

Segmentasi tektonik aktif pada Lempeng Mikro Sumatra Bagian Utara (Aceh) ditinjau dari sebaran episenter gempa bumi

*Segmentation of Active Micro Plate Tectonics in Northern Sumatra (Aceh)
Reviewed from Earthquake Epicenter Distribution*

Lina Handayani, Haryadi Permana, dan Eddy Z. Gaffar

Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI

Jln. Sangkuriang Bandung 40135

ABSTRAK

Beberapa tahun setelah kejadian gempa bumi Aceh 2004, telah terjadi peningkatan aktivitas kegempaan khususnya di daerah Sumatra. Peningkatan aktivitas ini menimbulkan keingintahuan yang lebih dalam mengenai tektonik daerah ini. Peningkatan jumlah kejadian kegempaan memungkinkan kita untuk memperoleh informasi lebih lanjut sebagai bahan untuk mempelajari tektonik aktif di Sumatra. Penelitian ini meliputi analisis data gempa bumi besar ($M > 5$) di daerah Sumatra bagian utara dengan membandingkan kejadian sebelum dan setelah gempa bumi Aceh. Data gempa bumi menunjukkan adanya pembagian empat daerah kegempaan yang dapat dikaitkan dengan aktivitas pada Cekungan Busur Muka Aceh dan Sesar Simeulue-Nias. Profil sebaran episenter juga menunjukkan kemungkinan kedalaman lajur aktif pada kedua fitur tersebut hingga 40-60 km. Pengelompokan daerah kegempaan dan evaluasi tektoniknya menunjukkan adanya segmentasi tektonik aktif pada Lempeng Mikro Sumatra Bagian Utara.

Kata kunci: gempa bumi, seismik, Sumatra Utara, Cekungan Aceh, Busur Muka

ABSTRACT

A few years after the 2004 Aceh earthquake, there has been an increase in seismic activity especially in the Sumatra region. This increase in activity raises a deeper curiosity about the tectonics of this area. The increase in number of seismic events allow us to obtain better data for further study of the active tectonics of Sumatra. This study includes data analysis of major earthquakes ($M > 5$) in the northern Sumatra region by comparing the events prior and post major earthquake of Aceh in December 2004. Earthquake data indicate the existence of division of four regions that can be attributed to the seismic activity of the Aceh fore arc basin and Simeulue-Nias Fault. Epicenters distribution profile also suggests that the depth of the active zone on both features ranges on 40-60 km. Regional grouping of seismicity and evaluation of its tectonics indicate the existence of active tectonic plate segmentation on Micro Plate Tectonics of Northern Sumatra.

Keywords: earthquake, seismic, North Sumatra, Aceh Basin, Fore-arc

PENDAHULUAN

Lajur subduksi Sumatra merupakan lajur tempat Lempeng Indo-Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara dengan kecepatan relatif terhadap lempeng Eurasia sebesar 7 cm/tahun (Wilson *et al.*, 1998). Pergerakan lempeng menunjam ini sangat mempengaruhi aktivitas tektonik di Pulau Sumatra dan pulau-pulau kecil di sekitarnya. Pergesekan pada lajur Benioff pada lempeng yang menunjam menyebabkan aktivitas magmatik sepanjang Pulau Sumatra yang muncul sebagai deretan gunung api. Arah subduksi yang relatif miring terhadap daratan Sumatra menimbulkan adanya Lajur Sesar Sumatra dan Lajur Sesar Mentawai (Diament *et al.*, 1992; Malod *et al.*, 1995) yang memanjang dari utara hingga selatan Pulau Sumatra dengan besar pergerakan yang makin kecil di ujung selatan pulau (McCaffrey, 1991; Pramumijoyo dan Sebrier, 1991; Sieh dan Natawidjaja, 2000). Segmentasi lempeng mikro Sumatra telah banyak diulas pada penelitian-penelitian sebelumnya (Diament *et al.*, 1992; Sukmono *dr.*, 1997; Triyoso, 2005; Handayani dan Harjono, 2006; Chlieh *et al.*, 2008) yaitu data-data terbaru menunjukkan kemungkinan pembagian segmen yang makin detail. Pembagian segmen juga sangat berkaitan dengan pembagian daerah seismik aktif dan kemungkinan terjadinya pengumpulan energi yang memungkinkan kejadian gempa bumi dalam waktu yang akan datang (Natawidjaja dan Sieh, 2009).

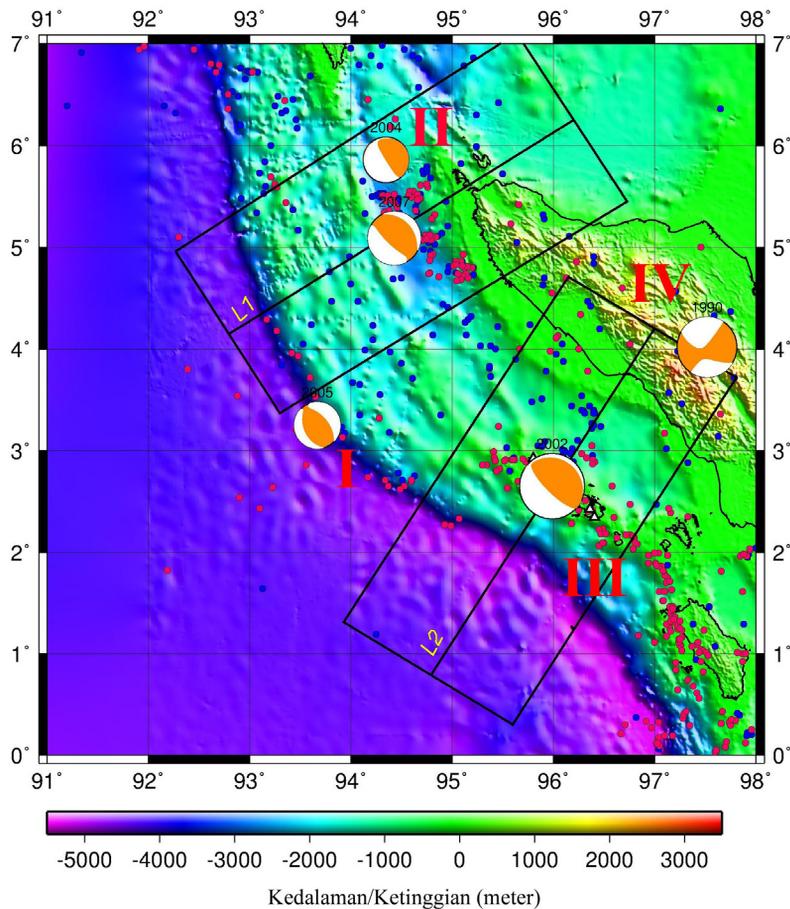
Gempa bumi besar di lepas pantai Aceh pada 26 Desember 2004 menjadi suatu momen besar yang menandai tingginya aktivitas tektonik

sepanjang Pulau Sumatra. Sejak gempa bumi besar tersebut, telah terjadi beberapa gempa bumi di pantai barat Sumatra. Data gempa bumi besar beserta gempa bumi susulannya yang cukup banyak itu sangat berharga dalam membantu memahami gerakan tektonik daerah tersebut.

METODOLOGI

Data catatan perekaman kejadian gempa bumi sangat berguna karena dapat memberikan informasi struktur geologi bawah permukaan sekaligus tingkat aktivitas tektoniknya. Dengan adanya satu (atau lebih) gempa bumi besar yang disertai oleh banyak sekali gempa bumi susulan, kita mengharapkan informasi baru yang lebih baik lagi. Oleh sebab itu, kami mengumpulkan rekaman data dari katalog USGS/NEIC (1973 - Oktober 2009) agar dapat menampilkan keadaan aktivitas tektonik secara regional. Kejadian-kejadian gempa yang dipilih adalah gempa bumi dengan $M_w > 5$. Editing lebih lanjut diperlukan sebelum menggunakan data dari katalog tersebut di atas. Data dengan keterangan kedalaman dan magnituda kosong dibuang. Begitu pula dengan kejadian gempa yang tercatat memiliki kedalaman 33 km disingkirkan karena angka tersebut biasa digunakan jika kedalaman gempa kurang dapat terdefinisikan dengan baik. Keseluruhan data yang terpilih adalah sebanyak 528 kejadian.

Titik-titik episenter gempa bumi tersebut dituangkan dalam Gambar 1 dengan data untuk peta topografi yang diperoleh dari Becker *et al.* (2009). Pada gambar tersebut tampak sebaran episenter yang dibedakan antara titik-titik episenter untuk kejadian sebelum gempa



Gambar 1. Seismisitas Sumatra bagian Utara 1973 – 2009 (titik biru = sebelum, titik merah = setelah gempa bumi Aceh 2004). Lingkaran putih-jingga menunjukkan mekanisme fokus beberapa gempa dengan sumber data dari *Global Centroid Moment Tensor* NEIC-USGS. Sumber peta topografi dari Becker *et al.*, 2009.

bumi Aceh 2004 (titik-titik biru) dan episenter untuk kejadian setelah (titik-titik merah). Kemudian disusun profil seismisitas pada dua daerah yang melalui dua garis L1 dan L2 sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 2. Daerah untuk profil seismisitas tersebut disesuaikan dengan pengelompokan yang terbentuk pada distribusi episenter. Seluruh proses pemetaan, proyeksi data untuk profil dan grafik profil dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GMT (Wessel dan Smith, 1998).

HASIL

Terdapat dua perbedaan karakteristik seismisitas sebelum dan setelah tahun 2004 (gempa bumi Aceh). Pertama adalah jumlah kejadian gempa bumi yang melonjak naik dalam kurun 5 tahun kemudian. Terdapat 303 gempa bumi tercatat dengan magnituda $M > 5$ sejak Desember 2004 hingga Oktober 2009 (kurang lebih 5 tahun). Sementara itu, sejak tahun 1973 hingga tahun 2004 (kurang lebih 31 tahun) hanya tercatat 225 kejadian gempa bumi

dengan magnituda lebih dari 5. Perbedaan karakteristik kedua tampak dari sebaran episenter kejadian gempa bumi (Gambar 1). Sebaran episenter gempa bumi sebelum tahun 2004 tampak tersebar sporadis namun dapat menggambarkan zona Benioff atau lempeng Indo-Australia yang tertunjam dengan cukup jelas (titik-titik biru pada peta dan profil). Sementara episenter kejadian gempa bumi setelah 2004 (titik-titik merah) membentuk setidaknya empat pola kluster yang tidak terlalu jelas pengelompokannya pada periode sebelumnya. Kluster pertama (I) meliputi titik-titik episenter di sepanjang garis palung. Daerah cekungan Aceh merupakan kluster kedua (II) yang boleh jadi merupakan daerah *rupture* dari gempa bumi Aceh pada tahun 2004 yang bermagnituda 9,2. Sedangkan kluster ketiga (III) membentuk deretan panjang episenter dari sisi utara Pulau Simeulue hingga ke sisi utara Pulau Nias, lalu berbelok ke arah selatan sampai sejajar dengan ujung selatan Pulau Nias dan berlanjut hingga berpotongan dengan palung. Kluster III ini merupakan daerah *rupture* dari gempa bumi Nias tahun 2005 dengan magnituda 8,6. Terakhir, kluster keempat (IV) merupakan sebaran episenter di dataran Pulau Sumatra, yang sebagian besar adalah gempa bumi akibat aktivitas jalur Sesar Sumatra.

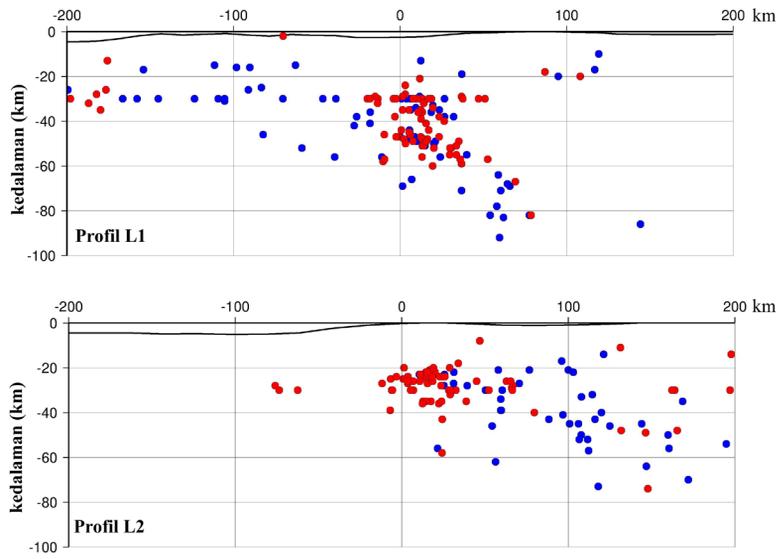
DISKUSI

Kelompok (kluster) titik-titik episenter menunjukkan adanya perbedaan aktivitas tektonik pada masing-masing kelompok tersebut. Mekanisme fokus pada kluster I menunjukkan gaya *thrust* (sesar naik) yang menyiratkan bahwa aktivitas tektonik di sekitar palung dan

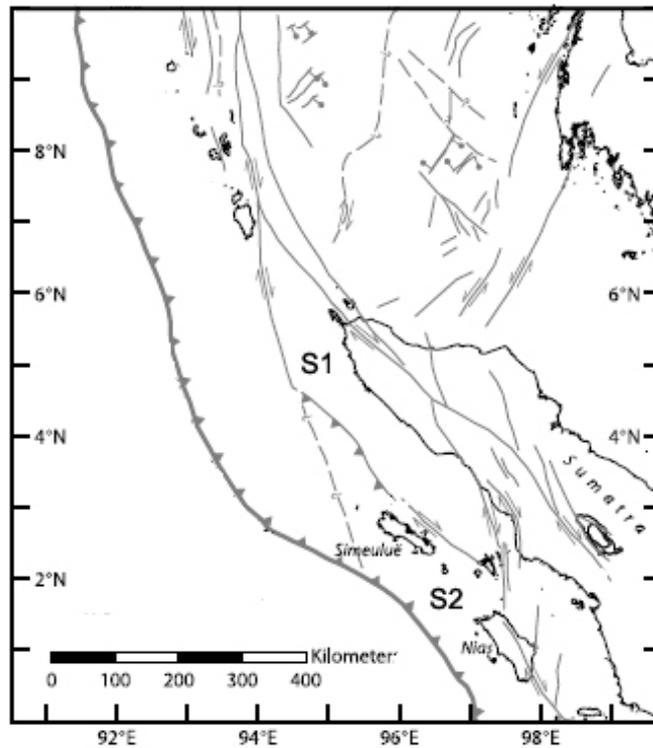
dekat permukaan (kurang dari 40 km, lihat profil pada Gambar 2) terutama disebabkan oleh dorongan gaya subduksi (*tension*). Gaya *strike-slip* (sesar geser) terlihat di kluster IV yang menunjukkan kegempaan yang disebabkan oleh aktivitas Sesar Geser Sumatra.

Kelompok kejadian gempa bumi yang mengelompok di cekungan Aceh (kluster II) menunjukkan sangat tingginya aktivitas di daerah ini yang biasanya menunjukkan daerah pecahan sesar (*fault rupture*). Mekanisme fokus (Gambar 1) menunjukkan *thrust* dengan kemiringan ke arah timur laut. Dari kedalamannya (Gambar 2: kluster II), tampak bahwa episenter terkluster pada kedalaman sekitar 10-60 km. Namun posisinya yang justru tidak berada di dekat titik episenter gempa bumi Aceh tidak mudah untuk dijelaskan. Mungkin gempa bumi Aceh memicu ketidaksetimbangan pada seluruh sesar yang berada di dekatnya. Jika kita lihat peta tektonik yang disusun oleh Meltzner *et al.* (2006) sebagaimana terlihat pada Gambar 3, cekungan Aceh terletak diantara dua sesar geser menganan. Jika kedua sesar tersebut bergerak, maka ketidaksetimbangan akan muncul di daerah yang terletak di antara keduanya, terutama jika daerah tersebut labil.

Kelompok ketiga (III) yang berada di sekitar Simeulue-Nias juga memiliki karakteristik serupa dilihat dari kedalaman hiposenter yang berkisar antara 20 dan 40 km. Mekanisme fokus juga menunjukkan *thrust* dengan arah kemiringan ke timur laut. Aktivitas gempa bumi di sini bisa jadi terkait dengan sesar di utara Pulau Simeulue, yang berlanjut dengan sesar geser menganan di sisi timur Pulau Simeulue. Lalu kelurusan ini berlanjut ke arah



Gambar 2. Profil Seismisitas L1 dan L2 (titik biru = sebelum, titik merah = setelah) gempa bumi Aceh 2004.



Gambar 3. Peta tektonik Sumatra Utara (modifikasi dari Meltzner *et al.*, 2006)

tenggara hingga menyentuh ujung barat laut Pulau Nias dan berbelok ke selatan hingga memotong garis palung. Kelurusan ini sesuai dengan model perubahan tegangan Coulomb dari kajian gempa bumi Nias 2005 (Hsu *et al.*, 2006), dimana sisi kiri dari kelurusan Simeulue-Nias ini mengalami tegangan positif dan di sisi kanannya mengalami tegangan negatif. Kelurusan ini juga sesuai dengan garis putar (*pivot line*) yang membatasi daerah yang mengalami kenaikan (*uplift*) dan penurunan (*subsidence*) (Meltzner *et al.*, 2006). Kesesuaian-kesesuaian tersebut menunjukkan bahwa kelurusan ini membatasi dua segmen lempeng yang berbeda yang masing-masing segmen memiliki pola tegangan/regangan yang berbeda. Dari profil L2 bisa diperkirakan bahwa aktivitas kegempaan mencapai kedalaman 40 km. Namun perlu diteliti lebih lanjut apakah itu berarti bahwa kelurusan ini menerus ke bawah permukaan dengan kedalaman serupa.

Perbedaan antara kedua segmen tersebut juga tampak dari data batimetri seperti yang disampaikan oleh Permana *et al.* (2010). Analisis morfostruktur dari data batimetri tersebut menunjukkan kelurusan struktur berarah barat laut-tenggara pada segmen Cekungan Aceh (S1), sedangkan pada segmen Simeulue (S2) kelurusan berarah hampir barat-timur.

KESIMPULAN

Data sebaran episenter gempa bumi menunjukkan tingkat aktivitas yang menggambarkan zona aktif di daerah Sumatra bagian utara. Pengelompokan (*clustering*) data episenter menunjukkan empat daerah aktif yang berbeda yang dapat diartikan sebagai dua segmen lempeng yang berbeda. Kedalaman sumber-

sumber gempa tersebut menunjukkan zona aktif gempa bumi yang tidak sama, yaitu kedalaman hingga 80-100 km di segmen barat dan kedalaman 60-80 km di segmen timur.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI yang telah memungkinkan pembiayaan penelitian ini melalui Program Insentif Peneliti dan Perekayasa LIPI - DIKTI tahun anggaran 2009.

ACUAN

Becker, J.J., Sandwell, D.T., Smith, W.H.F., Braud, J., Binder, B., Depner, J., Fabre, D., Factor, J., Ingalls, S., Kim, S-H., Ladner, R., Marks, K., Nelson, S., Pharaoh, A., Trimmer, R., Von Rosenberg, J., Wallace, G., and Weatherall, P., 2009, Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS, *Marine Geodesy*, 32 (4), 355-371.

Chlieh, M., Avouac, J. P., Sieh, K., Natawidjaja, D. H., and Galetzka, J., 2008, Heterogeneous coupling of the Sumatran megathrust constrained by geodetic and paleogeodetic measurements, *Journal of Geophysical Research*, 113.

Diament, M., Harjono, H., Karta, K., Deplus, C., Dahrin, D., Zen Jr. M.T., Gerrard, M., Lassal, O., Martin, A., and Malod, J., 1992, Mentawai Fault Zone off Sumatra: A New Key to the Geodynamics of Western Indonesia, *Geology* 20, p. 259-262.

Handayani, L. and Harjono, H., 2006, Segmented Sumatra: How the Seismic Hazards Along the Island are not Identical. In: Utomo, P.U., Tohari, A., Murdohardono, D., Sadisun, I. A., Sudarsono, U., Ito, T. (editor), *Proceedings of International Symposium on Geotechnical Hazards: Prevention, Mitigation and Engineering Response*, April 24-27, 2006, Yogyakarta, Indonesia.

- Hsu, Y-J., Simons, M., Avouac, J-P., Galetzka, J., Sieh, K., Chlieh, M., Natawidjaja, D., Prawirodirdjo, L., and Bock, Y., 2006, Frictional Afterslip Following the 2005 Nias-Simeulue Earthquake, Sumatra. *Science* 312, 1921-1926.
- Malod, J.A., Karta, K., Bellier, M.O., and Zen Jr., M.T., 1995, From Normal to Oblique Subduction: Tectonic Relationship between Java and Sumatra, *Journal of SE Asian Earth Sciences* 12(1/2), 85-93.
- Meltzner, A., Sieh, K., Abrams, M., Agnew, D., Hudnut, K., Avouac, J., and Natawidjaja, D., 2006, Uplift and subsidence associated with the great Aceh-Andaman earthquake of 2004, *Journal of Geophysical Research*, 111.
- McCaffrey, R., 1991, Slip Vectors and Stretching at the Sumatran Fore-Arc, *Geology* 19, 881-884.
- Natawidjaja, D. H. and Sieh, K., 2009, The next great earthquake and tsunami in western Sumatra based on analysis of the 7th centuries paleogeodetic history, 5 year GPS data and recent strain releases during the September 2007 event. EGU General Assembly 2009, held 19-24 April, 2009 in Vienna, Austria, p.9327.
- Permana, H., Handayani, L., dan Gaffar, E.Z., 2010, Studi Awal Pola Struktur Busur Muka Aceh, Sumatra Bagian Utara (Indonesia): Penafsiran dan Analisis Peta Batimetri, *Jurnal Geologi Kelautan* 8 (3), 105-118.
- Pramumijoyo, S. and Sebrier, M., 1991, Neogene and Quaternary fault kinematics around the Sunda Strait, Indonesia, *Journal of SE Asian Earth Sciences* 6 (2), 137-145.
- Sieh, K. and Natawidjaja, D. H., 2000, Neotectonics of the Sumatran Fault, *Indonesia Journal of Geophysical Research*, 105(B12) 28,295–28,326.
- Sukmono, S., Zen, M.T., Hendrajaya, L., Kadir, W. G. A., Santoso, D., and Dubois, J., 1997, Fractal pattern of the Sumatra fault seismicity and its possible application to earthquake prediction, *Bulletin of the Seismological Society of America* 87 (6), 1685-1690.
- Triyoso, W., 2005, Large earthquake potency of Sumatra. Poster International Meeting of the Sumatran Earthquake Challenge in Padang, Indonesia.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F., 1998, New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Transactions, AGU*, 79, 579.
- Wilson, P., Rais, J., Reigber, Ch., Reinhart, E., Ambrosius, B.A.C., Le Pichon, X., Kasser, M., Suharto, P., Dato' Abdul Majid, Dato' Paduka Awang Haji Othman BHY, Almeda, R., and Boonphakdee, C., 1998, Study provides data on active plate tectonics in Southeast Asia region,. *EOS Transactions, AGU*, 79, 545.

