

Analisis Sebaran Hiposenter Gempa Vulkanik Gunung Marapi Menggunakan Metode *Geiger's with Adaptive Damping* (GAD)

Sri Hamdiyessi^{1,*}, Marzuki Marzuki¹, Ardian Putra¹, Novianti Indrastuti²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

²Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 16 Juni 2022

Direvisi: 2 Juli 2022

Diterima: 5 Juli 2022

Kata kunci:

gempa
gunung marapi
hiposenter

Keywords:

earthquake
marapi mountain
hypocenter

Penulis Korespondensi:

Sri Hamdiyessi
Email: shamdiyessi@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian tentang klasifikasi gempa dan sebaran hiposenter gempa Gunung Marapi telah dilakukan. Distribusi hiposenter dilakukan menggunakan *Geiger's method with Adaptive Damping* (GAD). Penelitian menggunakan data rekaman seismogram dari Januari sampai dengan Mei 2019. Dalam periode ini terdapat 82 kejadian gempa vulkanik, terdiri dari 69 vulkanik dalam (VA) dan 13 gempa vulkanik dangkal (VB). Dari jumlah ini, hanya 16 *event* gempa yang dapat dianalisis dan semuanya merupakan gempa vulkanik dalam (VA), karena hanya gempa ini yang terekam minimal oleh tiga stasiun. Gempa dominan terjadi pada bulan Mei yang menandai kenaikan aktivitas dari Gunung Marapi. Hiposenter tersebar pada kedalaman 2600 – 4700 m. Episenter tersebar mengelilingi puncak Gunung Marapi dimana jarak antar episenternya mengelilingi puncak kawah dengan jarak episenter 1 – 7 km dari puncak kawah. Hiposenter dan episenter memiliki sebaran yang tidak beraturan dan magma bergerak dari Barat Laut ke Tenggara. Sebaran hiposenter ini cukup dekat dari kawah Gunung yang menandai kemungkinan untuk terjadi erupsi. Dengan demikian, terjadi lonjakan aktivitas Gunung Marapi tetapi tidak disertai kenaikan level aktivitas gunung.

Research on earthquake classification and the distribution of the earthquake hypocenter of Mount Marapi has been carried out. The hypocenter distribution was investigated using Geiger's method with Adaptive Damping (GAD). The study used seismogram data recorded data from January to May 2019. During this period, there were 82 volcanic earthquakes, including 69 deep volcanic (VA) and 13 shallow volcanic earthquakes (VB). Of this number, only 16 earthquake events could be analyzed, and all of them were deep volcanic earthquakes (VA) because at least three stations recorded only these earthquakes. The dominant earthquake occurred in May, indicating increased activity from Mount Marapi. The hypocenter is spread out at a depth of 2600 – 4700 m. The epicenters are distributed around the peak of Mount Marapi, where the distance of the epicenters encircles the top of the crater from the top of the crater, being 1-7 km. The hypocenter and epicenter have an irregular distribution, and magma moves from Northwest to Southeast. The distribution of this hypocenter is close enough to the volcano's crater to indicate the possibility of an eruption. While there was a spike in the activity of Mount Marapi but an increase in mountain activity level did not accompany it.

Copyright © 2022 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Salah satu gunung api yang berada di Pulau Sumatra yaitu Gunung Marapi. Gunung api ini merupakan salah satu gunung api aktif yang memiliki catatan letusan terbanyak daripada gunung api aktif lainnya di Pulau Sumatra dengan jumlah letusan lebih dari 500 kali sejak tahun 1770. Akan tetapi, Gunung Marapi memiliki informasi yang sangat sedikit karena jarang nya penelitian yang dilakukan (Badan Geologi, 2019).

Seluruh aktivitas yang dilakukan Gunung Marapi dipantau langsung Pos Pengamatan Gunung Api (PGA) Gunung Marapi di Kota Bukittinggi. Dalam Pemantauannya, terdapat 8 stasiun seismik yang tersebar di sekitar gunung. Data yang dihasilkan yaitu rekaman data seismogram. Gunung Marapi telah berstatus waspada sejak 3 Agustus 2011 hingga sekarang berdasarkan data dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Pemantauan aktivitas seismik pada gunung api menjadi sangat penting untuk peringatan dan mitigasi bencana terkait meletusnya gunung api. Gunung api yang akan meletus memiliki aktivitas seismik berupa tremor gempa vulkanik yang disebabkan oleh gaya yang berasal dari dalam bumi akibat terganggunya sistem kesetimbangan magma dan sistem kesetimbangan geologi.

Aktivitas seismik pada gunung api dapat memberikan informasi studi keempaan. Klasifikasi gempa dapat mengetahui karakteristik gempa vulkanik dan pemetaan hiposenter dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas gunung api. Penentuan distribusi hiposenter bisa dilakukan menggunakan beberapa metode yaitu metode lingkaran, metode *Single Event Determination* (SED) dan metode *Geiger's Adaptive Damping* (GAD). Pada penelitian ini menggunakan metode GAD karena tingkat akurasi lebih tinggi dibandingkan dua metode lainnya dengan melakukan beberapa iterasi sampai *error* minimal yang diinginkan. Prinsip yang digunakan dalam metode GAD adalah menghitung selisih antara waktu pengamatan dan waktu perhitungan (Madrinovella dkk., 2012). Dalam metode ini, lapisan bumi diasumsikan tersusun atas beberapa lapisan horizontal dan memiliki fungsi jarak episenter dan hiposeter gempa bumi. Parameter kecepatan diketahui dari model kecepatan sedangkan parameter waktu diperoleh dari hasil *picking* waktu gelombang P dan S dari minimal tiga stasiun yang ada. Dengan data-data tersebut, iterasi digunakan untuk menentukan *travel time residual* terkecil sehingga didapat data hiposenter (x_0, y_0, z_0).

Metode GAD telah digunakan dalam beberapa penelitian tentang gunung api di Indonesia. Jufriadi dkk. (2013) pernah melakukan penelitian tentang mekanisme erupsi dan model kantung magma Gunung Ijen. Mereka menemukan bahwa hiposenter tersebar pada kedalaman berkisar 0 – 2.500 meter di bawah Kawah Ijen untuk Gempa (VT) Tipe B, 2.000 – 2.500 meter di bawah Kawah Ijen untuk Gempa (VT) Tipe A dan 5.000 – 50.000 meter di bawah permukaan laut untuk Gempa Tektonik Lokal. Hasil penelitian menunjukkan daerah seismik berada pada kedalaman lebih dari 4000 meter di bawah permukaan laut, yang diindikasikan sebagai kantung magma. Selain itu, Wuryani dkk., (2014) telah melakukan penelitian tentang posisi kantung magma Gunung Bromo. Hiposenter gempa (VT) Tipe A tersebar di bawah kawah Bromo dengan kedalaman ± 2 km – 15 km dari puncak kawah Bromo. Kemudian, Rminda dkk. (2018) telah melakukan penelitian tentang sebaran Hiposenter Gunung Marapi. Lokasi hiposenter dari gempa Gempa Vulkanik berada pada kedalama 1.855 m sampai 462 m. Mereka menganalisa 24 *erro* data dari 4 stasiun seismik yang tersebar pada sisi Barat Laut puncak Gunung Marapi. Namun, penelitian Rminda dkk. (2018) terbatas pada data gempa vulkanik Agustus - September 2013. Karena Gunung Marapi terus beraktivitas, maka pemantauan secara berkelanjutan perlu dilakukan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian tentang aktivitas Gunung Marapi menggunakan data seismogram yang lebih baru yaitu selama Januari – Mei 2019. Penelitian yang dilakukan yaitu tentang klasifikasi gempa dan sebaran hiposenter gempa Gunung Marapi. Hiposenter Gunung Marapi ditentukan menggunakan metode GAD.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan SWARM (*Seismic Wave Analysis and Real-Time Monitory*) 2.7.4 untuk membaca gelombang seismik dari setiap stasiun pengamatan. *Software* ini dapat membaca data setiap 1 jam, kemudian memberikan informasi waktu tiba gelombang P dan gelombang S. Selain itu, digunakan metode GAD untuk mendapatkan koordinat hiposenter. Data yang diperlukan untuk menentukan koordinat hiposenter tersebut yaitu data stasiun, kecepatan, dan waktu tiba gelombang P

dan gelombang S. Kemudian, digunakan juga *Global Mapper* untuk mencari nilai koordinat elevasi dari lokasi penelitian dan *software Origin* untuk mem-plot kontur dari data koordinat dan elevasi yang sudah didapat dari *Global Mapper*. Selain itu, *software Origin* juga digunakan untuk membuat penampang Utara – Selatan, Barat – Timur dan mengetahui sebaran kedalaman titik hiposenter gempa vulkanik.

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah data hasil rekaman seismogram digital Gunung Marapi pada bulan Januari – Mei 2019 yang diperoleh dari PVMBG, Bandung. Kemudian dilakukan analisa lebih lanjut yaitu mengenai penentuan *arrival time*, sebaran hiposenter dan episenter gempa vulkanik. Tabel 1 menunjukkan delapan stasiun yang digunakan pada penelitian ini. Lokasi stasiun disekitar Gunung Marapi dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1 Lokasi Seismometer

Stasiun	Lintang	Bujur	Ketinggian Elipsoid (M)
PGA Marapi (POST)	00° 18' 46,6"	100° 22' 08,2"	933
Lasimudo (LASI)	00° 20' 42,4"	100° 26' 49,7"	1482
Guguk Solang (GGSL)	00° 23' 04,1"	100° 31' 39,00"	1181
Batu Palano (BTPL)	00° 23' 09,1"	100° 25' 16,5"	1503
Pacet (PACT)	00° 23' 17,8"	100° 26' 16,2"	2007
Puncak (Pcak)	00° 23' 21,85"	100° 27' 21,25"	2740
Kubu Diateh (KUBU)	00° 25' 17,8"	100° 25' 24,6"	1226
Tandikat (TDKT)	00° 25' 44,3"	100° 21' 18,8"	1279



Gambar 1 Peta Lokasi Stasiun Penelitian

2.1 Klasifikasi Gempa dan *Picking* Gelombang P dan S

Data seismogram pertama kali diolah menggunakan *software Swarm 2.7.4*. Untuk menampilkan sinyal seismik dari setiap stasiun, maka dipilih data masing-masing stasiun yang telah diupload ke dalam *software*. Gelombang diperbesar hingga ditemukan *event* gempa. Pembacaan sinyal menggunakan *software Swarm 2.7.4* ini dilakukan tiap menit untuk mencari *event* gempa selama bulan Januari – Mei 2019. Pada penelitian ini *event* gempa yang digunakan adalah gempa Vulkanik Dalam (VA) dan Vulkanik Dangkal (VB). Setelah data *event* dikumpulkan kemudian dilakukan penyeleksian data untuk

mempermudah analisa sesuai dengan sinyal yang akan diolah. Gelombang P dan gelombang S pada waktu tiba dicatat. Melakukan langkah yang sama hingga tidak ditemukan lagi *event* gempa (VA) dan (VB) pada rekaman sinyal seismik bulan Januari – Mei 2019.

2.2 Penentuan Hiposenter menggunakan Origin

Data rekaman seismik yang sudah di-*picking* disimpan ke dalam *notepad* dengan format.dat sebagai *input* data pada program GAD. Data *picking* yang berupa waktu tiba gelombang P dan S menjadi *input* pada program GAD pada *file arrival.dat*. Kemudian kecepatan V_p dan V_s disimpan dalam *file velocity.dat*, dan koordinat tiap stasiun yang digunakan disimpan dalam *file station.dat*. Setelah dijadikan satu *file*, maka dapat dilakukan *run* dengan program GAD. Setelah *software* di *run*, maka akan dihasilkan hiposenter dari setiap kejadian gempa yang sudah terseleksi dan ditampilkan oleh *file result.dat*.

2.3 Penentuan Koordinat dan Pemetaan Hiposenter

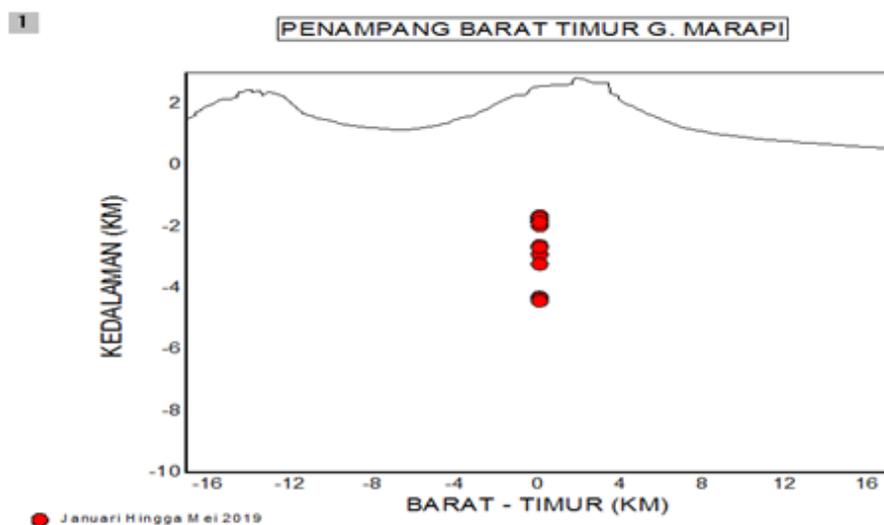
Dari GAD diperoleh data X, Y, Z, *probable error*, t_{rms} , dan (*obs-call*) tiap *event* gempa yang terjadi pada setiap stasiun. Untuk mencari koordinat *latitude*, *longitude*, dan *elevasi*, digunakan *software Global Mapper* dengan membuka data hgt yang sudah diberikan oleh pihak PVMBG kemudian mencari dua koordinatnya. Selain itu, dengan menggunakan *Global Mapper* penampang Utara - Selatan, dan penampang Barat - Timur dapat diketahui dengan format *xyz*. Setelah mendapat data peta kontur (*latitude*, *longitude*, dan *elevasi*) maka data tersebut kemudian di-*plot* dengan menggunakan *software Origin* akan diperoleh peta kontur dari Gunung Marapi dan sebaran hiposenter dari gempa vulkanik yaitu dengan memasukkan data titik gempa (X, Y, Z) dari data GAD ke dalam peta kontur yang sudah ada. Dengan demikian, dapat diketahui sebaran hiposenter gempa yang sedang diteliti.

III. HASIL DAN DISKUSI

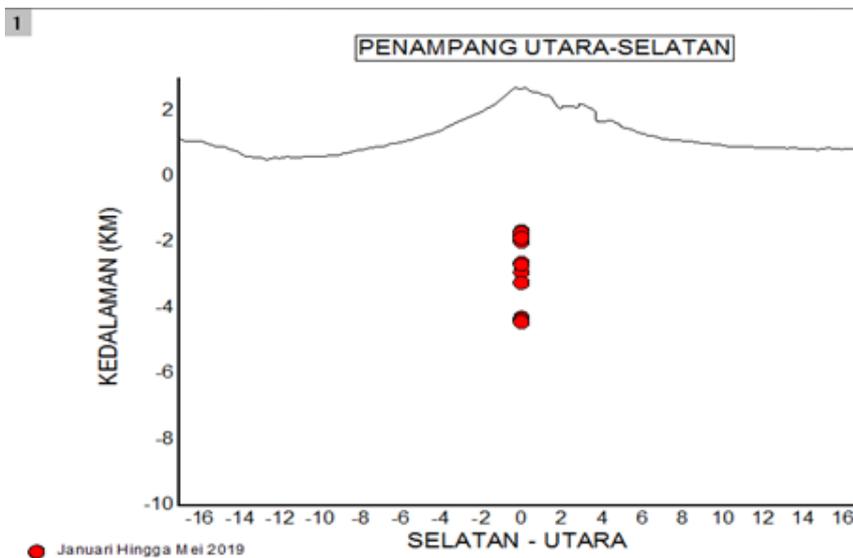
Selama Januari sampai Mei 2019 terdapat 82 *event* gempa vulkanik, terdiri dari 69 Vulkanik Dalam (VA) dan 13 gempa Vulkanik Dangkal (VB). Dari jumlah ini, hanya 16 *event* gempa yang dapat dianalisa dan semuanya merupakan gempa Vulkanik Dalam (VA) karena data yang dapat dianalisa merupakan data gempa yang terekam minimal oleh 3 stasiun seismik dan ketika diolah ke aplikasi GAD memiliki *probable error* 0,73. Selain itu, data yang dapat dianalisis memiliki bentuk gelombang yang jelas tanpa tercampur oleh noise seperti hujan, petir, getaran kendaraan, langkah kaki manusia atau hewan, dan kalibrasi alat. Hal ini ditandai dengan bentuk gelombang yang tidak beraturan dan tidak sesuai dengan karakteristik gempa tersebut. Dari karakteristik gempa (VA) frekuensi yang didapatkan yaitu 5 – 15 Hz dimana Hillary (2017) telah melakukan penelitian untuk frekuensi gempa (VA) sekitar 4 – 18 Hz. Gempa (VA) memiliki selisih gelombang primer (t_p) dan gelombang sekunder (t_s) selama 1 – 4 s serta memiliki gelombang P dan gelombang S yang dapat dibedakan dengan jelas (Zobin, 2012). Hal ini sesuai dengan penelitian Syahra dkk. (2014) Gempa (VA) memiliki $t_p - t_s > 1$ s. Gempa vulkanik ini terjadi karena adanya aktivitas magma dari bawah ke atas permukaan sebelum terjadinya letusan (Perdana, 2013).

Dalam penentuan hiposenter dan episenter digunakan metode GAD dengan menentukan t_p dan t_s pada setiap *event*. Titik hiposenter ditampilkan pada Gambar 2 (a) dan (b). Hiposenter didapatkan dari perpotongan titik – titik sumber gempa yang ada di gunung api tersebut. Lokasi hiposenter gempa vulkanik didasari pada puncak Gunung Marapi yang diasumsikan berada pada titik (0,0) dengan skala dari lokasi hiposenter gempa vulkanik dalam bentuk kilometer (km). Hal ini diketahui dengan waktu tiba gelombang yang melewati medium lapisan yang akan diperoleh dari jarak sumber – sumber gempa yang terjadi ke stasiun seismik terhadap kedalaman.. Dilihat dari penampang arah Barat – Timur dan penampang Barat – Timur, sebaran hiposenter gempa vulkanik Gunung Marapi berada pada kedalaman 2 – 4 km di bawah datum, hiposenter membentuk garis lurus dalam penampang 2D (Gambar 2a).

Dari total 82 *event* gempa vulkanik yang terjadi, tidak semua dapat diolah untuk menentukan posisi hiposenternya menggunakan GAD, karena GAD mewajibkan gempa vulkanik terekam minimal oleh 3 stasiun pengamatan. Tidak semua gempa terekam dengan baik oleh 3 stasiun, maka dari itu keterbatasan dan metode GAD membuat *event* gempa yang dapat diolah berkurang. Metode GAD memiliki keterbatasan dalam pengolahan keseluruhan data gempa vulkanik. Namun, kelebihan dari metode yaitu merupakan metode yang sangat cocok untuk jaringan antar stasiun yang tidak terlalu jauh, konsiderasi tersebut sesuai dengan kondisi Gunung Marapi.



(a)



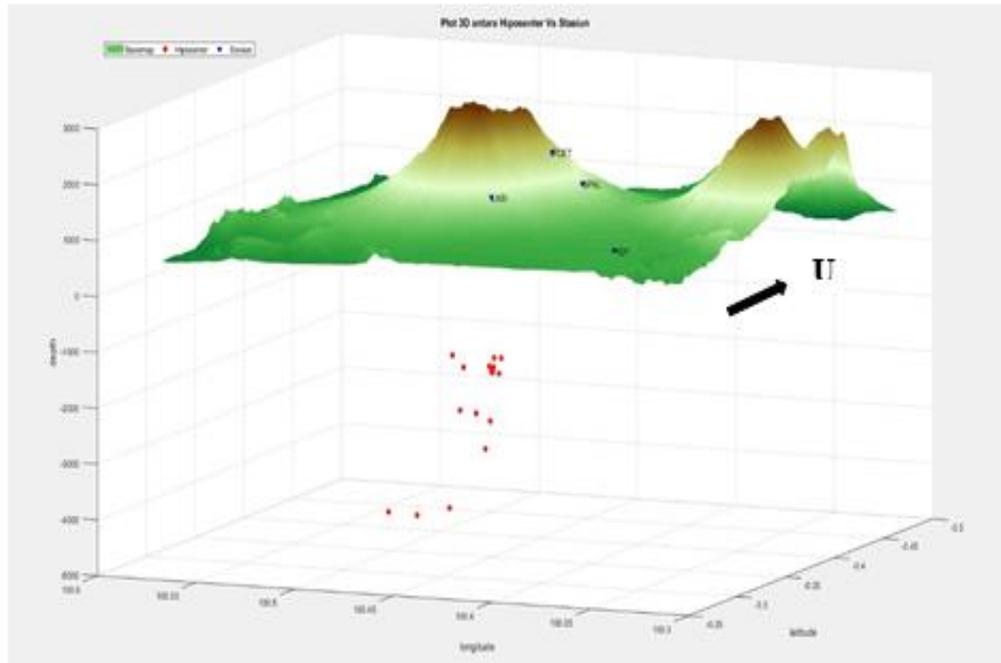
(b)

Gambar 2 Penampang hiposenter arah (a) Barat – Timur dan (b) Selatan - Utara

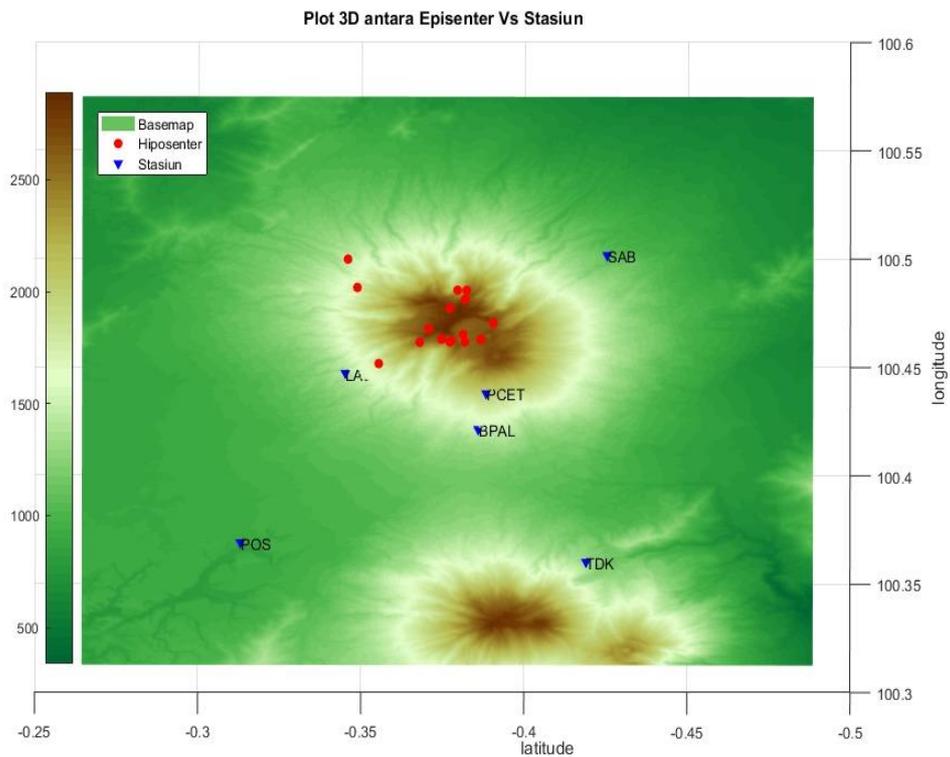
Gambar 3 menunjukkan distribusi tiga dimensi (3D) dari hiposenter Gunung Marapi. Aktivitas kegempaan Gunung Marapi berada di sekitar bawah permukaan kawah. Kemudian Gunung Marapi di dominasi gempa VA yaitu gempa vulkanik yang sumber atau hiposenternya cukup dekat dengan kawah, berada di kedalaman 2600 – 4700 m. Hiposenter gempa mempunyai kisaran nilai *rms error* dari 0,157 – 0,762 sec. Hiposenter gempa terkonsentrasi di bawah puncak gunung marapi yang mengarah dari Tenggara – Barat Laut, pergerakan magma ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu Rminda dkk. (2018) dimana titik hiposenter yang diperoleh terkumpul pada daerah Barat Laut dari Tubuh Gunung Marapi.

Dari sebaran hiposenter dapat ditentukan peta sebaran episenter Gunung Marapi ditunjukkan pada Gambar 4. Gempa vulkanik yang terjadi tersebar mengelilingi puncak Gunung Marapi dimana jarak dari episenternya mengelilingi puncak kawah, dari puncak kawah adalah 1 – 7 km. Gempa tersebut memiliki arah distribusi yang sama yaitu dari Tenggara menuju Barat Laut. Hiposenter dan episenter memiliki sebaran yang tidak beraturan dan magma bergerak dari Barat Laut ke Tenggara. Sebaran hiposenter ini cukup dekat dari kawah Gunung sehingga ada kemungkinan akan terjadi erupsi. Hal ini

mengindikasikan bahwa terjadi lonjakan aktivitas Gunung Marapi hanya saja tidak ada kenaikan level aktivitas gunung.



Gambar 3 Distribusi tiga dimensi (3-D) dari hiposenter Gunung Marapi.



Gambar 4 Distribusi episenter Gunung Marapi

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini memperlihatkan adanya peningkatan aktivitas Gunung Marapi selama bulan Mei 2019. Hiposenter tersebar pada kedalaman 2600 – 4700 m. Episenter gempa tersebar mengelilingi puncak Gunung Marapi dimana jarak antar episenternya mengelilingi puncak kawah dengan jarak episenter 1 – 7 km dari puncak kawah. Hiposenter dan episenter memiliki sebaran yang tidak beraturan dan magma bergerak dari Barat Laut ke Tenggara. Sebaran hiposenter ini cukup dekat dari kawah Gunung yang menandai kemungkinan untuk terjadi erupsi. Walaupun terjadi lonjakan aktivitas Gunung Marapi tetapi tidak disertai kenaikan level aktivitas gunung.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Geologi. (2019), “Berita Vulkanologi Laporan Aktivitas Gunung Marapi”, <https://vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/495-g-marapi>.
- Hillary, K. (2017), *Analisis Spektral Sinyal Seismik Gunung Sinabung Periode Juli - November 2013 Untuk Karakterisasi Tipe-Tipe Gempa Vulkanik*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Jufriadi, A., Maryanto, M., Susilo, A., Purwanto, B.H. and Hendrasto, M. (2013), “Analisis Sinyal Seismik Untuk Mengetahui Proses Internal Gunung Ijen Jawa Timur”, *Jurnal Neutrino*, p. 22.
- Madrinovella, I., Widiyantoro, S., Nugraha, A.D. and Triastuty, H. (2012), “Studi Penentuan dan Rekolasi Hiposenter Gempa Mikro Sekitar Cekungan Bandung”, *Jurnal Geofisika*, Vol. 13 No. 2, pp. 80–88.
- Perdana, I.W. (2013), *Klasifikasi Jenis Gempa Gunung Berapi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation*, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Rminda, M.R., Brotopuspito, K.S. and Triastuty, H. (2018), “Identifikasi Lokasi dan Q Factor Hiposenter Gunungapi Marapi, Sumatera Barat”, *Berkala MIPA*, Vol. 25 No. 1.
- Syahra, V., Maryanto, S. and Triastuty, H. (2014), “Analisis Spektral Dan Distribusi Hiposenter Gempa Vulkanik A Dan Vulkanik B Gunungapi Ijen Jawa Timur”, *Physics Student Journal*, Vol. 2 No. 1.
- Wuryani, S.D., Maryanto, S. and Nadhir, A. (2014), *Identifikasi Kantung Magma Gunung Bromo Berdasarkan Analisa Sebaran Hiposenter Gempa VTA*, Universitas Brawijaya, Malang.