

Identifikasi Mekanisme Kedalaman Gempa Vulkanik Gunungapi Soputan Menggunakan Data Seismik Vulkanik Dalam Periode April-Mei 2014

Sriwahyu Tiyow*, Patricia Mardiana Silangen, Theresje Mandang

Fisika, Universitas Negeri Manado, Minahasa, 95619, Indonesia

*E-mail: tiyowayu@gmail.com

Diterima 28 April 2022; Disetujui 30 April 2022

ABSTRAK

Indonesia Negara kepulauan yang memiliki banyak Gunungapi, yaitu 147 Gunungapi 127 di antaranya Gunungapi aktif. Tersebar di beberapa wilayah Indonesia mengikuti batas-batas lempeng aktif yang dimulai dari pulau Sumatra, Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat, Flores, Sulawesi dan Maluku. Gunungapi Soputan merupakan salah satu dari 127 gunungapi aktif di Indonesia, merupakan Gunungapi strato. Sebagai Negara tekto-vulkanik aktif, dengan banyaknya Gunungapi membuat kita untuk mencoba meminimalisasi dan mencegah bahaya yang ditimbulkan oleh letusan Gunungapi. Berdasarkan pemikiran tersebut, sampai saat ini di Indonesia telah dilakukan berbagai metode pemantauan Gunungapi, antaranya pemantauan gempa bumi (seismic). Gempa vulkanik biasanya terjadi di daerah sekitar gunungapi dan magnitudanya pada umumnya sangat kecil rata-rata kurang dari 5 Skala Richter. Kedalaman gempa vulkanik berkisar antara 0-40 km. Berdasarkan sebaran hiposentrum kedalaman pusat gempa bumi menunjukkan titik gempa yang terjadi sebelum erupsi berada pada kedalaman 0 km – 2 km di permukaan laut, sedangkan titik gempa yang terjadi saat erupsi berada pada kedalaman 0 km – 2 km di bawah permukaan laut, titik gempa yang terjadi sesudah erupsi berada pada kedalaman 0 km – 3 km di bawah permukaan laut. Mekanisme letusan Gunungapi Soputan adalah secara visual berubahnya vegetasi disekitar kawah, tumbuhan menguning dan bisa sampai mati, asap kawah yang tadinya tipis menjadi abu-abu.

Kata kunci : Gunungapi, Gunungapi Soputan, Seismic, Kedalaman Gempa

ABSTRACT

Indonesian An archipelago country that has many volcanoes, namely 147 volcanoes 127 of which are active volcanoes. Spread in several regions of Indonesia following the boundaries of the active plate starting from the islands of Sumatra, Java, Bali, West Nusa Tenggara, Flores, Sulawesi and Maluku. Soputan volcano is one of 127 active volcanoes in Indonesia, is a Strato volcano. As an active tecto-volcanic country, with many volcanoes we try to minimize and prevent the dangers posed by volcanic eruptions. Based on these thoughts, to date in Indonesian various methods of volcanic natural disasters have been carried out, including earthquakes (seismic). Volcanic earthquakes usually occur in the area around volcanoes and their magnitudes are generally very small, averaging less than 5 on the Richter Scale. The depth of the volcanic earthquake ranges from 0-40 km. Based on the hypocentrum distribution of the depth of the epicenter, it shows that the earthquake point that occurred before the eruption was at a depth of 0 km - 2 km at sea level, while the point of the earthquake that occurred during the eruption was at a depth of 0 km - 2 km below sea level, the point of the earthquake that occurred after the eruption it is at a depth of 0 km - 3 km below sea level. The mechanism for the eruption of Mount Soputan Volcano is a visual change in the vegetation around the crater, the plants turn yellow and can die, as soon as the thin crater turns gray.

Keywords : Volcano, Soputan Volcano, Seismic, Earthquake Depth

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan aktivitas tektonik paling aktif di dunia, hal ini dikarenakan Indonesia menjadi tempat bertemunya empat lempeng tektonik, yaitu lempeng Filipina, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Pasifik yang merupakan lempeng samudera yang bergerak secara konvergen hingga menunjat ke bawah lempeng Eurasia. Dengan adanya zona subduksi ini

mengakibatkan Indonesia memiliki banyak Gunungapi. Hal ini juga berkaitan dengan posisi Indonesia yang terletak di wilayah Cincin Api Pasifik (*Ring Of Fire*) (Praj, 2015). Indonesia adalah Negara kepulauan yang memiliki banyak Gunungapi, yaitu 147 Gunungapi dengan 127 di antaranya merupakan Gunungapi aktif. Pengamatan Gunungapi di Indonesia oleh Badan Geologi dibagi menjadi dua, yaitu pengamatan

Gunungapi wilayah Barat dan Gunungapi wilayah Timur. Gunungapi wilayah Barat didominasi oleh Gunungapi di pulau Sumatra dan pulau Jawa, sedangkan Gunungapi Timur didominasi oleh Gunungapi di pulau Bali, pulau Flores, pulau Sulawesi dan pulau Maluku (Vocalnodiscovery, 2006). Gunungapi Soputan merupakan salah satu dari 127 gunungapi aktif di Indonesia, merupakan Gunungapi strato yang secara administratif termasuk Kabupaten Minahasa, Minahasa Selatan dan Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara.



Gambar 1. Pesebaran Gunungapi di Indonesia (Simkin & Siebert, 1994)

Metode seismik merupakan penerapan dari seismologi dan merupakan metode yang banyak digunakan dalam geofisika terapan karena memberikan hasil yang mudah ditranslasi ke dalam istilah geologi dan informasi mengenai perubahan sifat elastis batuan. Metode seismik ini pada prakteknya menggunakan gelombang seismik yang bersifat elastis merambat sampai ke inti bumi dan kemudian muncul kembali di permukaan. Kecepatan jalar gelombang seismik ini pada dasarnya merupakan fungsi dari medium yang dilalui atau bergantung pada konstanta elastik batuan dan sifat gelombang seismik ketika kecepatannya berubah.

Pengamatan gempa vulkanik pada dasarnya sama dengan metode pemantauan gempa tektonik. Perbedaannya, gempa vulkanik adalah gempa mikro, sehingga memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan gempa tektonik. Jaringan pemantauan gempa di gunungapi jauh lebih kecil dan lebih sederhana karena sebaran lokasi pusat gempa sangat terbatas, yaitu di gunungapi dan daerah sekitarnya (Siswawidjojo, 1995).

Gunungapi Soputan merupakan Gunungapi strato yang secara geografi terletak

pada koordinat : 01°06'30" LU - 124°43' BT dengan ketinggian 1784 m dpl. Secara administratif termasuk Kabupaten Minahasa, Minahasa Selatan dan Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara. Berdasarkan bentuk morfologinya Gunung Soputan dan sekitarnya dapat dikelompokkan kedalam tiga satuan morfologi yang meliputi satuan morfologi tubuh gunungapi, satuan morfologi perbukitan, dan morfologi dataran (Basuki dkk, 2007). Menurut catatan sejarah aktivitas letusan Soputan umumnya bersifat eksplosif dengan pusat kegiatan di puncak. Tercatat beberapa kejadian aliran lava, awan panas, dan pertumbuhan kubah lava.



Gambar 2. Gunungapi Soputan, Provinsi Sulawesi Utara (Kusumadinata, 1979)

Kebanyakan dari event seismik termasuk di dalamnya aktivitas gunungapi sangatlah sulit untuk dapat terdeteksi dan terekam oleh jaringan pemantau. Namun ternyata beberapa event tersebut telah mampu menyebabkan pergerakan tanah sehingga dapat terdeteksi oleh jaringan *Real-time Seismic Amplitude Measurement* (RSAM) sebagai puncak-puncak amplitudo pada rata-rata waktu seismik. (Endo and Murray, 1991).

Memonitoring gunungapi Soputan dilakukan dengan memantau melalui stasiun-stasiun yang tersebar disekitar gunungapi Soputan. Sampai saat ini terdapat empat stasiun seismograf di Soputan, yaitu: stasiun Aesoput (SOP) , stasiun Winorangian (WNR), stasiun Rindengan (RIN), dan stasiun Silian (SLN).

Tabel 1. Stasiun Seismik Gunungapi Soputan

Nama Stasiun	Koordinat	
	Longitude	Latitude
Aesoput (SOP)	124°44'30.00"	1°7'21.20"
Winorangian (WNR)	124°44'3.50"	1°5'50.20"

Riendengan (RIN)	124°44'50.10"	1°7'55.60"
Silian (SLN)	124°43'9.50"	1°7'36.90"



Gambar 3. Peta Lokasi Stasiun Seismograf Gunungapi Soputan

Gelombang Seismik

Gelombang adalah perambatan suatu energi, yang mampu memindahkan partikel ke tempat lain sesuai dengan arah perambatannya (Tjia, 1993). Gerak gelombang adalah peristiwa perambatan suatu gangguan lokal, terjadinya gangguan pada titik tertentu berarti adanya masukan energi pada titik medium tersebut. Karena itu, gerak gelombang merupakan gerak perambatan energi yang berawal dari lokasi gangguan semula.

Gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi yang disebabkan karena adanya deformasi struktur di bawah bumi akibat adanya tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisan kerak bumi. Gelombang ini membawa energi kemudian menjalar ke segala arah di seluruh bagian bumi yang dapat terekam oleh seismometer dan mampu dicatat oleh seismograf (Hendrajaya dan Bijaksana, 1990). Efek yang ditimbulkan oleh adanya gelombang seismik dari gangguan alami (seperti: pergerakan lempeng (tektonik), Bergeraknya patahan, aktivitas gunungapi (vulkanik)) adalah apa yang kita kenal sebagai fenomena gempa bumi.

Gelombang seismik dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu gelombang pusat (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang pusat menjalar di dalam bumi sedangkan gelombang permukaan menjalar di permukaan bumi.

Gempa Vulkanik Dalam (VA)

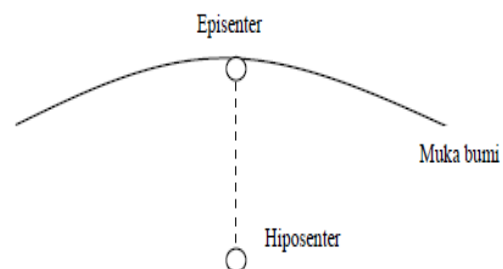
Sumber dari tipe gempa ini terletak di bawah gunungapi pada kedalaman 1 sampai 20 km, biasanya muncul pada gunungapi yang aktif. Gempa tipe A dapat disebabkan oleh adanya magma yang naik ke permukaan yang disertai rekahan-rekahan. Ciri utama dari gempa tipe A ini adalah selisih waktu tiba gelombang Primer (P) dan gelombang Sekunder (S) sampai 5 detik dan berdasarkan sifat fisisnya, gempa ini bentuknya mirip dengan gempa Tektonik.



Gambar 4. Contoh rekaman seismik gempa vulkanik dalam

Hiposenter dan Episenter

Menurut Bayong Tjasyono HK, (2003) Gempa diartikan sebagai getaran yang dirasakan di permukaan bumi akibat adanya sumber getar yang terdapat di dalam bumi. Dalam hal ini ada dua titik yang menjadi pusat gempa bumi, hiposenter dan episenter.



Gambar 5. Lokasi Hiposenter dan Episenter gempa bumi (Nainggolan dan Santosa, 2013).

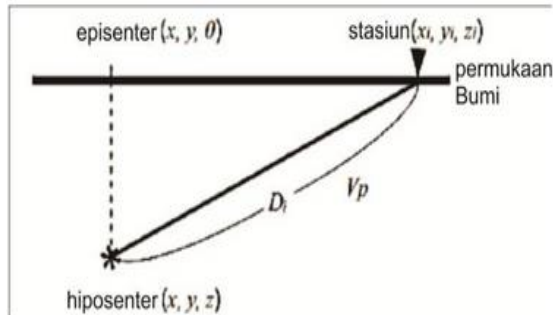
Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa titik pusat gempa bumi terjadi di dalam bumi disebut hiposenter, sedangkan titik pusat gempa bumi pada permukaan bumi disebut episenter (Novianti dan Santosa, 2016).

Dalam teknik kalkulasi terdapat dua medium yang digunakan untuk menentukan letak Hiposenter (Maryanto. S, 2016). Hiposenter dari suatu gempa bumi dapat diketahui dengan menentukan *origin time* dari gelombang P pada tiga stasiun seismik dengan asumsi media homogen. Jarak Hiposenter pada stasiun ke-*i* dapat dihitung dengan persamaan:

$$D_i^2 = (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = v_p^2(t_i - T_0)^2 \quad (1)$$

dengan:

- (x,y,z) : Hiposenter
 v_p : Kecepatan gelombang P di medium
 T_0 : Origin time
 t_i : Waktu tiba gelombang P di stasiun i
 D_i : Jarak hiposenter dari stasiun i



Gambar 6. Skema Penampang Melintang lintasan Gelombang medium Homogen (Hurukawa, 2008).

2. METODE PENELITIAN

Pengambilan data ini dilakukan di Pusat Vulkanologi Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) dengan kajian objek Gunungapi Soputan.

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu :

1. Laptop
2. Software SWARM
3. Software GAD (Geiger Adaptive Damping)
4. Software Origin Pro
5. Software Global Mapper

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Data seismik Gunungapi Soputan April-Mei 2014
2. Data kontur (format HGT yang diambil dari USGS – United State Geological Service)

Teknik yang digunakan dalam pengumpulan data adalah rekaman data seismik yang direkam secara kontinyu di Pos Pengamatan Gunungapi Lokon. Data yang digunakan diambil dari 4 stasiun yaitu stasiun Aesoput (SOP), Winorangan (WNR), dan Riendengan (RIN) dan Silian (SLN). Data-data gempa analog ditransmisikan dengan gelombang radio dari setiap stasiun seismik dilapangan menuju Pos PGA Lokon. Data diakuisisi dan menjadi data digital dengan

system *earthworm* dan *argalite* serta disimpan kemudian dipisahkan menurut kekuatan gempa.

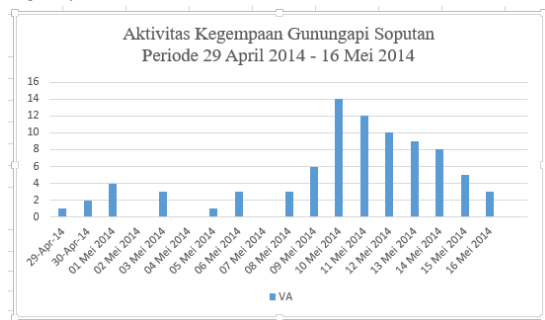
Penelitian ini menggunakan data seismik gempa Gunungapi Soputan April – Mei 2014, selanjutnya data yang didapat di spektralkan untuk melihat frekuensi dominannya, pengamatan frekuensinya dilihat melalui spektrogram pada software SWARM kemudian data ini di *picking* untuk menentukan waktu tiba gelombang P dan gelombang S yang nantinya hasil *picking* diolah menggunakan software GAD yang akan digunakan untuk menentukan sebaran titik hiposenter dan episenter gempa dari data ini kemudian kedalaman sumber gempa.

Distribusi Hiposenter dan Episenter gempa dilakukan dengan software GAD (Geiger Adaptive Damping) tapi sebelum menggunakan software GAD dilakukan terlebih dahulu *Picking* menggunakan aplikasi SWARM untuk memperoleh gelombang primer dan sekunder. Nilai yang diperlukan dalam software ini adalah *arrival time* gelombang P dan S serta polaritas gelombang P, selain itu dibutuhkan koordinat stasiun gunung Lokon yaitu stasiun Aesoput (SOP), Winorangan (WNR), dan Riendengan (RIN) dan Silian (SLN), setelah dimasukkan data tersebut maka nilai dari perhitungan hiposenter berupa x, y, z dan T . Hasil dari perhitungan x, y, z dalam GAD berupa nilai desimal hasil tersebut untuk mengetahui distribusi episenter dibutuhkan nilai x dan y , sedangkan untuk mengetahui distribusi hiposenter digunakan ketiganya x, y , dan z , untuk melihat lebih jelas maka nilai tersebut dipindahkan ke software ORIGIN PRO tapi sebelum itu dibuat penampang Gunung Soputan yang dibuat dengan Software Global Mapper dari arah Utara – Selatan dan Barat – Timur, kemudian nilai x, y , dan z dimasukkan pada software ORIGIN PRO untuk memperoleh interpretasi distribusi hiposenter gempa begitu juga dengan distribusi episenter gempa serta kedalaman dari gempa tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gunungapi Soputan merupakan salah satu Gunungapi yang begitu aktif sehingga menghasilkan gempa yang cukup banyak dan bervariasi, salah satunya adalah gempa vulkanik dalam (VA) yang dipakai didalam penelitian ini. Dalam penelitian ini jumlah

gempa vulkanik dalam yang teridentifikasi adalah 84 data gempa vulkanik dalam, yang terjadi pada periode 29 April 2014 – 16 Mei 2014.

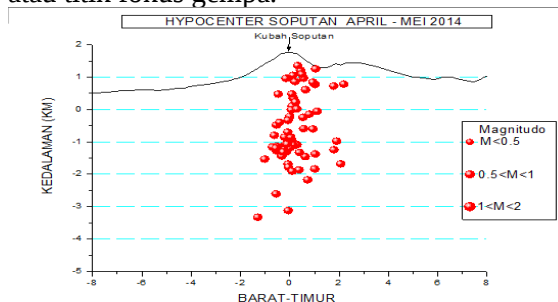


Gambar 7. Aktivitas Kegempaan Gunungapi Soputan

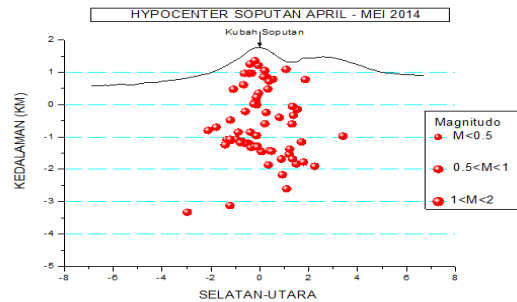
Pada bulan April 2014 tidak terlalu banyak terjadinya aktivitas kegempaan. Terjadi 3 gempa vulkanik dalam (VA) dari tanggal 29 April 2014 – 30 April 2014, setelah itu tidak ada aktivitas kegempaan lagi. Pada awal bulan Mei 2014, aktivitas kegempaan yang terjadi masih tetap sama dan belum menunjukkan adanya peningkatan. Pada tanggal 1 Mei 2014 – 9 Mei 2014 terjadi 20 gempa vulkanik dalam (VA). Kemudian terjadi peningkatan aktivitas kegempaan yang signifikan pada tanggal 10 Mei 2014 – 14 Mei 2014 yang menyebabkan terjadinya erupsi Gunungapi Soputan yang diidentifikasi dengan kenaikan aktivitas kegempaan yang mencapai 53 gempa vulkanik dalam (VA). Setelah itu terjadinya penurunan aktivitas gempa pada tanggal 15 Mei 2014 – 16 Mei 2014 dengan jumlah 8 gempa vulkanik dalam (VA).

Peta Sebaran Hiposenter dan Episenter Gunungapi Soputan

Setiap gempa yang terjadi disuatu wilayah pasti akan terdapat pusat dari pada terjadinya gempa itu sendiri. Pusat terjadinya gempa ini merupakan titik hiposenter gempa atau titik fokus gempa.

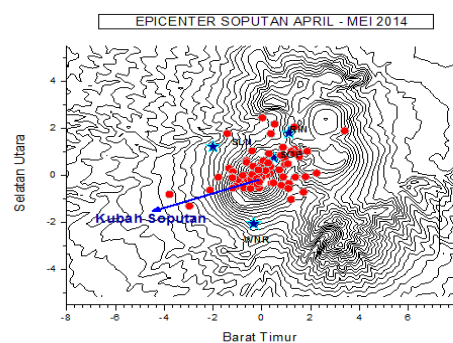


Gambar 8. Lokasi Hiposenter Gempa Barat - Timur



Gambar 9. Lokasi Hiposenter Gempa Selatan - Utara

Gambar 8 dan 9 merupakan peta penampang sebaran lokasi hiposenter gempa yang berada dibawah permukaan bumi tepatnya di bawah gunungapi Soputan, titik – titik merah pada peta sebaran hiposenter tersebut menunjukkan kedalaman dari titik fokus gempa hiposenter, dimana jarak rata-rata berada dibawah kedalam 3 km. Gambar 8 menunjukkan bahwa terdapat 2 pola penyebaran titik gempa dari arah Selatan ke Utara. Pola pertama terdapat pada kedalaman 0 km – 1 km di bawah permukaan laut sedangkan pola kedua terdapat pada kedalaman 1 km – 2 km di bawah permukaan laut. Gambar 9 menunjukkan bahwa pola penyebaran titik-titik gempa secara episenter cenderung mengarah ke arah Selatan-Utara dari kawah Aesoput. Dari pola penyebaran titik-titik gempa dapat diketahui bahwa zona lemah dari Gunungapi Soputan berada pada kedalaman 0 km – 1 km di bawah permukaan laut dan 1 km – 2 km di bawah permukaan laut yang cenderung mengarah dari arah Utara ke arah Selatan daerah tersebut merupakan tempat migrasi magma.



Gambar 10. Lokasi Episenter Gempa

Gambar 10 merupakan peta sebaran titik gempa secara episenter. Titik – titik merah

yang ada pada gambar menunjukkan bahwa episenter gempa tersebut berada disekitar area Kawah Aesoput.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan sebaran hiposentrum kedalaman pusat gempa bumi menunjukkan bahwa titik gempa yang terjadi sebelum erupsi berada pada kedalaman 0 km – 2 km di permukaan laut, sedangkan titik gempa yang terjadi saat erupsi berada pada kedalaman 0 km – 2 km di bawah permukaan laut, dan titik gempa yang terjadi sesudah erupsi berada pada kedalaman 0 km – 3 km di bawah permukaan laut.
2. Mekanisme letusan Gunungapi Soputan adalah secara visual berubahnya vegetasi disekitar kawah, tumbuhan terlihat menguning dan bisa sampai mati, asap kawah yang tadinya tipis menjadi abu-abu. Tekanan asap yang sebelumnya lemah menjadi sedang sampai kuat, terjadinya peningkatan suhu kawah. Secara instrumental terjadi deformasi pada kawah Aesoput, dan terjadinya aktivitas kegempaan vulkanik secara signifikan serta diikuti dengan letusan sehingga terjadinya erupsi pada Gunungapi Soputan.

5. REFERENSI

- Basuki. A., Rosadi. U., Supriatman. I., Santoso. B., Sitinjak. P., Suhyatna. E., Sutisna. A., Suyanti. S. Juni 2007. Laporan Pengamatan Terpadu Gunungapi Soputan, Sulawesi Utara. PVMBG.
- Bayong Tjasyono HK. 2003. Geosains, Penerbit ITB, Bandung.
- Endo, Elliot, Muray. Tom. 1991. Real-Time Seismic Amplitude Measurement (RSAM):Vulcano Monitoring and Prediction Tool. U.S Geological Survey. USA.
- Hurukawa, N., M. Popa, and M. Radulian, 2008, Relocation of large intermediate-depth earthquakes of the Vrancea region, Romania, since 1934 and a seismic gap. Earth Planets Spaces, 60, 562-572.
- Kusumadinata. K., 1979. Data Dasar Gunungapi Indonesia. Direktorat Vulkanologi, Bandung, Hal 648-656.
- Maryanto Sukri. 2016. Seismik Vulkanologi. Penerbit UB Press. Malang.
- Nainggolan, P, R, F., Santosa, B, W. 2013, Relokasi Hiposenter untuk Data Gempa Bumi di Wilayah Sumatera Barat dan Sekitarnya dengan Menggunakan Hypo71 (2009-10-01 – 2012-12-21). Jurnal Sains dan Seni Pomits. 2(2):2337-3520.
- Novianti, C, C., Santosa, B, W. 2016, Penentuan Hiposenter Gempabumi dan Model Kecepatan Lokal di Wilayah Jawa Timur Menggunakan metode Double Difference. Jurnal Sains dan Seni ITS. 5(2):2337-3520.
- Praja, K. N. 2015. Pemodelan Penunjaman Lempeng Tektonik Di Lengan Utara Sulawesi Berdasarkan Data Kegempaan, Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Simkin, T. and Siebert, L. 1994, Volcanoes of the World, 2nd Edition, Geoscience Press, Tucson.
- Siswowidjojo, S. 1995. Seismologi Gunungapi, Analisa Gempa dan Hubungannya dengan Tingkat Kegiatan Gunungapi, Direktorat Vulkanologi, Bandung.
- Tjia, O. M. 1993. Gelombang. Bandung: Jurusan Fisika FMIPA ITB