

## Perkembangan Tektonik Daerah Busur Muka Selat Sunda dan Hubungannya dengan Zona Sesar Sumatera

Lina Handayani dan Hery Harjono

**ABSTRACT** *The subduction of the Indian-Australian Plate beneath the Eurasian Plate is oblique ( $\sim 45^\circ$ ) along Sumatra. A major zone of dextral strike slip displacement along Sumatra Island, called the Sumatra Fault, partially accommodates the oblique convergence off Sumatra. On the contrary, the subduction is normal along Java; therefore, no major fault zone can be found along the Java Island. The transition zone of the Sunda Strait fore arc, which is located between Java and Sumatra fore arc, is subject to northwest-southeast extension related to the motion of the Sumatra Fault and north-south compression because of subduction. Geophysical studies show that continuous extension dominated the Sunda Strait fore arc region. The results are interpreted as showing ongoing separation of the Sunda Strait fore arc region as the Sumatra fore arc plate has moved northwest, bounded by the Sumatra Fault. Therefore, the Sumatra Fault can also be interpreted to extend across the fore arc to the trench in the form of several graben systems.*

**Keywords:** *Sunda Strait, Sumatra Fault Zone, fore arc tectonic*

---

Naskah masuk: 7 September 2008

Naskah diterima: 7 Oktober 2008

---

Lina Handayani  
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI  
Kompleks LIPI Jl. Sangkuriang Bandung  
Email: lina @geotek.lipi.go.id

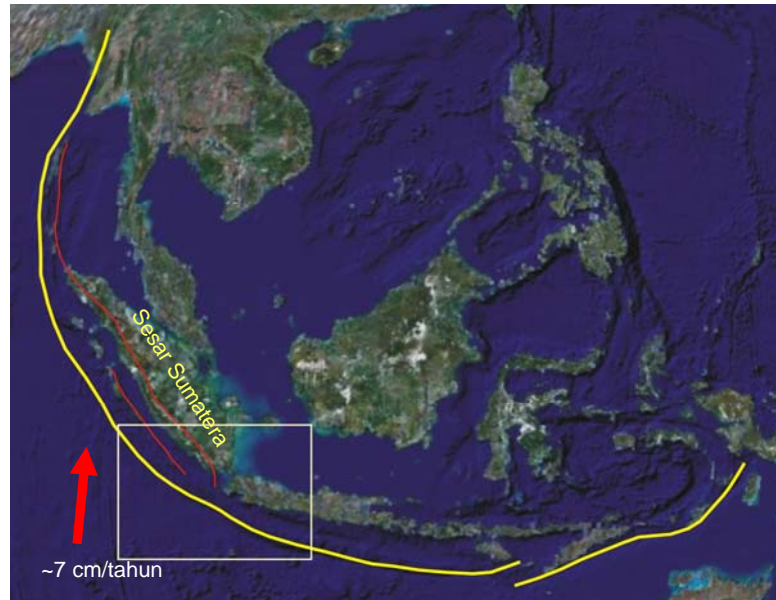
Hery Harjono  
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI  
Kompleks LIPI Jl. Sangkuriang Bandung  
Email: hharjono@geotek.lipi.go.id

**ABSTRAK** Di sepanjang lepas pantai barat Sumatera, Lempeng Indo-Australian menunjam di bawah Lempeng Eurasia dengan arah yang miring ( $\sim 45^\circ$ ). Penunjaman miring tersebut mengakibatkan terbentuknya Zona Sesar Sumatera, suatu zona sesar geser manganan, yang memanjang dari ujung utara hingga ujung selatan Pulau Sumatera. Namun di sepanjang lepas pantai selatan Pulau Jawa, Lempeng Indo-Australian menunjam Lempeng Eurasia dengan arah normal sehingga tidak terbentuk suatu zona sesar seperti yang ada di Sumatera. Daerah Busur Muka Selat Sunda yang merupakan daerah transisi diantara Sumatera dan Jawa, dipengaruhi oleh kondisi pergerakan lempeng kedua daerah tersebut. Daerah Busur Muka Selat Sunda ini dapat mengalami kompresi akibat penunjaman lempeng dan juga dipengaruhi ekstensi karena pergerakan sebagian Pulau Sumatera ke arah Baratlaut. Hasil analisa beberapa faktor geofisika menunjukkan adanya dominasi ekstensi di daerah busur muka Selat Sunda. Hasil tersebut menunjukkan indikasi adanya bukaan yang menerus di daerah busur muka ini karena lempeng busur muka Sumatera, yang batas selatannya berupa Zona Sesar Sumatera, terus melaju ke arah baratlaut. Sehingga juga dapat disimpulkan adanya kelanjutan Zona Sesar Sumatera sampai ke batas Palung Sunda dalam bentuk suatu sistim graben.

**Kata kunci:** Selat Sunda, Zona Sesar Sumatera, tektonik busur muka

## PENDAHULUAN

Palung Sunda merupakan tempat pertemuan Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Lempeng Indo-Australia bergerak kurang lebih ke arah Utara ( $N3^\circ E$ ) dengan kecepatan relatif berkisar 7 cm/tahun (Wilson et

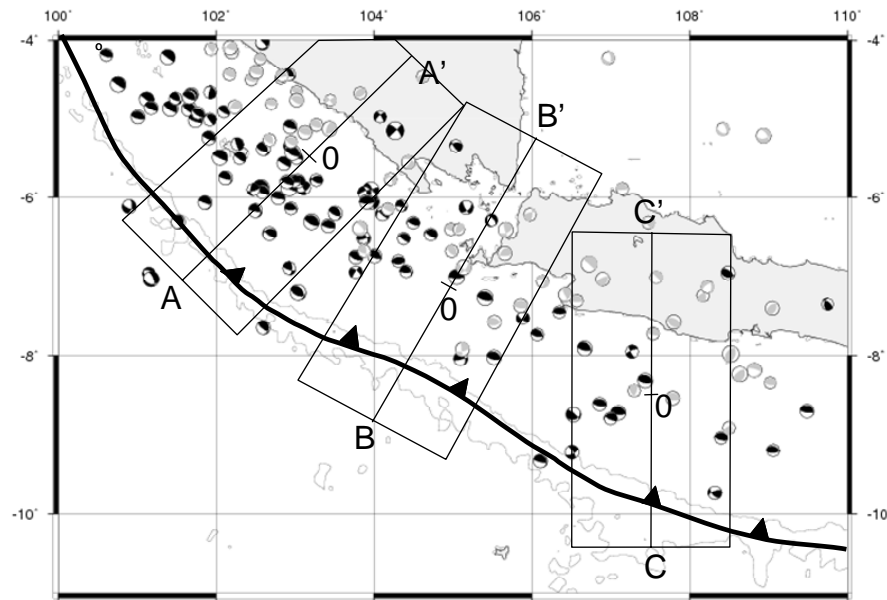


**Gambar 1. Peta lokasi penelitian (kotak putih).**  
*Sumber peta: Google Earth*

al., 1998). Karena bentuk geometri Sumatera dan Jawa, penunjaman berarah normal terhadap Pulau Jawa dan berarah miring terhadap Pulau Sumatera (Gambar 1). Kemiringan penunjaman di sepanjang Sumatera dapat dihubungkan dengan adanya suatu zona sesar geser mendatar manganan yang memanjang sepanjang pulau yang disebut sebagai Zona Sesar Sumatera. Sesar ini mengakomodasi komponen manganan dari konvergensi miring tersebut. Kemiringan penunjaman ini juga mengakibatkan tarikan (*stretching*) yang cukup besar di sepanjang Sumatera (McCaffrey, 1991). Pergerakan sepanjang Sesar Sumatera ini bervariasi dari 45-60 cm/tahun di utara Sumatera hingga hanya 1 cm/tahun di Selat Sunda (Pramumijoyo & Sebrier, 1991; Sieh & Natawidjaja, 2000). Selain Sesar Sumatera, juga terbentuk Zona Sesar Mentawai yang juga merupakan zona sesar geser manganan, terletak di antara palung dan Pulau Sumatera, memanjang di sepanjang deretan pulau-pulau kecil di busur muka Sumatera (Diament et al., 1992).

Di sebelah utara, Zona Sesar Sumatera berakhir pada kompleks sesar Laut Andaman. Namun di ujung selatan, karena observasi lapangan menunjukkan pergeseran yang sangat kecil di ujung selatan Pulau Sumatera (Pramumijoyo & Sebrier, 1991), kemudian diasumsikan bahwa sesar terputus di Selat Sunda. Atau dengan kata lain, pergeseran mencapai nilai 0 di Selat Sunda. Sifat alami dari ujung Sesar Sumatera dan Sesar Mentawai di Selat Sunda menjadi fokus dalam tulisan ini. Perkembangan tektonik daerah busur muka di sebelah selatan Selat Sunda dibahas untuk menjelaskan keberadaan ujung selatan kedua zona sesar tersebut.

Studi terusan zona Sesar Sumatera di daerah busur muka dilakukan dengan menganalisa seismisitas, topografi dan gravitasi anomali daerah busur muka Selat Sunda. Analisa keseluruhan data tersebut digunakan untuk menginterpretasikan gambaran struktur bawah permukaan daerah penelitian ini. Pengetahuan



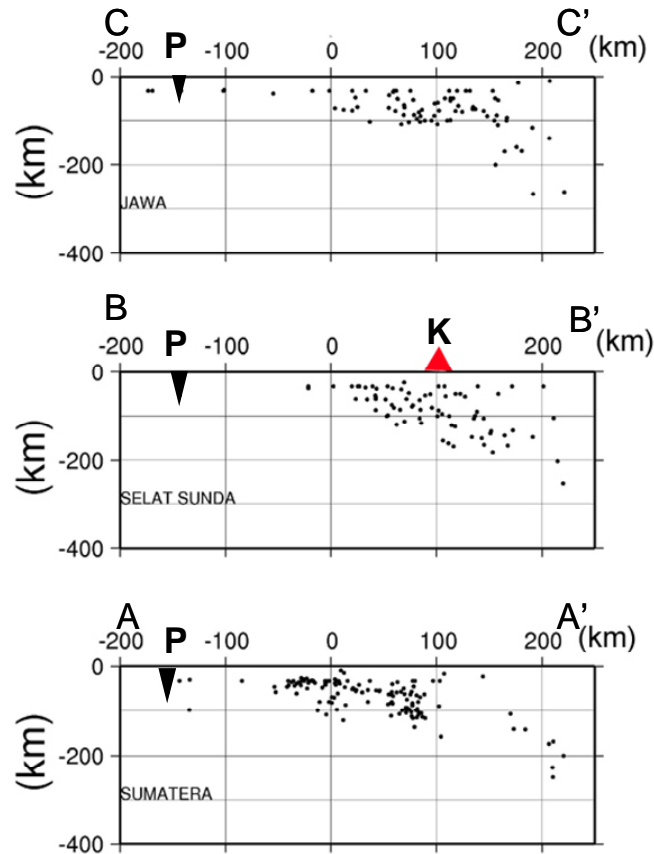
**Gambar 2. Peta seismisitas dan mekanisma sumber gempa.**  
Bola hitam untuk gempa dangkal (< 50 km), bola abu-abu untuk gempa dalam (> 50).

struktur bumi bagian dalam dapat memberi kejelasan proses tektonik di daerah penelitian ini.

## SEISMISITAS

Data catatan gempa bumi di ambil dari USGS/NEIC yang meliputi semua gempa yang terjadi di daerah penelitian antara tahun 1988-1998 dengan magnituda > 4. Sebelum dipetakan, data-data tersebut dipilih yang cukup baik (misalnya, tidak ada data kedalaman atau magnituda yang kosong, magnitudanya tidak nol, dan kedalaman terhitung dengan baik). Gambar 2 menggambarkan seismisitas daerah penelitian berikut mekanisma sumber gempunya (*focal mechanism*). Satu hal yang menarik adalah tidak adanya *focal mechanism* yang menunjukkan aktifitas ekstensi di daerah busur muka Selat Sunda ini. Namun, di daerah busur muka dekat palung, terdapat celah (*gap*) seismik Ada banyak

gempa terjadi terutama di Selat Sunda, namun sangat sedikit kejadian di bagian selatan dari Selat Sunda. Dari peta seismisitas, dibuat tiga profil dari tiga kotak yang tampak pada Gambar 2. Profil seismik dibuat dengan memproyeksikan semua gempa dalam setiap kotaknya kepada satu garis yang memotong kotak tersebut di tengah-tengah. Profil-profil seismik tersebut (Gambar 3) menunjukkan kemiripan karakter sebaran gempa di barat Sumatra dan selatan Jawa, sementara daerah busur muka Selat Sunda memiliki karakter yang berbeda. Tampak adanya kumpulan sumber gempa (*cluster*) dengan kedalaman 0 – 100 km yang meliputi daerah dengan lebar 200 km (tegak lurus palung). Di Sumatera, kumpulan itu dimulai dari jarak sekitar 150 km dari palung, sementara di Jawa kurang lebih 100 km dari palung. Kumpulan sumber gempa dengan lebar yang sama juga tampak di bawah busur muka Selat Sunda, ha-

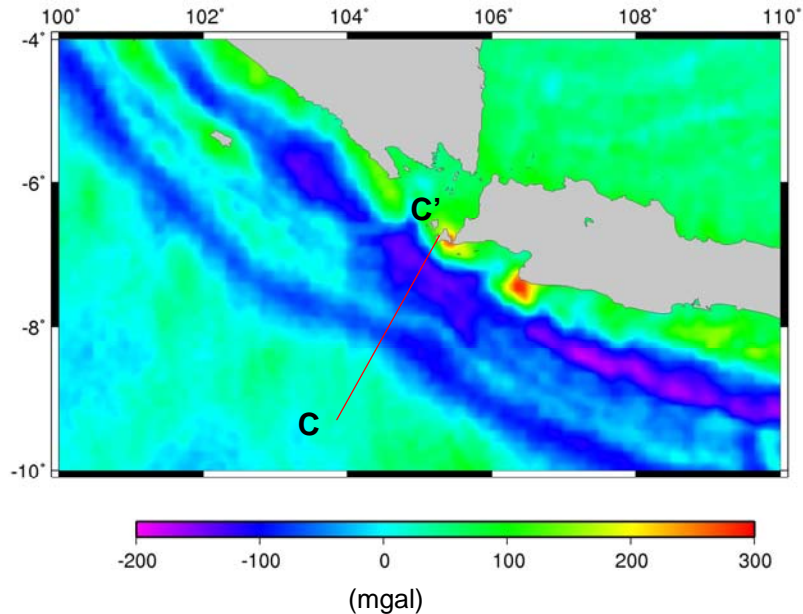


Gambar 3. Profil seismik dari daerah dalam kotak-kotak di Gambar 2. (P = palung, K = Krakatau)

nya saja kedalaman sumber gempa mencapai 200 km. Di tengah Selat Sunda terdapat Gunung Krakatau yang sangat aktif. Harjono et al. (1991) mencatat sebagian gempa-gempa di bawah G. Krakatau mempunyai ciri tektonik. Meski demikian, diperkirakan sebagian besar gempa-gempa tersebut di picu oleh keaktifan magma. Hal yang juga sangat menarik adalah tidak adanya kegiatan gempa di sekitar palung di daerah busur muka Selat Sunda. Tidak adanya aktifitas kegempaan di dekat palung tersebut mungkin dapat dikaitkan dengan lemahnya struktur di daerah tersebut.

## ANOMALI GRAVITASI DAN TOPOGRAFI

Data anomali gravitasi *free-air* diperoleh dari Sandwell dan Smith (1997) yang diturunkan dari data altimetri ERS-1, Geosat dan Seasat yang memiliki resolusi 2 menit. Gambar 4 menunjukkan gambaran regional anomali negatif di daerah palung dan busur muka. Tampak dalam peta tersebut kecenderungan anomali negatif di sepanjang palung dan daerah busur muka. Di sepanjang palung sebelah barat Sumatera, anomali gravitasi mencapai -110 mgal sementara



**Gambar 4. Peta anomali gravitasi free-air. Garis CC' merupakan profil anomali untuk pemodelan anomali gravitasi.**

di sepanjang palung di selatan Jawa, anomali mencapai -190 mgal. Anomali di daerah cekungan busur muka juga menunjukkan karakteristik yang serupa, dimana anomali di selatan Jawa (-50 mgal) lebih kecil daripada di barat Sumatera (+50 mgal).

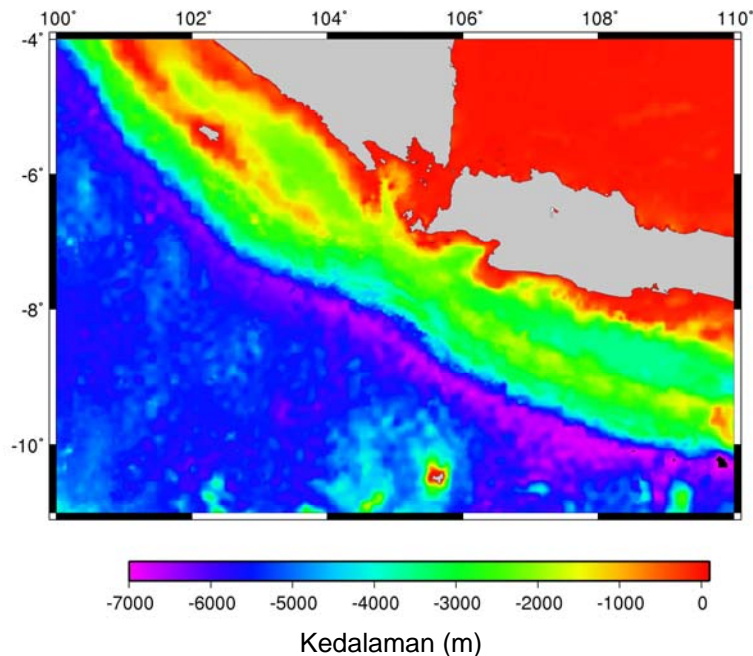
Di daerah busur muka Selat Sunda, terdapat area beranomali negatif yang lebar. Daerah beranomali negatif ini cukup luas mencakup daerah dari Selat Sunda hingga ke batas palung. Pada umumnya, anomali gravitasi yang rendah berkorelasi dengan cekungan busur muka atau palung. Namun morfologi daerah busur muka Selat Sunda tidak menunjukkan adanya semacam cekungan (Gambar 5). Topografi lantai samudera di daerah busur muka ini relatif datar tanpa ada zona kompleks akresi seperti pada umumnya terdapat di muka suatu zona penunjaman (*prisma akresi*) tampak jelas keberadaannya di lepas pantai Sumatera dan Jawa). Satu hal yang juga menarik yang tampak dalam peta topografi ini

adalah bentuk garis palung yang sedikit melengkung ke dalam di busur muka Selat Sunda.

## PEMODELAN GRAVITASI

Pemodelan anomali gravitasi dilakukan dalam upaya memperkirakan kondisi struktur dalam bawah permukaan daerah penelitian. Program untuk menghitung model kedepan (*forward*) disusun berdasarkan kode Fortran dari Blakely (1995). Program ini digunakan untuk menghitung tarikan gravitasi vertikal yang diakibatkan oleh poligon dua dimensi. Lapisan air laut diasumsikan homogen, sehingga yang bervariasi hanyalah anomali gravitasi yang diakibatkan oleh struktur bawah permukaan.

Pemodelan gravitasi sesungguhnya merupakan metode yang menghasilkan model yang tidak unik. Akan dapat diperoleh beragam



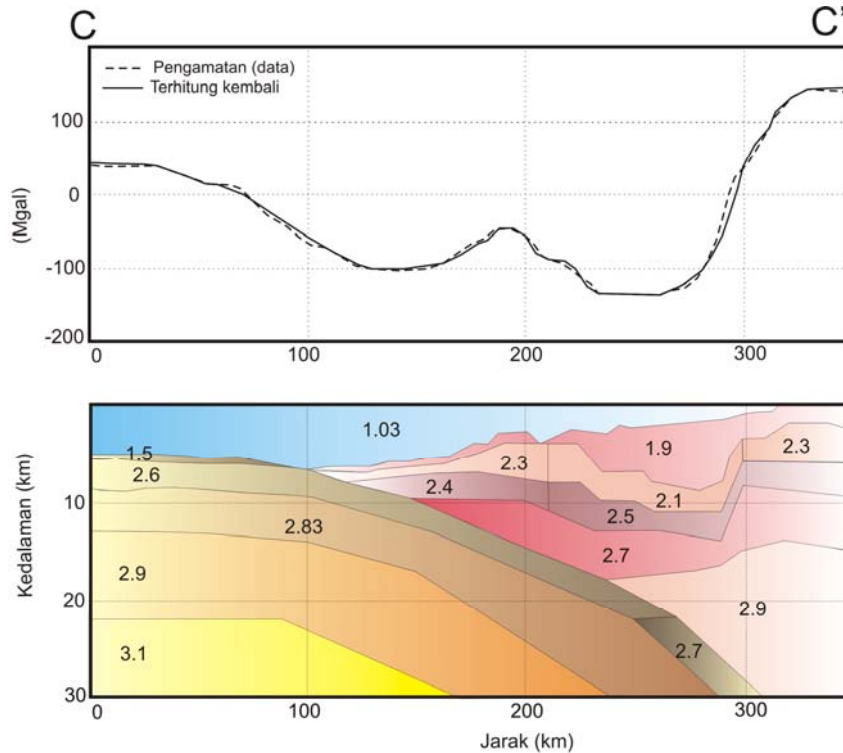
**Gambar 5. Peta Topografi Dasar Laut (sumber: Smith & Sandwell, 1997)**

model yang dapat menghasilkan nilai anomali yang sama dengan nilai anomali

hasil observasi. Oleh karena itu, diperlukan informasi-informasi geofisika yang lain sebagai acuan untuk menghasilkan model yang baik. Faktor penting yang diperlukan dalam pemodelan gravitasi adalah nilai densitas batuan atau lapisan struktur bawah permukaan. Data seismik refleksi yang berupa data kecepatan dan bentuk geometri beberapa lapisan bawah permukaan digunakan sebagai data masukan. Hasil observasi seismik refleksi tersebut diperoleh dari Kieckhefer et. al. (1981) dan Newcomb & McCann (1987). Densitas batuan dihitung berdasarkan data kecepatan dengan menggunakan Kurva Nafe & Drake (Nafe & Drake, 1963). Topografi data dari Smith & Sandwell (1997) digunakan untuk menentukan kedalaman lantai samudera. Dan profil seismik (Gambar 3) digunakan untuk memperkirakan bentuk geometri lempeng subduksi (kemiringan

tunjaman).

Gambar 6 menunjukkan model yang diperoleh untuk garis lintasan C-C' (lintasan ada pada Gambar 5). Lintasan ini dibuat tegak lurus palung dan melintasi daerah yang memiliki anomali gravitasi negatif yang lebar. Terdapat dua hal penting yang dapat diperoleh dari model ini. Pertama adalah tidak adanya sedikitpun tanda-tanda densitas yang relatif lebih besar di tengah daerah busur muka. Densitas yang lebih tinggi, walaupun sedikit, dapat merepresentasikan kompleks akresi. Hal yang kedua adalah ketebalan sedimen yang cukup dalam di tengah daerah busur muka. Lapisan sedimen di sini mencapai ketebalan lebih dari 5 km dengan lebar cekungan sekitar 80 km. Tebalnya sedimen di daerah ini sangat menarik mengingat bentuk morfologi daerah ini tidak menunjukkan adanya suatu cekungan. Hal ini boleh jadi berhubungan dengan zona tektonik ekstensi yang menerus di daerah busur muka ini.



**Gambar 6. Pemodelan anomali gravitasi (angka di dalam model menunjukkan densitas batuan dalam  $\text{gr/cm}^3$ )**

## DISKUSI

Pergerakan konvergensi miring di barat Sumatera menyebabkan adanya faktor pergerakan ke arah barat laut yang direpresentasikan oleh Zona Sesar Sumatera. Karena beberapa penelitian yang telah dilakukan terdahulu menunjukkan pergerakan yang makin kecil di selatan Sumatera, maka ada beberapa penulis yang memperkirakan terhentinya Sesar Sumatera di ujung pulau Sumatera. Bahkan Malod et al. (1995) mengusulkan adanya hubungan antara Sesar Sumatera dengan Sesar Cimandiri. Hal tersebut sulit diterima mengingat sesar Cimandiri memiliki sifat yang berbeda (sesar geser mengiri, Dardji et al., 1994). Sementara itu, ekstensi yang menerus di daerah busur muka Selat Sunda lebih cenderung

mendukung adanya terusan Sesar Sumatera hingga ke palung. Data anomali gravitasi dan pemodelannya menunjukkan bahwa daerah busur muka Selat Sunda telah mengalami ekstensi yang cukup lebar dan telah terisi oleh sedimen berdensitas rendah.

Komponen lateral dari pergerakan konvergensi sepanjang Palung Sunda bervariasi sudut kemiringannya. Di sepanjang Jawa, pergerakan konvergensi hampir tegak lurus garis palung sehingga tidak ada perpindahan akibat komponen lateral di sini. Zona Sesar Sumatera merupakan bukti jelas adanya pergerakan komponen lateral akibat arah konvergensi membentuk sudut hampir  $45^\circ$  terhadap garis palung. Daerah busur muka Selat Sunda berada di antara sisi barat (Sumatera) yang bergerak ke arah barat laut dan sisi timur (Jawa) yang tidak

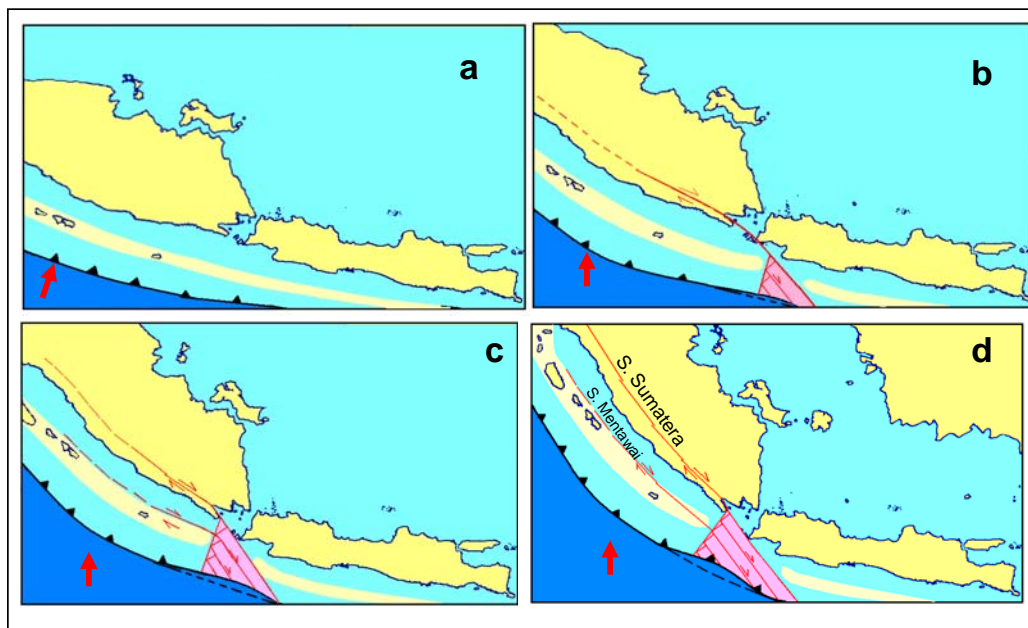
memiliki pergerakan lateral. Oleh sebab itu, dapat dipastikan adanya zona ekstensi di busur muka Selat Sunda. Terdapat banyak bukti adanya ekstensi dan juga struktur graben di daerah ini (Harjono et al., 1991; Gaedicke, et al., 2003, Kopp et al., 2002) sehingga sangat kecil keraguan akan adanya kelanjutan Sesar Sumatera melintasi busur muka dan berakhir di palung.

Berdasarkan pergerakan lempeng dan sesar yang telah diketahui dan fitur-fitur lainnya yang diperoleh dari penelitian ini, model pergerakan tektonik disusun untuk menjelaskan kemungkinan perkembangan tektonik daerah busur muka Selat Sunda. Anggapan bahwa Sesar Sumatera terhenti di palung juga dapat berarti bahwa Sesar Sumatera merupakan batas antara daerah busur muka Sumatera dan Jawa. Bahkan selanjutnya, juga dapat dikatakan bahwa Sesar Sumatera merupakan batas lempeng mikro Sumatera Barat.

Gambar 7 menunjukkan model ilustrasi perkembangan tektonik daerah busur muka Selat

Sunda. Sebelum adanya ekstensi, diasumsikan bahwa struktur busur muka di sepanjang Sumatera hingga Jawa seragam, terdapat cekungan dan juga punggungan akresi yang menerus (a). Kondisi tersebut mungkin terjadi jika arah konvergensi tegak lurus terhadap palung. Arah pergerakan lempeng Indo-Australia seperti yang tergambar ( $N30^{\circ} - 45^{\circ}E$ ) mungkin terjadi saat Lempeng India belum menabrak Lempeng Eurasia (sebelum ~50 juta tahun lalu, Zhu et al., 2005).

Konvergensi antara Lempeng India dan Lempeng Eurasia menyebabkan perubahan pergerakan lempeng-lempeng di sekitarnya. Salah satu perubahan yang diperkirakan akibat tumbukan tersebut adalah perubahan arah konvergensi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Arah konvergensi menjadi menyering di busur muka Sumatera. Akibatnya, komponen lateral dari konvergensi mulai menyebabkan adanya pergerakan di patahan Sumatera.



Gambar 7. Perkembangan tektonik zona transisi antara Sumatera dan Jawa.



Pergerakan sesar geser di dekat palung membentuk cekungan (*pull-a-part basin*). Pembentukan cekungan ini terjadi terus menerus sehingga terbentuk zona ekstensi di daerah ini (b). Bukaan akibat ekstensi tersebut juga menyebabkan pecahnya punggungan akresi antara Sumatera dan Jawa, karena akresi di sebelah barat tergeser seiring pergeseran Sumatera ke arah barat laut.

Beberapa lama kemudian, besarnya pergerakan Sesar Sumatera menjadi tidak cukup dalam mengakomodasi pergeseran lateral akibat konvergensi miring. Kelebihan energi geser lateral tersebut menyebabkan tumbuhnya sesar baru di daerah busur muka Sumatera, yaitu Sesar Mentawai (c). Ekstensi yang menerus dan bukaan yang melebar merupakan daerah yang lemah sehingga garis palung maju ke arah dalam busur muka (c). Struktur cekungan (*pull-a-part basin*) akibat ekstensi terjadi terus menerus hingga sekarang. Daerah ekstensi ini terus melebar seiring dengan melengkungnya garis palung (d).

## KESIMPULAN

Analisa seismisitas daerah Busur Muka Selat Sunda menunjukkan adanya celah seismik dimana aktifitas kegempaan sangat rendah. Celah seismik itu juga berada pada daerah yang beranomali gravitasi negatif. Sementara itu, data topografi tidak menunjukkan adanya cekungan di daerah tersebut. Dari pemodelan anomali gravitasi, dapat dibuktikan adanya bukaan yang lebar di daerah busur muka Selat Sunda. Bukaan atau ekstensi dapat berupa barisan graben dari ujung selatan Pulau Sumatera, di Selat Sunda dan menerus hingga ke palung. Sehingga dapat dikatakan bahwa Sesar Sumatera menerus melintasi busur muka hingga ke sumbu palung membentuk pertigaan palung-palung-sesar (*Trench-Trench-Fault triple junction*), sekaligus juga menjadi batas tenggara dari lempeng mikro busur muka Sumatera.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R.J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press.
- Dardji, N., Villemin, T., and Rampnoux, J.P., 1994. *Paleostress and Strike-slip Movement: the Cimandiri Fault Zone, West Java, Indonesia*. Journal of SE Asian Earth Science, 9(1/2), 3 - 11
- Diament, M., Harjono, H., Karta, K., Deplus, C., Dahrin, D., Zen, JR. M.T., Gerrard, M., Lassal, O., Martin, A. & Malod, J. 1992. *Mentawai Fault Zone off Sumatra : A New Key to the Geodynamics of Western Indonesia*. Geology 20, 259-262.
- Gaedicke, C., Soh, W., Djajadihardja, Y., Saito, S., Ikeda, Y., Kudrass, H., Djamaludin, R., 2003. *Offshore Extension of the Great Sumatra Fault Revealed by Seismic, Bathymetric and Seafloor Imaging*. EOS Trans AGU, 84(46), Fall Meet. Suppl., Abstract T52B-0254.
- Harjono, H., Diament, M., Dubois, J., Larue, M. & Zen, JR. M.T. 1991. *Seismicity of the Sunda Strait: Evidence for Crustal Extension and Volcanological Implications*. Tectonics 10, 17-30.
- Kieckhefer, R.M., Moore, G.F., Emmel F.J., Sugiarta W., 1981. *Crustal Structure of the Sunda Forearc Region West of Central Sumatra from Gravity Data*. J. Geophys. Res., 86, 7003 – 7012
- Kopp, H., Klaeschen, D., Flueh, E., Bialas, J., 2002. *Crustal Structure of the Java Margin from Seismic Wide-Angle and Multichannel Reflection Data*, J. Geophys. Res., 107 (B2), 2034, 10.1029/2000JB000095.
- Malod, J.A., Karta, K., Bellier, M.O. & 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.
- McCaffrey, R. 1991. *Slip Vectors and Stretching at the Sumatran Fore-Arc*. Geology 19, 881-884.
- Nafe, J.E. & Drake, C.L. 1963. *Physical Properties of Marine Sediments*. In Hill, M.N. (Editor) *The Sea, Ideas and Observations on Progress in the Study of the Sea*, Vol. 3: *The Earth Beneath the Sea History*, pp. 794 - 815, Interscience Publishers.
- Newcomb, K.R. & McCann, W.R. 1987. *Seismic History and Seismotectonics of the Sunda Arc*. J. Geophys. Res., 92, 421 – 439.
- Pramumijoyo S.& M. Sebrier. 1991. *Neogene and Quaternary fault kinematics around the Sunda Strait, Indonesia*. Journ. SE Asia Earth Sciences, 6 (2) 137-145.
- Sandwell, D.T. & Smith, W. 1997. *Marine gravity anomaly from Geosat and ERS1 satellite altimetry*. J. Geophys. Res., 102 (B5), 10039-10054.
- Sieh K., & Natawidjaja, D.H., 2000. *Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia*. J. Geophys. Res., 105(B12) 28,295–28,326.
- Smith, W.H.F. & Sandwell, D.T. 1997. *Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings*. Science 277, 1956-1962.
- Wilson, P., Rais, J., Reigber, Ch., Reinhart, E., Ambrosius, BAC., 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(45), 545.
- Zhu, B., Kidd, W.S.F., Rowley, D., Currie, B., Shafique, N., 2005. *Age of Initiation of the India-Asia Collision in the East-Central Himalaya*, Journal of Geology 113, 265-285.