

Pertumbuhan Retakan Pada Peningkatan Aktivitas Gunung Egon, Nusa Tenggara Timur Periode Desember 2015 – Januari 2016

The Crack Growth on Activity Increase of Egon Volcanic, East Nusa Tenggara In The Period of December 2015 – January 2016

Estu Kriswati, Novia Antika Anggraeni, Suchahyo Adi, Devy K. Syahbana, Ilham Mardikayanta,
dan Herman Yosef Mboro

Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi

Jalan Diponegoro 57, Bandung 40122 - Indonesia

Naskah diterima 22 Maret 2016, selesai direvisi 13 Juli 2016, dan disetujui 28 Juli 2016

e-mail: estu@vsi.esdm.go.id

ABSTRAK

Peningkatan aktivitas Gunung Egon terjadi pada pertengahan Desember 2015. Tingkat aktivitas dinaikkan dari Level I (Normal) menjadi Level II (Waspada) pada 15 Desember 2015 dan kemudian dinaikkan menjadi level III (Siaga) pada 13 Januari 2016 sejalan dengan peningkatan aktivitas kegempaan yang makin intensif. Pemantauan kegempaan merupakan metode yang paling umum digunakan untuk menentukan tingkat aktivitas gunungapi dan untuk memprediksi letusan gunungapi. Pembahasan aktivitas vulkanik Gunung Egon ditujukan untuk memahami peningkatan aktivitas yang terjadi pada Desember 2015 – Januari 2016 berdasarkan analisis data kegempaan. Hal ini didukung oleh hasil pengamatan visual serta pengukuran kandungan gas di udara di sekitar gunung. Gempa-gempa vulkanik yang terekam pada seismometer Gunung Egon periode Desember 2015 - Januari 2016 meningkat dari segi jumlah dan mempunyai sumber yang dangkal di bawah puncak gunung. Peningkatan energi gempa vulkanik yang ditimbulkannya cukup signifikan. Analisis statistik terhadap gempa pada Gunung Egon yang memperlihatkan nilai-b cukup rendah, dan merupakan hasil dominansi jumlah gempa tektonik. Peningkatan nilai-b pada periode 2015 - 2016 dibandingkan periode 2014 - 2015 diartikan sebagai peningkatan retakan/rekahan di sekitar Gunung Egon. Kemungkinan adanya peningkatan retakan yang terjadi di Gunung Egon didukung oleh adanya peningkatan tinggi asap hembusan solfatara dan adanya peningkatan kandungan gas SO₂ pada Januari 2016 yang melebihi ambang batas.

Kata kunci: aktivitas gunungapi, gempa vulkanik, nilai-b, peningkatan retakan

ABSTRACT

Increasing the activity of Egon Volcano occurred in mid-December 2015. The level of activity of the volcano raised from Level I to Level II on December 15, 2015 and raised Egon to level III on January 13, 2016 due to the intensification of seismic activity. The seismic method is commonly applied for volcanic monitoring, volcanic eruption prediction, and determining the activity level of active volcanoes. Discussion of the volcanic activity of Egon Volcano aims to understand the increasing activity from December 2015 to January 2016 based on seismic data, supported by visual observation and gas content measurement in the air around Egon. Volcanic earthquakes at Egon Volcano in the period of December 2015 - January 2016 increased significantly in number, with hypocentres distributed in the shallow depth beneath the Egon summit. This means there was also a significant increase in volcanic earthquake energy. Statistical analysis of the earthquakes shows the b-value is quite low, indicating the dominance of tectonic earthquakes. The increase in b-value during the period of 2015-2016 compared to the period of 2014 - 2015 is defined as the increasing of cracks/fissures in the vicinity of the volcano. The possibility of the increasing in cracks occurred at Egon Volcano was supported by the increase in the height of solfatara emission and the increase in SO₂ gas content on January 2016, which was higher than the surrounding.

Keywords: volcanic activity, volcanic earthquakes, b-value, increase of cracks

PENDAHULUAN

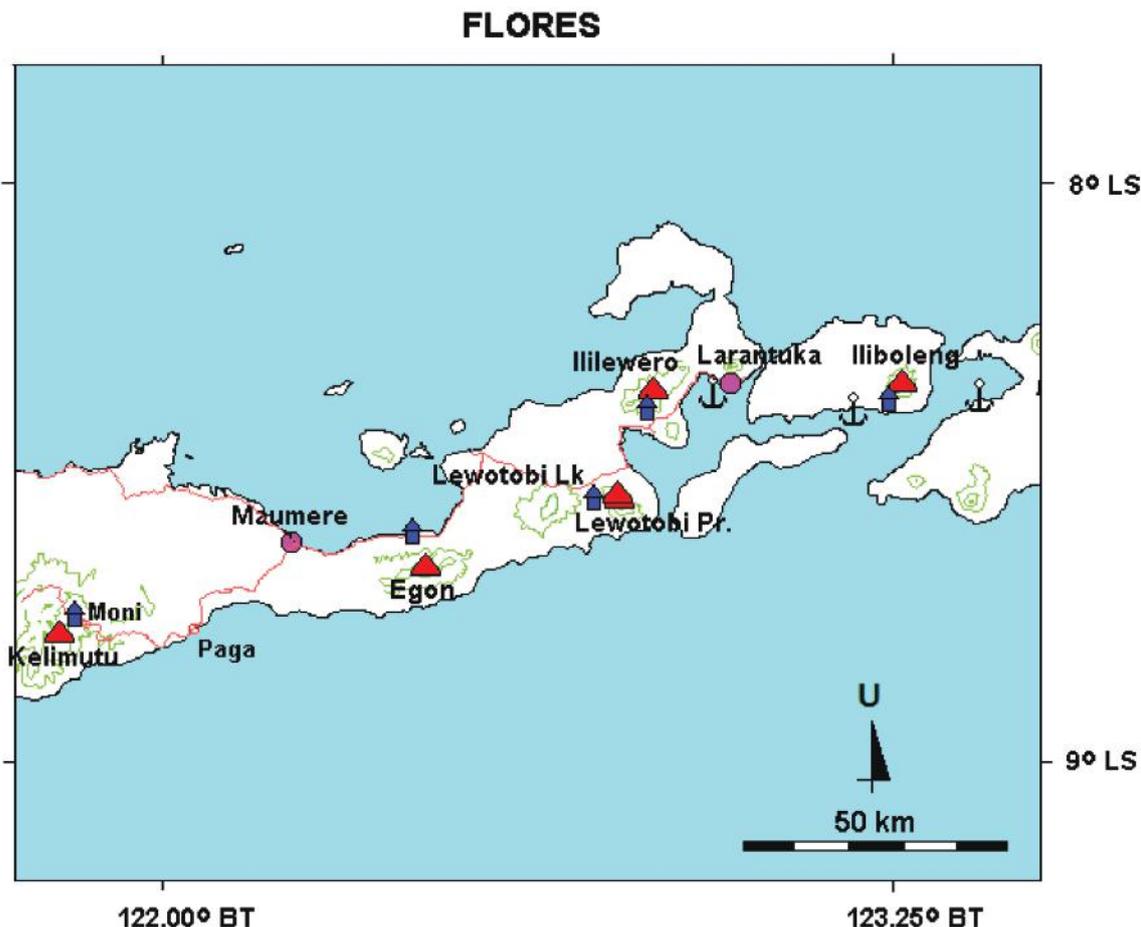
Latar belakang

Gunungapi Egon yang terletak di Kabupaten Sikka, Provinsi Nusa Tenggara Timur, termasuk salah satu gunung api aktif tipe-A di Indonesia (PVMBG, 2014). Puncak Gunung Egon berada pada koordinat geografis 8°40' Lintang Selatan dan 122°27' Bujur Timur dengan tinggi 1703 m dpl. Kota besar terdekat dari gunung ini adalah Maumere yang merupakan ibu kota Kabupaten Sikka, sekitar 55 km di barat Gunung Egon (Gambar 1).

Berdasarkan catatan sejarah erupsi Gunung Egon, sejak tahun 1888 terjadi beberapa kali erupsi dengan interval antara 1 – 79 tahun. Erupsinya pada umumnya bersifat freatik dengan material erupsi berupa abu, lapili, dan bom vulkanik. Pada tanggal 28 September 1907 terjadi letusan di kawah pusat, dan pada tahun 1925 terjadi semburan solfatara di kawah puncak bagian barat. Setelah

79 tahun tidak dilaporkan adanya peningkatan aktivitas, Gunung Egon kembali meletus pada tanggal 28 – 29 Januari 2004 dengan ketinggian abu erupsi mencapai lebih kurang 5.000 m di atas puncak. Ketebalan abu di puncak mencapai 20 - 80 cm, sementara abu erupsi yang jatuh ke arah selatan dan tenggara Gunung Egon sejauh 7 km dari puncak, ketebalannya kurang dari 1 mm. Letusan ini berlanjut pada tanggal 3 dan tanggal 6 Juli 2004 dengan tinggi asap erupsi 1.000 m di atas puncak. Abu menyebar ke Kota Maumere searah dengan angin dari tenggara. Ketebalan abu pada radius 3 km dari puncak adalah 5 mm. Rangkaian erupsi kembali terjadi pada tanggal 27 Agustus – 13 September 2004, tinggi kolom asap mencapai 1.000 – 5.000 m di atas puncak. Material erupsi berukuran lapili dan bom jatuh di sekitar puncak dan mengakibatkan kebakaran hutan di lereng barat. Hujan abu mencapai jarak 70 km ke arah barat, termasuk Kota Maumere dan sekitarnya.

Erupsi berikutnya terjadi pada tanggal 6, 11, dan



Gambar 1. Peta lokasi Gunung Egon di antara deretan gunungapi aktif lainnya di Provinsi Nusa Tenggara Timur.

13 Februari 2005 yang didominasi oleh lontaran lava pijar berukuran lapili dengan ketinggian lebih kurang 50 m di atas puncak. Letusan freatik dengan indeks eksplosivitas (VEI) 2 terjadi pada tanggal 15 April 2008 dengan ketinggian kolom letusan mencapai lebih kurang 4.000 m di atas puncak dan condong ke arah utara dan barat laut (Primulyana, 2008). Letusan-letusan dengan eksplosivitas lebih kecil dengan ketinggian lebih kurang 2.000 m terjadi pada tanggal 20, 24, dan 28 April 2008. Abu erupsi menyebar ke arah timur laut dan sampai ke Desa Waiterang dan ke arah barat – barat laut hingga Kampung Waigete, Desa Egon. Peningkatan aktivitas Gunung Egon kembali terjadi pada pertengahan Desember 2015, sehingga tingkat aktivitas Gunung Egon dinaikkan dari Level I (Normal) menjadi Level II (Waspada), yaitu pada tanggal 15 Desember 2015 pukul 21.00 WITA. Bahkan tingkat aktivitasnya kemudian dinaikkan lagi menjadi level III (Siaga) pada tanggal 13 Januari 2016 pukul 06.00 WITA karena terjadi peningkatan aktivitas kegempaan yang makin intensif.

Perkembangan aktivitas kegempaan sangat erat hubungannya dengan pertumbuhan keretakan batuan di sekitarnya. Oleh karena itu, pembahasan aktivitas vulkanik Gunung Egon yang ditujukan untuk memahami peningkatan aktivitas yang terjadi pada Desember 2015 – Januari 2016 berdasarkan analisis data kegempaan dan didukung oleh hasil pengamatan visual serta pengukuran kandungan gas di udara di sekitar gunung ini merupakan hal yang sangat menarik dalam studi ini.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode seismik yang didukung oleh data hasil pengamatan visual dan kandungan gas di udara sekitar Gunung Egon. Dalam pengamatan seismik Gunung Egon, telah terpasang dua stasiun permanen di lereng utara dan barat, serta dua stasiun temporer di lereng selatan

dan tenggara. Analisis yang dilakukan meliputi penghitungan jumlah gempa dan sebaran nilai beda waktu tiba gelombang S dan gelombang P gempa-gempa vulkanik dan tektonik, penghitungan energi kumulatif gempa vulkanik, frekuensi dominan, penentuan hiposentrum, penghitungan *Real-time Seismic-Amplitude Measurement* (RSAM), penghitungan nilai-b (*b-value*) gempa-gempa vulkanik, serta pengukuran kandungan gas SO₂, H₂S, dan CO₂ di udara sekitar Gunung Egon.

Perhitungan energi gempa vulkanik Gunung Egon didasarkan pada rumus energi (Gutenberg – Richter, 1956) sebagai berikut:

$$\log E = 11,8 + 1,5M \text{ (erg)}$$

$$M = 1,4 + \log Ar$$

$$Ar = (App/2) * (2800/I)$$

dengan M adalah magnitudo, Ar adalah amplitudo gempa yang disamakan dengan seismograf Wood Anderson, App adalah amplitudo yang terbaca pada rekaman dalam mm, dan I merupakan pembesaran seismograf. Pembesaran seismograf

Nama Stasiun	Lintang (Utara)	Bujur (Timur)	Elevasi (m)
Hobilogot	08°38'44.60"	122°26'36.00"	714
Rotan	08°41'10.50"	122°25'37.30"	953
Wairpuad	08°41'39.50"	122°29'06.40"	613
Hebing	08°43'16.20"	122°27'26.30"	245



Gambar 2. Peta lokasi stasiun seismik Gunung Egon dan koordinat lokasinya.

yang digunakan adalah sebesar 1.000 kali.

Penentuan pusat gempa dihitung berdasarkan hasil rekaman data seismik yang terekam pada empat stasiun seismik di Gunung Egon (HBGA, ROTA, PUAD, dan HBNG, Gambar 2) pada periode 17 Januari – 25 Januari 2016. Pusat gempa ditentukan berdasarkan hasil pemilihan data terhadap gempa vulkanik (VA dan VB) dan penghitungan dilakukan menggunakan metode Geiger Adaptive Damping (GAD) (Nishi, 2005). Penentuan hiposentrum dilakukan menggunakan model 2 lapisan dengan kecepatan gelombang pada masing-masing lapisan adalah V_p 2,8 km/jam dan V_s 1,56 km/jam untuk lapisan pertama serta V_p 5,5 km/jam dan V_s 4,17 km/jam untuk lapisan kedua.

RSAM digunakan untuk menggambarkan perubahan kegempaan gunungapi secara *real time* yang menggambarkan nilai rata-rata amplitudo gempa dari satu seismometer. Teknik ini dikembangkan oleh USGS untuk memperlihatkan secara cepat aktivitas seismik pada saat tingkat aktivitasnya tinggi. Selama tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi, adanya kejadian gempa biasanya sangat sulit untuk dikenali. Rekaman seismik secara analogis menyediakan data yang lengkap, tetapi tidak menyediakan data untuk analisis kuantitatif secara cepat seperti yang diperlukan pada situasi menjelang erupsi gunungapi. Pada periode tersebut data kegempaan secara kuantitatif sangat diperlukan. Sistem RSAM dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut dan sangat baik

diterapkan selama tingkat aktivitas kegempaan vulkanik tinggi pada saat sinyal gempa vulkanik menutup sinyal dari kebanyakan noise (sumber: <http://www.avo.alaska.edu/rsam/>).

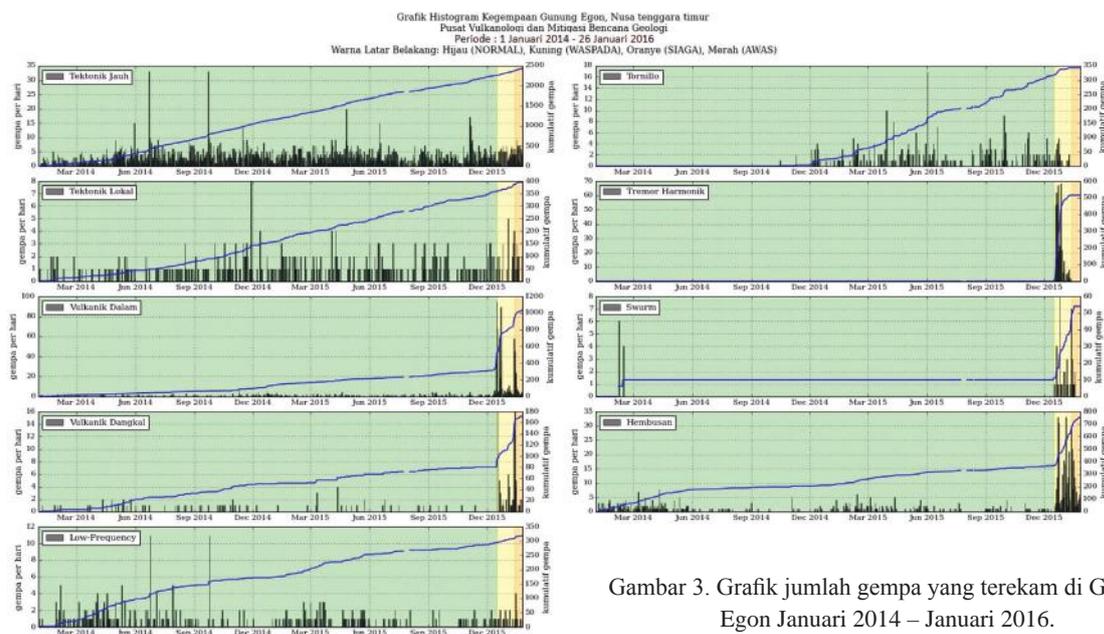
Nilai-b diperoleh dari persamaan hubungan Gutenberg–Richter (Gutenberg and Richter, 1944) yang merupakan hubungan empiris yang memperlihatkan frekuensi kejadian sebagai fungsi magnitudo. Hubungan tersebut direpresentasikan dengan persamaan berikut:

$$\log_{10} N = a - bM$$

dengan N adalah jumlah kumulatif gempa dengan magnitudo sebesar M, serta a dan b adalah konstanta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

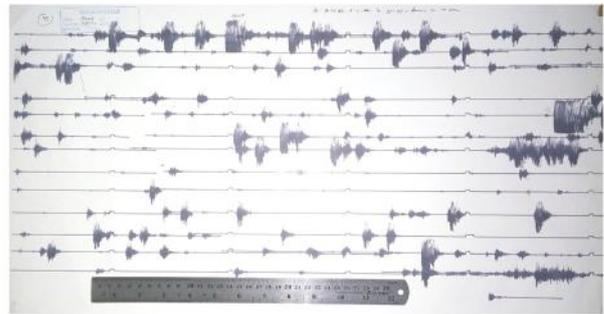
Gempa-gempa yang terekam pada seismometer Gunung Egon pada kondisi normal didominasi gempa tektonik, terutama Gempa Tektonik Jauh (TJ) dengan jumlah harian 1 – 20 kejadian, Gempa Tektonik Lokal (TL) terekam 1 – 10 kejadian per hari, Gempa Vulkanik Dalam (VA) terekam 0 – 4 kejadian per hari dengan amplitudo 1,5 – 24 mm, S-P 0,5 – 5 detik, dan lama gempa 0,5 – 50 detik, sedangkan Gempa Vulkanik Dangkal (VB) terekam 0 – 4 kejadian per hari dengan amplitudo 1,5 – 26 mm dan lama gempa 1,5 – 35 detik. Pada tingkat aktivitas level II (Waspada) yang ditetapkan tanggal 15 Desember 2015, gempa TJ



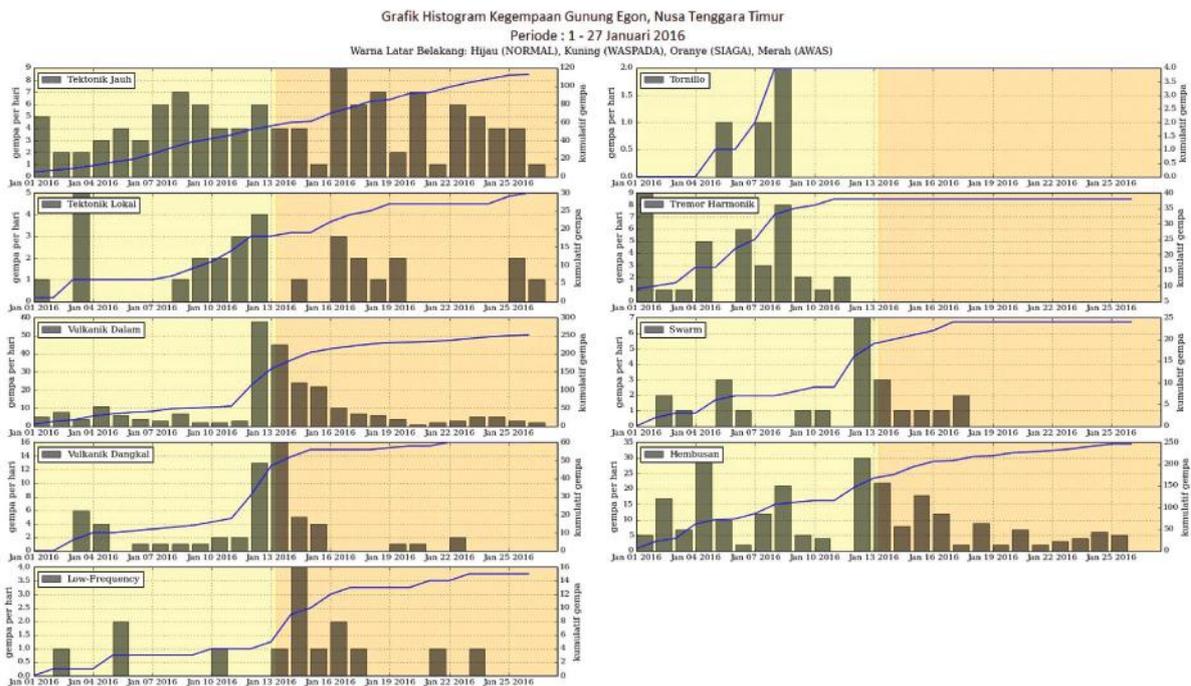
Gambar 3. Grafik jumlah gempa yang terekam di Gunung Egon Januari 2014 – Januari 2016.

terekam sebanyak 1 – 7 kejadian, TL terekam 1 – 5 kejadian, gempa VA terekam 1 – 92 kejadian dengan amplitudo maksimum 1,5 – 24 mm, S-P 0,5 – 5 detik, dan lama gempa 0,5 – 50 detik, sedangkan gempa VB terekam 0 – 15 kejadian per hari dengan amplitudo 1,5 – 26 mm dan lama gempa 1,5 – 35 detik (Gambar 3).

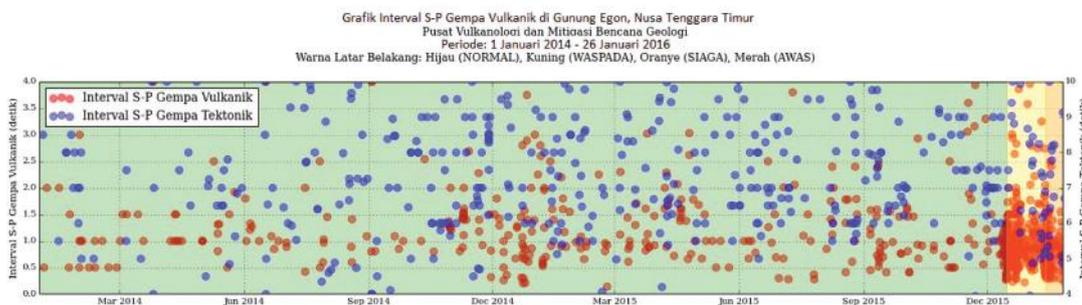
Tingkat aktivitasnya dinaikkan menjadi level III (Siaga) setelah terjadi gempa terasa pada 12



Gambar 4. Contoh rekaman Gempa Vulkanik tanggal 12 Januari 2016.



Gambar 5. Grafik jumlah gempa yang terekam di stasiun Habilogot Januari 2016. Tampak peningkatan yang signifikan setelah gempa terasa tanggal 12 Januari 2016.

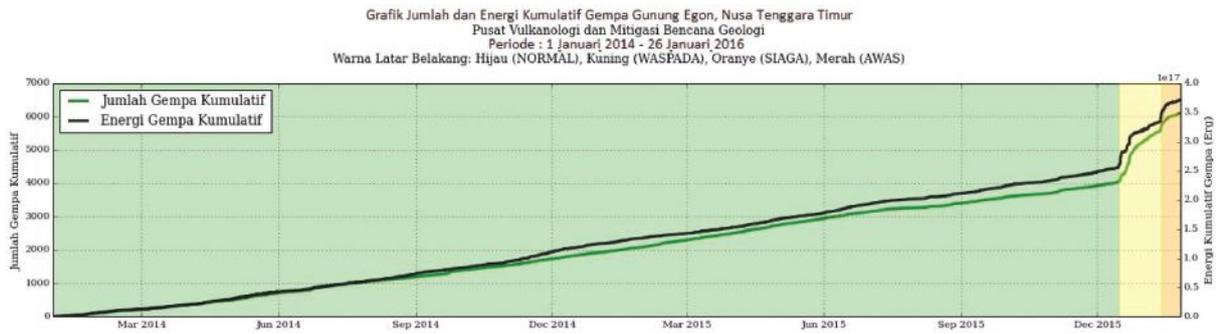


Gambar 6 Grafik sebaran nilai S-P gempa vulkanik dan tektonik periode 1 Januari 2014 – 26 Januari 2016.

Januari 2016. Gempa terasa tersebut diikuti oleh peningkatan jumlah gempa vulkanik (Gambar 4 dan Gambar 5), meskipun setelah itu jumlah gempa mengalami penurunan kembali hingga

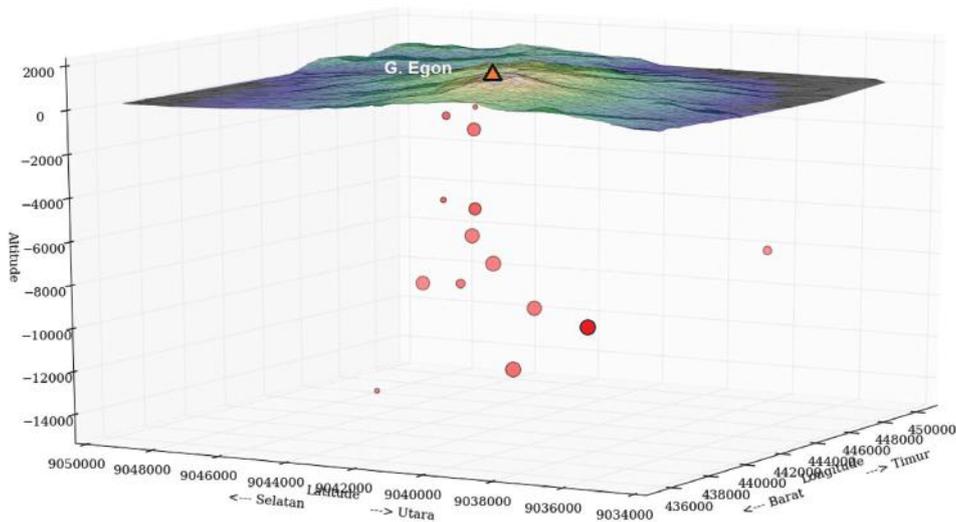
pada kisaran yang sama dengan pada saat berstatus Waspada.

Sebaran S-P Gempa Vulkanik Dalam (VA) Gunung Egon sejak Januari 2014 hingga Januari



Grafik 7. Energi kumulatif 1 Januari 2014 – 26 Januari 2016.

Estimasi Lokasi Pusat Gempa Gunung Egon, NTT



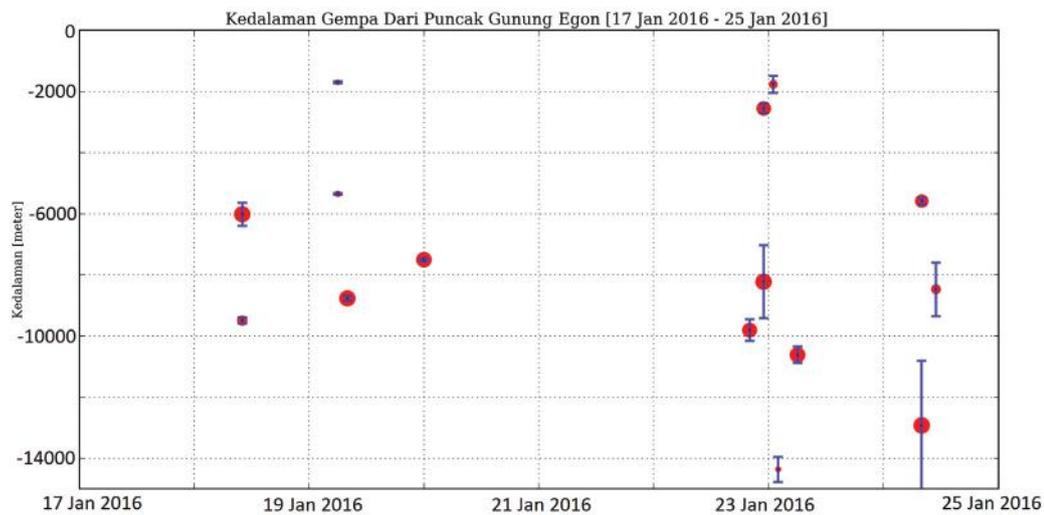
Gambar 8. Estimasi sebaran lokasi pusat gempa Gunungapi Egon, NTT. Segitiga merah menunjukkan lokasi puncak Gunung Egon dan lingkaran merah merupakan lokasi sumber gempa. Besarnya lingkaran memperlihatkan besarnya magnitudo gempa

2016 dapat dilihat pada Grafik 3. Interval waktu tiba gelombang S dan P gempa vulkanik Gunung Egon dominan berada pada kisaran 0,5 – 3 detik hingga pertengahan Desember 2015, dan kemudian berubah menjadi pada kisaran 0,25 – 2 detik yang memperlihatkan adanya kemungkinan pendangkalan sumber gempa di Gunung Egon.

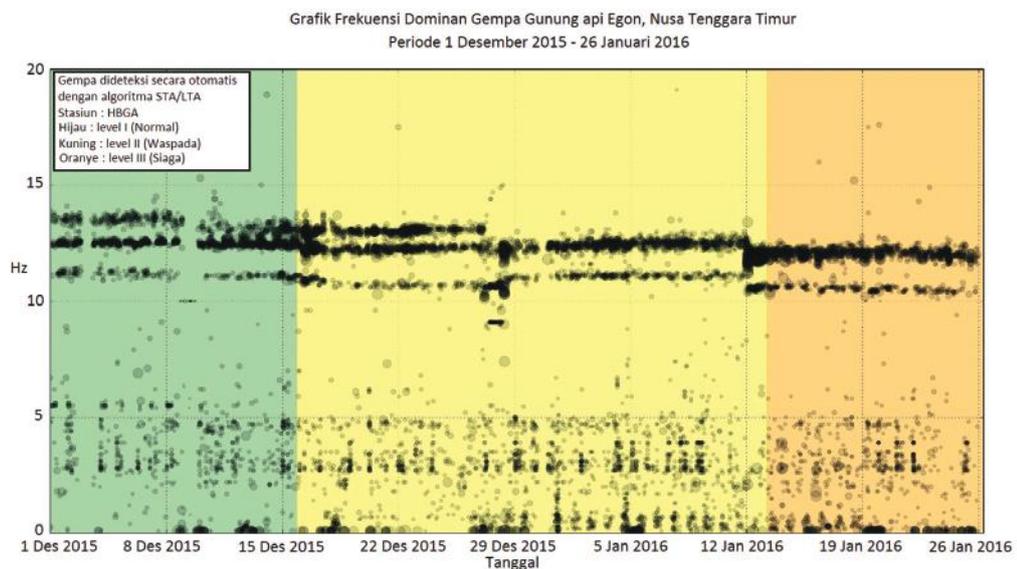
Hasil perhitungan energi kumulatif diperlihatkan pada Gambar 7. Grafik energi gempa kumulatif memperlihatkan peningkatan yang signifikan pada 15 Desember 2015 sehingga level aktivitas vulkaniknya dinaikkan menjadi Waspada (level II), dan kembali terjadi pada 12 Januari 2016 sehingga levelnya naik menjadi Siaga (level III) pada 13 Januari 2016.

Pusat gempa tersebar pada kedalaman antara 0,5 – 14 km dari permukaan air laut dengan magnitudo 0,69 – 1,74 (Gambar 8). Gempa tersebar di sekitar Gunungapi Egon, sedangkan beberapa titik lokasi gempa yang jauh dari Gunungapi Egon diinterpretasikan sebagai Gempa Tektonik Lokal yang juga terekam pada keempat stasiun seismik yang dipasang di sekitar Gunungapi Egon. Gempa tersebar hingga radius 5 km dari puncak Gunung Egon pada kedalaman 0 – 13 km dari permukaan laut (Gambar 9).

Dari pengeplotan frekuensi dominan terhadap waktu bagi gempa-gempa yang terekam di Gunung Egon (Gambar 10) terlihat adanya perubahan nilai frekuensi dominan dan adanya trend perubahannya.



Gambar 9. Estimasi kedalaman gempa dari puncak Gunung Egon. Garis biru menunjukkan ralat estimasi kedalaman.



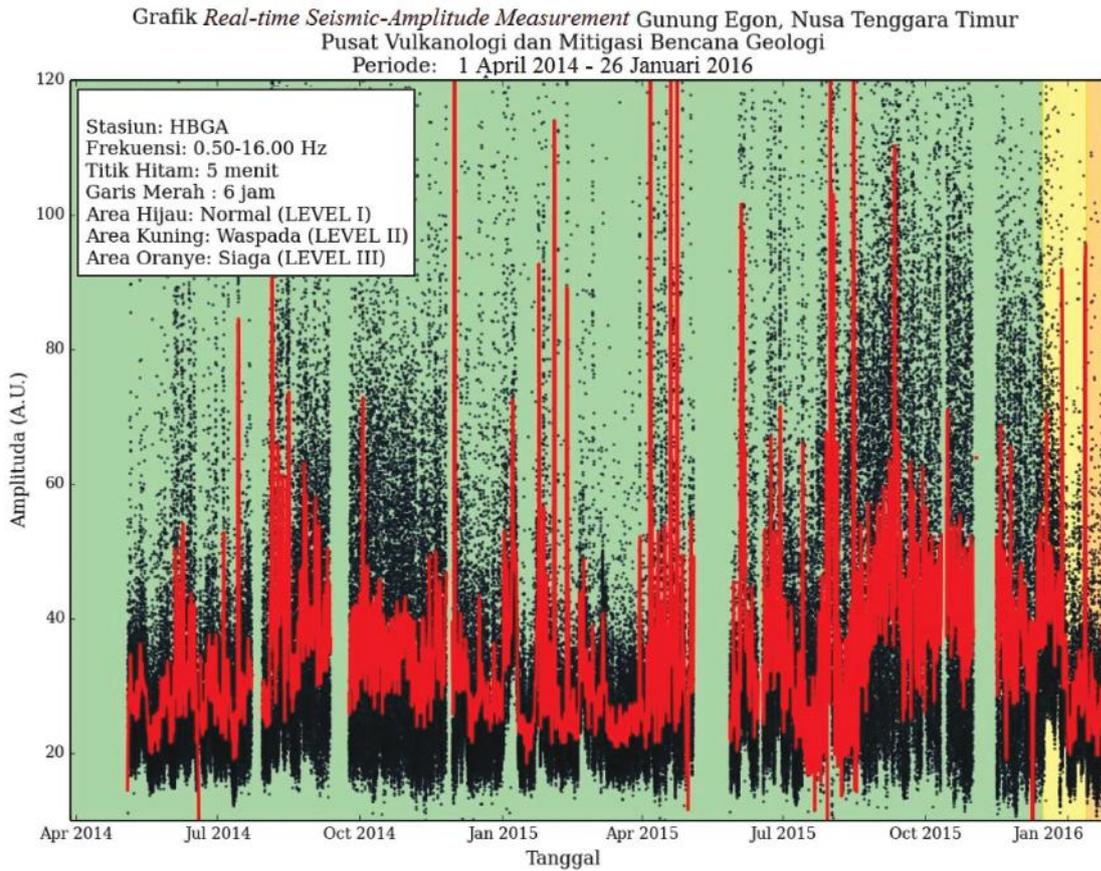
Gambar 10 .Grafik frekuensi dominan gempa-gempa yang terekam di Gunung Egon.

Perubahan nilai frekuensi dapat disebabkan oleh berubahnya lokasi sumber gempa, berubahnya heterogenitas batuan, dan/atau berubahnya dimensi/property akustik kerak/conduit. Dalam hal berubahnya lokasi sumber gempa, makin dangkal sumber gempa, kompaksi batuan semakin kecil, perambatan gelombang semakin lambat dan mengakibatkan nilai frekuensi menjadi lebih rendah. Dengan dasar tersebut, makin rendahnya frekuensi dominan untuk gempa-gempa yang terekam di Gunung Egon diinterpretasikan sebagai pendangkalan sumber gempa dan peningkatan tekanan magma dari dalam tubuh gunungapi

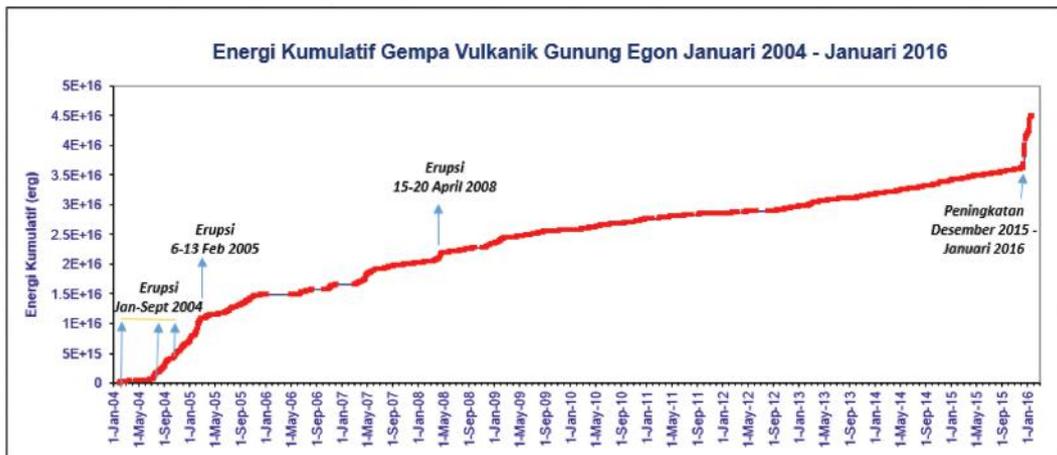
terhadap batuan di sekitarnya.

Sementara itu, dari data amplitudo yang ditunjukkan pada grafik RSAM (Gambar 11), terlihat adanya penurunan nilai amplitudo rata-rata pada saat tingkat aktivitasnya Waspada maupun Siaga. Lonjakan tinggi pada beberapa waktu berhubungan dengan terjadinya gempa tektonik, baik Tektonik Jauh maupun Tektonik Lokal.

Untuk memahami peningkatan aktivitas Egon pada Desember 2015 – Januari 2016, diperlukan pengetahuan mengenai peningkatan aktivitas sebelumnya yang menjadi karakteristik aktivitas



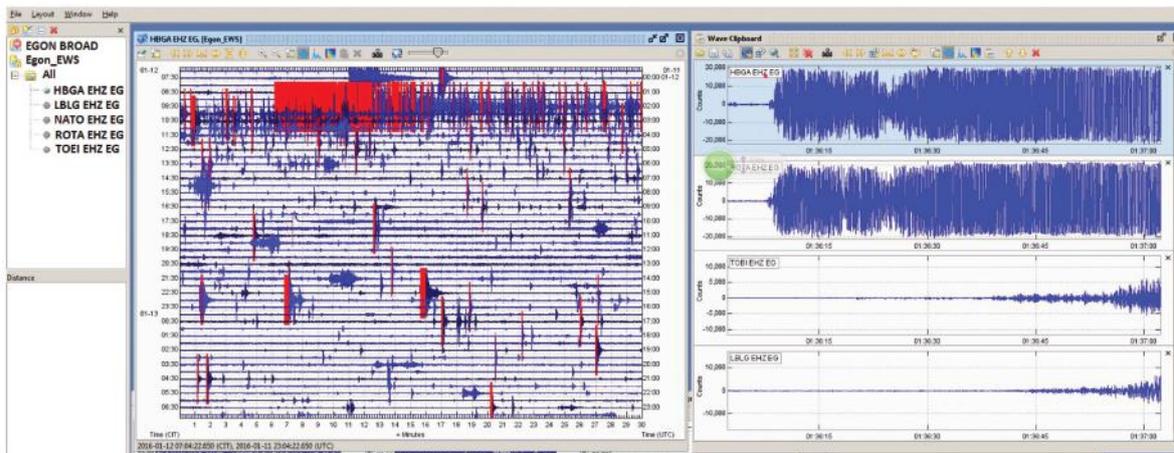
Gambar 11. Grafik RSAM gempa Gunung Egon.



Gambar 12. Grafik energi kumulatif gempa vulkanik (VA+VB) Gunung Egon periode Januari 2004 – Januari 2016.

gunung ini. Sebelum erupsi Januari 2004, grafik energi kumulatif tidak memperlihatkan data yang cukup karena tidak adanya ketersediaan data sebelum erupsi (Gambar 12). Energi kumulatif sebelum erupsi Juni 2004 tidak memperlihatkan adanya perubahan yang signifikan. Peningkatan

terjadi mendahului erupsi Agustus - September 2004, dan tidak menunjukkan adanya penurunan hingga erupsi Februari 2005. Sementara itu, erupsi 15 - 20 April 2008 didahului oleh sedikit peningkatan sejak seminggu sebelumnya. Dari beberapa catatan tersebut, erupsi Gunung



Gambar 13. Rekaman gempa tanggal 12 Januari 2016 pukul 01.35 yang dirasakan oleh penduduk di sekitar Dusun Baokrenget dengan waktu tiba yang berbeda jauh antara stasiun Habilogot di Egon dan stasiun seismik Gunung Lereboleng.

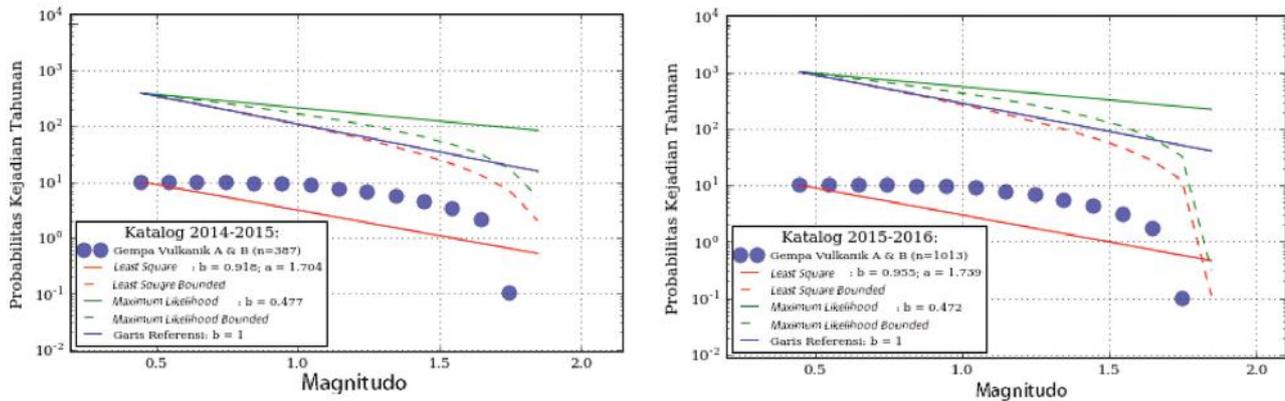
Egon tidak secara signifikan diawali dengan peningkatan kegempaan yang tinggi, sehingga muncul pertanyaan: “Sebenarnya apakah yang menyebabkan kegempaan, terutama dari data energi dan jumlah gempa Egon yang meningkat secara dramatis pada periode Desember 2015 – Januari 2016?”

Amplitudo gempa yang terekam di Gunung Egon sebenarnya secara umum memiliki nilai yang cenderung turun pada periode Desember 2015 – Januari 2016, tetapi juga disertai oleh lonjakan-lonjakan akibat kejadian gempa tektonik. Data gempa dari USGS menunjukkan tidak adanya gempa tektonik regional yang memicu pada Desember 2015 – Januari 2016, kecuali gempa yang terjadi pada 14 Januari 2016 di Watubuku dan bermagnitudo 5,1, mengindikasikan bahwa gempa-gempa tektonik yang dirasakan oleh sebagian penduduk di sekitar Egon pada kurun waktu tersebut disebabkan oleh gempa-gempa tektonik lokal yang bersumber pada lokasi yang sangat dekat dengan Gunung Egon. Hasil rekaman beberapa gempa menunjukkan perbedaan waktu tiba yang cukup besar antara stasiun gempa di Gunung Egon dan di Gunung Lereboleng yang berjarak lebih kurang 70 km di timur laut Egon (Gambar 13). Sebaran hiposenterum gempa yang bersumber di sekitar kawah dan diinterpretasikan sebagai gempa tektonik lokal yang terjadi di sekitar kawah Egon, kemungkinan bersumber pada struktur yang memotong atau berada di sekitar kawah Egon.

Selama peningkatan aktivitas Desember 2015 – Januari 2016, jumlah gempa vulkanik memperlihatkan peningkatan yang cukup tinggi. Demikian juga data energi yang memperlihatkan peningkatan yang cukup tajam pada energi kumulatif gempa vulkanik, mencerminkan adanya peningkatan kegempaan dari segi jumlah gempa. Apabila digabungkan dengan data RSAM peningkatan kegempaan yang terjadi pada periode tersebut diakibatkan oleh peningkatan jumlah gempa dengan amplitudo yang lebih kecil dibandingkan dengan saat tidak terjadi peningkatan aktivitas.

Analisis tersebut didukung pula oleh nilai- b (b -value) untuk gempa-gempa yang terekam di Gunung Egon pada periode 2015 – 2016 yang mempunyai nilai 0,955 (Grafik 8), sedikit meningkat dibandingkan nilai- b pada periode sebelumnya (2014 - 2015) yang terhitung sebesar 0,918. Nilai- b yang lebih tinggi berarti adanya gejala gempa dengan magnitudo kecil yang meningkat jumlahnya, sedangkan nilai- b yang rendah menunjukkan gejala gempabumi dengan magnitudo semakin besar yang meningkat jumlahnya.

Tetapi nilai- b sebesar 0,955 masih cukup rendah, dan kemungkinan rendahnya nilai- b ini adalah meningkatnya aktivitas retakan di sekitar Gunung Egon. Menurut Rao dan Prasanna Lakshmi (2005) dalam percobaan di laboratorium, rendahnya nilai- b ini juga terjadi pada batuan yang akan mengalami retakan (*cracking*) setelah mengalami



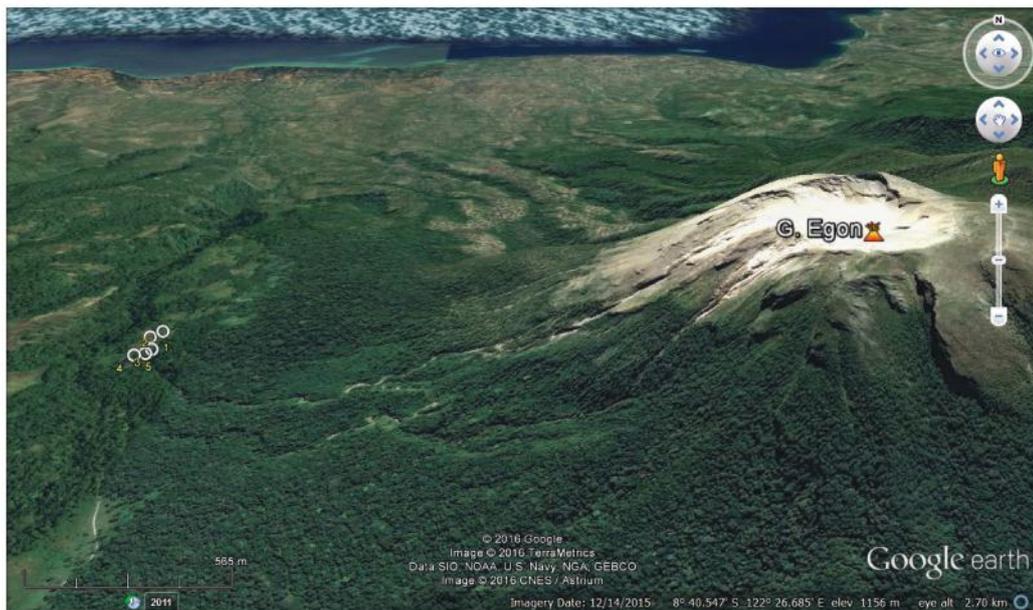
Gambar 14. Grafik korelasi Linear antara log N (jumlah) gempa dan magnitudo (M) dari data gempa di Gunung Egon tahun 2014 - 2015 dan 2015 - 2016.



Gambar 8. Asap hembusan dilihat dari arah barat (Waigete) ke arah bukaan kawah Gunung Egon.

tegangan kompresi dan secara relatif meningkatkan tegangan kritis (*critical failure stress*). Kenaikan nilai-*b* merepresentasikan adanya retakan baru (*new cracks*) dan lambatnya tingkat pertumbuhan retakan itu (*slow crack growth*). Gejala ini biasanya terjadi pasca terjadinya gempabumi yang besar (Rao dan Prasanna Lakshmi, 2005 dalam Brotopuspito dan Wahyudi, 2007). Demikian juga tinggi rendahnya stress yang disebabkan oleh satu seri gempa dapat digambarkan dengan rendah dan tingginya nilai-*b* (Scholz, 1968). Pengamatan ini dikembangkan untuk studi mengenai tingkat stress dan anomali struktur pada kerak bumi dan/ atau mantel bagian atas (pada zona subduksi),

seperti untuk prediksi gempa dan identifikasi volume magma suatu gunungapi (Wiemer and Benoit 1996). Nilai-*b* juga berhubungan dengan heterogenitas material (Mogi, 1962) makin tinggi heterogenitas berhubungan dengan nilai-*b* yang tinggi. Demikian juga hasil laboratorium yang menunjukkan peningkatan gradien suhu menyebabkan peningkatan nilai-*b* (Warren and Latham, 1970). *Swarms* yang dihasilkan dari proses atau kegiatan vulkanik seperti migrasi magma atau fluida di gunungapi biasanya memiliki nilai-*b* yang sangat tinggi karena berasosiasi dengan munculnya banyak gempa bermagnitudo kecil. Rendahnya nilai-*b* bisa diinterpretasikan juga



Gambar 9. Lokasi pengukuran kandungan gas di udara.

Tabel 1. Hasil pengukuran kandungan gas di udara di sekitar Gunung Egon

Tanggal	Lokasi	CO ₂ (ppm)	H ₂ S (ppm)	SO ₂ (ppm)
16 Januari 2016 (pagi)	08°40.337' LS, 122°25.898' BT, 650 m dpl.	6000	8,4	12
22 Januari 2016 (malam)	08°40.357' LS, 122°25.877' BT, 655 m dpl.	0	2,3	3,5
23 Januari 2016 (pagi)	08°40.422' LS, 122°25.906' BT, 712 m dpl.	0	1,3	2
23 Januari 2016 (pagi)	08°40.436' LS, 122°25.873' BT 843 m dpl.	0	1,7	2.6
25 Januari 2016 (pagi)	08°40.437' LS, 122°25.898' BT, 720 m dpl.	0	0	0
Catatan ambang batas		5000	10	2

sebagai kemungkinan adanya konsentrasi stress yang merefleksikan variasi gesekan sepanjang sesar, yang kemungkinan mengontrol kemunculan gempa besar.

Karena biasanya aktivitas vulkanik dicerminkan oleh nilai-b yang tinggi, nilai rendah yang diperoleh untuk gempa, baik pada periode 2014 – 2015 maupun 2015 – 2016, tetap memperlihatkan dominasi gempa tektonik di Gunung Egon. Peningkatan nilai-b pada periode 2015 - 2016 dibandingkan periode 2014 - 2015 yang terjadi lebih diartikan sebagai peningkatan aktivitas retakan di sekitar Gunung Egon.

Peningkatan retakan ini memungkinkan terjadinya perubahan aktivitas vulkanik yang teramati secara visual dengan pelepasan gas vulkanik ke udara. Hasil pengamatan visual dari Pos Pengamatan Gunung Egon, pada kondisi normal secara umum tidak memperlihatkan asap solfatara hingga setinggi 10 m di atas puncak, tetapi pada 20 - 21 Januari 2016 terjadi peningkatan tinggi asap solfatara yang mencapai ketinggian 50 – 100 m di atas puncak (Gambar 8). Demikian juga hasil pengukuran gas vulkanik di udara yang diukur di lereng Gunung Egon pada jarak lebih kurang 2,5 km dari puncak (Gambar 9) memperlihatkan

peningkatan yang cukup berarti, terutama pelepasan gas SO₂ ke udara (Tabel 1). Pengukuran kimia dilakukan atas kandungan unsur CO₂, H₂S, dan SO₂ di udara menggunakan Drager Xam-7000. Hasil pengukuran pada 16 Januari memperlihatkan bahwa nilai CO₂ dan SO₂ melebihi ambang batas yang diperbolehkan bagi kesehatan manusia, dan pada tanggal 22 hingga 23 Januari terlihat bahwa hanya SO₂ yang terukur masih tinggi.

KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan analisis kegempaan Gunung Egon yang didukung hasil pengamatan secara visual dan pengukuran kandungan gas di udara, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

Gempa-gempa vulkanik yang terekam pada seismometer Gunung Egon hingga Januari 2016 meningkat dari segi jumlah dan mempunyai sumber gempa yang dangkal di bawah puncak Gunung Egon, serta peningkatan energi gempa vulkanik yang ditimbulkannya cukup signifikan.

Nilai-b (=0,955) yang cukup rendah diinterpretasikan sebagai hasil atau pengaruh dominansi jumlah gempa tektonik, sedangkan peningkatan nilai-b pada periode 2015 - 2016 dibandingkan periode 2014 -2015 diartikan sebagai peningkatan retakan/rekahan di sekitar Gunung Egon.

Adanya peningkatan retakan yang terjadi di Gunung Egon didukung oleh adanya peningkatan tinggi asap hembusan dari 0 – 10 m menjadi 50 – 100 m di atas puncak serta adanya peningkatan kandungan gas SO₂ pada tanggal 16, 22, dan 23 Januari 2016 yang melebihi ambang batas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kepala Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi atas kesempatan untuk melakukan pengamatan di Gunung Egon terutama saat terjadinya peningkatan aktivitas kegempaan. Terima kasih juga ditujukan kepada para pengamat Gunung Egon, Bapak Yosep Suryanto, Edi Rohaedi, dan Sigit Rian Alfian atas bantuannya, baik tenaga maupun data. Terima kasih yang dalam juga dikirimkan untuk para kolega di PVMBG yang telah banyak berkontribusi dalam diskusi yang sangat berharga.

DAFTAR PUSTAKA

- Brotopuspito, K.S. dan Wahyudi, 2007. *Erupsi Gunungapi Kelud dan Nilai-b Gempabumi di Sekitarnya (Eruption of The Kelud Volcano and b-Value of Its Surrounding Earthquakes)*, Berkala MIPA, 17(3), September 2007.
- Gutenberg, R. dan Richter, C. F., 1944. *Frequency of earthquakes in California*, Bull. Seismol. Soc. Am., 34, 185–188.
- Gutenberg, B. dan Richter, C. F., 1956. *Magnitude and Energy of Earthquakes*. *Annali di Geofisica*, 9: 1–15.
- Mogi, K., 1962. *Magnitude-frequency relationship for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes*. Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo, 40: 831-883.
- Nishi, K., 2005. *Hypocenter Calculation Software GAD (Geiger's method with Adaptive Damping)*, ver.1, JICA report - May 2005.
- Primulyana, S., dkk..2008. *Laporan Pemantauan Kegiatan Gunungapi Egon, Nusa Tenggara Timur*; Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.
- PVMBG.2014 *Data Dasar Gunungapi Indonesia*, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Bandung.
- Scholz, C. H. 1968. *The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes*. Bull. Seismol. Soc. Am., 58: 399-415.
- Warren, N.W. dan Latham, G.V., 1970. *An experiment study of thermal induced microfracturing and its relation to volcanic seismicity*. J. Geophys. Res., 75: 4455-4464.
- Wiemer, S. and Benoit, J., 1996. *Mapping the b-value anomaly at 100 km depth in the Alaska and New Zealand subduction zones*. Geophys. Res. Let., 23: 1557-1560.
- http://so2.gsfc.nasa.gov/pix/daily/0116/lsunda_so2lf_5k_ts_plot.html
<http://www.avo.alaska.edu/rsam/>