

FASE KOMPRESI DI SELAT MAKASSAR BERDASARKAN DATA GEOLOGI DARATAN,  
SEISMIK LAUT DAN CITRA SATELIT  
*COMPRESSIONAL PHASE OF THE MAKASSAR STRAIT BASED ON TERRESTRIAL GEOLOGY,  
MARINE SEISMIC AND SATELITE IMAGERY*

Syaiful Bachri

Pusat Survei Geologi.  
Jl. Diponegoro 57 Bandung 40122

Abstrak

Data seismik menunjukkan bahwa perioda deformasi terakhir di Selat Makassar telah berlangsung dalam fase kompresi, berbeda dengan perioda deformasi sebelumnya, sebagaimana dilaporkan oleh banyak penulis, bahwa Selat Makassar terbentuk oleh tektonik bukaan atau fase ekstensi. Data geologi daratan di Sulawesi Barat menunjukkan adanya lajur lipatan dan sesar-naik yang masih aktif sampai sekarang dengan arah kecondongan struktur (vergence) ke barat. Sementara di Kalimantan Timur, dijumpai lipatan dan sesar naik dengan arah kecondongan ke timur. Data seismik di Selat Makassar juga menunjukkan bahwa sedimen termuda di bagian timur terlipat dan tersesar naikan dengan kecondongan struktur ke barat. Sementara di bagian barat, sedimen termuda mengalami pelipatan dan pensesar-naikan dengan kecondongan struktur ke arah timur. Sementara itu, dari citra satelit menunjukkan bahwa batas tepi barat Sulawesi Barat mirip dengan batas dari Paparan Paternoster memperlihatkan terjadi tektonik bukaan (ekstensi) pada Selat Makassar. Namun penafsiran struktur termuda pada citra tersebut menunjukkan bahwa setelah terjadi tektonik bukaan di Selat Makassar terjadi tektonik kompresi.

Kata kunci : fase kompresi, fase ekstensi, Selat Makassar, lajur lipatan dan sesar-naik, kecondongan struktur.

Abstract

*Seismic data indicates that the last deformation period in the Makassar Strait has been undergone in compressional phase, different from the previous period as reported by many authors that Makassar Strait was formed in extensional phase. Terrestrial geology data obtained from West Sulawesi indicate that the vergence of thrust-fold belt is directed to the west, and is still active up to now. Meanwhile, the thrust and fold structures found in East Kalimantan have a vergence directed to the east. Seismic data from the eastern part of the Makassar strait shows that the youngest sediments is thrust and folded with a vergence to the west. On the other hand, the youngest sediments from the western part of the strait is thrust, folded and verging to the east. Meanwhile, the satellite imagery of the Makassar Strait shows that the west margin of West Sulawesi is similar to the margin of Paternoster Platform, suggesting an opening tectonics. However, interpretation of the youngest structures on the imagery indicate that after opening episode subsequently was followed by compressional phase.*

*Key words: compressional phase, extensional phase, Makassar Strait, thrust-fold belt, vergence.*

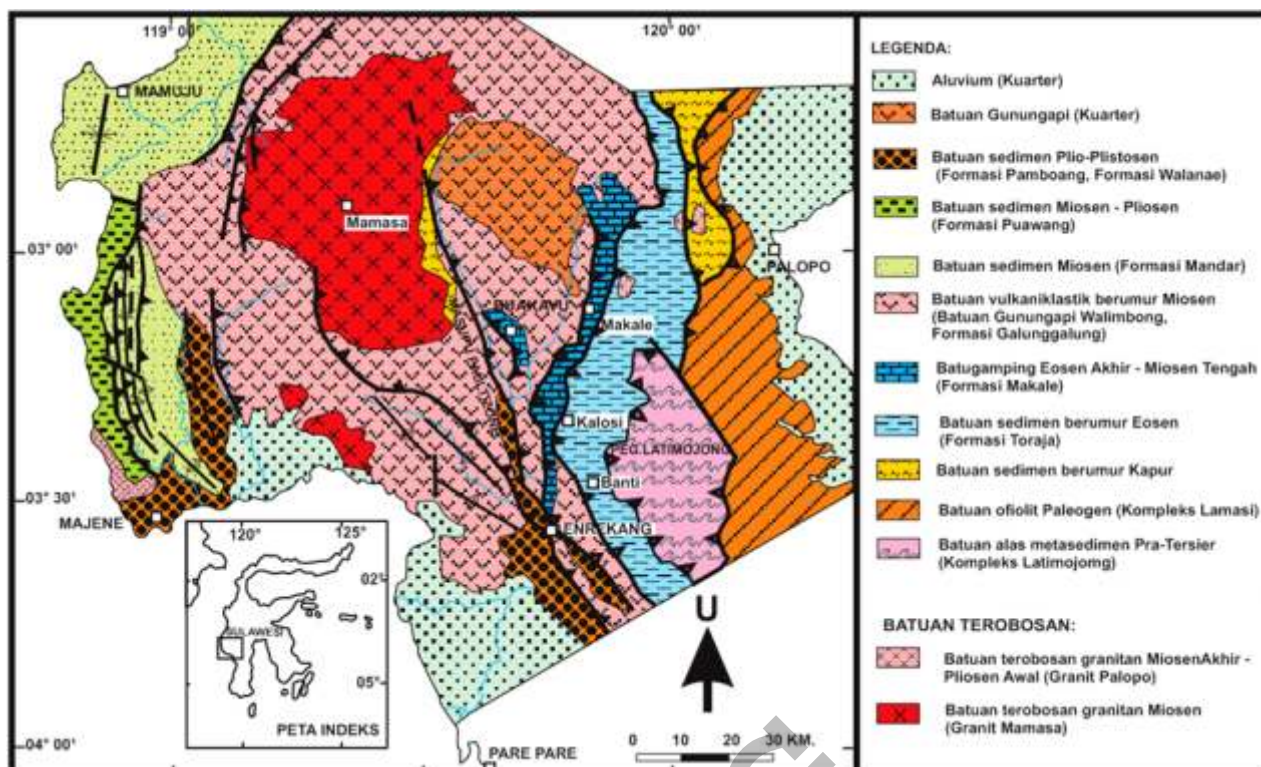
Pendahuluan

Sampai saat ini masih terjadi perdebatan tentang fase bukaan di selat Makassar. Bergman *dr.* (1996) menyatakan bahwa Selat Makassar ditafsirkan merupakan cekungan daratan-muka (foreland basin) di kedua sisi dari Paparan Sunda dan Lempeng Australia-Nugini, berbeda dengan penafsiran sebelumnya yang menyatakan bahwa Selat Makassar merupakan hasil bukaan kerak samudera atau pemekaran benua. Bergman *dr.* (1996) mengatakan bahwa

tumbukan benua – benua di sini terjadi pada Miosen, sementara beberapa penulis lainnya seperti Situmorang (1982), Hall (1996), Moss *dr.* (1997), Guntoro (1999), dan Puspita *dr.* (2005) menyatakan bahwa bukaan Selat Makassar terjadi pada Eosen Tengah, meskipun mekanisme bukaan tersebut masih kontroversi sampai kini.

Beberapa penulis lain telah menyatakan adanya fase kompresi di Selat Makassar sejak Miosen, misalnya Chamber dan Dalley (1995). Sementara Parkinson (1998) menyatakan bahwa pada Miosen Tengah terjadi benturan antara paparan Sula dengan bagian

Naskah diterima : 03 Mei 2012  
Revisi terakhir : 02 September 2012



Gambar 1. Peta geologi daerah Sulawesi bagian barat dikompilasi berdasarkan Sukanto (1975), Bergmann *drr.* (1996), Djuri *drr.* (1998) dan Bachri dan Baharuddin (2001)

timur paparan Sunda, namun tidak menyebutkan adanya fase kompresi di Selat Makassar.

Makalah ini secara khusus membahas deformasi terakhir di Selat Makassar yang menunjukkan bukti-bukti berlangsungnya fase kompresi yang masih aktif sampai sekarang. Bahasan yang diutarakan didasari oleh data struktur geologi di daratan Sulawesi Barat dan Kalimantan Timur, data struktur yang diperoleh dari penafsiran penampang seismik di bagian timur dan barat Selat Makassar, serta struktur geologi pada citra satelit.

#### Data Dasar dan Metoda

Makalah ini disusun berdasarkan hasil analisis data geologi darat, data seismik laut dan citra satelit. Data geologi darat terdiri atas data struktur geologi daerah Sulawesi Barat dan daerah Kalimantan Timur. Data seismik dianggap mewakili bagian timur dan bagian barat Selat Makassar. Citra satelit yang digunakan berupa citra satelit digital elevation model (DEM) yang mencakup wilayah Selat Makassar, daerah Sulawesi Barat dan daratan Kalimantan Timur.

Analisis yang dilakukan berlandaskan pada pola kecondongan struktur di wilayah Sulawesi Barat dan Kalimantan Timur, serta pola lipatan dan sesar-naik pada rekaman data seismik, dan juga analisis elip tegasan berdasarkan struktur geologi pada citra DEM.

Pola kecondongan struktur geologi aktif antara daratan Sulawesi Barat dan bagian timur Selat Makassar dengan daratan Kalimantan Timur dan bagian barat Selat Makassar menunjukkan adanya kecondongan struktur yang saling bertemu, baik kecondongan lipatan maupun sesar naik. Ini menunjukkan bahwa deformasi terakhir di selat Makassar telah terjadi pada fase kompresi.

Selain itu, citra DEM daerah Selat Makassar menunjukkan struktur sesar muda, yang berdasarkan orientasi sistem tegasannya, menunjukkan sebagai akibat dari gaya kompresi berarah hamper barat - timur. Berbeda dengan bentuk garis pantai Sulawesi Barat dan bagian timur Paparan Paternoster yang menunjukkan bahwa selat ini semula terbentuk oleh tektonik bukaan.

## Hasil Penelitian dan Pembahasan

*Geologi Sulawesi Barat*

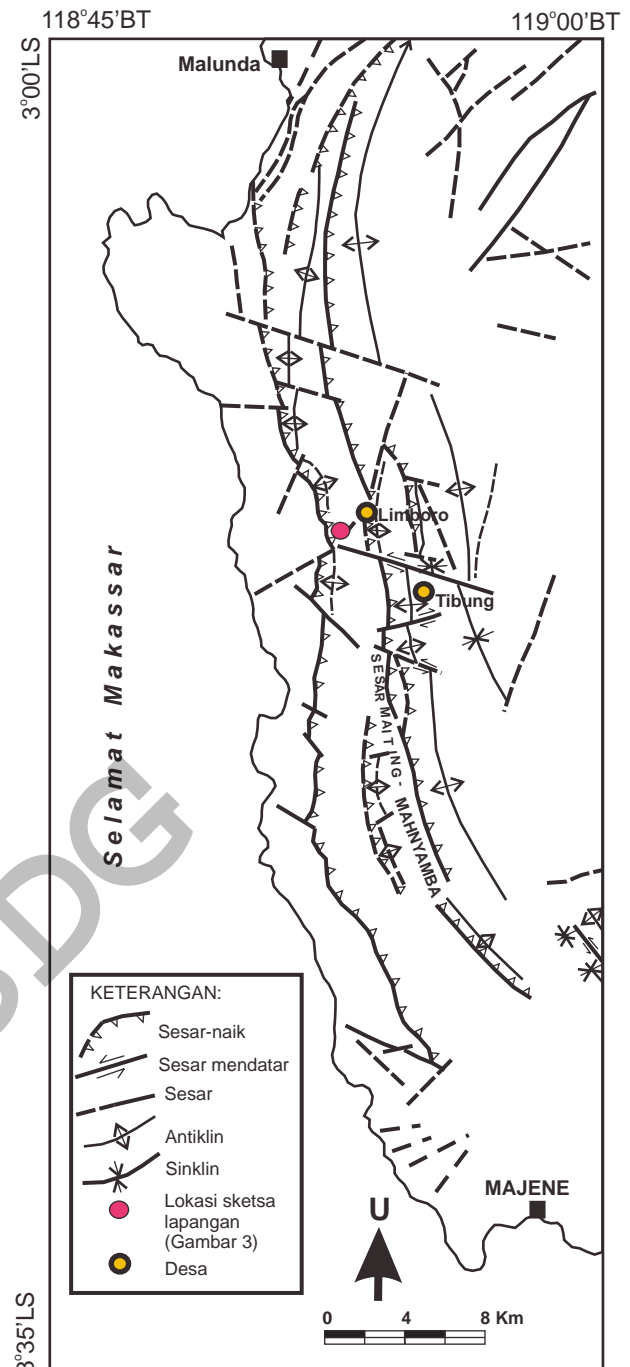
Di daerah Sulawesi Barat terdapat dua lajur lipatan dan sesar naik, yaitu Lajur Lipatan dan sesar naik Majene dan Lajur Lipatan dan sesar naik Kalosi. Di daerah ini juga dijumpai pluton granit yang besar, kompleks ofiolit (Lamasi), serta batuan alas malihan Pra-Tersier Latimojong (Gambar 1).

Berdasarkan data isotop Rb-Sr, Nd-Sm, dan U-Pb, serta data geokimia unsur utama dan unsur jarang, batuan induk dari batuan beku Miosen adalah himpunan kerak dan mantel litosfir berumur Proterozoik Akhir hingga Paleozoik Awal, yang terpanaskan dan meleleh karena benturan benua – benua. Dalam hal ini keratan kerak benua yang berasal dari Lempeng Australia – Nugini tertunjamkan dibawah ujung timur Paparan Sunda (Bergman *drr.*, 1996). Model tektonik ini menyatakan bahwa Selat Makassar ditafsirkan sebagai cekungan daratan-muka (foreland basin) di kedua sisi dari Paparan Sunda dan Lempeng Australia-Nugini, berbeda dengan tafsiran bahwa Selat Makassar merupakan rift basin akibat regangan yang memisahkan Kalimantan dan Sulawesi.

Sementara itu, obdaksi kerak samudera (Kompleks Lamasi) pra-Eosen ke Sulawesi Barat terjadi pada Oligosen Akhir sampai Miosen. Busur magmatik Sulawesi Barat yang berumur Miosen Akhir dianggap sebagai hasil benturan benua – benua, berbeda dengan model sebelumnya yang menyatakan busur tersebut terkait dengan benturan kerak samudera dengan benua, atau samudera dengan samudera (Bergman *drr.*, 1996).

Bukti dari wilayah daratan yang menunjukkan bahwa Selat Makassar telah mengalami fase kompresi adalah ditemukannya lajur lipatan dan sesar-naik di Sulawesi Barat, yaitu Lajur lipatan dan sesar-naik Kalosi dan Lajur lipatan dan sesar-naik Majene di sebelah baratnya. Keduanya memiliki arah kecondongan struktur ke barat (Gambar 2).

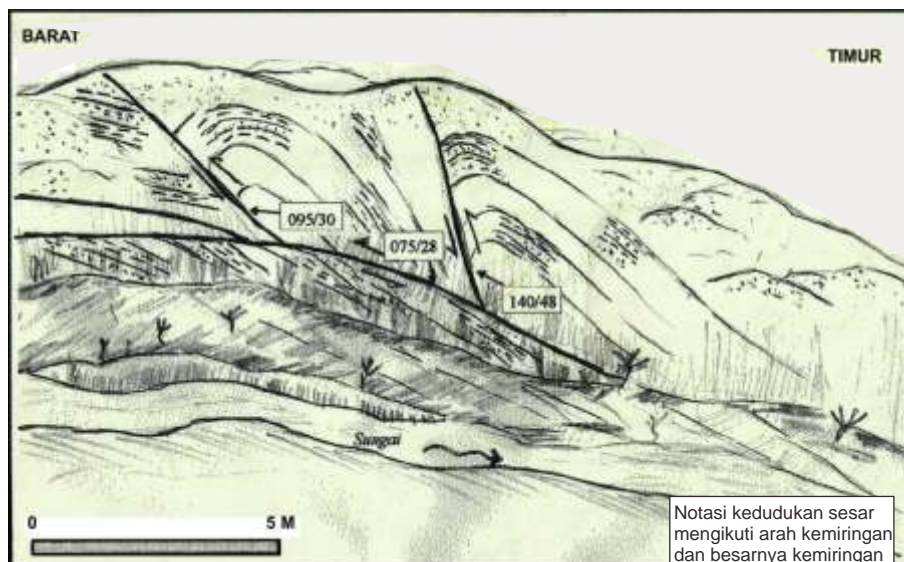
Daerah lajur lipatan dan sesar naik Majene ditempati oleh batuan sedimen dan batuan gunungapi berumur Miosen Awal atau lebih muda, serta batugamping terangkat berumur Plistosen – Holosen yang menunjukkan bahwa kegiatan tektonik (pengangkatan) masih aktif hingga sekarang (Bachri *drr.*, 1998). Pensesaran naik di Lajur lipatan dan sesar-naik Majene melibatkan batuan berumur Miosen hingga Plistosen yang menunjukkan bahwa fase



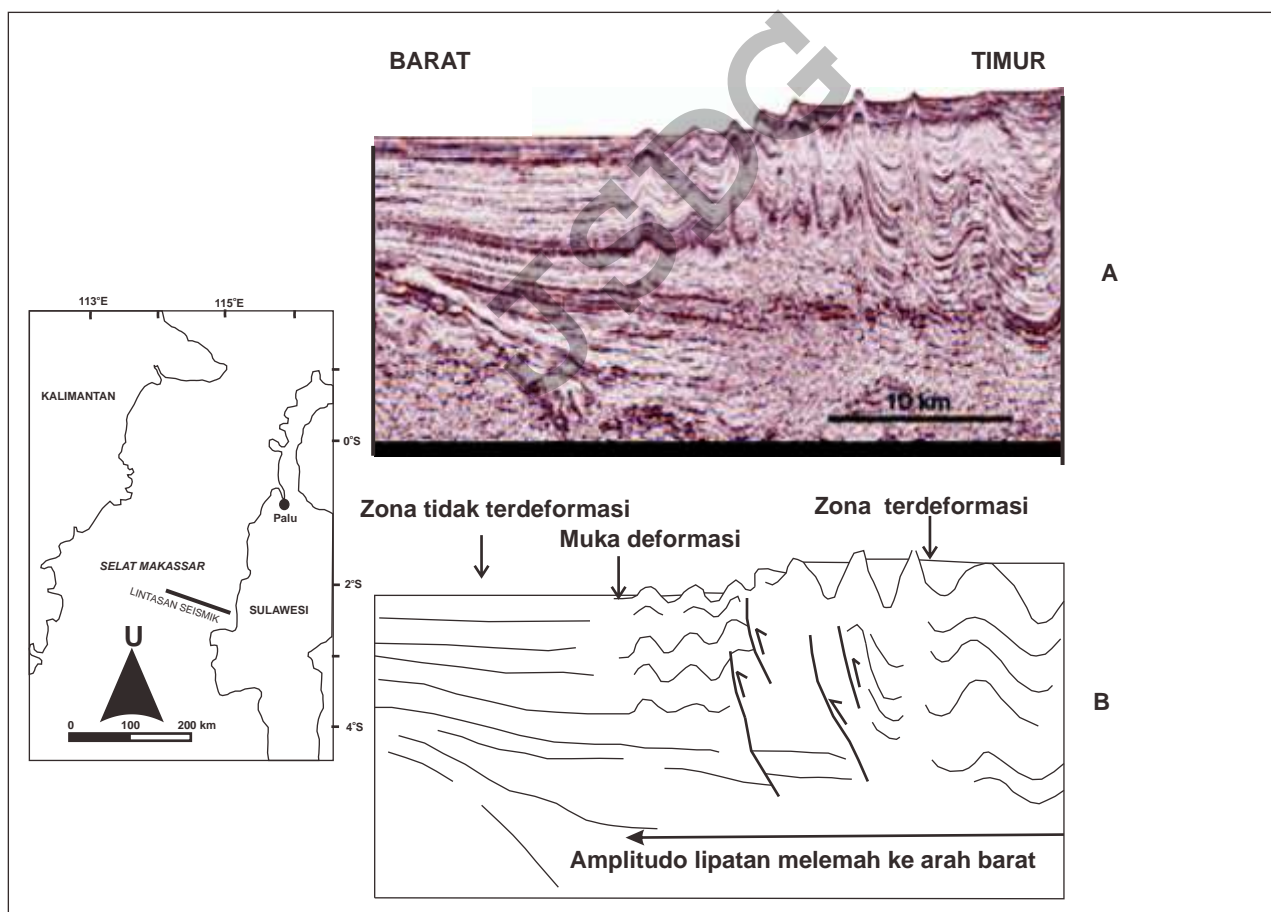
Gambar 2. Peta struktur Lajur Lipatan dan Sesar naik Majene.

kompresi berlangsung hingga Plistosen, bahkan diduga masih aktif hingga sekarang.

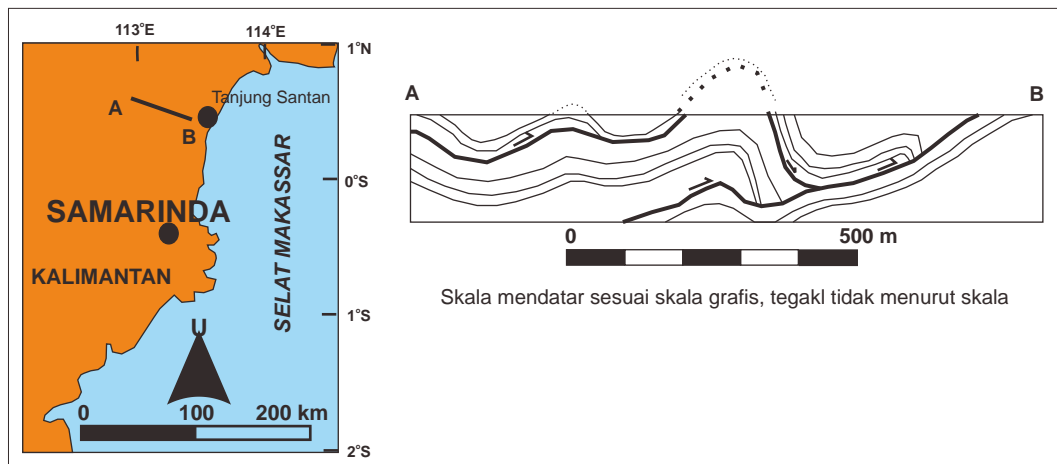
Berdasarkan penafsiran foto udara dan pengamatan lapangan, diketahui bahwa struktur utama yang berkembang di daerah ini adalah lipatan (antiklin dan sinklin) serta sesar naik. Disamping itu juga dapat dikenali keberadaan sesar mendatar mengiri dan manganan.



Gambar 3. Sketsa struktur sesar dupleks di dekat Limboro, Sulawesi Barat.



Gambar 4. Pola struktur bagian timur Selat Makassar ditafsir dari penampang seismik. A: Data seismik diambil dari Baille (2005) dalam Anonymous (2012). B: Hasil penafsiran penampang seismik yang menunjukkan lipatan dan sesar naik pada batuan muda yang mempunyai kecondongan ke barat, dengan amplitudo lipatan melemah menuju ke tengah selat.



Gambar 5. Penampang struktur runtunan batupasir-batulempung melalui A-B berdasarkan data peta geologi stuktur, memperlihatkan pola sesar naik dan lipatan dengan kecondongan ke arah timur (Bachri, 1998).

Lipatan di daerah ini mempunyai poros UUB – SST, begitu pula dengan sesar-naik. Lipatan terbesar berupa antiklin yang melalui bagian tengah lajur lipatan dan sesar naik, mempunyai arah tunjaman ke utara. Struktur lipatan berkembang baik pada satuan-satuan batuan berumur Eosen – Miosen, merupakan lipatan terbuka dengan arah kecondongan ke barat. Pada sayap antiklin biasanya dijumpai sesar-naik yang menunjukkan bahwa lipatan dan sesar naik tersebut terbentuk dalam suatu periode tektonik yang sama.

Di daerah lajur lipatan dan sesar naik Majene dijumpai dua lajur sesar-naik utama. Pertama, Sesar Maiting - Mahnyamba yang melewati Sungai Maiting, Sungai Mahnyamba dan Sungai Mombi. Kedua, merupakan batas tektonik antara Anggota Batupasir dan Anggota Batulempung Formasi Mandar yang berumur Miosen (Bachri *dr.*, 1998). Kedua sesar-naik utama tersebut dapat jelas teramati pada foto udara, yaitu berdasarkan pola sungai serta perubahan morfologi. Bukti yang diperoleh di lapangan diantaranya berupa kedudukan lapisan tegak (perubahan kedudukan perlapisan mencolok), serta keberadaan cermin sesar di beberapa tempat. Selain itu, juga teramati keberadaan sesar-naik berpola dupleks, dengan arah kecondongan struktur ke barat (Gambar 3). Sesar mendatar dapat diamati di lapangan, yang ditunjukkan oleh adanya cermin-cermin sesar yang secara umum menunjukkan gerakan mendatar. Di beberapa tempat, sesar mendatar juga mengakibatkan pergeseran vertikal hingga sekitar 5 meter. Sesar mendatar manganan yang diamati, misalnya di sebelah timur Limboro, berarah BSB – TUT dan sesar mendatar mengiri, misalnya yang dijumpai di Tibung, berarah tenggara – barat laut hingga TST – BUB.

Disamping sesar naik dan sesar mendatar, di daerah studi juga dijumpai kelurusan yang beragam arahnya. Sebagian kelurusan tersebut diyakini merupakan sesar, namun arah relatif pergerakannya belum diketahui.

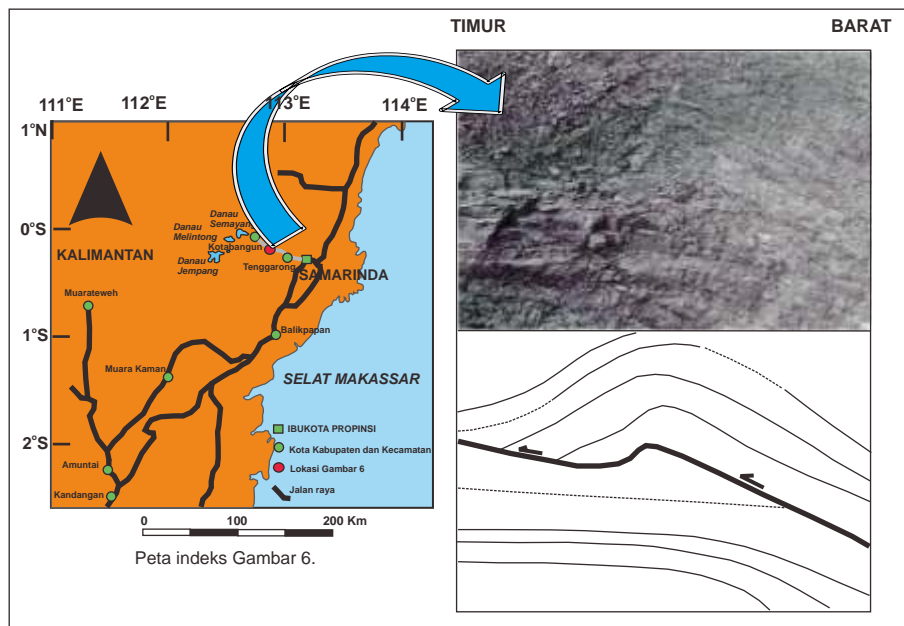
#### *Seismik Bagian Timur Selat Makassar*

Penampang seismik di bagian timur Selat Makassar menunjukkan bahwa sedimen muda (paling atas) mengalami pensesar-naikan bersudut tinggi serta pelipatan yang mempunyai kecondongan ke barat. Amplitudo lipatan tampak semakin kecil ke arah barat dan akhirnya di bagian tengah selat tidak terdeformasi (Gambar 4). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh gaya kompresi dimulai dari bagian tepi Selat Makassar, sehingga bagian tengah selat belum terdeformasi.

#### *Geologi Kalimantan Timur*

Di daerah Kalimantan Timur dijumpai lajur lipatan dan sesar naik yang disebut Antiklinorium Samarinda, dengan bukti-bukti bahwa sesar naiknya juga telah mengalami pelipatan. Salah satu penampang yang memotong Antiklinorium Samarinda tersebut terdapat pada penampang yang berarah hampir barat-timur di sebelah barat Tanjung Santan. Pada penampang ini tampak bahwa lipatan dan sesar naik memiliki kecondongan struktur ke arah timur (Gambar 5). Ini berlawanan arah dengan arah kecondongan lajur lipatan dan sesar-naik Majene di Sulawesi Barat.

Data struktur geologi lain yang diperoleh di Kalimantan Timur adalah singkapan mesoskopik



Gambar 6. Lipatan mesoskopik berasosiasi dengan sesar naik dengan kecondongan ke arah timur di tepi jalan antara Kotabangun dan Tenggarong (Bachri, 1998).

lipatan yang berasosiasi dengan lipatan di tepi jalan antara Kotabangun dan Tenggarong. Struktur tersebut juga menunjukkan arah kecondongan ke timur (Gambar 6).

Data struktur di Sulawesi Barat dan Kalimantan Timur yang menunjukkan arah kecondongan strukturyang berlawanan tersebut menunjukkan bahwa Selat Makassar telah mengalami fase kompresi.

*Seimik Bagian Barat Selat Makassar*

Penampang seismik di bagian barat Selat Makassar menunjukkan bahwa bagian paling barat terdeformasi paling kuat dan ke arah timur melemah hingga ke bagian tengah Selat Makassar yang tidak terdeformasi (Gambar 7). Lipatan dan sesar naik di wilayah ini mempunyai kecondongan ke arah timur, berlawanan dengan arah kecondonganstruktur di bagian timur Selat Makassar (Gambar 4). Struktur dan lipatan di sini melibatkan sedimen termuda, yang menunjukkan bahwa fase kompresi masih berlangsung hingga sekarang.

*Data Citra DEM*

Bentuk pantai Sulawesi Barat yang memiliki kemiripan dengan batas tepi Paparan Paternoster menunjukkan telah terjadi regangan di Selat

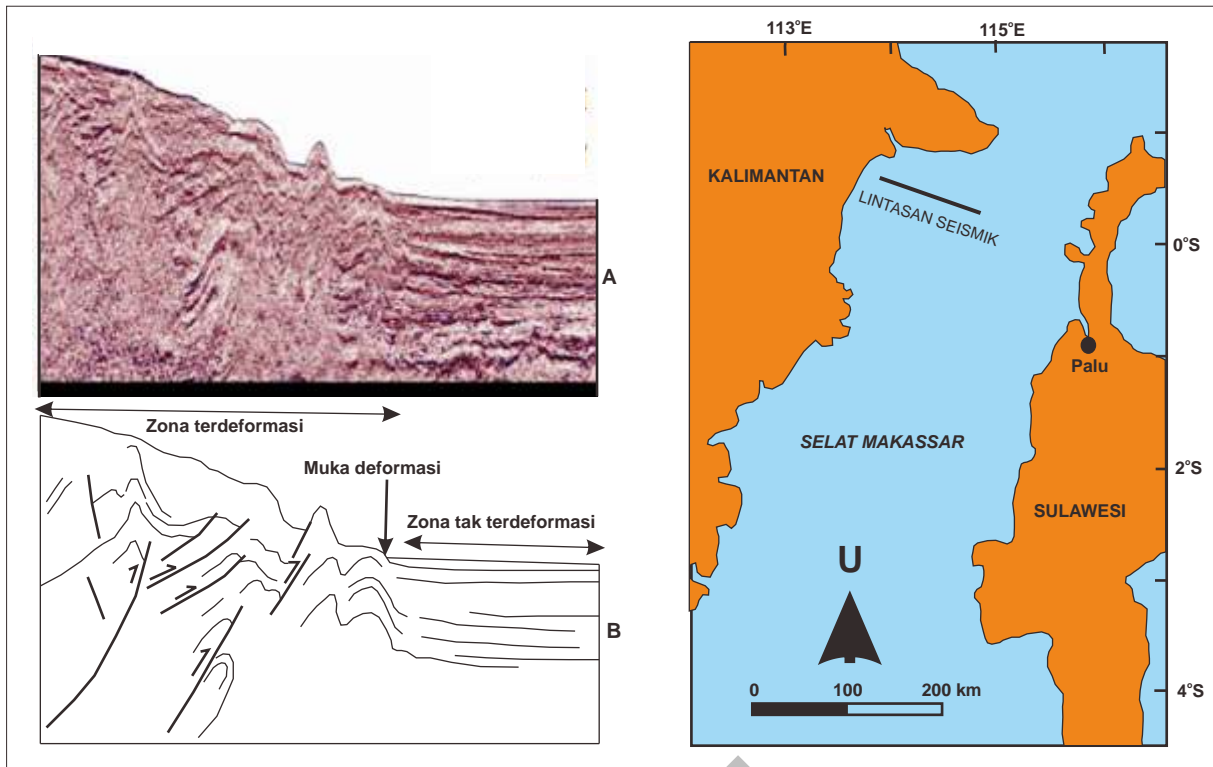
Makassar (Gambar 8A). Namun di Selat Makassar dan Sulawesi Barat dijumpai sesar mendatar mengiri, yaitu Sesar Palu-Koro dan Sesar Paternoster (Gambar 8A).Menilik pergerakan sesar ini, dapat ditentukan arah sistem tegasannya (Gambar 8B), yaitu tegasan utama terbesar ( 1) yang berorientasi pada arah tenggara – baratlaut atau baratlaut – tenggara.

Kesimpulan

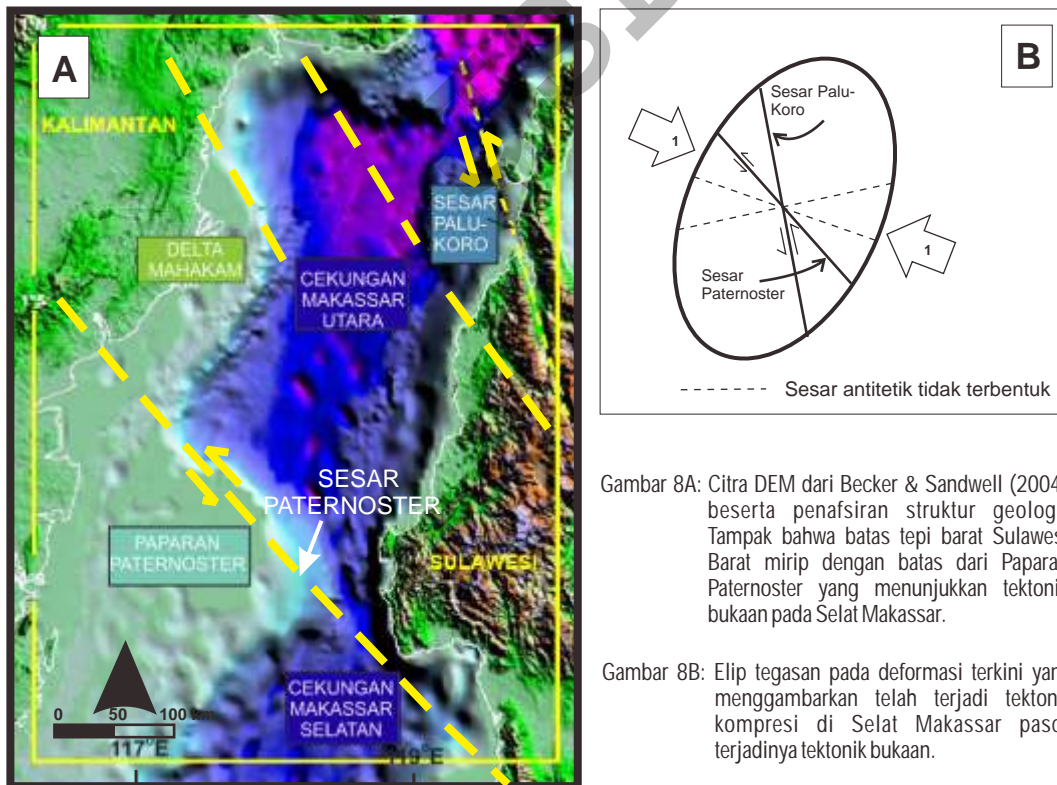
Dari uraian tersebut di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Selat Makassar terbentuk oleh tektonik bukaan (rifting) sebagaimana tampak pada kemiripan bentuk batas pantai Sulawesi barat dengan batas tepi Paparan Paternoster. Peristiwa bukaan tersebut terjadi pada Eosen Tengah, seperti dikemukakan oleh Situmorang (1982), Hall (1996), Moss *drr.* (1997), Guntoro (1999), dan Puspita *drr.*(2005), meskipun mekanisme bukaan tersebut masih diperdebatkan hingga kini.

Berdasarkan data struktur geologi pada wilayah daratan di sebelah timur dan kanan Selat Makassar, yaitu wilayah Sulawesi Barat dan Kalimantan Timur, di mana terdapat lajur lipatan dan sesar naik dengan arah kecondongan struktur yang berlawanan, maka Selat Makassar ditafsirkan telah mengalami fase kompresi.



Gambar 7. Pola struktur bagian barat Selat Makassar yang ditafsirkan dari penampang seismik. A: Penampang seismik diambil dari Baillie (2005) dalam Anonymous (2012). B: Hasil penafsiran, tampak lipatan dan sesar naik memiliki kecondongan ke arah timur, berlawanan dengan arah kecondongan struktur pada bagian timur Selat Makassar (Gambar 4).



Gambar 8A: Citra DEM dari Becker & Sandwell (2004) beserta penafsiran struktur geologi. Tampak bahwa batas tepi barat Sulawesi Barat mirip dengan batas dari Paparan Paternoster yang menunjukkan tektonik bukaan pada Selat Makassar.

Gambar 8B: Elip tegasan pada deformasi terkini yang menggambarkan telah terjadi tektonik kompresi di Selat Makassar pasca terjadinya tektonik bukaan.

Fase kompresi tersebut berlangsung hingga sekarang, sebagaimana ditunjukkan oleh data seismik di bagian barat dan bagian timur Selat Makassar, yang melibatkan sedimen termuda, demikian pula halnya dengan lajur lipatan dan sesar-naik Majene yang melibatkan batuan berumur Plistosen. Terjadinya tektonik kompresi ini diperkirakan mulai terjadi sejak Miosen (Chamber dan Dalley, 1995; Bergman drr., 1996), saat mulai terjadinya benturan antara tepi Kranton Sunda

(Kalimantan) di sebelah barat, dengan Paparan Sula di sebelah timur.

Berdasarkan penafsiran struktur geologi Selat Makassar yang diperoleh dari citra DEM, tektonik kompresi pada Selat Makassar mempunyai tegasan utama terbesar berarah tenggara – baratlaut atau baratlaut – tenggara, sebagaimana hasil deduksi pola sesar mendatar di Selat Makassar.

## Acuan

Anonymous, 2012, Seismic of SE Asian Basins. <http://geoseismic-seasia.blogspot.com/>

Bachri, S., 1998. Pola lipatan dan sesar naik terlipat di daerah Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, no. 84, vol. VIII. September 1998, 18-26.

Bachri, S. and Baharuddin, 2001. *Peta Geologi Lembar Malunda-Majene, Sulawesi, skala 1:100,000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Becker, J. J., and Sandwell, D.T. 2004. Global topography. Scripps Institution of Oceanography, [http://topex.ucsd.edu/www\\_html/srtm30\\_plus.html](http://topex.ucsd.edu/www_html/srtm30_plus.html).

Bergman, S.C., Coffield, D.Q., Talbot, J.P. & Garrad, R.A., 1996. The Late Tertiary tectonic and magmatic evolution of S.W. Sulawesi and the Makassar Strait: Evidence for Miocene continental collision. From: Hall, R. & Blundell (eds), *Tectonic Evolution of S.E. Asia. Geological Society*.

Chambers, J.L.C. and Dalley, T., 1995. A tectonic model for the onshore Kutai Basin, East Kalimantan, based on integrated Geological and geophysical interpretation. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 24th Annual Convention, Jakarta, I, 111-130.

Djuri, Sudjatmiko, Bachri, S. dan Sukido, 1998. *Peta Geologi Lembar Majene dan Bagian Barat Palopo, Sulawesi, skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Guntoro, A., 1999. The formation of the Makassar Strait and the separation between SE Kalimantan and SW Sulawesi. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17: 79-98.

Hall, R., 1996. Reconstructing Cenozoic SE Asia. In: Hall, R., Blundell, D. J. (eds) *Tectonic Evolution of Southeast Asia. Geological Society of London Special Publication*, 106: 153-184.

Moss, S. J., Chambers, J., Cloke, I., Carter, A., Satria, D., Ali, J. R., and Baker, S., 1997. New observation on the sedimentary and tectonic evolution of the Tertiary Kutai Basin. In: Fraser, A. J., Matthews, S.J., and Murphy, R.W. (eds) *Petroleum Geology of Southeast Asia. Geological Society of London Special Publication*, 126: 395-416.

Parkinson, C., 1998. Emplacement of the East Sulawesi Ophiolite: evidence from subophiolite metamorphic rocks. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 16, No. 1: 13-28.

Puspita, R.D., Hall, R. & Elders, C.F., 2005. Structural styles of the offshore West Sulawesi Fold Belt, North Makassar Strait, Indonesia. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 11th Annual Convention & Exhibition, 519-542.

Situmorang, B. 1982. The formation of the Makassar Basin as determined from subsidence curves. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 11th Annual Convention, 83-108.

Sukanto, R., 1975. *Peta Geologi Indonesia, Lembar Ujungpandang, skala 1:1.000.000*, Direktorat Geologi, Bandung.