

STUDI KERAK DALAM SUMATERA BAGIAN SELATAN MENGGUNAKAN AMBIENT NOISE TOMOGRAFI (ANT)

Ridho Destawan^{1*}, Andri Kurniawan¹, Irfan Hanif¹, Rahmat Catur Wibowo²

¹ Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, l. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung, 35145, Indonesia

² Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, l. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1, Bandar Lampung, 35145, Indonesia

*email: destawangfridho@eng.unila.ac.id

ABSTRAK

Pulau Sumatera memiliki struktur dan tatanan tektonik yang kompleks. Letaknya yang berada pada zona subduksi menjadikannya kawasan yang memiliki jajaran gunung berapi yang membentang sejajar dengan pantai barat dan juga sesar aktif yang melewati seluruh pulau menjadikan Pulau Sumatera sebagai salah satu wilayah dengan kegempaan tinggi. Pada penelitian ini, ambient noise tomography (ANT) dilakukan untuk meningkatkan pemahaman tatanan geologi di Pulau Sumatera bagian selatan berdasarkan struktur kecepatan bawah permukaan. Ambient noise tomography adalah metode pencitraan seismik yang relatif baru yang umum digunakan untuk menyelidiki lapisan kerak bumi dan mantel atas berdasarkan variasi kecepatan seismik yang diperoleh dari ekstraksi empirical green function (EGF). Data dikumpulkan dari 20 stasiun BMKG dengan waktu perekaman selama 6 bulan pada bulan Juni - November 2015. Kurva dispersi antar stasiun yang diperoleh dengan mengkorelasikan silang dua data antara dua stasiun dan kereta dispersif terlihat jelas pada kurun waktu 10 – 40 detik. Berdasarkan hasil ambient noise tomography (ANT) pada jarak 5 – 15 km dengan anomali sedang hingga rendah pada cekungan busur belakang diinterpretasikan sebagai satuan sedimen, sedangkan anomali tinggi di sepanjang busur vulkanik diartikan sebagai tubuh batuan beku. Anomali rendah di sepanjang zona Sesar Sumatera pada kedalaman lebih dari 30 km diinterpretasikan sebagai mantel diapir yang berkembang di daerah penelitian.

Kata Kunci: Ambient noise tomography (ANT); Empirical green function (EGF); Mantel diapir

ABSTRACT

[Titel: Subsurface Study Use Ambient Noise Tomography (Ant) In The Southern Part Of Sumatra Island] The Sumatra Island has a complex structure and tectonic setting. Located on the subduction zone makes it an area that has a range of volcanoes which runs parallel to the west coast and also active faults that passes through the entire island that make the Sumatra Island as one region with high seismicity. In this research, ambient noise tomography (ANT) is conducted to improve the understanding of the geological setting in the southern part of Sumatra based on the subsurface velocity structure. Ambient noise tomography is a relatively new seismic imaging method that commonly used to investigate of layers of the Earth's crust and upper mantle based on seismic velocity variations obtained from extracted the empirical Green's function (EGF). The continuous data were collected from 20 BMKG stations with the recording time of 6 months on June to November 2015. The interstation dispersion curve obtained by cross-correlate two data between two stations and dispersive trains is clearly seen in the period of 10 - 40 s. Based on the results of ambient noise tomography (ANT) at 5 - 15 km with medium to low anomalies on the back-arc basin interpreted as sedimentary unit, while high anomaly along the volcanic-arc interpreted as the igneous body. Low anomalies along Sumatra Fault zone at a depth more than 30 km are interpreted as the mantle diapir.

Keywords: Ambient noise tomography (ANT); Empirical green function (EGF); Mantle diapir

PENDAHULUAN

Pulau Sumatra dan sekitarnya merupakan bagian dari busur kepulauan yang terletak di sepanjang batas tumbukan antara lempeng India-Australia yang menunjam lempeng Eurasia. Kondisi tersebut berimplikasi pada tatanan struktur dan lithologi yang relatif kompleks. Struktur dikontrol

oleh keberadaan Sesar Sumatra, yang memanjang dari ujung Aceh hingga Lampung sebagai sesar mayor dan diikuti oleh keberadaan sesar-sesar minor di sekitarnya. Wilayah timur laut didominasi oleh keberadaan cekungan sedimen minyak. Wilayah barat daya ditandai oleh kenampakan jajaran bukit barisan sepanjang sesar Sumatra dengan litologi

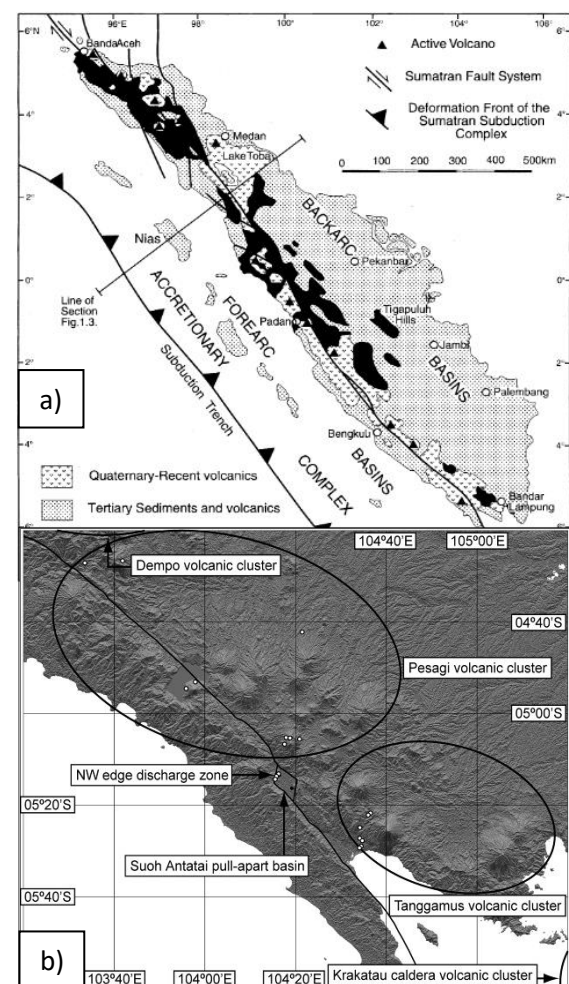
didominasi oleh satuan vulkanik yang berumur Tersier hingga Kuartar. Selain itu, wilayah Sumatra juga ditandai oleh kenampakan pantai barat yang berbatasan dengan Samudra Hindia, cekungan muka lepas pantai (*offshore forearc basins*), dataran tinggi (pulau-pulau punggung Simeulue-Enggano), parit yang dalam (*the deep trench*), dan lempeng samudera subduksi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapat gambaran struktur bawah permukaan Pulau Sumatra dan sekitarnya berdasarkan model kecepatan. Melalui *ambient noise tomography* (ANT) dari data interferometri diharapkan mampu mendelineasi struktur bawah permukaan dari zona Sesar Sumatra, zona subduksi dan *back arc* yang didominasi oleh unit sedimen serta bagian mantel atas Pulau Sumatra dan sekitarnya. Sehingga akan lebih meningkatkan pemahaman tatanan geologi yang terjadi di Pulau Sumatra dan sekitarnya.

Sesar Sumatra merupakan kenampakan geologi yang terbentuk sebagai hasil dari proses pergerakan lempeng dan memanjang dari ujung Aceh hingga selatan Selat Sunda. Kenampakannya sejajar dengan busur Sunda dan ditandai oleh keberadaan busur vulkanik yang dikenal sebagai Bukit Barisan. Sesar Sumatra merupakan sesar mendatar kanan yang terjadi sebagai implikasi dari terjadinya subduksi yang bergerak secara *oblique* ke arah *oblique* Baratlaut (Fitch, 1972; Sieh & Natawidjaya, 2000). Selain itu, pada bagian palung yang sejajar dengan Sesar Sumatra juga terdapat Sesar Mentawai yang kemungkinan besar diakomodasi oleh pergerakan komponen *blok dextral* dari Sesar Sumatra (Diament dkk., 1992; Sieh & Natawidjaya, 2000). Wilayah Sumatra didominasi oleh cekungan sedimen yang berada pada bagian Timurlaut – Baratdaya, sedangkan bagian Baratdayanya didominasi oleh busur vulkanik dan sesar Sumatera yang membentang di sepanjang pulau dengan arah Baratlaut – Tenggara (Gambar 1). Batuan tertua yang tersingkap di Pulau Sumatra merupakan sedimen berumur Carboniferous-Permian, batuan gneis di Bukit Barisan merepresentasikan basement kristalin kerak benua yang berumur *Pre-Carboniferous* (Gambar 1).

Wilayah Timurlaut Sesar Sumatra batuanannya didominasi oleh batuan metamorf dengan beberapa tingkat metamorfisme yaitu slate hingga philit, sedangkan endapan *Permo-Triassic* yang lebih muda dan vulkanik kurang bermetamorfosis. Sedangkan Baratdaya Sesar Sumatera sebagian besar terdiri dari batuan *Jura-Cretaceous* yang berubah-ubah secara metamorfosa. *Basement* yang berumur *Pra-Tersier* dipotong oleh granit pluton yang berkisar dari Permian hingga Kapur Akhir. Selain itu, secara lokal

di sekitar Bukit Barisan, basement diterobos oleh batuan beku Tersier dan ditindih ke Timurlaut dan Baratdaya oleh vulkaniklastik dan sedimen silisiklastik yang mengandung hidrokarbon (minyak dan gas) dan batubara dari cekungan sedimen Tersier.

Selain itu, lava dan tuff dari gunung-gunung berapi muda menindih batuan yang lebih tua di seluruh Bukit Barisan dan, khususnya meliputi wilayah yang luas di Sumatera Utara di sekitar Danau Toba. Wilayah penelitian dikarakterisasi dengan adanya *pull-apart basin* (graben) di sekitar Sesar Sumatera dan kluster gunungapi Bukit Barisan. Kondisi tersebut disebabkan oleh berkembangnya sistem magma vulkanik yang tinggi pada zona transisi *plastis-brittle* (Muraoka dkk., 2010).



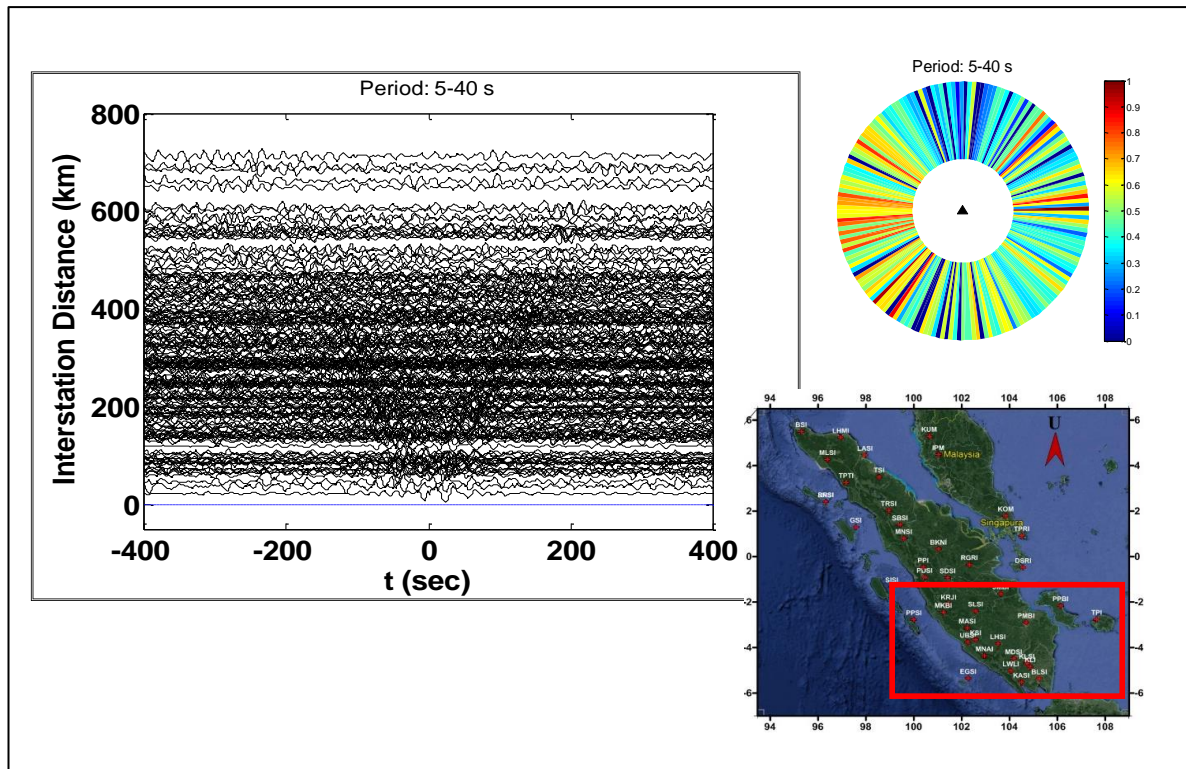
Gambar 1. a) Peta geologi regional Pulau Sumatra (Barber dkk., 2005) dan b) *pull-apart basin* diseluruh bagian selatan Pulau Sumatra (Muraoka dkk., 2010).

Kedalaman zona transisi *plastis-brittle* diindikasikan pada kedalaman yang dangkal karena

medan panas bersuhu tinggi yang terbentuk oleh ruang magma yang dangkal. Kedalaman transisi *plastic-brittle* di gugusan vulkanik di sepanjang Sesar Sumatera mungkin berkisar beberapa kilometer. Di sisi lain, kedalaman transisi *plastic-brittle* di daerah non-vulkanik di sepanjang patahan Sumatera mungkin jauh lebih dalam.

Berdasarkan hasil tomografi yang dilakukan, pola anomali rendah pada peta kedalaman 5 dan 10 km (kotak hitam) diindikasikan sebagai suatu *high level magma chambers*. Dipermukaan ditunjukkan oleh

adanya kenampakan *pull-apart basin* sebagai manifestasi adanya sumber panas yang dangkal di sekitar jajaran gunungapi dan segmen Sesar Sumatera yaitu segmen Semangko yang membentuk Lembah Suoh, Lampung Barat. Selain itu ke arah Baratdaya dari Segmen Semangko dijumpai Segmen Kumering yang memiliki kaitan erat dengan kejadian gempa bumi Liwa pada tahun 1993 dan 1994. Segmen Kumering pada tomogram dicirikan dengan anomali kecepatan rendah.



Gambar 2. Hasil *empirical green function* (EGF)

METODE

Dalam penelitian ini data yang digunakan berupa data *waveform* dari 20 stasiun pengamatan BMKG yang tersebar di seluruh bagian selatan Pulau Sumatera, dengan periode pencatatan antara April - Desember 2015. Data *waveform* yang digunakan berasal dari komponen vertikal seismometer, yang memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap gelombang *Rayleigh*. Pengolahan data dilakukan dengan korelasi silang antar stasiun untuk mendapatkan *empirical Green's function* (EGF) gelombang *Rayleigh* menggunakan program NoiseCorr_SAC_v4.m di MATLAB. Selanjutnya memilih kurva dispersi dilakukan untuk mendapatkan data kecepatan grup. Data kecepatan digunakan sebagai data masukan pada tahap

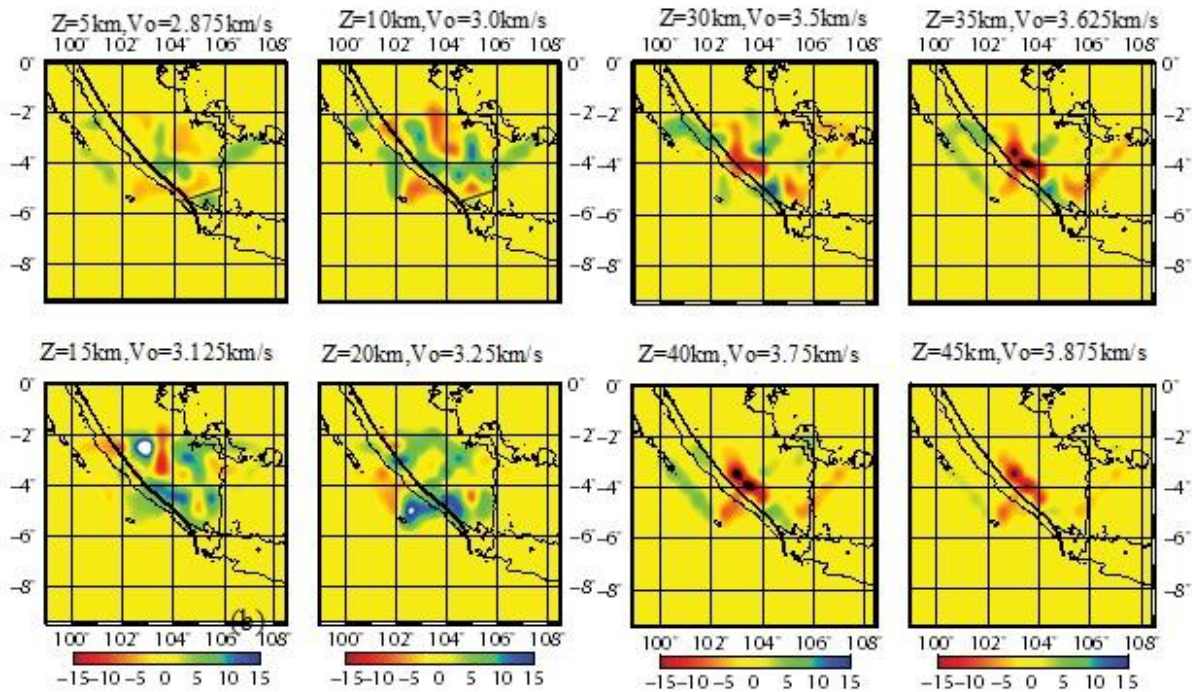
tomografi. Tomografi dilakukan menggunakan teknik inversi 3D Vs dari DsurfTomo. Pada tahapan tomografi, parameterisasi dilakukan dengan jumlah *grid* pada arah sumbu-x (nx), y (ny) dan z (nz), pada penelitian ini masing-masing adalah 50 x 50 x 11 blok. Pembobotan (*weighting*) dan peredaman (*damping*) dilakukan dengan nilai 1.25 sebanyak 10 perulangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Empirical Green function (EGF) hasil *cross-correlation* pada blok 1 terlihat jelas pada frekuensi 5 – 40s yang diplotkan pada kurva jarak antara dua stasiun terhadap *lag time* (s). *Empirical Green function* (EGF) muncul pada *lag time* positif dan negatif membentuk pola V yang menunjukkan bahwa sumber relatif merata (Gambar 2).

Analisa kecepatan awal menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata 3.3 km/s. Sedangkan berdasarkan distribusi azimuthal sumber terlihat bahwa distribusi *noise* yang dominan secara umum berasal dari arah Baratlaut – Tenggara dan Timur (Gambar 3) sehingga berpengaruh pada terbentuknya jajaran gunungapi Bukit Barisan di

sepanjang Sesar Sumatera. Hasil tersebut juga mengkonfirmasi hipotesa hasil penelitian Muraoka dkk., (2010) terkait model model penampang *pull-apart basin* dan distribusi kedalaman zona transisi plastis-rapuh yang berkembang di sepanjang Sesar Sumatera.



Anomali Kecepatan (%) data Kecepatan Grup
Gambar 3. Anomali kecepatan (%) dari kecepatan Grup

Berdasarkan hasil tomografi yang dilakukan, pola anomali rendah pada peta kedalaman 5 dan 10 km (kotak hitam) diindikasikan sebagai suatu *high level magma chambers*. Dipermukaan ditunjukkan oleh adanya kenampakan *pull-apart basin* sebagai manifestasi adanya sumber panas yang dangkal di sekitar jajaran gunungapi dan segmen Sesar Sumatera yaitu segmen Semangko yang membentuk Lembah Suoh, Lampung Barat. Selain itu ke arah Baratdaya dari Segmen Semangko dijumpai Segmen Komering yang memiliki kaitan erat dengan kejadian gempa bumi Liwa pada tahun 1993 dan 1994. Segmen Kumering pada tomogram dicitrakan dengan anomali kecepatan rendah Pada kedalaman 30 – 45 km pola kecepatan rendah yang dihasilkan dalam kerak juga dapat dikaitkan zona sesar Sumatera. Zona sesar mewakili bagian yang lemah yang sangat memudahkan magma untuk menerobos diindikasikan sebagai akibat dari variasi batuan di daerah penelitian yang kompleks serta keberadaan struktur lokal yang ada di daerah penelitian. Anomali nilai tinggi (biru) pada arah Baratlaut-Tenggara diinterpretasikan sebagai batuan beku hasil

aktivitas vulkanik di sepanjang Bukit Barisan dan Sesar Sumatera. Pola anomali negatif di sepanjang Sesar Sumatera diinterpretasikan sebagai *magma chamber*.

Bagian *backarc* memiliki anomali kecepatan yang rendah pada kedalaman antara 5 – 20 km diinterpretasikan sebagai unit sedimen dari Cekungan Sumatera Selatan. Wilayah tersebut dibatasi oleh tinggian Lampung yang terciptakan dengan nilai anomali tinggi dibagian selatan. Sedangkan pada bagian *forearc basin* dicitrakan dengan anomali kecepatan rendah (negatif), kondisi tersebut mengkonfirmasi bahwa wilayah tersebut didominasi oleh unit sedimen.

KESIMPULAN DAN SARAN

Interferometri ambient noise dari data stasiun pengamatan BMKG yang terdistribusi di wilayah penelitian memberikan hasil *empirical Green's function* (EGF) gelombang *Rayleigh* yang cukup baik pada periode 5 – 40 s. Distribusi sumber *noise* pada wilayah Blok I didominasi dari arah Baratdaya yaitu Samudra Hindia. Pada kedalaman 5 – 20 km pola

anomali kecepatan tinggi di sepanjang Sesar Sumatera diinterpretasikan sebagai material hasil pembekuan magma gunungapi, sedangkan anomali kecepatan rendah (negatif) diinterpretasikan sebagai magma *chamber* yang mengontrol aktivitas vulkanik di sepanjang Bukit Barisan. Anomali rendah di bawah Pulau Sumatera pada kedalaman >30 km diinterpretasikan sebagai diapir mantel yang berkembang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis berterimakasih kepada BMKG yang telah memberikan akses data dalam penelitian ini. Selain itu penulis juga berterimakasih kepada dan Huajian Yao yang telah memberikan perangkat lunak pengolahan data NoiseCorr_SAC_v4.m dan DsurfTomo untuk inversi 3D Vs.

DAFTAR PUSTAKA

- Barber, A. J., Crow M. J., dan Milsom J. S., (2005): *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*, Geological Society Memoir No. 31, London: The Geological Society
- Boué, P., P. Roux, M. Campillo, and X. Briand (2014), Phase velocity tomography of surface waves using ambient noise cross correlation and array processing, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 119, 519–529, doi:10.1002/2013JB010446
- Curtis, A., Gerstoft, P., Sato, H., Snieder, R. & Wapenaar, K., (2006): Seismic interferometry turning noise into signal, *Leading Edge*, 25(9), 1082–1092
- Hongjian Fang, Huajian Yao, Haijiang Zhang, Yu-Chih Huang, Robert D. van der Hilst; (2015). Direct inversion of surface wave dispersion for three-dimensional shallow crustal structure based on ray tracing: methodology and application, *Geophysical Journal International*, Volume 201, Issue, 1 June 2015, Pages 1251–1263, <https://doi.org/10.1093/gji/ggv080>
- Lin, F., M.P. Moschetti, and M.H. Ritzwoller, (2008): Surface wave tomography of the western United States from ambient seismic noise: Rayleigh and Love wave phase velocity maps, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j1365-246X.2008.03720.x
- Muraoka, H., Takahashi, M., Sundhoro, H., Dwipa, S., Soeda, Y., Momita, M., and Shimada, K., 2010, Geothermal Systems Constrained by the Sumatran Fault and Its Pull-Apart Basins in Sumatra, Western Indonesia, *Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 25-29 April 2010*
- Nakata, N., and Snieder, R., 2011. Near - surface weakening in Japan after the 2011 Tohoku-Oki earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, VOL.38,L17302,doi:10.1029/2011GL048800
- Ruigrok, E., Campman, X., Draganov, D. & Wapenaar, K., 2010. High-resolution lithospheric imaging with seismic interferometry, *Geophys. J. Int.*, 183, 339–357
- Sieh, K. & Natawidjaja, D.H., (2000): Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia, *J. geophys. Res.*, 105, 28 295–228 326.