

POTENSI BAHAYA GEOLOGI DI PERAIRAN LHOKSEUMAWE ACEH

GEOLOGICAL HAZARD POTENTIAL ON LHOKSEMAUWE ACEH WATERS

Lukman Arifin dan Subarsyah

Puslitbang Geologi Kelautan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
Jl. Dr. Junjungan No. 236, Bandung 40174
Email: lukman@mgi.esdm.go.id

Diterima : 03-05-2018, Disetujui : 30-08-2018

ABSTRAK

Penelitian seismik pantul dangkal di perairan Lhoksemawe dilakukan untuk mengetahui kondisi geologi di bawah permukaan dasar laut. Adanya potensi bahaya geologi suatu daerah penelitian dapat diketahui dengan menganalisis kondisi geologinya. Hasil interpretasi rekaman seismik memperlihatkan struktur geologi sesar, pengangkatan, pelipatan dan intrusi. Sesar-sesar aktif yang terdapat di darat umumnya menerus hingga ke pantai dan lepas pantai. Untuk menentukan daerah yang mungkin dapat mengakibatkan terjadinya bahaya geologi maka dibuat zonasi berdasarkan morfologi dasar laut. Kewaspadaan terhadap bahaya geologi yang mungkin terjadi di laut terutama pada zona B dan zona C. Longsor dapat terjadi di zona B karena morfologinya agak terjal, dan sesar aktif pada zona C dapat mengakibatkan gempa. Zona A dengan kedalaman antara 0 hingga 200 meter dapat dikategorikan sebagai zona cukup aman. Pembangunan di daerah pantai hingga lepas pantai cukup aman pada kawasan kedalaman hingga 200 meter.

Kata kunci: potensi, bahaya geologi, struktur geologi, Lhokseumawe

ABSTRACT

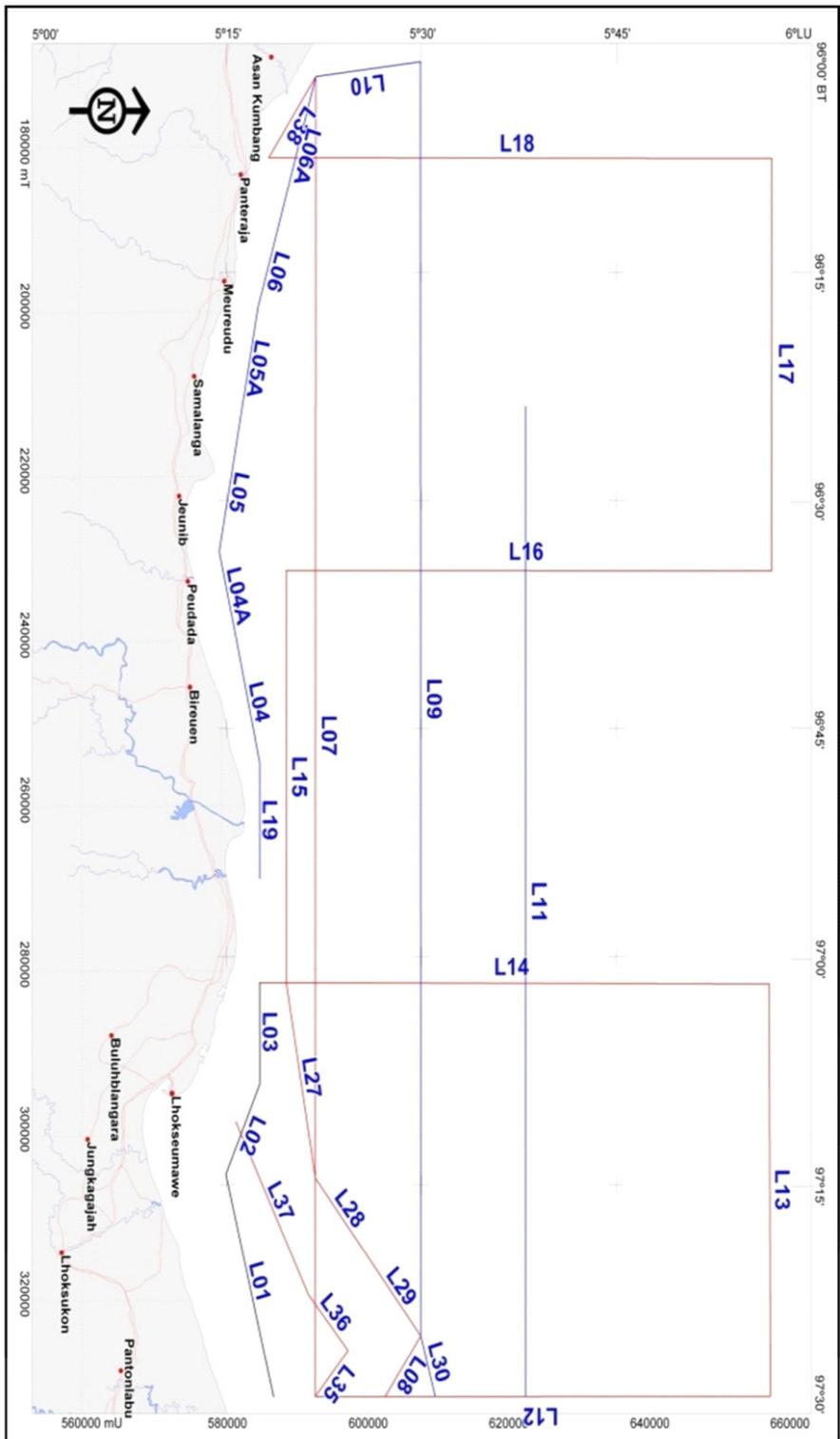
Shallow seismic reflection research in the Lhokseumawe waters was conducted to determine the geological conditions beneath the seabed surface. The geological hazard potential of study area can be known to analyze its geological conditions. The results of seismic interpretation shows that geological structures as fault, up lift, fold and intrusion. Active faults on land are generally being up to the coast and offshore. To determine areas that may result in the geological hazards created zoning based on morphological seabed. Precautions against geological hazards that may occur in the sea, mainly in zones B and C. Landslide can be occurred in B zone because the morphology rather steep, and the active fault on C zone can be resulted the earthquakes. The A zone with the depth between 0 to 200 meters can be considered safe zone. Development in coastal to offshore areas may be quite safe in the depth up to 200 meters.

Keyword: Potency, geological hazard, geology structure, Lhokseumawe

PENDAHULUAN

Penelitian seismik pantul dangkal di perairan Lhokseumawe Aceh adalah bagian dari kegiatan pemetaan geologi dan geofisika kelautan pada Lembar Peta 0521. Lokasi penelitian dibatasi pada koordinat 5°00'00" - 6°00'00" LU dan 96°00'00" - 97°30'00" BT mencakup wilayah Perairan Timur Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam (Gambar 1). Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2011 dengan menggunakan kapal survei Geomarin I milik Puslitbang Geologi Kelautan (Naibaho, dkk., 2011).

Maksud dari penelitian adalah untuk mengetahui kondisi geologi permukaan dan bawah permukaan dengan tujuan memberikan kontribusi optimal kepada pengguna data dalam rangka pengembangan sektor kelautan. Terutama struktur geologinya di coba di buat zona atau wilayah bahaya geologi. Untuk pemerintah daerah data hasil penelitian tentunya dapat dimanfaatkan untuk pembangunan atau pengembangan wilayah pantai. Saat ini pemerintah daerah setempat kurang memiliki data tentang bahaya geologi di daerah pantai maupun lepas pantai. Dengan



Gambar 1. Peta intasan seismik dan pemeruman

keterbatasan data sering kali pembangunan atau pengembangan infra struktur wilayah pantai mengabaikan akan kondisi geologinya.

Daerah penelitian secara administratif termasuk Wilayah Provinsi Nangroe Aceh Darussalam (NAD). Pada tahun 2004 pernah terjadi gempa berkekuatan 9,2 Skala Richter di perairan selatan kota Banda Aceh yang menimbulkan Tsunami yang sangat dahsyat. Pada peristiwa ini banyak jatuh korban sekitar 250 ribu jiwa meninggal dan kehilangan harta benda yang tidak sedikit jumlahnya (Logan, 2014)

Karena pola tektonik regional yang aktif maka wilayah NAD ini termasuk daerah rawan bencana. Tektonik wilayah NAD sangat dipengaruhi oleh adanya daerah penunjaman antara lempeng samudra Hindia-Australia (*Indian-Australian Plate*) terhadap lempeng benua Eropa-Asia (*Eurasian Plate*). Pola tektonik tersebut sangat mempengaruhi kondisi geologi di perairan daerah penelitian. Struktur geologi yang berkembang di daratan menerus ke arah lepas pantai. Dari data seismik pantul dangkal akan ditelusuri keberadaan struktur geologi di wilayah perairan. Penetrasi dari rekaman seismik yang diperoleh sangat terbatas yaitu tidak lebih dari sekitar 250 meter di bawah permukaan dasar laut. Oleh karena itu untuk struktur geologi yang berada jauh di bawah permukaan dasar laut tidak terlihat akan tetapi untuk struktur geologi yang aktif sampai permukaan dapat dilihat dari karakter seismiknya. Dari bentuk morfologi permukaan dasar laut mulai pantai hingga ke arah lepas pantai dibuat pembagian zona tingkat bahaya geologinya.

Daerah penelitian termasuk bagian dari cekungan Sumatra Utara. Kondisi geologi daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi regional. Kondisi geologi yang cukup rumit sangat dipengaruhi oleh adanya aktifitas geologi seperti Subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia-Lempeng mikro Burma yang terjadi pada awal Miosen. Subduksi miring lempeng di bawah tepian barat Sumatra pada Akhir Eosen - Awal Oligosen mengakibatkan terbentuknya Busur Muka Sumatra (*Sumatra Fore Arc*) (Malod and Kemal, 1996, Daryono dan Adrin, 2016). Kemudian diikuti oleh pembentukan Palung Sunda pada Oligosen Atas (Hamilton, 1981). Pembentukan busur muka tersebut diawali dengan pembukaan Cekungan Busur Muka (*Fore Arc Basin*), paralel dengan Palung Sunda pada Oligosen sampai Awal Miosen (Schlüter, dkk., 2002; Susilohadi, dkk., 2005, Berglar, dkk, 2009). Kondisi tersebut juga membentuk struktur

regional berupa kompleks sesar-sesar geser dekstral dan zona sesar anjak mulai dari Burma, Andaman, Nicobar, pantai barat Sumatra sampai selatan Pulau Jawa (Pubellier dkk, 2005). Pada Akhir Miosen terbentuk sesar besar di Pulau Sumatra yang dikenal sebagai the Sesar Besar Sumatra (*Great Sumatra Fault*) yaitu sesar geser mengangan yang sejajar dengan pegunungan Bukit Barisan (Sieh dan Natawijaja, 2000). Menurut Permana, dkk., (2010), sejak penunjaman lempeng terjadi daerah Busur Muka Aceh mengalami minimal empat periode pembentukan struktur. Di antaranya adalah periode pembentukan Palung Sunda, pembukaan cekungan busur muka (Cekungan Aceh) disertai pengisian sedimen dalam cekungan, pembentukan zona prisma akresi dengan sistem sesar anjak, dan terakhir terbentuk sesar geser dekstral berarah utara-selatan. Sesar geser dekstral ini terjadi akibat meningkatnya derajat kemiringan subduksi lempeng.

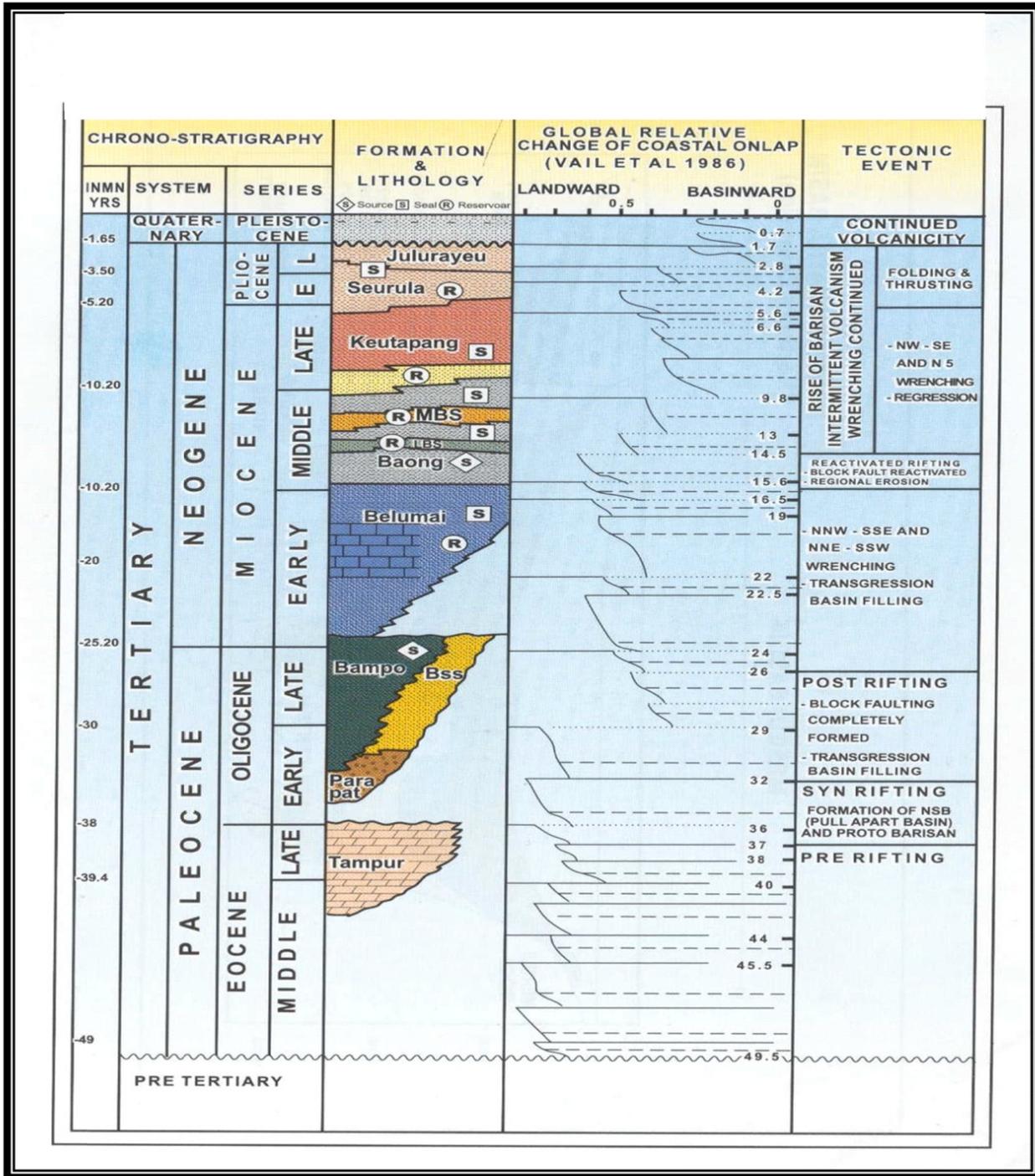
Sesar besar Sumatra yang diduga sangat berpengaruh pada daerah penelitian yaitu patahan yang memotong daratan mulai dari barat laut Sabang hingga Nangroe Aceh Darussalam.

Di samping patahan utama tersebut di atas, terdapat beberapa patahan lainnya, yaitu: Sesar Aneuk Batee, Sesar Samalanga-Sipopok, Sesar Lhokseumawe dan Sesar Blangkejeren. Khusus untuk Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar dihipit oleh dua patahan aktif, yaitu Darul Imarah dan Darussalam. Daerah-daerah yang berada di sepanjang patahan tersebut merupakan wilayah yang rawan gempa bumi dan tanah longsor, disebabkan oleh adanya aktivitas kegempaan dan kegunungapian yang tinggi. Nangroe Aceh Darussalam sendiri merupakan suatu dataran hasil amblesan sejak Pliosen, hingga terbentuk sebuah graben. Dataran yang terbentuk tersusun oleh batuan sedimen, yang berpengaruh besar jika terjadi gempa bumi di sekitarnya.

Urutan stratigrafi dari tua sampai muda (Gambar 2) mulai di atas batuan Pra-Tersier, diendapkan Formasi Parapat berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal (Pertamina& Beicip, 2008)

Formasi ini terdiri dari konglomerat, batupasir sedang-kasar di bagian bawah, serpih hitam di bagian tengah dan batupasir halus di bagian atas. Lingkungan pengendapan sungai hingga danau tawar pada sistem belakang delta dengan ketebalan lebih dari 740 m.

Di atas Formasi Parapat diendapkan selaras Formasi Bampo berumur Miosen Awal yang terdiri dari serpih abu-abu/hitam dengan beberapa sisipan batupasir. Lingkungan pengendapan laut dangkal



Gambar 2. Stratigrafi Cekungan Sumatra Utara (Pertamina & Beicip, 1988)

tertutup dengan ketebalan 220-1000 m. Di beberapa tempat, Formasi Bampo langsung diendapkan di atas batuan dasar.

Di atas Formasi Bampo secara tidak selaras diendapkan Formasi Belumai selama Miosen Awal. Formasi Belumai bagian bawah terdiri dari batupasir glaukonitan, batupasir gampingan, batupasir lempungan, batupasir halus-sedang yang berselingan dengan batulanau dan batulempung

pasiran. Bagian tengah seringkali dijumpai sisipan batupasir kalkarenit glaukonitan. Bagian paling atas meliputi serpih abu-abu dengan sisipan batupasir dan batugamping kalkarenit. Lingkungan pengendapan adalah laut dangkal terbuka. Pada Formasi ini ditemukan kandungan minyak, gas dan kondensat.

Pada Miosen Tengah terjadi transgresi maksimal dimana diendapkan Formasi Baong yang

disusul dengan suatu regresi pada Miosen Akhir, akibat terangkatnya Jalur Tinggian Bukit Barisan yang disertai pengendapan Formasi Keutapang. Formasi Keutapang meliputi perselingan batulempung dan serpih dengan sisipan batupasir dan batulanau, diendapkan pada lingkungan fluvial-delta yang dipengaruhi oleh lingkungan laut dangkal dengan ketebalan lebih dari 700 m.

Pada Pliosen Awal diendapkan Formasi Seurula pada lingkungan litoral-danau tawar sistem belakang delta-neritik dalam. Selaras di atas Formasi Seurula diendapkan Formasi Julurayeu pada Pliosen Akhir. Formasi Julurayeu terdiri dari perselingan batupasir lempungan dengan batulempung yang diendapkan pada lingkungan sungai-laut dangkal pada suatu sistem regresi.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah seismik pantul dangkal saluran tunggal dan pemeruman. Metode seismik pantul menggunakan perekam *graphic recorder EPC model 1086 NT* dengan sumber suara (ledakan) Sparker. Sistem perekaman diatur dengan sapuan (*sweep rate*) $\frac{1}{2}$ detik, ledakan diatur setiap 1-2 detik dengan daya 500-800 Joule. Sinyal seismik difilter dengan *bandpass filter Khronhite 3700* pada frekuensi 300-3000 Hz. Untuk mendapatkan rekaman seismik yang baik sistem dilengkapi dengan TVG amplifier TSS 307 dan *sweel filter* TSS 305. Perekaman data seismik pantul dihubungkan dengan sebuah perangkat komputer yang dilengkapi dengan *software SonarWiz5* dan interpretasi serta analisis menggunakan SeiSee 2.16.1.

Pemeruman atau pengukuran kedalaman laut menggunakan alat *echosounder* dengan frekuensi antara 1 kHz hingga 300 kHz. Frekuensi ini dikelompokkan menjadi kelompok frekuensi rendah (≤ 15 kHz), dan kelompok frekuensi menengah (15-50 kHz), serta kelompok frekuensi tinggi (≥ 50 kHz). Gelombang akustik berfrekuensi rendah digunakan untuk merekam perairan dalam sedangkan gelombang akustik berfrekuensi tinggi digunakan untuk merekam perairan dangkal.

Alat penentu posisi yang digunakan adalah peralatan DGPS (*Differensial Global Positioning System*). Peralatannya adalah DGPS type C&C Cnav dimana aktifasi sistem koreksinya dilakukan dengan mengaktifkan kode nomor yang harus dipesan terlebih dahulu ke perusahaan C&C.

HASIL PENELITIAN

Penelitian seismik pantul dangkal dan pemeruman direkam dalam lintasan yang sama dengan menghasilkan rekaman sepanjang 1176 kilometer (Gambar 1).

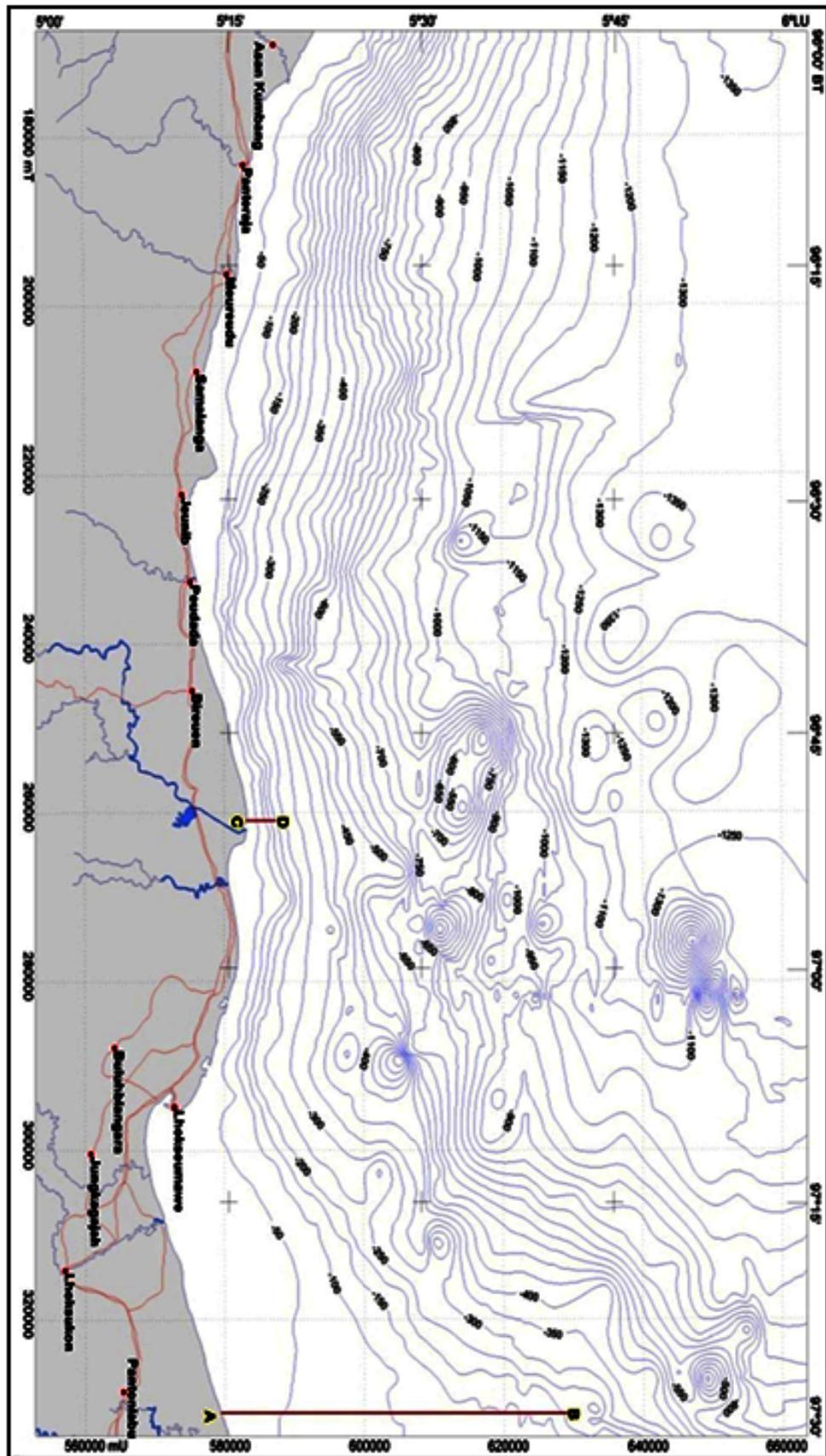
Jumlah lintasan sebanyak 33 lintasan yang terdiri dari 5 lintasan berarah utara-selatan dan 28 lintasan relatif sejajar garis pantai dengan arah barat-timur. Arah lintasan utara-selatan dilakukan untuk mendapatkan perkembangan patah normal dan perubahan ketebalan dari setiap unit dalam rekaman seismik. Sedangkan lintasan sejajar garis pantai dimaksudkan untuk mendapatkan arah utama struktur regional (patahan regional) yang berarah relatif baratlaut-tenggara.

Dari hasil pengukuran kedalaman dasar laut (pemeruman) dibuat peta batimetri daerah penelitian dengan interval 50 meter, seperti pada Gambar 3.

Kontur kedalaman laut dari mulai kedalaman 50 meter hingga 1350 meter. Kedalaman laut 200 m berjarak sekitar 4 kilometer hingga 5 kilometer dari garis pantai. Kedalaman laut 200 meter mencapai jarak 20 kilometer dari pantai terdapat di bagian timur daerah penelitian. Sedangkan kedalaman 200 meter dengan jarak 4 km dari garis pantai terjadi di bagian tengah dan barat. Morfologi dasar laut yang agak landai dan datar yaitu dari mulai garis pantai hingga kedalaman 200 meter. Di kedalaman lebih dari 200 meter ke arah lepas pantai morfologi dasar lautnya curam dan bergelombang. Ketidak teraturan garis kontur kedalaman laut menunjukkan bahwa morfologi permukaan dasar laut bergelombang dan tidak teratur. Kontur kedalaman yang menunjukkan adanya tinggian dan cekungan berada agak di bagian tengah daerah penelitian yang terdapat pada kedalaman laut sekitar 1200 meter.

Data hasil rekaman seismik yang diperoleh umumnya cukup baik, walaupun di beberapa lintasan rekaman dijumpai perulangan lapisan (*multiple layer*). Keterbatasan penetrasi yang dicapai sekitar 250 milidetik twt (two way travel time). Penafsiran data rekaman seismik tidak dapat dilakukan secara rinci karena sistem seismik Sparker yang menggunakan daya sebesar 500-800 Joule tidak mampu menembus penetrasi lebih dalam. Formasi yang terekam dalam rekaman seismik diperkirakan terbatas yaitu hanya sedimen yang berumur Kuartar dan Tersier Atas (Pliosen).

Interpretasi data rekaman seismik pantul dangkal dilakukan berdasarkan konsep stratigrafi seismik dengan memperhatikan parameter seismik, yang meliputi batas runtunan, konfigurasi



Gambar 3. Peta Batimetri

refleksi, bentuk internal dan eksternal reflektor (Kearey dkk., 2002). Untuk menentukan batas runtunan didasarkan pada bidang pantul yang tegas dan menerus atau suatu bidang ketidakselarasan. Batas unit pengendapannya ditentukan dengan mengidentifikasi konfigurasi pantulan secara lateral dengan memperhatikan batas runtunan seperti: *onlap*, *downlap*, *toplap*, dan *truncation*. Interpretasi struktur geologi dari rekaman seismik yaitu dengan memperhatikan kenampakan konfigurasi refleksi yang rusak atau runtunan yang mengalami pergeseran naik maupun turun (Quillin dkk., 1979). Tanda-tanda adanya sesar, pengangkatan, pelipatan, intrusi, dari data rekaman seismik dengan mudah dapat dikenali. Dari data rekaman seismik pantul diinterpretasikan runtunan dibagi menjadi 2 runtunan yaitu runtunan A dan runtunan B. Sebanyak 5 penampang rekaman seismik terpilih yaitu Lintasan L 7, 9, 11, 12, 16 ditampilkan masing-masing pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 8. Runtunan A merupakan dasar akustik (*acoustic basement*) yang berada di bawah runtunan B. Disebut sebagai dasar akustik karena penetrasi dari gelombang seismik hanya dapat mencapai runtunan paling bawah, dimana umumnya runtunan di bawahnya tidak dapat ditembus lagi oleh gelombang seismik. Konfigurasi pantulan runtunan A adalah bebas pantul hingga berbintik hitam. Runtunan B adalah runtunan paling atas dengan konfigurasi pantulan hampir sejajar hingga sejajar dan kadang-kadang terputus. Terminasi antara runtunan A dan B adalah berupa batas ketidakselarasan (*unconformity*) dan erosi terpancung (*erosional truncation*).

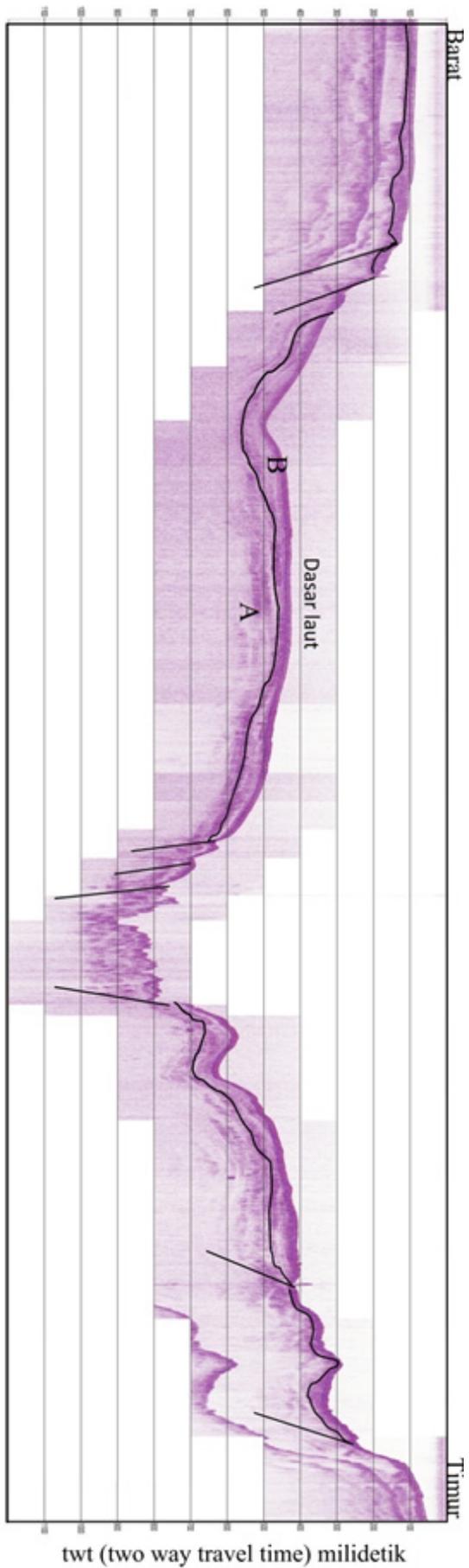
PEMBAHASAN

Dari karakter morfologi dasar laut maka dapat dibagi menjadi 3 zona (Gambar 9) yaitu zonas A dengan morfologi landai dan datar. Zona ini mulai dari pantai hingga ke arah lepas pantai dengan kedalaman laut 0 sampai sekitar 200 meter. Zona B adalah morfologi dasar laut yang terjal atau curam dimulai dari kedalaman laut 200 meter sampai 1200 meter ke arah lepas pantai. Zona C dengan morfologi agak datar dan bergelombang menempati kedalaman laut dari 1200 sampai 2600 meter. Morfologi Zona C ini sebenarnya morfologinya tidak begitu datar, akan tetapi sedikit agak lengkung hampir berbentuk cekungan. Morfologi tinggian dan dan rendahan berbentuk cekungan menempati morfologi di zona C. Pada penampang rekaman seismik tinggian-tinggian

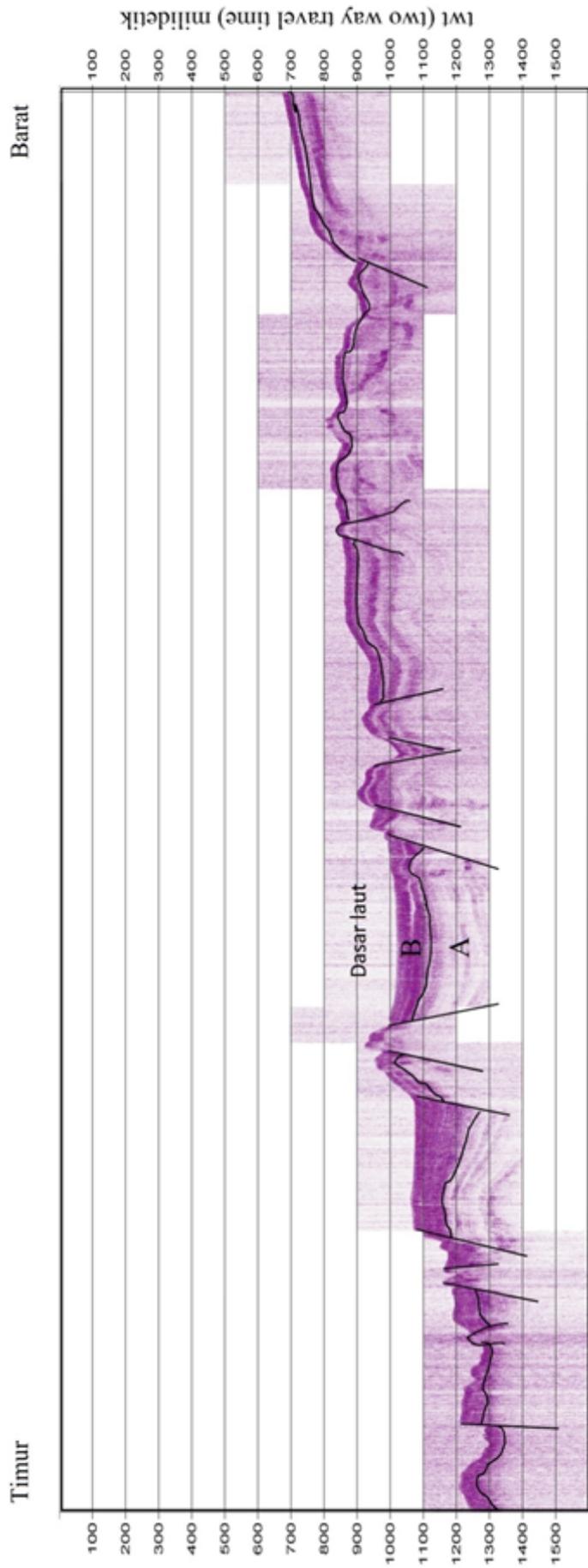
tersebut adalah berupa intrusi dari runtunan dasar akustik.

Berdasarkan konfigurasi dan terminasi dari pantulan telah dijelaskan bahwa runtunan stratigrafi seismik dibagi menjadi 2 yaitu runtunan A dan runtunan B. Runtunan B diduga dari mulai sedimen Pleistosen hingga sedimen Resen, pola pengendapannya yaitu pada lingkungan delta, pantai, dan laut dangkal. Runtunan A yang diduga adalah runtunan yang berumur Pra-Kuarter (Tersier), berupa runtunan sedimen yang telah mengalami deformasi kuat. Di beberapa tempat runtunan ini telah tertutupi oleh endapan Kuarter, baik berupa sedimen Aluvium berumur Resen maupun oleh sedimen Aluvium berumur Holosen. Menurut Astawa, dkk., (2012) runtunan seismik pantul di perairan Lembar Peta 0421 Daerah Istimewa Aceh diinterpretasikan menjadi 4 unit. Perbedaan interpretasi data seismik tersebut disebabkan data seismik lembar peta 0421 penetrasinya lebih dalam di bandingkan dengan data seismik pantul di perairan Loksemauwe. Secara umum perbedaan interpretasi rekaman seismik tidak menjadi masalah karena masih memenuhi kaidah stratigrafi seismik. Bila dibandingkan dengan kondisi geologi maka diduga merupakan bagian dari Formasi Juluraye dan Formasi Seurela yang berumur Pliosen. Formasi Juluraye berada di atas Formasi Seurela yang dibatasi dengan kontak ketidakselarasan. Di beberapa lintasan dekat pantai dijumpai adanya sedimen bermuatan gas (*gas charged sediment*) yang dicirikan dengan konfigurasi berbintik hitam (*opaque*).

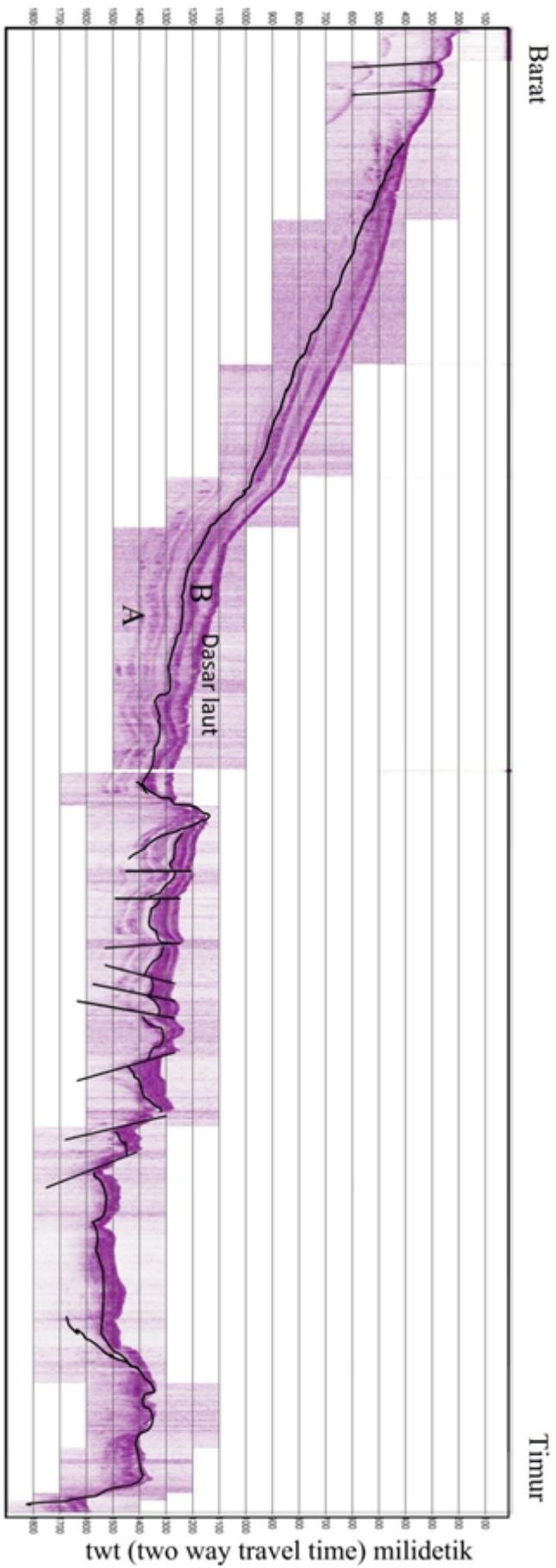
Gejala maupun kondisi geologi yang dapat diamati dari rekaman penampang seismik diantaranya adalah, sesar, pengangkatan, pelipatan, dan intrusi (Gambar 4, 5, dan 6). Kondisi tersebut diduga terbentuk karena pengaruh aktifitas tektonik. Proses yang terus berlangsung sampai saat ini membentuk kondisi geologi di perairan cukup aktif. Subdaksi lempeng di tepian barat Sumatra yang aktif sampai sekarang dan sesar-sesar besar seperti Sesar Sumatra, Aneuk Batee, Sesar Samalanga-Sipopok, Sesar Lhokseumawe, dan Sesar Blangkejeren membentuk kondisi geologi daerah sekitarnya yang dinamis. Ancaman bahaya geologi seperti gempa sering terjadi di daerah-daerah yang berada disekitar sesar aktif. Gempa di bagian selatan daerah penelitian, diantaranya pada tahun 2013 di Tanah Gayo yang menyebabkan puluhan jiwa meninggal dan kerusakan rumah maupun bangunan (Daryono dan Tohari, 2016). Pada tahun 2016 terjadi gempa di



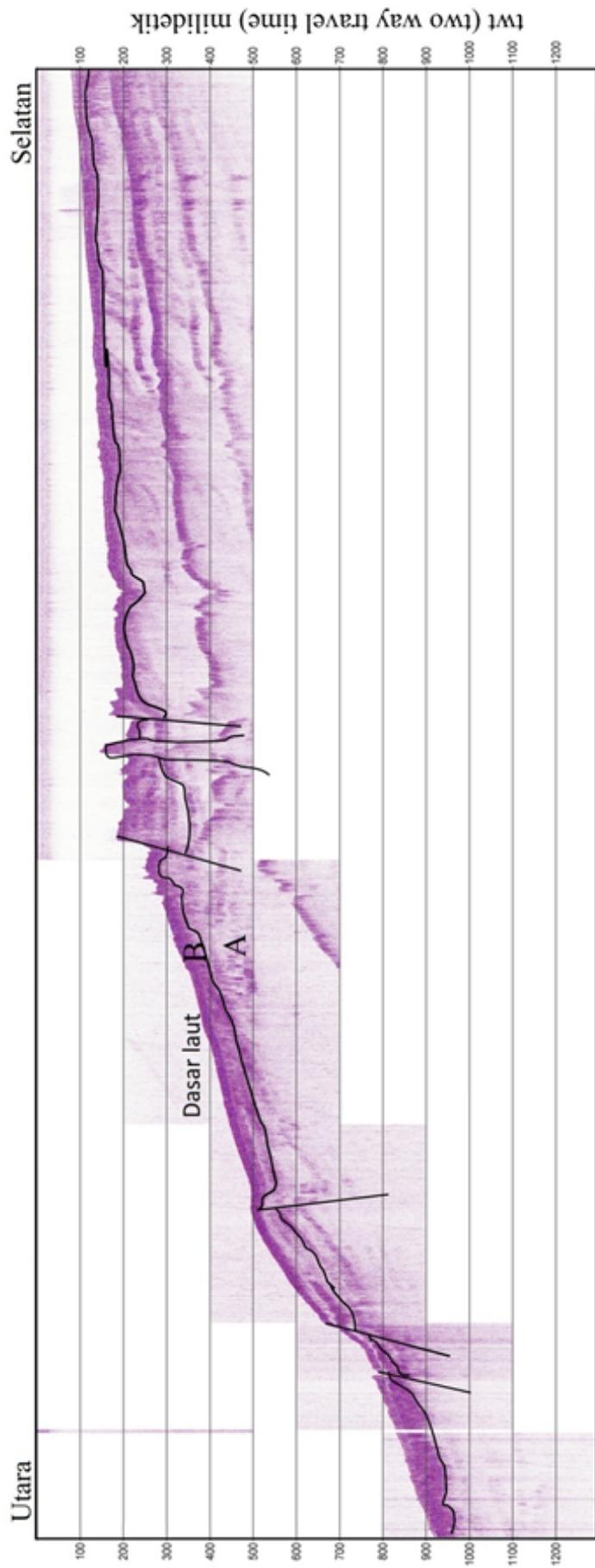
Gambar 4. Interpretasi rekaman seismik lintasan L7



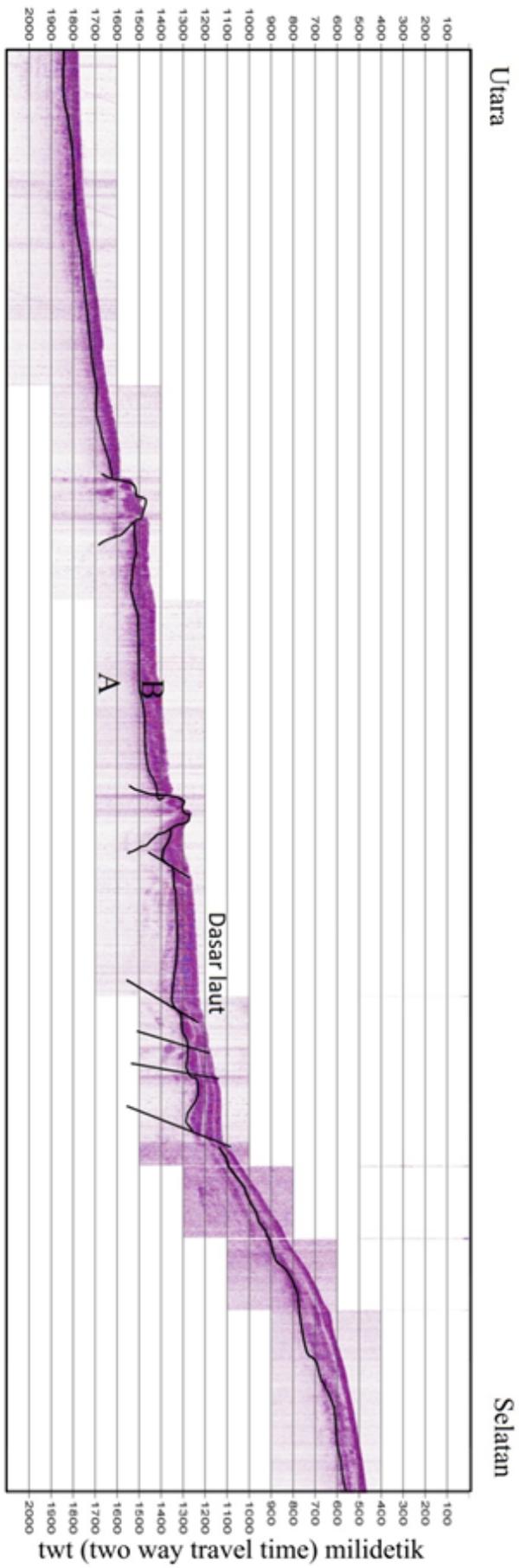
Gambar 5. Interpretasi rekaman seismik lintasan L9



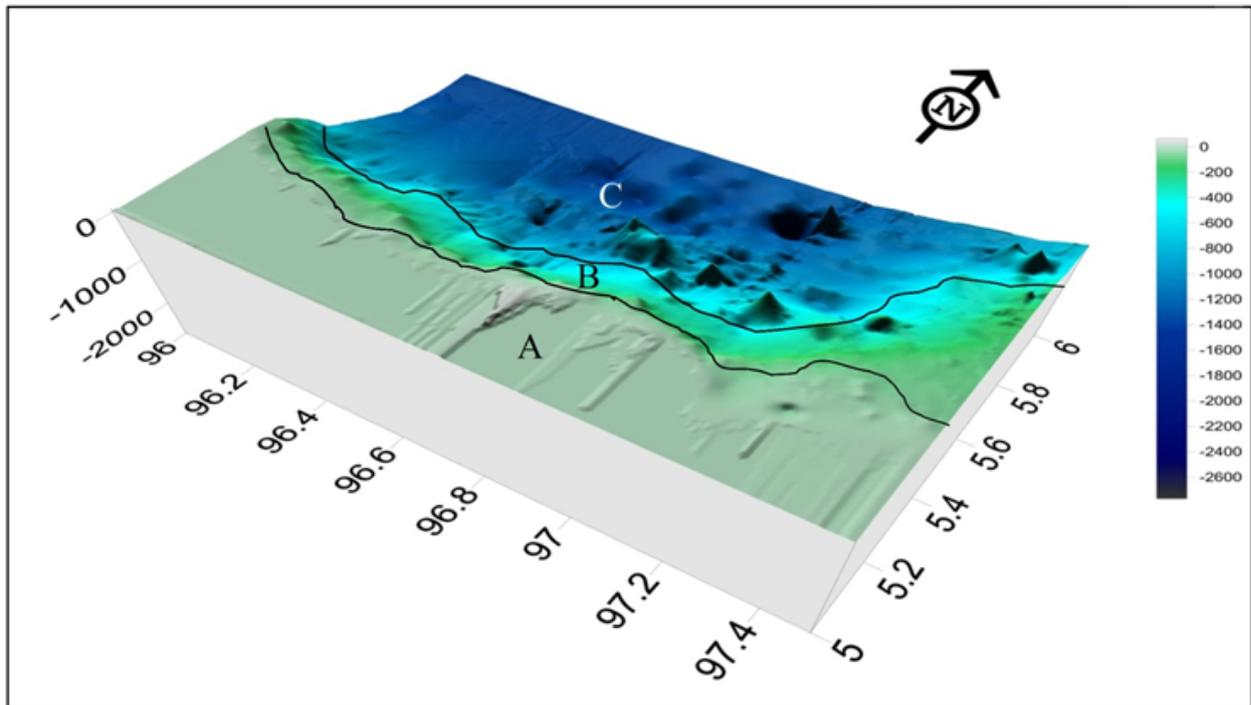
Gambar 6. Interpretasi rekaman seismik lintasan L11



Gambar 7. Interpretasi rekaman seismik Lintasan L12



Gambar 8. Interpretasi rekaman seismik Lintasan L16



Gambar 9. Morfologi dasar laut

Kabupaten Pidie Aceh Jaya yang disebabkan aktivitas sesar mendatar dari sesar aktif Simalanga-Sipopok dengan jalur sesar berarah baratdaya-timurlaut (<http://www.msn.com>, 2016). Gempa yang sering terjadi tersebut perlu diwaspadai juga terjadi di laut yaitu daerah sekitar perairan Lhoksemawe. Kondisi geologi yang diperlihatkan dari penampang rekaman seismik sangat mungkin menimbulkan terjadi bahaya geologi seperti gempa maupun tsunami. Bila terjadi gempa di laut atau disekitar daerah perairan maka bisa saja ancaman tsunami dapat terjadi. Longsor di laut yang dipicu karena adanya gempa juga dapat terjadi terutama di Zona B (Gambar 9) dimana kemiringannya cukup terjal. Longsor dengan volume yang sangat besar dapat menimbulkan bahaya tsunami. Dengan uraian dan penjelasan di atas maka perlu diantisipasi bahwa daerah penelitian termasuk daerah yang rawan terhadap bahaya geologi. Tiga zona morfologi dasar laut yang terdiri dari zona A, B, dan C, mungkin dapat digunakan sebagai acuan untuk pengembangan wilayah di kawasan pantai. Kawasan di zona A yang mempunyai morfologi dasar laut landai dan datar melampar cukup luas ke arah lepas pantai. Pada Zona A tidak terlihat adanya sesar-sesar aktif dan intrusi batuan dasar. Sedangkan kawasan di zona B dan C yang diperkirakan menempati daerah yang cukup rawan terjadinya bahaya geologi karena kawasan ini

ditempati morfologi dasar laut terjal dan terdapat sesar-sesar aktif.

KESIMPULAN

Daerah penelitian merupakan daerah yang cukup rawan terhadap bencana geologi diantaranya gempa dan longsor di laut. Struktur geologi yang dapat diamati di daerah penelitian diantaranya adalah sesar, pengangkatan, pelipatan dan intrusi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa daerah perairan termasuk rawan terhadap bencana geologi. Sesar-sesar aktif yang terdapat di darat umumnya menerus hingga ke pantai dan lepas pantai. Sesar-sesar aktif dapat memicu terjadinya gempa di darat maupun di laut. Kewaspadaan terhadap bahaya geologi yang mungkin terjadi di laut terutama pada zona B dan zona C. Longsor pada morfologi yang cukup terjal dapat terjadi di zona B dan sesar aktif pada zona C dapat mengakibatkan terjadinya gempa. Zona A dengan kedalaman antara 0 hingga 200 meter dapat dikategorikan sebagai zona cukup aman. Pembangunan di daerah pantai hingga lepas pantai di perairan ini mungkin cukup aman pada daerah pantai yang tidak melebihi kedalaman 200 meter. Walaupun demikian pembangunan untuk pengembangan pantai dan lepas pantai seperti pelabuhan dapat dilakukan dengan tetap memperhatikan keamanan terutama memenuhi

kriteria bangunan di daerah yang rawan akan bencana geologi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi kelautan, atas perkenannya mengizinkan penulis menggunakan data penelitian ini. Tidak lupa juga ucapan terima kasih disampaikan kepada Ketua Tim lembar peta 0521 dan para anggotanya yang telah memberikan izin penggunaan data hasil penelitian untuk tulisan ini.

DAFTAR ACUAN

- Astawa, I.N., Silalahi, I.R., Rahardiawan, R., 2012. Geologi Bawah Permukaan Dasar Laut Perairan Lembar peta 0421, Daerah istimewa Aceh, *Jurnal Geologi Kelautan*, 10(2), h 101-115
- Berglar, K., Gaedicke, C., Dieter Franke, D., Ladage, S., Frauke Klingelhofer, F., Djajadihardja, Y.S. 2010. Structural evolution and strike-slip tectonics off north-western Sumatra. *Tectonophysics*, 480 (1-4), h 119-132
- Daryono, M.R., dan Adrin, T., 2016. Surface Rupture and Geotechnical Features of The July 2, 2013 Tanah Gayo Earthquake, *Indonesian Journal On Geoscience*, 3 (2) h.95-105
- Hamilton, W. 1981. Subduction in the Indonesian region. Talwani, M., ed. *Island arcs deep sea trenches and back arc basin*. Walter C. Pitman III. AGU. Maurice Ewing Series 1. Washington D.C., 2nd Printing.
- <http://www.msn.com/id-id/berita/nasional/penyebab-gempa-6,4-sr-guncang-aceh/7> Desember, 2016
- Kearey, P., Brooks, M., Hill, I., 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*, Third Edition, Blackwell Science Ltd, London, 262 h
- Logan, N., 2014. Indian Ocean Tsunami: Remembering The Day The Wave Came, *National Online Journalist*.
- Malod, J.A. & Kemal, B.M. 1996. The Sumatra margin: oblique subduction and lateral displacement of the accretionary prism. From Hall, R. & Blundell, D. (eds). 1996. *Tectonic Evolution of Southeast Asia. Geological Society Special Publication No. 106*, h 19-28.
- Naibaho, T., Rahardiawan, R., Silalahi, I.R., Hutagaol, J.P., Sutisna, N., Ali, A., Sinaga, A.C., 2011. *Pemetaan Geologi dan Geofisika Perairan lembar Peta 0521 Lhokseumawe Aceh Darussalam*, Laporan Puslitbang Geologi Kelautan, Tidak dipublikasi.
- Permana, H., Handayani, L., dan Gaffar, E.Z., 2010. Study Awal Pola Struktur Busur Muka Aceh, Sumatra Bagian Utara (Indonesia): Penafsiran dan Analisis Peta Batimetri, *Jurnal Geologi Kelautan*, 8(3), h 105-118
- Pertamina & Beicip, 1988. *Hydrocarbon Potential of Western Indonesia, Unpublished*
- Pubellier, M., Rangin, C and Le Pichon, X. 2005. Deep Offshore Tectonics of South East Asia (Dotsea). A synthesis of deep marine data in Sotheast Asia. *Memoires de la Societe Geologique de France*,
- Quillin, R. Mc., Bacon, M., Barclay, W., 1979. *An Introduction to Seismic Interpretation*, Graham & Trotman Limited, London, 84 h .
- Schlüter, H.U., Gaedicke, C., Roeser, H.A., Schreckenberger, B., Meyer, H., and Reichert, C., Djajadihardja, Y., Prexl, A. Tectonic features of the southern Sumatra-western Java fore-arc of Indonesia. *Tectonics*, 21(5), h 1029-1048
- Sieh, K. and Natawidjaja, D.H. 2000. Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*, 105 (B12), h 28295-28326
- Susilohadi, S., Gaedicke, C., and Ehrhardt, A. 2005. Neogene Structures And Sedimentation History Along The Sunda Forearc Basin Off Southwest Sumatra And Southwest Java. *Marine Geology* , 219 (2005) 133-154.