

ANALISIS SPEKTRAL DAN PENENTUAN HIPOSENTER GEMPA GUNUNG LEWOTOBI DAN EGON SERTA KONDISI SEISMOTEKTONIK DAERAH SEKITARNYA

Stefanus Spulo Sogen¹, Hery L. Sianturi¹ Jehunias L. Tanesib¹ dan Devy K. Shyabana²

¹*Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto Penfui Kupag NTT*

²*Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung*

Email: sogenstefanus07@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang analisis spektral dan penentuan hiposenter gempa gunung Lewotobi dan gunung Egon serta hubungannya dengan gempabumi tektonik di daerah sekitarnya. Tujuan penelitian adalah menentukan karakteristik spektral, hiposenter gempa, *b-value*, serta menyelidiki hubungan antara gempa vulkanik dan gempa tektonik yang terjadi di daerah sekitar. Data kegempaan vulkanik diperoleh dari Pos PGA Lewotobi dan Pos PGA Egon dari tanggal 1 Januari sampai 31 Januari 2016. Untuk data kegempaan tektonik diperoleh dari katalog *international seismology center* (ISC) dan *U.S. Geological Survey National Earthquake Information Center* (USGS/NEIC) dari tahun 1965-2016. Analisis spektral dari gempa yang terekam di seismograf pos PGA digunakan untuk mendapatkan frekuensi dominan, untuk gempa vulkanik dalam, vulkanik dangkal dan tektonik lokal pada gunung Lewotobi digunakan untuk menentukan hiposenter gempa gunung Lewotobi. Untuk data gempabumi tektonik dilakukan analisis *b-value*. Hasil menunjukkan bahwa frekuensi dominan setiap gempa yang terjadi pada gunung Lewotobi: gempa vulkanik dalam 10-13 Hz, vulkanik dangkal 4,87-13,6 Hz, tornillo 1,69-16,8 Hz, tremor harmonik 1,72-2 Hz, tektonik jauh 1,041 – 5,282 Hz, tektonik lokal 1,80-2,79 Hz, hembusan 2,54-7,53 Hz, low frekuensi 0,72-1,97 Hz. Untuk gempa yang terjadi di gunung Egon: gempa vulkanik dalam 10-13,0 Hz, vulkanik dangkal 10-12,1 Hz, tremor harmonik 11-20,9 Hz, swarm 11-12,3 Hz, tektonik lokal 11,9-12,6 Hz, tektonik jauh 2,62-12,6 Hz, hembusan 4,88-12,8 Hz, low frekuensi 0,47-3,17 Hz, tornillo 12-12,6 Hz. Hiposenter gempa vulkanik banyak terjadi di gunung Lewotobi laki-laki dan tektonik lokal di baratdaya gunung Lewotobi. Nilai *b-value* yang diperoleh $1,12 \pm 0,18$. Dari hasil analisis tidak ditemukan korelasi langsung antara aktivitas vulkanik dan tektonik. Kata kunci: Lewotobi, Egon, Vulkanik, Tektonik, *b-Value*.

Abstract

Has done research on spectral analysis and determination of hypocenter Lewotobi and Egon and its relation to tectonic earthquakes in the surrounding area. The puporse of the research was to determine the spectral characteristics, hypocenter, b-value, as well as investigating the relationship between volcanic earthquake and tectonic earthquake that occurred in the area around. The data of volcanic seismicity obtained from the Lewotobi and Egon PGA Post on January 1st until January 31st 2016. And the data of tectonic seismicity obtained from International Seismicity Center (ISC) catalog and U.S. Geological Survey National Earthquake Information Center (USGS/NEIC) on 1965-2016. Spectral analysis of earthquake that recorded on a seismograph in PGA post used to get dominant frequency, the deep volcanic earthquake, shallow volcanic earthquake, and local tectonic on Lewotobi used to determine hypocenter of earthquake of Lewotobi mount. For the data of tectonic earthquake obtained by doing analysis b-value. The results show that dominant frequency each earthquake that occurred on Lewotobi: deep volcanic earthquake 10-13 Hz, shallow volcanic 4,87-13,6 Hz, tornillo 1,69-16,8 Hz, harmonic tremor 1,72-2 Hz, far tectonic 1,041-5,282 Hz, local tectonic 1,80-2,79 Hz, blowing 2,54-7,53 Hz, low frequency 0,72-1,97 Hz. For earthquake on Egon: deep volcanic earthquake 10-13,0 Hz, shallow volcanic 10-12,1 Hz, 9 harmonic tremor 11-20,9 Hz, swarm 11-12,3 Hz, local tectonic 11,9-12,6 Hz, far tectonic 2,62-12,6 Hz, blowing 4,88-12,8 Hz, low frequency 0,47-3,17 Hz, tornillo 12-12,6 Hz. Volcanic hypocenter erthquakemostly occurred in Lewotobilaki-laki and local tectonic occurred on southwest of mount Lewotobi. The value of b-value obtained was $1,12 \pm 0,18$. From the result of analysis not founded a direct correlation of volcanic and tectonic activity.

Keywords: Lewotobi, Egon, Volcanic, Tectonic, b-value

PENDAHULUAN

Lempeng tektonik merupakan sebuah siklus batuan di bumi yang terjadi dalam skala waktu geologi. Siklus batuan tersebut terjadi dari pergerakan lempeng bumi yang bersifat dinamis. Pergerakan lempeng tektonik yang terjadi mampu membentuk muka bumi serta menimbulkan gejala-gejala atau kejadian-kejadian alam seperti gempa tektonik, letusan gunungapi, dan tsunami.

Indonesia sendiri dilalui oleh tiga lempeng utama yang menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunungapi dan sering terjadi gempa bumi. Salah satu daerah yang masuk dalam penyebaran gunungapi di Indonesia adalah Nusa Tenggara Timur dimana terdapat 25 gunungapi aktif, diantaranya adalah gunung Lewotobi yang berada di kecamatan Wulanggintang Kabupaten Flores Timur dan gunung Egon yang berada di kecamatan Waigete Kabupaten Sikka

Gunungapi Lewotobi dan Egon merupakan gunungapi aktif yang sering melakukan aktivitas vulkanik yang menimbulkan suatu letusan, serta daerah sekitar gunungapi Lewotobi dan Egon merupakan daerah yang aktif akan aktivitas tektonik yaitu gempabumi. Hal ini justru sangat berisiko akan terjadinya suatu bencana alam berupa letusan gunungapi dan gempabumi.

Salah satu metode geofisika yang paling baik dalam mitigasi bencana gunungapi dan gempa bumi yaitu metode seismik, sehingga peneliti melakukan penelitian dengan menganalisis spektral dan penentuan hiposenter gempa gunung Lewotobi dan Egon serta kondisi seismotektonik daerah sekitar gunung Lewotobi dan Egon.

Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah kondisi seismo-vulkanik gunung Lewotobi dan Egon, berdasarkan karakteristik spektral dan hiposenter gempa, kondisi seismo-tektonik daerah sekitar gunung Lewotobi dan gunung Egon berdasarkan analisis nilai-b. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik spektral dan sebaran hiposenter gempa gunungapi Lewotobi dan Egon
2. Mengetahui kondisi tektonik daerah sekitar gunungapi Lewotobi dan Egon
3. Menyelidiki hubungan antara gempa bumi tektonik daerah sekitar dengan gempa vulkanik yang terjadi, berdasarkan hasil dari analisis spektral, hiposenter gempa vulkanik dan tektonik lokal dan nilai-b

TINJAUAN PUSTAKA

Gempabumi tektonik, gempabumi ini disebabkan oleh aktivitas tektonik, yang ditandai dengan adanya pergerakan lempeng-lempeng tektonik dengan arah dan kecepatan yang berbeda-beda. Gempa bumi ini banyak menimbulkan kerusakan. Getaran gempabumi yang kuat mampu menjalar keseluruh bagian bumi.

Gempabumi vulkanik, aktivitas gempa vulkanik pada gunungapi umumnya dibedakan menjadi dua, yaitu aktivitas di luar gunungapi berupa gugurnya lava, keluarnya uap, aliran lava dan awan panas (*fuyroclastic flow*) dan aliran lahar. Aktivitas internal yaitu adanya kegempaan yang disebabkan oleh bermacam-macam mekanisme seperti gesekan bidang rekahan batuan tubuh gunungapi dan kerusakan geser (*shear failure*) akibat dari tekanan geser atau kompresi, *traction* pada dinding reservoir magma (*magma chamber*). Berdasarkan sumber dan perilakunya (Minakami, 1974) gempa vulkanik dibagi menjadi 5 macam, yaitu:

- a. Gempa vulkanik tipe A atau gempa dalam. Terjadi pada kedalaman 1 hingga 2 km. gempa ini mempunyai frekuensi tinggi, yaitu antara 5-8 Hz. Impuls pertama cukup jelas. Jenis gempa ini dibedakan fase gelombang P dan S terpisah cukup jelas, S-P time lebih besar dari 0,5 detik.
- b. Gempa vulkanik tipe B, terjadi pada kedalaman gempa kurang dari 2 km, dengan impuls pertama cukup jelas walaupun kadang-kadang 'emergen'. Frekuensi gempa sekitar 4-7 Hz, dengan fase gelombang P dan S terpisah secara jelas.
- c. Tremor vulkanik, gempa yang disebabkan oleh aktivitas fluida magma. Bentuk

gelombang dari tremor adalah impulsif dan merupakan gelombang stasioner.

- d. Gempa *hybrid*, gempa yang sejenis dengan gempa tipe B, mempunyai amplitudo yang pendek dan saling susul menyusul.
- e. Guguran kuba lava atau muncul aliran awan panas (piroklastik mempunyai amplitudo yang tinggi dan turun secara trasien).

Suatu parameter fisis yang berkaitan erat dengan fenomena geofisika adalah frekuensi. Parameter inilah yang menjadi pusat informasi dalam analisis karakteristik sinyal seismik suatu gunungapi. Oleh karena itu untuk mempermudah analisis sinyal tersebut diperlukan suatu metode yang berfungsi mengubah domain waktu ke dalam domain frekuensi yaitu Transformasi Fourier.

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

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

$$\begin{aligned} F(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos(\omega t) dt \\ &\quad - i \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \sin(\omega t) dt \\ &= \text{Re}[F(\omega)] - i \text{Im}[F(\omega)] \\ &= [F(\omega)] e^{i\varphi(\omega)} \end{aligned} \quad (3)$$

$$[F(\omega)] = \sqrt{\text{Re}[F(\omega)]^2 + \text{Im}[F(\omega)]^2} \quad (4)$$

dimana

$$\omega = \text{frekuensi sudut}$$

$$A(\omega) = \text{amplitudo}$$

$$\varphi(\omega) = \text{sudut fasa}$$

$$\text{Re} = \text{bagian real}$$

$$\text{Im} = \text{bagian imajiner}$$

Penentuan hiposenter multi stasiun minimal menggunakan tiga stasiun, tiap stasiun dapat lebih satu komponen. Perhitungan sumber dan pusat gempa dapat menggunakan metode stereografis maupun matematik.

$$\begin{aligned} (X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2 &= (t_i - t_0)^2 V_p^2 \\ (t_i - t_0) V_p &= (S - P)_i k \end{aligned} \quad (5)$$

$$(6)$$

Di mana: $i = 1, 2, 3, \dots$

X, Y, dan Z koordinat sumber gempa yang tidak diketahui

$X_i, Y_i, \text{ dan } Z_i$ koordinat stasiun seismograf

Metode ini sebelumnya harus menentukan dulu koordinat masing-masing stasiun

Untuk kondisi seismotektoni nilai b ubungan frekuensi dengan magnitude gempa bumi pertama kali dinyatakan oleh persamaan empiris Guttenberg-Ritcher pada tahun 1945, sebagai berikut:

$$\log N(\geq M) = a - bM \quad (7)$$

dengan:

$N(\geq M)$: jumlah gempa yang memiliki magnitude lebih besar atau sama dengan M

a : suatu tetapan yang menggambarkan seismisitas daerah kejadian gempa bumi.

b : parameter seismotektonik yang menggambarkan karakteristik tektonik dari setiap kejadian gempabumi

M : magnitude (SR)

N adalah jumlah kumulatif gempa bumi pada wilayah kajian dengan magnitudo $\geq M$. Nilai b pada hubungan frekuensi-magnitudo gempa, biasa disebut *b-value*. Nilai b ini bergantung pada kondisi geologi setempat dan erat kaitannya dengan keadaan tektonik dari setiap kejadian gempabumi. Makin besar nilai b menggambarkan struktur semakin tidak homogen. Secara umum, nilai b berkisar antara 0.67-1.0 dan tidak memperlihatkan adanya variasi pada beberapa tempat. Menurut Guttenberg dan Richter, nilai b untuk gempa dangkal antara 0.45-1.4

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Lab Fisika FST UNDANA dan kantor Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Bandung (PVMBG), data diperoleh dari pos pengamatan gunungapi Lewotobi dan Egon berupa data rekaman seismik yang digunakan untuk menganalisis spektral serta penentuan hiposenter gempa dan

untuk data seismotektonik diperoleh dari katalog ISC dan USGS/NEIC untuk penentuan nilai b.

a. Analisis spectral

Data seismik yang diperoleh untuk gunung Lewotobi dalam format SEISAN dan SAC sehingga harus dikonversi ke MSEED dengan menggunakan *software* MAGMA-CAT, untuk dibuka di *software* SWARM, setelah itu dilakukang picking gempa dan klasifikasi gempa dengan *software* SWARM dan menentukan frekuensi dominan dengan *Software* MAGMA-CAT, untuk frekuensi dominan setiap gempa dilakukan *cutting signal* terlebih dahulu kemudian dilakukan *plottr*. Sedangkan frekuensi dominan *timeseries* dilakukan deteksi sinyal perstasiun kemudian di *plotfreqtimeseries*.

b. Penentuan hiposenter gempa

Penentuan hiposenter gempa pada gunung Lewotobi menggunakan *software* GAD karena memiliki lebi dari tiga stasiun, sedangkan gunung Egon dilakukan perhitungan manual karena hanya memiliki dua stasiun sehingga tidak ditentukan hiposenter gempanya. Gempa yang digunakan dalam penentuan hiposenter gempa ini adalah gempa tektonik lokal dan gempa vulkanik (vulkanik dalam dan dangkal). Gempa vulkanik dan tektonik lokal yang telah dipicking untuk mendapatkan waktu tiba gelombang P dan S, disimpan dalam format *arrival.dat*. Untuk memperoleh data hiposenter maka harus dilakukan *ranning* GAD dengan input data yang harus dimasukan yaitu *arrival.dat*, *station.dat*, *velocity.dat* dan *output* yang diperoleh berupa *resul.dat* yang didalamnya terdiri dari X (lintang), Y (bujur) dan Z (kedalaman).

Data hiposenter ini diplot pada *script python* yang dibuat untuk menampilkan peta hiposenter dan episenter dengan memanfaatkan bahasa pemograman *python 2.7*.

c. Penentuan nilai b

Data yang diperoleh dari katalog ISC dan USGS NEIC digabungkan dan difilter untuk membuang data yang sama. data ini diolah dengan *software* ZMAP 6.0 dengan menggunakan *decluster gutten and reisenberg*

untuk memperoleh gempa utama yang akan digunakan dalam penentuan nilai b.

Untuk data gempa yang digunakan untuk menganalisis spektral dan penentuan hiposenter gempa data hasil rekaman yang digunakan dari tanggal 1 Januari 2016 hingga 31 Januari 2016, sedangkan untuk nilai b data yang diambil dari tahun 1967 hingga tahun 2016.

HASIL DAN PEMBAHASAN

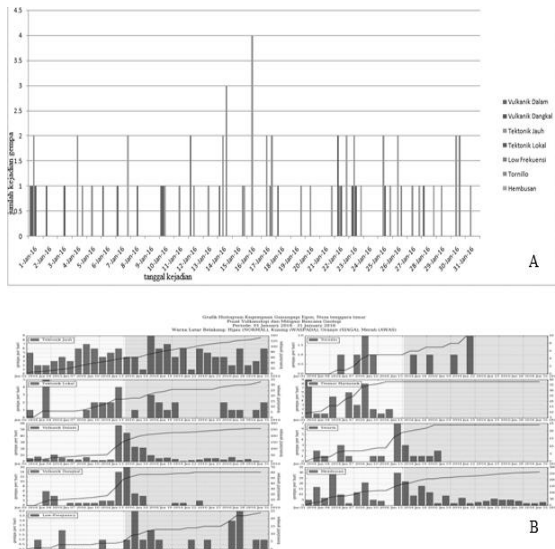
Secarah menyeluruh berdasarkan pengamatan seismik pada gunung Lewotobi dan gunung Egon pada periode 1 Januari hingga 31 Januari 2016, dapat diperoleh informasi bahwa (gambar 1a) gunung Lewotobi pada periode ini didominasi oleh gempa tektonik dan hanya sedikit gempa vulkanik sehingga status gunung lewotobi adalah normal, sedangkan untuk gunung Egon (gambar 1b) diperoleh informasi bahwa terjadi peningkatan aktivitas vulkanik sekitar tanggal 13 Januari yang membuat status gunung dinaikan dari level siaga ke waspada.

1. Analisis spektral

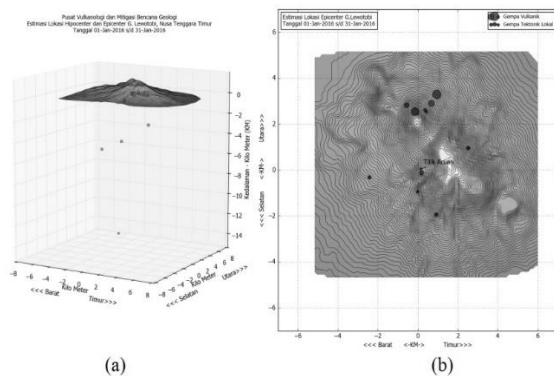
a. Analisis pergempa

Dalam menganalisis spektral peneliti menggunakan stasiun utama sebab berada tepa di kawah gunung dan hasil rekamannya lebih peka. Untuk gunung lewotobi stasiun yang di pakai adalah WLR dan gunung Egon HBGA.

Gunung Lewotobi memiliki beberapa jenis gempa yang terekam yaitu gempa vulkanik dalam dengan frekuensi dominan berkisar antara 10-13 Hz, gempa vulkanik dangkal 14,87-13,6 Hz, gempa tornillo 1,69-16,8 Hz, gempa tremor harmonik 1,72-2 Hz, gempa tektonik jauh 1,041-5,282 Hz, gempa tektonik lokal 1,80-2,79 Hz, gempa hembusan 2,54-7,53 Hz, gempa low frekuensi 0,72-1,97 Hz. Sedangkan gunung Egon jenis gempa yang terekam yaitu gempa vulkanik dalam dengan frekuensi dominan berkisar antara 10-13,0 Hz, gempa vulkanik dangkal 10-12,1 hz, gempa tremor harmonik 11-20,9, gempa swarm 11-12,3 Hz, gempa tektonik lokal 11,9-12,6 Hz, gempa tektonik jauh 2,62-12,6 Hz, gempa hembusan 4,88-12,8 Hz, gempa low frekuensi 0,47-3,17 Hz, gempa tornillo 12,0-12,6 Hz.



hiposenter jika diukur dari pusat gempa ke stasiun maka untuk stasiun HBGA jaraknya berkisar antara 2,66 - 3,82 Km dan stasiun ROTA jaraknya berkisar antara 0,28 - 4,03 Km, serta untuk kedalaman hiposenter jika diukur dari puncak gunung Egon ke pusat gempa untuk stasiun HBGA kedalaman hiposenter berkisar antara 0,204 - 2,754 Km di bawah puncak dan Stasiun ROTA kedalaman hiposenter berkisar antara 0,495 - 4,495 Km di bawah puncak.



Gambar 5. Estimasi hiposenter dan episenter gunung Lewotobi

Hasil yang diperoleh mengindikasikan bahwa sebaran hiposenter berbentuk kolom vertikal yang mengerucut keatas dan berada tepat di bawah kawah. Namun hal ini masih berupa perkiraan karena hanya dilakukan secara manual terhadap kedua stasiun tersebut. Karena hiposenter bisa dikatakan akurat apabila memiliki lebih dari tiga stasiun, hal ini diakibatkan karena medium yang dilalui gelombang kemungkinan memiliki perbedaan yang menyebabkan bedanya waktu tiba gelombang yang ditangkap masing-masing stasiun.

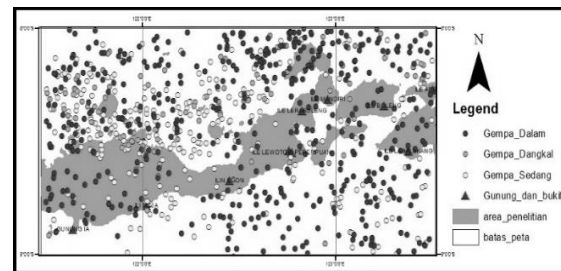
3. Kondisi seismotektonik daerah sekitar gunung Lewotobi dan Egon

a. Distribusi frekuensi dan magnitudo

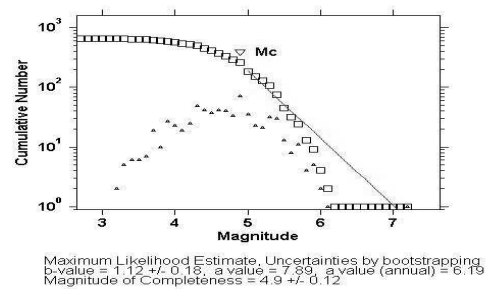
Gempa bumi yang terjadi didaerah sekitar gunung Lewotobi dan Egon pada umumnya didominasi oleh gempa dalam (>70 km) dan gempa sedang ($31 < h < 70$ km) (gambar 6).

Data gempa yang didapat dari katalog ISC dan USGS/NEIC dengan batas wilayah 8^0 LS - 9^0 LS dan 121.50^0 BT - 123.50^0 BT dilakukan perhitungan nilai-b dengan menggunakan program zmap, diperoleh nilai

MC adalah 4.9 dan b-value 1.12 serta nilai-a 7.89 (gambar 7). Berdasarkan nilai-b daerah penelitian merupakan daerah *creeping* yaitu sesar aktif yang tidak mengakumulasi stress dan merupakan daerah dengan dengan tingkat heterogenitas yang tinggi hal ini dibuktikan juga dengan terdapatnya beberapa gunungapi aktif termasuk gunung Lewotobi dan gunung Egon, yang menyebabkan meningkatnya kepadatan retak dan atau tekanan pori yang besar yang mengakibatkan intrusi magma aktif. Tingkat keaktifan gempa bumi daerah penelitian bisa dikatakan tinggi karena memiliki nilai-a besar yaitu 7.89.



Gambar 6. Peta seismisitas daerah sekitar gunung Lewotobi dan Egon

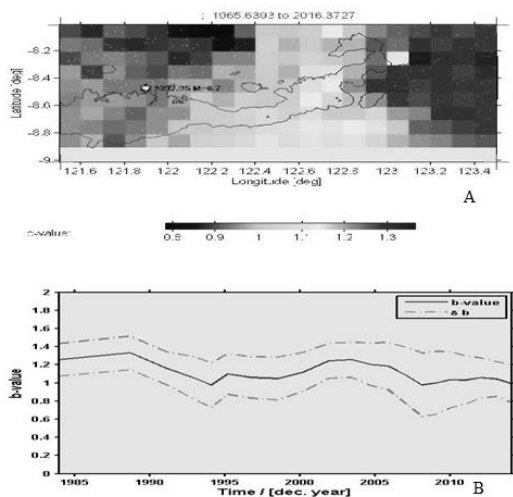


Gambar 7. Estimasi maksimum Likelihood

b. Analisis variasi spasial dan temporal nilai-b
Nilai-b spasial (gambar 8a) dari peta tersebut menunjukkan bahwa nilai b berada antara 1-1,2 terdapat tepat di kedua gunung tersebut, nilai b diatas 1,2 berada dibagian timur kedua gunung dan dibagian barat untuk nilai-b dibawah 1. Secara temporal nilai-b terjadi penurunan diantara (gambar 8b) tahun 1990-1995 dan tahun 2005-2010.

4. Hubungan antara aktivitas kegempaan, analisis spektral, hiposenter gempa gunung Lewotobi dan Egon dengan kondisi seismotektonik daerah sekitar.

Hasil analisis yang didapat baik itu untuk aktivitas seismo-vulkanik maupun seismo-tekonik tidak ada hasil yang mengindikasikan bahwa ada hubungan antara aktivitas vulkanik dan aktivitas tektonik, hanya jika dilihat dari hasil nilai-b *temporal* pada gambar 4.26, penurunan nilai-b pada periode antara tahun 1990 hingga 1995 hal ini diikuti dengan terjadinya gempa tektonik yang besar pada tahun 1992 dan penurunan nilai-b juga terjadi pada periode antara tahun 2005 hingga 2010 yang pada periode ini juga gunung Egon dan gunung Lewotobi menunjukkan peningkatan aktivitas dan pada tahun 2008 terjadi letusan gunung Egon dan gunung Lewotobi Laki-laki.



Gambar 8. Estimasi nilai-b spasial dan temporal.

Kesimpulan

Dari penelitian “Analisis Spektral dan Penentuan Hiposenter Gempa Gunung Lewotobi dan Gunung Egon Serta Kondisi Seismotektonik Daerah Sekitarnya” diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Gunung Lewotobi memiliki frekuensi dominan untuk gempa yang disebabkan oleh aktivitas Vulkanik seperti VA dan VB lebih dominan terjadi pada 11-12 Hz, Tremor Harmonik frekuensi dominannya berkisar 1,72 - 2,0 Hz, Tornillo frekuensi dominannya berkisar antara 1-20 Hz dan Low Frekuensi lebih dominan terjadi pada 1-2 Hz, sedangkan gempa yang disebabkan oleh aktivitas tektonik frekuensi dominan 1-

4 Hz. Gunung Egon mempunyai karakteristik frekuensi untuk setiap gempa baik itu aktivitas vulkanik maupun tektonik semuanya memiliki frekuensi yang tinggi yang dominan terjadi pada 10-13 Hz. Hiposenter gempa yang terdapat pada gunung Lewotobi lebih banyak berpusat di gunung Lewotobi Laki-laki dan sebagian berada di antara gunung Lewotobi Laki-laki dan Perempuan.

2. Kondisi seismotektonik daerah sekitar gunung Lewotobi dan Egon berdasarkan analisis nilai-b, nilai-b yang diperoleh adalah 1,12
3. Dari hasil penelitian tidak ditemukan keterkaitan antara aktivitas vulkanik dan kondisi seismotektonik daerah sekitar namun aktivitas tektonik hanya mampu memberikan jalan bagi magma.

Saran

Hal-hal yang perlu dilakukan dalam penelitian selanjutnya adalah:

- a. Analisis frekuensi kompleks agar dapat diketahui jenis fluida pada gunungapi
- b. Mencari nilai kecepatan gelombang yang ada di NTT sebagai dasar penentuan hiposenter gempa agar hasilnya lebih akurat
- c. Menentukan struktur lapisan bawah permukaan gunungapi

DAFTAR PUSTAKA

- Minakami, T, 1974. *Seismology of Volcanoes in Japan*. Earthquake Research Institute, University of Tokyo. Tokyo.
- Romsiyatin., Basid, A, 2012. Penentuan Sebaran Hiposenter Gunung Api Merapi Berdasarkan Data Gempa Vulkanik Tahun 2006, *Jurnal Neutrino Vol. 4. NO 2. April 2012*
- Sianturi, H.L., 2010. *Pengantar Seismologi*. Departemen Pendidikan Nasional. Undana. Kupang
- Siswawidjojo, S, 1981. *Seismologi Gunungapi*. SUB Direktorat Pengamatan Gunungapi Direktorat Vulkanologi
- Syhara, V, 2016. Analisis Spektral dan Distribusi Hiposenter Gempa Vulkanik

A dan Vulkanik B Gunungapi Ijen Jawa Timur. *Jurnal*, Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya, Malang

- www.esdm.VSI.go.id. Diakses september 2015