

ANALISIS SINYAL SEISMIK TREMOR HARMONIK DAN TREMOR SPASMODIK GUNUNGAPI SEMERU, JAWA TIMUR – INDONESIA

Arin Wildani¹, Sukir Maryanto², Adi Susilo³

¹ Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Islam Madura

² Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya

email: arinwildani@gmail.com

ABSTRAK:

Tremor vulkanik merupakan salah satu aktivitas seismik yang biasa terekam di sekitar gunungapi aktif yang dapat menjadi tanda akan adanya suatu letusan. Salahsatu cara untuk mengetahui karakteristik dari aktivitas sutu gunungapi yaitu dengan analisis spektral. Penelitian ini menggunakan data aktivitas seismik gunungapi Semeru yang terekam pada tahun 2009 di tiga stasiun seismik yaitu Leker, Tretes dan Besukbang. Seleksi data dilakukan dengan memilih sinyal yang memiliki kenampakan sinyal yang bagus pada ketiga stasiun. Berdasarkan kenampakan sinyal, data hasil seleksi diklasifikasi kedalam dua kelompok yaitu tremor spasmodik dan tremor harmonik. Analisis spektral dilakukan dengan menerapkan Fast Fourier Transform pada sinyal yang terpilih. Berdasarkan hasil analisis didapatkan frekuensi tremor spasmodik G.Semeru berkisar 1,56 Hz - 1,86 Hz dan frekuensi dasar dari tremor harmonik berkisar antara 1,14 - 2,50 Hz. Kejadian tremor vulkanik di gunung Semeru diduga merupakan hasil osilasi gas didalam pipa konduit, dimana kestabilan pulsa tekanan yang terdapat didalam pipa konduit menghasilkan tremor harmonik dan jika kestabilan itu tidak dicapai maka menjadi sumber munculnya tremor spasmodik

Kata Kunci : *Gunung Semeru, tremor harmonik, tremor spasmodik, spektral frekuensi.*

PENDAHULUAN

Gunung Semeru merupakan salahsatu gunungapi aktif tertinggi di pulau Jawa. Secara geografis terletak pada posisi $08^{\circ}06'30''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ} 55'$ Bujur Timur dan secara administratif gunung Semeru termasuk dalam wilayah Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Malang, Jawa Timur. Gunung Mahameru merupakan puncak tertinggi dari gunung Semeru dengan ketinggian 3676 meter dari permukaan laut. Pusat kegiatan gunung Semeru terletak di kawah Jonggring Seloko yang berstatus aktif sampai sekarang. Aktifitas erupsi gunung Semeru mulai tercatat sejak tahun 1818 sampai sekarang. Ciri erupsinya sejak tahun 1958-1968 termasuk tipe campuran vulkanian-strombolian. Hal tersebut ditandai dengan kenampakan visual yaitu ketika terjadi erupsi besar disertai oleh aliran lava dan lahar. Sementara dalam keadaan normal, aktifitasnya ditandai dengan erups kecil yang berlangsung singkat dengan memuntahkan bom dan abu yang terjadi setiap 15-30 menit sekali (Kusumadinata, 1978).

Pemantauan terhadap aktifitas gunung Semeru dilakukan secara kontinyu oleh badan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) dari pos pengamatan gunung Sawur. Pemantauan yang dilakukan berupa dokumentasi rekaman data seismik serta kenampakan visual dari aktifitas gunung Semeru. Hal tersebut belum mencakupi penelitian secara menyeluruh mengenai aktifitas internal dari gunung Semeru.

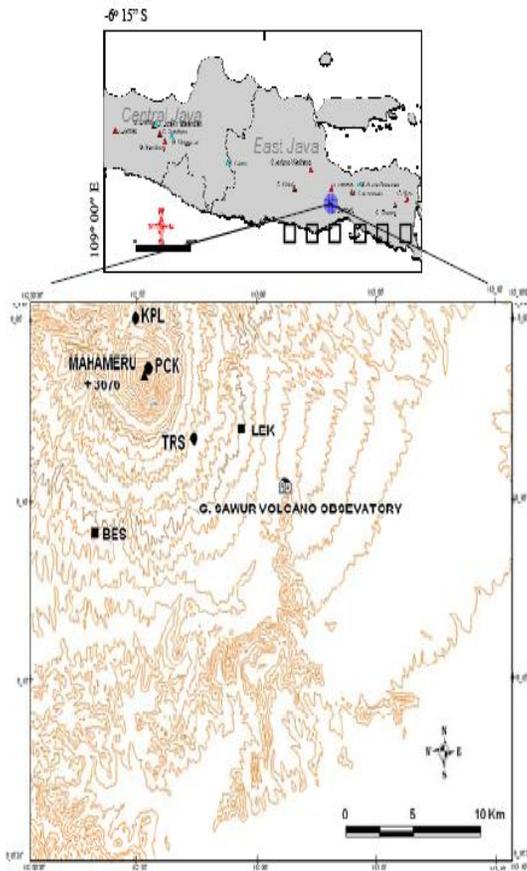
Aktifitas internal suatu gunungapi dapat diketahui dari gempa vulkanik yang terekam di sekitar gunungapi tersebut. Gempa vulkanik menunjukkan tanda aktifitas dinamika didalam suatu gunungapi. Gempa vulkanik dikelompokkan menjadi dua yaitu gempa vulkanik yang bersifat impulsif dan gempa vulkanik yang bersifat tidak impulsif atau disebut tremor vulkanik.

Tremor vulkanik merupakan gelombang seismik yang biasa teramati didekat gunungapi aktif (Julian, 1994) dan dapat menjadi indikasi terjadinya letusan. Gejala ini berhubungan dengan gerakan yang terjadi di bawah permukaan akibat aliran magma. Salah satu teori yang mengajukan pemodelan dari proses tremor vulkanik menyatakan bahwa tremor muncul karena

ketidakstabilan pipa konduit akibat interaksi menyatakan bahwa kandungan frekuensi antara aliran magma dengan batuan tremor harmonik gunung Semeru sangat disekitarnya (Julian, 1994 dalam Neil dkk rendah yaitu antara 1,0 Hz sampai 4,0 Hz 2004).

Berdasarkan kenampakan sinyal Hz sampai 1,3 Hz. Kedalaman tremor (*Waveform*) dan bentuk spektrum tremor harmonik terjadi antara 2,5 sampai 3,5 km vulkanik dibagi menjadi dua yaitu tremor dibawah kawah (Yatini, 1995). spasmodik dan tremor harmonik. Tremor Schindwein, et al (1995) yang menganalisis spasmodik memiliki ciri-ciri kenampakan bahwa sinyal-sinyal tremor yang tercatat sinyal dan bentuk spektrum yang tidak pada G. Semeru pada bulan Oktober 1992 teratur sementara tremor harmonik memiliki oleh *German-Indonesia Volcano Expedition* (GIVE 1992) berisi lebih dari 11 harmonik ciri-ciri kenampakan sinyal dan bentuk yang integer. Kenampakan spektral ini spektrum yang teratur.

Beberapa penelitian mengenai aktifitas dapat diterangkan dengan adanya beberapa internal gunung Semeru telah dilakukan sumber pulsa berirama yang menghasilkan antara lain oleh Kirbani dkk 1992 yang suatu sumber sinyal sementara yang stabil. menyatakan bahwa kegiatan seismik Penelitian ini dilakukan untuk gunung Semeru terbagi menjadi 3 fase mengetahui karakteristik tremor vulkanik keadaan. Pertama yaitu keadaan dimana gunung Semeru berdasarkan kenampakan sebelum terjadi letusan, ditandai dengan sinyal dan berdasarkan bentuk spektrum. tidak adanya bentuk sinyal dengan Analisis yang digunakan pada penelitian ini amplitudo besar. Kedua yaitu keadaan yaitu analisis spektral menggunakan dimana terjadi letusan, ditandai dengan metode *Fast Fourier Transform*. Analisis puncak sinyal yang tidak teratur dan ini diterapkan pada tremor harmonik amplitudonya besar. Ketiga yaitu keadaan maupun tremor spasmodik gunung Semeru. sesudah terjadi letusan, ditandai dengan Model konseptual pipa organa digunakan bentuk sinyal yang harmonik dengan untuk menduga sumber tremor vulkanik frekuensi rendah, amplitudo besar dan gunung Semeru. transien. Yatini pada tahun 1995



Gambar 1. Peta lokasi Gunung Semeru dan stasiun seismik.

OBSERVASI

Data pada penelitian ini didapat dari sub-Bidang pengamatan gunungapi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Bandung, Jawa Barat. Data tersebut data seismik gunung Semeru yang didapat dari hasil rekaman (seismogram) pada tahun 2009. Peta lokasi seismik gunung Semeru dan stasiun seismik yang

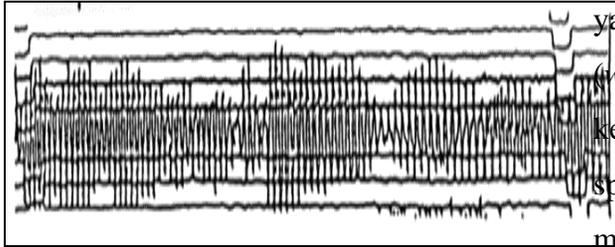
berada disekitarnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Seleksi data dilakukan dengan memilih sinyal yang memiliki kenampakan sinyal (*Waveform*) bagus pada tiga stasiun seismik yaitu Leker, Tretes dan Besuk Bang. Berdasarkan kenampakan sinyal (*Waveform*) data hasil seleksi kemudian dikelompokkan menjadi dua yaitu tremor harmonik dengan ciri-ciri kenampakan sinyal teratur seperti terlihat pada Gambar 2a dan tremor spasmodik dengan ciri-ciri kenampakan sinyal tidak teratur seperti terlihat pada Gambar 2b.

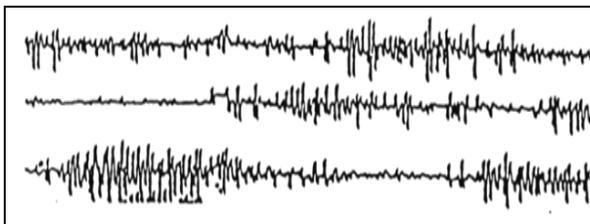
Analisa data yang dilakukan yaitu analisa spektral dan spektogram. Analisa spektral dilakukan untuk mendapatkan frekuensi dari sinyal-sinyal tremor vulkanik yang telah diseleksi dan diklasifikan sebelumnya. Analisa spektral dilakukan dengan metode *Fast Fourier Transform(FFT)* dimana pemotongan datanya sama dengan 2^n , pada penelitian ini dipilih $n=10$ sehingga ada 1024 data yang diambil. Sementara analisa spektogram dillakukan untuk melihat dominasi frekuensi-frekuensi dari tremor vulkanik terhadap waktu terjadinya tremor vulkanik serta dapat melihat degradasi nilai

amplitudo dari kedua hubungan parameter tersebut.

dan Desember. Berdasarkan hasil seleksi diperoleh total kejadian tremor vulkanik



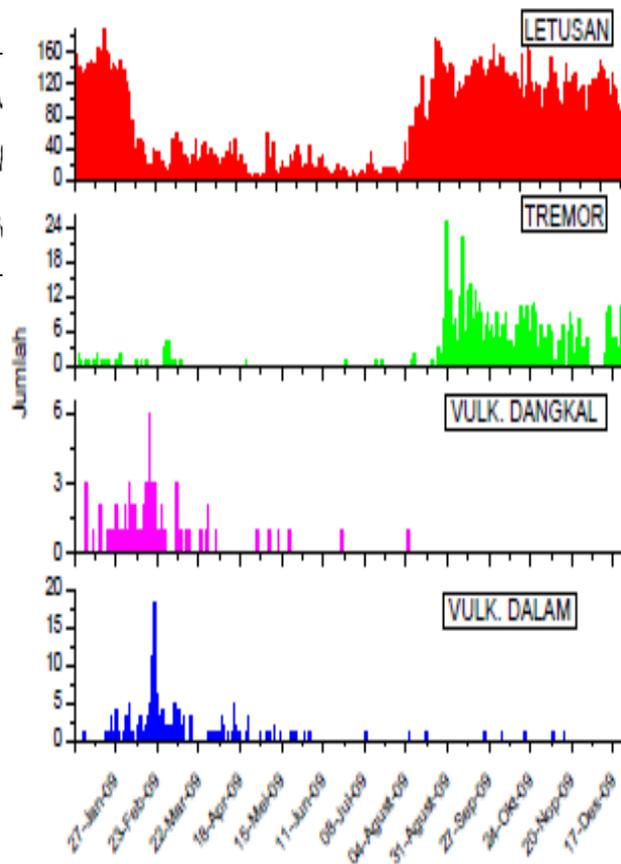
(a)



(b)

Gambar 2. Kenampakan Sinyal (*Waveform*)
a) Tremor harmonik b) Tremor spasmodik
(Minakami, 1976).

yang memiliki kenampakan sinyal (*waveform*) bagus sebanyak 42 kejadian, 15 kejadian diantaranya merupakan tremor spasmodik dan 27 kejadian yang lain merupakan tremor harmonik.



Gambar 3. Seismisitas kegempaan G.Semeru tahun 2009.

SEISMISITAS GUNUNG SEMERU

Berdasarkan laporan pengamatan gunungapi Semeru tahun 2009 yang dilakukan oleh sub-bidang Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) aktifitas gunung Semeru selama tahun 2009 terlihat pada gambar 3. Dari seismisitas tersebut terlihat bahwa tremor vulkanik terjadi di awal tahun dan di akhir tahun yaitu bulan Januari, Februari, Agustus, September, Oktober, November

ANALISIS SPEKTRAL

Suatu sinyal dapat dianalisis dalam domain waktu dan juga domain frekuensi

untuk mendapatkan karakteristik fisis dari sinyal tersebut. Proses analisis dan sintesis dalam domain waktu memerlukan analisis cukup panjang dengan melibatkan turunan dari fungsi, yang dapat menimbulkan ketidaktepatan hasil analisis. Analisis dan sintesis sinyal akan lebih mudah dilakukan pada domain frekuensi. Oleh karena itu, untuk dapat bekerja pada domain frekuensi dapat dilakukan dengan menggunakan transformasi fourier. Transformasi fourier didefinisikan sebagai berikut:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos(2\pi ft) dt - j \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \sin 2\pi ft dt$$

2.4

dimana

$x(t)$: fungsi dalam domain waktu

$e^{-j2\pi ft}$: fungsi kernel

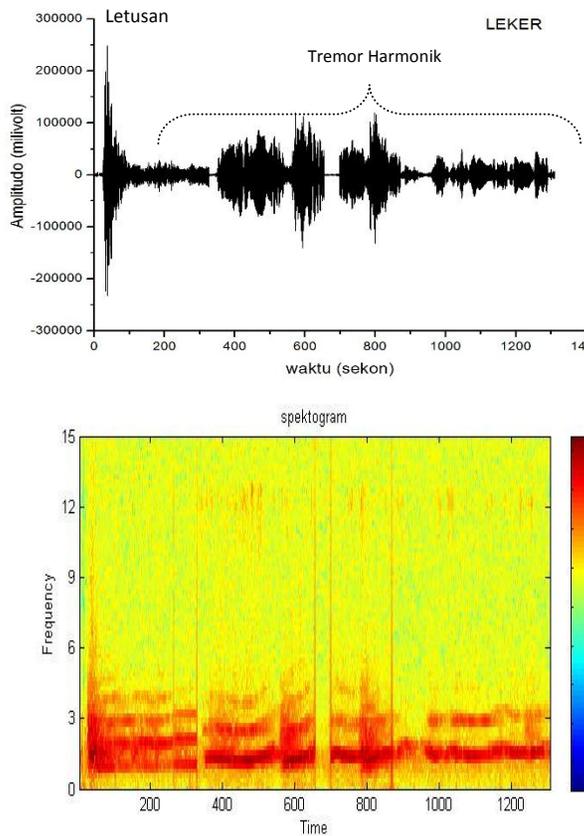
$X(f)$: fungsi dalam domain frekuensi

f : frekuensi

Seismogram hasil dari pemantauan kegempaan gunung Semeru menggunakan *sampling rate* 0,01 detik atau 100 Hz. Dengan demikian frekuensi maksimum gempa vulkanik dan tremor G. Semeru harus ≤ 50 Hz (Siswamidjojo dkk,1995).

Gambar 4(atas) memperlihatkan seismogram dan spektogram tremor harmonik yang terjadi pada tanggal 23 desember 2009 pukul 01.28 s/d 01.52 WIB. Berdasarkan gambar 4 Kejadian tremor vulkanik terjadi setelah letusan dimana durasi terjandinya tremor harmonik selama 21 menit. Spektogram memperlihatkan bahwa terdapat 6 frekuensi harmonik yang integer dimana frekuensi dasarnya berkisar 1 Hz, frekuensi harmonik pertama berkisar 2,5 Hz, frekuensi harmonik kedua berkisar 3 Hz, frekuensi harmonik ketiga berkisar 4 Hz dan frekuensi harmonik keempat berkisar 5 Hz.

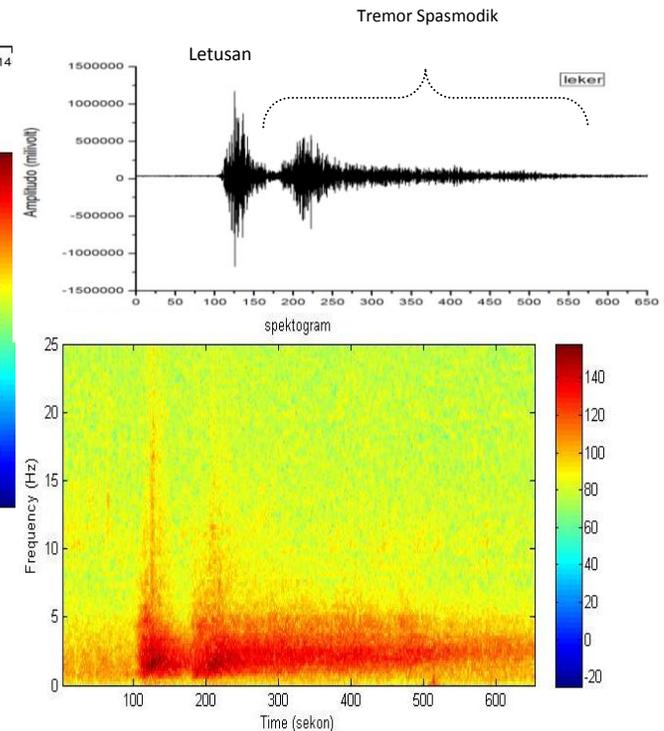
Pada gambar 4 juga terlihat 5 frekuensi harmonik tidak terjadi selama waktu 21 menit (1260 sekon) melainkan hanya terjadi sekitar 3 menit setelah letusan, sementara semakin lama kejadian tremor harmonik, frekuensi harmonik semakin berkurang dan hanya ditemukan dua frekuensi harmonik. Selain itu juga terlihat adanya pola yang teratur meskipun pada waktu tertentu nilai frekuensi mengalami kenaikan.



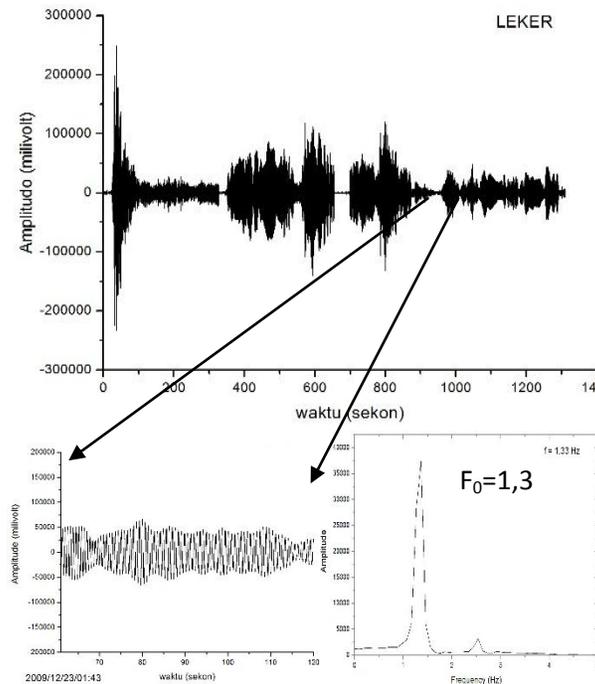
Gambar 4. Seismogram dan spektrogram tremor harmonik terjadi pada tanggal 23 Desember 2009 pukul 01.28 s/d 01.52 WIB.

Gambar 5 memperlihatkan Seismogram dan spektrogram tremor spasmodik yang terjadi pada tanggal 01 Januari 2009 pukul 00.24 s/d 00.34 WIB. Tremor spasmodik terjadi setelah letusan dengan kenampakan (*waveform*) sinyal yang tidak teratur. Sementara dari spektrogram tremor spasmodik pada gambar 5 memperlihatkan bahwa tremor spasmodik tidak mempunyai kandungan frekuensi harmonik melainkan

hampir sama selama 5 menit dimana nilai frekuensinya berkisar 1-5Hz. Hal ini berbeda dengan kandungan frekuensi tremor harmonik yang menunjukkan keteraturan dalam waktu tertentu.



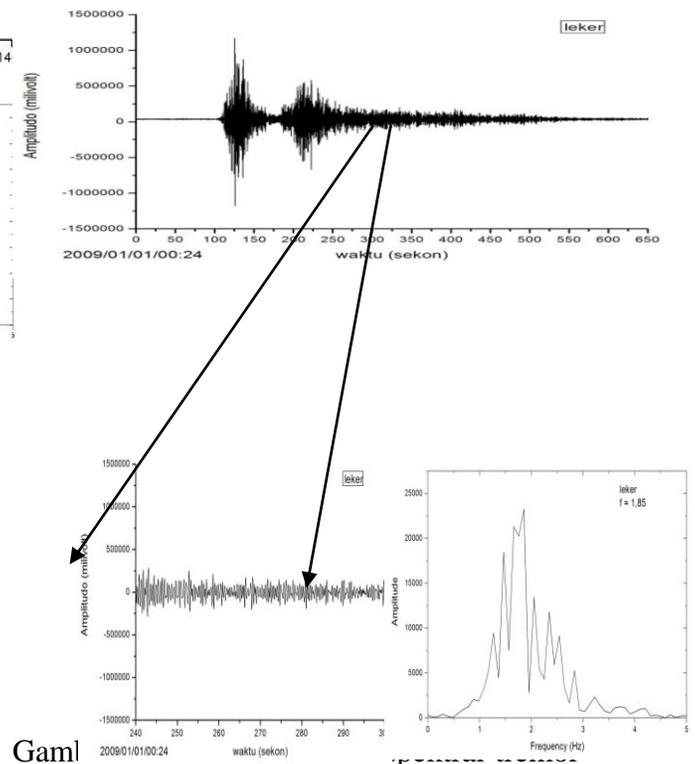
Gambar 5. Seismogram dan spektrogram tremor spasmodik terjadi pada tanggal 01 Januari 2009 pukul 00.24 s/d 00.34 WIB.



Gambar 6. Analisa Spektral tremor harmonik yang terjadi pada tanggal 23 desember 2009 pukul 01.28 s/d 01.52 WIB.

Gambar 6 merupakan seismogram dari tremor harmonik setelah letusan yang terjadi pada tanggal 23 desember 2009 pukul 01.28 s/d 01.52 WIB. Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa terdapat data yang hilang di pertengahan kejadian yaitu pada pukul 01.35 dan 01.45 WIB, analisa spektral dilakukan pada gempa letusan dan pada tremor harmoniknya. Frekuensi dominan dari gempa letusannya sebesar 1,07 Hz. Analisa spektral kedua dan keempat didapatkan frekuensi dasar dari

tremor harmonik sebesar 1,26 Hz sementara dari hasil analisa spektral yang ketiga didapatkan frekuensi dasar dari tremor harmonik sebesar 1,33 Hz. Tremor harmonik memiliki keteraturan spektralnya seperti terlihat pada gambar 6.

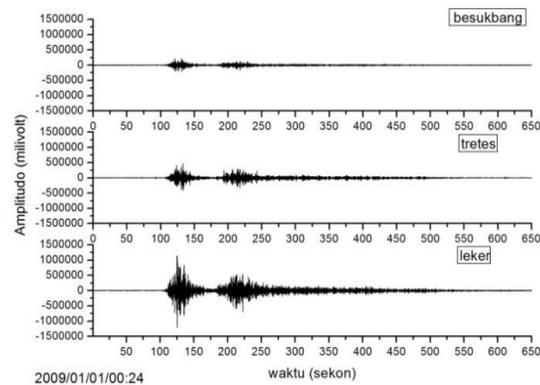


Gambar 7. Analisa Spektral tremor spasmodik yang terjadi pada tanggal 01 Januari 2009 pukul 00.24 s/d 00.34 WIB.

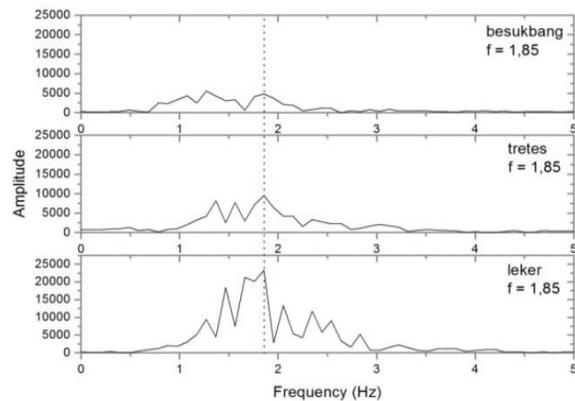
Gambar 7 merupakan seismogram tremor spasmodik setelah letusan yang terjadi pada tanggal 01 Januari 2009 pukul 00.24 s/d 00.34 WIB. Pada gambar 7 terlihat bahwa di awal kejadian terjadi letusan yang dengan amplitudo besar kemudian

amplitudonya menurun dalam selang waktu satu menit dan dilanjutkan dengan letusan yang kedua kali dengan amplitudo yang lebih kecil dibandingkan pada letusan yang pertama kemudian dilanjutkan dengan tremor spasmodik selama lima menit. Dari hasil hasil analisa spektral dari tremor spasmodik yang terjadi pada tanggal 01 Januari 2009 pukul 00.24 WIB didapatkan frekuensi dominan sebesar 2,23 Hz dengan puncak frekuensi yang tidak teratur.

Frekuensi tremor vulkanik dapat dilihat pada tiga stasiun pengamatan yaitu Leker, Tretes dan Besukbang untuk melihat perubahan nilai frekuensi dan amplitudo dari tremor vulkanik sehingga didapatkan pendekatan posisi sumber dari tremor vulkanik. Gambar 8a merupakan seismogram dari tremor spasmodik yang terjadi pada tanggal 01 Januari 2009 pukul 00.24 s/d 00.34 WIB pada stasiun Leker, Tretes dan Besukbang. Pada gambar 8a terlihat nilai amplitudo pada masing-masing stasiun. Stasiun Leker memiliki nilai amplitudo yang paling tinggi dibandingkan stasiun yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa sumber tremor vulkanik lebih dekat dengan stasiun Leker dibandingkan stasiun Tretes dan Besukbang.



(a)

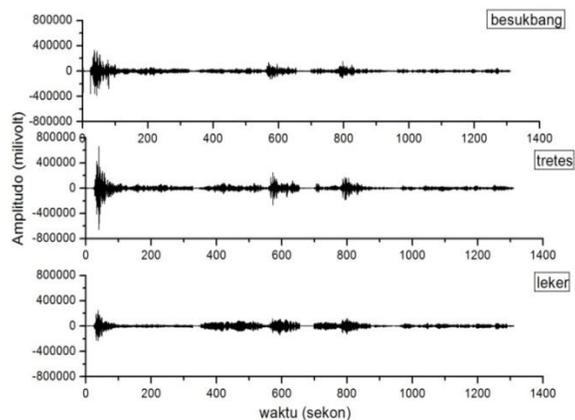


(b)

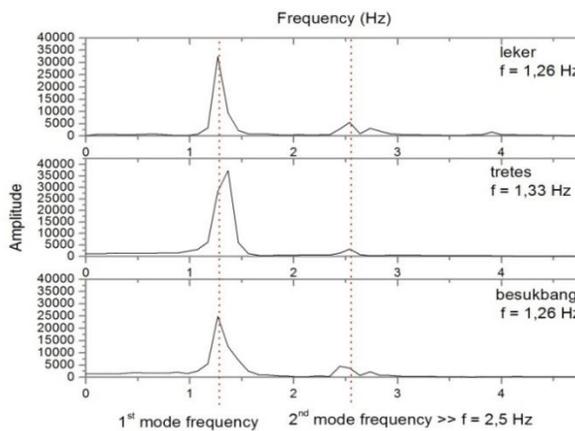
Gambar 8a) Seismogram b) Hasil analisis spektral tremor spasmodik setelah letusan tanggal 01 Januari 2009 pukul 00.24 s/d 00.34 WIB pada stasiun Leker, Tretes dan Besukbang.

Gambar 8b merupakan hasil analisa spektral tremor spasmodik yang terjadi pada tanggal 01 Januari 2009 pukul 00.24 s/d 00.34 WIB pada stasiun Leker, Tretes dan Besukbang. Pada gambar 8b terlihat bahwa nilai frekuensi dominan pada stasiun Leker, Tretes dan Besukbang memiliki nilai yang

sama yaitu sebesar 1,85Hz. Garis putus-putus berwarna merah memperlihatkan bahwa frekuensi yang didapatkan pada tiga stasiun memiliki harga yang sama, hal ini dapat memberikan informasi bahwa sumber dari tremor spasmodik berasal dari sumber yang sama. Hal ini juga terlihat pada hasil analisis spektral tremor harmonik seperti pada gambar 9.



(a)



(b)

Gambar 9a) Seismogram b) Hasil analisis spektral Tremor harmonik setelah letusan

tanggal 23 Desember 2009 pukul 01.28 – 01.56 WIB dari tiap-tiap stasiun dengan nilai Puncak frekuensidasar yaitu 1,30 Hz.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan rekaman data seismic (seismogram) gunung Semeru selama tahun 2009 didapatkan karakteristik tremor vulkanik gunung Semeru dilihat dari kenampakan bentuk sinyal dan durasinya memiliki ciri-ciri yaitu sinyal dengan amplitudo kecil dan durasi kejadiannya minimal tiga menit. Tremor vulkanik terdiri dari tremor harmonik dan tremor spasmodik. Tremor harmonik memiliki ciri-ciri bentuk sinyal puncak spektral yang teratur, frekuensi dasar tremor harmonik berkisar 1Hz-2 Hz sementara frekuensi harmoniknya ditemukan bisa sampai lima puncak frekuensi

Tremor spasmodik dicirikan dengan bentuk sinyal yang tidak teratur dan puncak spektral yang tidak jelas, kandungan frekuensinya berkisar 1-5Hz. Kejadian tremor vulkanik di gunung Semeru diduga merupakan hasil osilasi gas didalam pipa konduit, dimana kestabilan pulsa tekanan yang terdapat didalam pipa konduit menghasilkan tremor harmonik dan jika

kestabilan itu tidak dicapai maka menjadi sumber munculnya tremor spasmodik.

Penelitian selanjutnya diharapkan mampu menjelaskan secara matematis mengenai sumber tremor vulkanik gunung Semeru dengan pengamatan yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Julian, R. B., 1994. *Volcanic tremor: Nonlinier excitation by fluid flow*. Journal of Geophysical Research, 99(B6): 11859-11877.
- Kirbani, S.B., Fadeli, A. Wahyudi, Imam, S. Ari, S. 1992. *Laporan Penelitian, Studi Pendahuluan Seismisitas Gunung Semeru, Jawa Timur*, FMIPA, UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Kusumadinata, K., 1978. *Data dasar gunungapi Indonesia*, Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- Minakami, T. 1974. *Seismology of Vulcanoos in Japan*. Journal of Physical Volcanology. Development in Solid Earth geophys.
- Neil, J.B., Craster, R.V., Rust A.C. 2004. *Instability in flow through elastic conduits and volcanic tremor*. J. Fluid Mech. (2005), vol. 527, pp. 353–377.
- Perwita C.A. 2011. *Analisis Sinyal Seismik Gempa Letusan Gunung Semeru, Jawa Timur Tahun 2009*. Tugas Akhir, Universitas Brawijaya, Malang.
- Schindwein, V. dan Wassermann J. 1995. *Spectral Analysis of Tremor Signals at Mt. Semeru Volcano, Indonesia*, Geophysical Research Letter, Vol. 22, No. 13 pp. 1685-1688.
- Siswosidjojo, S., Santoso, D., Sudarsono, U. dan Surono. 1995. *Laporan Final Riset Unggulan Terpadu I 1993/1994 dan 1994/1995 : Penelitian Mekanisme Letusan Gunung Semeru di Jawa Timur dan Evaluasi Daerah Bahayanya*. Dewan Riset Nasional dan Proyek Pusat Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan teknologi 1995.
- Yatini. 1995. *Analisis Tremor Harmonik Sebelum Letusan 3 Februari 1994 Untuk Memperoleh Dimensi dan Sistem Vulkanik G. Semeru*. Thesis S-2 Program Studi Geofisika Terapan, Pasca Sarjana, ITB. Bandung.