

## Mekanisme Fokus dan Parameter Sumber Gempa Vulkano-Tektonik di Gunung Guntur, Jawa Barat

### *Focal Mechanism and Parameter of Volcano-Tectonic Earthquake Source, in Mount Guntur, West Java*

S. HIDAYATI, Y. SUPARMAN, dan A. LOEQMAN

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Jln. Diponegoro 57 Bandung

#### SARI

Gunung Api Guntur di Jawa Barat merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia. Letusan terakhir terjadi pada tahun 1847, namun sampai saat ini aktivitas kegempaan cukup tinggi. Sebaran hiposentrum gempa VT pada periode Juli - Oktober 2009 secara umum menunjukkan berada di bagian lereng barat di bawah kawah Guntur-Gandapura pada kedalaman kurang dari 5 km. Pola sebaran kedalamannya semakin dalam ke arah barat laut. Pada periode ini, gempa VT yang lebih dalam dari 5 km tidak ditemukan. Mekanisme fokus gempa VT adalah sesar turun *oblique*, sesar geser, dan sesar naik *oblique*. Mekanisme gempa yang tidak unik ini kemungkinan disebabkan oleh struktur yang cukup rumit di area kompleks Gunung Guntur, yang berarah barat laut - tenggara. *T-axis* sesar turun *oblique* hampir horizontal berarah barat laut - tenggara relatif searah dengan struktur dominan di daerah puncak Gunung Guntur. Demikian juga salah satu *nodal line* sesar geser dan *P-axis* sesar naik *oblique* juga berarah barat laut - tenggara. Plotting parameter sumber gempa (momen seismik, *corner frequency*, dan *stress drop*) yang dilakukan terhadap jarak hiposentrum menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada parameter tersebut antara gempa dengan jarak yang dekat maupun yang jauh terhadap station Kabuyutan. Hal ini disebabkan sebaran hiposentrum gempa tidak terkonsentrasi pada suatu zona. Sementara itu, hubungan antara momen seismik ( $M_0$ ) dan jari-jari sumber gempa ( $r$ ) menunjukkan bahwa untuk gempa dengan momen lebih kecil dari  $10^{18}$  dyne cm, jari-jari sumber gempanya adalah konstan, yaitu  $\approx 60$  m.

**Kata kunci:** Gunung Guntur, gempa VT, hiposentrum, mekanisme fokus, parameter sumber gempa

#### ABSTRACT

*Guntur Volcano in West Java is one of the most active volcanoes in Indonesia. The last eruption took place in 1847 and the volcanic activity has been dormant since then, however its seismicity is active. During the period of July to October 2009, the hypocenter distribution of VT earthquakes is mostly located at western flank of the volcano, beneath Guntur - Gandapura craters at the depth of less than 5 km. The depth pattern shows deeper to the northwest. The VT earthquakes deeper than 5 km were not found in this period. The focal mechanism of VT earthquakes are oblique normal fault, strike-slip fault and oblique reverse fault types. The mechanism of those earthquakes is not uniquely determined probably due to complicated structures at Guntur volcano complex area, which is aligned in NW-SE direction. T-axis of the oblique normal fault is trending in northwest - southeast direction similar to the structures found in the summit area of Gunung Guntur Volcano. Similarly, one of the strike-slip fault nodal line and P-axis of oblique reverse fault are also trending in northwest - southeast. Plotting of the earthquake source parameters (seismic moment, corner frequency, and stress drop) made to hypocenter distance shows no significant difference on those parameters between earthquakes at close and far distances to Kabuyutan station. It is probably due to the hypocenters are not concentrated in one zone. Meanwhile, the relationship between seismic moment ( $M_0$ ) and seismic source radius ( $r$ ) shows that for earthquakes with moment of smaller than  $10^{18}$  dyne cm, the radius of the hypocenter is constant which is namely 60 m.*

**Keywords:** Guntur volcano, VT earthquakes, hypocenter, focal mechanism, earthquake source parameter

## PENDAHULUAN

Kompleks Gunung Guntur yang terletak di Kabupaten Garut, Jawa Barat, merupakan salah satu gunung api aktif di Indonesia. Kompleks ini terdiri atas beberapa kerucut, salah satunya yaitu Gunung Masigit (2249 m) yang merupakan kerucut tertinggi. Ke arah tenggara dari Gunung Masigit terdapat kerucut Gunung Parukuyan (2135 m), Gunung Kabuyutan (2048), dan Gunung Guntur. Gunung Api Guntur ini merupakan kerucut termuda dari kerucut-kerucut dalam Kompleks Gunung Guntur (Alzwar drr., 1992).

Erupsi terakhir Gunung Guntur tercatat pada tahun 1847, tetapi aktivitas kegempaan sampai saat ini cukup tinggi, terutama gempa *volcano-tectonic* (VT), yaitu sepuluh kejadian per bulan. Bahkan pada Oktober 1997, Mei 1999, November 2002, dan Juni 2005 jumlah gempa VT mencapai lebih dari 100 (Sadikin, 2008). Hasil penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa kemungkinan aktivitas seismik Gunung Guntur tidak hanya dikontrol oleh intrusi magma dari gunung api itu sendiri, tetapi juga oleh aktivitas tektonik di sekitarnya (Gambar 1). Survei deformasi telah menunjukkan adanya inflasi pada daerah puncak (Suganda drr., 1998) yang merupakan indikasi adanya intrusi magma. Menurut Suantika (1997) dan Sadikin (2008) sebaran hiposentrum gempa VT berarah barat laut - tenggara dari Kawah Guntur - Kaldera Gandapura - Kawah Kamojang, dengan kedalaman semakin dalam ke arah Gunung Kamojang. Sementara mekanisme sumber bervariasi antara sesar normal pada kedalaman dangkal dan sesar geser (*strike-slip*) pada bagian yang dalam.

Tulisan ini membahas sebaran hiposentrum, mekanisme, dan parameter sumber gempa VT di Gunung Guntur pada periode Juli - Oktober 2009. Parameter sumber gempa; seismik momen, *corner frequency*, dan *stress drop*, dianalisis untuk mengetahui dimensi sumber gempa dan *slip* rata-rata sesar (*displacement*).

## AKTIVITAS GUNUNG GUNTUR

### Sejarah Kegempaan dan Erupsi Kompleks Gunung Guntur

Sejarah erupsi Gunung Guntur antara tahun 1800 sampai 1847 yang tercatat terjadi sekitar 21 kali, dengan sifat eksplosif dan karakter erupsi

berulang-ulang dalam tempo pendek, berlangsung paling lama 5 sampai 12 hari. Periode erupsi berselang-selang antara 1, 2, dan 3 tahun dan ada kalanya erupsi terjadi setelah masa istirahat 6 - 7 tahun (Kusumadinata, 1979). Erupsi terbesar terjadi pada tahun 1690, 1829, dan 1841 yang menyebabkan perkampungan hancur.

### Pengamatan Seismik

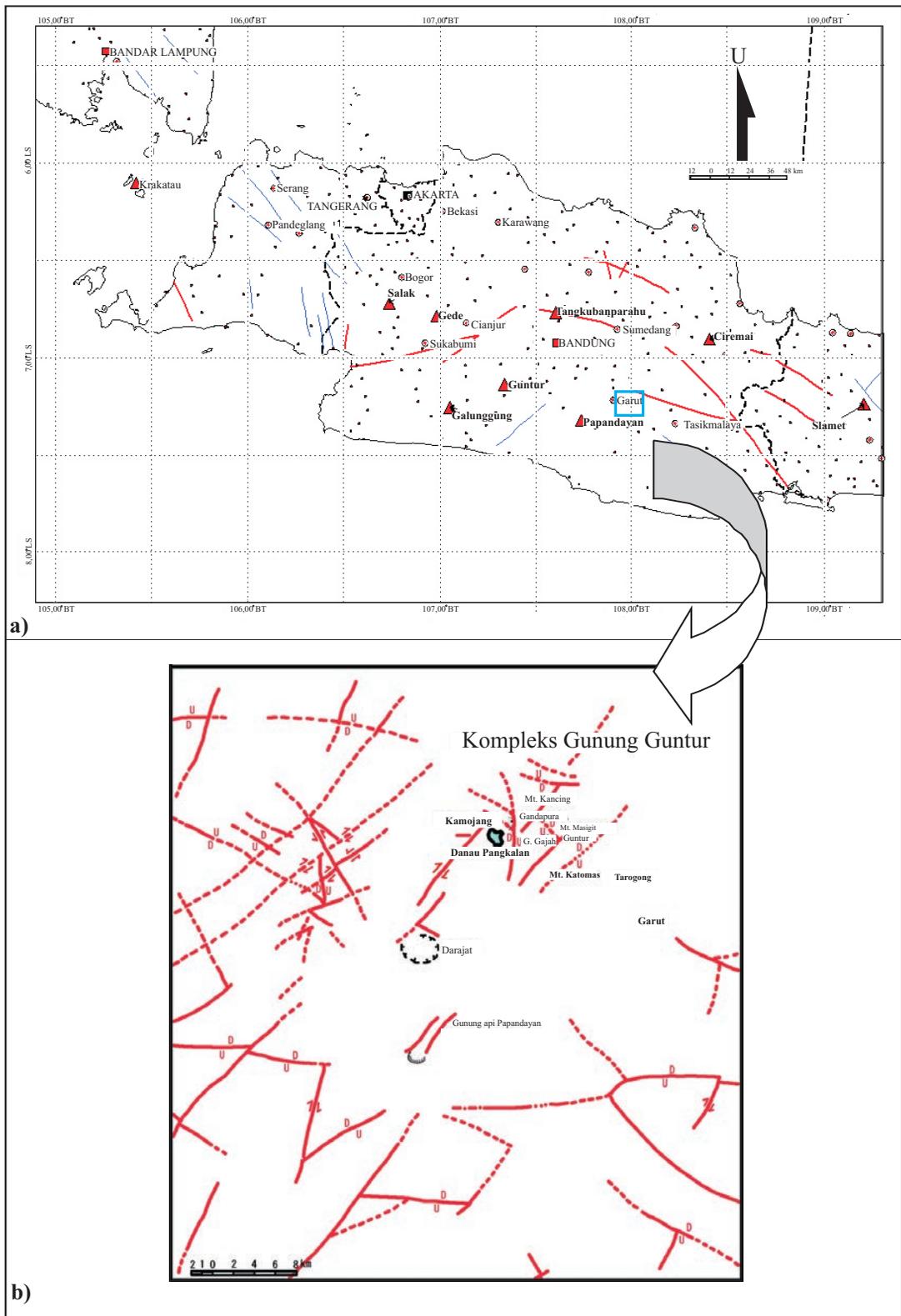
Pemantauan seismik Gunung Guntur dimulai sejak tahun 1986 dari Pos Pengamatan Gunung Api (PGA) Gunung Guntur yang terletak di Desa Sirnajaya. Kemudian, pada tahun 1989 dilakukan pemasangan stasiun seismik permanen di Citiis (CTS), sekitar 0,8 km dari kawah puncak dan sinyal ditransmisikan ke Pos PGA Gunung Guntur dengan gelombang radio. Sinyal tersebut direkam secara kontinu pada seismograf (PS-2, Kinematic). Stasiun permanen tersebut dilengkapi dengan satu komponen vertikal seismometer (L-4C, Mark Product).

Pada tahun 1994, bekerja sama dengan pihak Kyoto University, Jepang, dilakukan penambahan stasiun seismik baru yang dilengkapi dengan sensor tiga komponen di Pasir Cileungsing (PSC), Gunung Putri (PTR), dan Legok Pulus (LGP). Pada tahun 1997, stasiun Kabuyutan (KBY/PCK) ditambahkan. Selanjutnya pada tahun 2003, stasiun PSC dipindah ke satu stasiun di daerah Kiamis (MIS). Sementara itu, stasiun PTR sudah tidak difungsikan lagi, karena terlalu sering mendapat gangguan vandalisme. Pada pertengahan tahun 2009 ditambahkan satu lagi stasiun di daerah Sangguruan (MSG). Saat ini aktivitas kegempaan Gunung Guntur dimonitor dengan menggunakan lima stasiun seismik yang dipasang permanen, seperti yang terlihat pada Gambar 2 dan Tabel 1.

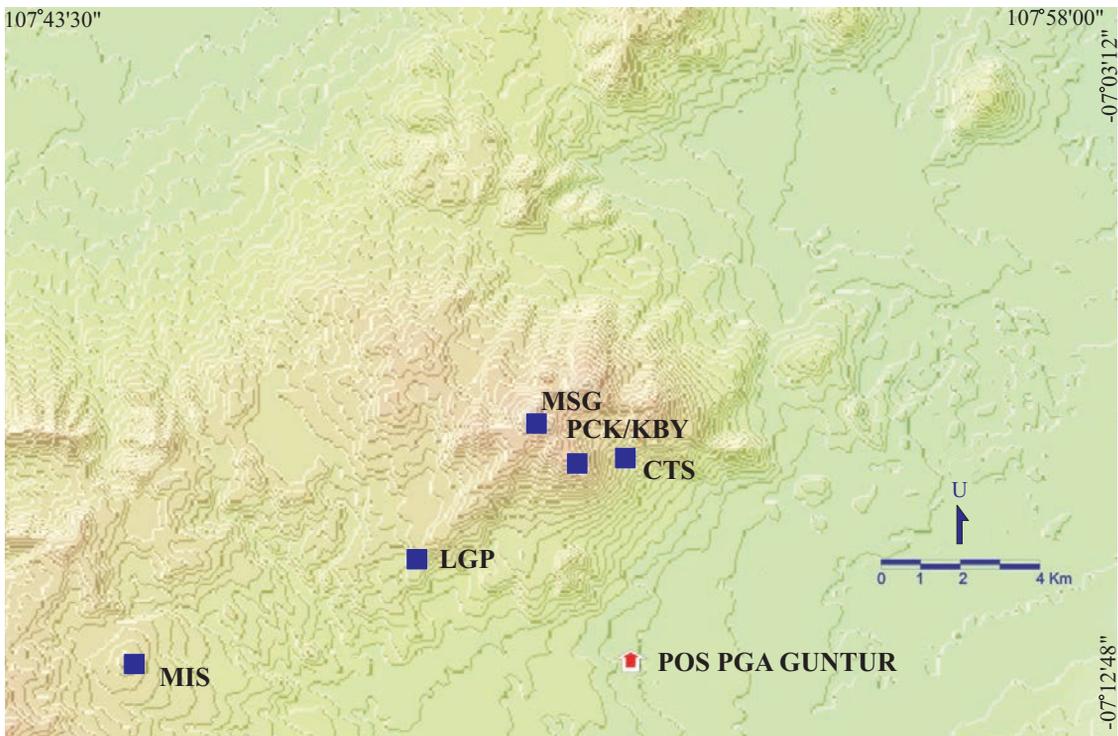
Aktivitas kegempaan Gunung Guntur pada umumnya didominasi oleh gempa gempa tektonik, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Meskipun gempa VT dan TL (tektonik lokal) juga sering muncul, jumlah rata-rata pemunculan gempa VT sekitar sepuluh kejadian per bulan.

### SEBARAN HIPOSENTRUM

Pada penelitian selama Juni - Oktober 2009 ini hanya gempa VT yang akan ditentukan sebaran



Gambar 1. a) Peta tektonik daerah Jawa bagian barat, dan b) Sesar di sekitar kompleks Gunung Guntur (dalam Sadikin, 2008).



Gambar 2. Jaringan seismik untuk pemantauan Gunung Guntur.

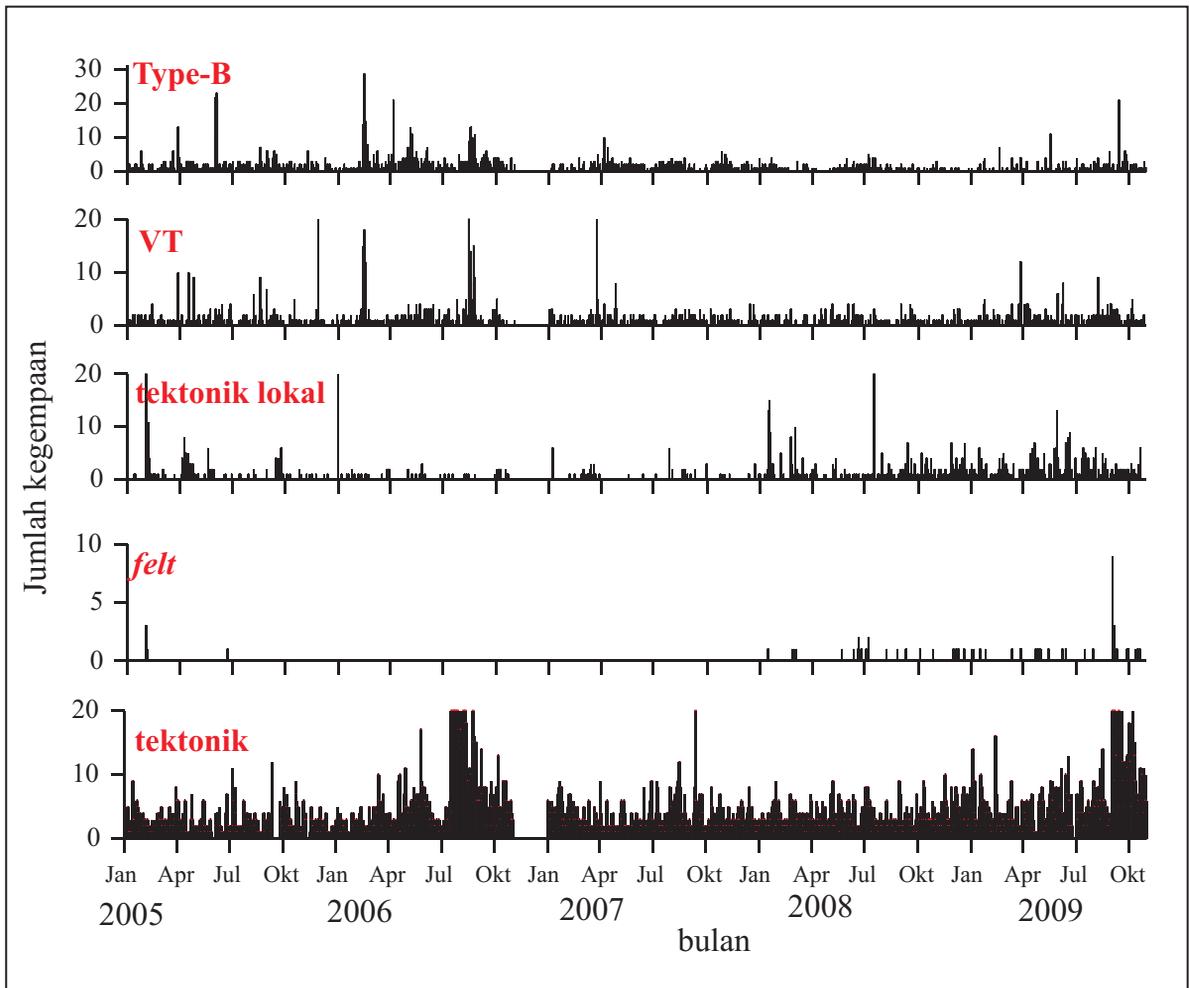
Tabel 1. Lokasi Stasiun Seismik permanen dan temporer Gunung Guntur 2009

No.	Nama Stasiun	Lokasi	Posisi	Elevasi	Status
1.	CTS	Citiis	S 07° 09' 10.32" E 107° 51' 33.06"	1450 m	permanen
2.	PCK (KBY)	Puncak/ Kabuyutan	S 07° 09' 15.30" E 107° 50' 53.32"	1930 m	permanen
3.	LGP	Legak Pulus	S 07° 10' 30.15" E 107° 48' 54.12"	1400 m	permanen
4.	MIS	Kiamis	S 07° 11' 54.90" E 107° 45' 01.38"	1650 m	permanen
5.	MSG	Masigit	S 07° 08.812' E 107° 50.484'	2190 m	permanen

hiposentrumnya. Hiposentrum gempa VT ditentukan dengan menggunakan Program GAD (Nishi, 2005) dengan empat waktu tiba gelombang P dan satu waktu tiba gelombang S dari stasiun KBY. Hasil sebaran hiposentrum gempa VT diperlihatkan pada Gambar 4.

Sebaran gempa VT pada periode ini secara umum berada di bagian lereng barat di bawah kawah Guntur-Gandapura pada kedalaman kurang dari 5 km,

meski ada beberapa gempa terletak pada lebih dari 5 km. Sementara itu, gempa VT yang lebih dalam tidak ditemukan dalam periode ini, seperti pada penelitian terdahulu (Iguchi dr., 1996; Suantika dr., 1997, Sadikin 2008). Ini kemungkinan karena rentang waktu yang relatif pendek dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Namun demikian, pola sebarannya relatif sama, dengan arah barat laut semakin dalam.



Gambar 3. Kegempaan Gunung Guntur 2005 - Oktober 2009.

## DISKUSI

### Mekanisme Fokus

Karena jumlah stasiun seismik di Gunung Guntur tidak cukup bagus untuk memperoleh hasil mekanisme fokus, maka polaritas dan amplitudo gerakan awal gelombang P digunakan untuk mendapatkan solusi yang lebih akurat. Sebuah metode *grid-search* dikembangkan untuk menentukan solusi terbaik mekanisme fokus gempa VT, dengan asumsi *double couple mechanism* dan homogen *half-space* (Hidayati drr., 2008).

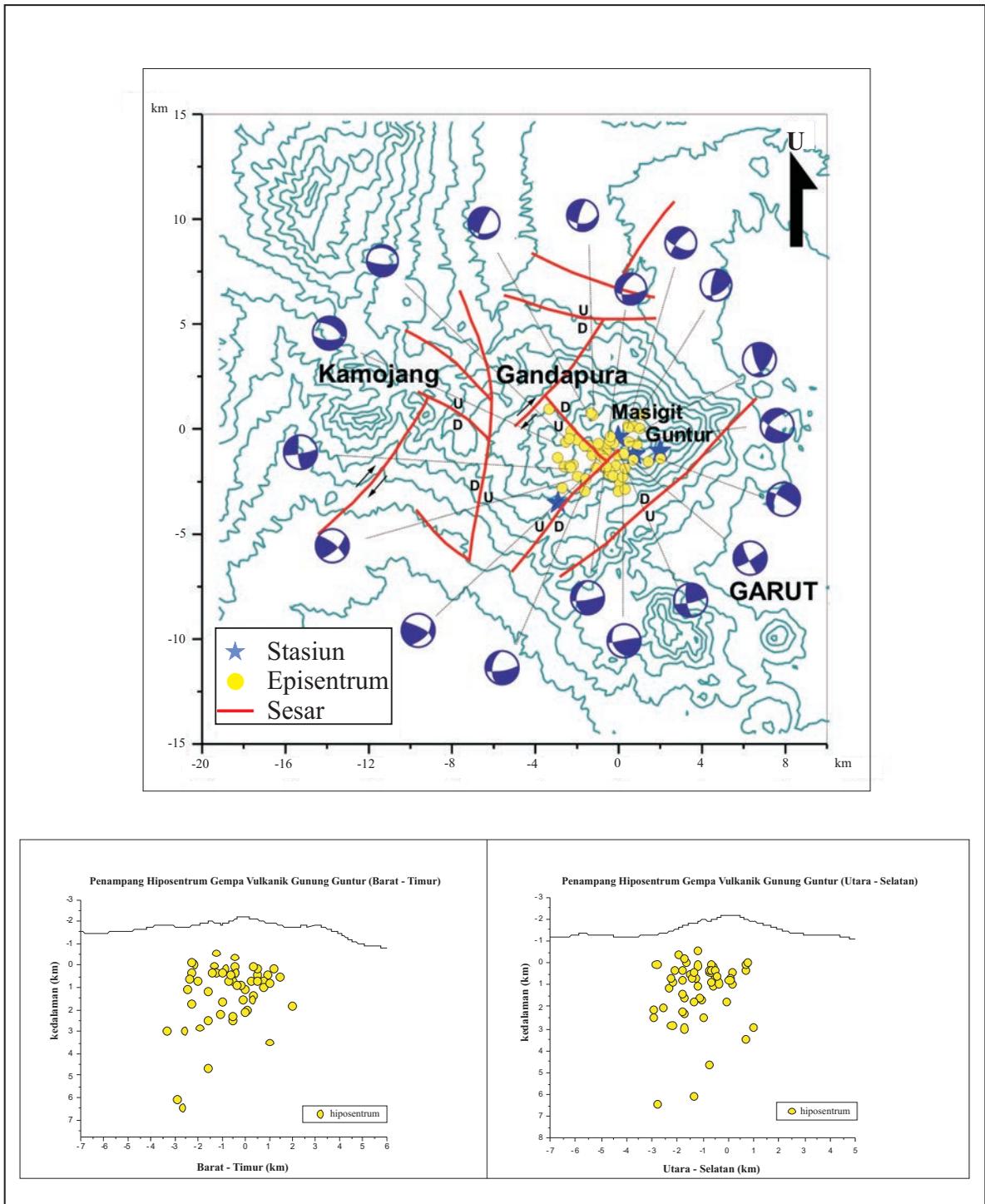
Dengan menggunakan formula *displacement of P-wave at far-field* yang dikembangkan oleh Aki and Richard (1980), diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$U^P(r,t) = \frac{1}{4\pi\rho r\alpha^3} R^P \dot{M} \left( t - \frac{r}{\alpha} \right) \quad (1)$$

$U^P(r,t)$  : *displacement of P-wave at far-field*  
 $R^P$  : pola radiasi untuk gelombang P  
 $r$  : jarak dari hiposentrum  
 $\dot{M}$  : *moment rate function*  
 $\alpha$  : kecepatan gelombang P  
 $\rho$  : densitas medium

Kemudian dilakukan proses diferensial dan mengabaikan indeks waktu persamaan (1), sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut:

$$U^P(r) = \frac{1}{4\pi\rho r\alpha^3} R^P \dot{M} \quad (2)$$



Gambar 4. Sebaran hiposentrum dan mekanisme fokus gempa VT Gunung Guntur periode Juni - Oktober 2009.

Dengan berasumsi *double couple mechanism*, pola radiasi gelombang P ( $R^P$ ) dideskripsikan sebagai:

$$R^P = \cos \lambda \sin \delta \sin^2 i_h \sin 2(\phi - \phi_s) - \cos \lambda \cos \delta \sin 2i_h \cos(\phi - \phi_s) + \sin \lambda \sin 2\delta (\cos^2 i_h - \sin^2 i_h \sin^2(\phi - \phi_s)) + \sin \lambda \cos 2\delta \sin 2i_h \sin(\phi - \phi_s) \quad (3)$$

dengan  $\lambda$ ,  $\delta$  dan  $\phi_s$  masing-masing adalah sudut penunjaman (*rake*), kemiringan (*dip*) dan jurus (*strike*); sedangkan  $i_h$  dan  $\phi$  masing-masing adalah *take off angle* dan *azimuth* gelombang seismik yang meninggalkan sumber. Amplitudo teramati (*observed velocity amplitude*) ( $y_i$ ) dan terhitung (*calculated*) ( $x_i$ ) mempunyai hubungan linier yang dapat dideskripsikan sebagai berikut:

$$y_i = bx_i \quad (4)$$

dengan  $i = 1$  to  $N$ ,  $N$  adalah jumlah data. Residual ( $R$ ) antara amplitudo teramati dan terhitung dievaluasi sebagai;

$$R = \sum_{i=1}^N (bx_i - y_i)^2 = b^2 \sum x_i^2 - 2b \sum x_i y_i + \sum y_i^2 \quad (5)$$

Untuk meminimumkan  $R$  adalah:

$$\frac{\partial R}{\partial b} = 0$$

Oleh karena itu, parameter  $b$  ditulis sebagai berikut:

$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2} \quad (6)$$

*Strike*, *dip*, dan *rake* bidang nodal (*nodal plane*) pertama diperoleh melalui metode *grid-search* dengan resolusi  $5^\circ$ , maka untuk meminimumkan standar deviasi ( $sd$ ), ditulis sebagai berikut:

$$sd = \sqrt{\frac{\sum (bx_i - y_i)^2}{N - 2}} \quad (7)$$

Kisaran *strike*, *dip*, dan *rake* untuk metode *grid search* pada awalnya ditentukan berdasarkan distribusi polaritas gerakan awal gelombang P. Bidang *nodal* kedua tegak lurus terhadap *nodal* pertama. Hubungan antara nodal pertama dan kedua dapat diturunkan dari *slip vector* ( $\hat{d}$ ) dan fakta bahwa *slip vector* yang terletak pada bidang nodal pertama adalah normal ( $\hat{n}$ ) untuk *nodal plane* kedua dan sebaliknya (Stein dan Wysession, 2003).

$$\hat{n} = \begin{pmatrix} -\sin \delta \sin \phi \\ -\sin \delta \cos \phi \\ \cos \delta \end{pmatrix} \text{ dan } \hat{d} = \begin{pmatrix} \cos \lambda \cos \phi + \sin \lambda \cos \delta \sin \phi \\ -\cos \lambda \sin \phi + \sin \lambda \cos \delta \cos \phi \\ \sin \lambda \sin \delta \end{pmatrix}$$

Jadi jika  $\hat{n}_1, \hat{d}_1$  dan  $\hat{n}_2, \hat{d}_2$  adalah normal dan *slip vector* untuk *nodal plane* pertama dan kedua;

$$\hat{d}_1 = \hat{n}_2 \text{ dan } \hat{d}_2 = \hat{n}_1.$$

Kondisi  $\hat{d}_1 = \hat{n}_2$  ditulis dengan komponen;

$$\begin{pmatrix} \cos \lambda_1 \cos \phi_1 + \sin \lambda_1 \cos \delta_1 \sin \phi_1 \\ -\cos \lambda_1 \sin \phi_1 + \sin \lambda_1 \cos \delta_1 \cos \phi_1 \\ \sin \lambda_1 \sin \delta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin \delta_2 \sin \phi_2 \\ -\sin \delta_2 \cos \phi_2 \\ \cos \delta_2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Konstrain tambahan berasal dari fakta bahwa dua bidang nodal saling tegak lurus satu sama lain;

$$\hat{n}_1 \cdot \hat{n}_2 = 0 \quad (9)$$

### Koreksi Amplitudo

Besar kecilnya amplitudo gerakan awal gelombang P dipengaruhi oleh kondisi atau lokasi stasiun itu berada (*local site effect*) serta medium yang dilalui oleh gelombang (*propagation path*). Estimasi untuk *local site effect* digunakan satu gempa tektonik dan amplitudo relatif dengan stasiun MSG sebagai referensi. Relatif amplitudo pada stasiun CTS, LGP dan KBY masing-masing adalah 0,14, 0,44, dan 0,68.

Efek medium yang dilalui gelombang karena faktor ketidakelastisan medium diestimasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Lay dan Wallace, 1995):

$$A(x) = A_0 e^{-\left(\frac{\pi f}{Qv}\right)x} \quad (10)$$

$A(x)$  : amplitudo pada jarak hiposentrum tertentu,  $x$

$f$  : frekuensi

$Q$  : faktor atenuasi

$v$  : kecepatan gelombang P.

Di sini,  $Q$  diasumsikan 100 dengan referensi pada Gunung Merapi (Wegler and Luhr, 2001). Nilai frekuensi diambil dari dominan frekuensi pada setiap gempa VT.

### Hasil dan Analisis

Mekanisme fokus gempa VT pada daerah Guntur - Gandapura periode Juli - Oktober 2009 didominasi oleh sesar turun *oblique* dan sesar geser (Gambar 4). Mekanisme sumber dengan solusi sesar turun *oblique* mempunyai *strike* dengan garis *nodal* berarah relatif timur laut-barat daya

dan *T-axis* berarah relatif barat laut-tenggara. Sementara sesar geser mempunyai arah garis *nodal* relatif barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya. Solusi sesar naik mempunyai arah *P-axis* relatif barat laut-tenggara.

Mekanisme fokus gempa yang tidak unik ini kemungkinan disebabkan oleh struktur yang cukup rumit di area kompleks Gunung Guntur. Meskipun begitu *T-axis* sesar turun *oblique* berarah barat laut - tenggara relatif searah dengan struktur dominan di daerah puncak Gunung Guntur. Demikian juga salah satu garis *nodal* sesar geser dan *P-axis* sesar naik *oblique* juga berarah barat laut - tenggara. Hal ini menunjukkan mekanisme sumber gempa sepanjang Guntur-Gandapura lebih dipengaruhi oleh struktur yang berkembang di daerah puncak akibat kegiatan vulkanik atau erupsi besar di masa lalu.

Sementara itu hasil survei deformasi Gunung Guntur dengan menggunakan metode GPS pada Juli - Oktober 2009 (Sulaeman dr., 2010) menunjukkan adanya vektor pergeseran horizontal ke arah barat laut. Pergeseran ini kemungkinan disebabkan oleh sesar normal di Gunung Guntur dan sesar *oblique* di barat laut Gunung Guntur. Jenis sesar kedua model sumber tersebut tidak jauh beda dengan data geologi, baik jenis maupun arahnya, yaitu sesar normal untuk sesar yang melintas Gunung Guntur dan sesar geser di sebelah barat Gunung Guntur (Alzwar dr., 1992). Pola data pergeseran tidak memperlihatkan pola inflasi atau deflasi akibat kegiatan magma di bawah permukaan Gunung Guntur, tetapi lebih dominan disebabkan oleh kegiatan struktur yaitu sesar.

### Parameter Sumber

Dari sudut pandang geologi, parameter sumber gempa yang penting adalah dimensi sumber dan *slip* rata-rata dari sesar. Brune (1970) menunjukkan bahwa dimensi panjang sumber gempa berkaitan dengan *corner frequency*. Pada prinsipnya, hubungan antara *corner frequency* dan dimensi sumber gempa muncul sebagaimana hubungan *inverse* antara lebar *pulse* dalam domain waktu dengan lebar *band* frekuensi spektrumnya. Lebar *pulse* sinyal dalam domain waktu sebanding dengan durasi proses sesar yang sama dengan panjang sesar dibagi dengan kecepatan penjalaran proses sesar. Lebar spektrum sebanding dengan *corner frequency*, sehingga *corner frequency* berbanding

terbalik dengan dimensi sumber gempa (Ratdomopurbo, 1992).

Untuk perhitungan parameter sumber gempa digunakan model bidang sesar berbentuk lingkaran (Brune, 1970).  $M_0$  (momen seismik),  $r$  (jari-jari sumber gempa), dan  $\Delta\sigma$  (*stress drop*) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$M_0 = \frac{4\pi\rho Vp^3 d\Omega_0}{2R(\theta, \phi)} \quad (11)$$

$$r = \frac{2.34Vp}{2\pi f_0} \quad (12)$$

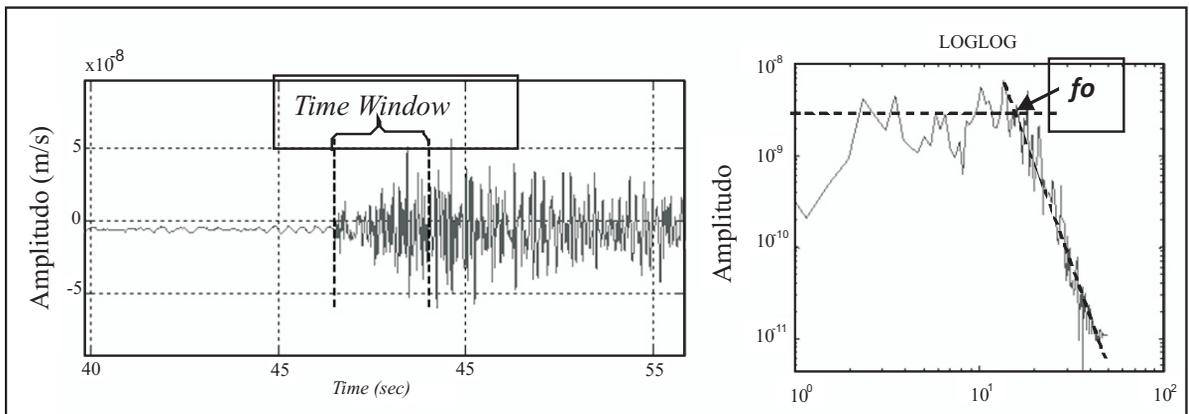
$$\Delta\sigma = \frac{7M_0}{16r^3} \quad (13)$$

- $\rho$  : densitas batuan
- $Vp$  : kecepatan gelombang P
- $d$  : jarak hiposentrum
- $\Omega_0$  : spektral densitas
- $R(\theta, \phi)$  : koefisien radiasi
- $f_0$  : *corner frequency*

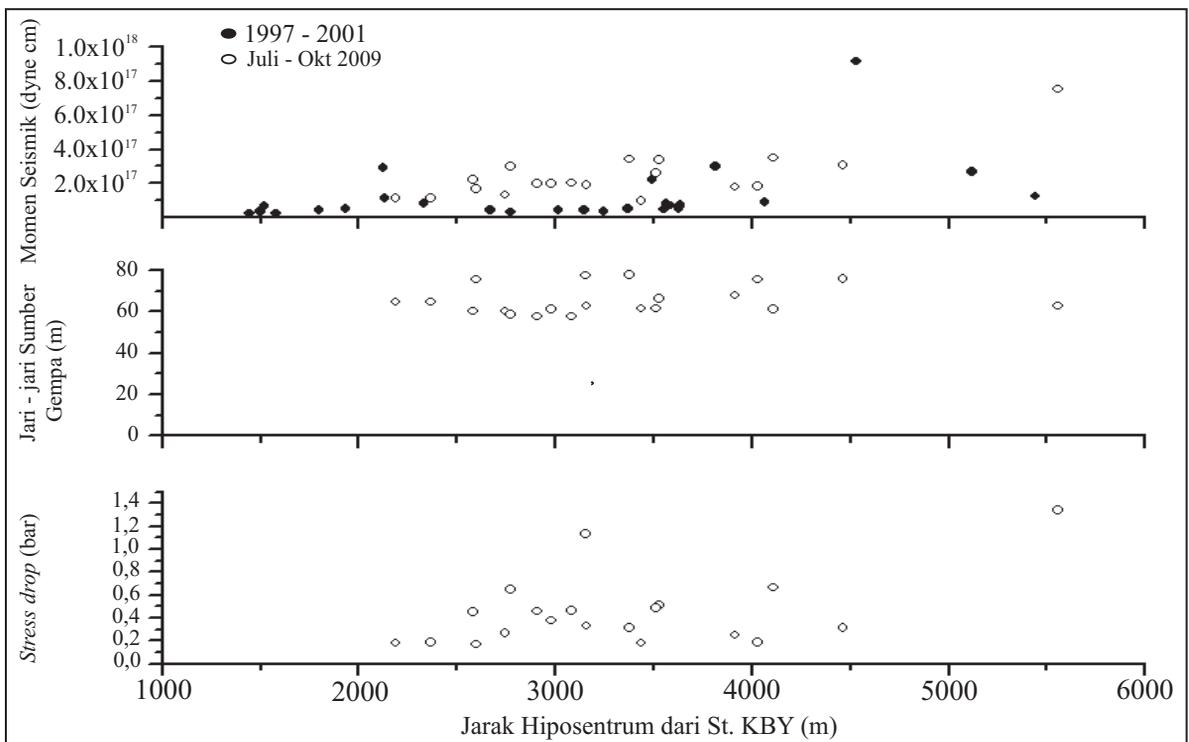
*Corner frequency* ditentukan dari perpotongan antara asymptot frekuensi rendah dan frekuensi tinggi pada spektra *displacement* dalam skala logaritmik (Scherbaum, 1996). Analisis *spectral* dilakukan dengan mengaplikasikan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) pada satu *event* gempa dengan *time-window* 2,56 detik dari awal fase gelombang P (Gambar 5).

Dalam perhitungan momen seismik, telah digunakan nilai densitas medium sebesar 2,6 g/cm<sup>3</sup>, disamakan dengan nilai densitas medium di Gunung Merapi (Ratdomopurbo, 1992). Jarak hiposentrum dihitung berdasarkan posisi hiposentrum yang telah didapatkan sebelumnya dan kecepatan gelombang P ( $Vp$ ) sebesar 2,76 km/dt (Suantika, 1997). Berdasarkan perhitungan momen seismik Gunung Guntur pada tahun 1997 - 2001 dan pada Juli - Oktober 2009, jari-jari sumber gempa dan *stress drop* hanya dilakukan perhitungan pada Juli - Oktober 2009. Momen seismik gempa VT Gunung Guntur adalah sebesar 3,10<sup>16</sup> sampai 9,10<sup>17</sup> dyne cm dengan magnitudo 0,4 sampai 2,9, jari-jari sumber gempa adalah 60 - 77 m, sedangkan *stress drop* berkisar pada 0,59 - 1,3 bar (Gambar 6).

Plotting parameter sumber gempa dilakukan terhadap jarak hiposentrum karena sebaran hipo-



Gambar 5. Spektra gempa pada 05.04 WIB, 25 Agustus 2009, di stasiun Kabuyutan (KBY),  $f_0$  = corner frequency.



Gambar 6. Parameter sumber gempa Gunung Guntur.

sentrum gempa tidak terkonsentrasi pada suatu zona/region. Tidak ada perbedaan yang signifikan pada parameter sumber gempa antara gempa-gempa dengan jarak yang dekat maupun yang jauh terhadap stasiun Kabuyutan (sekitar puncak Gunung Guntur).

Hubungan antara momen seismik ( $M_0$ ), *stress drop* ( $\Delta\sigma$ ), dan jari-jari sumber gempa ( $r$ ) dapat dilihat pada Gambar 7. Momen seismik ( $M_0$ ) dan *stress*

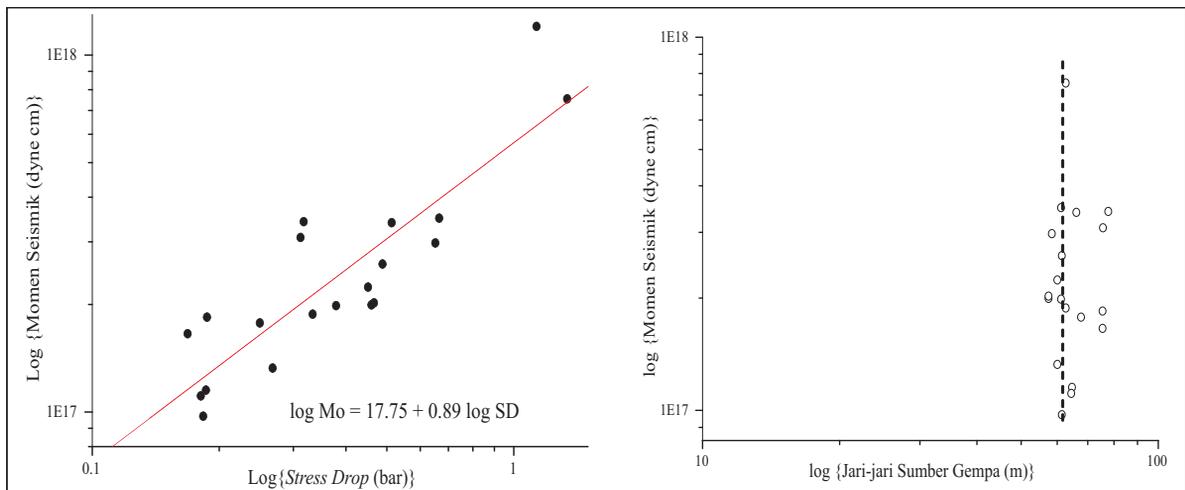
*drop* ( $\Delta\sigma$ ) mempunyai hubungan sebagai berikut:

$$\log(M_0) = 17,75 + 0,89 \log(\Delta\sigma) \quad (14)$$

$$M_0 = 10^{17,75} \times \Delta\sigma^{0,89} \quad (15)$$

( $M_0$  dalam dyne cm,  $\Delta\sigma$  dalam bar).

*Stress drop* mempunyai korelasi yang linier terhadap momen seismik. *Stress drop* sebagai fungsi momen seismik menunjukkan bahwa perbedaan



Gambar 7. Hubungan Momen Seismik ( $M_0$ ), Stress Drop ( $\Delta \sigma$ ), dan Jari-jari Sumber Gempa ( $r$ ) di Gunung Guntur.

*stress* sebelum dan sesudah terjadi gempa sebanding dengan besarnya gempa (Ratdomopurbo, 1992). Semakin besar gempa maka semakin besar pula perbedaan *stress* antara sebelum dan sesudah terjadinya gempa. Hubungan antara momen seismik ( $M_0$ ) dan jari-jari sumber gempa ( $r$ ) menunjukkan bahwa untuk gempa dengan momen lebih kecil daripada  $10^{18}$  dyne cm, jari-jari sumber gempanya adalah konstan, yaitu  $\approx 60$  m.

### KESIMPULAN

Sebaran hiposentrum gempa VT pada periode Juli - Oktober 2009 terkonsentrasi di daerah antara Gunung Guntur dan Gunung Gandapura dengan kedalaman sekitar kurang dari 5 km. Sementara itu, gempa-gempa yang berpusat di daerah Kamojang tidak ditemukan pada periode ini.

Mekanisme sumber gempa di daerah Gunung Guntur - Gunung Gandapura yang tidak unik (sesar turun *oblique*, sesar naik *oblique*, dan sesar geser) ini kemungkinan disebabkan oleh struktur yang cukup rumit di area kompleks Gunung Guntur. Meskipun begitu *T-axis* sesar turun *oblique*, satu garis nodal sesar geser, dan *P-axis* sesar naik *oblique* berarah barat laut - tenggara relatif searah dengan struktur dominan di daerah puncak Guntur.

Hasil plotting parameter sumber gempa terhadap jarak hiposentrum memperlihatkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada parameter sumber

gempa antara gempa-gempa dengan jarak yang dekat maupun yang jauh terhadap stasiun Kabuyutan (sekitar puncak Gunung Guntur). Hubungan antara momen seismik ( $M_0$ ) dan jari-jari sumber gempa ( $r$ ) menunjukkan bahwa untuk gempa dengan momen lebih kecil dari  $10^{18}$  dyne cm, jari-jari sumber gempanya adalah konstan yaitu  $\approx 60$  m.

**Ucapan Terima Kasih**—Para penulis mengucapkan terima kasih kepada pengamat Gunung Guntur, Ade Koswara atas bantuannya selama para penulis melakukan penelitian.

### ACUAN

- Aki, K. dan Richards, P., 1980. *Quantitative seismology*. Second edition, University Science Books, California, h.106-109.
- Alzwar, M., Akbar, N., dan Bachri, S., 1992. *Geologi Lembar Garut dan Pameungpeuk skala 1 : 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Brune, J.N., 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *Journal Geophysical Research*, 75, h.4997-5009.
- Hidayati, S., Ishihara, K., Iguchi, M., dan Ratdomopurbo, 2008. Focal mechanism of volcano-tectonic earthquake at Merapi volcano, Indonesia. *Indonesian Journal of Physics*, 19 (2), h.75 - 82.
- Iguchi, M., Ishihara, K., Takayama, T., Suantika, G., Tjetjep, W.S., Sukhyar, R., Sutawidjaja, I. S., dan Suganda, O. K., 1996. Seismic activity at Guntur volcano, West Java, Indonesia. *Annual Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University 39B-1*, 1-11 (in Japanese, abstract in English).

- Iguchi, M., Ishihara, K., Sutawidjaja, I.S., Suantika, G., Hendrasto, M., dan Suganda, O.K., 1998. Evaluation of the 1997 activity at Guntur volcano. *Proceedings Symposium Japan-Indonesia IDNDR Projects -Volcanology, Tectonics, Flood and Sediment Hazards*, Bandung, h.115-122.
- Kusumadinata, K., 1979. *Data Dasar Gunung api Indonesia*, Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- Lay, T. dan Wallace, T.C., 1995. *Modern Global Seismology*, Academic Press. California, h.104-110.
- Nishi, K., 2005. *Graphical Hypocenter Calculation software* (GrHypo).
- Ratdomopurbo, A., 1992. *Étude de séismes de type-A du volcan Merapi (Indonésie)*. DEA Report, Univ. Joseph Fourier Grenoble I, Grenoble, 60 h.
- Sadikin, N., Iguchi, M., Suantika, G., dan Hendrasto, M., 2007. Seismic activity of volcanotectonic earthquakes at Guntur volcano, West Java, Indonesia during the period from 1991 to 2005. *Indonesian Journal of Physics*, 18 (1), h.21 - 28.
- Sadikin, N., 2008. *Study on volcano-tectonic Earthquakes and Magma Supply System at Guntur volcano with long dormant period*. PhD thesis. Kyoto University, Japan.
- Scherbaum, F., 1996. *Of poles and zeros – Fundamental of digital seismology, Modern approaches in geophysics*. Kluwer Academic Publishers, 18, h. 7-9.
- Suantika, G., Suganda, O.K., Iguchi, M., dan Ishihara, K., 1997. Hypocenter distribution and focal mechanism of volcanic earthquakes around Guntur volcano, West Java, Indonesia. *Annual Disaster Prevention Research Institute*, Kyoto University, 40, h.5-11.
- Suganda, O.K., Abidin, H.Z., Iguchi, M., Hariyanto, A.H., Meilano, I., dan Kusuma, M.A., 1998. Strain components and tilt vector changes at Guntur volcano, during the increasing of seismic activity in 1997. *Proceedings Symposium Japan-Indonesia IDNDR Projects -Volcanology, Tectonics, Flood and Sediment Hazards*, Bandung, h.81-94.
- Sulaeman, C., Hidayati, S., Loeqman, A., Suparman, Y., dan Syahbana, D.K. 2010. Deformasi Gunung Guntur berdasarkan data GPS. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 1 (1), h. 27-34.
- Stein, S. dan Wysession, M., 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*, Blackwell Publishing, Oxford, h.228 – 229.
- Wegler, U. dan Luhr, B., 2001. Scattering Behaviour at Merapi volcano (Java) revealed from an active seismic experiment. *Geophysical Journal International*, 145, h.579-59.