

STRUKTUR GEOLOGI PERAIRAN MOROWALI – TELUK KENDARI DARI HASIL INTERPRETASI PENAMPANG MIGRASI SEISMIC 2D

THE GEOLOGICAL STRUCTURES OF MOROWALI WATERS – KENDARI GULF USING 2D SEISMIC CROSS-SECTION INTERPRETATION

Tumpal Bernhard Nainggolan, Gusti Muhammad Hermansyah, dan Priatin Hadi Wijaya

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Djundjuna No. 236, Bandung
Email : tumpalbn@mgi.esdm.go.id

Diterima : 13-06-2017, Disetujui : 15-10-2017

ABSTRAK

Lokasi penelitian mencakup sebagian besar wilayah perairan Morowali sampai ke selatan ke arah Teluk Kendari bertujuan untuk mendapatkan gambaran struktur geologi dan morfologi bawah permukaan dasar laut Kepingan Benua Banggai-Sula sampai Kepingan Benua Sulawesi Tenggara. Hasil peta batimetri menunjukkan kedalaman paling dangkal sekitar 500 meter terdapat di bagian utara dengan pola kontur tertutup yang membentuk cekungan kecil yang tidak begitu curam, sedangkan kearah bagian timur dan selatan-tenggara memperlihatkan kondisi morfologi dasar laut semakin dalam mencapai 2000 meter dan curam. Dari hasil penampang seismik didapatkan informasi perairan Morowali terdapat enam sekuen dengan *seismic basement* dibandingkan dengan Kompleks Batuan Malihan berumur Karbon, sedangkan struktur geologi teluk Kendari secara umum menunjukkan pembagian dua zona, yaitu zona pertama di bagian timur, peralihan sedimen sangat tipis dibandingkan dengan zona barat.

Kata kunci : struktur geologi, morfologi, peta batimetri, interpretasi penampang seismik

ABSTRACT

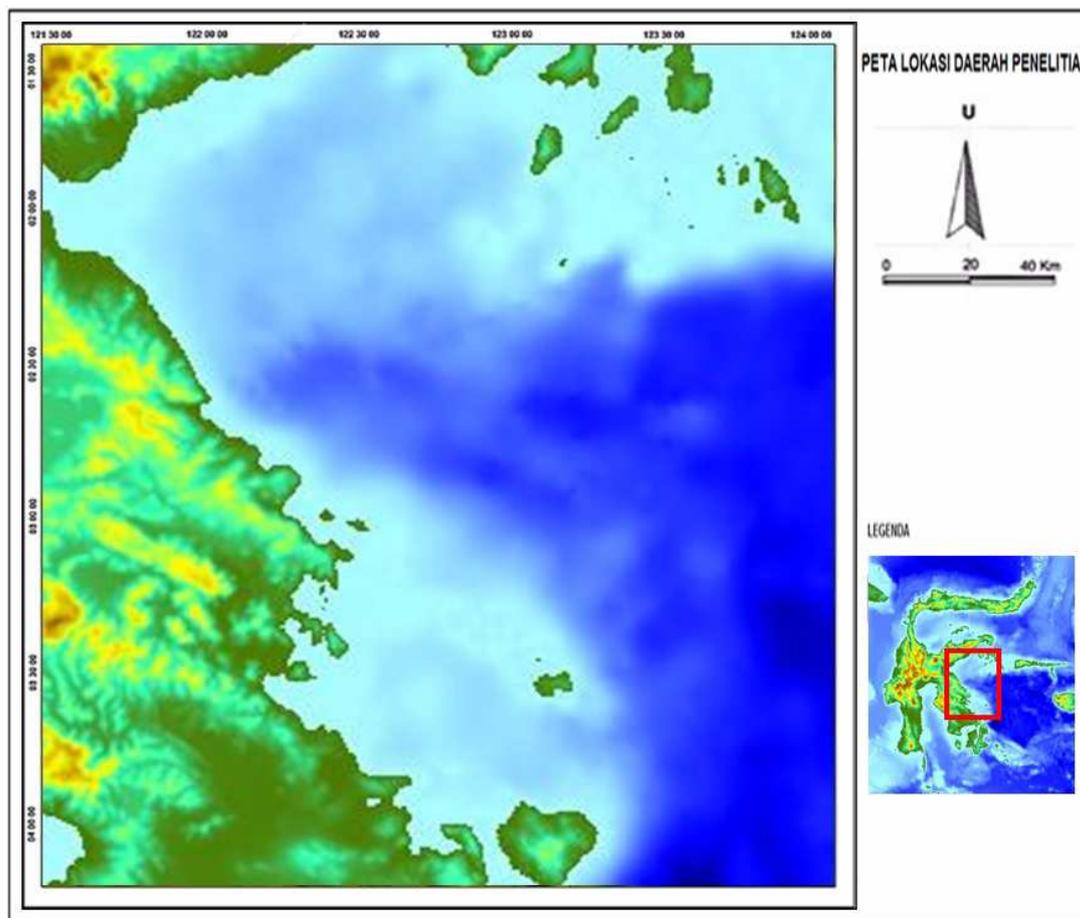
The survey covered most part of Morowali waters to the south towards Kendari Gulf aims to achieve an overview of the geological structures and morphological beneath seabed sub-surface of Banggai-Sula and Southeast Sulawesi micro-continent. The bathymetric map shows the shallowest depth about 500 meters in the north with a closed contour pattern that form a sloping basin, while towards the eastern and south-southeast part shows a deeper morphological condition up to 2000 meters and steep. Seismic cross-section interpretation of Morowali waters describe six sequences with seismic basement compared to Malihan rocks of Carbon era, while the geological structure of Kendari Gulf generally shows very thin sedimentary layers of eastern zone compared to western zone.

Keywords : *geological structures, morphological information, bathymetric map, seismic cross-section interpretation*

PENDAHULUAN

Kompleksitas dan keunikan struktur geologi dan morfologi Pulau Sulawesi dan sekitarnya terbentuk dari hasil pertemuan tiga lempeng utama, yaitu bagian barat merupakan tepi tenggara Lempeng Benua Eurasia, bagian timur selatan oleh Lempeng Benua Australia dan bagian timur utara ditempati Lempeng Samudera Pasifik. Lokasi daerah penelitian mencakup Lengan Timur dan Tenggara Sulawesi yaitu sebagian besar wilayah perairan Morowali sampai ke selatan ke arah Teluk Kendari dan secara administrasi terletak di Propinsi Sulawesi Tengah dan Sulawesi

Tenggara dengan luas daerah penelitian sekitar 31.160 km² dalam survei yang dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, dengan batas-batas koordinat A: 121°51'46"BT-1°35'37"LS, B: 122°49'54"BT-1°36'5"LS, C: 123°27'24"BT-3°52'36"LS, D: 122°30'58"BT-3°52'6"LS dan E: 121°51'54"BT-2°25'29"LS (Gambar 1). Di sebelah selatan daerah penelitian ini berbatasan dengan daratan Sulawesi Tenggara, di sebelah timur oleh Kepulauan Banggai dan Laut Banda, dan di sebelah utara dan barat oleh daratan Sulawesi bagian Tengah.



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian

Interpretasi penampang seismik bertujuan untuk menampilkan gambaran informasi geologi dari hasil pengolahan data seismik dengan dukungan atribut-atribut seismik (Roden, 2016). Gambaran informasi geologi sangat ditentukan oleh kualitas resolusi seismik dan pemilahan horison garis reflektor yang mewakili sekuensial batuan. Teknik interpretasi sekuen penampang seismik mengikuti algoritma korelasi sepanjang garis reflektor kedalaman dalam satuan waktu yang menggambarkan struktur geologi (de Groot, 2013; Veeken & van Moerkerken, 2013).

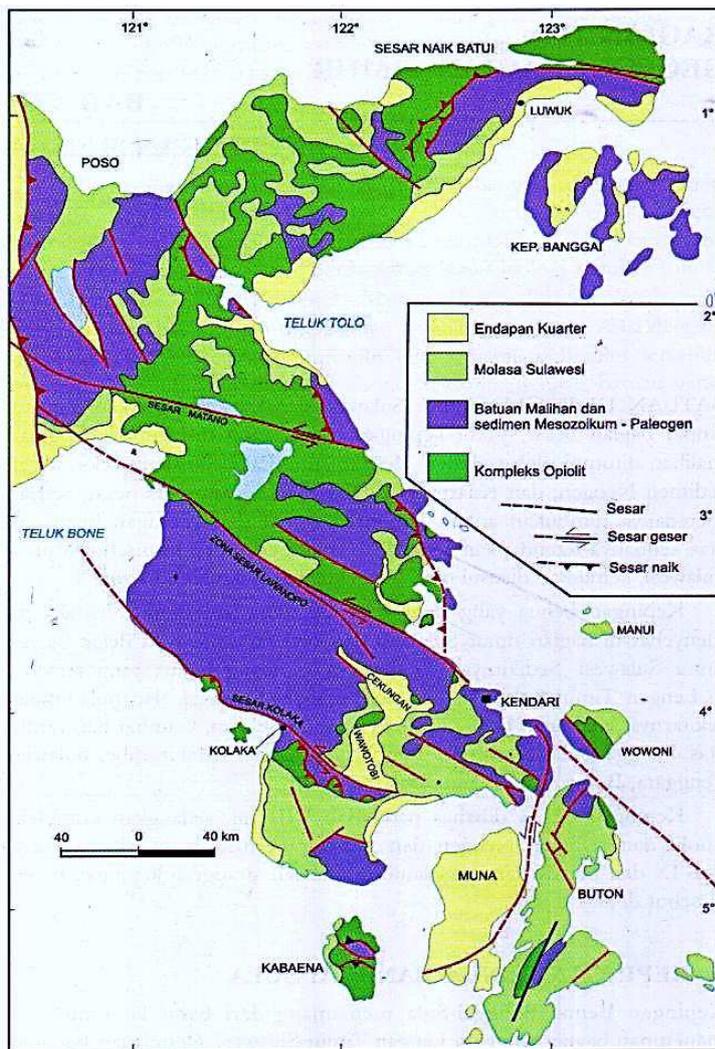
GEOLOGI REGIONAL

Menurut Surono (1998), batuan di bagian timur Sulawesi dapat dikelompokkan menjadi empat bagian besar, yaitu batuan yang berasal dari kerak Samudera Pasifik (kompleks ofiolit), batuan malihan ditutupi oleh sedimen Mesozoikum-Paleogen, sedimen Neogen dan Kuartar (Gambar 2). Secara garis besar, setelah meredanya tumbukan antara kompleks ofiolit dan kepingan benua, di atas keduanya terendapkan sedimen Neogen yang umum disebut Molasa Sulawesi, dan

kemudian disusul oleh pengendapan sedimen Kuartar.

Kepingan benua yang diduga berasal dari tepi utara Australia menyebar di bagian timur Sulawesi dan beberapa pulau di dekat bagian timur Sulawesi. Sedikitnya ada delapan kepingan benua yang tersebar di Lengan Timur Sulawesi, Lengan Tenggara Sulawesi, dan pulau-pulau sekitarnya. Kepingan benua itu terdiri atas Banggai-Sula, Siombok, Tambayoli, Bungku, Mattarombeo, Sulawesi Tenggara, Buton dan Tukang Besi (Gambar 3). Dua kepingan benua yaitu Banggai-Sula dan Sulawesi Tenggara bersinggungan langsung dengan lintasan seismik 2D dan batimetri pada survei.

Secara geologi regional, daerah penelitian mempunyai kondisi geologi yang kompleks, disebabkan kawasan ini merupakan tempat tumbukan aktif dari tiga lempeng (triple junction) antara Lempeng Hindia-Australian, Samudera Pasifik dan Eurasia yang sangat erat hubungannya dengan perkembangan tektonik sejak Paleozoikum hingga Kuartar (Simandjuntak dkk., 1993). Sejumlah penulis (Simandjuntak dkk., 1993;



Gambar 2. Peta geologi bagian timur Pulau Sulawesi

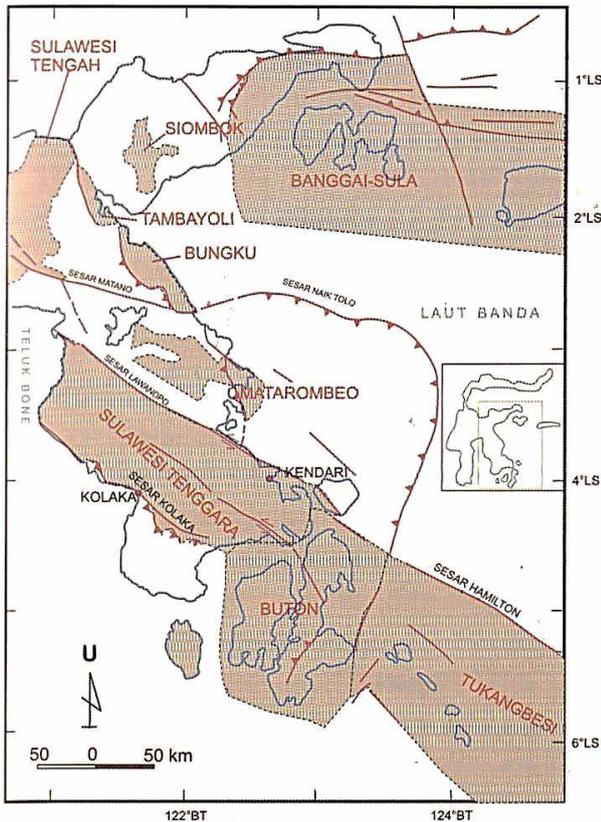
Surono, 1994; Hasanusi dkk., 2013) menyatakan bahwa daerah ini merupakan interaksi antara mendala geologi Banggai-Sula sebagai bagian dari benua kecil (*micro-continent*) yang berasal dari pecahan benua Australia selama masa Mesozoikum dengan Mendala Sulawesi Timur (Gambar 4). Mendala Banggai-Sula dialasi oleh Batuan Malihan yang diterobos oleh granit dan ditindih oleh batuan gunungapi asam. Batuan alas ini ditindih tak selaras oleh sedimen tepian benua. Mendala Sulawesi Timur dialasi oleh Batuan Ophiolit dan batuan sedimen termalihkan (Surono, 2010). Pada akhir Paleogen, benua kecil ini bergerak dan hanyut ke arah barat, berbarengan dengan kembali aktifnya Sesar Sorong-Matano dan Palu Koro yang berupa sesar mendatar. Bersamaan dengan fasa tektonik ini terjadi deformasi yang menghasilkan perlipatan, pensesaran dan pengkekar. Pada waktu Miosen Tengah, bagian timur kerak samudera mendala Sulawesi Timur

menumpang tindih benua kecil Banggai-Sula yang bergerak ke arah barat dan kedua mendala geologi tersebut saling bertumbukan dan mengakibatkan pengangkatan pada jalur ofiolit Sulawesi Timur (Simandjuntak dkk., 1993). Seluruh batuan pada kedua mendala mengalami deformasi kuat dan menghasilkan lipatan, sesar ikutan dan kekar. Pada Miosen Akhir hingga Pliosen, terbentuk batuan klastika molasa (Kelompok Molasa Sulawesi) dan secara tidak selaras menutupi kedua mendala geologi ini. Pada waktu Plio-Plistosen, seluruh daerah ini mengalami deformasi yang menghasilkan lipatan, sesaran dan kekar (Surono, 1994). Setelah seluruh daerah terangkat dan terbentuklah bentang alam dan terumbu koral di sepanjang pantai dekat daerah penelitian sampai dengan sekarang.

Kepingan benua Banggai-Sula memanjang dari barat ke timur dan menempati bagian tenggara Lengan Timur Sulawesi, Kepulauan Banggai dan Kepulauan Sulabesi (Gambar 3). Kesamaan stratigrafi membuat kepingan benua ini dipercaya banyak penulis (Pigram dkk., 1984 & 1985; Garrad dkk., 1988; Hall & Sevastjanova, 2012) sebagai kepingan benua yang berasal dari tepi utara Benua Australia. Nama kepingan benua Siombok diperkenalkan oleh Surono (1998) dan kepingan ini berada

pada bagian barat Lengan Timur Sulawesi (Gambar 3). Menurut Simandjuntak dkk. (1993) dan Surono (1994), kepingan ini disusun oleh Formasi Tokala, Formasi Nanaka, dan setempat Formasi Nambo. Formasi Tokala yang mendominasi Kepingan Siombok, terdiri atas batugamping, napal dengan sisipan serpih. Surono (1994) menduga formasi ini diendapkan di lingkungan laut dangkal-dalam dan diperkirakan berumur Trias Akhir. Formasi Tokala ditindih selaras oleh Formasi Nanaka, yang disusun oleh konglomerat dengan fragmen granit, batupasir dan serpih. Formasi Nanaka diduga menjemari dengan Formasi Nambo yang dibentuk oleh sedimen klastik halus berupa napal dan napal pasiran dengan sisipan batubara dan diendapkan pada lingkungan fluvial. Kedua formasi ini diduga berumur Jura.

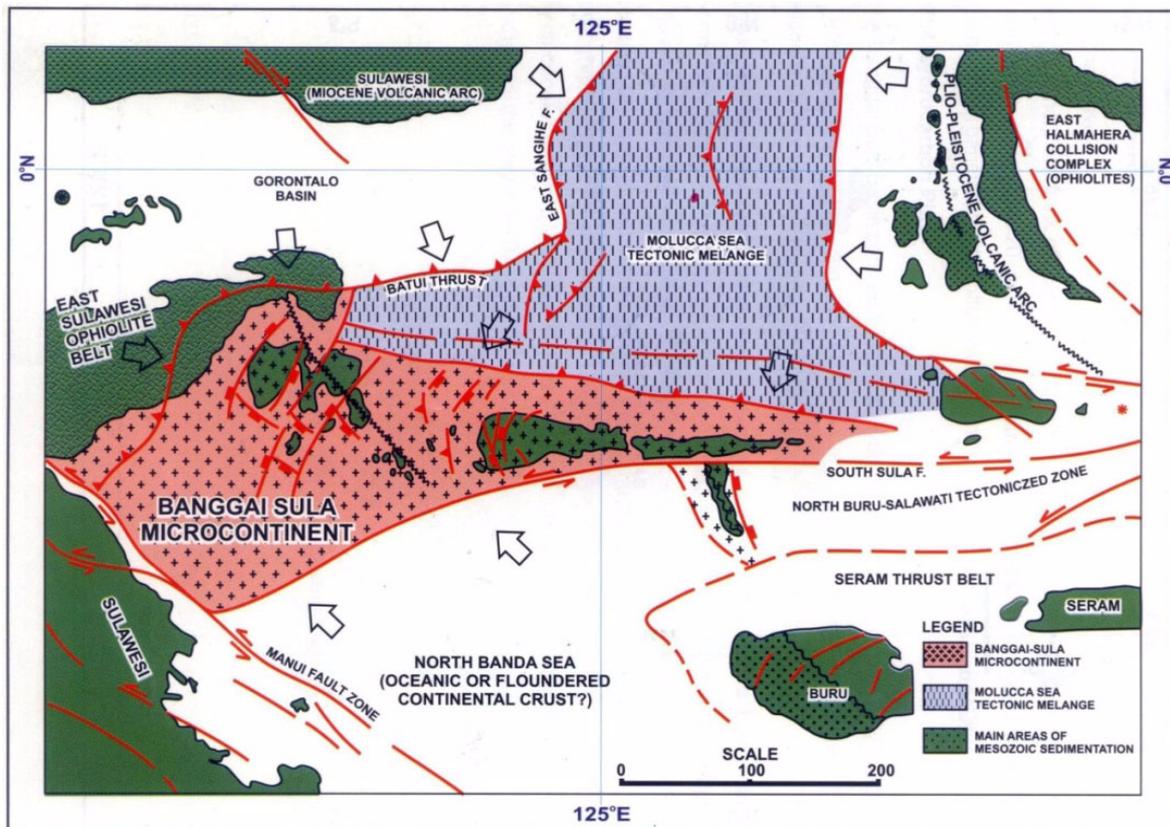
Kepingan benua Tambayoli diperkenalkan oleh Surono (1996), yang berada tepat di pertemuan antara Lengan Timur dan bagian



Gambar 3. Kepingan benua di bagian timur Sulawesi dan pulau-pulau sekitarnya (Surono, 1996)

tengah Sulawesi dan memanjang barat-laut-tenggara (Gambar 3). Batuan pembentuk kepingan benua ini didominasi oleh Formasi Tokala yang melampar luas di daratan Sulawesi sedangkan Formasi Nanaka hanya tersingkap di pulau-pulau kecil disekitarnya. Berdasarkan kemiripan litologi antara Formasi Nanaka dan Formasi Bobong di Pulau Peleng (Supandjono & Haryono, 1993) diduga keduanya berumur sama yaitu Jura Awal-Jura Tengah. Kepingan Benua Bungku memanjang barat-laut-tenggara di sepanjang pantai timur bagian utara Lengan Tenggara Sulawesi dan nama kepingan benua ini diberikan oleh Surono (1996) (Gambar 3). Di dalam peta geologi Lembar Bungku skala 1:250.000 (Simandjuntak dkk., 1993) tergambarkan bahwa Kepingan Benua Bungku tersusun oleh Formasi Tokala.

Nama Kepingan Benua Matarombeo diberikan oleh Surono (1996) (Gambar 3). Kepingan benua ini memanjang hampir barat-timur mulai dari pantai timur Lengan Tenggara Sulawesi sampai ke arah barat. Formasi Tokala pada Kepingan Matarombeo didominasi oleh material klastik, sebaliknya pada tipe lokasinya di Kepingan Siombok lebih didominasi batuan karbonat. Hal ini menggambarkan bahwa formasi ini diendapkan pada lingkungan yang lebih dekat



Gambar 4. Elemen tektonik Cekungan Banggai-Sula (Patra Nusa Data, 2006)

ke darat. Diduga secara selaras di atas Formasi Tokala terendapkan Formasi Masiku yang berumur Jura Akhir-Kapur Awal dan diendapkan dalam lingkungan laut dalam. Formasi ini terdiri atas batusabak, serpih, filit, batupasir dan batugamping mempunyai lensa rijang yang mengandung radiolarian (Simandjuntak dkk., 1993). Secara tak selaras, di atas Formasi Masiku terendapkan Formasi Salodik yang disusun oleh kalsilit, batugamping pasiran, napal, batupasir dan rijang. Formasi ini berumur Eosen Akhir-Miosen. Lingkungan pengendapan Formasi Salodik pada kepingan benua ini diduga di laut dangkal dan keterdapatan rijang mengindikasikan sebagian dari formasi ini terendapkan pada laut dalam.

Kepingan benua Sulawesi Tenggara memanjang barat-laut-tenggara dan menempati sebagian besar Lengan Tenggara Sulawesi (Gambar 3). Batuan tertua sebagai batuan dasar pada kepingan benua ini adalah Kompleks Batuan Malihan yang diterobos oleh batuan granitan di beberapa tempat. Sedimen Mesozoikum yang telah dikenal luas adalah Formasi Meluhu yang berumur Trias dan menumpang takselaras di atas batuan dasar (Gambar 5). Formasi Meluhu dapat dibagi menjadi tiga anggota (Surono dkk., 1997; Surono & Bachri, 2002) dari bawah ke atas:

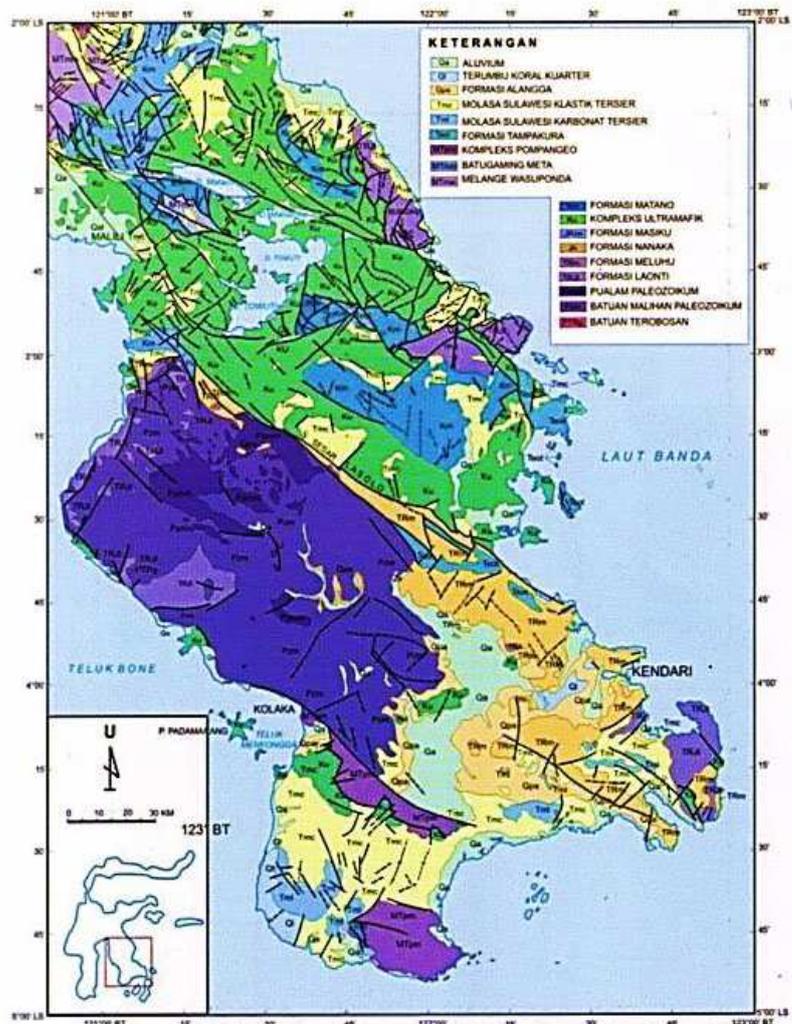
Anggota Toronipa, yang didominasi oleh batupasir dengan sisipan batupasir konglomeratan, batulumpur, dan serpih serta setempat lignit. Lingkungan pengendapan anggota ini adalah sebagai endapan kipas sungai yang dipengaruhi oleh tektonik aktif semasa pengendapannya.

Anggota Watutaluboto, didominasi oleh batulumpur dan batulanau dengan sisipan batupasir dan konglomerat. Bagian bawah anggota ini diendapkan pada lingkungan delta yang energinya didominasi oleh sungai, sedangkan bagian atasnya lebih didominasi energi pasang-surut. Secara selaras anggota ini menindih Anggota Toronipa.

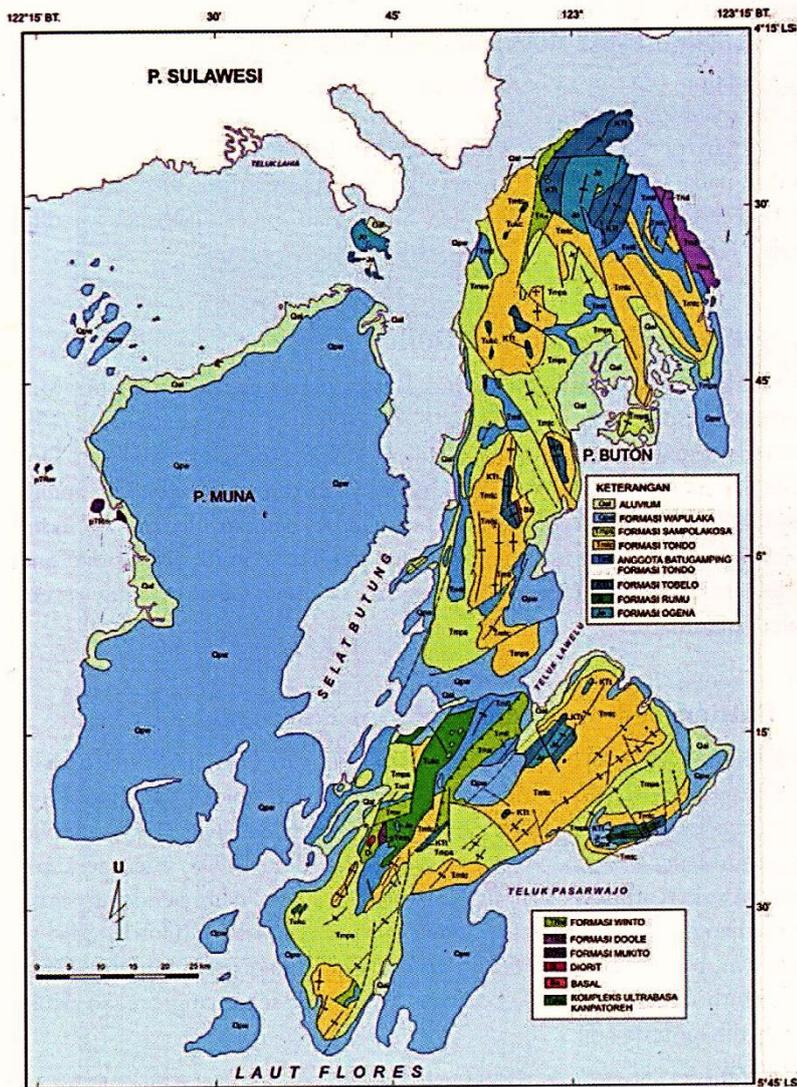
Anggota Tuetue terdiri atas batulumpur, batulanau dan napal serta batugamping di bagian atasnya. Anggota Watutaluboto ditindih selaras

Anggota Tuetue. Bagian bawah anggota ini kaya struktur sedimen yang umum ditemukan pada lingkungan pasang-surut dan bagian atasnya menunjukkan lingkungan laut.

Kepingan Benua Buton meliputi seluruh P. Buton dan P. Muna serta beberapa pulau kecil di sekitarnya (Gambar 3). Batuan penyusunnya berumur mulai dari pra-Mesozoikum sampai Kuartar (Gambar 6). Menurut Sikumbang dkk. (1995), batuan tertua dalam kepingan Buton adalah Kompleks Malihan Doole (Formasi Doole) yang terdiri atas batuan malihan berderajat rendah, kuarsit mikaan berselingan dengan filit, dan batusabak. Smith & Silver (1991) memberi nama satuan ini Formasi Lakansai yang berumur Paleozoikum. Selanjutnya terbentuk Kompleks Ofiolit Kapantori berasosiasi dengan Formasi Mukito, diperkirakan berumur Trias Awal. Kompleks Ofiolit Kapantori disusun oleh peridotit, serpentinit, rijang, filit dan kuarsit. Sementara itu,



Gambar 5. Peta geologi Lengan Tenggara Sulawesi (Rusmana dkk., 1993; Simandjuntak dkk., 1993)



Gambar 6. Peta geologi P. Buton dan P. Muna (Sikumbang dkk., 1995)

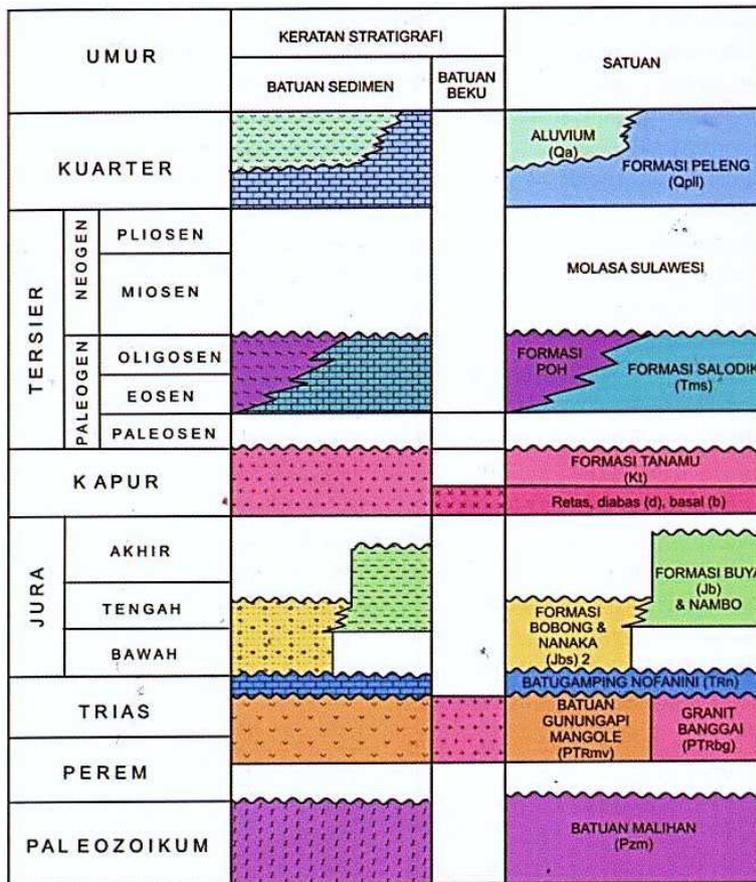
Formasi Mukito terdiri atas *metabesite*, metarijang (*metachert*), sekis hijau dan ampibol. Satuan batuan berumur Mesozoikum-Tersier terdiri atas Formasi Winto, Formasi Ogena, Formasi Rumu, dan Formasi Tobelo. Formasi Winto disusun oleh perselingan serpih, batupasir, konglomerat dan batugamping. Di atas Formasi Winto diendapkan secara selaras Formasi Ogena yang terdiri atas batugamping pelagik disisipi batugamping pasiran dan napal. Formasi Rumu diduga menumpang takselaras di atas Formasi Ogena, terdiri atas perselingan batugamping, batulumpur dan napal (Smith & Silver, 1991). Di atas Formasi Rumu diduga menumpang takselaras Formasi Tobelo, yang disusun oleh batugamping laut dalam. Satuan batuan berumur Neogen-Kuarter terdiri atas Formasi Tondo, Formasi Sampolakosa, dan Formasi Wapukala. Ketiga formasi ini menumpang takselaras di atas batuan pra-Neogen. Formasi

Tondo terdiri atas perselingan konglomerat, batupasir dan batulumpur. Formasi Tondo ditindih oleh Formasi Sampolakosa, yang didominasi oleh sedimen pelagik. Satuan batuan termuda di P. Buton adalah Formasi Wapukala yang merupakan batugamping terumbu. Satuan ini menumpang di atas Formasi Tondo dan Formasi Sampolakosa secara takselaras (Sikumbang dkk., 1995).

Stratigrafi

Secara stratigrafi, batuan pembentuk kepingan Banggai-Sula terdiri atas batuan yang berumur dari Palaeozoikum hingga Kuarter (Gambar 7). Sebagai batuan alas pada kepingan benua tersebut adalah batuan malihan yang diterobos oleh granit dan ditindih oleh batuan gunungapi asam. Batuan alas ini ditindih tak selaras oleh sedimen klastik darat-laut dangkal dari Formasi Bobong dan Formasi Nanaka. Formasi Bobong, yang diperkenalkan oleh Supandjono & Haryono (1993), terdiri atas perselingan batupasir, konglomerat granit merah dan serpih dengan sisipan batubara. Formasi ini tersebar luas di P. Banggai, P. Peleng dan pulau-pulau sekitarnya. Sementara itu, Formasi Nanaka

yang tersebar di bagian tengah Lengan Timur Sulawesi dan terdiri atas konglomerat, batupasir bersisipan serpih (Rusmana dkk., 1993; Surono, 1994). Runtunan sedimen klastik ini berumur Jura Awal-Tengah dan ditindih selaras serpih hitam dan lempung endapan laut dangkal Formasi Buya yang berumur Jura-Kapur Awal (Supandjono & Haryono, 1993). Di P. Mangole dan P. Taliabu, Formasi Buya ditindih batugamping endapan laut dalam Formasi Tanamu. Kemudian batuan karbonat Eosen-Miosen Formasi Salodik dan Formasi Poh menutupi takselaras runtunan batuan yang lebih tua. Keduanya dibedakan dari komposisi batumannya, Formasi Salodik didominasi batugamping dengan sisipan napal sedangkan Formasi Poh didominasi oleh napal bersisipan batugamping dan batupasir. Hubungan kedua formasi ini menjemari, menumpang tak selaras dengan satuan di bawahnya dan ditindih tak selaras



Gambar 7. Stratigrafi Kepingan Banggai-Sula (Rusmana dkk., 1993; Supandjono & Haryono, 1993; Surono, 1994)

oleh Molasa Sulawesi (terutama Formasi Kintom). Formasi Salodik menyebar luas di Lengan Timur Sulawesi dan setempat di P. Banggai, P. Peleng, P. Mangole dan beberapa pulau kecil disekitarnya. Akhirnya, konglomerat dan batugamping Kuartar menutupi takselaras sedimen Tersier tersebut. Batuan Kuartar ini tersingkap baik di sepanjang pantai selatan Lengan Timur Sulawesi.

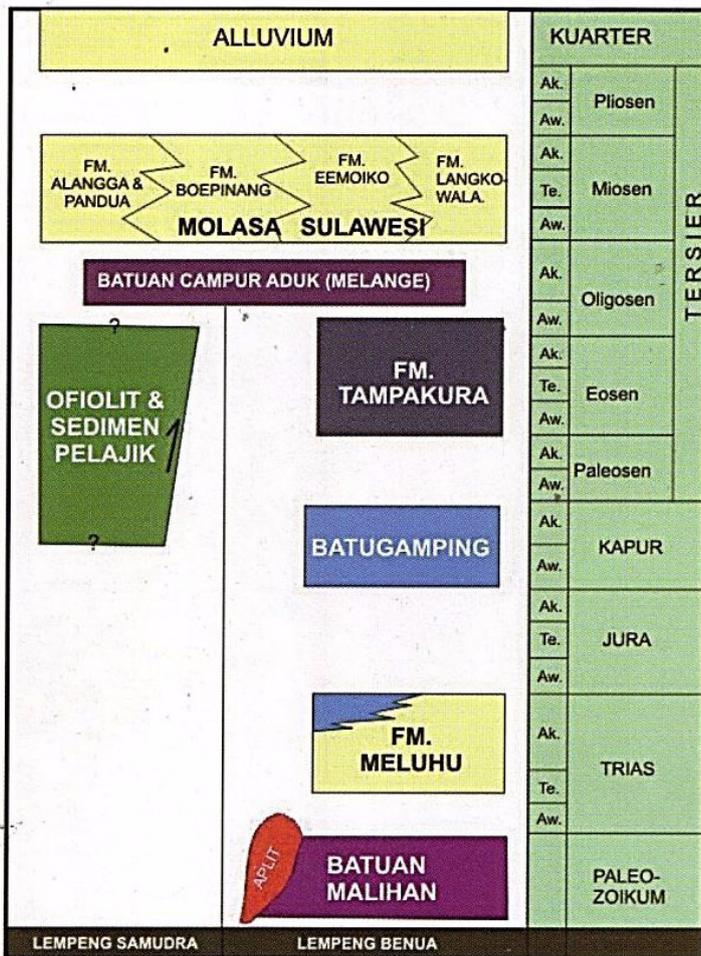
Tidak seperti pada Kepingan Benua Banggai-Sula, pada Kepingan Benua Sulawesi Tenggara batuan sedimen berumur Kapur tidak tersingkap secara luas. Singkapan batugamping berumur Kapur ditemukan oleh di sebuah pulau kecil sebelah barat P. Labengke. Batuan sedimen Paleogen yang terendapkan di kepingan benua ini di lapangan tersusun oleh berbagai jenis batugamping, diantaranya *oolit*, *mudstone*, *wakestone*, *packstone* dan *framestone* (Surono, 1996). Sebelumnya, Rusmana & Sukarna (1985) menamakan batugamping Paleogen di Lengan Tenggara Sulawesi dengan nama Formasi Tampakura dan pada publikasi berikutnya (Rusmana dkk., 1993) menggantinya menjadi Formasi Salodik. Bagian terbawah dari Formasi Tampakura yang disebut sebagai Runtunan

Batuasah, yang merupakan endapan delta yang didominasi energi sungai, menumpang takselaras di atas Formasi Meluhu (Gambar 8).

METODE PENELITIAN

Pengukuran kedalaman dasar laut (pemeruman) dilakukan dengan menggunakan *Echosounder SyQuest Bathy 2010* dengan frekuensi 3,5 kHz dengan kemampuan hingga 4000 meter. Prinsip kerja peralatan tersebut mengirim gelombang akustik dalam bentuk pulsa suara, menerima pulsa terpantul oleh dasar laut dan kemudian mengolahnya untuk dihitung kedalaman lautnya berdasarkan asumsi cepat rambat gelombang akustik di air laut ± 1500 meter/detik. Metode *chirp* atau frekuensi modulasi yang diterapkan pada peralatan ini, juga membuat resolusi per lapisan sedimen menjadi lebih baik jika dibandingkan dengan *echosounder* 3,5 kHz biasa. Hasil dari data rekaman kedalaman dasar laut dapat digunakan untuk pembuatan peta kedalaman laut (batimetri), mengetahui morfologi dasar laut dan kemantapan lereng dasar laut. Selain itu juga untuk pengontrol hasil rekaman seismik dan pengambilan contoh sedimen permukaan dasar laut.

Perekaman data seismik laut 2D multikanal dilakukan dengan menggunakan sumber seismik airgun *G Gun II berkapasitas* 380 cu in. dan streamer *Sercel Seal* 60 kanal. Kapal Riset Geomarin III memiliki 2 unit kompresor seismik tipe SBM 18-44/2700 dari *Atlas Copco* masing-masing dengan kapasitas minimum 620 SCFM pada 1400 rpm dan kapasitas maksimum 800 SCFM pada 1800 rpm untuk mendukung tekanan udara airgun *G Gun II*. Kedua kompresor tersebut digerakkan oleh mesin elektrik tipe C-18 'A' Marine dari *Caterpillar* dengan daya maksimum 437 kW pada 1800 rpm. Peledakan airgun dilakukan oleh kelep (*valve*) *solenoid* yang terpasang pada setiap *airgun*. *Solenoid* ini memerlukan arus listrik pada tegangan 60 volt yang dibangkitkan oleh perangkat lunak *Gun Controller TTS* di Laboratorium Geofisika Kapal Riset Geomarin III. Prosedur pembangkitan tersebut mengikuti perintah dari sistem navigasi *Geonav* untuk setiap jarak yang telah ditentukan.



Gambar 8. Stratigrafi Kepingan Benua Sulawesi Tenggara (Surono, 2010)

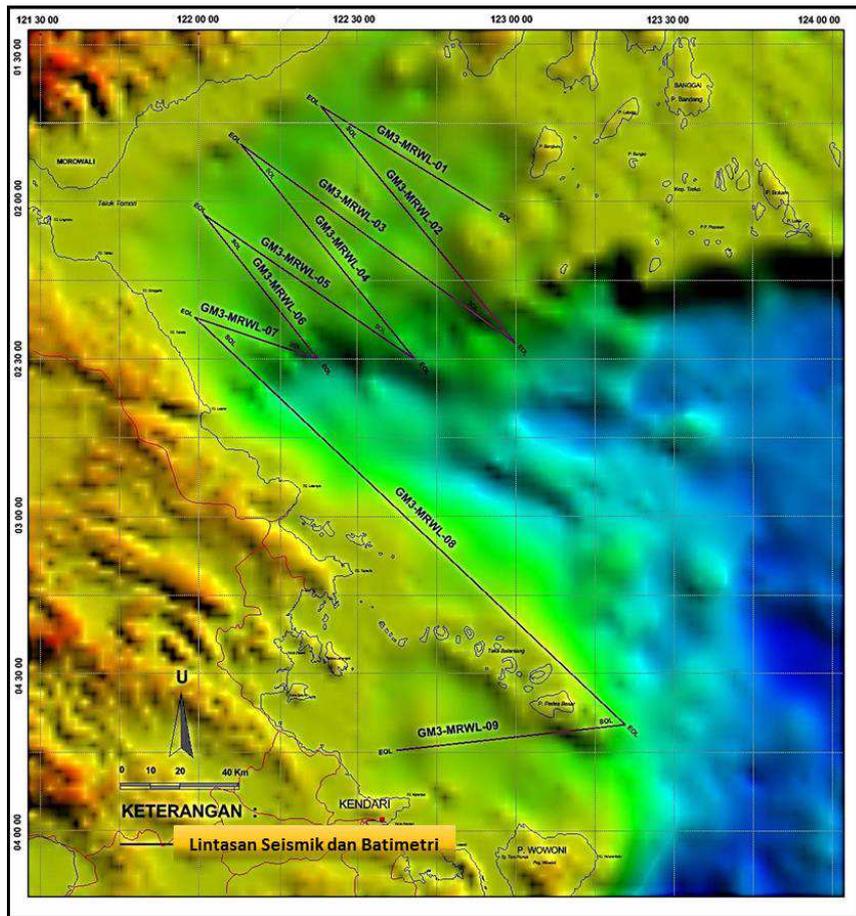
HASIL PENELITIAN

Pengambilan lintasan survei di Cekungan Banggai-Sula dan sekitarnya yang berada di perairan Morowali meliputi kedalaman dasar laut dan seismik 2D. Saat pengambilan data, kegiatan kedua pengukuran tersebut berada dalam lintasan yang sama dan dioperasikan secara bersamaan. Total panjang lintasan geofisika ini kurang lebih 817,75 km (Tabel 1) dan arah lintasan dilakukan berdasarkan pola struktur regional dan morfologi dasar laut. Pola struktur dan morfologi yang berkembang di laut mengikuti sistem tektonik Lengan Timur Sulawesi dan Lengan Tenggara Sulawesi yang dominan relatif mengarah barat-timur. Perekaman pemeruman, seismik 2D multikanal dan magnet laut sebanyak 9 (sembilan) lintasan yang terdiri dari lintasan yang berarah baratlaut-tenggara dan barat-timur (Gambar 9). Lintasan yang dengan arah relatif baratlaut-tenggara sebanyak 8 (delapan) lintasan, yaitu MRWL-01, MRWL-02, MRWL-03, MRWL-04, MRWL-05, MRWL-06, MRWL-07 dan MRWL-08. Sedangkan lintasan dengan arah timur-barat adalah 1 (satu) lintasan, yaitu MRWL-09.

Tabel 1. Lintasan survei di Cekungan Banggai-Sula dan sekitarnya

Lintasan	Koordinat		Panjang (km)	Keterangan Lintasan
	SOL	EOL		
GM3-2013-MRWL-01	122°50' 35,37"E 01° 58' 49,27"S	122°24' 37,89"E 01° 42' 52,28"S	56,400	Tenggara-Baratlaut
GM3-2013-MRWL-02	122°24' 30,26"E 01° 43' 33,48"S	122°58' 59,61"E 02° 25' 46,18"S	100,700	Baratlaut-Tenggara
GM3-2013-MRWL-03	122°58' 25,33"E 02° 25' 51,60"S	122°10' 26,20"E 01° 50' 46,65"S	108,650	Tenggara-Baratlaut
GM3-2013-MRWL-04	122°10' 05,03"BT 01° 51' 35,76"LS	122°40' 03,04"BT 02° 28' 55,39"LS	88,425	Baratlaut-Tenggara
GM3-2013-MRWL-05	122°39' 41,43"BT 02° 29' 13,52"LS	122°02' 32,55"BT 02° 03' 33,34"LS	83,550	Tenggara-Baratlaut
GM3-2013-MRWL-06	122°02' 17,04"BT 02° 04' 08,43LS	122°21' 41,73"BT 02° 28' 54,12"LS	58,125	Baratlaut-Tenggara
GM3-2013-MRWL-07	122°20' 51,46"BT 02° 29' 24,05"LS	122°00' 40,56"BT 02° 22' 31,25"LS	39,500	Tenggara-Baratlaut
GM3-2013-MRWL-08	122°00' 22,42"BT 02° 23' 08,42"LS	123°19' 58,41"BT 03° 39' 02,36"LS	203,250	Baratlut-Tenggara
GM3-2013-MRWL-09	123°39' 51,09"BT 03° 39' 48,05LS	122°37' 23,68"BT 03° 44' 36,21"LS	79,150	Timur-Barat

Keterangan: SOL = Start of line; EOL = End of line



Gambar 9. Lintasan Survei

Pengukuran kedalaman dasar laut (pemeruman) bertujuan untuk pembuatan peta batimetri, yaitu peta kedalaman dasar laut yang ditunjukkan dengan kontur-kontur kedalaman yang hasilnya dapat memberikan gambaran morfologi dasar laut. Data kedalaman dasar laut yang diperoleh sepanjang lintasan, kemudian dikoreksi dengan pasang surut di daerah survei, yaitu data pasang surut stasiun Pelabuhan Kendari, Sulawesi Tenggara. Referensi yang digunakan untuk kedalaman laut daerah studi adalah MSL (*Mean Sea Level*), dengan demikian semua kedalaman yang tertera pada peta batimetri adalah kedalaman yang sudah dikoreksi dengan MSL. Berhubung data kedalaman hanya terdapat pada lintasan pengukuran, untuk membuat kontur kedalaman secara menyeluruh maka hasil data ini dikompilasi dengan peta digital kedalaman *Maxsea*, *Google Earth*, *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) 30 detik dan peta Dishidros TNI-AL. *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) 30 detik digunakan untuk mendapatkan mosaik dengan skala elevasi permukaan dasar laut yang lebih rapat (Frias dkk., 2015). Hasil kompilasi data

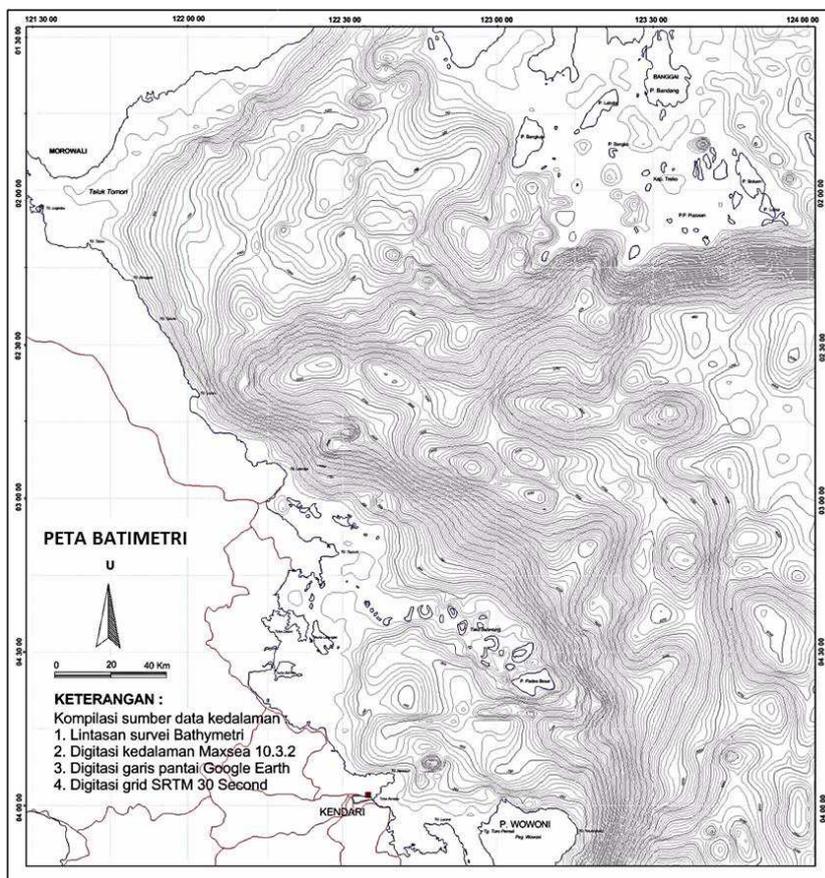
batimetri, menunjukkan bahwa pola kedalaman laut daerah studi tidak jauh berbeda dengan data digital dan global lainnya. Dari data yang diperoleh dibuat peta batimetri dengan selang kontur kedalaman 50 meter (Gambar 10).

PEMBAHASAN

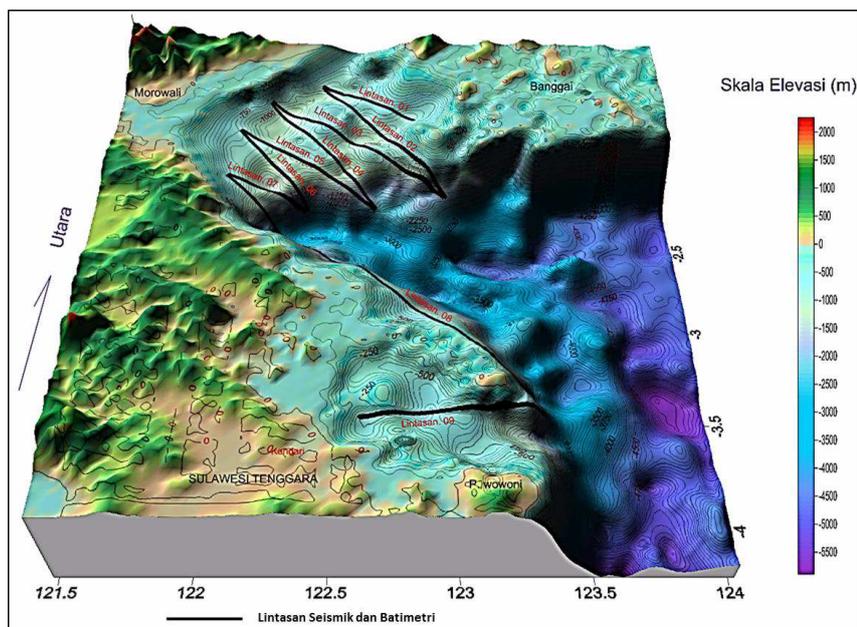
Pada umumnya pola kedalaman laut di daerah studi menunjukkan kerapatan kontur yang tinggi dengan kedalaman berkisar 500 meter sampai dengan 2000 meter. Kedalaman paling dangkal terdapat di bagian utara dengan pola kontur-kontur tertutup yang membentuk semacam cekungan-cekungan kecil yang tidak begitu curam, sedangkan kearah bagian timur dan selatan-tenggara memperlihatkan kondisi morfologi dasar laut semakin dalam dan curam. Kemungkinan pembentukan morfologi dasar laut erat

kaitannya dengan adanya proses tektonik yang berlangsung hingga sekarang (Gambar 11).

Penampang migrasi seismik 2D lintasan GM3-MRWL-01 dan GM3-MRWL-02 berada pada Kepingan Benua Banggai-Sula. Hasil interpretasi dari penampang penampang seismik 2D kedua lintasan menunjukkan pola-pola refleksi hampir seragam menjadi 6 (enam) sekuen dengan urutan unit dari umur tertua ke muda. Sekuen A diduga sebagai *seismic basement*, dicirikan oleh bentuk reflektor internal yang kuat dan makin kedalam menjadi *free reflector*. Berdasarkan sifat reflektornya, diduga batuan sekuen ini adalah batuan yang kompak dan keras. Sekuen ini sudah mengalami gangguan tektonik berupa perlipatan dan sesar. Pada penampang seismik menunjukkan adanya banyaknya sesar yang berkembang aktif dan menembus hingga kesekuen yang lebih muda. Jika dikaitkan dengan geologi regional daerah studi, maka sekuen A dapat dibandingkan dengan Kompleks Batuan Malihan (batuan sekis alas) berumur Karbon. Terlihat indikasi intrusi batuan di bagian timur lintasan yang ditafsirkan kemungkinan terobosan batuan Granit Banggai

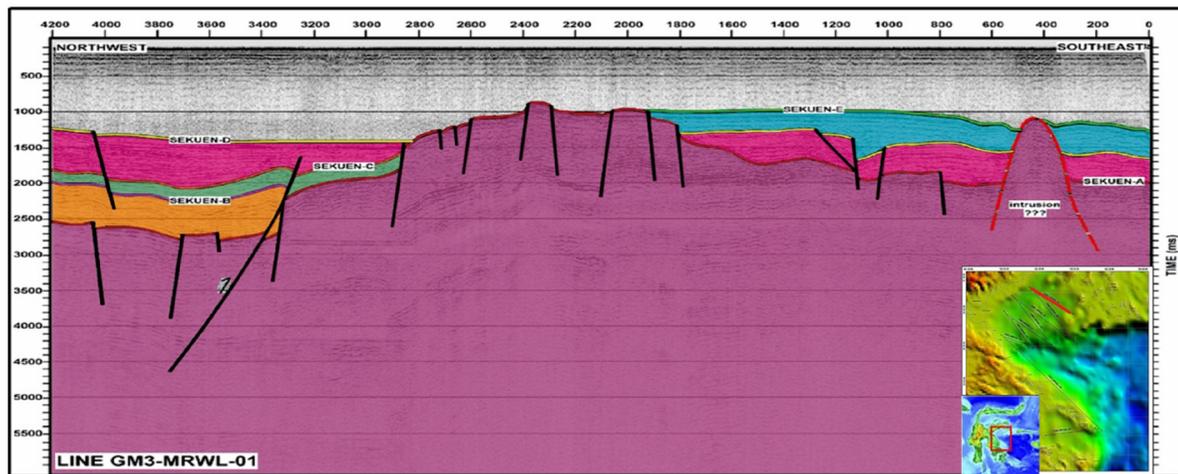
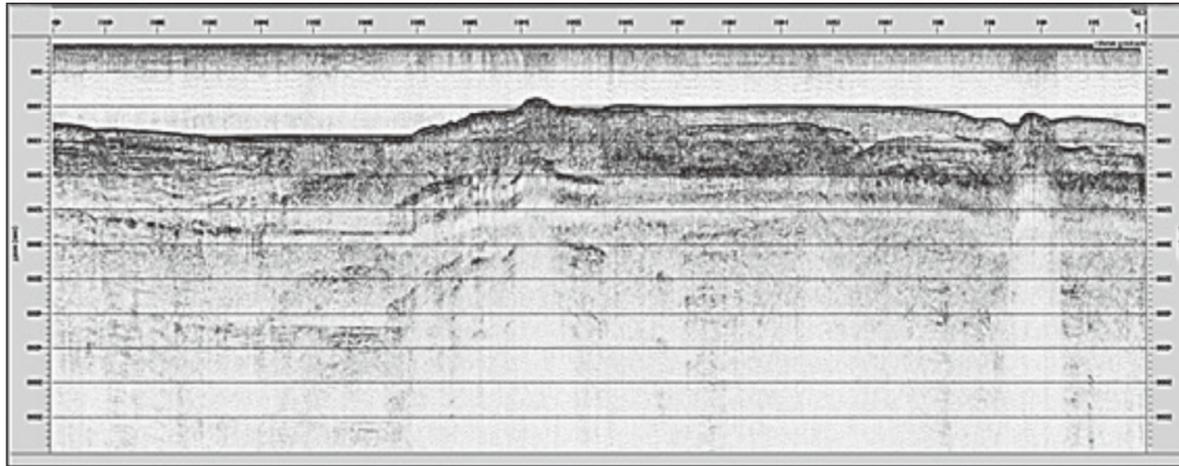


Gambar 10. Peta Batimetri



Gambar 11. Morfologi permukaan dasar laut perairan Morowali dan sekitarnya

berumur Karbon-Trias (Gambar 12). Komplek batuan malihan ini merupakan batuan tertua yang banyak tersingkap disekitar P. Banggai, P. Peleng dan pulau-pulau sekitarnya dekat dengan lintasan GM3-MRWL-01. Pola refleksi pada sekuen B adalah subparalel bagian bawah dan parallel pada bagian atas dengan amplitude sedang-lemah dan memiliki frekuensi rendah-sedang. Bagian atas sekuen ini ditafsirkan pengendapan pada lingkungan darat-laut dangkal dengan proses sedimentasi yang berlangsung kontinu dengan energi rendah-sedang dan pada bagian bawah memperlihatkan pola reflektor subparalel dan amplitude sedang. Hal ini menunjukkan saat pengendapan berlangsung pada lingkungan energinya cukup tinggi dan menandakan bahwa perlapisan sedimen bersifat butiran sedimen sedang hingga kasar yang relatif homogen. Sekuen B ini ditafsirkan dan dibandingkan dengan Formasi Nanaka tetapi tidak berkembang di bagian timur (Formasi Bobong). Formasi Nanaka ini berupa sedimen klastika kasar, terdiri atas konglomerat dan batupasir bersisipan serpih. Sedangkan Formasi Bobong, terdiri dari perselingan batupasir, konglomerat dan serpih dengan sisipan batubara. Kedua formasi ini berumur Jura, diendapkan secara takselarar diatas batuan sekis alas. Sekuen C, dicirikan refleksi frekuensi tinggi dan amplitude tinggi, pola konfigurasi reflektor dari divergen hingga oblique. Pola konfigurasi divergen ini menunjukkan adanya pengangkatan dari permukaan pengendapan dan variasi lateral pada laju pengendapan. Kenampakan dari rekaman seismik dicirikan dengan adanya

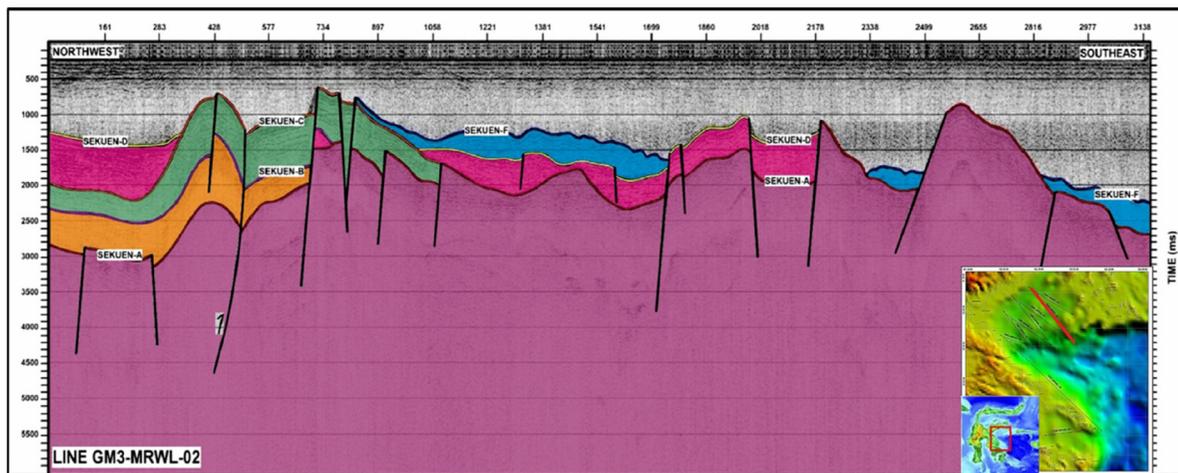
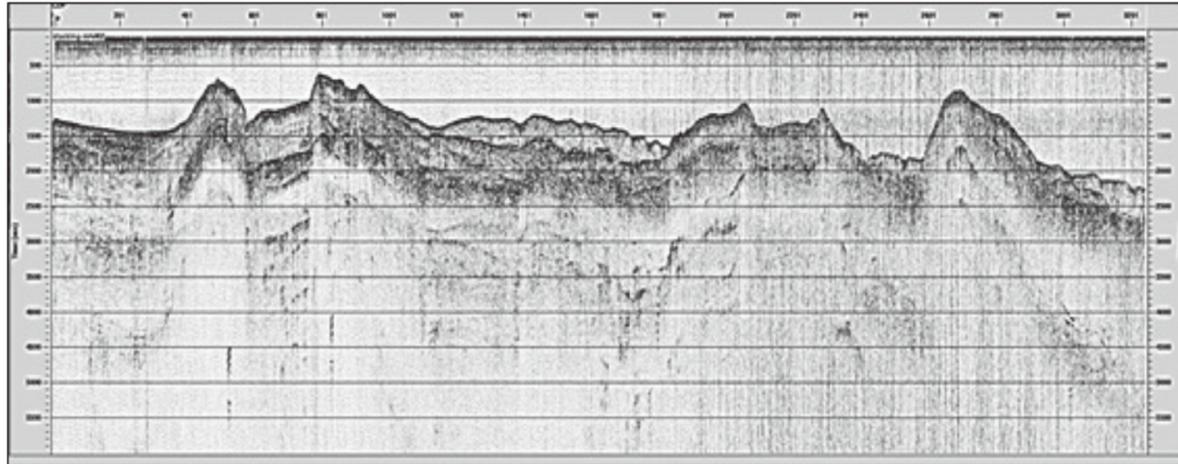


Gambar 12. Interpretasi sekuen penampang migrasi seismik 2D lintasan GM3-MRWL-01

bentuk perlapisan yang membaji. Pola konfigurasi oblique ini mempunyai ciri yang mencolok, yaitu pengendapan sedimennya sejajar dengan kemiringan yang mendekati 10°. Pengendapannya berlangsung pada lingkungan yang energinya rendah-sedang dan dilingkungan laut dangkal tepian paparan. Memiliki ketebalan lebih tipis dari pada sekuen B dengan hubungan yang selaras. Sekuen C ditafsirkan dan dibandingkan dengan Formasi Nambo tetapi tidak berkembang dibagian timur (Formasi Buya), dan berumur Jura hingga Kapur Awal. Formasi Nambo adalah batuan sedimen berbutir halus, terdiri atas napal pasiran dan napal, dan diduga berumur Jura. Sekuen D, memperlihatkan pantulan kontinu dan amplitude rendah, pola konfigurasi seismik pantul yang berlapis mempunyai kontinuitas rendah dan variasi amplitude berjalan secara perlahan atau tidak ada sama sekali. Hal ini menunjukkan saat pengendapan dalam perioda yang tenang dengan konfigurasi reflektor hampir sejajar hingga paralel. Ditafsirkan dan dibandingkan dengan Formasi Tanamu yang terdiri atas napal bersisipan batugamping kapuran dan serpih, dan berumur Kapur Akhir hingga Tersier. Sekuen E, menunjukkan adanya keseragaman dari suatu endapan yang stabil atau diendapkan pada permukaan yang sama dengan konfigurasi reflektor paralel. Pola ini mengandung sedimen yang keras, diendapkan dilingkungan yang berenergi sedang-rendah dan berada dalam lingkungan paparan. Sekuen E ditafsirkan dan dibandingkan dengan Formasi Salodik yang didominasi batugamping dengan sisipan napal. Formasi ini berumur Eosen-Miosen dan menumpang secara takselaras dengan runtunan batuan yang lebih tua dibawahnya. Sekuen E pada lintasan GM3-MRWL-02 tidak terlihat kemungkinan batas penyebarannya hanya sampai kelintasan GM-3MRWL-01. Sekuen F, dicirikan oleh bentuk internal reflektor sedang-tinggi, mempunyai kontinuitas rendah dan bagian bawah memiliki free reflector. Sekuen F, ditafsirkan dan dibandingkan dengan Terumbu Koral Kuartar berupa batugamping terumbu yang terlihat dari refleksi seismiknya (Gambar 13). Sekuen F tidak tumbuh dan tidak terlihat pada lintasan GM3-MRWL-01, dan kemungkinan batugamping tersebut masih mengalami pengangkatan yang diakibatkan oleh kegiatan tektonik. Tidak dijumpai perlapisan sedimen selama Mio-Pliosen hingga Plistosen, menunjukkan kemungkinan adanya proses pengangkatan yang diakibatkan oleh sistem

tektonik kompresi yang menghasilkan lipatan dan sesaran, dan dilanjutkan adanya proses erosi.

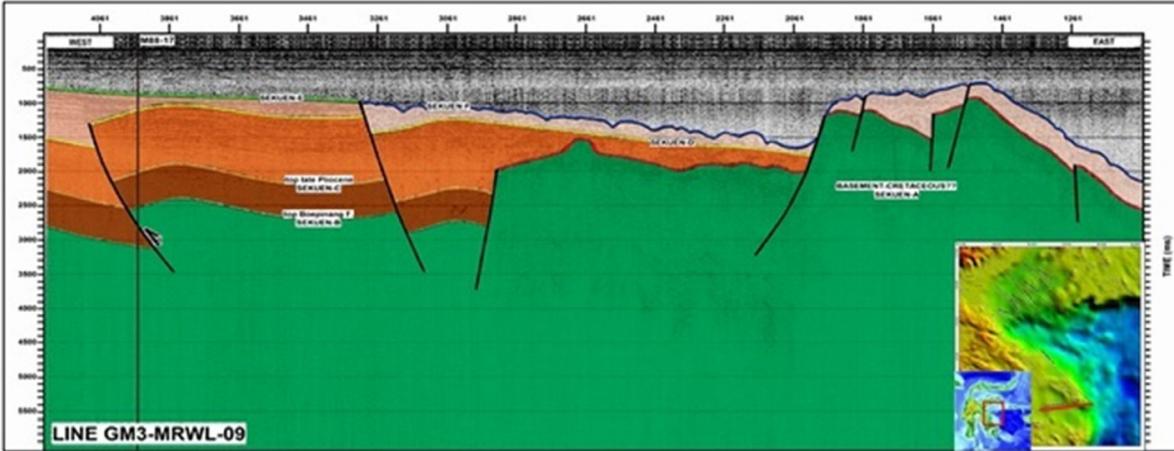
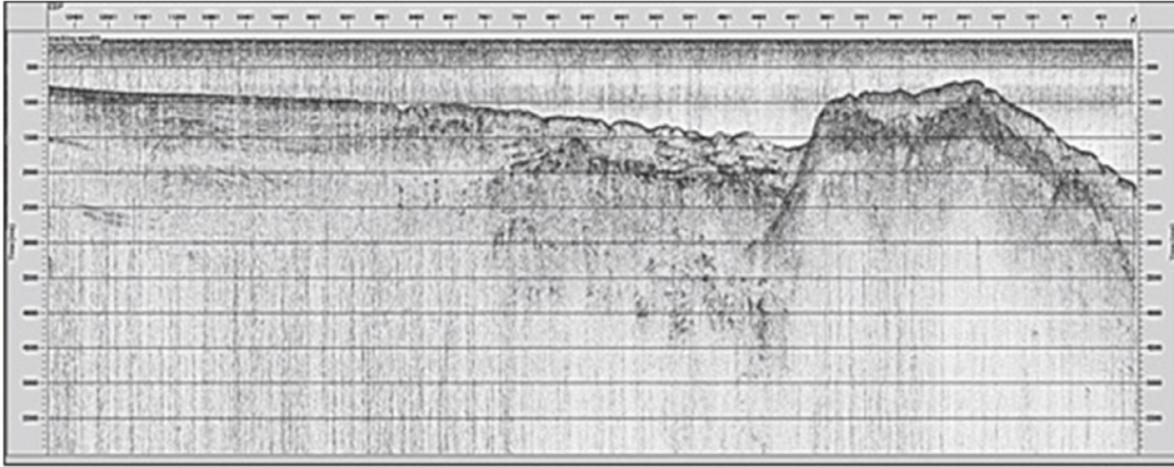
Penampang migrasi seismik 2D lintasan GM3-MRWL-09 berada pada Kepingan Benua Sulawesi Tenggara. Hasil interpretasi dari penampang seismik 2D lintasan tersebut berbeda dengan lintasan seismik yang berada di Kepingan Benua Banggai-Sula. Dari interpretasi seismik menunjukkan pola-pola refleksi hampir seragam menjadi 6 (enam) sekuen dengan urutan unit dari umur tertua ke muda. Hasil interpretasi penampang seismik GM3-MRWL-09 arah barat-timur secara umum menunjukkan pembagian dua zona (Gambar 14). Zona pertama di bagian timur, perlapisan sedimen sangat tipis dibandingkan dengan zona barat. Pada zona ini terlihat tinggian batuan dasar yang diduga berumur Kapur sebagai Top Sekuen A. Tubuh batuan ini merupakan kompleks batuan ofiolit yang berkaitan dengan dekatnya pengaruh subduksi di bagian timur-tenggara. Di atas tinggian batuan dasar ini, diatasnya tumbuh batugamping terumbu dan platform karbonat. Relief kasar dari Top Sekuen F ini diperkirakan berumur Holosen atau Kuartar ini, menunjukkan sebagai batugamping terumbu (build up reef) berkembang di zona ini. Sekuen B, C, D dan E tidak terdapat pada zona ini, disebabkan lapisan sedimen tererosi atau sedimentasi tidak sampai ke lokasi ini karena jauh dari sumber sedimen. Pada zona ke dua di bagian barat tidak terdapat sekuen A, disebabkan letaknya terlalu dalam sehingga tidak dapat ditembus oleh penetrasi seismik yang terbatas. batuan dasar relatif jauh masih dibawahnya yang belum terdeteksi hasil seismik. Pada zona ini, di bagian barat yang dekat dengan pantai memperlihatkan lapisan sedimen muda yang tebal dari top sekuen B yang diperkirakan berumur Pliosen Awal sampai Sekuen E berumur Pleistosen Akhir-Holosen. Horizon seismik yang diinterpretasikan berturut-turut: Top Sekuen B (Top Formasi Boepinang), Top Sekuen C (Top Pliosen Akhir), Top Sekuen D (Top Pleistosen Awal), dan Top Sekuen E (Top Pleistosen Akhir). Aspek tektonik, pada zona barat ini dikontrol oleh tahapan tektonik dari tahap regangan, kompresi dan kondisi stabil menghasilkan fase pre-rift, syn-rift dan post-rift. Pada fase akhir atau post-rift zona barat barat akibat kondisi tektonik kompresi menghasilkan pola struktur antiklin dan sesar naik. Terlihat dari Top Sekuen B sampai Top Sekuen D perlapisan sedimen terbentuk pola antiklin tersesarkan (*Faulted Anticline*). Struktur sesar dan beberapa perangkat antiklin yang terpatahkan pada bagian



Keterangan :

	SEKUEN-A	Kompleks Batuan Malihan
	SEKUEN-B	Formasi Nanaka/ Bobong
	SEKUEN-C	Formasi Nambo/ Buya
	SEKUEN-D	Formasi Tanamu
	SEKUEN-E	Formasi Salodik
	SEKUEN-F	Kuarter/ Formasi Peleng

Gambar 13. Interpretasi sekuen penampang migrasi seismik 2D lintasan GM3-MRWL-02



Keterangan :

SEKUEN-A	Kompleks Batuan Ofiolit
SEKUEN-B	Pliosen Awal
SEKUEN-C	Pliosen Akhir
SEKUEN-D	Pleistosen Awal
SEKUEN-E	Pleistosen Akhir
SEKUEN-F	Kuarter

Gambar 14. Interpretasi sekuen penampang migrasi seismik 2D lintasan GM3-MRWL-09

puncak dan bagian sayap dapat menjadi akhir dari proses migrasi hidrokarbon yang berkembang pada perlapisan batuan dan struktur sesar tersebut. Struktur antiklin sebagai perangkap hidrokarbon yang lebih baik dan jelas terdapat pada Lintasan GM3-MRWL-09 dengan arah barat daya - timur laut. Pada penampang tersebut terdapat struktur antiklin yang terpatahkan. Di bagian timur laut terdapat pola tinggian yang tersesarkan memotong bidang perlapisan sedimen hingga ke batuan dasar. Di bagian barat daya dari tinggian tersebut terdapat bidang sesar dan lembah. Makin ke arah barat daya terdapat bidang sesar yang saling berhadapan (graben), tetapi bidang perlapisan pada graben tersebut mengalami perlipatan membentuk pola antiklin. Di bagian barat daya terdapat struktur sesar naik dan perlapisan sedimen dengan pola perlipatan paralel. Struktur ini membentuk antiklin dengan pola sejajar dan paralel yang dibatasi oleh bidang sesar. Berdasarkan pola tersebut, maka kemungkinan terdapatnya sistem perangkap hidrokarbon dapat diidentifikasi di bagian barat daya dan bagian tengah lintasan GM3-MRWL-09 dengan pola struktur sesar dan antiklin. Hal ini ditindaklanjuti dengan adanya pengeboran sumur M88-17 di baratdaya dan bagian tengah lintasan GM3-MRWL-09.

KESIMPULAN

Hasil interpretasi penampang seismik menunjukkan bahwa di perairan Morowali dan sekitarnya terdapat enam sekuen (Sekuen A hingga Sekuen F). Sekuen A di lintasan GM3-MRWL-01 dan GM3-MRWL-02 diduga sebagai *seismic basement* dan dibandingkan dengan Kompleks Batuan Malihan (batuan sekis alas) berumur Karbon. Pada bagian timur lintasan GM3-MRWL-01, terlihat adanya indikasi intrusi yang ditafsirkan kemungkinan batuan Granit Banggai berumur Karbon-Trias. Sekuen B hingga Sekuen E diduga merupakan endapan sedimen berumur Jura-Tersier. Sekuen F ditafsirkan sebagai Terumbu Koral Kuartar.

Hasil interpretasi penampang seismik GM3-MRWL-09 arah barat-timur secara umum menunjukkan pembagian dua zona, yaitu zona pertama di bagian timur, perlapisan sedimen sangat tipis dibandingkan dengan zona barat. Pada zona ini terlihat tinggian batuan dasar, diduga berumur Kapur sebagai Top Sekuen A yang merupakan kompleks batuan ofiolit. Di atasnya tumbuh batugamping terumbu. Relief kasar dari Top Sekuen F ini diperkirakan berumur Kuartar.

Sekuen B,C,D dan E tidak terdapat pada zona ini, disebabkan lapisan sedimen kemungkinan tererosi atau sedimentasi tidak sampai kelokasi ini karena jauh dari sumber sedimen. Pada zona kedua tidak terdapat Sekuen A, disebabkan letaknya terlalu dalam sehingga tidak dapat tembus oleh penetrasi seismik yang terbatas. Pada zona ini, di bagian barat dekat pantai memperlihatkan lapisan sedimen muda lapisan sedimen muda yang tebal dari Top Sekuen B yang diperkirakan berumur Pliosen Awal sampai Sekuen Eyang berumur Pleistosen Akhir-Holosen. Dari hasil interpretasi penampang seismik lintasan GM3-MRWL-09 diperoleh struktur yang mencerminkan sistem perangkap hidrokarbon.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dan bimbingan Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan. Penghargaan kami atas kerja sama para ahli geologi dan geofisika serta teknisi Kapal Riset Geomarin III.

DAFTAR ACUAN

- de Groot, P., 2013. Global Seismic Interpretation Techniques Are Coming of Age, 23rd International Geophysical Conference and Exhibition, Society of Geophysical Exploration, h. 1-4.
- Frias, C.E., Abad, J.D., Mendoza, A., Paredes J., Ortals, C. dan Montoro, H., 2015, Planform evolution of two anabranching structures in the Upper Peruvian Amazon River, *Water Resources Research*, 51, h. 2742-2759.
- Garrad, R.A., Supandjono, J.B. dan Surono, 1989. The geology of the Banggai-Sula Microcontinent, Eastern Indonesia. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 17th Annual Convention, h. 23-52.
- Hall, R., and Sevastjanova, I., 2012. *Australian crust in Indonesia*. *Australian Journal Earth Science*, 59, h. 827-844.
- Hasanusi, D., Wijaya, R. dan Herawati, N., 2013. Formation Micro Images and Seismic Inversion are Powerful Tool For Reservoir Characterization in the Senoro Field, *Society of Petrophysics and Well-Log Analysts*, 19th Formation Evaluation Symposium of Japan.

- Patra Nusa Data (PND), 2006. *Indonesia Basin Summaries, The Gateway to Petroleum Investment in Indonesia*, Elnusa, h. 126-137.
- Pigram, C.J., Surono dan Supandjono, J.B., 1984. *Geology and regional significance of the Sula Platform, East Indonesia*. Joint Publication by Geological Research and Development Centre, Indonesia and Bureau of Mineral Resources, Australian. Geological Research and Development Centre.
- Pigram, C.J., Surono dan Supandjono, J.B., 1985. *Origin of the Sula Platform, Eastern Indonesia*. *Geology*, 13, h. 331-353.
- Roden, R., 2016. Seismic Interpretation in the Age of Big Data, Geophysical Insights, *SEG International Exposition and 86th Annual Meeting*, h. 4911-4915.
- Rusmana, E. dan Sukarna, D., 1985. Tinjauan stratigrafi Lengan Tenggara Sulawesi dibandingkan dengan daerah sekitarnya. *Proceeding of Indonesia Association Geologists (IAGI)*, 14th Annual Convention, h. 61-70.
- Rusmana, E., Koswara, A., Simandjuntak, T.O., 1993. *Peta Geologi Lembar Luwuk, Sulawesi, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sikumbang, N., Sanyoto, P., Supandjono, J.B. dan Gafoer, S., 1995. *Peta Geologi Lembar Buton, Sulawesi, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Simandjuntak, T.O., Rusmana, E., Supandjono, J.B. dan Koswara, A., 1993. *Peta Geologi Lembar Bungku, Sulawesi, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Smith, R.B., dan Silver, E.A., 1991. *Geology of a Miocene collision complex, Buton, Eastern Indonesia*. Geological Society of American Bulletin, 103, h. 660-678.
- Supandjono, JB. dan Haryono, E., 1993. *Peta Geologi Lembar Banggai, Sulawesi Maluku, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Surono, 1994. Stratigraphy of the Southeast Sulawesi continental terrane, Eastern Indonesia. *Journal of Geology and Mineral Resources*, 31, h. 4-10.
- Surono, 1996. Stratigraphic review of the Southeast Sulawesi, eastern Indonesia. *Proceedings Indonesian Association of Geologists (IAGI)*, Annual Convention.
- Surono, 1998. Geology and origin of the Southeast Sulawesi Continental Terrane, Eastern Indonesia. *Media Teknik XX (3)*, h. 33-42.
- Surono, 2010. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*, Badan Geologi, 171h.
- Surono dan Bachri, S., 2002. Stratigraphy, sedimentation and palaeo geographic significance of the Triassic Meluhu Formation, Southeast arm of Sulawesi, eastern Indonesia. *Journal Asian Earth Science*, 20, h. 177-192.
- Surono, Simandjuntak, T.O. dan Rusmana, E., 1997. Collision mechanism between the oceanic and continental terranes in the Southeast private arm of Sulawesi, eastern Indonesia. *Bulletin Geology Research and Development Centre*, 21, h. 109-125.
- Veeken, P.C.H. dan van Moerkerken, B., 2013. *Seismic Stratigraphy and Depositional Facies Models*, EAGE Publications, 494h.