

## Analisis Energi Gempa Letusan Gunung Semeru 09 Oktober 2009

Arif Rahman Hakim<sup>1</sup>, Hairunisa<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan (STKIP) Taman Siswa Bima

<sup>1</sup>arifrahmanhakim50@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis besar energi gempa letusan akibat aktivitas G. Semeru yang terjadi pada tanggal 9 Oktober 2009. Analisis ini dimulai dari tahap seleksi data gempa letusan yang didapatkan dari 4 stasiun seismik yaitu Stasiun Kepolo (KPL), Leker (LEK), Tretes (TRS) dan Besuk Bang (BES). Sinyal diseleksi berdasarkan *waveform* yang berasosiasi dengan letusan sehingga dari hasil seleksi tersebut diperoleh 30 kali gempa letusan, 2 kali gempa vulkanik tipe A dan 12 kali gempa tremor. Selanjutnya, dilakukan analisis data magnitudo dan energi gempa letusan berdasarkan data hasil seleksi tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada aktivitas gempa letusan yang terjadi pada tanggal 9 Oktober 2009 diperoleh nilai magnitudo rata-ratanya sebesar **4,789 SR**. Pada saat pukul 8:52:55 dan 18:42:55 WIB nilai magnitudo gempa letusan mencapai minimum yaitu **2,735 SR** dan mencapai maksimum **5,540 SR** pada pukul 13:16:33 WIB. Sedangkan energi rata-rata gempa sebesar **2,057E+19 erg**. Pada saat pukul 8:52:55 dan 18:42:55 WIB energi minimum gempa letusan adalah **7,990E+15 erg** dan mencapai maksimum **1,286E+20 erg** pada pukul 13:16:33 WIB. Dari hasil tersebut aktivitas G. Semeru dinyatakan aktif normal karena tidak pernah berhenti meletus dalam selang waktu 15 menit - 20 menit sekali.

**Kata kunci:** Energi, gempa letusan, gunungapi semeru

### PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai banyak gunungapi yang masih aktif hingga saat ini. Sekitar 129 gunungapi tersebar di seluruh pulau di Indonesia. Penempatan gunung-gunungapi ini sesuai penyebarannya yang berada di sepanjang sabuk gunungapi Indonesia mulai dari kawasan Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara dan menerus hingga perairan Maluku dan kawasan Sulawesi Utara. Pendominasian gunungapi paling banyak adalah di Pulau Jawa, salah satunya gunungapi Semeru yang merupakan gunungapi yang tertinggi di kawasan ini.

Gunungapi Semeru merupakan gunungapi tertinggi yang masih aktif di pulau Jawa. Berdasarkan penelitian para ahli, diketahui bahwa gunungapi Semeru merupakan gunung aktif tipe A yang terletak di kabupaten Lumajang dan Malang, Jawa Timur. Puncak Mahameru 3676 m dpl merupakan tempat tertinggi dipulau Jawa dan merupakan bekas dinding tua G. Semeru. Kawah muda yang aktif sampai sekarang

terletak di sebelah tenggara Mahameru dan dikenal dengan kawah Jonggring saloko. Ciri G. Semeru sejak 1967 adalah letusan bertipe vulkanian-strombolian yang terjadi pada interval antara 20 menit sampai 1 jam. Berdasarkan sifat-sifat erupsi dan bahan-bahan lepas yang dihasilkan, erupsi gunungapi ini merupakan erupsi efusif berupa pembentukan kubah lava atau lidah lava. Dan merupakan erupsi eksplosif berupa semburan abu pasir halus atau piroklastik sampai bom. Periode letusan gunung Semeru berkisar 5 - 45 menit.

Penelitian mengenai Gunung Semeru pernah dilakukan oleh Maryanto (1999) menerangkan tentang kandungan frekuensi letusan berkisar antara 0,8-3,8 Hz. Siswawidjojo dkk. (1995) menerangkan bahwa daerah aseismik yang diduga merupakan lokasi dari akumulasi magma terdapat pada kedalaman 5-20 km. Dari analisis frekuensi yang diperoleh bahwa gempa-gempa vulkanik maupun tremor yang tercatat mempunyai frekuensi yang hampir sama, yakni

berkisar antara 0,9-1,3 Hz. Hal ini mengindikasikan mekanisme sumber yang kedalamannya tetap. Kirbani dkk, (1992) berhasil mencatat 2 buah kegiatan seismik yang memperlihatkan 3 fase keadaan yaitu sebelum terjadi letusan, setelah terjadi letusan dan pada saat terjadi letusan. Keadaan dimana pada saat terjadi letusan ditandai dengan puncak-puncak sinyal yang tidak teratur dan amplitudonya besar.

Letusan G. Semeru pada tahun 2009 mempunyai kegiatan yang berbeda dari aktifitas biasanya. Dalam keadaan status waspada, erupsi G. Semeru terjadi di kawah Jonggring Saloko ditandai dengan lontaran bom dan abu yang mempunyai interval 10 menit sekali. Pada bulan Maret 2009, aktifitas G. Semeru mengalami masa tenang dengan terekamnya sangat sedikit gempa letusan. Kemudian pada bulan Agustus-Desember 2009, aktifitas kegempaan G. Semeru memperlihatkan jumlah gempa-gempa dangkal yang dikenal sebagai gempa letusan. Gempa-gempa ini tidak memperlihatkan jumlah letusan yang sama dengan letusan di awal tahun namun terdapat perbedaan pada kenampakan visualnya. Asap letusan yang terjadi tidak mengandung material abu vulkanik. Dengan kejadian ini maka dipandang perlu dilakukan penyelidikan mengenai sifat dan mekanisme gempa letusan yang terjadi sepanjang tahun 2009 tersebut khususnya pada bulan oktober.

Agar pembahasan dalam penelitian ini terarah atau tidak menyimpang dan lebih spesifik, maka dalam penelitian ini hanya menganalisis aktivitas gunungapi Semeru berupa gempa letusan yang dihasilkan dari rekaman seismogram pada bulan Oktober 2009. Analisis dan pembahasan yang dilakukan meliputi penentuan lama gempa, magnitudo dan energi gempa serta analisis hubungan dari ketiga elemen tersebut.

**METODE PENELITIAN**

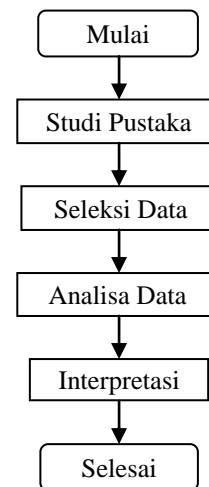
**Rancangan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis data sekunder yang didapatkan dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Bandung. Data yang digunakan

merupakan data seismik digital hasil rekaman (seismogram) tahun 2009 untuk Gunung Semeru. Dari data tersebut dilakukan pengolahan data dan analisa berdasarkan prinsip-prinsip fisika sehingga didapatkan kesimpulan mengenai energi letusan yang terjadi di Gunung Semeru pada bulan oktober tahun 2009.

**Langkah Penelitian**

Penelitian ini difokuskan pada penentuan energi gempa letusan Gunung Semeru pada bulan Oktober. Secara umum langkah penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Alur penelitian yang dilakukan

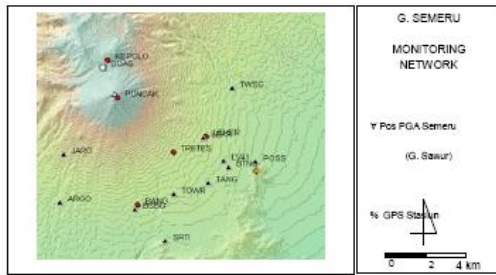
**Seleksi Data**

Langkah ini merupakan langkah awal dalam pengolahan data dengan tujuan untuk mengelompokkan jenis gempa yang terjadi di Gunung Semeru.

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang berupa data seismik kegempaan yang terekam di Gunung Semeru pada bulan oktober tahun 2009 yang ditransmisikan dari PPGA Sawur. Data seismik didapatkan dari hasil rekaman seismometer yang diletakkan di lima stasiun di sekitar Gunung Semeru yaitu stasiun Puncak, Kepolo, Leker, Tretes, dan Besuk Bang. Koordinat posisi dari stasiun diterangkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Posisi stasiun seismometer Gunung Semeru

| No Channel | 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         |

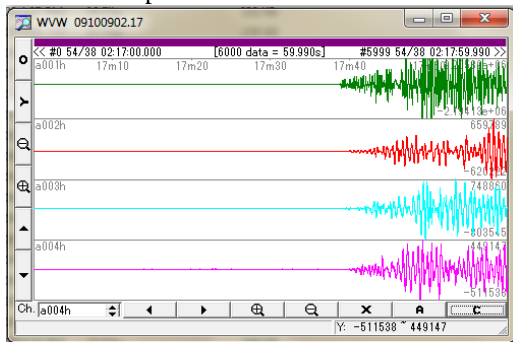


Gambar 2. Jaringan pemantauan aktivitas Gunung Semeru

Data-data yang diperoleh dari jaringan pemantauan seismik tersebut berupa kumpulan sinyal seismik yang berbentuk data digital. Pembacaan data ini dilakukan dengan software WWV SR 900. Software ini membaca gempa selama satu menit dalam satu kali jendela pembacaan. Waktu samplingnya (cuplikan) adalah 100 cuplikan per detik. Jadi pada kejadian 1 detik, direkam sebanyak 100 titik dalam perekaman digital. Pengambilan data dengan 100 cuplikan per detik sangat memungkinkan sinyal getaran dapat terbentuk seperti semula sehingga aliasing (kehilangan bentuk sinyal asli setelah dilakukan digitasi) dapat diminimalisir.

Pada dasarnya program WWV SR 900 ini merupakan perangkat lunak untuk membaca data hasil konversi rekaman analog ke dalam rekaman digital melalui perangkat keras Datamark. Data event didefinisikan dengan nama file yang memuat tahun, bulan, tanggal, hari, jam dan menit secara berurutan. Misalkan event yang didapat adalah 09100902.17, maka event tersebut terjadi pada tanggal 09 Oktober 2009, jam 02.17 WIB.

Tampilan pembacaan pada software WWV dapat dilihat seperti Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Sinyal Gempa Letusan pada Tanggal 09 Oktober 2009, jam 02.17 WIB yang dibaca dengan software WWV SR900

Tampilan seismogram tersebut seharusnya terbagi menjadi 5 baris dimana setiap baris tersebut disebut dengan *channel*. Channel pada Gambar 3 bila dihubungkan dengan Tabel 1 maka akan diperoleh nama-nama stasiun yang merekam sinyal gempa tersebut. Nama stasiun ditunjukkan oleh *channel* yang terletak di sebelah kiri, dimana berturut-turut nama stasiunnya adalah PCK (Puncak), Lekker (LEK), Tretes (TRS), Besuk Bang (BES) yang direpresentasikan oleh channel a001h, a002h, a003h, a004h dan a005h. Dalam hal ini, data rekaman pada stasiun Puncak tidak digunakan karena rekaman datanya kurang bagus dan banyak mengandung sinyal-sinyal gangguan (noise) sehingga proses seleksi data hanya menggunakan empat stasiun yaitu Kepolo, Leker, Tretes dan Besukbang.

Pada tahap ini, ada beberapa data yang perlu diseleksi antara lain: 1) waktu gelombang tiba P (ti) : jam - menit - detik; 2) beda waktu tiba gelombang P dan S, biasa dinamakan S - P, satuannya dalam detik; 3) amplitudo maksimum ganda ( $A_{max}$ ), satuannya adalah millimeter; 4) lama gempa, sering kali menggunakan istilah (F - P), satuannya dalam detik, dan; 5) bila terbaca diukur pula amplitudo gerakan awal.

**Analisa Data**

Setelah melakukan seleksi data, maka data tersebut dianalisa untuk mengetahui tingkat aktivitas Gunungapi Semeru yaitu nilai magnitudo dan energinya.

**Magnitudo Gempa Letusan.**

Magnitudo merupakan besaran guncangan gempa bumi yang diukur dengan angka dan dihitung secara matematis dengan satuan skala Richter. Besarnya magnitudo akan sama di semua lokasi seismometer yang mencatat getaran gempa tersebut. Magnitudo dapat dicari secara statistic berdasarkan log (F-P) atau lama gempa, yaitu:

$$M = -1,45 + 1,91 \log (F - P) \text{ Skala Richter}$$

M : magnitudo gempa lokal (Skala Richter)

F - P : lama gempa (detik)

**Energi Gempa.**

Energi gempa letusan yang tercatat pada seismogram, menggunakan rumus *Gutenbergritcher* :

$E = 10 (11,8 + 1,5 M)$  dan  $\text{Log } E = 11,8 + 1,5 M$  dimana

$E$  : energi letusan (erg)

$M$  : magnitudo gempa local (Ritcher)

**Tabulasi**

Tabulasi merupakan analisis dari pembacaan seismogram yang dapat menelaah kejadian atau aktivitas gunungapi dengan menampilkan tabel maupun grafik. Parameter yang digunakan: 1) Grafik hubungan amplitudo - waktu; 2) Grafik hubungan magnitudo - waktu; 3) Grafik hubungan energi - waktu, dan; 4) Grafik hubungan energi - magnitudo.

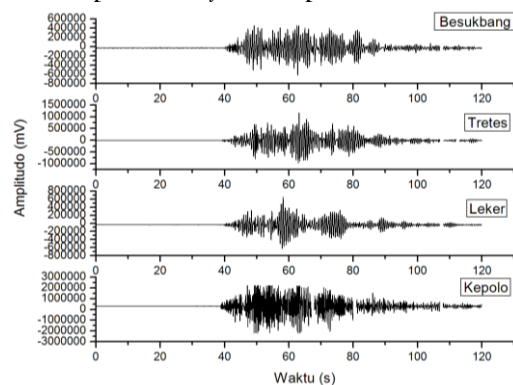
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil seleksi data dan pengamatan secara Visual diperoleh gambaran secara umum kondisi fisik dan lingkungan saat terjadinya gempa. Data visual pada saat terjadinya gempa letusan pada bulan oktober 2009 yaitu: 1) Data Kondisi Lingkungan: (a) Angin tenang; (b) Suhu udara 22 °C; (c) Hujan nihil; (d) Letusan asap tidak teramati; (e) Pagi hari gunung kabut. 2) Data Kondisi Fisik: (a) 30 kali gempa letusan dengan  $A_{\text{max}} = 2-33$  mm; (b) 2 kali gempa vulkanik tipe A dengan  $A_{\text{max}} = 6-9$  mm, SP 0,5 -1, lama gempa 12-16'', dan frekuensi 2,8 Hz, dan; (c) 12 kali gempa tremor dengan: (1)  $A_{\text{max}} = 4$  mm, lama gempa = 145'', dan periode (T) = 0,55''; (2)  $A_{\text{max}} = 7$  mm, lama gempa = 85'', dan periode (T) = 0,55''; (3)  $A_{\text{max}} = 4$  mm, lama gempa = 150'', dan periode (T) = 0,55''; (4)  $A_{\text{max}} = 2$  mm, lama gempa = 120'', dan periode (T) = 0,45''; (5)  $A_{\text{max}} = 5$  mm, lama gempa = 90'', dan periode (T) = 0,45''; (6)  $A_{\text{max}} = 12$  mm, lama gempa = 175'', dan periode (T) = 0,45''; (7)  $A_{\text{max}} = 4$ mm, lama gempa = 240'', dan periode (T) = 0,55''; (8)  $A_{\text{max}} = 3$  mm, lama gempa = 177'', dan periode (T) = 0,45''; (9)  $A_{\text{max}} = 11$  mm, lama gempa = 135'', dan periode (T) = 0,45''; (10)  $A_{\text{max}} = 10$  mm, lama gempa = 135'', dan periode (T) = 0,18''; (11)  $A_{\text{max}} = 8$  mm, lama gempa = 65'', dan periode (T) = 0,55''; (12)  $A_{\text{max}} = 3$  mm, lama gempa = 105'', dan periode (T) = 0,55''

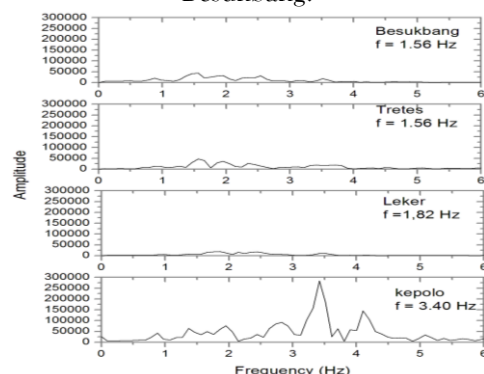
**Kenampakan *Waveform* dan Spektral Gempa Letusan**

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan secara kontinyu, gempa letusan secara mudah dikenali dari *waveform*/bentukan. *Waveform* gempa letusan yang telah dijelaskan pada bab Dasar Teori menjadi dasar untuk melakukan seleksi data. Didapatkan 30 event gempa letusan pada bulan Oktober tahun 2009.

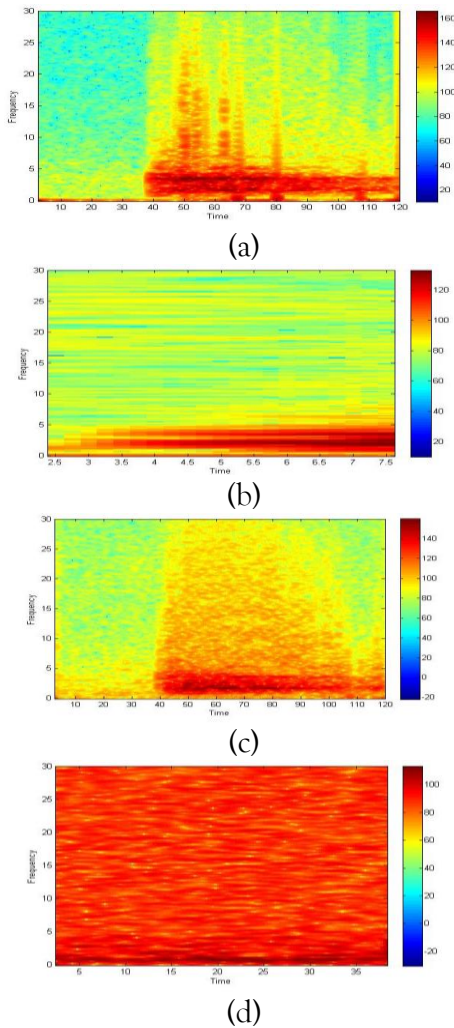
Berikut ini merupakan seismogram Gempa letusan yang terjadi pada tanggal 09 Oktober 2009 pukul 02.17 s/d 02.18 WIB untuk empat stasiun pengamatan yaitu Kepolo, Leker, Tretes dan Besukbang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan hasil analisa spektral dari Gempa letusan untuk masing - masing stasiun tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 4.** Seismogram Gempa Letusan terjadi pada tanggal 09 Oktober 2009 pukul 02.17 s/d 02.18 WIB pada stasiun Kepolo, Leker, Tretes dan Besukbang.



**Gambar 5.** Hasil analisa spektral Gempa Letusan terjadi pada tanggal 09 Oktober 2009 pukul 02.17 s/d 02.18 WIB pada stasiun Kepolo, Leker, Tretes dan Besukbang.



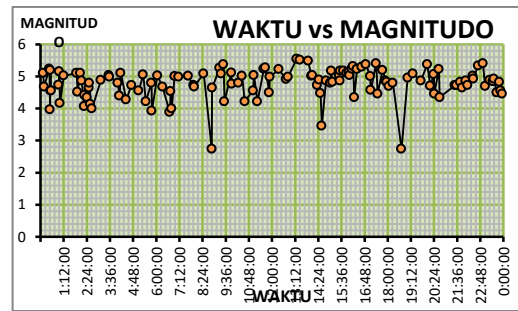
**Gambar 6.** Spektrogram Gempa letusan pada tanggal 09 Oktober 2009 pukul 02.17 s/d 02.18 WIB a) Kepolo b) Leker c) Tretes dan d) Besukbang.

Dari gambar seismogram Gempa letusan diatas, terlihat bahwa *waveform* keempat *event* yang terjadi pada tanggal 09 Oktober 2009 pukul 02.17 s/d 02.18 WIB memiliki bentuk sinyal yang hampir sama. Bentuk sinyal yang terjadi memiliki amplitudo dengan puncak-puncak tidak teratur dan berdurasi 100-120 detik. Dari gambar spektral, terlihat bahwa frekuensi dominan masing-masing stasiun berbeda dan memiliki range yang cukup jauh hal ini bisa saja dipengaruhi oleh jarak antar stasiun.

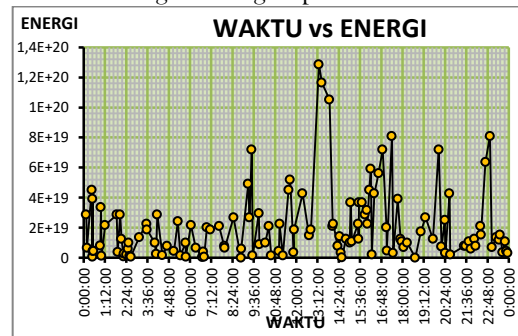
**Magnitudo dan Energi Gempa Letusan**

Untuk menganalisis magnitudo dan energi gempa letusan ini dipilih data rekaman gempa pada tanggal 9 Oktober 2009 di stasiun leker karena noise di stasiun tersebut kurang sehingga dapat meminimalisir data yang rusak akibat noise. Jika nilai besar magnitudo dan energi gempa letusan tersebut dihubungkan dengan

waktu terjadinya gempa akan tampak seperti gambar berikut

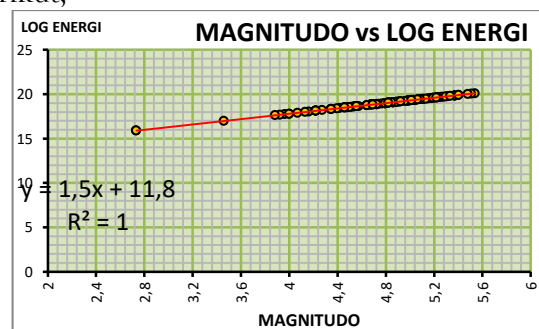


**Gambar 7.** Grafik hubungan antara Waktu dan Magnitudo gempa letusan



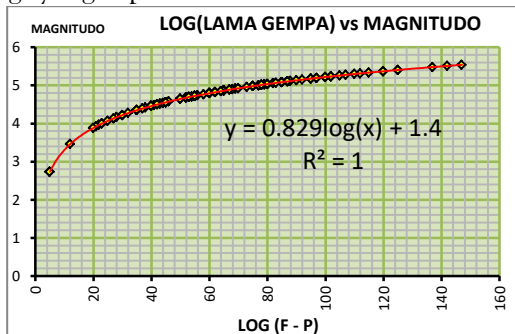
**Gambar 8.** Grafik hubungan antara Waktu dan Energi gempa letusan

Analisis magnitudo dan energi gempa letusan pada tanggal 9 Oktober 2009, dari Gambar 7 dan 8 diperoleh yaitu nilai magnitudo rata-rata **4,789 SR**, magnitudo minimum **2,735 SR** pada pukul 8:52:55 dan 18:42:55 WIB, dan magnitudo maksimum **5,540 SR** pada pukul 13:16:33 WIB. Sedangkan, nilai energi rata-ratanya **2,057E+19 erg**, nilai minimumnya **7,990E+15 erg** pada pukul 8:52:55 dan 18:42:55 WIB, dan nilai maksimumnya **1,286E+20 erg** pada pukul 13:16:33 WIB. Log energi merupakan fungsi linier dari magnitudo. Sesuai dengan persamaan 4.2 maka diperoleh hubungan antara nilai magnitudo dan nilai log dari energi yang ditunjukkan pada Gambar 9 berikut,



**Gambar 9.** Grafik hubungan antara Magnitudo dan Log Energi.

Gambar 9 memperlihatkan bahwa log energi merupakan fungsi linier dari magnitudonya dan tampak pula bahwa semakin besar nilai magnitudonya maka semakin besar pula nilai log energi yang diperoleh.



Gambar 10. Grafik hubungan antara log Lama Gempa (F - P) dan Magnitudo

Jika besar energi dipengaruhi oleh nilai magnitudonya, maka besar magnitudo bergantung dari lama terjadinya gempa. Seperti pada 10 dengan mengasumsikan bahwa lapisan tanah didaerah terjadinya gempa letusan adalah sama, maka nilai magnitudo dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan  $y = 0.829\log(x) + 1.4$ .

### KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pembacaan seismogram 9 Oktober 2009, pada aktivitas gempa letusannya yang terjadi sebanyak 30 kali diperoleh nilai magnitudo rata-ratanya adalah **4,789 SR**. Pada saat pukul 8:52:55 dan 18:42:55 WIB nilai magnitudo gempa letusan mencapai minimum yaitu **2,735 SR** dan mencapai maksimum **5,540 SR** pada pukul 13:16:33 WIB.

Jika besar magnitudo telah diketahui selanjutnya menentukan besar energi pada gempa letusan, dan diperoleh nilai energi rata-rata sebesar **2,057E+19 erg**. Pada saat pukul 8:52:55 dan 18:42:55 WIB energi minimum gempa letusan adalah **7,990E+15 erg** dan mencapai maksimum **1,286E+20 erg** pada pukul 13:16:33 WIB.

Aktivitas G. Semeru selalu dinyatakan aktif karena tidak pernah berhenti meletus dalam selang waktu 15 menit - 20 menit sekali, sehingga G. semeru berada dalam tingkat aktif normal.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alzwar, M. 1987. *Pengantar Dasar Ilmu Gunungapi*. Bandung: NOVA,
- D, Isya Nurrahmat. 1995. *Aktivitas Vulkanisme Gunung Semeru*. Bandung: Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral,.
- Minarto,E. 2000. *Analisis Spektral Gunung Slamet*. Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika - FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- 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.
- Nugraha A.K. 2009. *Karakteristik Tremor Harmonik Gunungapi Semeru, Jawa Timur Tahun 2008*. Tugas Akhir, Universitas Brawijaya, Malang.
- Perwita C.A. 2011. *Analisis Sinyal Seismik Gempa Letusan Gunung Semeru, Jawa Timur Tahun 2009*. Tugas Akhir, Universitas Brawijaya, Malang.
- Riyanto, S., Purwanto, A., Supardi. 2009 . *Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation In Time (DIT) Dengan Resolusi 1/10 Hertz*. Laboratorium Riset Komputasi, Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY Kampus Karangmalang Yogyakarta.
- Rosadi, Umar dkk. 2008. *Laporan Peringatan Dini Bahaya Gunungapi Semeru, Jawa Timur*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.
- Santoso, Djoko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung : ITB