ISSN 2086-5589
megAsains
Vol. 6 No. 3 / Desember 2015

PERUBAHAN STATIS COULOMB STRESS GEMPABUMI DOBLET DAN PENGARUHNYA TERHADAP ERUPSI GUNUNGAPI BATUR TAHUN 1963

Pande Komang Gede Arta Negara[1,2], I Putu Dedy Pratama[2]

ABSTRACT

Batur Eruption in year 1963 was the interesting phenomenom due to 4 months prior the eruption there were near doublet earthquake. The aim of this paper is to investigate the relationship between earthquakes and volcanic eruptions. These results indicate that the earthquake on May 18th 1963 resulted a positive Coulomb stress changes (0.05 bar) in the direction of the Batur Volcano, and the earthquake on May 22th 1963. The cross section that divides Batur volcano and doublets earthquake showed the positive Coulomb stress changes to the lower part of Batur volcano in the depth range of 30-70 km with lobes reaching 0.05 bar. When compared with the results of tomographic imaging, the Coulomb stress changes are positive in the partial melting region of Batur volcano.

Keywords: *volcanic eruption, doublet earthquake, Coulomb stress change.*

ABSTRAK

Erupsi gunungapi Batur tahun 1963, merupakan peristiwa erupsi yang unik karena 4 bulan sebelum erupsi terjadi gempabumi doblet didekatnya. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui hubungan antara gempabumi dengan erupsi Gunungapi. Hasil penelitian ini menunjukan bahwa gempabumi tanggal 18 Mei 1963 menghasilkan perubahan coulomb stress positif (0.05 bar) ke arah Gunungapi Batur dan gempabumi tanggal 22 Mei 1963. Irisan melintang yang membelah Gunungapi Batur dan gempabumi doblet menunjukkan perubahan Coulomb stress positif yang terdapat pada bagian bawah Gunungapi Batur dalam rentang kedalaman 30 - 70 km dengan lobus mencapai 0.05 bar. Jika dibandingkan dengan hasil pencitraan tomografi maka perubahan coulomb stress positif berada pada daerah partial melting dari Gunungapi Batur.

kata kunci: erupsi gunungapi, gempabumi doblet, perubahan Coulomb stress.

1)Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika
2)Stasiun Geofisika Sanglah Denpasar
Email: checkmate_mail@yahoo.co.id

PENDAHULUAN

Gunungapi Batur merupakan Gunungapi aktif yang tidak jarang mengalami erupsi. Sejarah erupsi Gunungapi Batur telah diteliti mulai tahun 1800-an. Erupsi Gunungapi Batur pertama yang tercatat sejarah adalah erupsi tahun 1804. Jika mencermati catatan sejarah, Erupsi Gunungapi Batur tahun 1963 merupakan erupsi yang unik, karena 4 bulan sebelum erupsi tersebut, yaitu pada 18 Mei 1963 terjadi gempabumi dengan magnitude 6 SR di timur laut Gunungapi Batur yang berjarak 20 km dari lokasi erupsi. Kemudian empat hari berikutnya terjadi gempabumi dengan magnitude yang sama dengan lokasi 14 km dari gempabumi 18 Mei 1963. Magnitude gempabumi yang hampir sama dengan hiposenter yang cukup berdekatan membuat gempabumi ini dikatakan sebagai gempabumi doblet. Lokasi gempabumi yang relatif dekat dengan Gunungapi Batur serta selang waktu yang relatif singkat antara kejadian gempabumi dan erupsi Gunungapi Batur menguatkan anggapan bahwa gempabumi doblet tersebut berpengaruh terhadap erupsi Gunungapi Batur.

Sejauh ini hubungan yang menyatakan pengaruh antara kejadian gempabumi dengan peningkatan aktfitas erupsi Gunungapi telah didiskusikan dalam beberapa kejadian erupsi di beberapa negara pada tahun 1823, 1835, 1840, 1902, dan 1943 (Voight et al., 2000). Mekanisme gempabumi menghasilkan tegangan normal dan tegangan geser. Resultan gaya-gaya tersebut dapat direpresentasikan dengan Coulomb stress. Perubahan Coulomb stress tersebut menunjukkan bagaimana mekanisme suatu gempabumi mampu meningkatkan atau menurunkan potensi pensesaran pada patahan disekitarnya. Gaya-gaya dari proses pensesaran pada kejadian gempabumi mengindikasikan perubahan Coulomb stress positif dan negatif pada daerah sekitarnya. Perubahan ini digunakan sebagai indikator arah akumulasi stress selanjutnya yang ditandai dengan perubahan Coulomb stress positif (King, dkk., 1994).

Tulisan ini berujuan untuk mengetahui hubungan antara gempabumi dengan erupsi Gunungapi. Dalam penulisan ini dilakukan analisis arah stress serta akumulasi stres dengan mengintepretasi perubahan Coulomb stress yang ditimbulkan oleh gempabumi doblet yang bersumber pada sesar naik belakang busur di utara pulau bali.

Seting Tektonik

Pulau Bali merupakan gugusan kepulauan Sunda kecil yang terbentuk sebagai akibat proses subduksi lempeng Indo- Australia kebawah lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia diperkirakan bergerak dengan kecepatan 7 cm/tahun dengan arah mendekati normal (Tregoning dkk., 1994). Pengaruh tektonik utama untuk Pulau Bali didominasi oleh adanya tumbukan antara lempeng Indo-Australia dan Busur Sunda. Tumbukan ini menyebabkan timbulnya pusat-pusat gempabumi di zona subduksi Jawa yang dimulai dari Selat Sunda di bagian barat dan berakhir di Pulau Banda di bagian timur dan pusat-pusat gempabumi pada patahan naik belakang busur Flores.

Patahan busur belakang Wetar dan Flores pertama kali dilaporkan oleh Hamilton (1979) berdasarkan beberapa profil refleksi dari Lamont-Doherty. Hamilton (1979) menemukan adanya patahan di utara pulau Alor dan Pantar disisi timur busur belakang zona subduksi Jawa yang biasa dikenal sebagai sesar Sungkup belakang busur Wetar, Flores sampai Sumbawa. Sedangkan Silver dkk.(1986) memperkirakan bahwa patahan tersebut disisi barat berlanjut sampai ke cekungan Bali yang terletak di utara Pulau Bali.

Teori Coulomb Stress

Coulomb stress merupakan penjumlahan normal stress dengan shear stress. Perubahan Coulomb stress yang disebabkan oleh gempabumi utama (CFF) diberikan oleh persamaan 2.1.

$$\Delta CFF = \Delta\tau \mid \mu(\Delta\sigma \mid \Delta p) \quad (2.1)$$

Dimana $\Delta\tau$ adalah shear stress yang di berikan oleh bidang patahan (positif dalam arah slip), $\Delta\sigma$ adalah perubahan pada normal stress (positif apabila patahan tidak mengalami klem), μ adalah koefisien gesek *apparent* yang didapatkan setelah

mempertimbangkan efek dari tekanan pori fluida yang biasanya direpresentasikan dengan μ' dan Δp adalah perubahan tekanan pori, umumnya kurang dikenal namun sebanding dengan perubahan normal stress (Ge dan Stover, 2000; Cocco dan Rice, 2002).

Pada studi-studi sebelumnya pada umumnya menggunakan persamaan 2.2 dimana koefisien gesekan apparent (μ') sudah termasuk dalam Δp.

$$\Delta CFF = \Delta\tau + \mu'.\Delta\sigma \quad (2.2)$$

Koefisien gesekan apparent (μ') biasanya diasumsikan antara 0.4 – 0.8 untuk patahan yang memiliki akumulasi slip rendah, atau cenderung kasar. Sedangkan untuk patahan yang memiliki akumulasi slip tinggi atau tekanan pori tinggi diasumsikan dalam rentang nilai antara 0.0 – 0.4. Dalam tulisan ini diasumsikan μ' yang digunakan adalah 0.4 sebagai nilai tengah dari rentang 0.0 – 0.8, *poisson ratio* = 0.25 dan *shear modulus* = 3.2 x 10^5 bar (King dkk., 1994). Terdapat dua pendekatan untuk mendapatkan perubahan Coulomb stress, yang pertama dengan mempertimbangkan geometri dan rake pada patahan, dan yang kedua dengan terkonsentrasi pada tektonik dan stres regional.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data mekanisme fokal gempabumi doblet tanggal 18 Mei 1963 dan tanggal 22 Mei 1963. Data hiposenter dan solusi bidang sesar diperoleh dari penelitian McCaffrey dan Nabalek (1987) berdasarkan perbandingan antara seismogram sintetis dengan hasil pengamatan seismogram periode panjang gelombang P komponen vertikal dan gelombang SH dari World-Wide Standarized Seismograph Network (WWSSN). Lokasi penelitian terletak pada 7.90 LS – 8.60 LS dan 115.20 BT – 115.90 BT didasarkan pada lokasi episenter gempabumi doblet dan lokasi Gunungapi Batur. Penelitian ini meliputi tahap pengambilan (akuisisi) data, pengolahan (prosessing) data, dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data. Pengolahan data coulomb stress menggunakan software Coulomb 3.3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan gempabumi dengan aktivitas vulkanik Gunungapi telah diteliti oleh beberapa ilmuan. Hasil penelitian terdahulu menunjukan adanya peningkatan aktifitas vulkanik, setelah terjadinya gempabumi bersekala besar di dekatnya. Pengaruh yang ditimbulkan oleh gempabumi terhadap daerah disekitarnya dapat direpresentasikan dalam bentuk statis stress dan dinamic stress. Dinamic stress berasosiasi dengan gelombang seismik memiliki magnitude yang besar namun terjadi secara singkat dan tidak permanen, sedangkan statis stress memiliki pengaruh yang permanen walaupun dengan kekuatan yang relatif lebih kecil (Manga, Brodsky. 2006). Respon Gunungapi yang ditimbulkan akibat pengaruh gempabumi tersebut sangat relatif, dapat terjadi dalam waktu singkat maupun lebih lama, contohnya Gunungapi Kilauea, Hawaii mengalami erupsi hanya berselang 1,5 jam setelah terjadi gempabumi dengan magnitude 7.2 SR didekatnya (Lipman, dkk. 1985). Kejadian serupa juga terjadi pada kasus Gunungapi Cordon Caulle, Chile pada tahun 1960 yang mengalami erupsi berselang 38 jam setelah gempabumi 9.5 SR Chile yang berjarak 240 Km (Lara, dkk. 2004).

Berbeda dengan gempabumi Sumatera 26 Desember 2004 yang tidak mendapatkan respon secara langsung dari Gunungapi disekitarnya, dan hanya memicu aktifitas Gunungapi lumpur di kepulauan Andaman, padahal daerah Sumatera merupakan daerah yang memiliki potensi Erupsi Gunungapi yang tinggi dan relatif dekat dengan episenter gempabumi Aceh (Manga, Broadsky. 2006), hingga akhirnya pada tahun 2010 memicu peningkatan aktifitas Gunungapi sinabung yang tertidur selama lebih dari 400 tahun (Negara, Pratama 2013).

Pengaruh Gempabumi Terhadap Erupsi

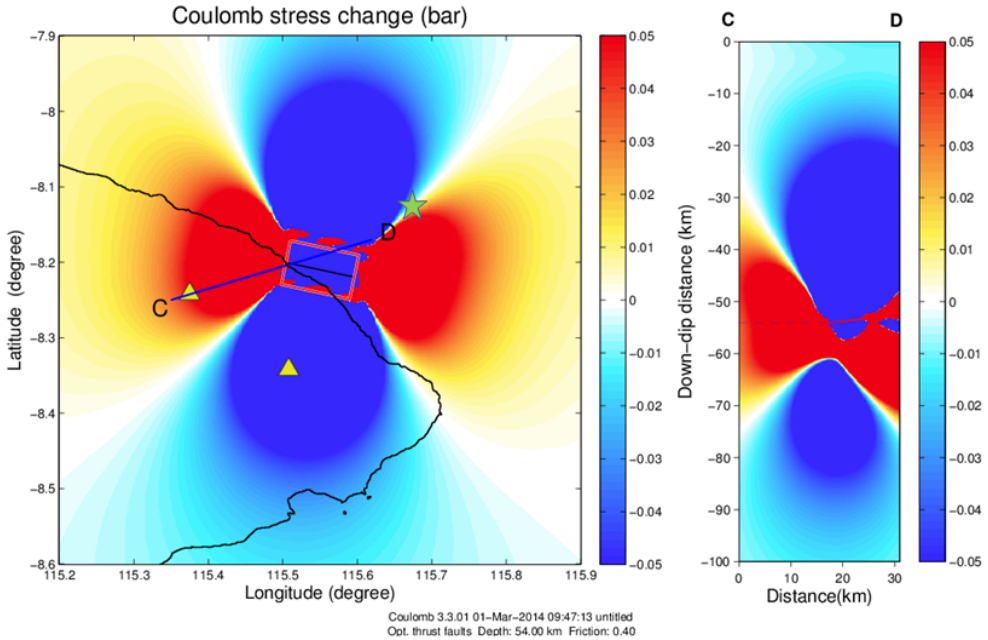
Pengaruh yang ditimbulkan oleh gempabumi yang berada di dekat Gunungapi aktif dapat direpresentasikan dalam statis dan dinamis stress. Gaya-gaya tersebut akan mempengaruhi labilitas dapur magma dan daerah sekitarnya. Walter dan Amelung (2007) menjelaskan bahwa deformasi pemanen memiliki peranan penting dalam meningkatkan tekanan dan

memicu erupsi Gunungapi, dan gempabumi tidak hanya dapat menentukan waktu erupsi tetapi juga dapat menentukan mekanisme struktur erupsi. Menurut (Nostro, dkk 1998) gempabumi dapat meningkatkan aktifitas erupsi dengan menekan dapur magma dan membuka saluran didekat permukaan yang memiliki arah bersesuaian.

Pemodelan pengaruh gempabumi terhadap erupsi yang dinyatakan oleh (Walter dan Amelung. 2007) menjelaskan bahwa pelarutan gas CO_2 dan H_2O yang mudah menguap dapat mempengaruhi densitas dan viscositas magma dalam jumlah besar, dan memiliki peran penting dalam memicu erupsi. Mekanisme yang menghasilkan magma bertekanan tinggi meliputi intrusi dan pencampuran magma dengan magma yang memiliki komposisi berbeda (Spark, dkk. 1977) dapat melepaskan sejumlah besar gas ke dalam reservoir dan menyebabkan ekspansi volumetrik (Eichelberger, 1980), nukleasi, pertumbuhan gelembung gas serta meningkatnya fase volatil melalui goncangan (Manga and Brodsky, 2006). Ekspansi volumetrik atau peningkatan magma basal mengacu pada pembentukan larutan CO2 padat yang mengurangi densitas dan viskositas magma yang mempercepat laju peningkatan gelembung gas dan magma, yang mana mempercepat laju penurunan tekanan, larutan padat yang lebih mudah menguap, dan ekspansi volume dari gas tersebut.

Intepretasi Coulomb Stress

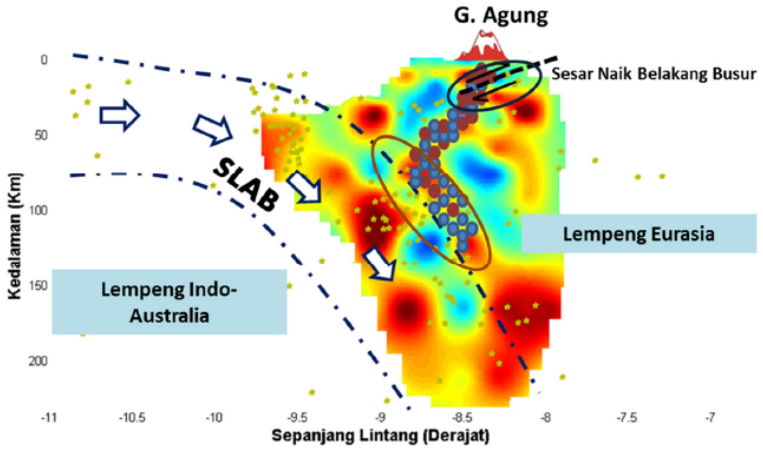
Hasil perhitungan coulomb stress dapat dimodelkan dengan gradien warna yang menunjukkan rentang nilai perubahan coulomb stress. Warna merah menunjukkan perubahan coulomb stress positif yang mengindikasikan bahwa daerah tersebut sedang mengalami gaya tekan, sedangkan daerah dengan gradien warna biru memberi gambaran bahwa daerah tersebut sedang mengalami relaksasi. Semakin mendekati warna merah maka gaya tekan yang diberikan semakin besar.



Gambar 1. Perubahan coulomb stress akibat gempabumi tanggal 18 Mei 1963 (kiri), irisan melintang CD Gempabumi tanggal 18 Mei 1963 (kanan).

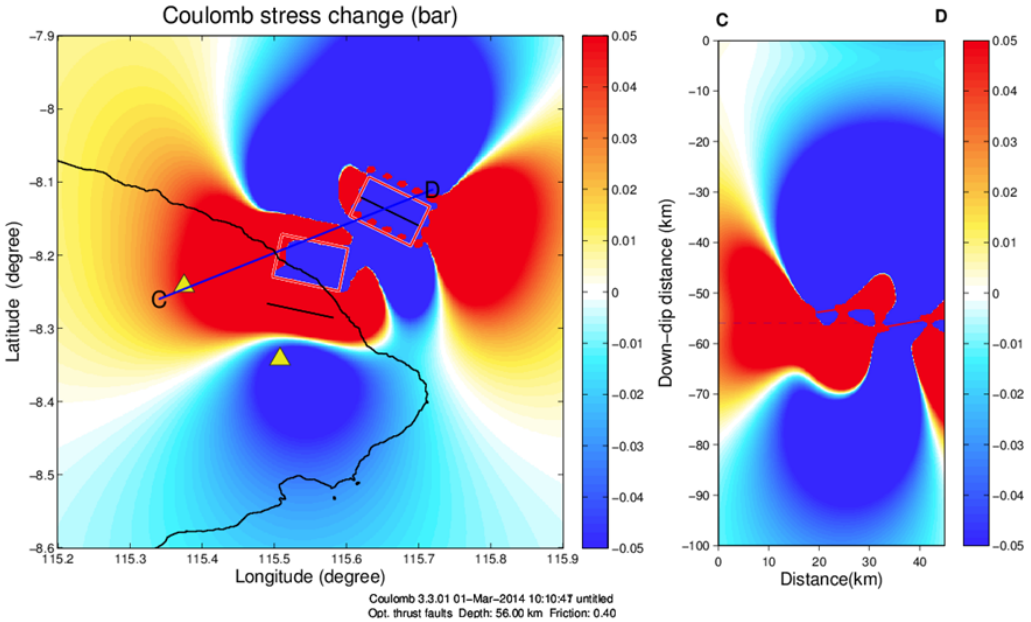
Lokasi dapur magma Gunungapi Batur yang relatif dekat dengan posisi patahan naik belakang busur memungkinkan hubungan yang saling mempengaruhi antara gempabumi dan erupsi. Kejadian gempabumi tanggal 18 Mei 1963 menghasilkan perubahan coulomb stress positif (0.05 bar) kearah Gunungapi Batur serta ke arah gempabumi tanggal 22 Mei 1963 (Gambar 1 kiri). Jika dilihat dari sayatan melintang CD, maka pada kedalaman 40 – 60 km terjadi perubahan coulomb stress positif (0.05 bar) dibawah Gunungapi Batur dan kearah hiposenter gempabumi tanggal 22 Mei 1963 (Gambar 1 kanan).

Irisan melintang hasil pencitraan tomografi (Gambar 2) pada kedalaman 35 km dan 45 km menunjukkan bahwa pada daerah tersebut mengindikasikan lokasi dapur magma Gunungapi Batur. Irisan vertikal yang melewati Gunungapi Batur ditemukan adanya anomali Vp dan Vs rendah pada kedalaman 120 km menuju Gunungapi Gunungapi Batur (Yadnya, dkk., 2012). Daerah dengan anomali rendah ini diinterpretasikan sebagai kemungkinan daerah migrasi magma dari slab yang menunjam ke lempeng benua.



Gambar 2. Irisan melintang pencitraan tomografi yang melewati gunungapi agung Batur (Yadnya, dkk 2012)

Dari hasil akumulasi coulomb stress gempabumi pertama dan kedua (gambar 3 kiri) menunjukkan adanya perubahan Coulomb stress positif (0.05 bar) kearah Gunungapi Batur. Jika dilihat dari hasil irisan melintang CD (gambar 3 kanan) pada kedalaman 30-70 km di bawah Gunungapi Batur terjadi perubahan coulomb stress positif (0.05 bar). Jika dibandingkan dengan hasil pencitraan tomografi yang diperoleh oleh Yadnya, dkk, maka indikasi ini menguatkan bahwa goncangan gempabumi doblet tahun 1963 menghasilkan deformasi statis dan mengganggu keseimbangan dapur magma Gunungapi Batur sehingga terjadi erupsi Gunungapi Batur empat bulan setelahnya. Kondisi tekto-vulkanik yang masih labil mengakibatkan ekstrusi magma yang terus menerus mendapat tekanan yang menyebabkan dapur magma penuh dan menimbulkan tekanan naik.



Gambar 3. Perubahan coulomb stress akibat gempabumi doblet tanggal 18 dan 22 Mei 1963 (kiri), irisan melintang CD Gempabumi doblet (kanan)

KESIMPULAN

Gempabumi tanggal 18 Mei 1963 menghasilkan perubahan coulomb stress positif ke arah Gunungapi Batur dan gempabumi tanggal 22 Mei 1963. Irisan melintang yang membelah Gunungapi Batur dan gempabumi doblet tersebut menghasilkan perubahan coulomb stress positif, di bawah Gunungapi Batur dan jika dibandingkan dengan hasil pencitraan tomografi maka perubahan coulomb stress positif berada pada daerah partial melting dari Gunungapi Batur.

Kondisi seperti ini perlu menjadi perhatian bagi masyarakat di daerah Bali mengingat Bali merupakan daerah tujuan utama pariwisata di Indonesia. Perlu diwaspadai beberapa aktifitas seismik dapat mempengaruhi aktifitas Gunungapi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Global CMT, atas data mekanisme fokal yang diberikan serta kepada USGS, dan BMKG atas data gempabumi yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

C Centroid Moment Tensor. http://www.globalcmt.org, diakses pada 14 April 2014.

Eggert, S.,T. R. Walter. 2009. Volcanic Activity Before and After Large Tectonic Earthquakes: Observations and statistical significance, Tectonophysics xxx (2009) xxx–xxx

Eichelberger, J.C., 1980, Vesiculation of Mafic Magma During Replenishment of Silicic Magma Reservoirs: Nature, v. 288, p. 446–450, doi: 10.1038/288446a0.

Ge, S., and S. C. Stover. 2000. Hydrodynamic Response to Strike And Dip Slip Faulting in a Half Space. J. Geophys. Res., 105, 25,513–25,524, doi:10.1029/2000JB900233.

King, dkk. 1994. Static Stress Changes and The Triggering of Earthquake. Bull. Seismol. Soc. Amer., 84, pp. 935-953.

Hamilton, W., 1979, Tectonic of the Indonesian Region. U.S. Geological Survey Profesional Paper 1078, 345 pp.

Lara LE, Naranjo JA, Moreno H. 2004. Rhyodcacitic fissure eruption in Southern Andes (Cordon Caulle; 40.5 degrees S) after the 1960 (Mw: 9.5) Chilean earthquake: a structural interpretation. J. Volcanol. Geotherm. Res. 138:127–38

Lipman PW, Lockwood JP, Okamura RT, Swanson DA, Yamashita KM. 1985. Ground deformation associated with the 1975 magnitude-7.2 earthquake and resulting changes in activity of Kilauea volcano 1975-1977. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1276, 45 pp.

McCaffrey. R., J.Nabelek, 1987. Earthquake, Gravity, and the Origin of Bali Basin, an Example of a Nascent Continental Fold and thrust belt. Jour. of Geoph. Res. Vol. 92, No. 81, pp.441 – 460.

Manga M, Brodsky E. 2006. Seismic Triggering of Eruptions in the Far Field: Volcanoes and Geysers. Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 2006.34:263-291.

Negara, Pratama, 2013. Hubungan antara Gempabumi dengan Erupsi Gunungapi; Studi Kasus Erupsi Gunung Sinabung Tahun 2010 dan 2013. Buletin Megasains Vol. 4 No. 3 – Desember 2013.

Silver,E.A., Breen, N.A. and H. Prasetyo, 1986, Multibeam Study of the Flores BackArc Thrust Belt, Indonesia. Journal of Geophysical Research, Vol. 91, No. B3, pp. 3489-3500.

Sparks, R.S.J., Sigurdsson, H., and Wilson, L. 1977. Magma Mixing; A Mechanism for Triggering Acid Explosive Eruptions: Nature, v. 267, p. 315–318, doi: 10.1038/267315a0.

Trenggoning, P., F. K. Brunner, Y. Bock, S. S. O. Puntodewo, R. McCaffrey, J. F. Genrich, E. Calais, J. Rais, dan C. Subarya, 1994, First geodetic measurement of convergence across the java Trench, Geophys, Res.lett.,21,2135-2138

Voight, B., E. K. Constantine, S. Siswowidjoyo, and R. Torley. 2000 .Historical eruptions of Merapi volcano, Central Java, Indonesia, 1768–1998. J. Volcanol. Geotherm. Res., 100(1– 4), 69– 138.

Walter, T.R., Amelung, F., 2007. Volcanic Eruptions Following M9 Megathrust Earthquakes: Implications for the Sumatra–Andaman Volcanoes. Geology 35 (6), 539–542.

Yadnya, dkk 2012. Pencitraan Struktur 3-D Vp, Vs, Rasio Vp/Vs Menggunakan Tomografi Double Difference di Wilayah Bali. J. Geofisika Vol. 13 No.1/2012