

# Identifikasi Struktur Tektonik Di Laut Pidie Aceh dengan Survey Geo-Marine

Mahmud Yusuf<sup>1,\*</sup>, Muhammad Hasan<sup>2</sup>, M. Taufik Gunawan<sup>3</sup>, Hidayanti<sup>4</sup>, Siswanto<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Balai Besar MKG Wil III Denpasar –, Jl. Raya Tuban, Badung Bali, 80362

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Oceanografi –LIPI, Jl.Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta 14430

<sup>3</sup>Pusat Database - BMKG, Jl.Angkasa 1 No.2 Kemayoran Jakarta, 10610

<sup>4</sup>Pusat Gempabumi dan Tsunami, Jl.Angkasa 1 No.2 Kemayoran Jakarta, 10610

<sup>5</sup>Pusat Meteorologi Maritim, Jl.Angkasa 1 No.2 Kemayoran Jakarta, 10610

\*Email: mahmud.yusuf@bmgk.go.id

Submit: 2021-05-28 ; Revised: 2021-09-16 ; Accepted: 2021-09-29

**Abstrak:** Tim peneliti yang tergabung dalam Cruise Indonesia PRIMA 2017 telah melakukan penelitian di perairan selat Malaka dengan menggunakan kapal riset Baruna Jaya. Penelitian ini bertujuan mengamati struktur tektonik di selat Malaka di sebelah utara Kabupaten Pidie. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pengamatan topografi dasar laut dengan alat Single beam echo-sounder, kondisi geologi dasar laut dengan alat Sub bottom profiler (SBP), ditambah dengan pemodelan anomali gayaberat dari data satellite. Dari penelitian ini diperoleh hasil kondisi kemiringan lereng perairan daerah penelitian setidaknya memiliki empat kemiringan yang berbeda yaitu relatif datar, agak curam, miring, dan sedikit miring. Sedangkan kondisi geologi diketahui dasar laut terdapat batuan yang keras dan sedimen yang tebal mencapai 30 meter, dan di daerah ini ditemukan juga struktur geologi berupa patahan turun. Dari hasil pemodelan gayaberat juga diperoleh informasi adanya patahan turun.

**Kata kunci:** tektonik, geologi, gayaberat, InaPrima2017

*Abstract: The research team who are members of Cruise Indonesia PRIMA 2017 have conducted research in the Malacca Strait sea using the Baruna Jaya research vessel. This study aims to observe the tectonic structure in the Malacca Strait to the north of Pidie Regency. The method used in this study includes topographical observations of the seabed with a single beam echo-sounder, the geological conditions of the seabed using a sub-bottom profiler (SBP), coupled with gravity anomaly modeling from satellite data. From this study, the results of the slope conditions of the waters of the study area have at least four different slopes, namely relatively flat, rather steep, sloping, and slightly sloping. Meanwhile, the geological condition is known that the seabed contains hard rocks and thick sediments up to 30 meters, and in this area there are also geological structures in the form of normal faults. From the gravity modeling results also obtained information on the existence of normal faults.*

**Keywords:** tectonic, geology, gravity, InaPrima2017

## 1 PENDAHULUAN

Samudra Hindia adalah daerah dengan aktifitas seismik yang tinggi. Dalam catatan sejarah gempa bumi yang menimbulkan tsunami pada tahun 2004 di Aceh adalah salah satu gempa bumi yang banyak menimbulkan korban jiwa. Dari data BMKG selama tahun 2014 sampai tahun 2017 awal telah terjadi gempa sebanyak 124 kali dengan magnitudo diatas 5 – 6 SR di Samudra Hindia. Namun aktifitas gempabumi di laut bagian Barat Sumatera lebih sering bila dibandingkan dengan bagian Timur Sumatera, hal itu karena di bagian Barat memiliki struktur tektonik yang lebih kompleks. Pada tanggal 7 Desember 2016, gempa dengan kekuatan 6.5 SR terjadi di selat Malaka dekat dengan perairan laut Pidie Jaya Aceh, kejadian tersebut menarik untuk diteliti.

Dari banyak penelitian aktifitas seismik di Samudra Hindia yang telah dilakukan. Samudera Hindia tidak hanya tempat pertemuan lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia, tapi juga tempat terbentuknya beberapa pemekaran lantai samudera/*Mid-Oceanic ridges*. Aktifitas pergerakan lempeng dengan metode GPS geodetic telah dilakukan sejak 1989 di Pulau Sumatera oleh Bock (1998) dan McCaffrey dkk. (1990). Dari penelitian di Pulau Sumatera diketahui bahwa sesar Sumatera dibagi menjadi beberapa segmen di provinsi Aceh (Natawidjaja dkk., 2004), segmen pertama yaitu segmen Tripa yang berlokasi di Kabupaten Aceh Tengah, Gayo dan kabupaten Aceh Tenggara. Segmen kedua adalah segmen Aceh yang berada di Aceh Tengah, Pidie dan Aceh Besar. Segmen ketiga yaitu segmen Seulimuem yang berlokasi di Aceh Besar. Segmen Sesar Samalanga Sipokok (SAM-SIP) Genrich dkk. (2000), pertama diidentifikasi dalam penelitian tahun 1981 oleh Keats dkk. (1981). Penelitian tektonik di Selat Malaka menunjukkan daerah tersebut adalah cekungan busur belakang yang aktif/ aktif *back-arc basin* (Curry, 2005). Di Selat Malaka sendiri terdapat Mergui Basin yang merupakan *marine graben* yang terbentuk pada masa post Oligocene dengan sesar normal.

Aktifitas tektonik di Selat Malaka berupa *submarine landslides* telah terjadi yang dianalisis dari siklus stratigrafi (Lin dkk., 2010). Pemodelan anomali gayaberat dasar laut telah banyak dilakukan. Penelitian dasar laut dengan meng-

gunakan alat gravimeter pertama kali dilakukan Siemens tahun 1876 (Jones, 1999). Penggunaan alat gravimeter relatif dengan sistem pegas dilakukan menggunakan alat gravimeter Lacoste Romberg 1967. Pemodelan anomali gaya berat dasar laut berhasil mengidentifikasi struktur dasar laut yang dapat memberikan informasi struktur topografi dan menggambarkan kondisi geologi (Lee dkk., 1990). Pengamatan anomali gayaberat dasar laut dapat diukur dengan menggunakan alat gravimeter dari atas kapal (*ship borne gravity survey*), dan juga dengan kombinasi dari pengamatan satellite altimetri (Tziavos dkk., 1999). *Marine geophysical survey* di Selat Malaka telah dimulai sejak tahun 1968 sampai 1979 yang dilakukan *The Scripps Institute of Oceanography* dengan menggunakan kapal riset R/V Pionner dan R/V Oceanographer. Survey tersebut telah dapat memetakan morfologi dan tektonik daerah laut Andaman (Curry, 2005).

Pada penelitian ini tim Cruise Indonesia PRIMA 2017 dengan menggunakan kapal riset Baruna Jaya VIII pada Leg#2 perjalanan dari Sabang menuju Jakarta melalui Selat Malaka. Melakukan penelitian yang bertujuan mengidentifikasi struktur tektonik di selat Malaka di sebelah utara Kabupaten Pidie.

## 2 METODOLOGI

Pada penelitian ini digunakan metode geofisika terpadu, dengan dilakukan survei dari atas kapal riset Baruna Jaya VIII dengan peralatan survei geofisika diantaranya *Single beam echo-sounder*, *Sub bottom profiler (SBP)*, dan pemodelan anomali *Bouguer* dari data Satellite Topex yang bersumber dari [http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get\\_data.cgi](http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi) (Sandwell dan Smith, 2009).

### 2.1 Survei Permukaan Dasar Laut

Pada penelitian ini telah direkam data batimetri dan data *sub bottom profiler* sepanjang lintasan A-B-C-D pada Gambar 1 sepanjang 70 km, data kedalaman air diukur menggunakan *Single beam echo-sounder* SIMRAD EA 500 yang bekerja pada frekuensi 12 kHz dengan jangkauan kedalaman 3 m hingga 11,000 m. Data *single beam echo-sounder* direkam dengan menggunakan perangkat lunak Navipac dan diproses menggunakan *Microsoft Excel*. Selanjutnya, untuk memperoleh diagram morfologi dasar lautnya, proses *gridding* dilakukan terhadap data menggunakan perangkat lunak CFLOOR.

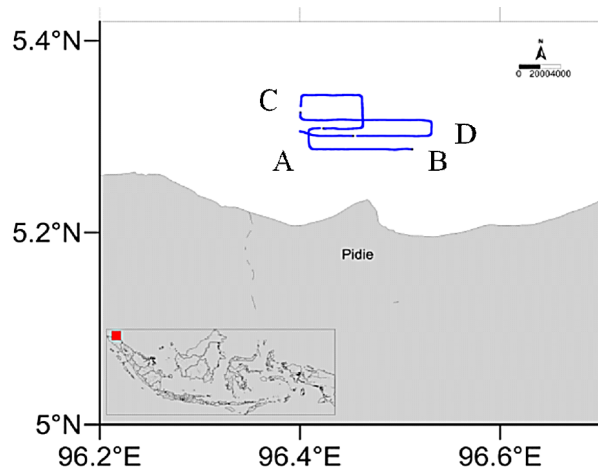
Kemudian dibuatkan peta kontur kedalaman laut, rapat dan rengangnya kontur inilah yang membedakan kemiringan dasar lautnya.

Selanjutnya kemiringan lereng berdasarkan rumus Van Zuidam (1983):

$$S = \frac{(n-1) \cdot Ic}{\delta h} \times 100\% \quad (1)$$

dengan:  $n$  = jumlah kontur;  $Ic$  = interval kontur;  $\delta h$  = jarak horizontal

Data seismik resolusi tinggi pada lapisan bawah permukaan direkam dengan menggunakan *sub bottom profiler (SBP)*. Alat ini terpasang pada kapal riset Baruna Jaya VIII adalah SBP dengan tipe SyQwest Bathy 2010. Peralatan ini



Gambar 1. Peta jalur lintasan kapal riset Baruna Jaya VIII leg#2 di Selat Malaka

bekerja pada frekuensi 3.5 kHz dengan daya keluaran maksimum 14.4 kW. File data direkam dengan format \*.ODC yang kemudian dikonversi ke format data SEG-Y. Penarikan horison seismik dalam interpretasinya didasarkan pada kriteriabahaya semua horison mempunyai kecepatan rambat gelombang seismik 1500 m/s. Data kedalaman perairan direkam secara simultan dengan perekaman data kondisi bawah permukaan dan dilakukan pada lintasan yang sama.

### 2.2 Data Gayaberat

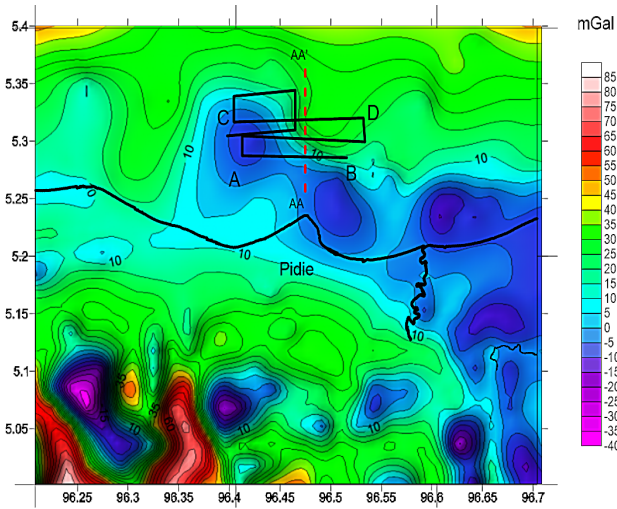
Anomali *Bouguer* seluas daerah penelitian pada Gambar 2, diperoleh dengan konversi data *Free Air Anomaly (FAA)* dari data satelit Topex menjadi anomali *Bouguer*, sehingga diperoleh distribusi densitas pada daerah penelitian. Pola kontur anomali *Bouguer* di perairan laut Pidie dipisahkan pada dua kelompok yaitu antara anomali 15 – 30 mGal yang ditunjukkan pada warna Hijau dan nilai anomali -5 – -10 mGal dengan warna Ungu. Untuk melihat struktur geologi lebih detail kemudian dilakukan sayatan pada lintasan 'AA' menuju AA. Analisis lanjutan dilakukan dengan metode *Second Vertikal Derivative (SVD)* untuk melihat anomali residual yang menunjukkan struktur dangkal yang terlihat lebih jelas sehingga struktur patahan pada suatu daerah dapat diketahui dengan baik (Sarkowi, 2012).

Anomali *Bouguer* kemudian diinterpretasi dengan pemodelan inversi grav3D (tiga dimensi) pada lokasi penelitian pada Gambar 1. Proses inversi grav3D menggunakan perangkat GRAV3D yang dikembangkan *UBC Geophysical Inversion Facility* dengan algoritma Li dan Oldenburg (1998). Pemodelan tersebut menghasilkan model distribusi kontras densitas.

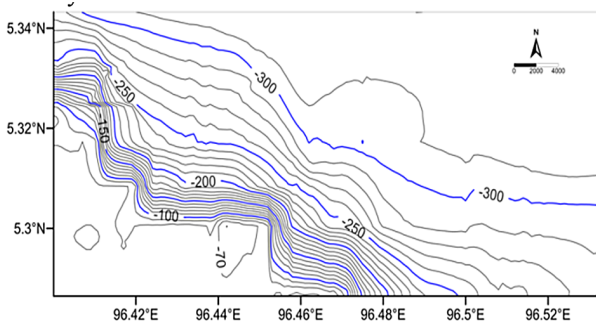
## 3 HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Kondisi Permukaan Dasar Laut

Perairan daerah penelitian memiliki rentang kedalaman antara 50-330 m dan interval kontur peta batimetri yang dipakai adalah 10 m. secara umum terlihat bahwa kondisi permukaan dasar laut daerah penelitian berundak-undak yang



Gambar 2. Kontur anomali Bouguer pada lintasan survey kapal riset BJ8

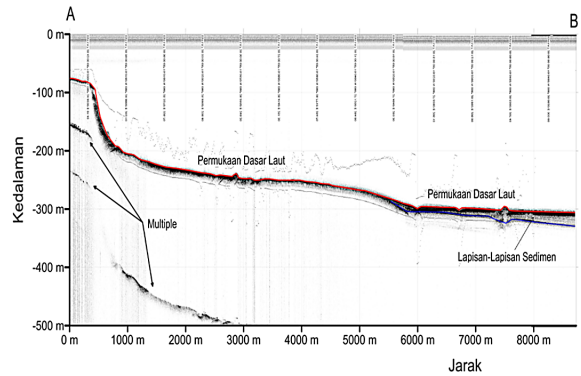


Gambar 3. Batimetri Perairan Daerah Penelitian

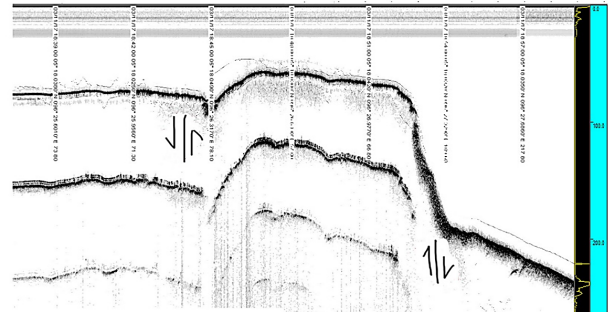
terlihat dari variasi kerapatan kontur kedalamannya, tampak pada Gambar 3. Rapat dan rengangnya kontur inilah yang membedakan kemiringan dasar lautnya.

Kondisi kemiringan lereng perairan daerah penelitian setidaknya memiliki empat kemiringan yang berbeda yaitu:

- Daerah yang relatif datar, daerah ini memiliki kemiringan antara 1.1%-1.76%) yang pada Gambar 3 diwakili oleh warna hijau yang berada di sebelah barat daya daerah penelitian. Kedalaman ini berkisar antara 70m hingga 90m. juga berada kedalaman yang lebih dari 290m yang berada di sebelah timur laut daerah penelitian.
- Daerah yang agak curam (*moderately steep*), daerah ini direpresentasikan oleh daerah dengan warna merah. Daerah ini secara umum memiliki kemiringan sekitar 22.6%. Kedalaman daerah ini berkisar antara 90m dan 170m.
- Daerah miring (*slope*), daerah ini diwakili oleh warna biru pada peta batimetri. Daerah ini memiliki kemiringan sekitar 10.7%. Kedalaman daerah ini berada pada kedalaman 170m hingga 240m
- Daerah sedikit miring (*gently slope*), daerah ini direpresentasikan oleh warna kuning. Daerah ini memiliki kemiringan sekitar 3.6% dan berada pada kedalaman sekitar 240m dan 290m.



Gambar 4. Penampang Sub Bottom Profiler A-B



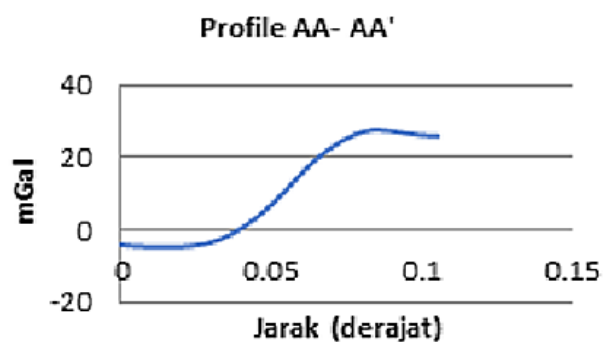
Gambar 5. Struktur geologi berupa sesar turun pada lintasan C-D

### 3.2 Kondisi Bawah Permukaan Dasar Laut

Gambar 4 adalah penampang sub bottom profiler (SBP) dengan arah lintasan barat-timur lintasan A-B. Garis merah menunjukkan permukaan dasar laut, sedangkan garis biru adalah interpretasi batas lapisan sedimen yang masih bisa deteksi oleh sub bottom profiler. Dari penampang juga terlihat adanya multiple yang merupakan lapisan-lapisan semu yang merupakan hasil dari pemantulan gelombang seismik yang dipantulkan bolak-balik lebih dari sekali. Berdasarkan penampang pada Gambar 4, terlihat bahwa dari kedalaman sekitar 70m hingga kedalaman sekitar 290m, permukaan dasar lautnya berupa batuan yang keras, hal ini bisa dilihat dari rekaman SBP yang hanya mengkonfirmasi satu lapisan saja yaitu permukaan dasar laut.

Sedangkan setelah kedalaman sekitar 290m terlihat mulai ada lapisan-lapisan sedimen dan semakin menebal seiring dengan bertambahnya kedalaman. Ketebalan sedimen maksimal yang terukur pada daerah penelitian sekitar 30m. Semakin menebalnya lapisan sedimen dapat dilihat dari semakin jauhnya jarak antara garis merah dan garis biru.

Sedangkan pada lintasan C-D interpretasi data SBP di daerah ini menunjukkan profil yang berundak pada kondisi kemiringan dasar laut. Dan adanya struktur geologi berupa bidang ketidakselarasan, karena berada pada kondisi yang miring maka gaya yang maksimal bekerja adalah gaya tarik secara vertikal sehingga diduga berupa sesar turun (Gambar 5). Terdapat sekitar sepuluh sesar-sesar turun di daerah penelitian yang teridentifikasi dari data SBP.



Gambar 6. Profile sayatan pada lintasan AA – AA' pada kontur anomali Bouguer

### 3.3 Interpretasi Data Gaya Berat

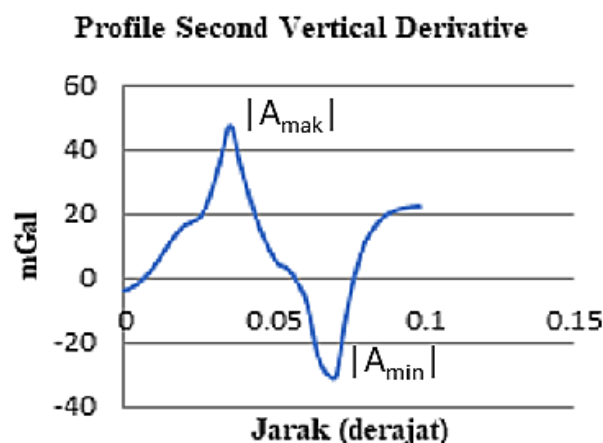
Anomali Bouguer pada Gambar 2, di daerah penelitian sekitar laut Pidie dengan anomali nilai yang tinggi menunjukkan batuan densitas yang padat sedangkan, anomali rendah berkorelasi dengan densitas batuan yang rendah. Anomali rendah berbentuk cekungan ditandai lingkaran merah pada Gambar 2, struktur tersebut diidentifikasi sebagai bagian dari cekungan /basin Sumatera. Namun semakin ke utara densitas semakin meningkat yang merupakan bagian dari Mergui ridge. Untuk melihat batas struktur pada sayatan lintasan AA – AA' pada Gambar 6, tampak kemiringan profile yang curam menunjukkan adanya perbedaan struktur geologi.

Namun untuk memperjelas dan menentukan batas – batas struktur didaerah tersebut dilakukan pemisahan anomali dangkal dan anomali dalam dengan metode second vertical derivative (SDV). Hasil filtering SVD pada Gambar 7 menunjukkan adanya anomali positif dan anomali negatif dan anomali nol (0) menunjukkan sebagai batas dari suatu struktur batuan tersebut. Selain menunjukkan batas struktur metode SVD dapat mengidentifikasi jenis patahan pada suatu daerah (Sarkowi, 2012). Jenis patahan ditentukan dari rasio antara amplitudo maksimum  $|A_{mak}|$  dan amplitudo minimum  $|A_{min}|$  pada profile SVD. Jika  $|A_{mak}| > |A_{min}|$ , maka jenis patahan tersebut adalah patahan turun. Sedangkan jika  $|A_{mak}| < |A_{min}|$ , maka jenis patahan tersebut adalah patahan naik. Namun jika  $|A_{mak}| = |A_{min}|$ , maka jenis patahan tersebut adalah patahan geser (tegak). Pada profile sayatan AA – AA' Gambar 7, nilai  $|A_{mak}| > |A_{min}|$ , sehingga pada daerah tersebut terdapat struktur dengan patahan turun, hal tersebut sesuai dengan hasil rekaman SBP yang juga menunjukkan adanya struktur patahan turun.

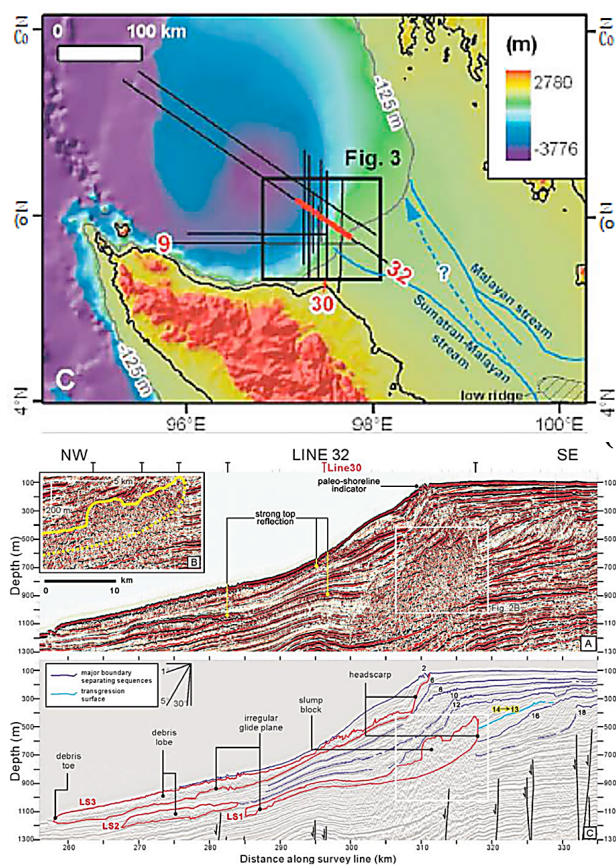
Dari hasil penelitian lain sebelumnya tahun 2006 di lokasi yang sama oleh tim peneliti dari California Institute of Technology, menggunakan kapal survey Zephyr dengan metode seismic refraction lintasan 32 pada Gambar 8 merekam kondisi batuan yang terdiri dari batuan lunak dan batuan yang keras, dan adanya struktur patahan turun pada beberapa bagian Gambar 8 (Lin dkk., 2010).

### 3.4 Interpretasi Inversi 3D Anomali Bouguer

Untuk mengidentifikasi pola struktur bawah permukaan dilakukan inversi anomali Bouguer dengan model 3 dimensi (3D) yang menunjukkan distribusi densitas. Interpretasi ku-



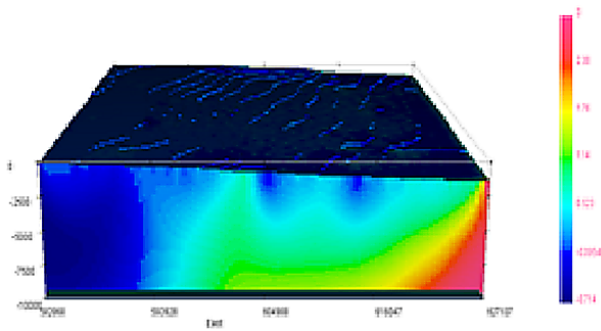
Gambar 7. Profile SVD pada sayatan AA-AA'



Gambar 8. Lintasan kapal survey M/V Zephyr 2006 di selat Malaka (atas). Hasil rekaman seismic refraction pada lintasan 32 (bawah) (Lin dkk., 2010).

alitatif dari model inversi 3D pada daerah penelitian pada Gambar 9 menunjukkan distribusi kontras densitas dengan rentang 3 gr/cc sampai -0.72 gr/cc dari nilai estimasi rata-rata 1.66 gr/cc. Daerah dengan densitas yang rendah ditunjukkan pada warna biru dan meningkat sampai warna merah.

Tampak daerah cekungan pada kontur warna hijau dengan nilai densitas 1.14 gr/cc yang diinterpretasikan sebagai



Gambar 9. Model 3D anomali Bouguer daerah laut Pidie

batuan yang lebih lunak dan dibatasi oleh lapisan warna merah di bawahnya dengan struktur yang miring dengan densitas 2.38 gr/cc yang dianggap sebagai batuan yang lebih keras. Hal ini sesuai dengan hasil rekaman SBP.

#### 4 KESIMPULAN

Hasil interpretasi kualitatif dan kuantitatif pada daerah penelitian di perairan selat Malaka di sebelah utara Kabupaten Pidie, memiliki rentang kedalaman antara 50 – 330m dan adanya struktur cekungan dan terdapat sesar turun. Jenis patahan tersebut dapat diidentifikasi baik dari hasil sub bottom profiler dan dari pemodelan anomali gayaberat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Pusat Meteorologi Maritim – BMKG dan P2O LIPI yang telah memberikan fasilitas pada penelitian ini. Dan terimakasih yang sebanyak-banyaknya untuk alm. Muhammad Hasan yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.

#### Pustaka

- Bock, Y. (1998): Medium distance gps measurements. In: *GPS for Geodesy*. Springer, 483–536.
- Curray, J.R. (2005): Tectonics and history of the andaman sea region. *Journal of Asian Earth Sciences*, **25**(1), 187–232.
- Genrich, J. dkk. (2000): Distribution of slip at the northern sumatran fault system. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **105**(B12), 28327–28341.
- Jones, E.J.W. (1999): *Marine geophysics*. Wiley, Chichester New York, ISBN 9780471986942.
- Keats, W. dkk. (1981): The geology of the lhokseumawe quadrangle, sumatra. *Geological Research and Development Centre, Bandung. [Explanatory note, 13 pp., and geological map, quadrangle 0521, 0621]*.
- Lee, M., Pharaoh, T. dan Soper, N. (1990): Structural trends in central britain from images of gravity and aeromagnetic fields. *Journal of the Geological Society*, **147**(2), 241–258.
- Li, Y. dan Oldenburg, D.W. (1998): 3-d inversion of gravity data. *Geophysics*, **63**(1), 109–119.

- Lin, Y.n.N., Sieh, K. dan Stock, J. (2010): Submarine landslides along the malacca strait-mergui basin shelf margin: Insights from sequence-stratigraphic analysis. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **115**(B12).
- McCaffrey, R., Bock, Y. dan Rais, J. (1990): Crustal deformation and oblique plate convergence in sumatra. *Eos Trans. AGU*, **71**, 637.
- Natawidjaja, D.H. dkk. (2004): Paleogeodetic records of seismic and aseismic subduction from central sumatran microatolls, indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **109**.
- Sandwell, D.T. dan Smith, W.H. (2009): Global marine gravity from retracked geosat and ers-1 altimetry: Ridge segmentation versus spreading rate. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **114**(B1).
- Sarkowi, M. (2012): Identifikasi struktur daerah panasbumi ulubelu berdasarkan analisa data svd anomali bouguer. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*, **8**(2).
- Tziavos, I., Forsberg, R. dan Sideris, M. (1999): Marine gravity field recovery by combining satellite altimetry and shipborne gravimetry. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, **40**(3-4), 219–226.
- Van Zuidam, R. (1983): Guide to geomorphologic aerial photographic interpretation and mapping. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands*, **325**.