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap untuk menganalisa data yang telah diperoleh. Analisa yang dilakukan antara lain adalah:

3.6.1 Penentuan Frekuensi

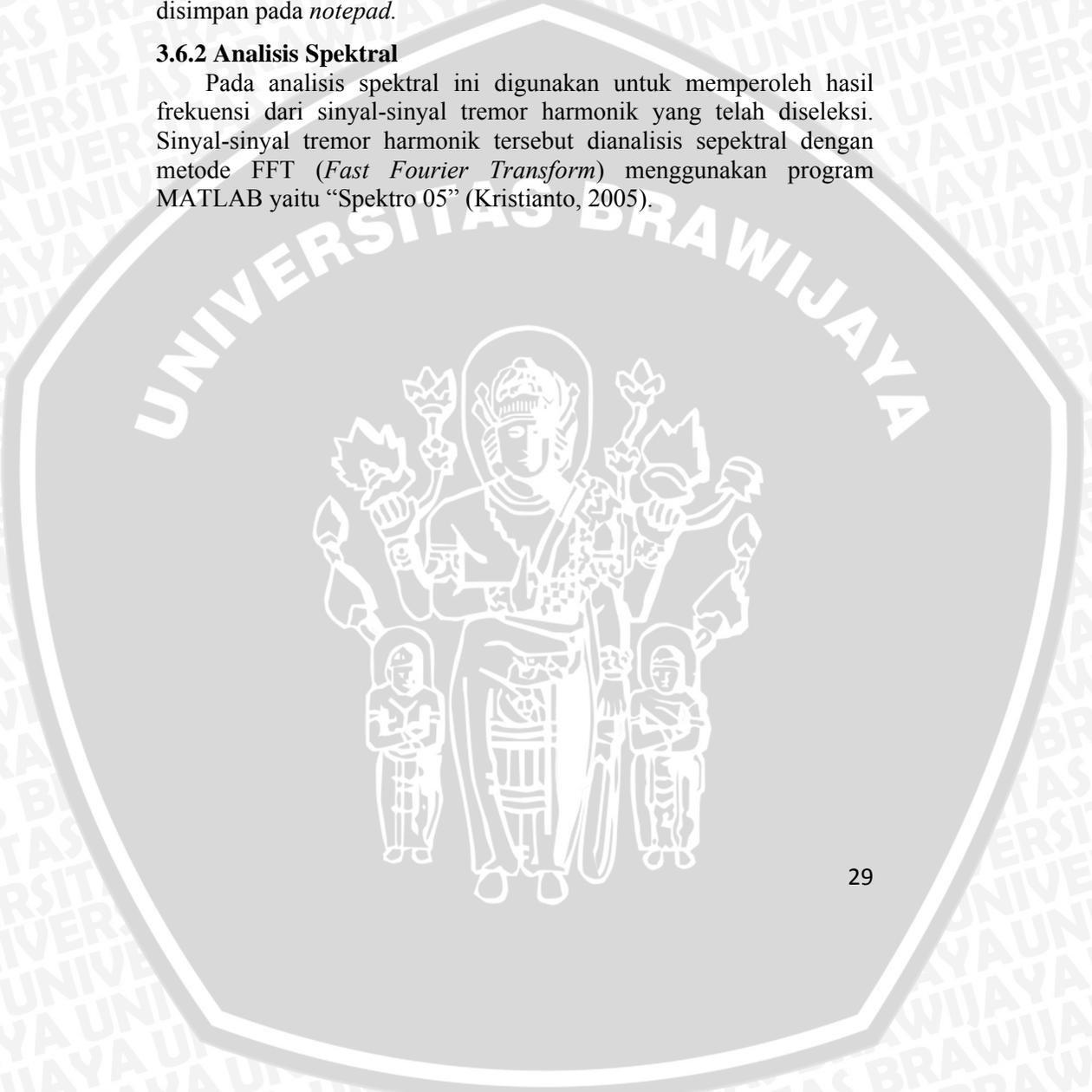
Dalam penentuan frekuensi digunakan *software* Matlab dan Origin. Untuk Matlab, setelah dicari nilai amplituda kemudian dilakukan penentuan besarnya frekuensi dari gelombang seismik dari sinyal gempa yang terjadi. Input data dari program ini adalah data waktu dan amplituda dari *event* gempa tersebut yang dimulai dari detik ke-0,01 hingga detik yang terakhir sesuai dengan banyaknya data amplituda setiap *event*nya, karena *sampling* data pada seismometer diatur pada 100Hz. Kemudian data waktu dan amplituda

tersebut disimpan pada *notepad* dalam bentuk *.txt*. Selanjutnya untuk mengetahui tampilan sinyal dan besar frekuensinya maka dilakukan cara *picking* terhadap sinyal gempa yang akan diketahui nilai frekuensinya. Analisa ini dilakukan pada tiap *event* gempa yang dipilih untuk tiap stasiun seismometer.

Untuk penentuan frekuensi dengan menggunakan *software* Origin yaitu, inputan dari program ini adalah data frekuensi dan amplituda dari *event* gempa tersebut. Bedanya, penentuan frekuensi dengan menggunakan Origin ini, data waktu dan amplitudanya tidak disimpan pada *notepad*.

3.6.2 Analisis Spektral

Pada analisis spektral ini digunakan untuk memperoleh hasil frekuensi dari sinyal-sinyal tremor harmonik yang telah diseleksi. Sinyal-sinyal tremor harmonik tersebut dianalisis sepektral dengan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) menggunakan program MATLAB yaitu “Spektro 05” (Kristianto, 2005).



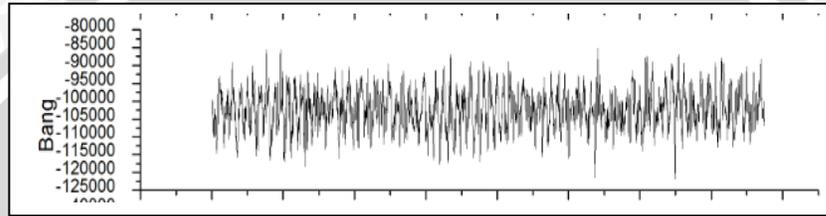


(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

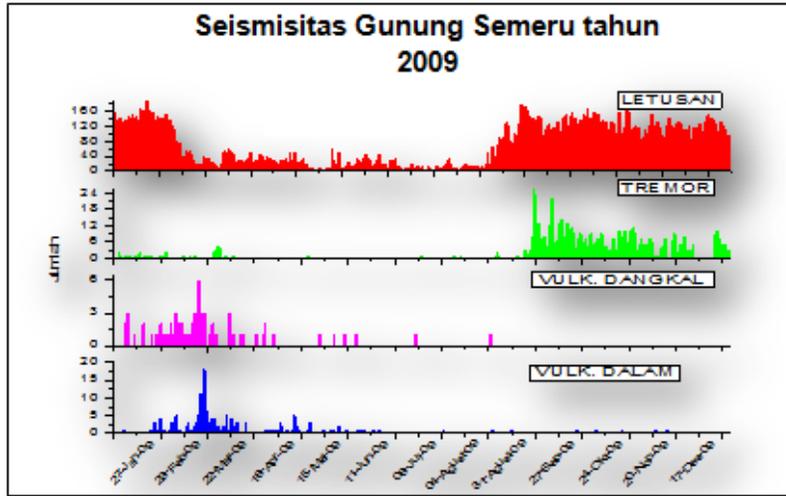
4.1 Aktifitas Tremor Harmonik

Setelah mengalami seleksi data rekaman seismik berdasarkan stasiunnya, digunakan tiga seismogram yang bagus yang diambil dari stasiun Leker, Tretes, dan Besukbang. Dari hasil seleksi data seismogram gunung Semeru yang telah didapatkan pada bulan Januari-September 2009 diperoleh data tremor harmonik sebanyak 14 kejadian. Data-data yang didapat Sebagian data rekamannya tidak dipergunakan, pada Gambar 4.1 merupakan salah satu contoh sinyal seismik dengan *noise* yang besar, hal ini dikarenakan sebagian besar menampilkan rekaman yang kurang akurat dan banyak terdapat sinyal gangguan.



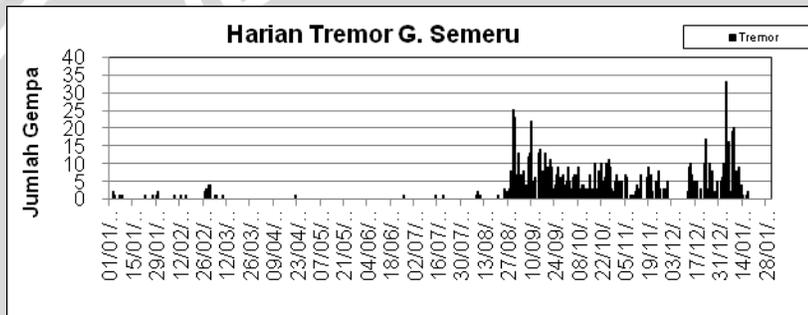
Gambar 4.1 Tremor dengan noise yang besar terekam di Besukbang tanggal 30 Januari 2009 pada pukul 15.03 WIB.

Langkah awal yang dilakukan sebelum melanjutkan analisis data, kita terlebih dahulu meninjau dari aktivitas gunung Semeru sesuai dengan grafik seismisitas pada tahun 2009, yang terlihat pada gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Seismisitas Vulkanik Gunung Semeru tahun 2009.

Dan berikut adalah grafik seismisitas gempa Tremor pada tahun 2009 :



Gambar 4.3 Seismitas Tremor gunung Semeru 2009.

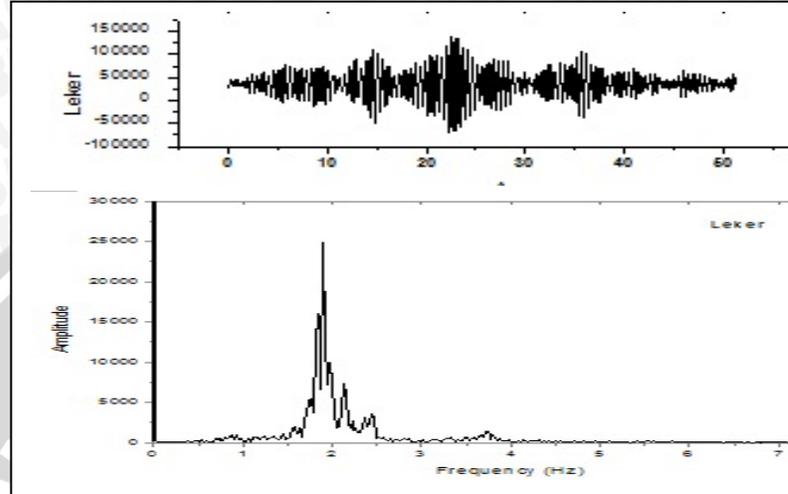
Dari Grafik Seismitas diatas dapat diketahui bahwa, Tremor Vulkanik banyak terjadi pada akhir tahun 2009 - awal tahun 2010, berkisar pada bulan September 2009 – Januari 2010.

4.2 Karakteristik Spektral Tremor vulkanik

Setelah dilakukan perhitungan spektral, pada gempa tremor memiliki beberapa karakteristik yang cukup mencolok yaitu :

- memiliki frekuensi dominan pada tiap stasiun
- puncak frekuensi yang sama muncul disemua stasiun
- selanjutnya yaitu puncak frekuensi yang dimiliki oleh Gempa Tremor yaitu tajam atau jelas.

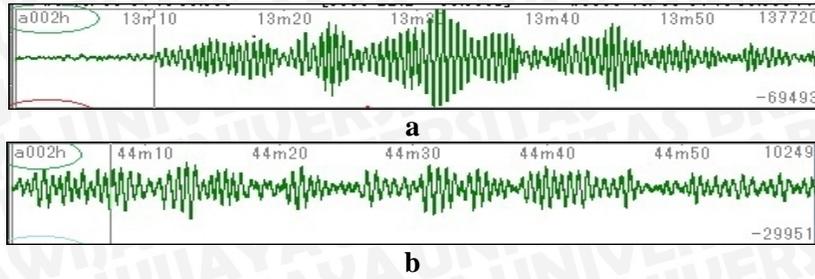
Pada Gambar 4.4 merupakan tampilan spektral tremor vulkanik.



Gambar 4.4 Tremor harmonik pada stasiun leker dan Spektralnya pada tanggal 03 Januari 2009 pada pukul 04.13 di stasiun Leker.

4.3 Jenis-jenis Tremor

Pada pengklasifikasian gempa tremor ini didapatkan dua jenis gempa tremor, yaitu Tremor Harmonik dan Tremor Spasmodik. Perbedaan yang sangat mencolok pada tremor harmonik dan tremor spasmodiknya terlihat pada bentuk gelombangnya, pada tremor harmonik gelombang yang dihasilkan teratur, sedangkan pada tremor spasmodik gelombang yang dihasilkan cenderung tidak beraturan, sedangkan untuk frekuensinya masing-masing tremor tersebut memiliki kesamaan berkisar antara 1 hingga 2Hz (Gambar 4.5).

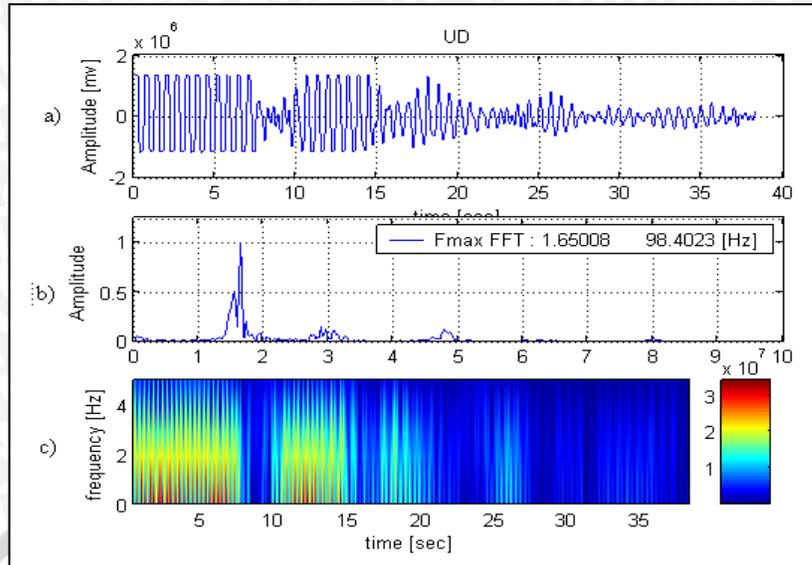


Gambar 4.5a. Bentuk gelombang dari tremor harmonik pada tanggal 03 Januari 2009 pada pukul 04.13 di stasiun Leker, **b.** Bentuk gelombang dari tremor spasmodik tanggal 19 Juli 2009 pada pukul 18.43 di stasiun Leker.

Setelah didapatkan jenis tremornya, maka akan dipisah lagi menjadi dua yaitu Tremor Harmonik Setelah Erupsi (THSE) dan Tremor Harmonik (TH) tanpa disertai oleh kejadian gempa lainnya.

Pada gambar 4.7-4.8 dapat dilihat pada spektralnya, bahwa untuk kejadian (THSE), puncak spektralnya mengalami peningkatan, berbeda dengan kejadian (TH), puncak spektral yang didapatkan tidak mengalami peningkatan yang berarti, bahkan terlihat stabil.

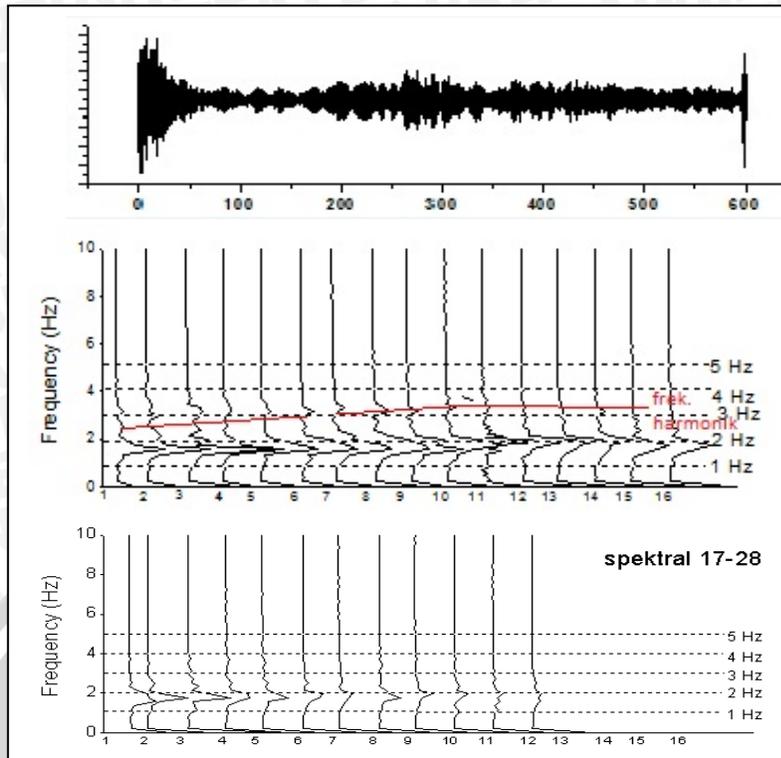




Gambar 4.6 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 02.39 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)

Pada gambar 4.6 dapat dijelaskan bahwa hasil spektral untuk gambar (a) merupakan seismogram gempa tremor harmonik yang akan dianalisis, pada gambar (b) merupakan hasil spektral untuk mengetahui nilai frekuensi dominan pada sinyal, sedangkan gambar (c) merupakan spektogram perubahan frekuensi terhadap waktu yang mana *colourbar* menunjukkan amplituda. Dan diketahui f_{max} adalah nilai frekuensi dominannya yang memiliki nilai sebesar 1,65 Hz dan memiliki nilai frekuensi maksimal sebesar 98,40 Hz.

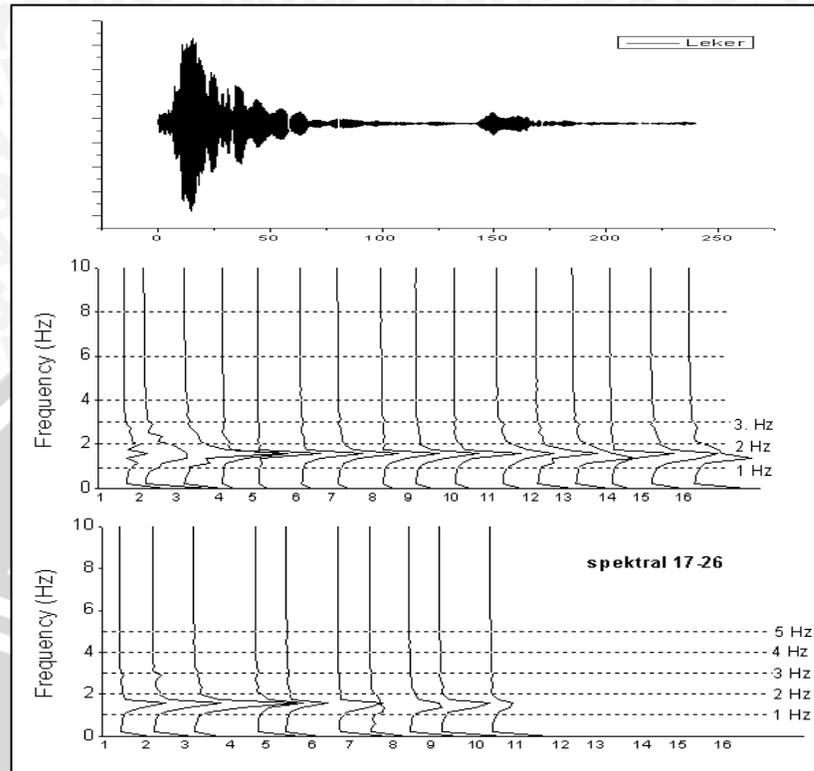
Pada hasil analisis spektral seperti pada gambar di atas maka dapat diketahui nilai frekuensi dominan dari sinyal gempa Tremor Vulkanik pada setiap stasiun yang merekam. Hasil analisa spektral semua kejadian dapat dilihat pada Lampiran Analisa Spektral Event Gempa. Dari hasil penganalisaan spektral tersebut maka didapatkan nilai frekuensi tiap *event* pada tabel 4.1.



Gambar 4.7 Tremor Harmonik Setelah Letusan (THSE) pada tanggal 04 Januari 2009 pukul 12.12 - 12.21 WIB dan Spektralnya.

Pada Gambar 4.7 di atas diketahui bahwa secara temporal perubahan spektral pada stasiun leker yang didapatkan memiliki perubahan pada frekuensi dasarnya yaitu 1,86Hz, dan pada *pick* ke-11 perubahan mulai tampak jelas, frekuensinya yaitu menjadi 2,00 Hz. Sedangkan untuk frekuensi harmoniknya yaitu berkisar antara 2,49 Hz hingga 3,19 Hz, dari grafik di atas juga dapat disimpulkan bahwa untuk frekuensi dasar dan frekuensi harmoniknya mengalami peningkatan secara gradual. Untuk perhitungan frekuensi gempa tremor harmonik setelah letusan (THSE) yaitu dapat menggunakan Origin, data dianalisis per 5,12 s, dengan *overlap* 2,56 s dari *waveform*.

Sedangkan pada Gambar 4.8 yaitu tremor harmonik (TH), frekuensi yang dihasilkan cenderung stabil atau tidak mengalami perubahan, frekuensinya berkisar antara 1,57 Hz. Hal ini dikarenakan pada tremor harmonik ini memiliki keteraturan pada spektralnya.



Gambar 4.8 Tremor Harmonik (TH) pada tanggal 09 April 2009 pukul 03.30 – 03.34 WIB dan Spektralnya.

Perhitungan Frekuensi tremor harmonik (TH) dengan menggunakan Origin yaitu data dianalisis per 5,12 s, dengan *overlap* 2,56 s dari *waveform* sebelumnya. Hal ini sama dengan penentuan frekuensi pada kejadian tremor harmonik yang terjadi setelah letusan (THSE). Pada hasil analisis spektral seperti pada gambar 4.6, maka dapat diketahui nilai frekuensi dari sinyal tremor pada setiap stasiun yang merekam. Hasil analisa spektral semua kejadian dapat dilihat

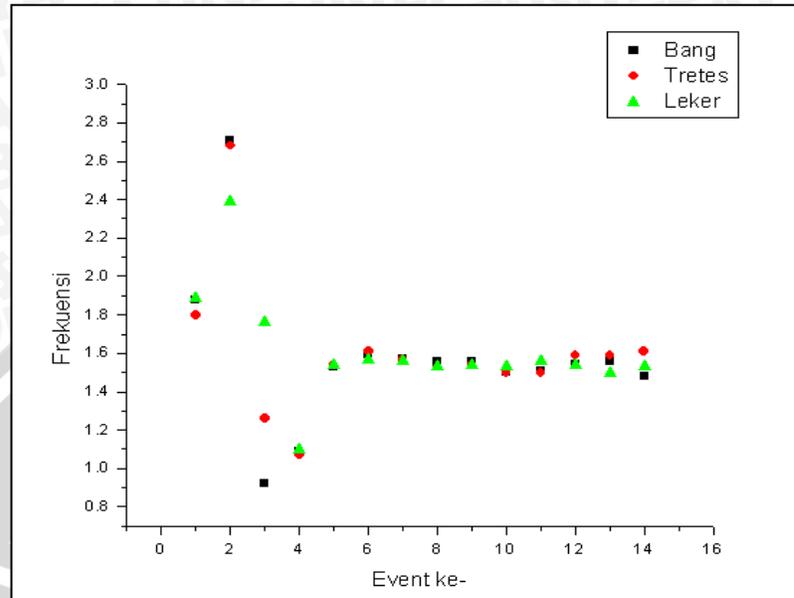
pada lampiran hasil analisa spektral. Dari hasil penganalisaan spektral tersebut maka didapatkan nilai frekuensi tiap *event* pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai frekuensi pada tiap stasiun

WAKTU	PUNCAK FREKUENSI								
	<i>puncak ke-1</i>			<i>puncak ke-2</i>			<i>puncak ke-3</i>		
	LKR	TRS	BANG	LKR	TRS	BANG	LKR	TRS	BANG
03:01:2009 04:13	1,89	1,8	1,88	3,72	3,79	3,76		5,54	5,43
27:01:2009 20:44	2,39	2,68	2,71						
19:07:2009 18:43	1,76	1,26	0,92						
31:08:2009 01:11	1,10	1,07	1,09	2,16	2,20	2,19	4,33	4,36	4,34
03:09:2009 02:18	1,54	1,54	1,53						
03:09:2009 02:39	1,57	1,61	1,59						
03:09:2009 02:42	1,56	1,57	1,57						
03:09:2009 04:02	1,53	1,53	1,56	2,70	2,70	2,73			
03:09:2009 04:03	1,54	1,54	1,56	3,05	3,05	3,10			
03:09:2009 04:04	1,53	1,50	1,50	2,71	2,70	2,70	3,02	3,02	3,04
03:09:2009 05:00	1,56	1,50	1,51	2,97	2,92	2,90			
04:09:2009 01:36	1,54	1,59	1,54	2,16	2,21	2,00	3,16	3,11	3,11
04:09:2009 02:11	1,50	1,59	1,56	2,96	2,89	2,73			
04:09:2009 03:30	1,53	1,61	1,48	2,05	2,09	2,09	2,93	2,94	2,97

Dari hasil frekuensi pada Tabel 4.1 didapatkan frekuensi dengan nilai rata-rata sebesar 1 hingga 2 Hz pada tiap *event*. Sedangkan tanggal 19 Juli 2009 pada stasiun Besukbang nilai frekuensi yang didapatkan yaitu sebesar 0,92 Hz hal ini dapat dijadikan acuan mengenai lokasi jauh dekatnya stasiun dari sumber gempa berdasarkan nilai hiposenter dan besar kecil nilai frekuensi, juga dapat dikarenakan adanya perbedaan medium sehingga gelombang yang terekam pada stasiun mengalami pemfilteran karena pada umumnya gunungapi

bertipe strato ini tersusun dari batuan berkomposisi basaltik sampai andesit. Dari hasil analisis sepektral didapatkan 9 kejadian tremor vulkanik yang memiliki frekuensi harmonik lebih dari satu. Berikut pada Gambar 4.3, merupakan perbandingan nilai frekuensi dominan pada setiap setasiun.



Gambar 4.9 Puncak-puncak Frekuensi pada tiap stasiun

Pada Gambar 4.9 menunjukkan nilai-nilai puncak frekuensi dari program Origin, dapat dilihat bahwa dari hasil frekuensi tiap stasiun dapat diketahui bahwa pada setiap kejadian tersebut memiliki nilai frekuensi yang hampir sama antara tiap stasiun, hal ini mengindikasikan bahwa tremor berasal dari sumber yang sama.

4.4 Interpretasi

Interpretasi tremor dengan resonator Helmholtz ini memperoleh nilai dari sebaran nilai frekuensi pada sinyal tremor harmonik yaitu menentukan interpretasi resonator Helmholtz. Ini bertujuan untuk mencari frekuensi resonator dari suatu sistem konduktif dan kantong magma. Langkah awal dalam penentuannya yaitu menggunakan

seluruh kejadian tremor yang telah didapatkan, jika nilai frekuensi yang digunakan yaitu *event ke-1* yaitu f adalah 1,89 Hz dan kecepatan gelombang akustik di dalam medium gas menurut Ishihara (1985) adalah 880 m/s, berdasarkan persamaan 2.12

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{VL}} \quad (4.1)$$

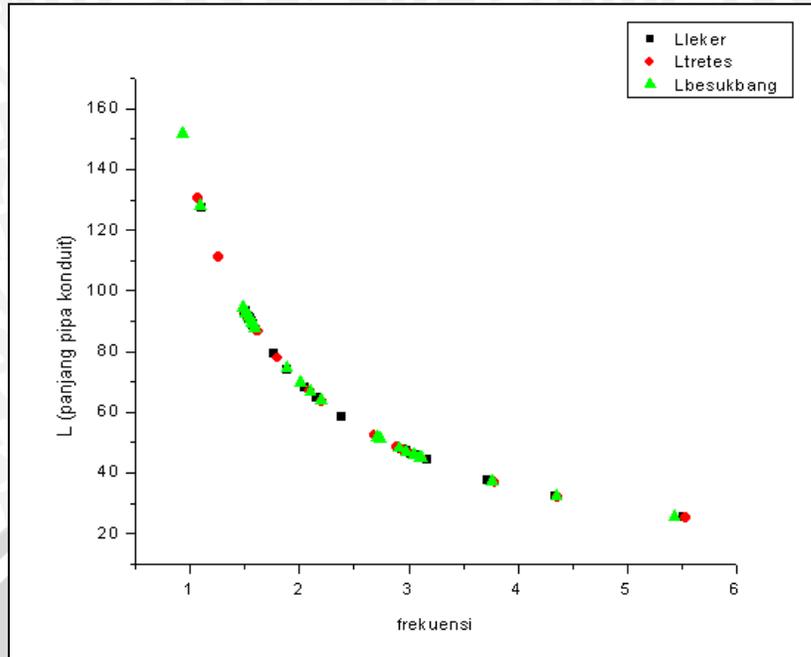
maka dicari nilai L (panjang pipa kondukt) yaitu:

$$\begin{aligned} L &= \frac{c}{f2\pi} \\ &= \frac{880\text{m/s}}{1,89\text{Hz} \times 2 \times 3,14} \\ &= 74,142\text{ m} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Untuk menentukan nilai A (luas penampang) digunakan nilai A dari nilai yang bervariasi hingga mendapatkan nilai frekuensi yang diinginkan

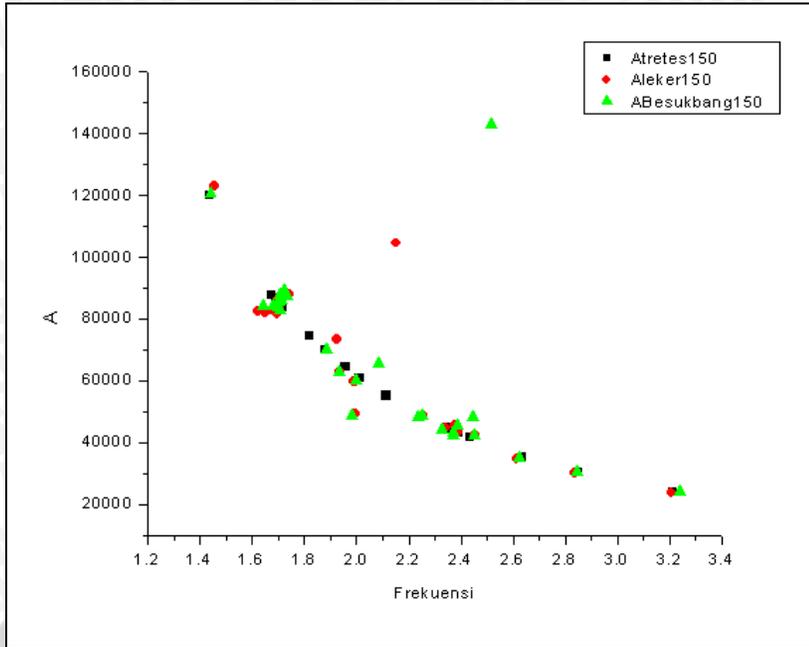
$$A = 2\pi rL \quad (4.3)$$

Dari analisa data yang telah dilakukan hasil yang didapatkan dari persamaan Helmholtz ini yaitu nilai $V = 4849810 \text{ m}^3$ sedangkan untuk nilai $A = 64664,13 \text{ m}^2$ dengan jari-jari kantong magma berkisar antara $\approx 150 \text{ m}$.



Gambar 4.10 Hubungan antara frekuensi (f) vs panjang pipa konduit (L) pada stasiun Leker, Tretes, dan Besukbang.

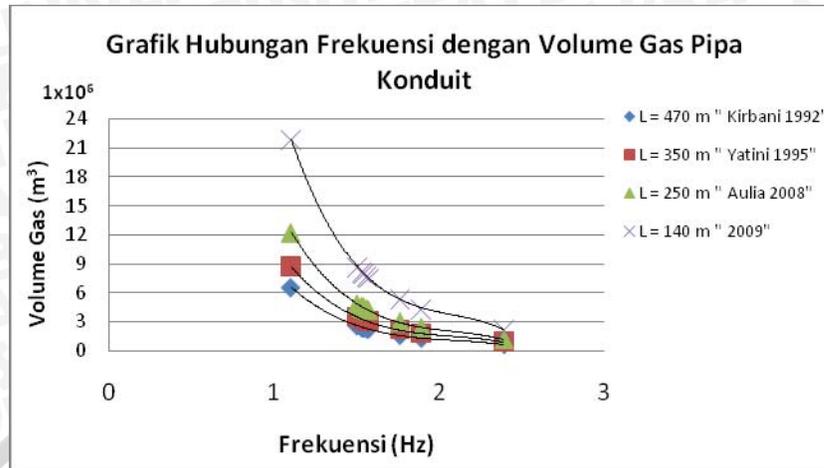
Grafik 4.10 diatas menunjukkan nilai f (frekuensi) vs L (Panjang Pipa Konduit), dimana warna merah merupakan nilai untuk stasiun Tretes, hitam merupakan nilai untuk stasiun Leker, sedangkan pada warna hijau merupakan nilai pada stasiun Besukbang. Pada grafik di atas diketahui nilai L tertinggi terjadi pada tanggal 31 Agustus 2009, di stasiun Leker nilai L yang didapatkan yaitu 127,27 m saat nilai frekuensinya 1,10 Hz, di stasiun Tretes nilai L yang didapat yaitu 130,71 m saat nilai frekuensinya 1,07 Hz, begitu pula pada stasiun besukbang nilai L yang didapatkan 128,08 m pada saat nilai frekuensinya 1,09 Hz. Nilai frekuensi pada tiap stasiun yang di dapatkan merujuk pada table 4.1 (hal 38).



Gambar 4.11 Hubungan antara frekuensi (f) vs Luas Penampang (A) pada stasiun Leker, Tretes, dan Besukbang.

Grafik 4.11 diatas menunjukkan nilai f (frekuensi) vs A (Luas Penampang), dimana warna merah merupakan nilai dari stasiun Tretes, hitam merupakan nilai dari stasiun Leker, sedangkan pada warna hijau merupakan nilai pada stasiun Besukbang. Nilai frekuensi pada tiap stasiun yang di dapatkan merujuk pada table 4.1 (hal 38).

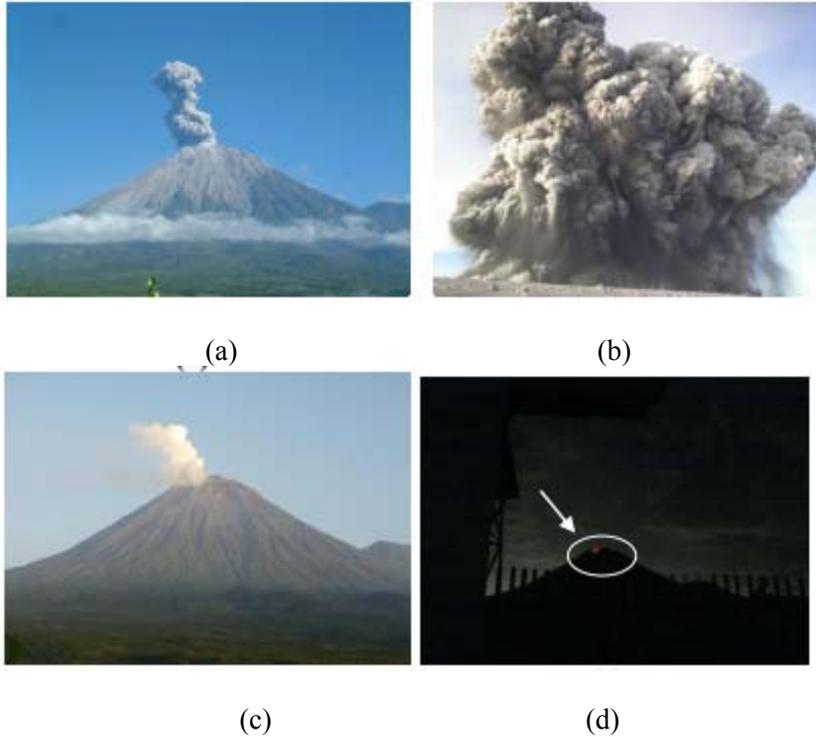
4.5 Estimasi Perubahan Volume Gas dalam Pipa Konduit Terhadap Waktu



Gambar 4.12 Hubungan frekuensi dengan Volume Gas Pipa Konduit

Dari hasil estimasi perubahan volume gas dalam pipa konduit yang dilakukan oleh Kirbani tahun 1992 nilai L yang didapatkan yaitu 470 m, padapenelitian Yatini tahun 1995 nilai L yang didapatkan yaitu 350 m, sedangkan pada tahun 2008 (Aulia, 2009) didapatkan nilai L sebesar 250 m, sedangkan pada kejadian gempa tahun 2009 (Gambar 4.12) dapat dilihat bahwa Interpretasi hasil estimasi perubahan volume gas dalam pipa konduit mendapatkan nilai L sebesar 140 m. Dari keempat kurva diatas dapat disimpulkan bahwa nilai L dari tahun ketahun mengalami penurunan dan didapatkan nilai volume gas dan frekuensi yang berbanding terbalik kuadratnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai frekuensi yang di hasilkan maka nilai volume gas yang di dapatkan semakin kecil atau berkurang. Sehingga dapat di jelaskan secara fisis bahwa ketika terjadi THSE sebelum letusan daerah pipa konduit kolom gas yang tertutup atau termampatkan, akibatnya tekanan magma dari kantong magma dan tidak bisa keluarnya gas karena bagian atasnya tertutup. Saat tekanan udara yang terdapat di atas permukaan pipa konduit maka gas tersebut

keluar dengan disertai letusan yang mengakibatkan hancurnya penutup pipa konduktivitas. (Aulia, 2009)



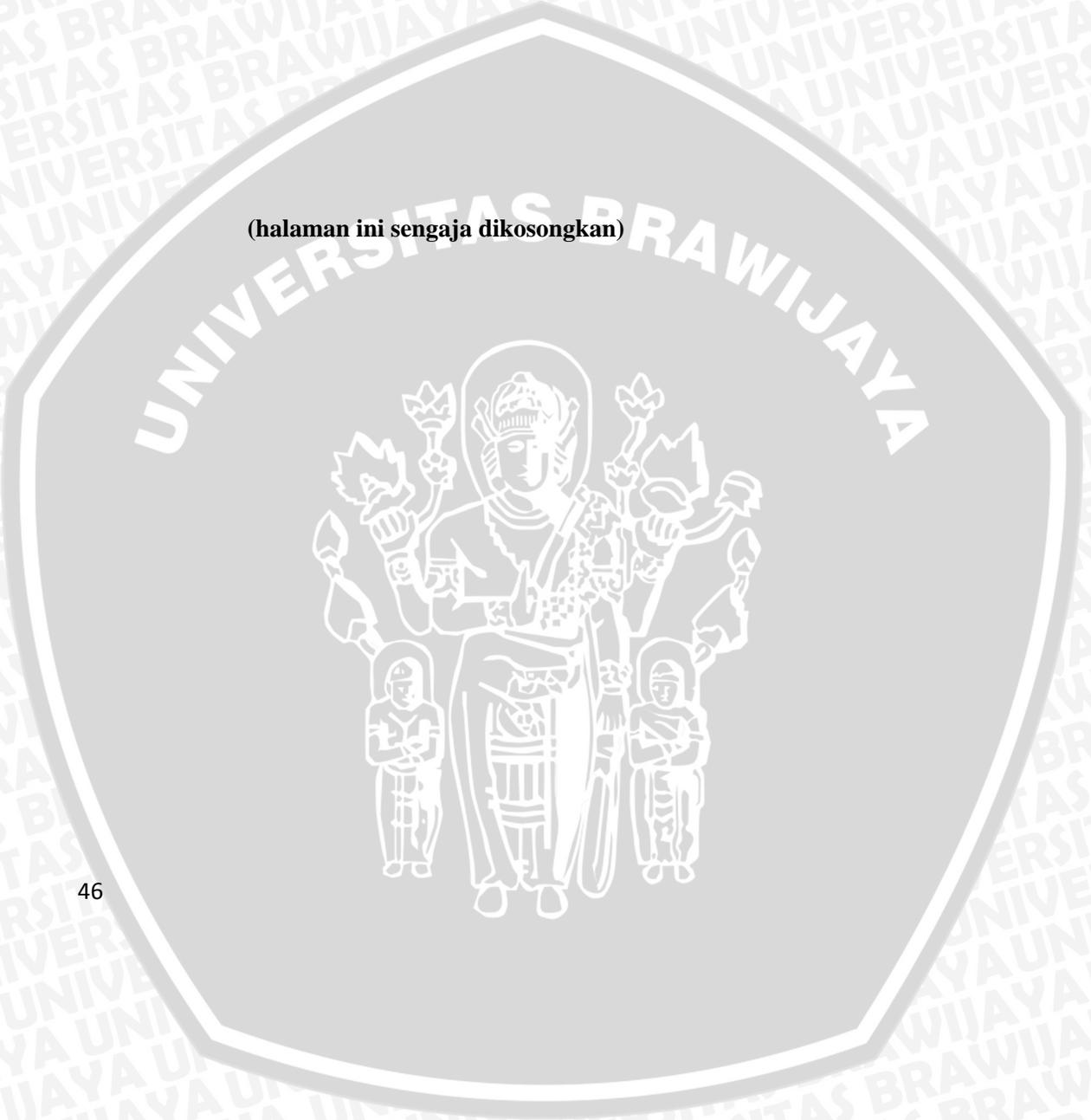
Gambar 4.13 (a) dan (b) Kemunculan letusan yang membawa material abu vulkanik pada tanggal 9 Januari 2009, (c) letusan dengan manifestasi hembusan asap pada tanggal 29 Maret 2009 dilihat dari PPGA Sawur dan dari puncak G. Semeru, (d) kemunculan kubah lava yang di tandai dengan adanya api diam (lingkaran) di puncak gunung pada tanggal 5 November 2009 (Cholisina, 2011).

Pada saat terjadi kenaikan aktifitas didalam kantong magma yang disertai oleh tremor harmonik. Tekanan gas tinggi terjadi di dalam kolom gas, dan pada saat tersebut erupsi akan terjadi jika tekanan dalam kantong magma lebih besar daripada kekuatan batuan sekitarnya, pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa ada 3 fase keadaan

aktivitas gunungapi Semeru yang akan dirunut melalui pengamatan visual. Yang pertama visual permukaan yang didominasi oleh aktivitas letusan yang membawa material abuvulkanik (a) dan (b), yang kedua yaitu letusan dengan manifestasi hembusan asap (c), dan ketiga yaitu kemunculan kubah lava yang ditandai dengan adanya api diam (lingkaran) di puncak gunung (d) seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.13 di atas.



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisis spektral yang dilakukan diperoleh hasil bahwa frekuensi dominan gempa tremor harmonik G. Semeru pada tahun 2009 berkisar antara 1,89 Hz hingga 5,54 Hz, dari hasil tersebut maka G. Semeru memiliki karakteristik spektral tremor harmonik yaitu memiliki frekuensi dominan pada tiap stasiun. Juga didapatkan hasil estimasi perubahan volume gas dalam pipa konduit pada Tahun 2009 mendapatkan nilai L sebesar 140 m. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai volume gas dan frekuensi berbanding terbalik kuadratnya. Untuk perubahan spatial pada semua stasiun maka hasil yang di dapatkan, kecenderungan nilai dari tiap stasiun hampir sama maka dapat disimpulkan bahwa semua stasiun berasal dari sumber yang sama. Sedangkan untuk perubahan temporal atau perubahan waktu yang terjadi pada semua stasiun, untuk dua stasiun yaitu Leker adalah 1,76 Hz dan Tretes adalah 1,26 Hz hal ini menunjukkan perubahan frekuensi yang hampir sama antara kedua stasiun tersebut, sedangkan untuk Stasiun Besukbang nilai frekuensinya adalah 0,92 Hz. Ini disebabkan oleh perbedaan medium yang dilewati, sehingga gelombang yang terekam pada stasiun mengalami pemfilteran pada medium yang dilewati.

5.2 Saran

Diharapkan kepada peneliti berikutnya bisa menambahkan stasiun untuk mendapatkan data yang lebih akurat serta menggunakan variasi metode geofisika. Untuk menambah variasi interpretasi maka diharapkan juga penelitian selanjutnya menggunakan model penelitian yang lain.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Alzwar, M., H. Samodra, dan, J. Tarigan. 1988. *Pengantar Dasar Ilmu Gununggapi*. Penerbit Nova: Bandung.
- Anonymous. 2010b. Klasifikasi Gempa Vulkanik, diakses dari: <http://febrian14.community.undip.ac.id>, diakses tanggal 18 Oktober 2010.
- Bronto, S. 2001. *Vulkanologi*. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Depdiknas: Jakarta.
- Budiarti, Titi R. 2011. *Karakteristik Gempa Vulkanik Dangkal Gunung Semeru, Jawa Timur Tahun 2009*.
- Dana, Isya N., Wahyudi, Deden dan Wildan, A. 1995. *Aktifitas Vulkanisma Gunung Semeru*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Bandung.
- Ferrick, M. G. 1982. *Source Mechanisme of Volcanic Tremor*. Journal of Geophysics Research, Vol 88, pp8675-8683.
- Ishihara, K. 1985. *Dynamical Analisis of Volcanic Explosion*. J. Geodyn.3, 327-349.
- Kirbani., Brotopuspito, S., Abdurahman, Fadel., Wahyudi., Suyanto, Imam dan Setiawan, Ari. 1992. *Laporan Penelitian, Studi Pendahuluan Seismisitas Gunung Semeru, Jawa Timur*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Kristianto. 2005. *Seismologi Gununggapi*. Pusdiklat ESDM. Bandung
- Kusumadinata, K., 1979. *Data dasar Gununggapi Indonesia*. Direktorat Vulkanologi, Bandung, h. 304 – 316.
- Laporan PGA Gunung Sawur, 2006.
- Maryanto, Sukir., Iguchi, Masato dan Tameguri, Takeshi. 2005. *Presentasi: Spatio-temporal Characteristics of Harmonic*

Tremorat Sakurajima Volcano, Japan, Based on Spectra and Particle Motion Analysis diseminarkan pada tanggal 14 Januari 2005.

Minakami, T. 1974. *Seismology of Vulcanoos in Japan*. Journal of Physical Volcanology. Development in Solid Earth geophys. Munir, 1996.

Perwita, Cholisina A. 2011. *Analisis Sinyal Seismik Gempa Letusan Gunung Semeru, Jawa Timur tahun 2009*.

Rosadi, Umar., Zaennudin, Solihin., Agus., Sebastian, Aditya., Rohaeti, Eti dan Yasa, I Dewa MM. 2008. *Laporan Peringatan Dini Bahaya Gunungapi Semeru, Jawa Timur*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.

Schindwein, V. dan Wassermann J. 1995. *Spetral Analysis of Tremor Signals at Mt. Semeru Volcano, Indonesia*, Geophysical Research Letter, Vol. 22, No. 13 pp. 1685-1688.

Seidl D & Hellweg M., 1991, *Volcanic Tremor Recordings: Polarization Analisis*, dalam Schick R & Mugiono, *Volcanic Tremor and Magma Flow*, Scientific Series of the International Bureau, vol. 4.

Susilo, Adi. 1997. *Analisis Sinyal Seismik Gunungapi Semeru (Jawa Timur, Desember 1993 – Februari 1994) dengan Dekonvolusi Homomorfik untuk Menentukan Mekanisme Sumbernya*. S-2

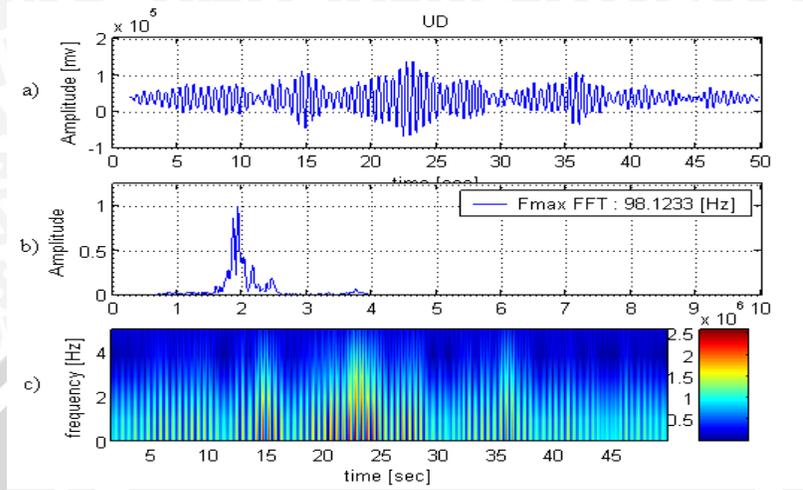
Telford, W.M, L.P Geldart, R.E Sheriff, 1990. *Applied Geophysics, Second Edition, Cambridge University Press: Melbourne*.

Utami, Pambayun W. 2011. *Karakteristik Gempa Vulkanik Dalam Gunung Semeru, Jawa Timur Tahun 2009*.

Yatini.1995. *Analisis Tremor harmonik Setelah Letusan 3 Februari 1994 Untuk Memperoleh Dimensi dan Sistem Vulkanik G. Semeru*. Tesis S-2 Program Studi Geofisika Terapan, Pasca Sarjana, ITB. Bandung.

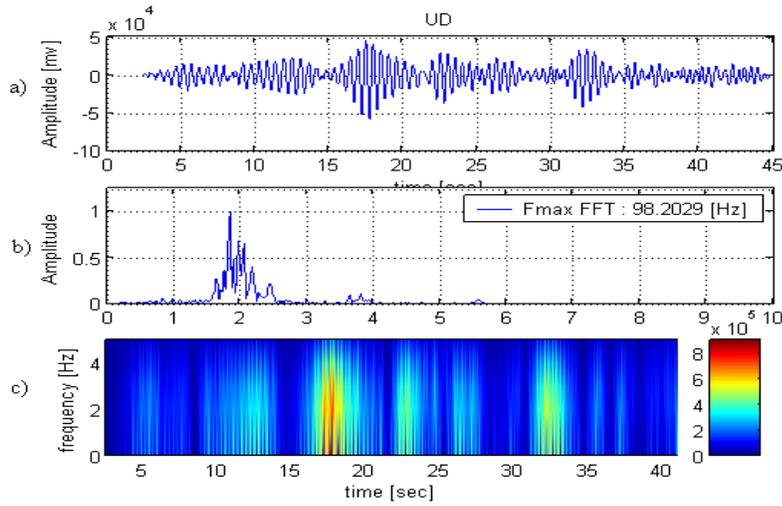
LAMPIRAN 1

ANALISA SPEKTRAL EVENT GEMPA

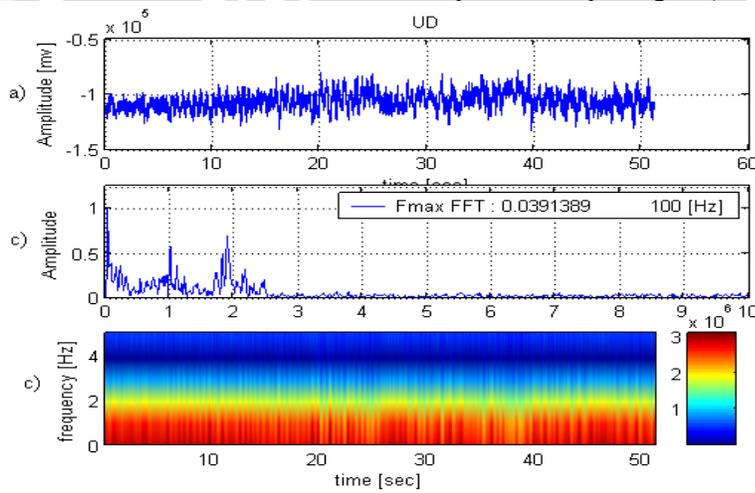


Gambar L.1.1 Spektral Tremor pada tanggal 03 Januari 2009 pada pukul 04.13 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)

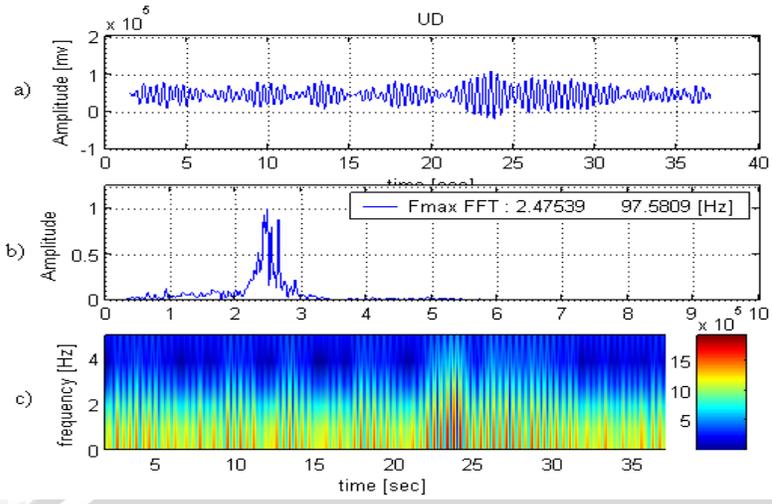




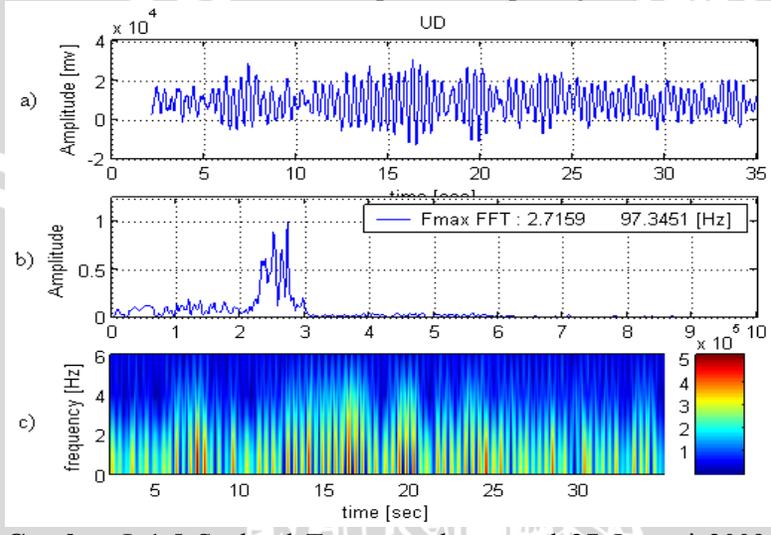
Gambar L.1.2 Spektral Tremor pada tanggal 03 Januari 2009 pada pukul 04.13 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



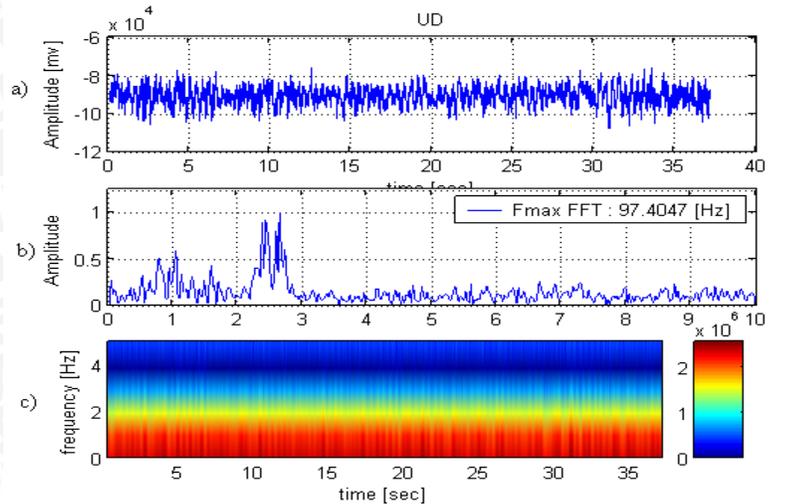
Gambar L.1.3 Spektral Tremor pada tanggal 03 Januari 2009 pada pukul 04.13 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



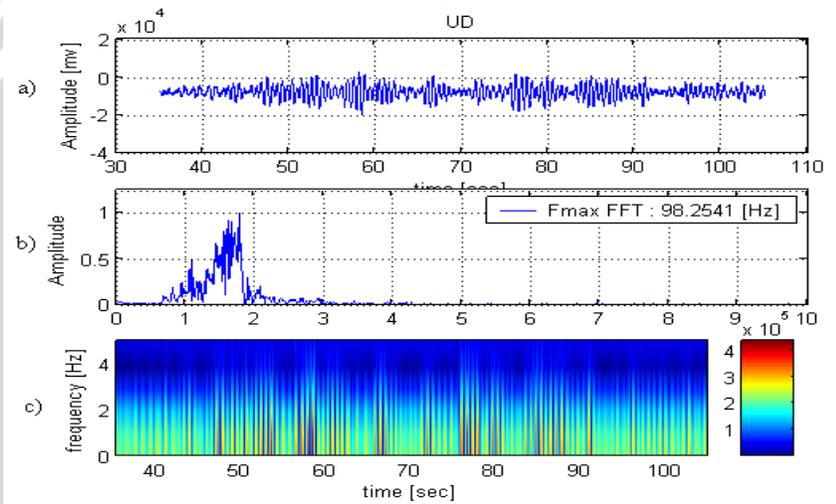
Gambar L.1.4 Spektral Tremor pada tanggal 27 Januari 2009 pada pukul 20.44 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



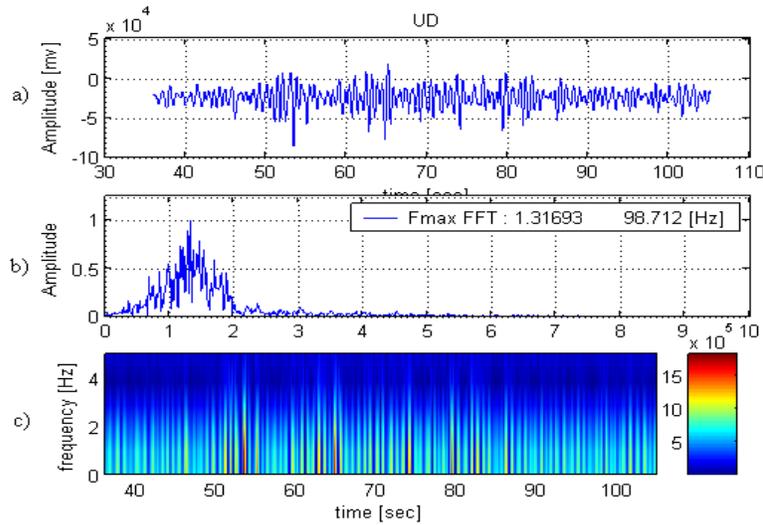
Gambar L.1.5 Spektral Tremor pada tanggal 27 Januari 2009 pada pukul 20.44 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



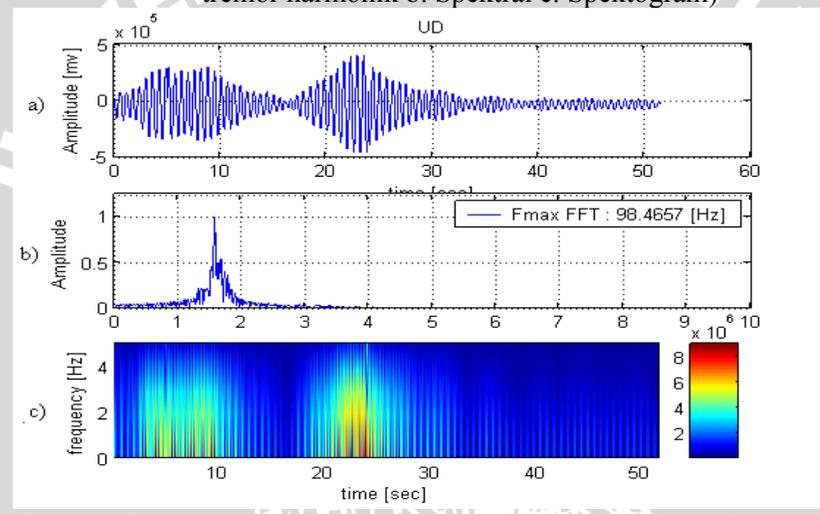
Gambar L.1.6 Spektral Tremor pada tanggal 27 Januari 2009 pada pukul 20.44 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



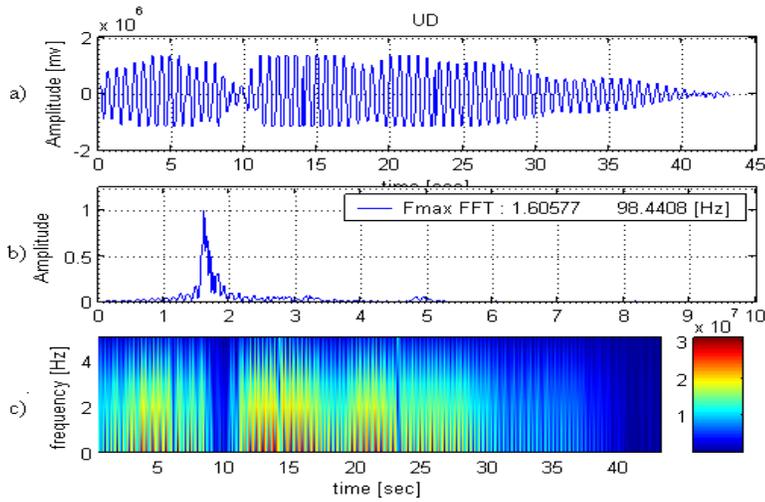
Gambar L.1.7 Spektral Tremor pada tanggal 19 Juli 2009 pada pukul 18.43 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



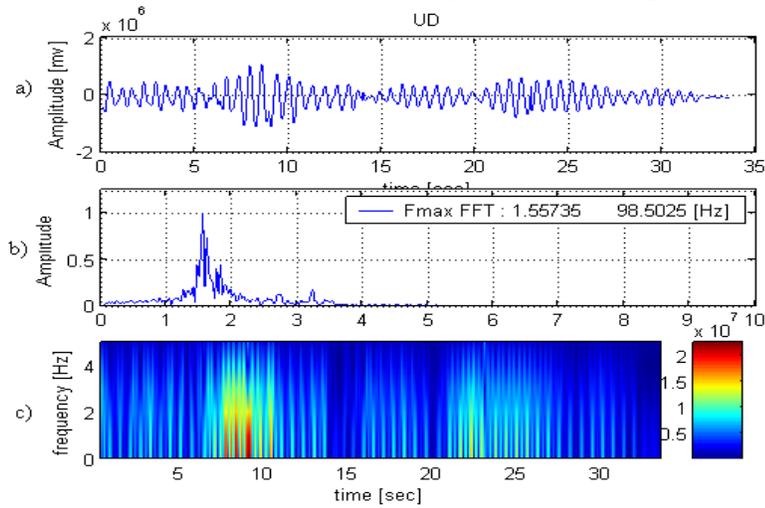
Gambar L.1.8 Spektral Gempa Tremor pada tanggal 19 Juli 2009 pada pukul 18.43 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



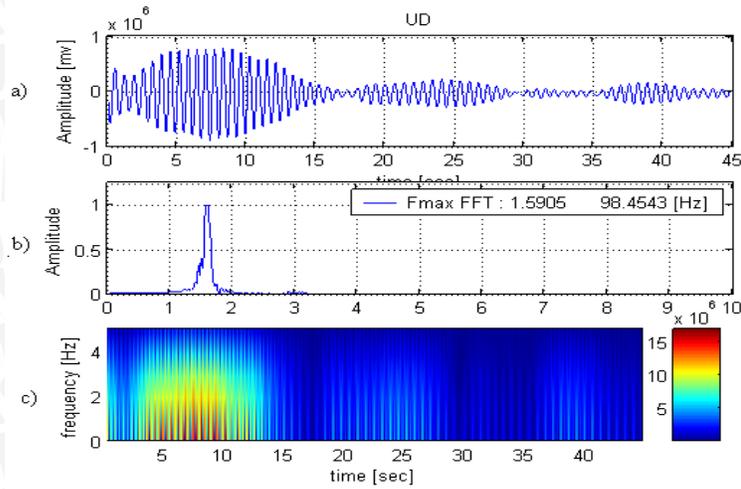
Gambar L.1.10 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 02.18 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



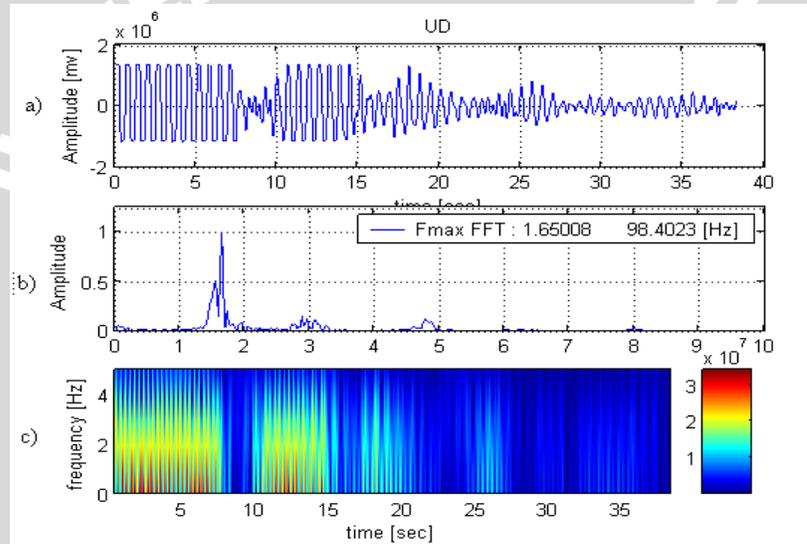
Gambar L.1.11 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 02.18 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



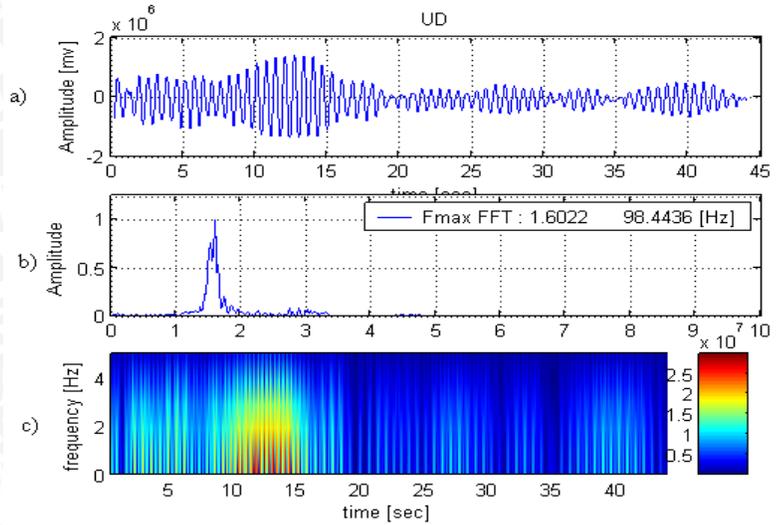
Gambar L.1.12 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 02.18 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



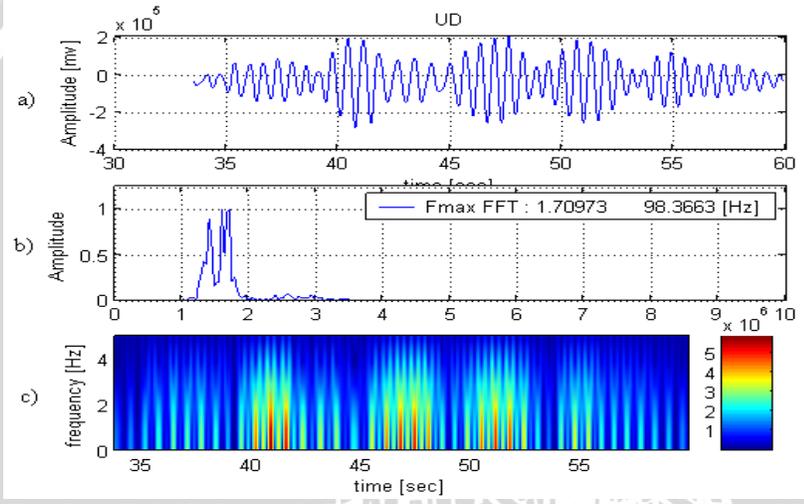
Gambar L.1.13 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 02.39 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



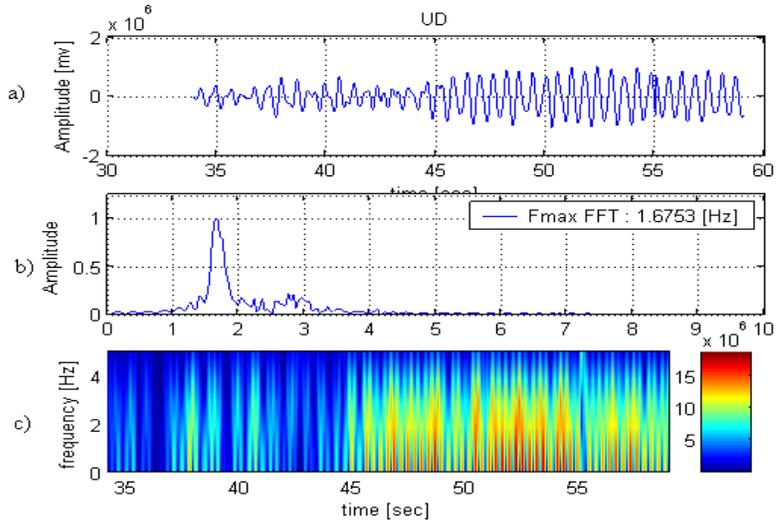
Gambar L.1.14 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 02.39 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



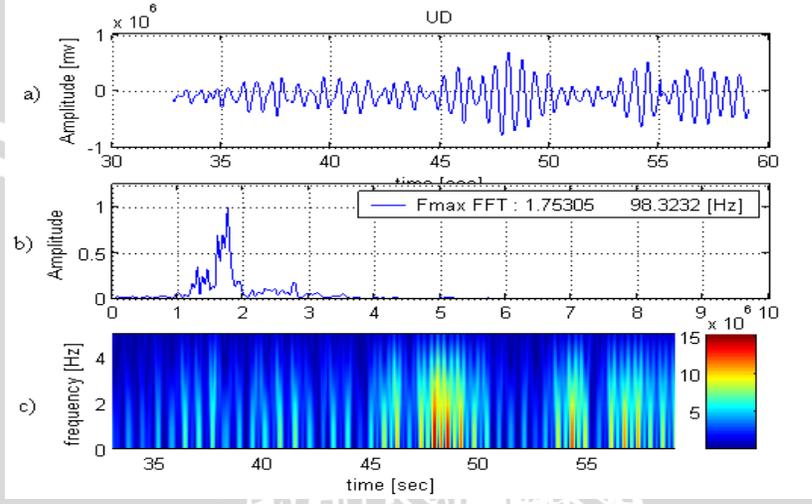
Gambar L.1.15 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 02.39 di stasiun besukbanyu, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



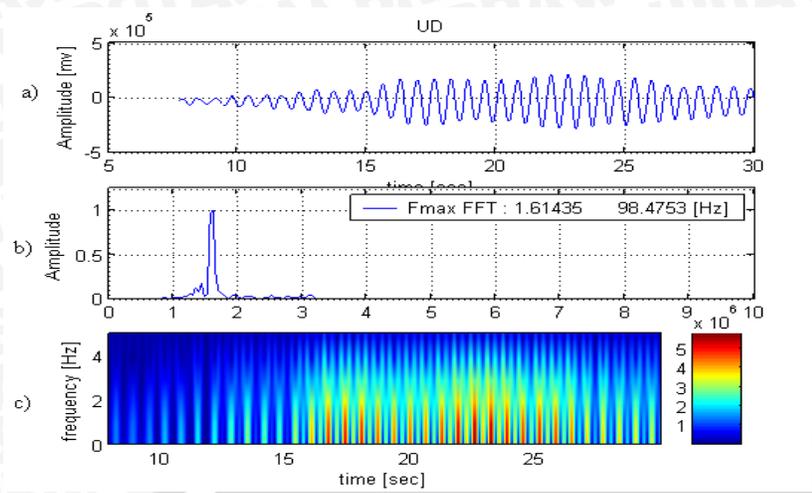
Gambar L.1.19 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 04.02 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



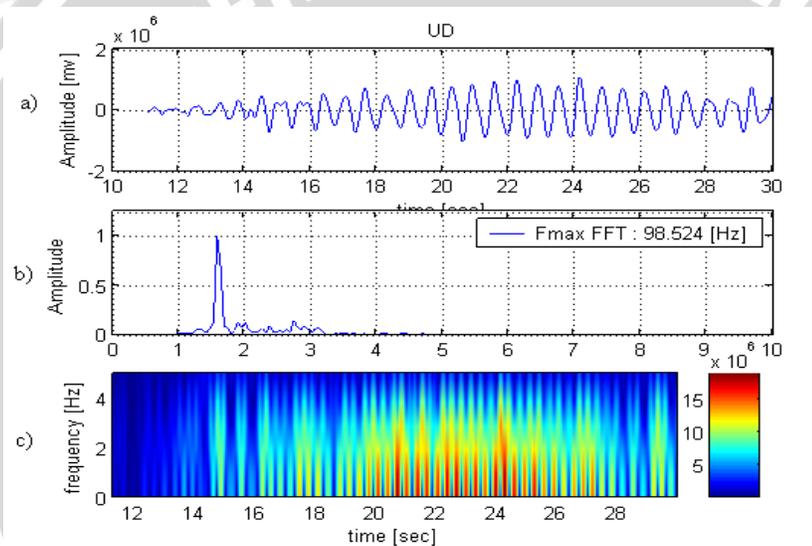
Gambar L.1.20 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 04.02 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



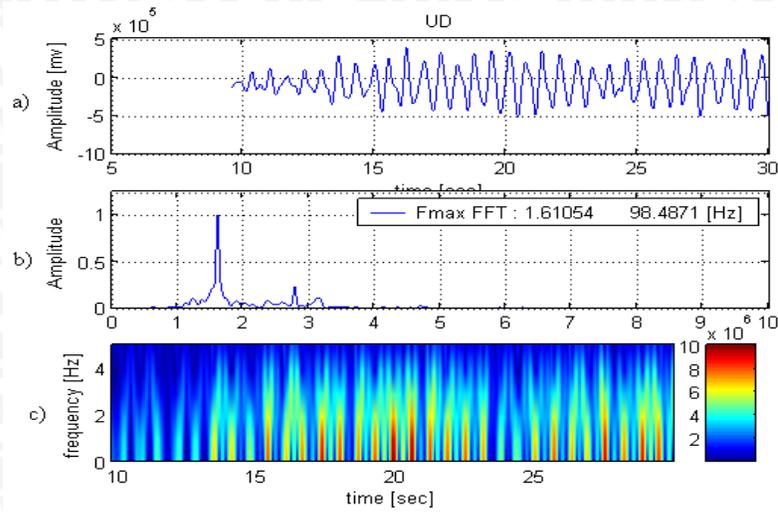
Gambar L.1.21 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 04.02 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



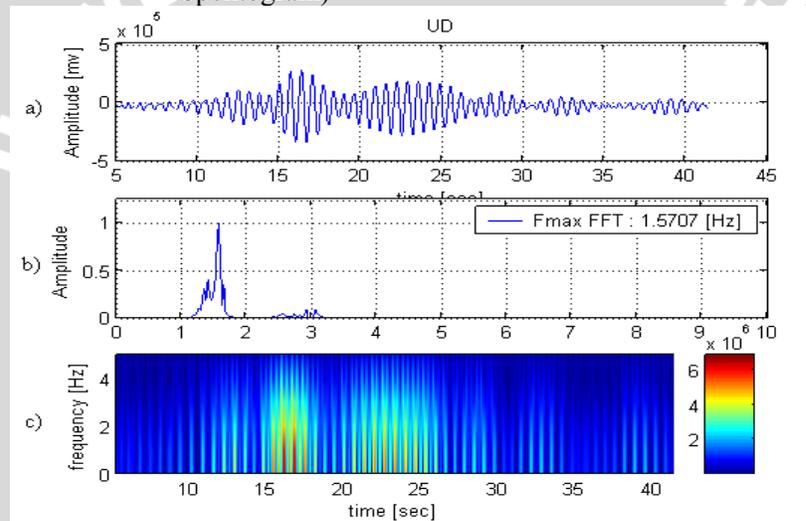
Gambar L.1.22 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 04.03 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



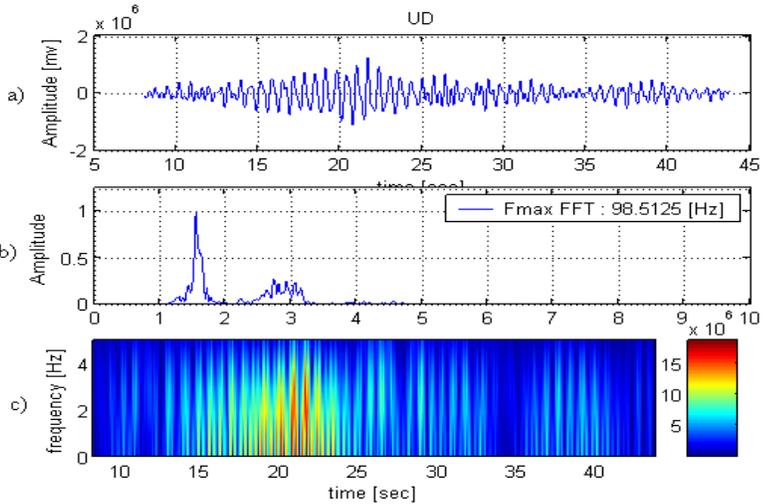
Gambar L.1.23 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 04.03 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



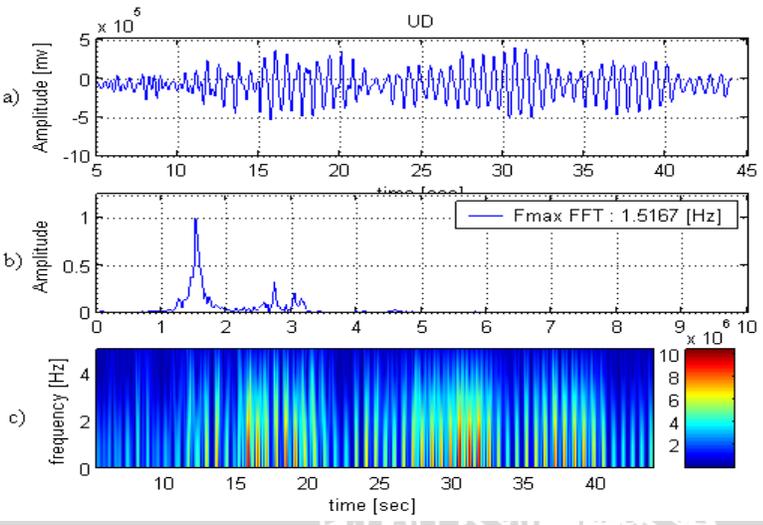
Gambar L.1.24 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 04.03 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



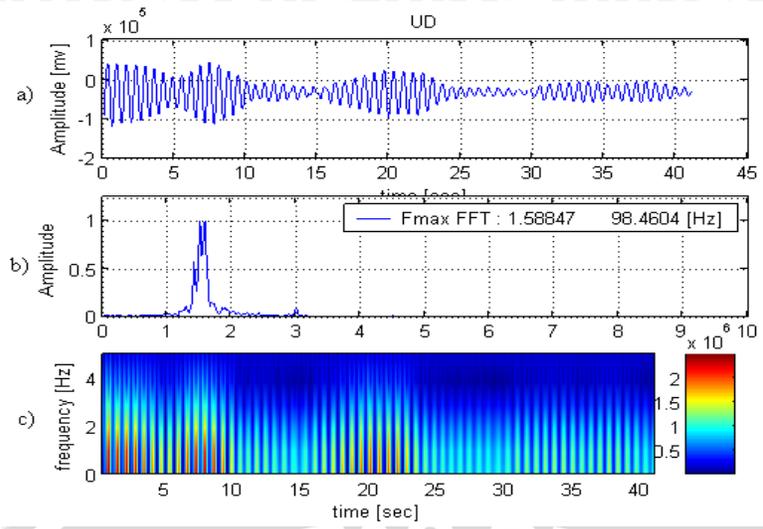
Gambar L.1.25 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 04.04 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



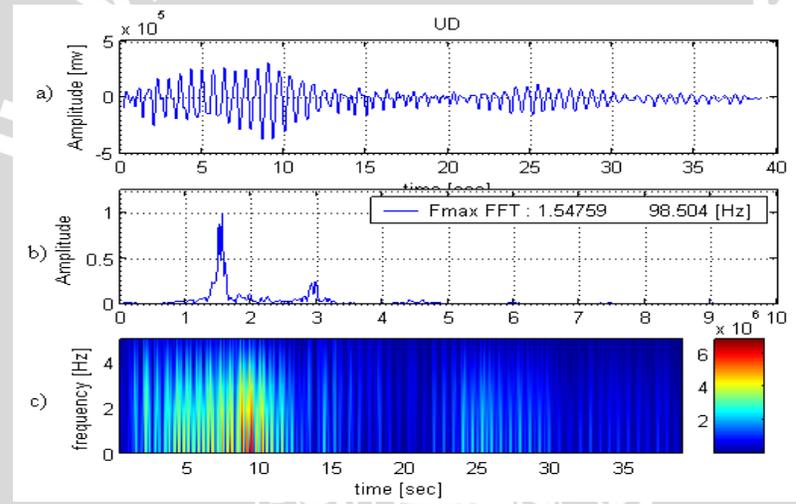
Gambar L.1.26 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 04.04 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



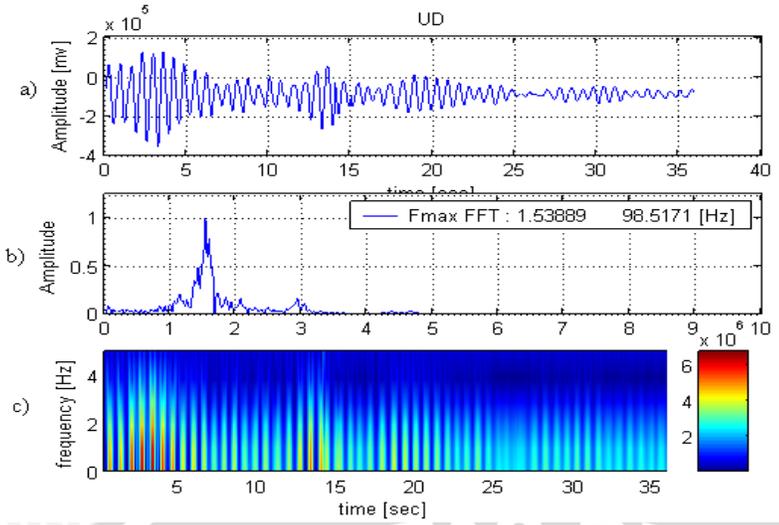
Gambar L.1.27 Spektral a Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 04.04 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



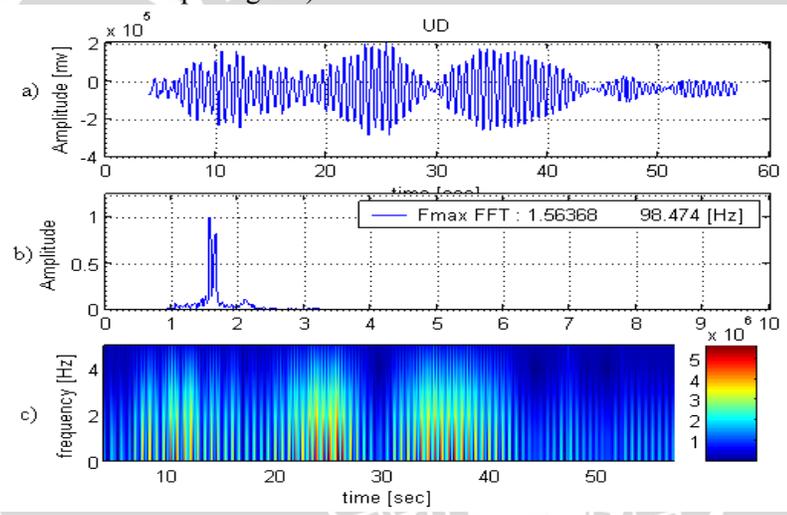
Gambar L.1.28 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 05.00 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



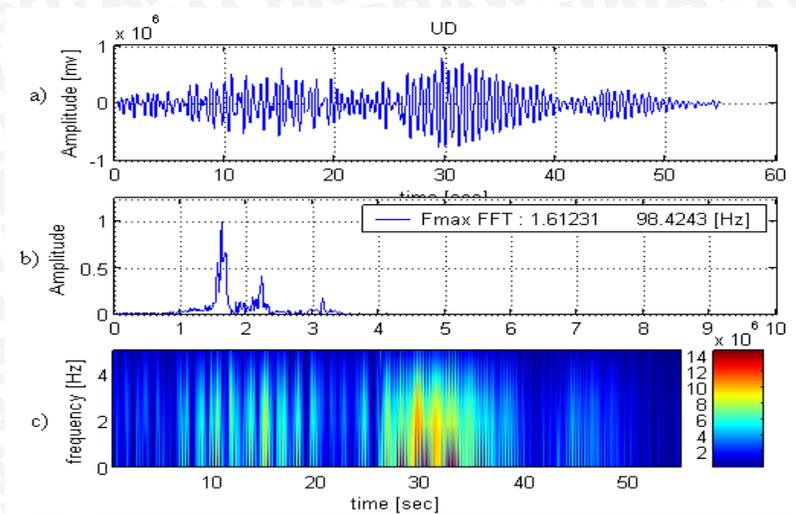
Gambar L.1.29 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 05.00 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



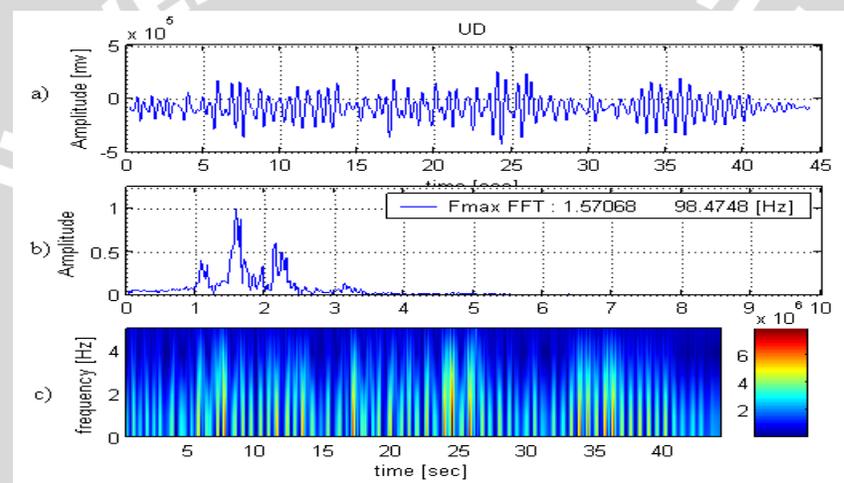
Gambar L.1.30 Spektral Tremor pada tanggal 03 September 2009 pada pukul 05.00 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



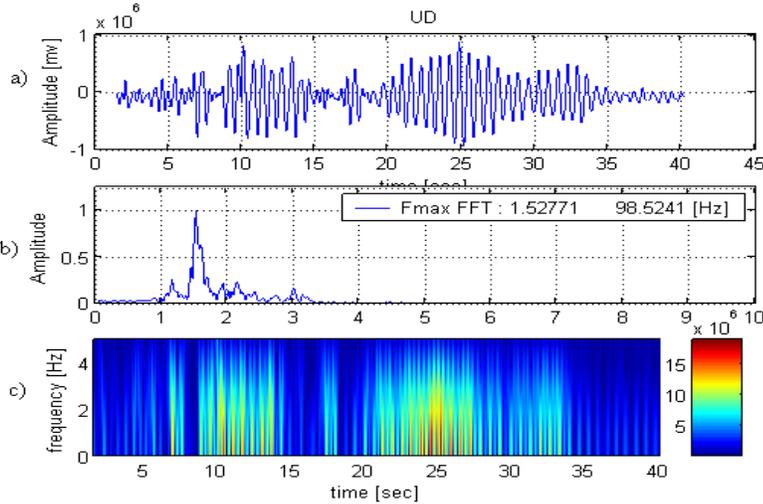
Gambar L.1.31 Spektral Tremor pada tanggal 04 September 2009 pada pukul 01.36 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral a c. Spektrogram)



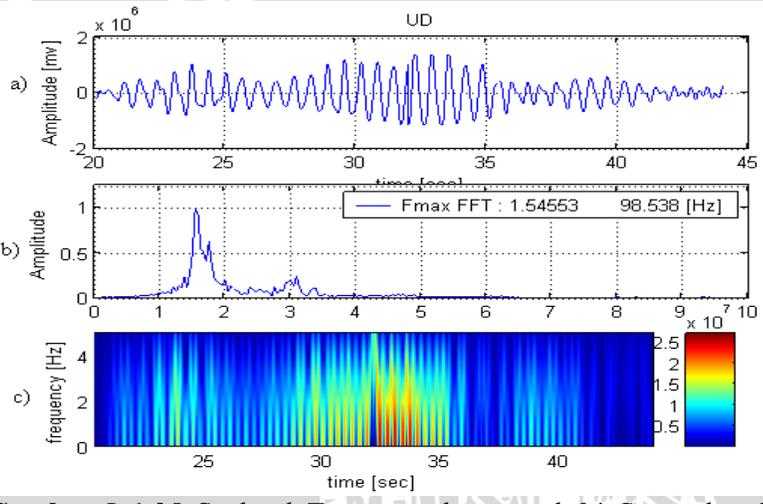
Gambar L.1.32 Spektral Tremor pada tanggal 04 September 2009 pada pukul 01.36 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



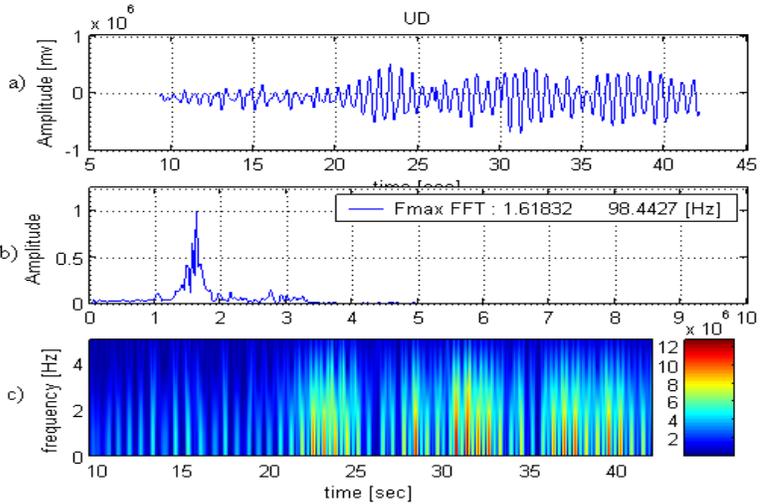
Gambar L.1.33 Spektral Tremor pada tanggal 04 September 2009 pada pukul 01.36 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



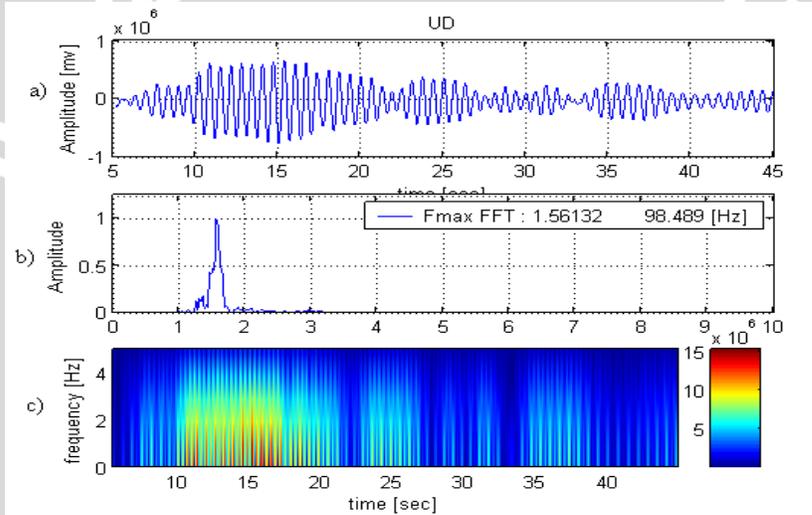
Gambar L.1.34 Spektral Tremor pada tanggal 04 September 2009 pada pukul 02.11 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



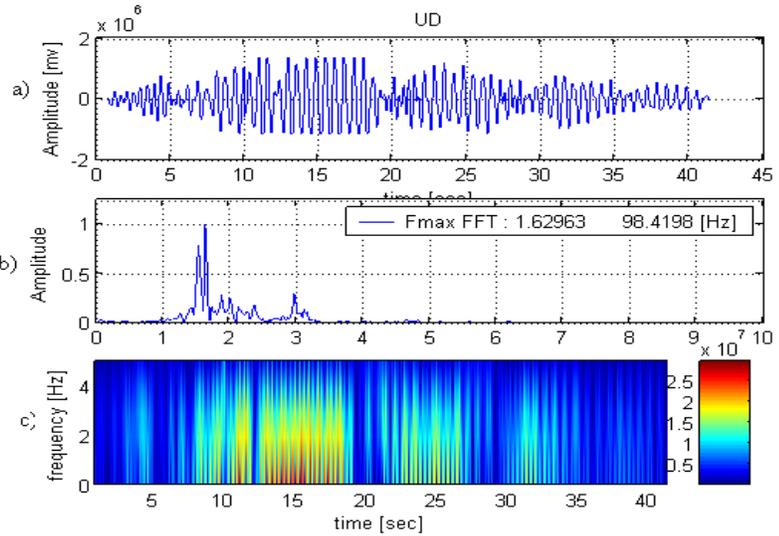
Gambar L.1.35 Spektral Tremor pada tanggal 04 September 2009 pada pukul 02.11 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektogram)



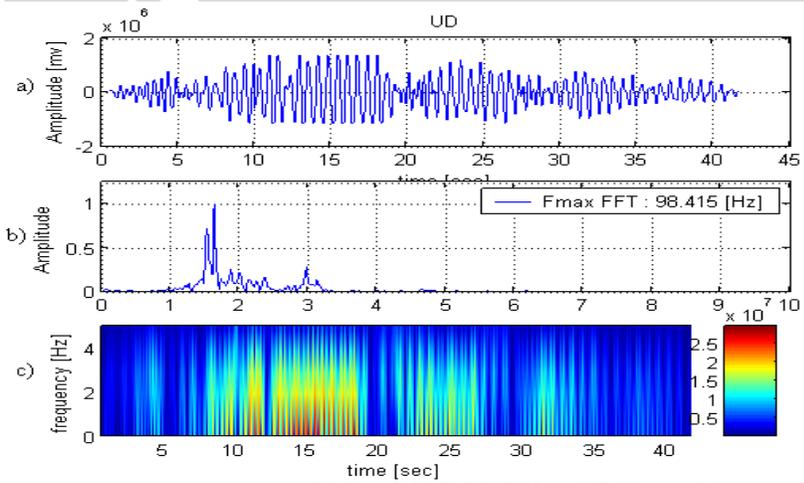
Gambar L.1.36 Spektral Tremor pada tanggal 04 September 2009 pada pukul 02.11 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



Gambar L.1.37 Spektral Tremor pada tanggal 04 September 2009 pada pukul 03.30 di stasiun Leker, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



Gambar L.1.38 Spektral Tremor pada tanggal 04 September 2009 pada pukul 03.30 di stasiun Tretes, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)



Gambar L.1.39 Spektral Tremor pada tanggal 04 September 2009 pada pukul 03.30 di stasiun Besukbang, (a. Seismogram tremor harmonik b. Spektral c. Spektrogram)

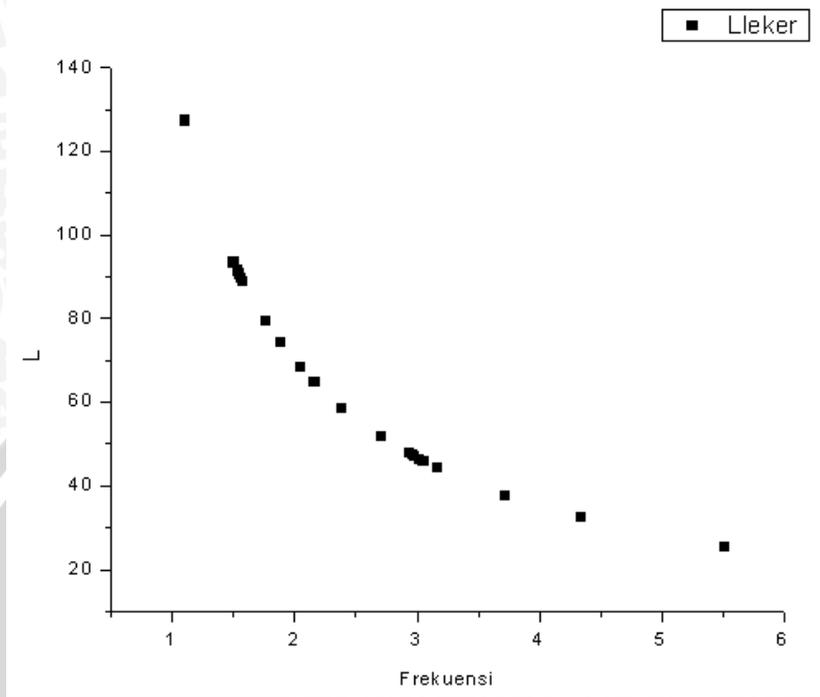
LAMPIRAN 2

Tabel Frekuensi (f) vs panjang pipa kondukt (L)

Tabel L 2.1 Satasiun Leker

(f) Leker	(L) Leker
1.89	74.141
3.72	37.668
5.52	25.385
2.39	58.630
1.768	79.257
1.101	127.272
2.167	64.664
4.339	32.294
1.548	90.521
1.577	88.856
1.562	89.710
1.538	91.110
2.707	51.764
1.545	90.697
3.054	45.883
1.533	91.407
2.711	51.688
3.023	46.353
1.561	89.767
2.976	47.085
1.545	90.697
2.162	64.813
3.168	44.232
1.501	93.356
2.961	47.324
1.533	91.407

(f) Leker	(L) Leker
2.05	68.354
2.936	47.727

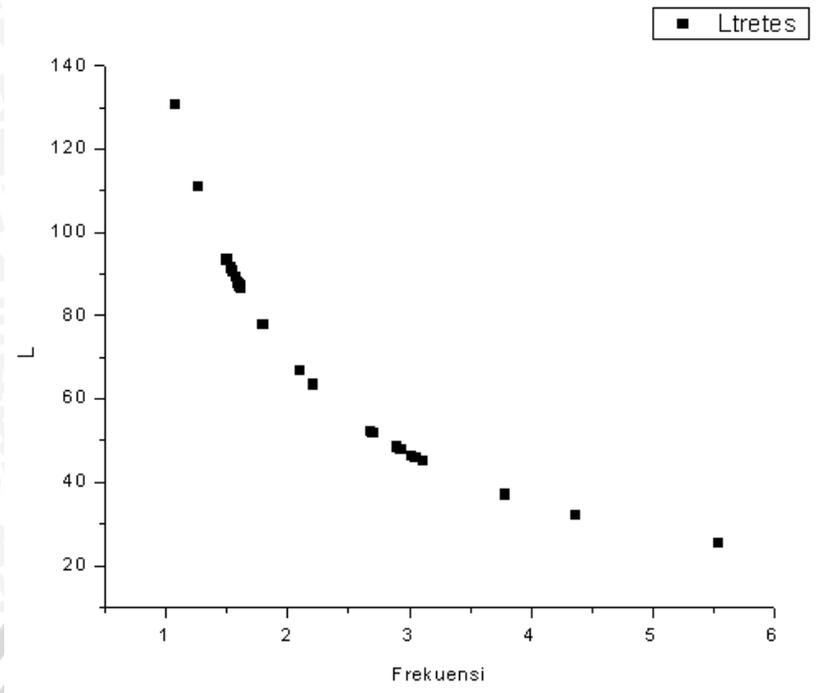


Gambar 2.1 Grafik frekuensi (f) vs Panjang Pipa kondukt (L) pada stasiun Leker

Tabel L 2.2 Stasiun Tretes

(f) tretes	(L) Tretes
1.8	77.848
3.79	36.972
5.54	25.293
2.681	52.266
1.262	111.036
1.072	130.715
2.207	63.492
4.365	32.102
1.548	90.521
1.618	86.605
1.573	89.082
1.533	91.407
2.701	51.879
1.545	90.697
3.054	45.883
1.505	93.107
2.708	51.745
3.026	46.307
1.501	93.356
2.929	47.841
1.594	87.909
2.211	63.377
3.119	44.927
1.598	87.689
2.896	48.386
1.61	87.035
2.097	66.822
2.941	47.646



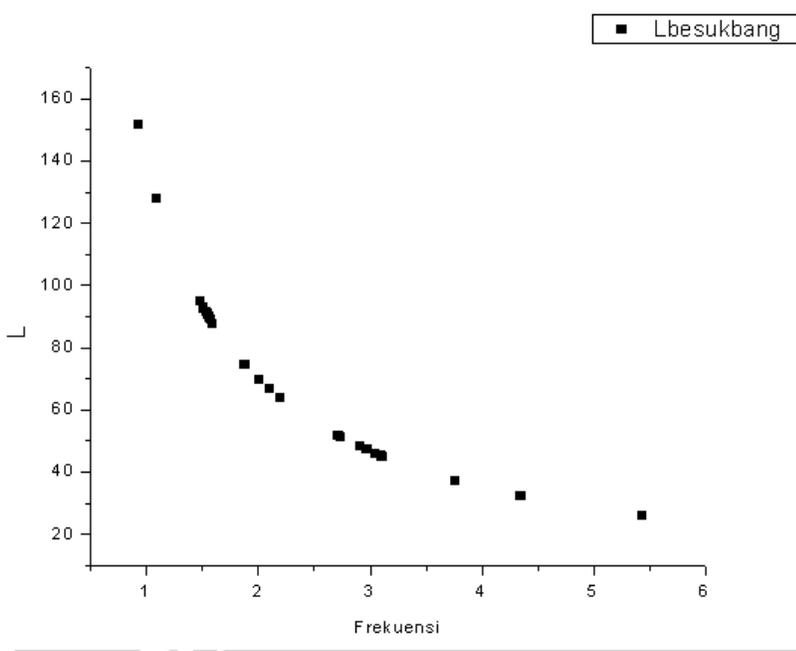


Gambar 2.2 Grafik frekuensi vs L pada stasiun Tretes



Tabel L.2.3 Stasiun Besukbang

(f) besukbang	(L) Besukbag
1.88	74.535
3.76	37.267
5.43	25.806
2.714	51.631
0.924	151.653
1.094	128.087
2.195	63.839
4.349	32.220
1.532	91.466
1.596	87.799
1.573	89.082
1.566	89.481
2.735	51.234
1.562	89.710
3.104	45.144
1.505	93.107
2.708	51.745
3.044	46.033
1.513	92.615
2.909	48.170
1.545	90.697
2.007	69.819
3.119	44.927
1.566	89.481
2.735	51.234
1.48	94.680
2.097	66.822
2.974	47.117



Gambar 2.3 Grafik frekuensi vs L pada stasiun besukbang



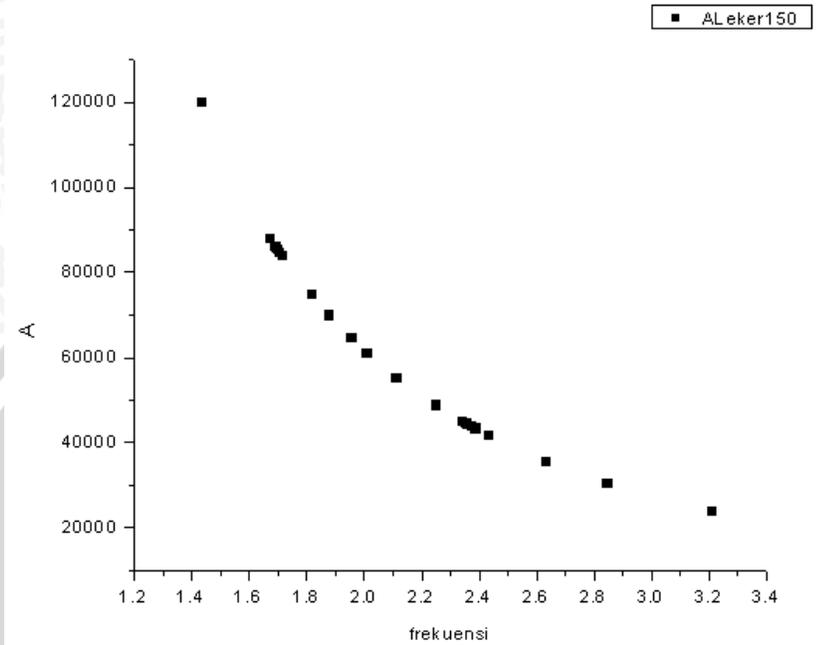
LAMPIRAN 3

Tabel Frekuensi (f) vs Luas Penampang (A)

Tabel L 3.1 Stasiun Leker

(f) leker 150	(A) leker 150
1,879	69841,269
2,636	35483,870
3,211	23913,043
2,113	55230,125
1,817	74660,633
1,434	119891,008
2,012	60913,705
2,847	30421,756
1,700	85271,317
1,716	83703,233
1,708	84507,042
1,695	85825,747
2,248	48762,467
1,699	85436,893
2,388	43222,003
1,692	86105,675
2,250	48690,520
2,376	43665,233
1,707	84561,178
2,358	44354,838
1,699	85436,893
2,009	61054,579
2,432	41666,666
1,674	87941,372

(f) leker 150	(A) leker 150
2,352	44579,533
1,692	86105,675
1,957	64390,243
2,342	44959,128

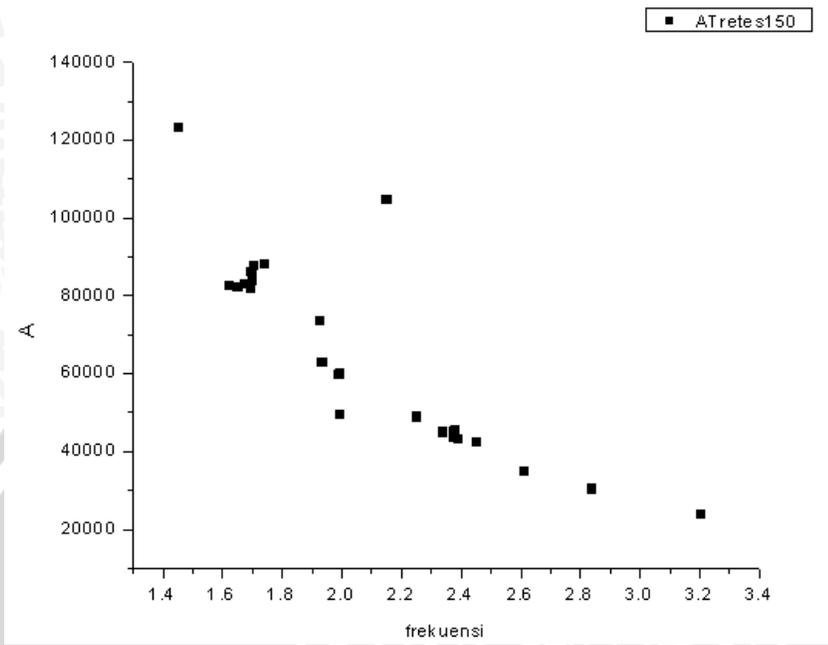


Gambar 3.1 Grafik frekuensi (f) vs Luas Penampang (A), pada saat nilai A (Luas Penampang bernilai 150) di stasiun Leker.

Tabel L 3.2 Stasiun Tretes

(f) tretes 150	(A) tretes 150
1,879	69841,269
2,636	35483,871
3,211	23913,043
2,113	55230,125
1,817	74660,633
1,434	119891,008
2,012	60913,705
2,847	30421,756
1,700	85271,317
1,716	83703,234
1,708	84507,042
1,695	85825,7477
2,248	48762,467
1,699	85436,893
2,388	43222,003
1,692	86105,675
2,250	48690,520
2,376	43665,233
1,707	84561,178
2,358	44354,838
1,699	85436,893
2,009	61054,579
2,432	41666,666
1,674	87941,372
2,352	44579,533
1,692	86105,675

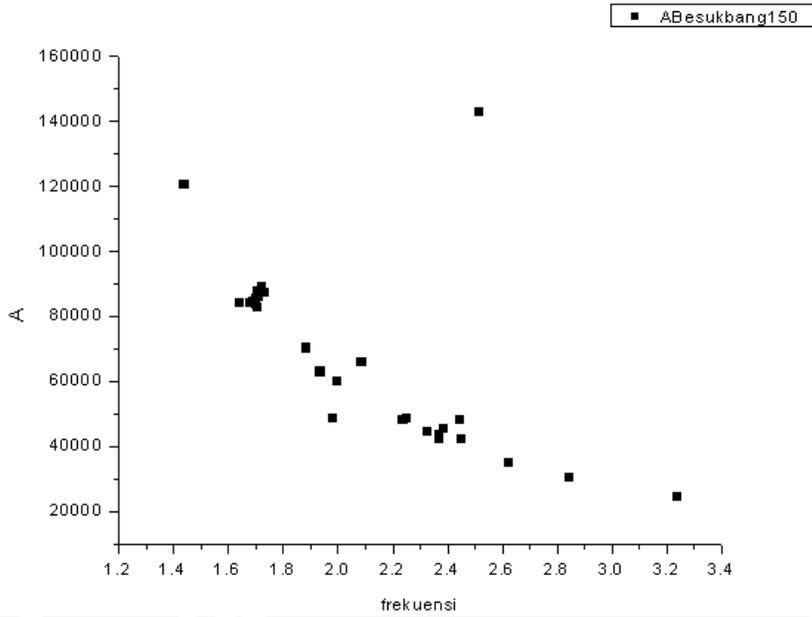
(f) tretes 150	(A) tretes 150
1,957	64390,243
2,342	44959,128



Gambar 3.2 Grafik frekuensi (f) vs Luas Penampang (A), pada saat nilai A (Luas Penampang bernilai 150) di stasiun Leker.

Tabel L 3.3 Stasiun Besukbang

(f) besukbang 150	(A) besukbang 150
1,879	69841,269
2,636	35483,870
3,211	23913,043
2,113	55230,125
1,817	74660,633
1,434	119891,008
2,012	60913,705
2,847	30421,756
1,700	85271,317
1,716	83703,233
1,708	84507,042
1,695	85825,747
2,248	48762,467
1,699	85436,893
2,388	43222,003
1,692	86105,675
2,250	48690,520
2,376	43665,233
1,707	84561,178
2,358	44354,838
1,699	85436,893
2,009	61054,579
2,432	41666,666
1,674	87941,372
2,352	44579,533
1,692	86105,675
1,957	64390,243
2,342	44959,128



Gambar 3.3 Grafik frekuensi (f) vs Luas Penampang (A), pada saat nilai A (Luas Penampang bernilai 150) di stasiun Leker.



LAMPIRAN 4

DATA LETUSAN G. SEMERU

Sejarah letusan G. Semeru tercatat mulai 1818. Daftar kegiatan dibawah ini dikutip dari *Data dasar Gunungapi Indonesia* dengan sedikit perubahan dan tambahan kegiatan hingga akhir 1985.

1818	8 November
1829	Februari
1830	15-16 Desember
1832	18 April, Lava?
1836	3-5 Agustus
1838	Juli, Oktober
1842	Januari-Maret
1844-1845	September 1844-Juli 1845
1848	Februari, 4 Agustus
1851	januari
1856	10 September
1857	13 Agustus-September
1860	April, Juni
1864 ?	Juli, Lava?
1867	April, Mei
1872	23 Oktober
1877	April, Mei



1878	?
1884	11 Desember
1885	Januari, April, juli, September. Leleran lava
1886	Januari, April, Juli, agustus
1887	Februari - Maret. Leleran lava 10 September - 10 Oktober
1888	Februari, Maret, Mei, Oktober
1889	Leleran lava, Januari – Maret, juni, Oktober, Desember.
1890	Januari – Desember
1891	Februari – Mei, Leleran lava
1892	Maret – April
1893	Januari – Mei, Desember
1894	Februari
1895	22 Mei – 10 Juli, 1 Oktober, Leleran lava, lahar
1896	Mei – Juni
1897	Januari, Leleran lava
1898	Februari, Leleran lava
1899	Januari, Maret, Agustus, Desember
1900	29 Maret – 11 April. Leleran lava
1901	29 – 30 Januari
1903	26 Maret – Juni



1904	2 – 16 Januari
1905	4 Agustus
1907	7 – 10 Januari, Juli
1908	Januari – Desember
1909	September – Desember. Awanpanas, Tanah garapan rusak
1910	Januari – Desember
1911	Januari, Februari ? Lelehan lava ? Awanpanas, lahar. Taanah garapan rusak. November – Desember
1912	28 Agustus
1913	23 Juni
1941-1942	Letusan dalam celah radial. Leleran lava. 21 September 1941 – Februari 1942. Letusan sampai di lereng sebelah timur pada ketinggian antara 1400 dan 1775 m. Titik letusan sebanyak 6 tempat. Leleran lava masuk ke B. Semut dan menimbun Pos Pengairan Bantengan. Aliran lava sepanjang 6,5 km.
1945	12 – 18 Juni
1946	Awanpanas. Tanah garapan rusak. Februari – Mei, Oktober – Desember. Pembentukan kubah (Adnawidjaja, 1947).
1947	Maret – Juni
1950	Aliran lava dan guguran lava masuk Besuk Semut, Juli, 23 November – Desember.
1951	Aliran lava masuk Besuk Semut, November

- 1952 Aliran lava sampai di Totogan Malang, aliran lava di Besuk Kobokan sampai di curah Lengkong.
- 1953 Guguran meningkat
- 1954 November. Aliran melakukan Besuk Kobokan
- 1955–1957 Kegiatan terus berlangsung. Aliran lava.
22 Februari, 4 Mei 1957
- 1958 Lelehan lava melalui Kali Glidik sepanjang 1km disamping itu pada 27 April terjadi pula pertumbuhan kubah larva.

