

Identifikasi Lokasi dan Q Factor Hiposenter Gunungapi Marapi, Sumatera Barat

Identification of Hypocenter Location and Q Factor of Marapi Volcano, West Sumatra

Mathesa Resvi Rminda *¹, Kirbani Sri Brotopuspito ¹, Hetty Triastuty ²

¹ Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Yogyakarta

² Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Jl. Diponegoro 57 Bandung

e-mail: *mathesa.resvi.r@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Gunungapi Marapi, Sumatera Barat berada pada tingkat aktivitas level II (status Waspada) sejak Agustus 2011 hingga sekarang. Data sinyal gempabumi vulkanik Agustus-September 2013 yang meliputi sinyal gempabumi Vulkano-Tektonik (VT) dan Tornillo telah diolah untuk mengetahui keberadaan lokasi serta nilai faktor kualitas (Q factor) dari titik-titik hiposenter. Lokasi hiposenter diperoleh dengan menggunakan metode Geiger. Nilai faktor kualitas (Q factor) diperoleh dari perkalian nilai frekuensi dominan dengan phi (π) dan dibagi dengan perkalian koefisien atenuasi terhadap kecepatan perambatan medium oleh gelombang P. Lokasi hiposenter dari gempabumi VT dengan jumlah data 24 event dari 4 stasiun seismik yang tersebar pada sisi barat laut puncak Gunungapi Marapi yang memiliki kedalaman 1.855 m sampai 4.642 m. Data sinyal Tornillo berjumlah 20 event yang terekam pada satu stasiun seismik, dengan komponen vertikal. Untuk sinyal Tornillo, nilai koefisien atenuasi 0,17-0,73 dB/ λ dan asumsi kecepatan rambat medium 2,84 km/s. Untuk gempabumi VT, nilai koefisien atenuasi 0,16-0,4 dB/ λ dan asumsi kecepatan rambat medium berada antara nilai 2,36-2,84 km/s. Nilai Q factor dari gempabumi VT berada pada rentang 14-38 λ /dB dan dari sinyal Tornillo berada pada rentang 9-40 λ /dB. Litologi umum yang diperoleh dari nilai Q factor dapat diklasifikasikan sebagai batuan sedimen (Q= 20-200 λ /dB), batulempung (Q= 20-70 λ /dB), dan batuan dengan gas dalam rongga (Q= 5-50 λ /dB).

Kata kunci: *Gunung Marapi, Volcano-tektonik, Faktor kualitas, Metode Geiger, Hiposenter*

Abstract

Marapi volcano, Sumatera Barat, is on the level II (status: alert) since August, 2011 until present. Earthquake data from August to September 2013, consist of volcano-tectonic (VT) and Tornillo signals. These data were processed to map the hypocenter and Q factor quality from the hypocenter. Hypocenter locations were calculated using Geiger method. Q factor quality value was found from multiplication of dominant frequency value with phi (π) and then divided by attenuation coefficient based on P-velocity. Hypocenter location of VT earthquake were 24 events from four seismic stations to the north west from Marapi summit with depth from 1,855 m to 4,642 m. Signal Tornillo data consist of 20 events from one seismic station. The dominant frequency of Tornillo signal is between 6.25 Hz until 8.59 Hz with attenuation coefficient of 0.17-0.73 dB/ λ and velocity of 2.84 km/s. The dominant frequency of VT earthquake is between 3.52 Hz until 7.81 Hz with attenuation coefficient of 0,16-0,4 dB/ λ and velocity of 2.36 km/s to 2.84 km/s. Q factor of VT earthquake is between 14 /dB until 38 λ /dB and Q factor of Tornillo signal is from 9 λ /dB to 40 λ /dB. From these Q factor, the interpretation of the lithology are sedimentary rock (Q= 20-200 λ /dB), including claystone (Q= 20-70 λ /dB), and rocks with gas pored (Q= 5-50 λ /dB).

Keywords: *Marapi volcano, Volcano-tectonic, Q factor, Geiger method, Hypocenter*

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki 127 gunungapi (Anonim, 2011) yang sebagian besar terbentuk akibat keberadaan zona subduksi dari lempeng Indo-Australia menuju lempeng Eurasia dan subduksi dari lempeng Pasifik menuju lempeng Eurasia. Gunungapi tersebut mendominasi dua pulau besar dengan daerah padat penduduk di Indonesia, yaitu Pulau Sumatera dan Pulau Jawa.

Salah satu gunungapi yang berada di Pulau Sumatera adalah Gunungapi Marapi. Gunungapi ini merupakan gunungapi aktif yang memiliki catatan letusan terbanyak daripada gunungapi aktif lainnya di Pulau Sumatera dengan 64 catatan erupsi sejak tahun 1770. Akan tetapi, Gunungapi Marapi (G. Marapi) memiliki informasi yang masih sangat sedikit karena jarangnyanya penelitian yang dilakukan.

Gunungapi Marapi telah berstatus Waspada sejak 3 Agustus 2011 hingga saat ini. Oleh karena itu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang perkiraan letak kantong magma serta litologi pada hiposenter G. Marapi. Keberadaan kantong magma G. Marapi dianalisis dengan penentuan zona aseismik, yaitu daerah tanpa kehadiran titik-titik hiposenter gempabumi vulkanik. Titik-titik hiposenter tersebut dapat ditentukan dari beberapa metode, yaitu metode hiperbola, metode lingkaran dengan tiga stasiun seismik, metode titik berat, metode gerak partikel, serta metode Geiger. Analisis hiposenter gempabumi pada penelitian ini didekati dengan metode Geiger karena metode ini merupakan metode yang umum digunakan pada daerah dengan jarak relatif dekat antara sumber gempabumi dengan penerima (receiver) gelombang seismik yang dihasilkan oleh gempabumi, seperti daerah gunungapi. Litologi penyusun hiposenter secara umum dapat diperoleh dengan perhitungan nilai faktor kualitas (Q factor) pada titik-titik hiposenter yang terdapat pada G. Marapi.

2. Metode Penelitian

Penelitian gempabumi vulkanik pada G. Marapi berfokus padasinyal gempabumi Vulkanotektonik (VT) dan sinyal Tornillo. Sinyal dari gempabumi VT dapat disamakan dengan sinyal dari gempabumi vulkanik tipe A dan tipe B yang terjadi karena adanya tekanan pada batuan yang dilewati magma ketika magma bergerak dari dalam bumi menuju ke permukaan bumi melalui pipa-pipa magma di dalam tubuh gunungapi, sehingga menghasilkan patahan-patahan kecil (rupture) disekitar ujung tubuh magma (Zobin, 2012). Sedangkan sinyal Tornillo merupakan salah satu jenis sinyal dari gempabumi letusan yang berhubungan dengan kejadian letusan eksplosif kecil yang tidak secara langsung dipengaruhi oleh aktivitas letusan. Sinyal Tornillo biasanya dapat ditemukan sebelum letusan, bersamaan dengan swarms dari gempabumi vulkanik-tektonik, setelah letusan, atau selama gunungapi tersebut tertidur atau diam (Gómez dan Torres, 1997 dalam Zobin, 2012) dengan ciri khas koda gelombang yang menurun secara perlahan-lahan terhadap waktu (Lin dkk., 2005).

Penentuan hiposenter dengan metode Geiger dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Geiger Adaptive Damping memerlukan nilai waktu tiba gelombang P dan gelombang S, nilai koordinat stasiun serta model kecepatan lapisan. Metode Geiger berprinsip bahwa nilai residual dari waktu tiba pengamatan akan linier dengan waktu tiba teoritis gangguan yang terjadi selama penjalaran gelombang dari sumber gempabumi menuju ke stasiun yang dituliskan berikut (Nishimura dan Iguchi, 2011):

$$T_{g,w}^{Obs} \cong T_{g,w}^{Teo} (x_g, y_g, z_g, X, Y, Z, T). \quad (1)$$

Umumnya nilai residual yang dihasilkan besar karena tidak linier terhadap titik hiposenter dan waktu tiba, sehingga dilakukan pendekatan letak dan waktu tiba hiposenter untuk melinierisasikannya. Apabila nilai residual dari pendekatan kecil, maka persamaan (1) dapat diekspansi ke dalam deret Taylor. Hasil selisih dari waktu tiba pengamatan dengan teoritis dinotasikan ke dalam persamaan berikut ini:

$$R_{g,w} = \frac{\partial T_{g,w}^{Teo}}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial T_{g,w}^{Teo}}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial T_{g,w}^{Teo}}{\partial Z} \Delta Z + \frac{\partial T_{g,w}^{Teo}}{\partial T} \Delta T. \tag{2}$$

Persamaan (2) untuk banyak stasiun dapat dituliskan dalam bentuk matriks yang ditulis:

$$\begin{bmatrix} R_{1,P} \\ R_{1,S} \\ R_{2,P} \\ \vdots \\ R_{n,S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial T_{1,P}^{Teo}}{\partial X} & \frac{\partial T_{1,P}^{Teo}}{\partial Y} & \frac{\partial T_{1,P}^{Teo}}{\partial Z} & \frac{\partial T_{1,P}^{Teo}}{\partial T} \\ \frac{\partial T_{1,S}^{Teo}}{\partial X} & \frac{\partial T_{1,S}^{Teo}}{\partial Y} & \frac{\partial T_{1,S}^{Teo}}{\partial Z} & \frac{\partial T_{1,S}^{Teo}}{\partial T} \\ \frac{\partial T_{2,P}^{Teo}}{\partial X} & \frac{\partial T_{2,P}^{Teo}}{\partial Y} & \frac{\partial T_{2,P}^{Teo}}{\partial Z} & \frac{\partial T_{2,P}^{Teo}}{\partial T} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial T_{n,S}^{Teo}}{\partial X} & \frac{\partial T_{n,S}^{Teo}}{\partial Y} & \frac{\partial T_{n,S}^{Teo}}{\partial Z} & \frac{\partial T_{n,S}^{Teo}}{\partial T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ \Delta T \end{bmatrix}. \tag{3}$$

Persamaan matriks (3) tersebut dapat dinyatakan dengan sederhana pada persamaan:

$$R = Mr, \tag{4.a}$$

$$M^T Mr = M^T R, \tag{4.b}$$

$$r = (M^T M)^{-1} M^T R. \tag{4.c}$$

Untuk penyelesaian matriks (3) tersebut dilakukan dengan penyelesaian matematika sebagai penentu inversi nilai residual, yaitu matriks r yang dituliskan dalam persamaan (4). Nilai residual yang diperoleh dalam notasi “r kecil” akan dihitung kembali ke dalam persamaan yang sama, hingga selisih waktu tiba pengamatan dengan teoritis lebih kecil dari nilai residual.

Selanjutnya, nilai Q factor atau faktor kualitas merupakan kemampuan suatu medium untuk meneruskan gelombang yang melaluinya (Wahyudi dan Brotospito, 1999). Penelitian nilai Q factor telah dilakukan pada beberapa gunungapi tipe A, yaitu G. Slamet, G. Semeru, dan G. Sinabung.

Nilai Q factor digunakan sebagai penunjuk jenis medium penyusun atau litologi, termasuk untuk daerah gunungapi. Klasifikasi litologi menurut Sheriff & Geldart (1995) adalah jenis batuan yang didapatkan dari pengamatan lapangan secara umum. Rentang nilai Q factor yang menunjukkan klasifikasi litologi dapat dilihat pada Tabel 1.

Faktor kualitas atau Q factor hiposenter adalah nilai atenuasi pada medium di titik hiposenter yang dilewati oleh gelombang yang dihasilkan karena adanya pelepasan energi secara tiba-tiba berupa patah pada medium tersebut. Persamaan Q Factor secara umum dapat di tuliskan dalam persamaan (Aki dan Richards, 2002):

$$Q = f\pi/\alpha v, \tag{5}$$

dengan Q adalah notasi dari nilai Q factor. Hubungan koefisien redaman (α) dan faktor kualitas (Q) dari persamaan (5) berbanding terbalik yang bergantung padafrekuensi (f) dan kecepatan gelombang yang merambat dalam medium tersebut (v).

Tabel 1. Nilai Q factor dari variasi medium penyusun (Sheriff dan Geldart, 1995)

Litologi	Q	Δ (dB)
Batuan sedimen	20-200	0,16-0,02
Batupasir	70-130	0,04- 0,02
Batulempung	20-70	0,16-0,05
Batugamping	50-200	0,06-0,02
Batuan dengan gas dalam rongga	5-50	0,63-0,06
Batuan metamorf	200-400	0,02-0,01

Nilai frekuensi dominan diperoleh dari frekuensi yang berasal dari sumber gempabumi terjadi, baik dari sinyal gempabumi VT maupun sinyal Tornillo. Sedangkan nilai koefisien atenuasi diperoleh dari grafik logaritma peluruhan amplitudo terhadap waktu sinyal. Untuk model kecepatan G. Marapi yang digunakan adalah model kecepatan dari G. Sinabung karena terletak dekat dengan G. Marapi sehingga diperkirakan memiliki medium yang serupa dengan G. Marapi. Nilai Q factor yang telah diperoleh akan dikorelasikan dengan keberadaan letak hiposenter agar diperoleh informasi dasar berupa litologi umum batuan penyusun hiposenter G. Marapi.

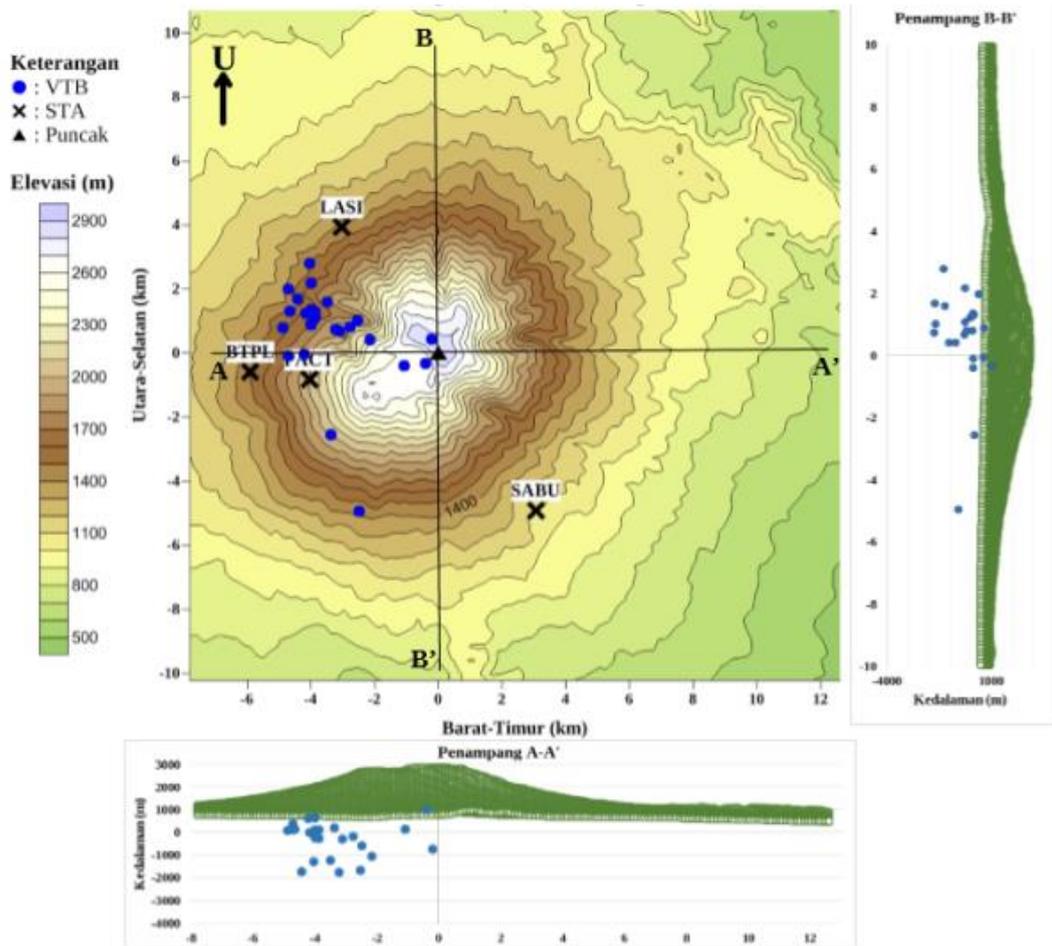
3. Hasil dan Pembahasan

Hiposenter

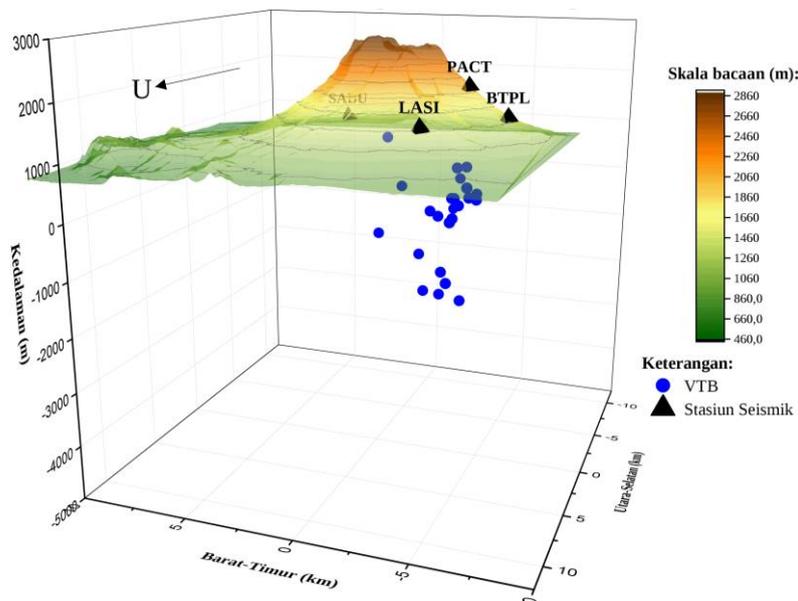
Data gempabumi vulkanik yang diolah dalam penentuan hiposenter merupakan data sinyal gempabumi VT yang menunjukkan pergerakan magma ke permukaan (Gambar 1). Titik hiposenter yang diperoleh menunjukkan arah pergerakan magma sebelum letusan terjadi. Akan tetapi, penentuan hiposenter pada data sinyal Tornillo tidak dapat dihasilkan karena hanya terekam pada stasiun seismik Batu Palano (BTPL) dengan seismometer short period tipe L4C, 1 komponen (vertikal).

Pada data harian G. Marapi (Anonim, 2014), gempabumi VT selama bulan Agustus- September 2013 terdapat 29 event. Namun, data sinyal gempabumi VT yang ditemukan berupa data sinyal gempabumi VT (Vulkano-Tektonik dangkal) terdiri dari 9 event pada bulan Agustus 2013 dan 15 event pada bulan September 2013. Titik hiposenter yang diperoleh terkumpul pada daerah barat laut dari tubuh G. Marapi yang dapat terlihat pada sebaran episenter sebagai proyeksi titik hiposenter pada permukaan yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Pola persebaran serta kedalaman dari gempabumi VT dapat dilihat pada penampang hiposenter barat-timur serta pada penampang selatan-utara pada Gambar 2. Kedalaman gempabumi VT yang diperoleh relatif dangkal berkisar antara kedalaman 1.800 m sampai 4.600 m (Gambar 2). Titik-titik hiposenter yang terlihat menunjukkan bahwa gempabumi VT terjadi akibat aktivitas vulkanik berupa pergerakan magma yang diperkirakan dari kantong magma menuju ke permukaan dan keberadaan VT tidak selalu dipengaruhi oleh keberadaan sesar besar Sumatera, yaitu sesar Semangko yang berada pada daerah barat daya di kaki G. Marapi.



Gambar 1. Episenter G. Marapi dari data sinyal gempabumi VT. Titik berwarna biru menunjukkan lokasi titik gempa (hiposenter).



Gambar 2. Sebaran hiposenter (tampak vertikal) G. Marapi pada Agustus- September 2013.

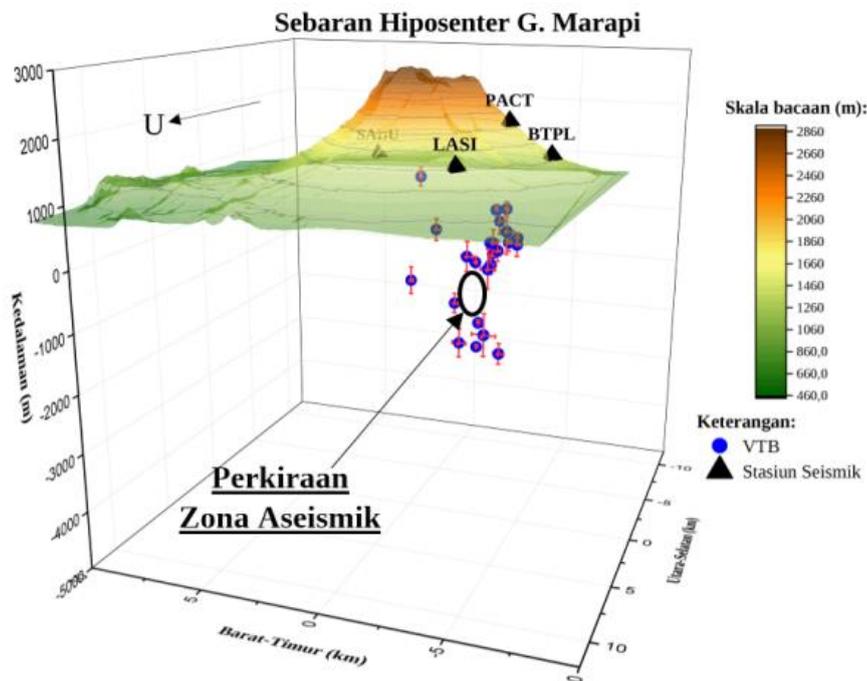
Zona Aseismik

Keberadaan kantong magma G. Marapi yang dianalisis dari pengolahan hiposenter dari sinyal gempabumi VTB, terdapat pada zona yang tidak memiliki kejadian gempabumi VTB. Ketiadaan titik hiposenter dapat diasumsikan bahwa pada zona tersebut terdapat kantong magma dengan suhu yang tinggi sehingga gelombang S tidak dapat melewati daerah tersebut berdasarkan sifat gelombang S yang tidak dapat merambat pada medium selain medium padat.

Apabila asumsi tersebut digunakan, maka kantong magma dari G. Marapi dapat dikatakan dangkal karena keberadaan zona aseismik tersebut berada pada kedalaman lebih kurang antara 3.100 m sampai 4.100 m dari puncak G. Marapi (Gambar 3).

Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan diperoleh dari pengolahan FFT (Fast Fourier Transform) terhadap sinyal atau event gempabumi dalam kawasan waktu yang terlihat jelas atau yang dapat diidentifikasi bahwa sinyal tersebut benar merupakan sinyal gempabumi VTB atau sinyal Tornillo yang selanjutnya akan diubah ke dalam kawasan frekuensi. Nilai frekuensi dominan dari sinyal Tornillo berada pada rentang 6,25 Hz sampai 8,59 Hz. Berdasarkan pengolahan data sinyal gempabumi VTB dalam kawasan frekuensi secara keseluruhan diperoleh nilai frekuensi dominan sebesar 3,52 Hz sampai 7,81 Hz.



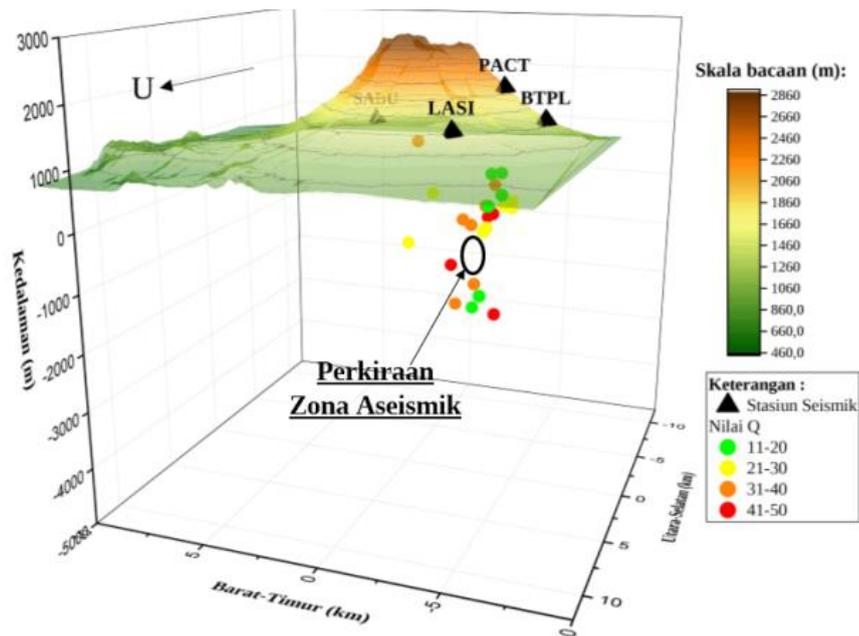
Gambar 3. Perkiraan zona aseismik G. Marapi sebagai kantong magma

Koefisien Atenuasi

Hasil nilai koefisien atenuasi dari gempabumi VTB maupun Tornillo bervariasi yang dapat disebabkan oleh medium atau litologi batuan yang dilewati oleh sinyal gempabumi pada hiposenter berbeda-beda. Nilai koefisien atenuasi yang diperoleh dari gempabumi VTB berada pada rentang 0,16 dB/λ sampai 0,40 dB/λ dengan panjang sinyal rata-rata 5 detik hingga 10 detik. Sedangkan nilai koefisien atenuasi dari sinyal Tornillo berada pada rentang 0,17 dB/λ sampai 0,73 dB/λ dengan panjang sinyal rata-rata 3 detik hingga 14 detik.

Nilai Faktor Kualitas (Q Factor) Hiposenter

Penelitian Q factor dilakukan dengan data sinyal gempabumi VTB dan sinyal Tornillo. Data pengolahan terdiri dari 24 event sinyal pengamatan gempabumi VTB serta 20 event sinyal pengamatan Tornillo. Titik hiposenter dengan nilai Q factor yang besar hingga kecil pada Gambar 7 berturut-turut ditunjukkan oleh warna merah, jingga, kuning, dan hijau. Nilai Q factor yang berada di sekitar zona aseismik didominasi oleh nilai 21-50 λ /dB dengan warna titik hiposenter kuning, jingga, serta merah (Gambar 4). Maka dapat diperkirakan bahwa terjadi redaman yang kecil dari batuan karena medium yang berada pada zona tersebut telah terlelehkan oleh magma, sehingga nilai koefisien atenuasi di sekitar daerah tersebut kecil. Sedangkan medium yang jauh dari magma, memiliki nilai Q factor relatif kecil karena medium tersebut mempunyai nilai koefisien yang tinggi.



Gambar 4. Nilai Q factor yang bervariasi terhadap kedalaman

Hasil perhitungan nilai Q factor diperoleh 14-45 λ /dB untuk sinyal gempabumi VTB dan 9-40 λ /dB untuk sinyal Tornillo. Nilai Q factor tersebut dapat diklasifikasikan sesuai litologi batuan, dengan rentang Q factor 20-200 λ /dB menunjukkan keberadaan batuan sedimen dan nilai Q factor 20-70 λ /dB menunjukkan batulempung, serta nilai Q factor 5-50 λ /dB menunjukkan adanya batuan dengan gas dalam rongga (Sheriff dan Geldart, 1995). Keberadaan batuan sedimen dapat diperkirakan sebagai hasil erosi produk erupsi G. Marapi yang terendapkan dan kemudian tertimbun ke dalam tubuh gunungapi. Sedangkan keberadaan batulempung dapat diidentifikasi sebagai hasil dari alterasi terhadap batuan sedimen yang ada. Kemudian untuk batuan dengan gas dalam rongga dapat dikatakan bahwa magma pada tubuh G. Marapi sangat panas, sehingga batuan beku yang bersifat intermediet akan berpori dan pori pada batu tersebut akan terisi gas-gas dari magma tubuh gunungapi.

Dominasi litologi batuan dengan gas dalam rongga pada titik hiposenter dibuktikan dengan keberadaan fluida dengan nilai massa jenis yang rendah, yaitu fluida berupa gas. Medium dengan nilai Q factor yang tinggi teridentifikasi memiliki nilai massa jenis fluida yang rendah, maka semakin tinggi nilai Q factor akan menghasilkan medium bernilai massa jenis rendah. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa keberadaan magma pada zona aseismik telah melelehkan batuan yang berada di sekitarnya dan mengisi batuan tersebut dengan fluida gas pada rongga-rongga batuan. Nilai massa jenis fluida yang diperoleh dari titik hiposenter sinyal gempabumi VTB berada pada rentang 0,10-0,39 gr/cm^3 . Pada sinyal Tornillo dengan titik hiposenter yang tidak terdefinisi memiliki nilai massa jenis fluida pada rentang 0,14-0,59 gr/cm^3 .

Perbandingan massa jenis dari sinyal gempabumi VT adalah 0,04-0,16 terhadap nilai kecepatan sebesar 1,18-1,42. Sedangkan pada sinyal Tornillo diperoleh perbandingan massa jenis 0,06-0,24 terhadap nilai kecepatan ialah 1,42. Sehingga dapat dihasilkan klasifikasi fluida berupa gas H₂O dan gas CO₂.

4. Kesimpulan

Dari pengolahan dan analisa data sinyal gempabumi VT dan sinyal Tornillo selama Agustus-September 2013, dapat disimpulkan bahwa hiposenter tersebar di daerah barat laut tubuh G. Marapi dengan kedalaman 1.855 m sampai 4.642 m. Selain itu, ditemukan bahwa zona aseismik, yang diperkirakan sebagai kantong magma, terletak pada kedalaman 3.129 m hingga 4.124 m dari puncak G. Marapi, dengan perkiraan tinggi kantong magma lebih kurang 1.000 m. Nilai Q factor G. Marapi dari pengolahan data sinyal Tornillo berada pada rentang 9 λ /dB hingga 40 λ /dB dan data sinyal gempabumi VT berada pada rentang 14 λ /dB hingga 38 λ /dB. Sehingga dapat diinterpretasikan bahwa litologi batuan pentusun hiposenter G. Marapi didominasi oleh keberadaan batuan dengan gas dalam pori yang memiliki nilai Q factor 5 λ /dB hingga 50 λ /dB.

Daftar Pustaka

- Aki, K., dan Richards, P.G., 2002, *Quantitative Seismology, 2nd ed*, University Science Books, California.
- Anonim, 2011, Data Dasar Gunung Api Indonesia: Wilayah Barat, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Anonim, 2014, Data Harian Gunung Marapi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Bandung.
- Kumagai, H., dan Chouet, B.A., 2000, Acoustic Properties of a Crack Containing Magmatic or Hydrothermal Fluids, *Journal of Geophysical Research*, B11, 105, 493-512.
- Lin, C.H., Konstantinou, K.I., Liang, W.T., Pu, H.C., Lin, Y.M., You, S.H., dan Huang, Y.P., 2005, Preliminary Analysis of Volcano Seismic Signals, *Solid Earth*, Volume 32, Issue 10, doi: 10.1029/2005GL022861
- Nishimura, T., dan Iguchi, M., 2011, *Volcanic Earthquakes and Tremor in Japan*, Kyoto University Press, Jepang.
- Sheriff, R.E. dan Geldart, L.P., 1995, *Exploration Seismology, 2nd ed*, Cambridge University Press, New York.
- Wahyudi, dan Brotospito, K.S., 1999, Studi Redaman Medium Terhadap Gelombang Seismik Gunung Api Slamet, Jawa Tengah, *Jurnal Fisika Indonesia*, No. 111, Vol. 10, Hal. 53-65.
- Zobin, V.M., 2012, *Introduction to Volcanic Seismology, 2nd ed*, Elsevier, London.