

# ANALISIS SPEKTRAL DAN DISTRIBUSI HIPOSENTER GEMPA VULKANIK A DAN VULKANIK B GUNUNGAPI IJEN JAWA TIMUR

Vanisa Syahra<sup>1)\*</sup>, Sukir Maryanto<sup>1</sup>, Hetty Triastuty<sup>2</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya, Malang

<sup>1)</sup>Jurusan Fisika Universitas Brawijaya, Malang

<sup>2)</sup>Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung

Email: [vanisa.syahra@gmail.com](mailto:vanisa.syahra@gmail.com)

## Abstrak

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji aktivitas Gunung Ijen yang merupakan salah satu gunungapi aktif tipe A di Indonesia. Tingginya aktivitas hidrotermal yang berasal dari kawah Gunung Ijen mengindikasikan adanya patahan-patahan yang membantu jalur migrasi fluida bawah permukaan. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik gempa vulkanik tipe A dan tipe B serta menentukan distribusi hiposenter dari kedua gempa tersebut. Aktivitas seismik Gunung Ijen direkam oleh lima stasiun seismik (DAM, POS, PSG, IJEN, KWUI) yang tersebar di sekitar kawah. Analisis gempa vulkanik dilakukan berdasarkan *waveform* dan spektral gempa serta distribusi hiposenternya. Dari hasil penelitian ini didapatkan frekuensi dominan gempa vulkanik A sekitar 3,99 Hz – 9,75 Hz. Sedangkan frekuensi dominan gempa vulkanik B sekitar 1,97 Hz – 11,37 Hz. Hiposenter gempa vulkanik A berada pada kedalaman 2000 – 3000 meter di bawah pusat kawah aktif. Sedangkan hiposenter gempa vulkanik B berada pada kedalaman 70 – 3000 meter di bawah pusat kawah aktif. Dari aktivitas gempa vulkanik B dihasilkan *horizontal crack* yang berada pada kedalaman 1000 – 2000 meter di bawah pusat kawah aktif.

Kata kunci: gempa vulkanik, Gunungapi Ijen, frekuensi, hiposenter

## PENDAHULUAN

Letak Indonesia berada pada jalur pertemuan tiga lempeng aktif dunia yang menyebabkan Indonesia memiliki aktivitas seismik yang sangat aktif. adanya zona subduksi tersebut suplai magma terus terjadi, sehingga mampu meningkatkan aktivitas seismik dalam suatu tubuh gunungapi. Indonesia sendiri memiliki 127 gunungapi aktif dimana 69 diantaranya merupakan gunungapi aktif tipe A. Gunungapi aktif tipe A merupakan gunungapi yang sejarah aktivitas vulkaniknya tercatat sejak tahun 1600. Gunungapi Ijen merupakan salah satu gunungapi aktif tipe A yang terletak di Jawa Timur [1].

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) telah melakukan pemantauan secara kontinyu terhadap aktivitas Gunung Ijen, baik secara visual, seismik, maupun deformasi. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan karakteristik spektral gempa vulkanik A dan B dan hiposenter kedua gempa tersebut. Dengan adanya penelitian ini diharapkan mengetahui karakteristik aktivitas Gunung Ijen dan menjadi referensi untuk penelitian selanjut. Masalah yang

diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana karakteristik spektral dan distribusi hiposenter gempa vulkanik A dan B Gunung Ijen tahun 2014.

Gempa vulkanik merupakan gempa yang dihasilkan dari aktivitas gunungapi yang visualisasinya tercatat oleh seismogram. Klasifikasi gempa vulkanik oleh Minakami (1974) terbagi menjadi 4 tipe, yaitu gempa vulkanik A, gempa vulkanik B, gempa tremor, dan gempa letusan [6]. Gempa vulkanik A merupakan gempa yang berasal dari dasar tubuh gunungapi yang letaknya 1 – 20 km di bawah kawah aktif. Sedangkan gempa vulkanik B merupakan gempa gunungapi yang terjadi karena adanya proses tekanan fluida [3] yang aktivitasnya berada pada kedalaman sekitar 1 km di bawah kawah aktif. Contoh gempa vulkanik A dan B yang terekam di Gunung Ijen ditunjukkan oleh Gambar 1.

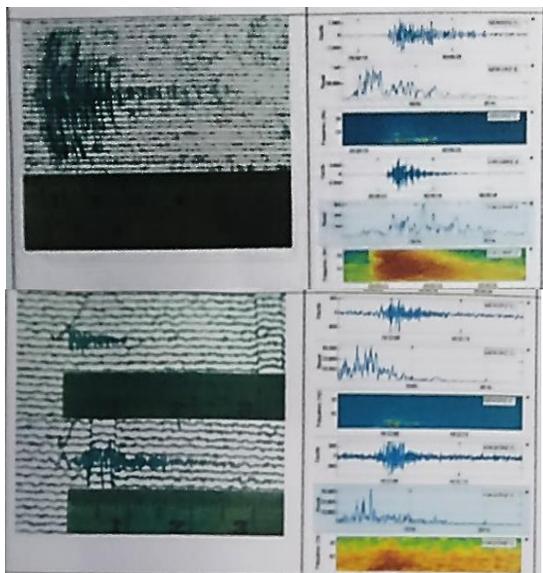
Gempa tersebut terekam oleh seismograf dalam domain waktu. Dalam analisis spektral gempa vulkanik dilakukan transformasi. Transformasi ini dilakukan untuk mengubah domain waktu,  $f(t)$ , menjadi domain frekuensi,

$F(\omega)$ . Perubahan ini dilakukan untuk menganalisis gempa vulkanik yang terjadi berdasarkan nilai frekuensi untuk membedakan jenis gempa yang terjadi. Dalam hal ini digunakan Transformasi Fourier yang ditunjukkan oleh persamaan 1 dan 2 [2].

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (1)$$

$$F(\omega) = |A(\omega)| e^{i\phi(\omega)} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2)$$

dimana  $\omega$  merupakan frekuensi sudut,  $A(\omega)$  adalah amplitudo, dan  $\phi(\omega)$  merupakan sudut fasa. Fungsi tersebut disebut sinyal spektrum dan merepresentasikan domain frekuensi pada *trace* domain waktu. Untuk mengetahui spektrum Fourier digunakan data digital dan beberapa perangkat lunak yang membantu untuk melakukan Transformasi Fourier [2].



**Gambar 1.** Contoh visual gempa vulkanik A (atas) dan B (bawah) yang terekam di Gunung Ijen. Sisi kiri merupakan seismogram analog dan sisi kanan merupakan seismogram digital.

Dalam estimasi spektrum frekuensi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu estimasi secara langsung dan tak langsung. Dalam estimasi secara langsung diterapkan dengan mentransformasi secara langsung data mentah agar didapatkan estimasi spektralnya dengan mengaplikasikan *Fast Fourier Transform*. Sedangkan cara tak langsung dilakukan dengan cara periodogram rata-rata [5]. Penerapan

transformasi Fourier pada penelitian ini menggunakan *Fast Fourier Transform* dimana hasil cuplikan gempa yang berupa data mentah ditransformasi menggunakan bantuan *software* Swarm.

## METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metode analisis data sekunder yang didapatkan dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi yang berupa data digital hasil rekaman seismometer Gunung Ijen bulan Januari – April 2014 dengan 5 stasiun seismik (IJEN, KWUI, DAM, POS, PSG) yang tersebar di kawah Gunung Ijen (Gambar 2). Pembacaan data dilakukan dengan *software* SEISAN 9, SeisGram 2K7, dan Swarm.



**Gambar 2.** Jaringan Stasiun Seismik Gunung Ijen.

Pemotongan sinyal dilakukan dengan *software* SEISAN 9 dan SeisGram 2K7, sedangkan untuk analisis spektral dilakukan dengan *software* Swarm. Analisis spektral dilakukan dengan menggunakan FFT dimana data dari *waveform* (domain waktu) diubah menjadi spektrum frekuensi (domain frekuensi) untuk menentukan frekuensi dominan gempa.

Untuk menentukan distribusi hiposenter gempa dilakukan dengan *software* GAD (*Geiger Adaptive Damping*). Perangkat lunak ini bekerja dengan *forward modelling* dan inversi hingga didapatkan nilai *error* terkecil. Nilai masukan yang diperlukan dalam *software* ini adalah *arrival time* gelombang P dan S serta polaritas gelombang P. Selain itu dibutuhkan koordinat stasiun dan model kecepatan struktur Gunung Ijen. Setelah dimasukkan data tersebut maka nilai keluaran dari perhitungan hiposenter berupa  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , dan  $T$  [4]. Untuk mengetahui distribusi episenter dibutuhkan nilai  $x$  dan  $y$  yang berupa nilai bujur dan lintang dalam derajat. Sedangkan

untuk penampang Utara-Selatan dibutuhkan nilai kedalaman hasil perhitungan GAD ( $z$ ) sebagai sumbu  $y$  dan nilai lintang irisan sebagai sumbu  $x$ . Untuk penampang Barat-Timur dibutuhkan nilai kedalaman hasil perhitungan GAD ( $z$ ) sebagai sumbu  $y$  dan nilai bujur irisan sebagai sumbu  $x$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis gempa vulkanik yang terjadi di Gunung Ijen yaitu gempa vulkanik A, gempa vulkanik B, gempa tremor, gempa hembusan, gempa LF, gempa tektonik lokal, dan gempa tektonik jauh. Dalam penelitian ini dilakukan analisis gempa vulkanik A dan B berdasarkan *waveform* dan spektral. Gempa vulkanik A yang terjadi di Gunung Ijen dari bulan Januari – April 2014 berjumlah 24 namun hanya 12 yang dapat diidentifikasi. Sedangkan gempa vulkanik B yang terjadi di Gunung Ijen berjumlah 360 namun hanya 79 yang dapat diidentifikasi.

### Waveform dan Spektral Analisis

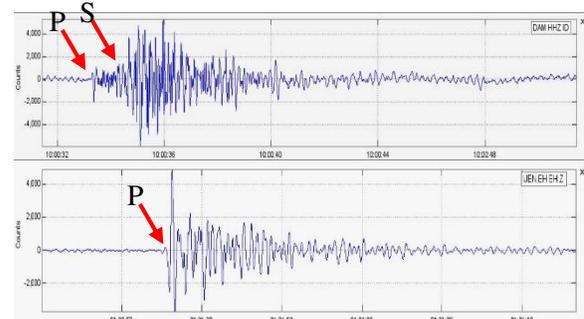
Gempa vulkanik yang dianalisis berdasarkan *waveform* dilihat dari selisih waktu tiba gelombang S dan P ( $t_s - t_p$ ). Gempa vulkanik A memiliki  $t_s - t_p > 1$  s dan kenampakan gelombang S yang jelas. Sedangkan gempa vulkanik B memiliki  $t_s - t_p < 1$  s dan kenampakan gelombang S yang kurang jelas. Contoh *waveform* gempa vulkanik A dan B ditunjukkan oleh Gambar 3.

Gempa vulkanik A dan vulkanik B memiliki nilai frekuensi yang berbeda. Hal ini terjadi karena perbedaan energi yang dihasilkan oleh masing-masing gempa. Gempa vulkanik A memiliki energi yang besar sehingga menghasilkan frekuensi yang besar juga. Frekuensi dominan dapat dilihat pada analisis spektral. Berdasarkan hasil analisis frekuensi dari 5 stasiun didapatkan gempa vulkanik A berada pada rentang frekuensi 3,99 – 9,75 Hz. Sedangkan gempa vulkanik B berada pada rentang 1,97 – 11,37 Hz.

### Penentuan Hiposenter

Dari penampang episenter (Gambar 4) menunjukkan distribusi gempa vulkanik A (simbol bulat magenta) dan gempa vulkanik B (simbol bulat kuning). Gempa vulkanik B berkumpul di arah Barat Daya dari Kawah Ijen dan berada di sekitar stasiun seismik PSG. Sedangkan distribusi gempa vulkanik A berada di

Timur Laut Kawah Ijen. Dari persebaran episenter tersebut menunjukkan adanya pergerakan magma yang menyebar dari sekitar kawah pada arah Timur, Tenggara, Barat Daya, dan beberapa titik hiposenter di arah Barat Laut menuju pusat Kawah Ijen. Pergerakan magma tersebut menerobos melalui rekahan-rekahan yang ada di sekitar Gunung Ijen.



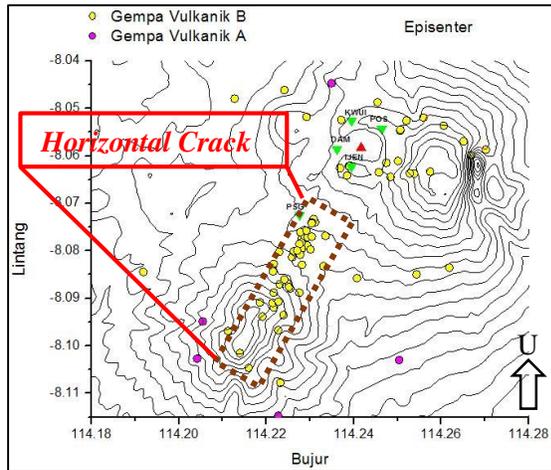
**Gambar 3.** Contoh *waveform* gempa vulkanik A (atas) dan gempa vulkanik B (bawah) yang terjadi pada tanggal 6 Januari 2014 jam 01.30.

Distribusi hiposenter penampang Utara-Selatan ditunjukkan oleh Gambar 5. Dari gambar tersebut terlihat distribusi hiposenter gempa vulkanik A (simbol bulat magenta) berada pada kedalaman 2000 – 3000 meter di bawah pusat kawah. Sedangkan distribusi gempa vulkanik B berada pada kedalaman 70 – 3000 meter di bawah pusat kawah yang membentuk *horizontal crack*.

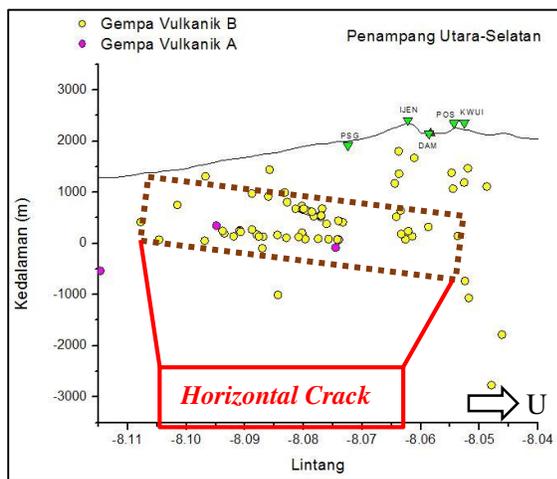
Distribusi hiposenter penampang Utara-Selatan ditunjukkan oleh Gambar 5. Dari gambar tersebut terlihat distribusi hiposenter gempa vulkanik A (simbol bulat magenta) berada pada kedalaman 2000 – 3000 meter di bawah pusat kawah. Sedangkan distribusi gempa vulkanik B berada pada kedalaman 70 – 3000 meter di bawah pusat kawah yang membentuk *horizontal crack*. *Horizontal crack* tersebut berada pada kedalaman 1000 – 2000 meter di bawah pusat kawah dan bergerak mendekati pusat kawah.

Distribusi hiposenter penampang Utara-Selatan ditunjukkan oleh Gambar 5. Dari gambar tersebut terlihat distribusi hiposenter gempa vulkanik A (simbol bulat magenta) berada pada kedalaman 2000 – 3000 meter di bawah pusat kawah. Sedangkan distribusi gempa vulkanik B berada pada kedalaman 70 – 3000 meter di bawah pusat kawah yang membentuk *horizontal crack*. *Horizontal crack* tersebut berada pada kedalaman

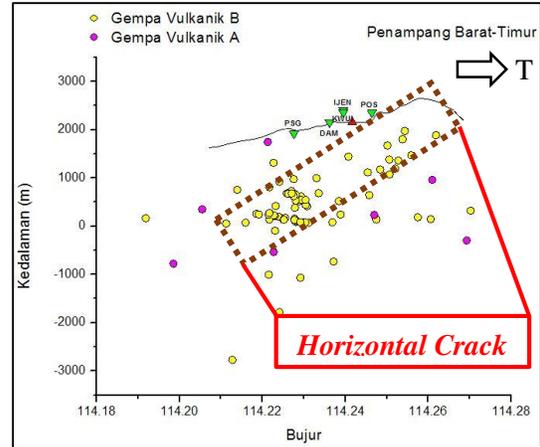
1000 – 2000 meter di bawah pusat kawah dan bergerak mendekati pusat kawah.



**Gambar 4.** Episenter Gempa Vulkanik A dan Gempa Vulkanik B.



**Gambar 5.** Hiposenter Gempa Vulkanik A dan Gempa Vulkanik B Penampang Utara-Selatan.



**Gambar 6.** Hiposenter Gempa Vulkanik A dan Gempa Vulkanik B Penampang Barat-Timur.

Distribusi hiposenter penampang Barat-Timur ditunjukkan oleh Gambar 6. Dari gambar tersebut distribusi gempa vulkanik A berada pada kedalaman 2000 – 3000 meter di bawah pusat kawah. Sedangkan distribusi gempa vulkanik B berada pada kedalaman 70 – 3000 meter di bawah pusat kawah. *Horizontal crack* berada pada kedalaman 1000 – 2000 meter.

## SIMPULAN

Berdasarkan analisis *waveform* dan spektral gempa vulkanik Gunung Ijen didapatkan kesimpulan bahwa gempa vulkanik A dengan frekuensi dominan berada pada rentang 3,99 – 9,75 Hz dan terdistribusi pada kedalaman 2000 – 3000 meter. Sedangkan gempa vulkanik B dengan frekuensi dominan berada pada rentang 1,97 – 11,37 Hz dan terdistribusi pada kedalaman 70 – 3000 meter.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Geologi. (2011). *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Bandung: Badan Geologi Kementerian ESDM.
- [2] Lay, T., & Wallace, T. C. (1995). *Modern Global Seismology*. California: Academic Press.
- [3] McNutt, S. R. (1996). Seismic Monitoring and Eruption Forecasting of Volcanoes: A Review of the State-of-the-Art and Case Histories. In R. Scarpa, & R. I. Tilling, *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards* (pp. 99-146). Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [4] Nishi, K. (2005). *Hypocenter Calculation Software (Geiger's method with Adaptive Damping) Manual*. JICA Indonesia.
- [5] Triastuty, H. (1996). *Analisis Fisis Tingkat Kegiatan Gunung Bromo Berdasarkan Spektral Tremor dan Hiposenter Gempa Gunungapi*. Bandung: Geofisika Institut Teknologi Bandung.
- [6] Zobin, V. (2012). *Introduction to Volcanic Seismology Second Edition*. Amsterdam: Elsevier B. V.