

**KONDISI KEGEMPAAN DI BAWAH GUNUNGAPI ANAK KRAKATAU
PERIODE TAHUN 2009 - 2017 BERDASARKAN HASIL RELOKASI
HIPOSENTER**

Oleh :
Muhajir Anshori

Penanggung jawab :
Kepala Stasiun Geofisika Kelas II Tretes

Homepage : stageof.tretes.bmkg.go.id
Institution : www.bmkg.go.id
Contact Us : stageof.tretes@bmkg.go.id



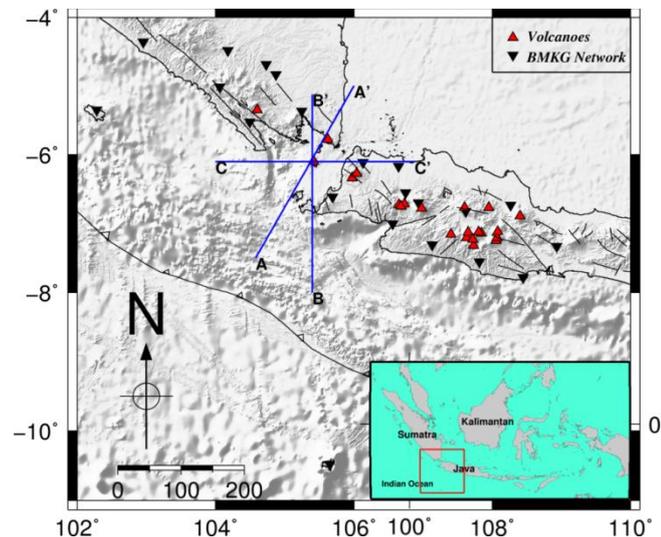
KELOMPOK PENELITIAN
STASIUN GEOFISIKA KELAS II TRETES
BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
Pasuruan | Mei 2019

KONDISI KEGEMPAAN DI BAWAH GUNUNGAPI ANAK KRAKATAU PERIODE TAHUN 2009 - 2017 BERDASARKAN HASIL RELOKASI HIPOSENTER

1. Pendahuluan

Kepulauan Indonesia terbentuk sebagai hasil interaksi tiga lempeng besar yang saling bertemu, antara lain Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia bergerak dari selatan ke utara menyusup di bawah Lempeng Eurasia yang relatif stasioner di sebelah utara, sedangkan Lempeng Pasifik bergerak dari timur ke barat. Berdasarkan interaksi ketiga lempeng tersebut, tektonik Indonesia dikelompokkan menjadi tektonik Indonesia bagian timur dan bagian barat. Tektonik Indonesia bagian timur dipengaruhi oleh interaksi antara Lempeng Indo-Australia dengan lempeng Pasifik, sedangkan Indonesia bagian barat dipengaruhi oleh aktivitas Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia.

Berdasarkan evolusi tektoniknya, tatanan tektonik *Sundaland* dipengaruhi oleh proses *escape tectonic* sebagaimana yang diperkenalkan oleh [Tapponnier dkk. \(1982\)](#). Sekitar 50 sampai 45 juta tahun lalu (Eosen awal - tengah) Mikrokontinen India mulai menabrak Benua Asia sehingga menyebabkan terjadinya jalur lipatan dan naiknya Pegunungan Himalaya serta juga berdampak pada gerakan lateral *Sundaland* ke arah tenggara. Manifestasi dari proses tersebut adalah terbentuknya sesar-sesar mendatar besar yang mendominasi wilayah *Sundaland* diantaranya Sesar *Red River-Sabah* dan Sesar Sumatra. Sesar Sumatra memanjang dari Laut Andaman membelah Pulau Sumatra dan berhenti di sekitar Selat Sunda membentuk sistem *pull apart*.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian yaitu Selat Sunda. Garis biru adalah irisan yang sismistas penampang vertikal-nya akan ditampilkan pada Gambar 2. Garis hitam bergerigi adalah palung subduksi, segitiga merah adalah gunung api dan segitiga hitam adalah stasiun seismik BMKG.

Daerah Selat Sunda merupakan zona transisi dua sistem penunjaman yang berbeda memiliki beberapa fitur tektonik menarik seperti *aseismic gap* (Spicak dkk., 2002) dan bentuk konkaf pada palung (Handayani dan Harjono, 2008). Kondisi tektonik ekstensional yang terjadi di Selat Sunda adalah akibat pergerakan *sliver plate* pada *forearc* Sumatera ke arah Barat Laut sehingga memicu terjadinya bukaan (Huchon dan Le Pichon, 1984). Sistem bukaan yang terjadi di Selat Sunda adalah juga implikasi dari sistem sesar *strike slip* pada *Sumatra Fault Zone* (SFZ) yang menerus hingga ke Selat Sunda. Terdapat dua sistem sesar di Selat Sunda yaitu sistem *strike slip* yang terbentuk mulai tengah miosen dan sesar normal yang baru terbentuk sekitar lima juta tahun yang lalu.

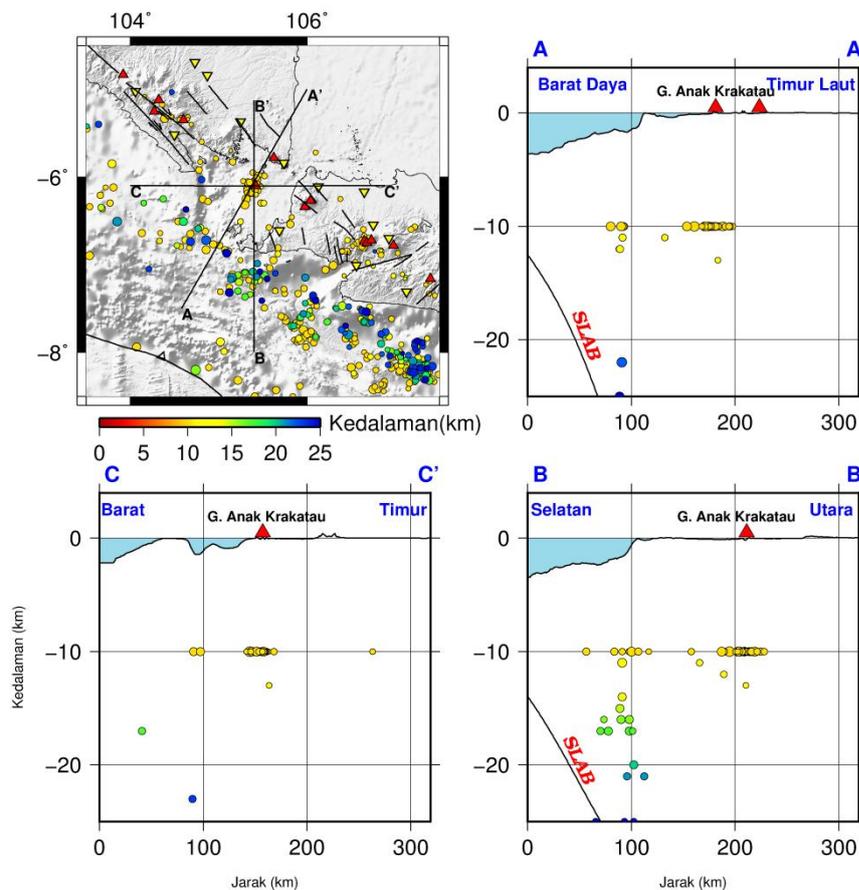
Tektonik ekstensi yang berkembang di Selat Sunda menghasilkan *bathymetry* yang unik (Pramumijoyo dan Sebrier, 1991). Hilangnya tinggian di *outer arc* Selat Sunda diduga merupakan perpaduan antara terjadinya *transtension* pada neogen akibat rotasi Pulau Sumatra searah jarum jam terhadap Pulau Jawa dan juga oleh gerakan *strike slip* yang paralel terhadap busur (Schluter dkk., 2002). Tulisan ini bertujuan untuk membahas secara khusus tentang seismisitas Selat Sunda tepatnya di bawah Gunungapi Anak Krakatau dengan melakukan relokasi hiposenter gempa bumi berdasarkan data katalog *arrival time* BMKG periode tahun 2009 – 2017. Kajian serupa juga telah dilakukan oleh Harjono dkk. (1991), (Spicak dkk., 2002), Sakti (2012), Ramdhan (2012) dan Anshori (2017) namun dengan pendekatan dan data yang berbeda..

2. Data dan Metode

2.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data *arrival time* gempa bumi katalog BMKG Tahun 2009 – 2017 dengan kriteria magnitude > 3 , azimuthal gap < 180 derajat, rms residual < 2 detik dan kedalaman < 200 km. Berdasarkan kriteria yang diberikan diperoleh jumlah gempa bumi sebanyak 716 event. Pada kajian ini yang khusus membahas kegempaan di bawah Gunungapi Anak Krakatau akan ditampilkan seismisitas hingga kedalam 25 km. Kondisi sebaran stasiun seismik di Pulau Jawa dan Sumatera yang hanya terkonsentrasi di darat berpengaruh pada besarnya nilai azimuthal gap yang menyebabkan rendahnya tingkat akurasi parameter gempa bumi yang dihasilkan. Oleh karena itu penggunaa stasiun XMIS di *Christmast Island* yang merupakan jaringan seismik Australia cukup membantu untuk memperbaiki kualitas data.

Gamabr 2 di bawah ini adalah tampilan data awal (katalog BMKG) yang belum dilakukan proses relokasi hiposenter. Tampak jelas bahwa pusat gempa bumi dominan berada pada kedalaman 10 km. Kondisi *fix depth* 10 km tersebut kemungkina besar disebabkan oleh model kecepatan yang digunakan dalam proses lokalisasi. Oleh karena itu perlu dilakukan relokasi hipsenter untuk menghasilkan posisi hiposenter baru yang lebih *reliable dan* representatif sehingga lebih mudah diinterpretasi.



Gambar 2. (Kiri atas) Plot hiposenter gempa bumi katalog BMKG tahun 200 - 2017 daerah Selat Sunda. (Kanan atas), (kanan bawah) dan (kiri bawah) masing-masing adalah tampilan hasil relokasi pada irisan A-A' (arah barat daya – timur laut), B-B' (araha selatan – utara) dan C-C' (arah barat – timur).

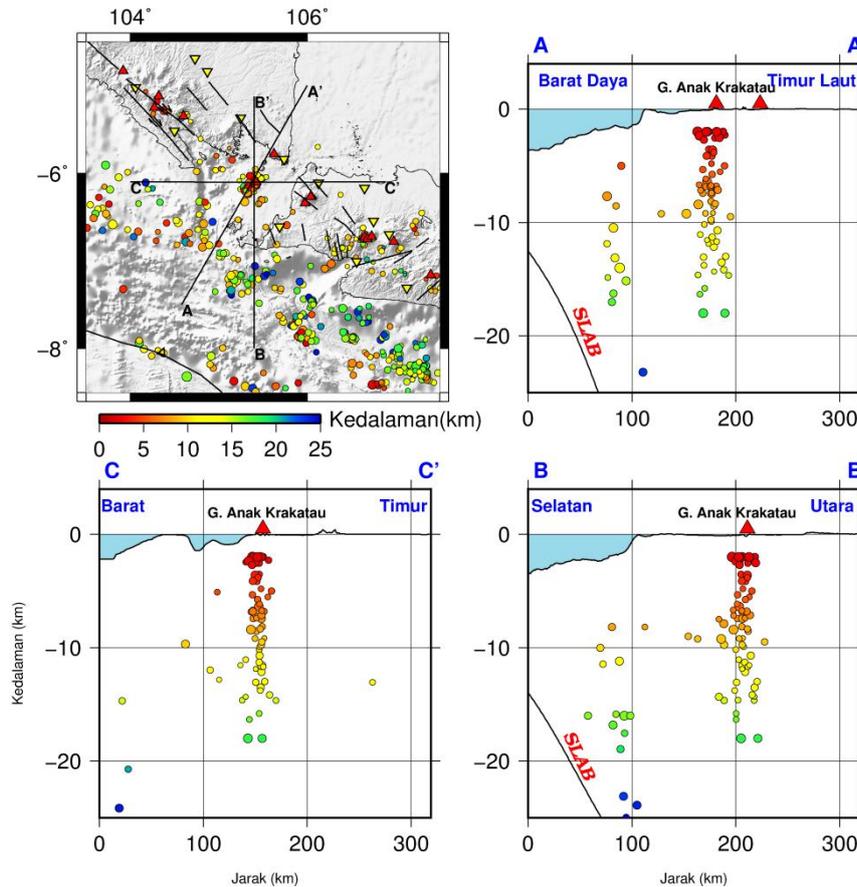
2.2 Metode

Proses relokasi hiposenter dilakukan dengan menggunakan algoritma Velest (Kissling dkk., 1994). Data yang digunakan adalah data *arrival time* gempa bumi katalog BMKG, posisi hiposenter awal, data koordinat stasiun dan model kecepatan 1-D referensi sebagai model awal. Model kecepatan 1-D yang digunakan adalah gabungan antara model Koulakov dkk. (2007) pada kedalaman 0 – 24 km dan model kecepatan global AK135 (Kennet dkk., 1995). Perhitungan ulang posisi hiposenter dilakukan secara iteratif seiring dengan perubahan model kecepatan 1-D dimana iterasi akan berhenti ketika kondisi konvergen tercapai. Pada proses relokasi, kondisi konvergen dicapai pada iterasi ke-8 dimana nilai rms residual berubah dari 1.92 detik menjadi 0.88 detik.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Hasil Relokasi

Hasil relokasi hiposenter yang dilakukan untuk daerah Selat Sunda dan sekitarnya akan dibahas secara khusus untuk seismisitas di bawah Selat Sunda tepatnya di bawah Gunungapi Anak Krakatau. Irisan melintang di buat pada 3 arah yaitu irisan A-A' (arah barat daya – timur laut), irisan B-B' (arah selatan – utara) dan irisan C-C' (arah barat – timur). Seismitas pada irisan vertikal (Gambar 2) dengan ke-3 arah tersebut ditampilkan untuk mempelajari lebih detail pola seismitasnya. Irisan A-A' memiliki arah yang hampir searah dengan konvergensi lempeng Indo-Australia.

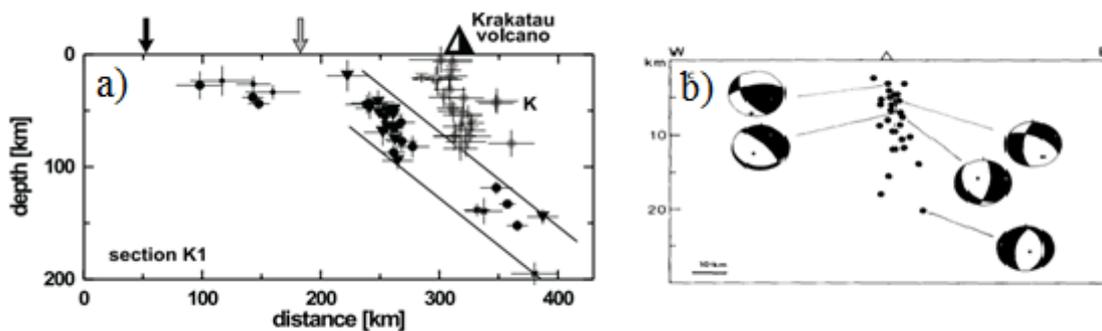


Gambar 3. (Kiri atas) Plot hasil relokasi hiposenter gempa bumi daerah Selat Sunda menggunakan program Velest (Kissling dkk., 1994). (Kanan atas), (kanan bawah) dan (kiri bawah) masing-masing adalah tampilan hasil relokasi pada irisan A-A' (arah barat daya – timur laut), B-B' (arah selatan – utara) dan C-C' (arah barat – timur).

3.2 Seismisitas Selat Sunda

Berdasarkan hasil relokasi hiposenter yang telah dilakukan ditemukan *Cluster* Gempabumi berbentuk vertikal berada tepat di bawah Gunungapi Anak Krakatau hingga kedalaman 20 km (Gambar 2). Harjono dkk. (1991) juga melakukan analisis seismisitas di Selat Sunda dan menjelaskan bahwa *event* gempabumi yang membentuk *cluster* di bawah Gunungapi Anak Krakatau adalah gempabumi tektonik mengingat karakter sinyalnya yang bersifat frekuensi tinggi serta semua jaringan seismik di sekitar Selat

Sunda mampu merekam dengan baik *first motion* kompresi dan dilatasi gelombang P. *Impulse* awal naik dan turun gelombang P yang terekam dengan baik adalah indikator bahwa gempa bumi yang terjadi memiliki mekanisme *double couple* dan merupakan penanda dari gempa bumi tektonik. Seismisitas di bawah Gunungapi Krakatau memiliki mekanisme fokus kompresi untuk *event* dengan kedalaman kurang dari 4 km dan ekstensi untuk kedalaman yang lebih dalam (Gambar 3 b). Spicak (2002) menjelaskan bahwa Selat Sunda berada pada daerah dengan konsentrasi stress tektonik lokal yang terjadi akibat perubahan arah subduksi dari *oblique* di barat Sumatra dan normal di selatan Jawa.



Gambar 4 (a) Seismisitas di bawah Gunungapi Anak Krakatau oleh Harjono dkk. (1991). (b) Mekanisme fokus gempa bumi pada (a) oleh Harjono dkk. (1989).

Spicak (2002) melakukan analisis seismisitas di sekitar Selat Sunda berdasarkan data Katalog EHB tahun 1964 – 1999. *Event* yang berkaitan dengan *cluster* di bawah Gunungapi Krakatau dapat dengan mudah dibedakan dari *event* yang berasosiasi dengan Zona Wadati - Beniof. Pada kedalaman 100 dan 150 km, Zona Wadati-Beniof dikarakterisasi oleh area yang tidak terdapat gempa bumi telesismik yang terekam (Gambar 3 a). Adanya *aseismic gap* pada Zona Wadati-Beniof secara spasial berasosiasi dengan keberadaan gunungapi *calc-alkaline* yang menjadi indikator aktivitas gunungapi muda akibat proses subduksi. Hal tersebut juga mengindikasikan bahwa *slab* kehilangan sifat *brittle*-nya pada kedalaman tertentu pada daerah subduksi (Spicak, 2002).

Selat Sunda *fracture zone* merupakan ujung dari kemenerusan Sesar Sumatra di Selat Sunda (Hannus dkk., 1996). Aktivitas seismik di bawah Selat Sunda terkonsentrasi pada 3 *cluster* yaitu di bawah Gunungapi Krakatau, graben pada bagian barat Selat Sunda dan di bawah Sumatra bagian selatan (Harjono dkk., 1991). Gunungapi Krakatau memiliki karakter yang berbeda daripada gunungapi lain di Indonesia karena kondisinya yang terletak pada daerah *regime* tektonik ekstensi (Harjono dkk., 1991). Gunungapi Anak Krakatau mulai muncul di permukaan laut pada tahun 1929 (Sutawijaya, 2006) pada kaldera yang terbentuk akibat letusan dahsyat Gunungapi Krakatau tahun 1883. Pertumbuhan Gunungapi Anak Krakatau yang relatif cepat yaitu mencapai 4 meter per tahun (Sutawijaya, 2006) merupakan

konsekuensi dari lokasinya yang berada pada pertemuan antara sesar aktif dan garis gunungapi yang memanjang dari Panaitan hingga Rajabasa (Harjono dkk., 1991).

Cluster gempabumi berikutnya di bawah Selat Sunda adalah *cluster* gempabumi *backthrust* pada kedalaman 8 – 18 km sebagaimana tampak pada irisan A-A' dan B-B pada Gambar 2. Gempabumi *backthrust* banyak ditemui pada sistem subduksi Sumatra (Singh dkk., 2011). Dengan menggunakan seismik refleksi, Singh dkk. (2011) menemukan gempabumi *backthrust* dengan kedalaman 15 – 20 km pada daerah subduksi Sumatra. Dalam sistem sesar *thrust*, *backthrust* adalah sesar sekunder yang memiliki arah *dip* berlawanan dengan sesar *thrust* utama dan biasanya didampingi oleh sesar *conjugate* (*forethrust*) dengan arah *dip* searah dengan sesar *thrust* utama (Xu dkk., 2015).

4. Kesimpulan

Penelitian relokasi hiposenter gempabumi di Selat Sunda menggunakan algoritma *velest* (Kissling dkk., 1994) yang telah dilakukan menghasilkan posisi hiposenter yang lebih baik dimana *fix depth* 10 km yang sebelumnya mendominasi data menjadi hilang dan berubah posisi membentuk beberapa *cluster* gempabumi. *Cluster* hiposenter berbentuk vertikal tepat di bawah Gunungapi Anak Krakatau ditemukan hingga kedalaman hingga 20 km konsisten dengan beberapa penelitian sebelumnya. *Cluster* gempabumi *backthrust* dengan kedalaman antara 8 – 18 km ditemukan berada di bawah *forearc* Selat Sunda.

Daftar Pustaka

- Anshori, M. (2017): Tomografi Kecepatan dan Atenuasi Seismik 3-D di Bawah Selat Sunda dan Jawa Bagian Barat, Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung.
- Handayani, L., dan Harjono, H. (2008) : Perkembangan tektonik daerah busur muka Selat Sunda dan hubungannya dengan zona Sesar Sumatera, *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*.
- Hanus V., Spicak A. dan Vanek J. (1996) : Sumatran segment of the Indonesian subduction zone : morphology of the Wadati-Benioff Zone and seismotectonic pattern of the continental wedge. *J. Southeast Asian Earth Sci.*, **13**, 39-60.
- Harjono, H., Diament, M., Dubois, J. dan Larue, M. (1991) : Seismicity of Sunda Strait : evidence from crustal extension and volcanological implications, *Tectonics* Vol. 10, No. 1, Pages : 17 – 30.
- Hayes, G. P., Wald, D. J. dan Johnson, R. L. (2012) : Slab1.0 : A three-dimensional model of global subduction zone geometries, *Journal of Geophysical Research*, 117(B1), 1–15.
- Huchon, P. dan Le Pichon, X. (1984) : Sunda Strait and Central Sumatra Fault. *Geology*, 12: 668-672.
- Kennet, B. L. N., Engdahl, E. R. dan Bulland, R. (1995) : Constraints on seismic velocities in the earth from traveltimes, *Geophys. J. Int.*, 122, 108 – 124.
- Kissling, E., Ellsworth, W.L., Eberhart-Phillips, D. dan Kradolfer, U. (1994). Initial reference models in local earthquake tomography. *J. Geophys. Res.*, 99, 19635-19646.
- Koulakov, I., Bohm, M., Asch, G., Luhr, B. G., Manzanares, A., Brotopuspito, K. S., Fauzi, P., Purbawinata, M. A., Puspito, N. T., Ratdomopurbo, A., Kopp, A., Rabbel, W. dan Shevkunova, E. (2007) : P and S velocity structure of the crust and the upper mantle beneath Central Java from local tomography inversion, *Journal Of Geophysical Research*, VOL. 112
- McCaffrey, R. (1992) : Oblique plate convergence, slip vectors, and forearc deformation, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 97 No. B6. P 8905 – 8915.
- Pramumijoyo, S. dan Sebrier, M. (1991) : Neogene and quaternary fault kinematics around the Sunda Strait area, Indonesia, *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 137-14.
- Ramdhan, M. dan Nugraha, A. D. (2012) : Studi kegempaan area Selat Sunda dan sekitarnya berdasarkan hasil relokasi hiposenter menggunakan metoda double-difference, *JTM* Vol. XIX No. 4.
- Sakti, A.P. (2012) : Pencitraan struktur tiga dimensi kecepatan gelombang P di wilayah Selat Sunda dan Jawa bagian barat menggunakan metode tomografi seismic, Thesis Master, Institut Teknologi Bandung.
- Schluter, H. U., Gaedicke, C., Roeser H. A., Schreckenberger, B., Meyer, H. dan Reichert, C. (2002) : Tectonic features of the Southern Sumatra-Western Java Forearc of Indonesia, *Tectonics*, VOL. 21, NO. 5, 1047.
- Singh, S. C., Hananto, N. D. dan Chauhan, A. P. S. (2011) : Enhanced reflectivity of backthrusts in the recent great Sumatran earthquake rupture zones, *Geophysical Research Letters*, vol. 38, 104302.
- Spicak, A., Hanus, V. dan Vanek J. (2002) : Seismic activity around and under Krakatau Volcano, Sunda Arc : constraints to the source region of island arc volcanics. *Stud. Geophys. Geod.*, 46 (2002), 545–565.
- Sutawijaya, I. S. (2006) : Pertumbuhan Gunungapi Anak Krakatau setelah letusan katastrofis 1883, *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 1, No. 3, 143 - 153.
- Tapponnier, P., G. Peltzer, A. Y. Le Dain, R. Armijo, and P. Cobbold (1982) : Propagating extrusion tectonics in asia : new insights from simple experiments with plasticine, *Geology*, 611-616.
- Xu, S., Fukuyama, E., Ben-Zion, Y. dan Ampuero, J. (2015) : Dynamic rupture activation of backthrust fault branching, *Tectonophysics*, 644–645, 161–183.