

Identifikasi Kantung Magma Gunung Bromo Berdasarkan Analisa Sebaran Hiposenter Gempa VTA

Sri Dwi Wuryani*, Sukir Maryanto, Ahmad Nadhir
Jurusan Fisika FMIPA Univ. Brawijaya
*Email: 115090701111005@mail.ub.ac.id

Abstract

Gunung Bromo merupakan salah satu dari serangkaian gunungapi aktif di Indonesia yang terletak di dalam kaldera Tengger, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. Dalam sejarahnya, tercatat bahwa Gunung Bromo telah mengalami lebih dari 50 kali erupsi sejak tahun 1775. Penelitian guna mengetahui geometri dari kantung magma Gunung Bromo telah dilakukan dengan menganalisa sebaran hiposenter gempa vulkanik dalam (VTA). Gempa VTA merupakan gempa yang terjadi di gunungapi yang disebabkan oleh proses pergerakan magma di kantung magma. Penelitian dilakukan terhadap data rekaman seismik Bromo pada bulan Februari – Maret 2014. Penentuan posisi hiposenter dilakukan dengan metode GAD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hiposenter gempa VTA tersebar di bawah kawah Bromo dengan kedalaman ± 2 km – 15 km dari puncak kawah Bromo. Selain itu, titik episenter tersebar dengan radius ± 25 m dari pusat kawah pada arah Timur Laut-Baratdaya. Posisi hiposenter gempa mengindikasikan bahwa Gunung Bromo memiliki 2 (dua) buah kantung magma dengan ukuran berbeda. Kantung magma dangkal dengan ukuran lebih kecil berada di kedalaman sekitar 2 km hingga 5 km dari puncak yang ditunjukkan oleh sebaran hiposenter yang rapat. Sedangkan kantung magma yang lebih besar berada di kedalaman sekitar 7 km hingga 15 km dari puncak Bromo.

Kata kunci : Bromo, VTA, hiposenter, episenter, kantung magma.

I. Pendahuluan

Gunung Bromo merupakan salah satu dari jajaran gunungapi aktif tersebut yang terletak di dalam kaldera Tengger, Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur. Dalam sejarahnya, tercatat bahwa sejak tahun 1775 Gunung Bromo telah mengalami lebih dari 50 kali erupsi dan masih aktif hingga saat ini [1]. Erupsi terakhir terjadi pada tahun 2010 dan merupakan periode erupsi paling lama dalam sejarah letusan Gunung Bromo. Pada erupsi tersebut, Gunung Bromo terus menerus mengalami fluktuasi aktivitas vulkanik hingga akhirnya erupsi berakhir pada tahun 2011. Erupsi terbesar pada periode terakhir ini menimbulkan pijaran lava di kawah Bromo akibat hancurnya kubah lava.

Gunung Bromo terletak pada koordinat geografis $7^{\circ} 56.30'$ LS and $112^{\circ} 57'$ BT dengan ketinggian puncak kawah mencapai 2.329 meter di atas permukaan laut dengan kawah berukuran sekitar 600 m x 800 m. Gunung Bromo termasuk dalam tipe gunungapi Stombolian dengan jenis erupsi bersifat freatomagmatik [1].

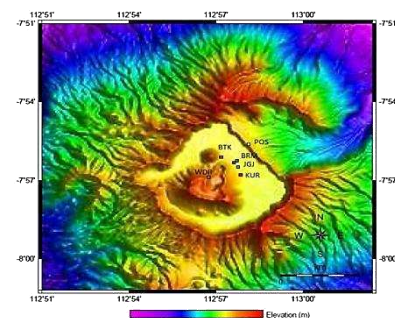
Berbagai metode geofisika telah diterapkan dalam proses pemantauan aktivitas vulkanik di Gunung Bromo. Salah satunya adalah metode seismik. Saat ini, metode seismik merupakan salah satu metode geofisika utama dalam pemantauan gunungapi karena metode seismik merupakan metode pengamatan yang dapat dilakukan secara kontinyu. Dalam penelitian ini, metode seismik diterapkan untuk mengidentifikasi kantung magma dari Gunung Bromo melalui

analisa terhadap sebaran hiposenter gempa vulkanik A (VTA).

Stasiun pengamatan Gunung Bromo telah memasang 3 (tiga) buah stasiun perekaman seismik disekitar yaitu stasiun Bromo (BRM), stasiun Widodaren (WIDB) dan stasiun Pos (POS). Lokasi dari stasiun seismik tersebut dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 1.

Tabel 1. Lokasi koordinat stasiun seismik dan titik *Benchmark* Gunung Bromo

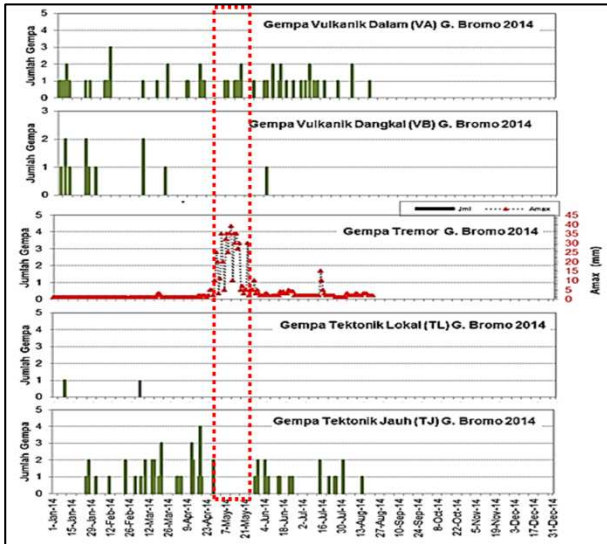
Stasiun	Lintang (LS)	Bujur (BT)	Elevasi (m)
St.POS	$7^{\circ}55'40.66''$	$112^{\circ}58'7.53''$	2275
St.WDR	$7^{\circ}56'53.03''$	$112^{\circ}56'45.00''$	2458
St.BRM	$7^{\circ}56'14.94''$	$112^{\circ}57'43.80''$	2165



Gambar 1. Peta Lokasi Stasiun Seismik Gunung Bromo. Ket: Titik hijau merupakan stasiun seismik sedangkan titik merah merupakan posisi benchmark, titik kuning merupakan titik referensi dan stasiun seismik POS [2].

Jenis Gempa yang terekam dari stasiun seismik Gunung Bromo umumnya berupa Gempa Tektonik Jauh, Gempa Tektonik Lokal, Gempa

Vulkanik-Dalam, Gempa Vulkanik Dangkal, Gempa Hembusan dan Gempa Tremor. Pada kondisi normal jumlah gempa yang terekam umumnya didominasi oleh Gempa Tektonik Jauh. Grafik kegempaan Gunung Bromo pada selama Januari hingga Agustus 2014 dapat dilihat di Gambar 2.



Gambar 2. Grafik kegempaan Gunung Bromo pada tahun 2014.

Salah satu cara untuk menentukan posisi hiposenter adalah dengan metode GAD atau *Geiger's method with Adaptive Damping*. Prinsip yang digunakan dalam metode Geiger adalah menghitung selisih antara waktu pengamatan dan waktu perhitungan (persamaan 1) [3]

$$r_i = t_{obs}^i - t_{calc}^i \quad (1)$$

Keterangan:

r_i = selisih antara hasil pengamatan dan hasil perhitungan pada stasiun ke-i

t_{obs}^i = waktu tempuh gelombang seismik pada stasiun ke-i (x_i, y_i, z_i) dari pusat gempa (hiposenter).

t_{calc}^i = waktu tempuh yang dihitung berdasarkan model kecepatan bawah permukaan.

Metode GAD hanya valid untuk diterapkan pada maksimum 6 lapisan. Persamaan yang digunakan dalam metode Geiger persamaan 2.

$$r_i = \left(\frac{\partial t_i^{cal}}{\partial x_i} \right) \Delta x + \left(\frac{\partial t_i^{cal}}{\partial y_i} \right) \Delta y + \left(\frac{\partial t_i^{cal}}{\partial z_i} \right) \Delta z + \Delta t_0 \quad (2)$$

dimana:

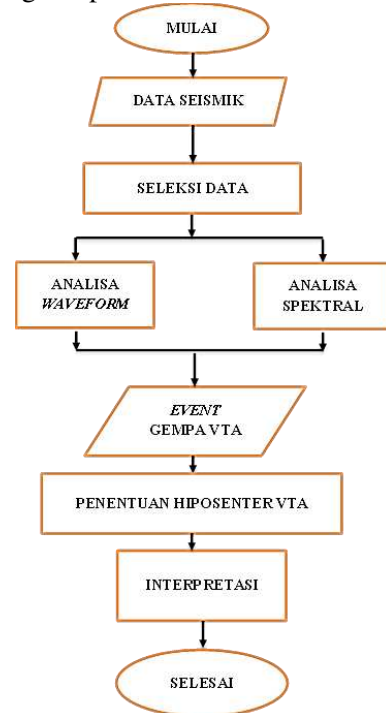
$\left(\frac{\partial t_i^{cal}}{\partial x_i} \right), \left(\frac{\partial t_i^{cal}}{\partial y_i} \right), \left(\frac{\partial t_i^{cal}}{\partial z_i} \right)$ = turunan parsial dari waktu tempuh perhitungan terhadap lokasi hiposenter awal.

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ dan Δt = perubahan lokasi hiposenter dan waktu tiba

r_i = selisih antara hasil pengamatan dan hasil perhitungan pada stasiun ke-i.

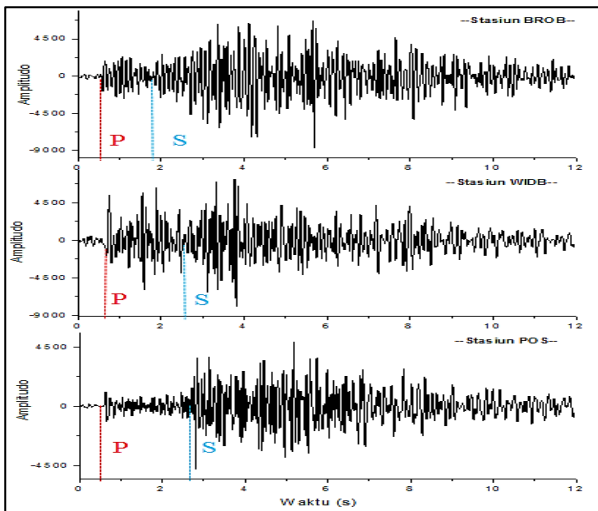
II. Metode

Penelitian ini dilakukan berdasarkan alur dalam diagram pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alur penelitian

Pada penelitian ini, digunakan data sekunder berupa rekaman aktivitas seismik Gunung Bromo pada Februari – Maret 2014. Data kemudian diseleksi untuk memperoleh *event* gempa vulkanik A (VTA). Proses seleksi data dilakukan dengan menggunakan analisa bentuk gelombang yakni dari jelas-tidaknya waktu tiba gelombang P (t_p) dan Gelombang S (t_s) dan analisa spektral. Sinyal dari gempa vulkanik A memiliki t_p dan t_s yang jelas dimana t_p-t_s (selang waktu tiba gelombang P dan S) kurang dari 4-5 sekon. Berdasarkan analisa spektral, sinyal seismik dari gempa vulkanik A memiliki frekuensi >5 Hz. Dengan menggunakan pedoman tersebut, maka dalam penelitian ini didapatkan 13 event gempa vulkanik A yang terjadi selama Februari-Maret 2014. Salah satu sinyal seismik yang teridentifikasi sebagai sinyal gempa vulkanik A dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Salah satu event gempa vulkanik A yang terjadi pada 4 Februari 2014 pada jam 15.13 dengan $t_s-t_p = 2-2.5$ detik.

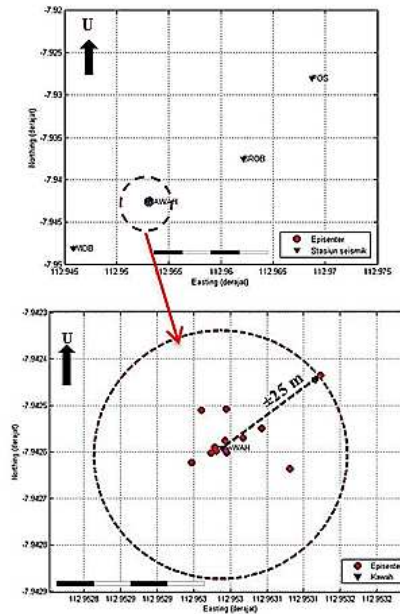
Penentuan hiposenter atau pusat gempa dilakukan dengan menggunakan *software GAD* yang bekerja berdasarkan metode Geiger. masukan pada *software GAD* antara lain koordinat stasiun dalam sistem koordinat XYZ (*station.dat*), event gempa VTA (*arrival.dat*) dan data kecepatan gelombang seismik di bawah permukaan (*velocity.dat*). Nilai-nilai yang dimasukkan ke dalam ketiga data masukan tersebut harus sesuai dengan format dari *software GAD*. Setelah *software* dijalankan, maka akan hasilnya akan muncul dalam file *result.dat* yang berisi informasi mengenai perkiraan posisi hiposenter gempa vulkanik A. Posisi hiposenter kemudian di plot dalam grafik sehingga dapat diketahui pola persebarannya sehingga dapat diperkirakan geometri kantung magma Gunung Bromo.

III. HASIL DAN INTERPRETASI

Selama Februari hingga Maret 2014, gempa vulkanik tipe A tercatat sebanyak 13 gempa, untuk gempa vulkanik B hanya tercatat sebanyak 3 gempa, untuk gempa tektonik jauh tercatat sebanyak 16 gempa, dan gempa tektonik lokal hanya tercatat sebanyak 2 gempa.

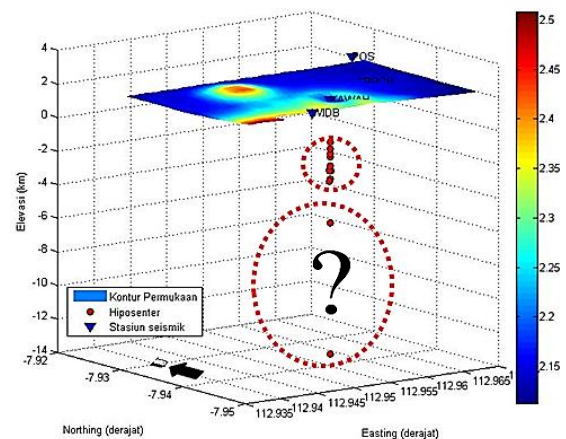
Penyebaran titik hiposenter atau pusat gempa dari gempa VTA ditentukan dengan menggunakan program *GAD*. Hasil perhitungan digambarkan dalam plot sebaran episenter (Gambar 5) dan plot sebaran hiposenter gempa VTA (gambar 6). Episenter merupakan titik proyeksi dari hiposenter ke permukaan bumi. Sedangkan Hiposenter merupakan titik pusat gempa atau titik dimana sumber gempa berasal. Dari pola sebaran episenter, diketahui bahwa titik persebaran episenter berada di sekitar kawah Gunung Bromo dengan radius ± 25 m dari tengah kawah Gunung

Bromo dengan *trend* yang mengarah dari Baratdaya ke Timur Laut..



Gambar 5. Sebaran titik episenter gempa vulkanik A Gunung Bromo. Sebaran episenter mencapai radius ± 25 m dari kawah.

Plot hiposenter menunjukkan bahwa sumber gempa vulkanik A mencapai kedalaman sekitar 13 km dari permukaan bumi atau sekitar 15 km dari puncak kawah (Gambar 6).



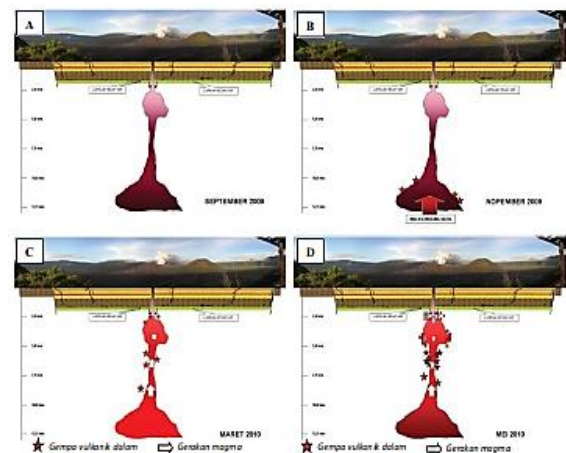
Gambar 6. Plot sebaran titik-titik hiposenter gempa VTA. Tampak bahwa terdapat 2 kelompok sebaran hiposenter yang menunjukkan kemungkinan adanya 2 kantung magma yang terhubung.

Pola sebaran hiposenter mengindikasikan kemungkinan adanya 2 kantung magma yang saling berhubungan di bawah permukaan Gunung Bromo. Kantung magma yang berada pada kedalaman 2 km – 5 km dari puncak memiliki geometri yang lebih kecil dibandingkan dengan kantung magma di bawahnya yakni pada kedalaman 7 km – 15 km dari puncak Bromo. Interpretasi ini didukung pula oleh hasil penelitian dari Zaennudin (2012) [4] mengenai model

kantung magma Gunung Bromo. Dari hasil analisa hiposenter dari data Februari 2014 hingga Maret 2014, menunjukkan adanya kemiripan dengan hasil penelitian Zaenudin (Gambar 7).

Zaenudin (2012) menunjukkan bahwa Gunung Bromo memiliki 2 (dua) kantung magma. Kantung magma dangkal berada pada kedalaman 2,5 km - 5 km dari permukaan laut atau 4,5 km - 7 km dari puncak kawah. Sedangkan kantung magma yang lebih dalam terletak pada kedalaman 10 km - 12,5 km di bawah permukaan laut atau 12 km - 14,5 km di bawah puncak kawah. Model kantung magma yang dibuat didasarkan analisa gempa pada letusan Gunung Bromo tahun 2010-2011. Kantung magma yang dimodelkan lebih detail karena pada saat kenaikan aktivitas vulkanik suatu gunungapi, akan disertai oleh kenaikan aktivitas kegempaan termasuk di dalamnya adalah kenaikan aktivitas gempa vulkanik A. Dengan semakin banyaknya data yang dianalisa, maka hasil model dapat memberikan informasi model kantung magma yang lebih detail.

Sinyal dari suatu gempa vulkanik A menunjukkan adanya peristiwa kenaikan magma dari kantung magma. Penelitian Zaenudin menunjukkan bahwa posisi hiposenter gempa vulkanik A membentuk suatu geometri kantung magma dan menunjukkan adanya suplai magma.



Gambar 7. Model kantung magma dan proses suplai magma Gunung Bromo sebelum letusan tahun 2010-2011 oleh Zaenudin (2012)

IV. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa Gempa VTA di Gunung Bromo tersebar di kedalaman 2 km - 15km di bawah kawah dengan radius ± 25 m dari pusat kawah Gunung Bromo. Pola sebaran hiposenter menunjukkan bahwa Gunung Bromo memiliki 2 kantung magma. Kantung magma dangkal berada pada kedalaman 2 km hingga 6 km dari puncak dan kantung magma dalam berada pada kedalaman 7 km hingga 15 km dari puncak Gunung Bromo.

V. Daftar Pustaka

- [1] Kusumadinata. 1979. Data Dasar Gunungapi Indonesia. Bandung: Directorate of Volcanology.
- [2] Kunrat, Syegi L, dkk. 2014. Laporan Penelitian Gunung Bromo. Badan Geologi, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi
- [3] Madrinovella, Iktri, Sri Widiyantoro, Andri Dian Nugraha, Hetty Triastuty. 2012. Studi Penentuan dan Rekolasi Hiposenter Gempa Mikro Sekitar Cekungan Bandung. Jurnal Geofisika.13: 80-88.
- [4] Zaennudin, Akhmad, Kristianto, dan Efrita Lusy A.S. 2012. *Model Erupsi Gunung Bromo di Jawa Timur pada Tahun 2010 - 2011*. Badan Geologi. Bandung.