

# PROSES SEDIMENTASI CEKUNGAN BONE BERDASARKAN PENAFSIRAN SEISMIK REFLEKSI DI PERAIRAN TELUK BONE SULAWESI SELATAN

## *SEDIMENTARY PROCCES OF BONE BASIN BASED ON INTERPRETATION OF SEISMIC REFLECTIONS IN THE GULF OF BONE IN SOUTH SULAWESI*

Lili Sarmili<sup>1</sup>, Dwi Indriati<sup>2</sup> dan Tites Stiawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Junjuran 236, Bandung-40174, Indonesia, Email: lsarmili@gmail.com

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Sains dan Teknik UNSOED, Jalan Mayjen Sungkono KM 5 Blater Purbalingga 53371

Diterima : 18-01-2016, Disetujui : 23-05-2016

### ABSTRAK

Secara geologi, Cekungan Bone terletak diantara Lengan Sulawesi Selatan dan Lengan Sulawesi Tenggara. Cekungan Bone terbentuk pada Paleogen-Neogen dan telah mengalami beberapa kali proses tektonik serta aktivitas magmatik. Morfologi Cekungan Bone dikontrol oleh beberapa sistem sesar yaitu sesar Walanae, Palukoro dan lainnya. Sesar-sesar ini selama Plio-Pleistosen hingga Kuartar mempengaruhi proses sedimentasi pada cekungan ini. Pada tahap awal, cekungan Bone terbentuk akibat dari proses subduksi lalu berkembang menjadi cekungan *intermontane*. Didalam Cekungan Bone tersebut terdapat beberapa sekuen yang ditafsirkan dari penampang seismik pantul, dimulai dari Kala Paleosen sampai Oligosen Awal diendapkan sekuen A. Sekuen A ditutupi Sekuen B secara tidak selaras pada Kala Oligosen Awal sampai Oligosen Akhir. Di atas sekuen B ini diendapkan Sekuen C secara tidak selaras yang mulai terbentuk pada umur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal. Sekuen berikutnya diendapkan Sekuen D yang terbentuk pada saat Miosen Awal hingga Miosen Akhir dan ditutupi Sekuen E pada lingkungan laut dangkal hingga darat. Endapan yang paling atas adalah sekuen F yang berumur Kuartar dan sebagai sedimen pengisi lembah-lembah yang dipengaruhi oleh adanya sesar Walanae yang teraktifkan kembali.

**Kata Kunci :** cekungan *Intermontane*, sesar Walanae yang teraktifkan kembali, cekungan Bone

### ABSTRACT

*Geologically, the Bone Basin is situated in between south Sulawesi Arm and southeast Sulawesi Arm. The Basin was formed on the Paleogene-Neogene time and has repeatedly processed in terms of tectonics and magmatic activities. The morphology of Bone Basin was formed by some faults system, there are Walanae Fault, Palukoro Fault and others. These faults during Plio-Pleistocene up to Quaternary times were affected their sediment of the basin. In the beginning, the Bone Basin was formed by subduction and then developed become intramontane basin. In The Bone basin there are some sequences that are interpreted from seismic reflection, started from Palaeocene to Early Oligocene was marked by A sequence. Then, it was overlid unconformity by B sequence of Early Oligocene to Late Oligocene. On the top of B sequence was deposited unconformitily by C sequence which was formed from late Oligocene to Early Miocene. Furthermore, D sequence was deposited during Early Miocene to Late Miocene and covered by E sequence of shallow marine to terrestrial environments. The youngest is F sequence which formed in the Quaternary age and as a channel filed sediment was influenced by reactivated of Walanae Fault.*

**Keywords :** *Intramontane basin, reactivated of Walanae Fault, Bone Basin*

## PENDAHULUAN

Pulau Sulawesi merupakan salah satu dari lima pulau terbesar di kepulauan Indonesia, memiliki bentuk khas seperti huruf “K”. Pulau Sulawesi ini yang terletak pada daerah dengan tektonik kompleks di zona pertemuan antara lempeng Eurasian, Indo-Australia dan Pasifik (Hamilton, 1979; Silver et al., 1983).

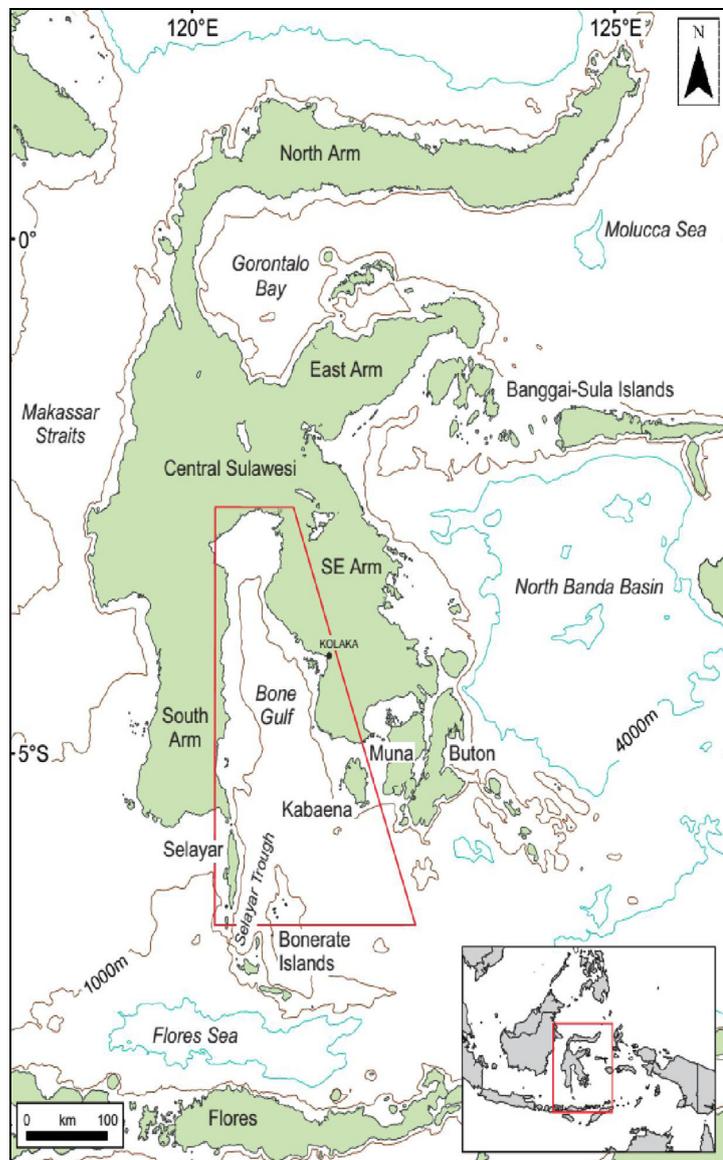
Pulau Sulawesi terbentuk dari zona tektonik yang berarah utara-selatan (Sukanto, 1975). Zona tersebut adalah dimulai dari barat ke timur yaitu Busur Vulkanik Tersier Sulawesi Barat, Busur Vulkanik Kuartar Minahasa-Sangihe, Jalur Metamorfik Kapur-Paleogen Sulawesi Tengah, Jalur Ofiolit Kapur Sulawesi Timur dan asosiasi sedimen pelagic penutup dan fragmen mikro benua Banda Paleozoik yang berasal dari Lempeng Benua Australia). Kontak antara provinsi tektonik ini adalah sesar-sesar (Gambar 2).

Pada bagian utara pulau Sulawesi terdapat Palung Sulawesi Utara yang terbentuk oleh subduksi kerak samudera laut Sulawesi, sedangkan di bagian tenggara Sulawesi terdapat Sesar Tolo yang dipicu oleh subduksi antara lengan tenggara Pulau Sulawesi dengan bagian utara Laut Banda, dimana kedua struktur utama tersebut dihubungkan oleh sesar Palu-Koro dan Matano. Di bagian barat Sulawesi terdapat selat Makassar yang memisahkan Lengan bagian barat Sulawesi dengan Busur Sunda yang merupakan bagian lempeng Eurasia yang diperkirakan terbentuk dari proses pemekaran lantai samudera pada masa Miosen, sedangkan di bagian timur terdapat fragmen-fragmen benua yang berpindah karena sesar geser dari New Guinea (Hall dan Willson 2000, dalam Armstrong, 2012).

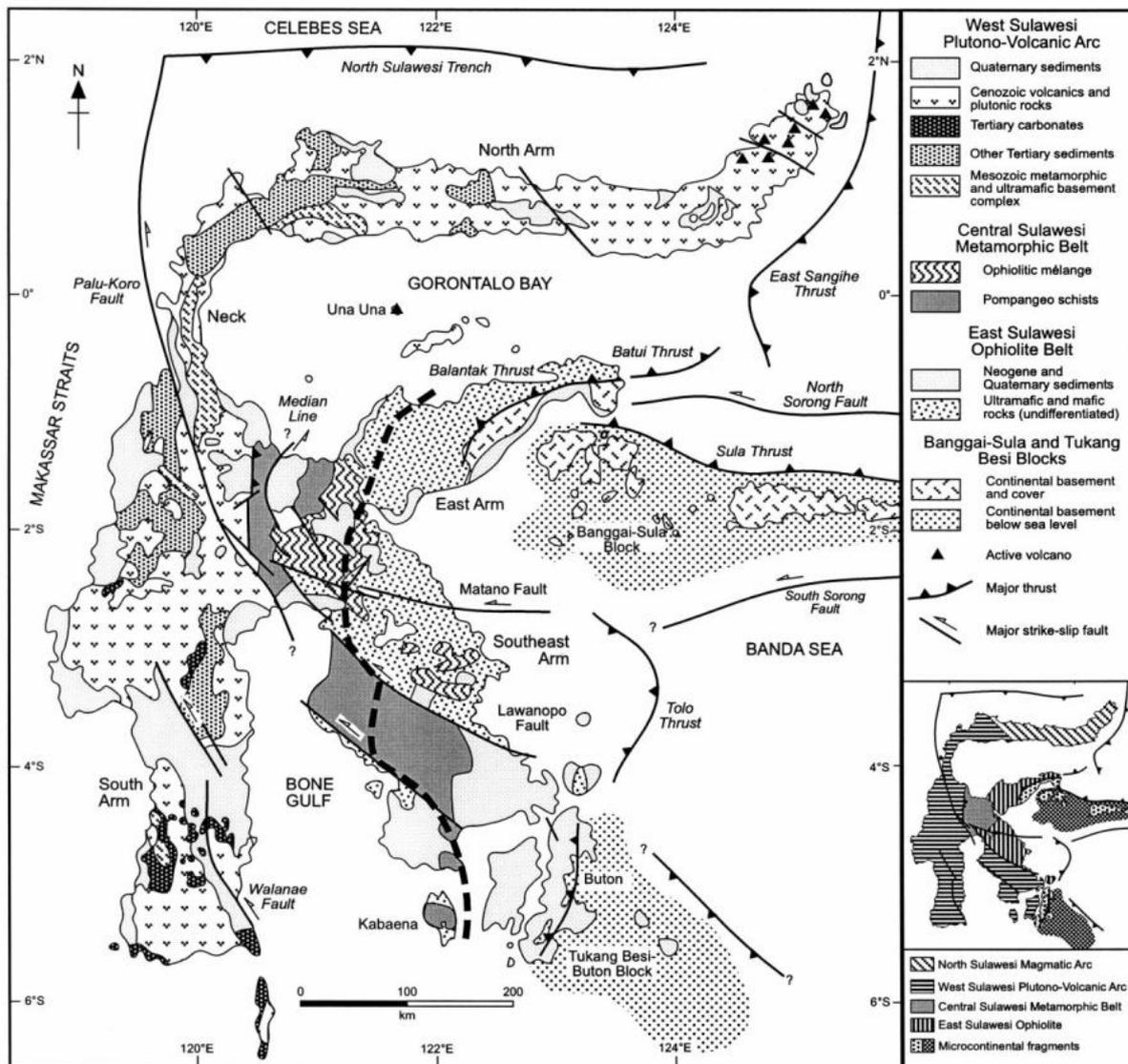
Cekungan Bone terletak di Teluk Bone (Gambar 1), dimana bagian barat dan timur di batasi oleh Lengan Sulawesi Barat dan Lengan Sulawesi Timur, bagian utara dibatasi oleh Sulawesi Tengah dan bagian selatan dibatasi oleh Laut Jawa. Teluk Bone mencakup area seluas sekitar 30.000 kilometer persegi. Kedalaman air di Teluk Bone berkisar dari 200 sampai 3.000 meter. Cekungan Bone ini dipotong oleh beberapa sesar seperti; Sesar Palu-Koro, dan Sesar Walanae, serta diapit dua tinggian yaitu tinggian Bonerate

disebelah barat dan tinggian Kabaena di sebelah timur, mengakibatkan berbagai jenis batuan bercampur sehingga posisi stratigrafinya menjadi sangat rumit.

Pada tahun 2011 Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) mengadakan survey geologi dan geofisika di daerah perairan Teluk Bone (Gambar 1) dengan menggunakan Kapal Riset Geomarin III (Sarmili, 2011). Fokus utama makalah ini adalah untuk menafsirkan proses sedimentasi di cekungan Bone berdasarkan data seismik pantul. Perbedaan karakter reflektor dalam seismik pantul ini akan ditafsirkan sebagai acuan jenis sedimen apa saja dan serta hubungan stratigrafinya dalam proses pengendapannya.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di teluk Bone, Sulawesi (modifikasi dari Camplin dan Hall, 2014).



Gambar 2. Peta Geologi Sulawesi (Hall and Wilson, 2000)

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode geofisika dan diaplikasikan untuk pemahaman ilmu geologi. Metode geofisika dimanfaatkan untuk pengambilan data antara lain data seismik, magnet kelautan dan pemeruman (echosounding). Metode geologi yang dilakukan antara lain pengambilan data berupa percontohan sedimen permukaan dasar laut ( $\pm 4$  meter), menggunakan alat jatuh bebas (gravity core) (Gambar 3). Di lapangan peneliti mengambil sampel sedimen lunak yang masih segar (*fresh*) dan dilakukan pengamatan langsung pada bagian *Top* dan *Bottom* dari sampel tersebut.

Di laboratorium dilakukan pengolahan sample sedimen langsung yang diamati secara megaskopis (sayatan poles) pada bagian *top* dan *bottom* dari inti (*core*). Pengamatan megaskopis dilakukan sesegera mungkin setelah contoh sedimen

terbuka terkena udara. Hal ini untuk menghindari perubahan khususnya warna sedimen. Peralatan yang dibutuhkan untuk pengamatan megaskopis: antara lain kaca pembesar (*lup*), komparator besar butir, komparator warna, meteran dan kamera. Tujuan pengamatan ini adalah untuk mendapatkan gambaran umum secara visual karakteristik sedimen seperti warna, besar butir, bentuk butir, pemilahan, struktur sedimen dan komposisi mineral dan fauna. Tujuan lain adalah untuk memisahkan contoh sedimen yang akan dianalisa secara mikroskopis di laboratorium dengan menggunakan mikroskop binokuler.

Data seismik dari lapangan kemudian diolah dan di monitoring kualitas perekaman selama survei berlangsung yang dilakukan oleh sebuah IBM workstation berikut software *eSQCP* system untuk menghasilkan penampang seismik tanpa



Gambar 3. Pengambilan contoh sedimen menggunakan alat jatuh bebas

mengubah bentuk kenampakan refleksi, sehingga dapat diinterpretasikan keadaan dan bentuk bawah permukaan bumi seperti apa adanya. Dari penafsiran data seismik tersebut dapat diketahui ketebalan sedimen dari beberapa lapisan sedimen, struktur geologi, bentuk cekungan dan hubungan antar sekuen secara stratigrafi serta kedalaman cekungan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kedalaman Dasar Laut (Batimetri)

Peta kedalaman dasar laut disusun secara tidak langsung memanfaatkan data lintasan seismik yang berarah utara-selatan dan berarah timur-barat. Dari hasil data interpretasi seismik pantul menunjukkan bahwa daerah penelitian mempunyai kedalaman bervariasi antara 700-2600 meter dan lebih dalam lagi di sebelah barat daya dari cekungan Bone ini yang mencapai kedalaman 3100 meter. Berdasarkan data tersebut, dibuat peta kedalaman dasar laut dengan interval kontur 200 meter. Morfologi cekungan memanjang umumnya di bagian tengah daerah penelitian mencapai kedalaman 900-2600 meter, dengan arah memanjang utara-selatan. Secara umum morfologi yang berkembang adalah bagian barat-timur membentuk dataran dengan kontur rapat, bagian utara lebih dangkal membentuk beberapa punggung kecil, sedangkan bagian tengah membentuk lembah hampir utara-selatan (Gambar 4). Pada peta batimetri terlihat lembah berarah yang baratlaut-tenggara (hampir utara-selatan),

terbuka ke arah tenggara yang dibatasi oleh gawir di sisi barat dan timurnya.

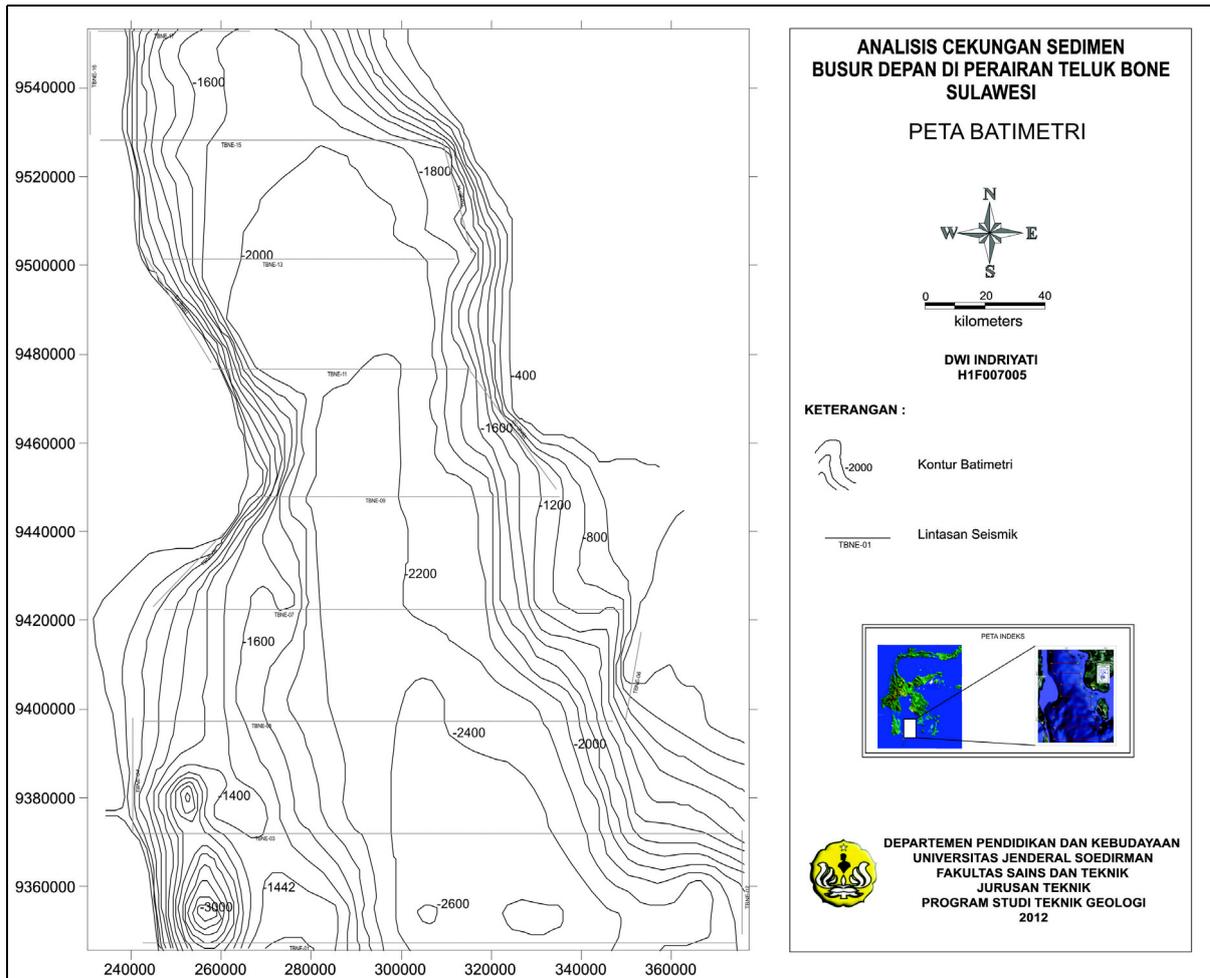
Berdasarkan bentuk 3D menunjukkan kontur yang rapat dengan kedalaman antara 700-2000 meter (Gambar 4), sedangkan pada kedalaman antara 2000-2600 meter kontur lebih terbuka dan melebar dan dapat disebut sebagai lembah pada cekungan Bone ini. Pola kontur yang menunjukkan kerapatan kontur terutama di sisi barat dan timur dari cekungan Bone ini dapat ditafsirkan sebagai batuan dasar yang muncul ke atas dan membatasi cekungan tersebut. Cekungan Bone di daerah penelitian ini ditafsirkan menjadi dua bagian yaitu bagian paling utara memiliki kedalaman antara 1500-2200 meter dan di bagian selatan dengan kedalaman antara 2000-2600 meter (Gambar 4). Adanya 2 (dua) sub-cekungan ini diduga sebagai konsekuensi adanya zona bukaan dari cekungan Bone yang mana dapat dilihat dari semakin melebarnya atau jarang kerapatan konturnya ke arah selatan atau tenggara (Gambar 5). Pada lokasi sebelah barat daya daerah penelitian kedalaman kontur menunjukkan hingga 3100 meter, lokasi ini adalah lembah yang memanjang dari utara ke selatan dan dibatasi oleh tinggian Selayar di sebelah baratnya dan tinggian Walanae di sebelah timurnya.

### Seismik Refleksi

Seismik pantul telah dilakukan baik dengan saluran tunggal maupun ganda dengan total lintasan keseluruhan adalah lebih dari 967,100 km. Lintasan seismik pantul ini mempunyai lintasan barat – timur. Penyebaran cekungan sedimen Bone adalah hampir utara – selatan sehingga lintasan seismik pantul diusahakan memotong lintasan yang barat – timur. Penampang seismik pantul memiliki arah barat – timur berjumlah 15 lintasan dengan lintasan yang terpanjang adalah 134,275 km yaitu di lintasan 3 dan yang terpendek adalah di lintasan 17 yaitu sepanjang 34,525 km (Gambar 6).

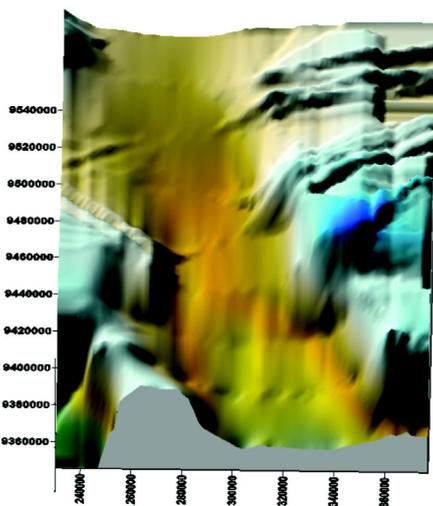
Interpretasi rekaman seismik dilakukan berdasarkan pengenalan terhadap ciri-ciri reflektor. Pengenalan lainnya adalah kenampakan batas antara sedimen dan batuan dasar (*basement*) yang ditandai oleh penguatan reflektor sebagai bidang batas.

Seismik pantul telah dilakukan baik dengan saluran tunggal maupun ganda dengan total lintasan keseluruhan adalah lebih dari 967,100 km. Lintasan seismik pantul ini mempunyai lintasan

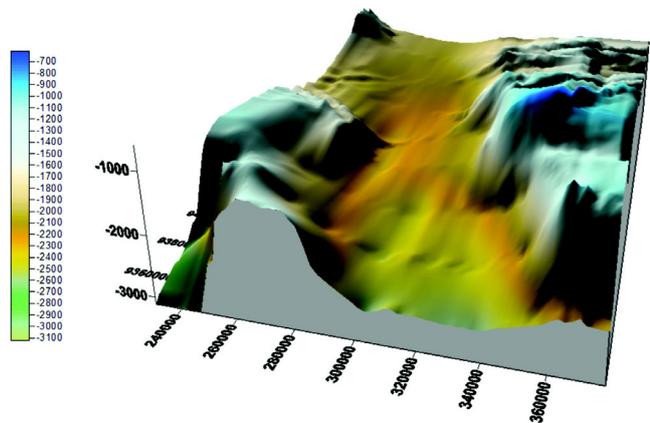


TAMPILAN BATIMETRI 3D

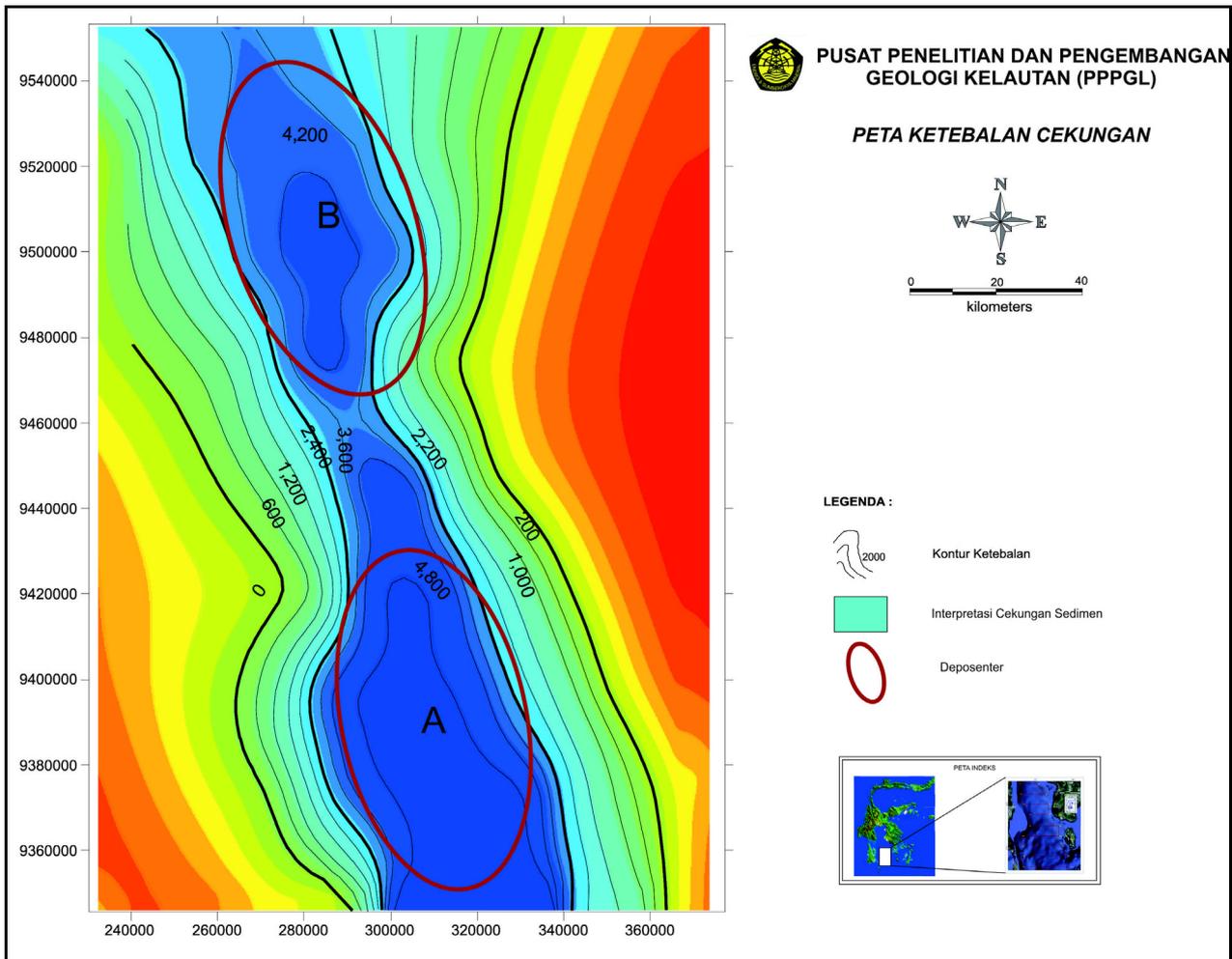
TAMPAK ATAS



TAMPAK DEPAN



Gambar 4. Peta batimetri daerah penelitian dan tampilan 3-D (Indriyati, 2012)



Gambar 5. Kesebandingan kolom stratigrafi dari Harland (1989) dengan hasil interpretasi seismik pantul daerah penelitian (Indriyati, 2012)

barat – timur. Penyebaran cekungan sedimen Bone adalah hampir utara – selatan sehingga lintasan seismik pantul diusahakan memotong lintasan yang barat – timur. Penampang seismik pantul memiliki arah barat – timur berjumlah 15 lintasan dengan lintasan yang terpanjang adalah 134,275 km yaitu di lintasan 3 dan yang terpendek adalah di lintasan 17 yaitu sepanjang 34,525 km. Hanya beberapa lintasan seismik terutama yang berarah barat - timur yang ditafsirkan dan dianggap mewakili daerah penelitian terutama kaitannya dengan sesar yang ada di lokasi penelitian.

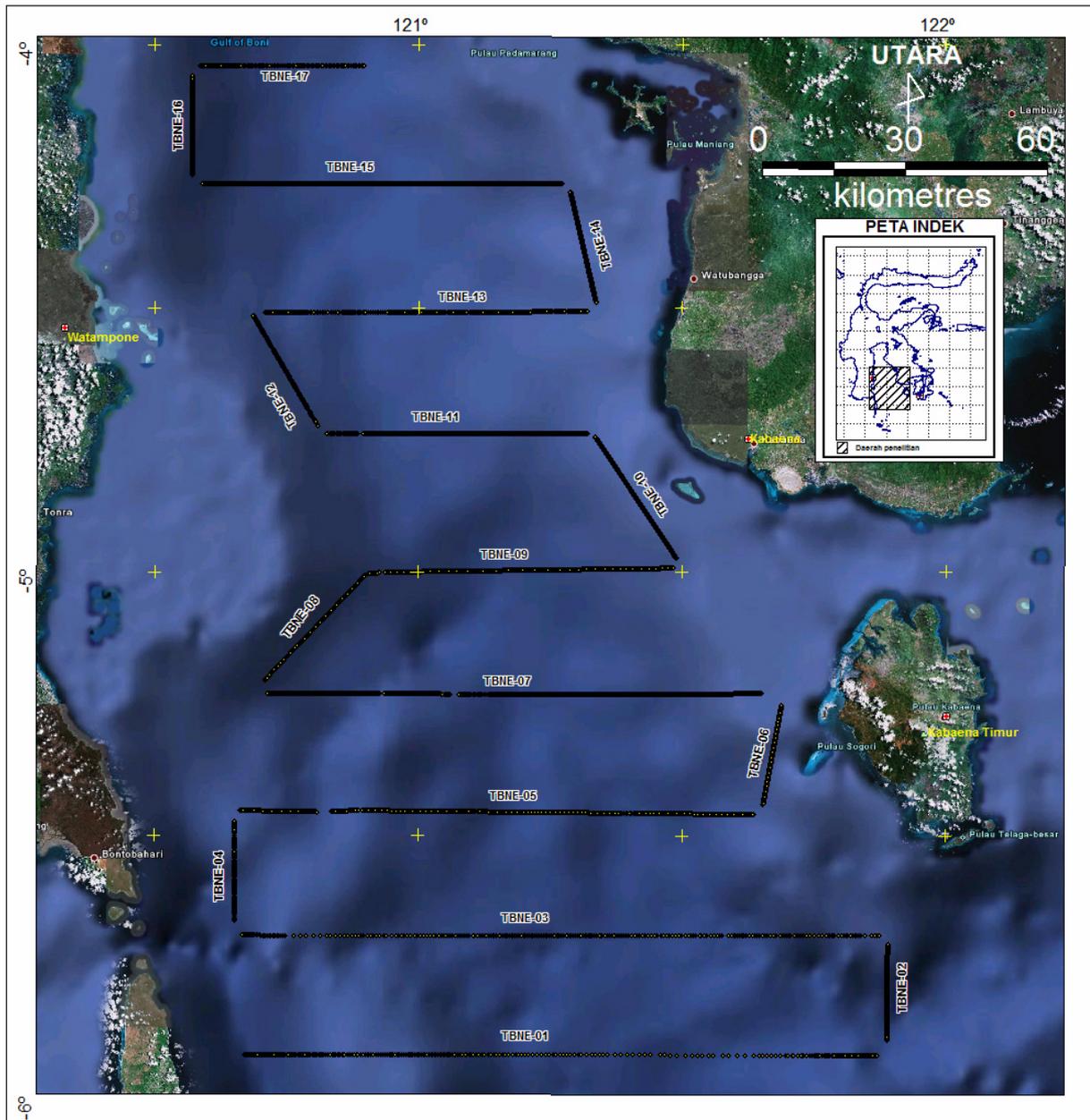
### Lintasan 1

Penampang seismik pantul Lintasan 1 merupakan penampang dari barat ke timur dengan sistem sekuen telah ditafsirkan menjadi 6 (enam) sekuen, dari bawah (tua) hingga ke atas (muda) yaitu dari sekuen A hingga sekuen E yang merupakan sekuen termuda. Ketebalan sedimen di

lintasan ini dapat mencapai 3000 ms atau sekitar 2700 meter (Gambar 7).

Batuan dasar yang merupakan batuan tertua dalam penampang seismik sehingga dapat disebut sebagai batuan dasar akustik. Menutupi di atas sekuen batuan dasar akustik diperkirakan dengan batas tidak selaras, adalah sekuen A dimana pada bagian atasnya mempunyai pola reflektor hampir sejajar (subparallel), transparan dan *hummocky*, yang ditafsirkan sebagai sedimen berbutir kasar, kadang-kadang di bawahnya terdapat reflektor sejajar dari sedimen berbutir halus. Ketebalan dari sekuen ini tidak dapat dihitung dikarenakan bagian bawahnya berupa bagian yang tererosi. Sekuen ini ditafsirkan terdapat kedalaman dari 4000 hingga 4500 detik (twt) atau sekitar 450 meteran tebalnya.

Di atas menutupi sekuen A, adalah sekuen B dengan pola reflektor sejajar (parallel), agak transparan, lapisan sedimen ini diperkirakan



Gambar 6. Lintasan Batimetri, seismik pantul dan magnetik kelautan

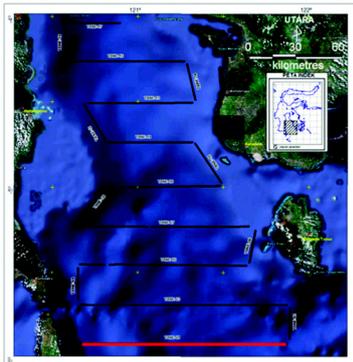
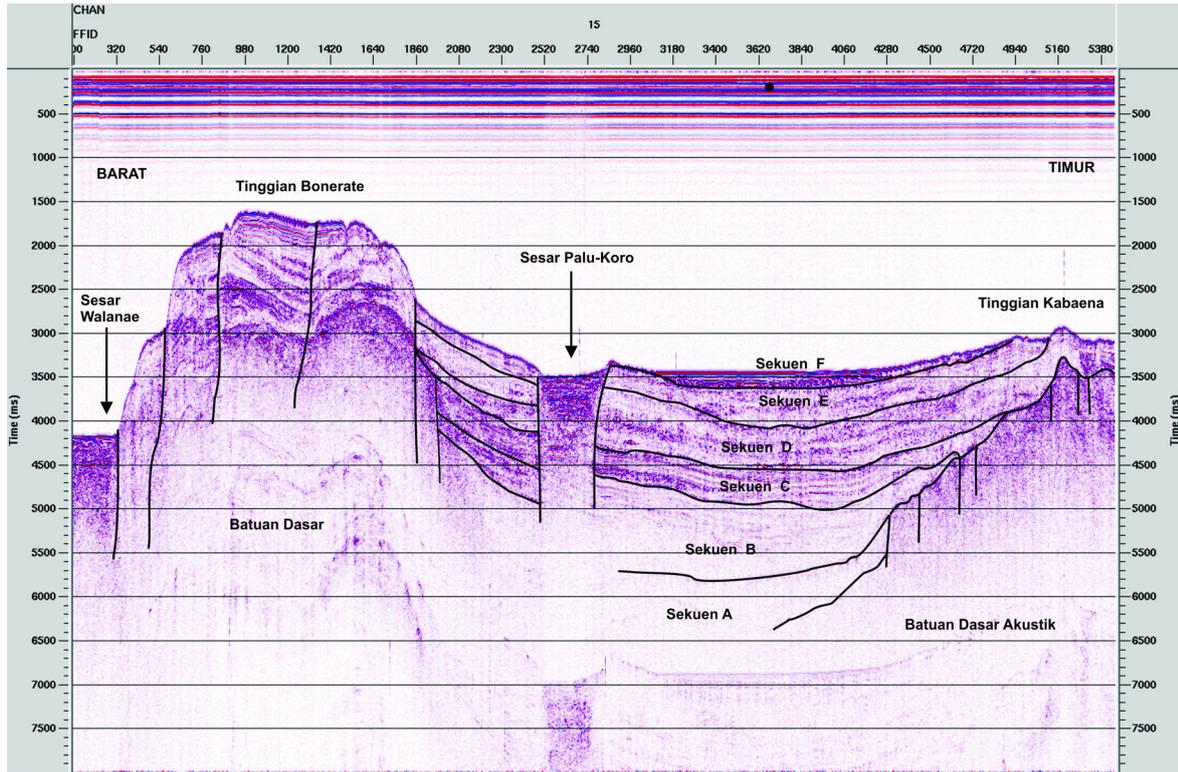
mempunyai ukuran butir yang agak kasar, mulai di bagian tengah hingga ke ujung timur penampang terlihat adanya penipisan sedimen. Juga di bagian tengah terlihat adanya struktur sedimen menjari yang mungkin diperkirakan adanya perubahan fasies sedimen terutama ukuran butir yang kasar berada di bagian barat dan menghalus ke bagian timur. Diperkirakan ketebalan sekitar 900 meter. Hubungan stratigrafi antara sekuen B dan A ini diperkirakan tidak selaras.

Sekuen C diperkirakan menutupi sekuen B secara tidak selaras mempunyai pola reflector yang bagian bawah hampir sejajar (sub parallel) dan yang paling atas bergelombang. Sekuen ini

memiliki pola reflektor yang mewakili fraksi halus. Ketebalan sekuen ini diperkirakan sekitar 200 meter. Semakin ke arah timur, sekuen ini menipis dengan pola reflektor di atasnya hampir sejajar (sub parallel).

Diatas sekuen C ini diendapkan secara tidak selaras sekuen D. Sekuen ini memiliki pola reflector agak berbeda yaitu mempunyai pola reflector *sigmoid* yang menandakan adanya sedimentasi asal darat berupa endapan delta atau sungai dari bagian sebelah barat. Ketebalan sekuen ini diperkirakan sekitar 700 meter. Semakin ke arah timur, sekuen ini menipis dengan pola reflektor di atasnya hampir sejajar (sub parallel).

LINTASAN 1



Gambar 7. Penampang seismik pantul Lintasan 1 dari barat ke timur.

Di atas sekuen D ini adalah sekuen E yang mempunyai karakter reflektor sejajar bergelombang dan kadang-kadang bebas reflektor, ditafsirkan sebagai sedimen berbutir halus sampai agak kasar. Hubungan stratigrafi dengan sekuen D di bawahnya diduga merupakan batas ketidak selarasan (*disconformity*). Ketebalan dari sekuen ini diperkirakan dapat mencapai 500 ms atau sekitar 450 meter.

Sekuen F merupakan sekuen paling muda diendapkan secara tidak selaras dan merupakan sedimen termuda di daerah penelitian. Sekuen ini merupakan sekuen yang diperkirakan berasal dari erosi sungai dimana mungkin dahulunya seluruh sekuen yang sudah diendapkan pernah menjadi daratan pada waktu zaman es sehingga aktifitas

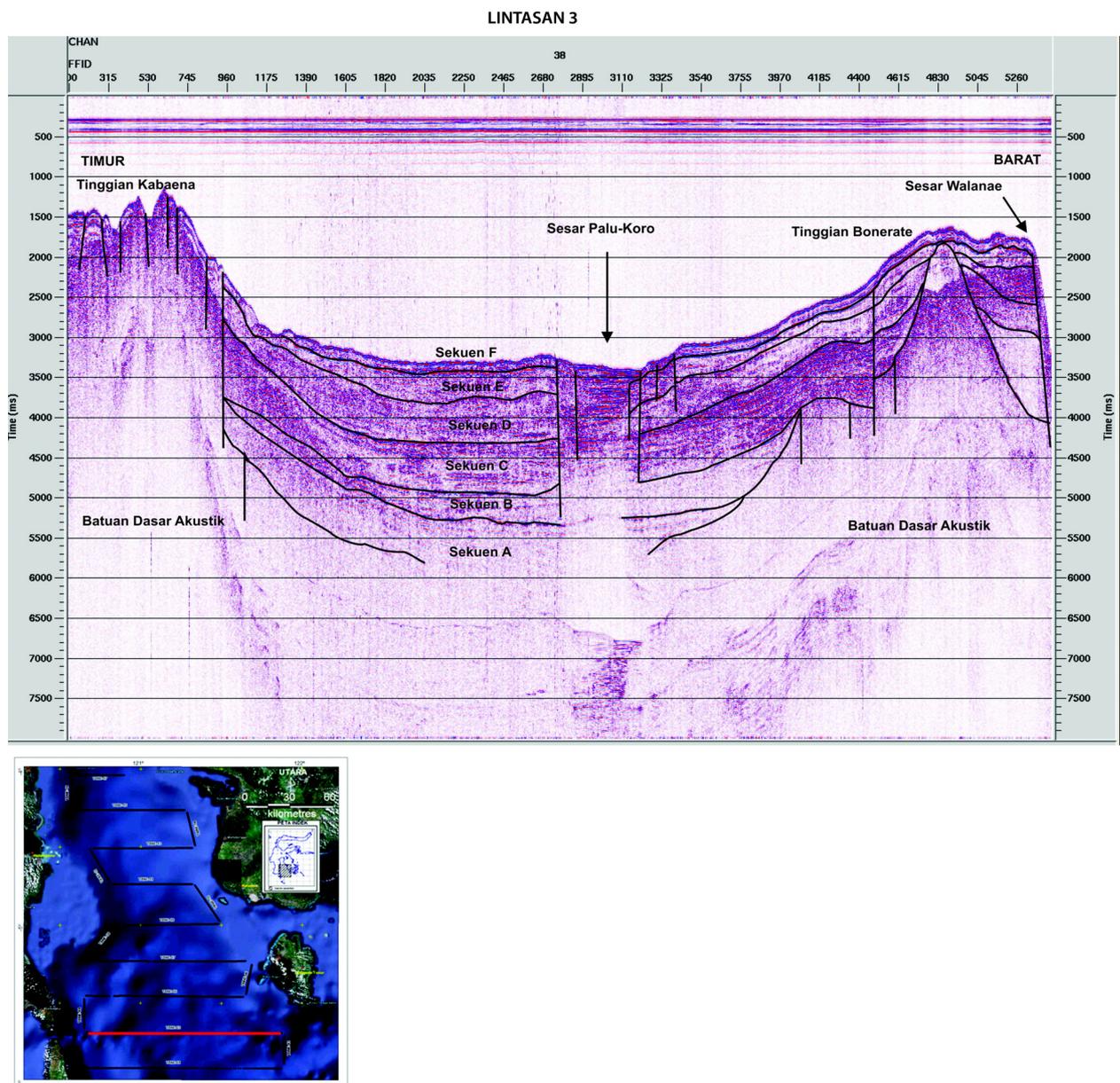
sungai berperan sangat aktif di kala itu. Struktur *cut and fill* sangat baik berkembang dan peran sungailah yang mengerosi dan mengisi sedimen pada sekuen ini. Ketebalan sekuen ini bervariasi terutama di bagian struktur *cut and fill* nya cukup tebal tetapi di bagian lainnya menyebar tidak terlalu tebal. Sekuen F ini berkembang sangat baik terutama di bagian ujung barat dari penampang seismik pantul, dalam penampang terlihat sekuen ini mengisi lembah bagian barat yang merupakan lembah sesar yang disebut sesar Wallanae. Bagian barat dari penampang ini adalah merupakan lokasi yang terdekat dengan daratan sehingga seluruh sedimen berasal dari daratan akan diendapkan di lembah sesar ini, hanya saja asal sedimen ini tidak dapat mencapai ke arah timur dikarenakan adanya

bidang sesar yang berupa bukit yang cukup menonjol dan nampaknya menghambat laju sedimentasi ke arah timur.

Penampang seismik lintasan 3 berarah timur - barat ini dicirikan suatu cekungan yang diisi oleh sedimen diantara kedua tinggian di sisi barat dan timurnya (Gambar 8). Dari sisi timur, dimulai dari puncak bukit yang bergelombang dan runcing yang mencirikan adanya batuan yang cukup keras dan cukup tahan akan erosi, selain itu terlihat struktur sesar pada morfologi ini. Endapan sedimen yang mengisi cekungan ini secara keseluruhan mempunyai ketebalan sekitar 2300 meter.

Sekuen A ini merupakan sedimen dasar akustik yang dianggap sebagai yang tertua di

penampang seismik pantul di daerah penelitian. Ketebalan sekuen A ini terutama di bagian tengah penampang diperkirakan sekitar 500 meter. Di atas sekuen A ini, diendapkan sekuen B yang diperkirakan diendapkan secara tidak selaras, mempunyai pola reflektor hampir sejajar dan banyak ditemukan difraksi juga kadang-kadang transparan. Sedimen yang mewakili sekuen A ini ditafsirkan merupakan sedimen yang terpadatkan, yang diakibatkan menahan beban di atasnya. Bagian yang paling tebal dari sekuen B ini berada di bagian barat dan bagian timur adalah yang paling tipis. Hal ini dikarenakan sumber sedimen berasal dari bagian barat dimana tepian Lengan Sulawesi



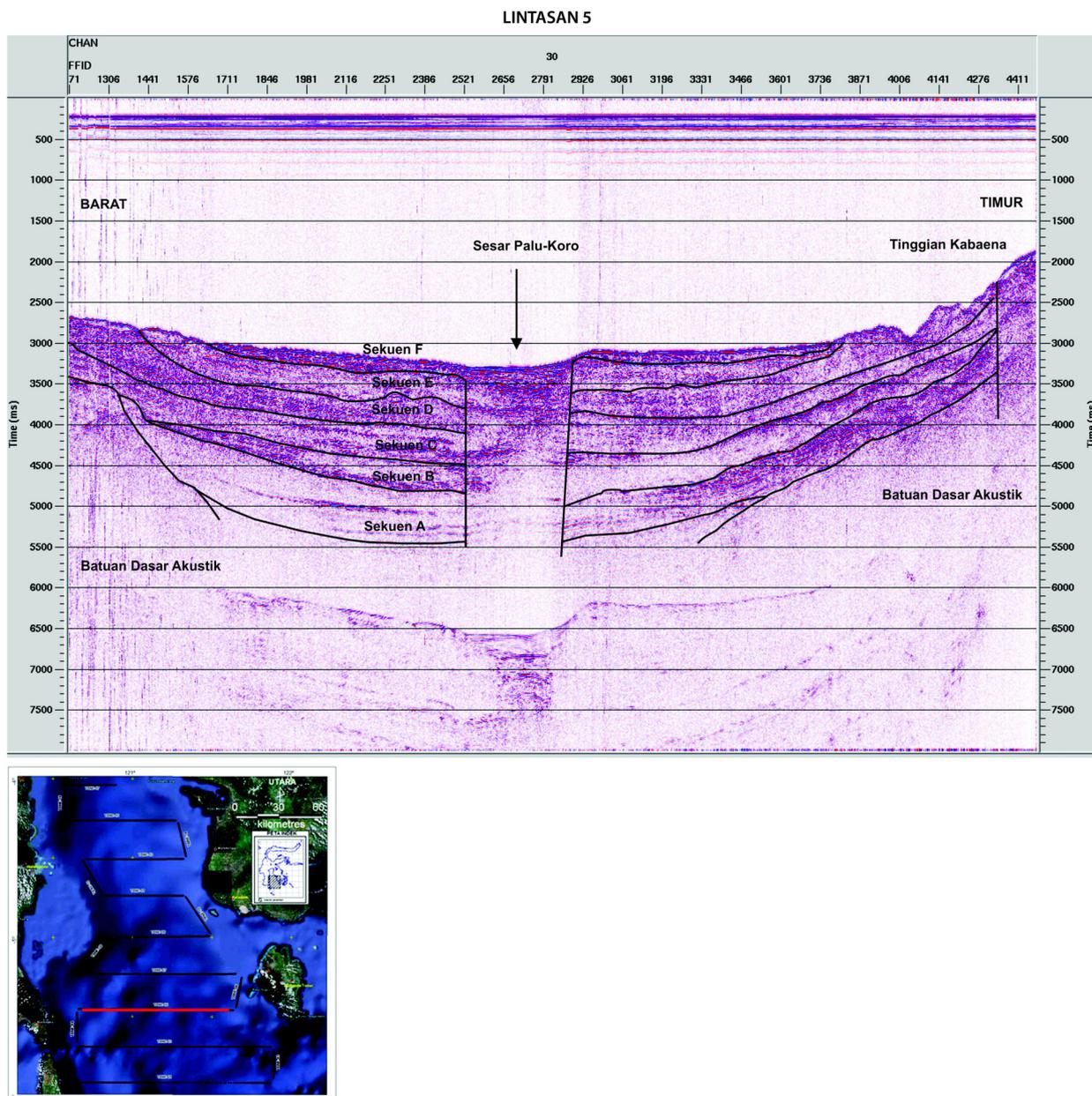
Gambar 8. Penampang seismik pantul Lintasan 3 dari timur ke barat

Bagian Selatan berada di sebelah barat. Bagian yang paling tebal adalah sekitar 500 - 750 meter.

Sekuen C diperkirakan menutupi sekuen B secara tidak selaras mempunyai pola reflector yang bagian bawah hampir sejajar dan yang paling atas bergelombang dan kadang-kadang ditemui pola *sigmoid*. Sekuen C diendapkan terlebih dahulu, diperkirakan mempunyai pola reflector yang mewakili fraksi halus sedangkan pola sigmoid dan sub parallel merupakan sekuen D di atasnya yang diperkirakan berupa endapan delta. Ketebalan dari sekuen C dan D adalah yang paling tebal sekitar 2000 meter. Sekuen E merupakan sekuen termuda yang berupa sedimen pengisi

pada struktur *cut and fill* yang diperkirakan hasil erosi dari sungai asal daratan. Pada umumnya sedimen ini mengisi cekungan hasil erosi dan juga menutupi seluruh sekuen di cekungan Bone ini.

Penampang seismik Lintasan 5 dimulai dari sebelah barat dan berakhir di sebelah timur dari Teluk Bone (Gambar 9). Pada lintasan 1 dan 3 sebelumnya, ujung barat lintasan seismik biasanya terdapat tinggian yang membatasi cekungan Bone bagian barat, yaitu tinggian sesar Wallanae, tetapi di lintasan 5 ini tidak ada lagi tinggian tersebut. Hal ini dikarenakan, sesar Wallanae sudah berbelok kearah barat laut yaitu menerus ke arah Lengan Sulawesi Bagian Barat.



Gambar 9. Penampang seismik pantul Lintasan 5 dari barat ke timur

Dimulai dari sekuen yang paling tua (batuan dasar akustik) yang ditafsirkan di kedalaman 5250 detik (twf) yang merupakan bagian yang terdalam dari seluruh sekuen. Menutupi batuan dasar akustik secara tidak selaras adalah sekuen A yang mempunyai pola bebas reflektor dan kadang-kadang dijumpai pola signal yang terdifraksikan. Batuan sedimen pada sekuen A ini diduga berupa batuan fraksi kasar yang padat dan keras. Ketebalan dari sekuen A ini yang paling tebal adalah sekitar 0,5 detik atau sekitar 750 meteran.

Sekuen B yang menutupi sekuen A di bawahnya, mempunyai ciri pola reflektor transparan dan kadang-kadang pola hampir sejajar (*sub parallel*), yang ditafsirkan sebagai sedimen berfraksi halus sampai kasar. Ketebalan maksimal terdapat di bagian tengah sekitar 750 meter. Dibagian sisi sebelah barat dan timur sekuen ini menipis, hal ini ditafsirkan adanya pola tekanan dari kedua sisinya.

Sekuen C mempunyai pola reflektor sejajar (*parallel*) hingga hampir sejajar (*sub parallel*), sekuen ini ditafsirkan sebagai sedimen yang mempunyai fraksi halus hingga sedang yang menipis ke arah timur dan menebal ke arah barat. Sekuen D mempunyai pola reflektor yang berupa *sigmoid* terutama di bagian baratnya. Hal ini dapat ditafsirkan adanya aktifitas sedimen yang berupa delta yang aktif mengendapkan sedimen di sekuen D ini. Pola reflektor sigmoid tersebut membentuk dan mengarah ke arah timur yang menandakan arah sedimentasi dari barat ke timur. Sekuen D ini ditutupi sekuen E secara tidak selaras dengan ketebalan maksimal 400 ms atau 360 meter. Sekuen F berupa sekuen termuda yang merupakan sedimentasi didalam cekungan-cekungan kecil hasil erosi. Sekuen ini diperkirakan berupa pengisi lembah-lembah yang diisi oleh sedimen hasil erosi sedimen/batuan disekitarnya.

Penampang seismik Lintasan 7 (Gambar 10) dimulai dari arah timur ke arah barat tetapi hanya merupakan sebagian lintasan saja. Batuan dasar ini diperkirakan sebagai batuan yang mewakili batuan kerak samudera yang menjam ke arah barat pada waktu Paleogen (Hamilton, 1979, 1989; Katili, 1978, 1989). Batuan ini dicirikan oleh pola reflektor yang transparan hingga chaotic (bias) dan batuan ini tersesarkan. Didalam cekungan sedimennya beberapa pola reflektor dapat dibedakan untuk menafsirkan adanya beberapa sekuen yang berbeda.

Sekuen A sebagai sekuen tertua mempunyai pola reflektor yang transparent dan di beberapa tempat menunjukkan adanya pola difraksi. Pola

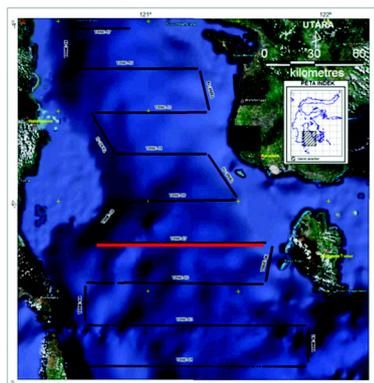
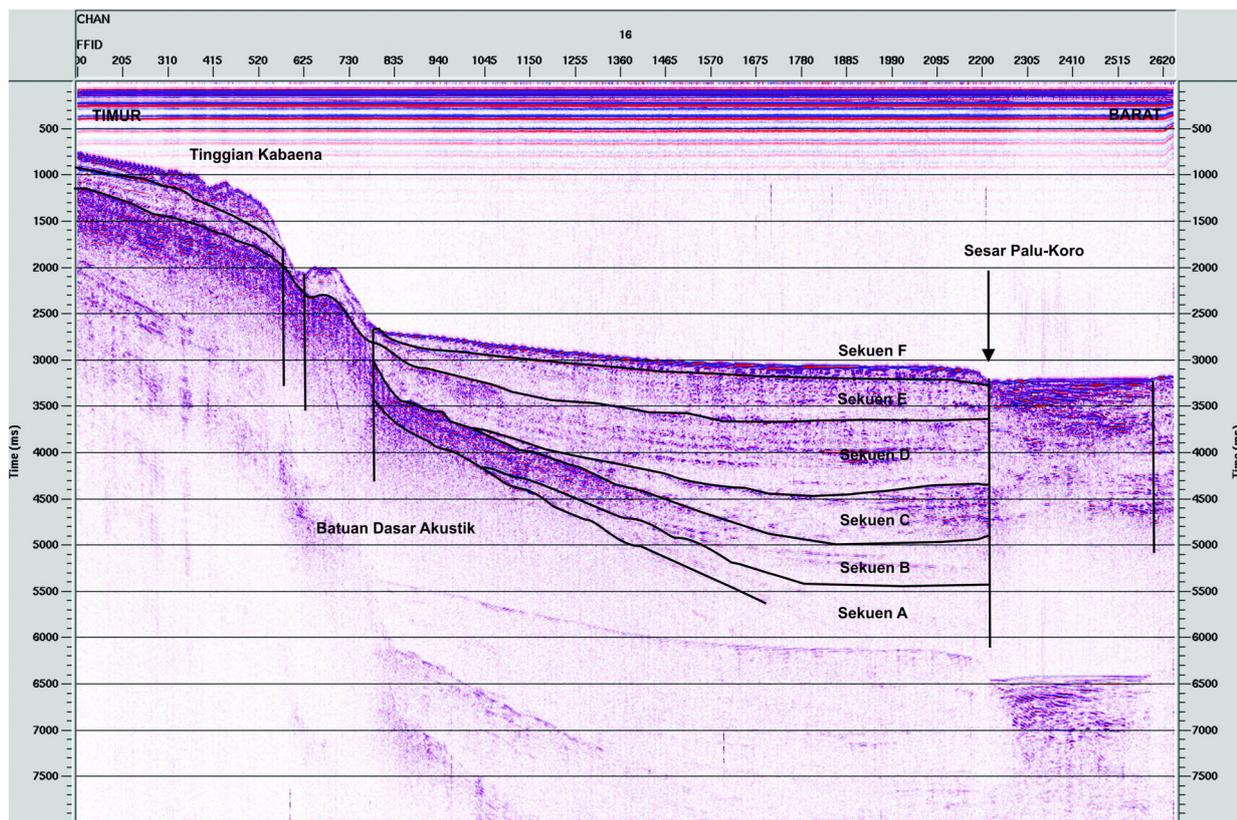
difraksi ini sangat khas di Laut Banda dimana jika di bawahnya terdapat batuan kerak samudera maka lapisan penutupnya biasanya berupa lempung pelagik yang mempunyai pola difraksi. Jadi, sekuen A merupakan sekuen yang diwakili oleh sedimen berfraksi halus dan mempunyai ketebalan maksimal 500 ms atau sekitar 450 meter.

Di atasnya ditutupi secara tidak selaras oleh sekuen B yang mempunyai pola reflektor *transparent* dan hampir sejajar (*sub parallel*) yang dapat ditafsirkan sebagai sedimen berfraksi halus sampai kasar. Ketebalan dari sekuen B ini sekitar 400 ms atau 360 meter, di atas sekuen B terdapat sekuen C dengan ketebalan maksimal 600 ms atau 540 meter, sedangkan sekuen D memiliki ketebalan maksimal 800 ms atau sekitar 700 meter. Pola reflektor dari sekuen C ini umumnya berlapis dengan tanda pola reflektornya sejajar (*parallel*) dan ditafsirkan jenis sedimennya berfraksi halus, sedangkan sekuen D mempunyai pola reflektor sigmoid ke arah timur dan juga dijumpai pola hampir sejajar (*sub parallel*). Pola reflektor dari sekuen D ini diperkirakan dibagian baratnya berupa endapan delta yang mengalir dari barat ke timur dan sebagian lagi berupa sedimen berfraksi halus hingga sedang. Di atas sekuen D ini diendapkan sekuen E dengan ketebalan maksimal 400 ms atau sekitar 350 meter. Pola reflektor dari sekuen E ini umumnya *chaotic*, transparent dan bagian atasnya sejajar. Umumnya berupa sedimen berfraksi kasar dibagian bawah dan fraksi halus di bagian atasnya.

Di atas sekuen E ini ditutupi oleh sekuen F yang berupa sedimen termuda dan endapan ini biasanya mengisi cekungan-cekungan kecil hasil erosi (*cut and fill structure*). Sekuen D ini merupakan endapan channel atau sungai purba. Secara keseluruhan pada lintasan ini ketebalan cekungan sedimen Bone diperkirakan sekitar 1800 hingga 2500 meter.

Penampang seismik pada Lintasan 15 (Gambar 11) dimulai dari barat ke timur, yang memperlihatkan batuan dasar akustik, batuan dasar, dan beberapa sekuen sedimen di atasnya. Dimulai dari sekuen yang paling bawah yaitu sekuen A dengan pola bebas reflektor yang diperkirakan berupa sedimen berfraksi halus sampai kasar. Ketebalan dari sekuen ini maksimal 600 ms atau sekitar 540 meter, yang menipis ke arah sisi timur. Sekuen B mempunyai pola reflektor sejajar hingga hampir sejajar yang ditafsirkan sebagai sedimen berfraksi halus hingga sedang dengan ketebalan maksimal 500 ms atau sekitar 450 meter. Endapan sedimen Sekuen B ini

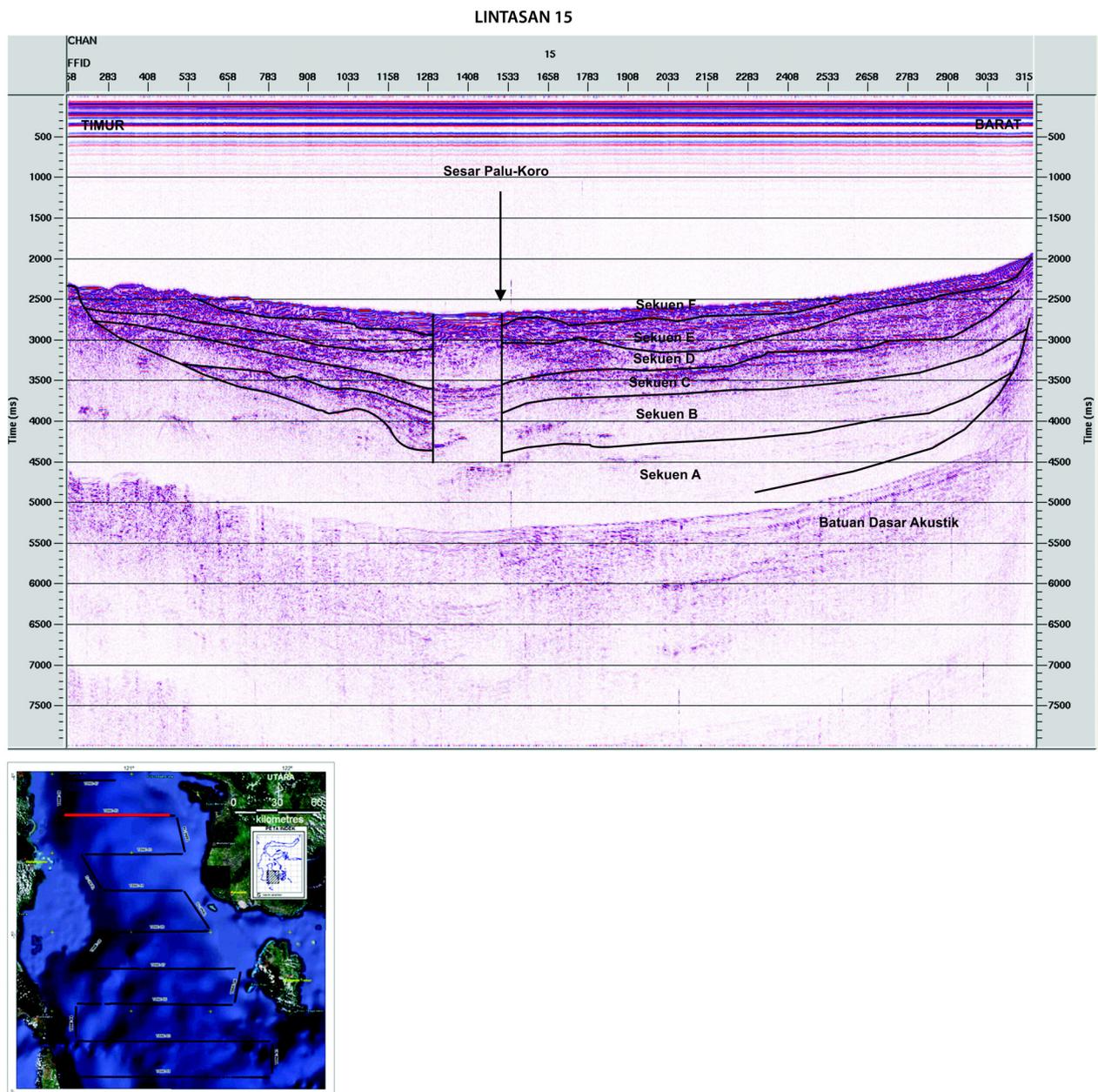
LINTASAN 7



Gambar 10. Penampang seismik pantul Lintasan 7 dari timur ke barat

menipis di bagian sisi timur dan menebal di bagian baratnya, ini menandakan bahwa sedimen berasal dari barat atau dari lengan Sulawesi Bagian Barat. Pola reflektor dari sekuen C ini umumnya transparan dan sejajar (parallel) yang ditafsirkan sebagai sedimen berfraksi halus hingga kasar dengan ketebalan maksimal 400 ms atau sekitar 360 meter, sedangkan sekuen D sebagian besar dicirikan oleh reflektor berpola *sigmoid* di sisi timur sedangkan pola lainnya adalah pola sejajar rapat. Sekuen D ini mempunyai ketebalan tidak lebih dari 400 ms atau sekitar 350 meter dan ditafsirkan sebagai sedimen bersifat deltaik yang berasal dari bagian barat dan berfraksi kasar

hingga halus di bagian timurnya. Pada gambar 10, terlihat sekuen D ini menipis ke arah timur. Di atasnya diendapkan sekuen E yang umumnya *chaotic*, transparent dan bagian atasnya sejajar sedimen pengisi struktur *cut and fill* atau *channel* yang mempunyai pola reflektor sejajar dan rapat hingga *chaotic*. Umumnya berupa sedimen berfraksi kasar dibagian bawah dan fraksi halus di bagian atasnya. Sekuen F berupa sedimen pengisi adalah sedimen asal sungai yang berfraksi kasar hingga halus. Adanya pengendapan sedimen ini diperkirakan bahwa cekungan Bone masih aktif dalam sedimentasi yang dihasilkan dari hasil erosi sedimen atau batuan di sekitarnya.



Gambar 11. Penampang seismik pantul Lintasan 15 dari barat ke timur

## PEMBAHASAN

Pola rekaman seismik refleksi mencerminkan pola perlapisan batuan dan ketidakselarasan. Karena semua lapisan batuan yang terletak diatas suatu lapisan atau bidang keselarasan berumur lebih muda daripada yang terletak di bawah nya, maka penampang seismik refleksi merupakan rekaman kronostratigrafi (*time-stratigraphic*) dari pola struktur dan pengendapan, dan bukan merupakan rekaman litostratigrafi (*rock-stratigraphy*).

Batuan dasar di daerah penelitian, secara regional adalah batuan kompleks metamorfik yang berasosiasi dengan kompleks akresi subduksi di

bagian timur daerah penelitian (Sudarmono, 1999) dan batuan kompleks busur vulkanik di bagian barat daerah penelitian (Yulihanto, 2004). Pembagian ketebalan sedimen dan batuan dasar sebagaimana pada Gambar 11, dilakukan dengan mengacu pada identifikasi karakter reflektor oleh Sukmono (1999). Berdasarkan ciri-ciri reflektor tersebut maka pembagian sedimen dan batuan dasar dapat dilakukan. Hasilnya menunjukkan pola sub-paralel di bagian atas, sedimen fraksi kasar di bagian bawah dan batuan dasar di bagian paling bawah. Penarikan penampang seismik stratigrafi ini mengacu pada interpretasi seismik berdasarkan Sukmono (1999). Penampang seismik stratigrafi

yang telah di interpretasi terdapat pada tabel kolom kesebandingan (Gambar 12).

Cekungan Bone ini terdapat 2 (dua) depositer dilihat dari kedalaman dan ketebalan cekungannya, yaitu dibagian selatan (A) dan bagian utara (B), dari keseluruhan cekungan ini memiliki ketebalan hingga lebih dari 1800 meter yang berada pada depositer bagian selatan sedangkan ketebalan bagian utara sekitar 2000 meter (Indriyati, 2012).

Cekungan daerah penelitian dibagi menjadi 6 (lima) satuan batuan menurut Yulianto (2004) yaitu satuan batulempung A, satuan batugamping B, satuan batuan vulkanik C, satuan batugamping D, satuan batupasir E dan satuan termuda sedimen pengisi lembah F (Channel-filled sediment).

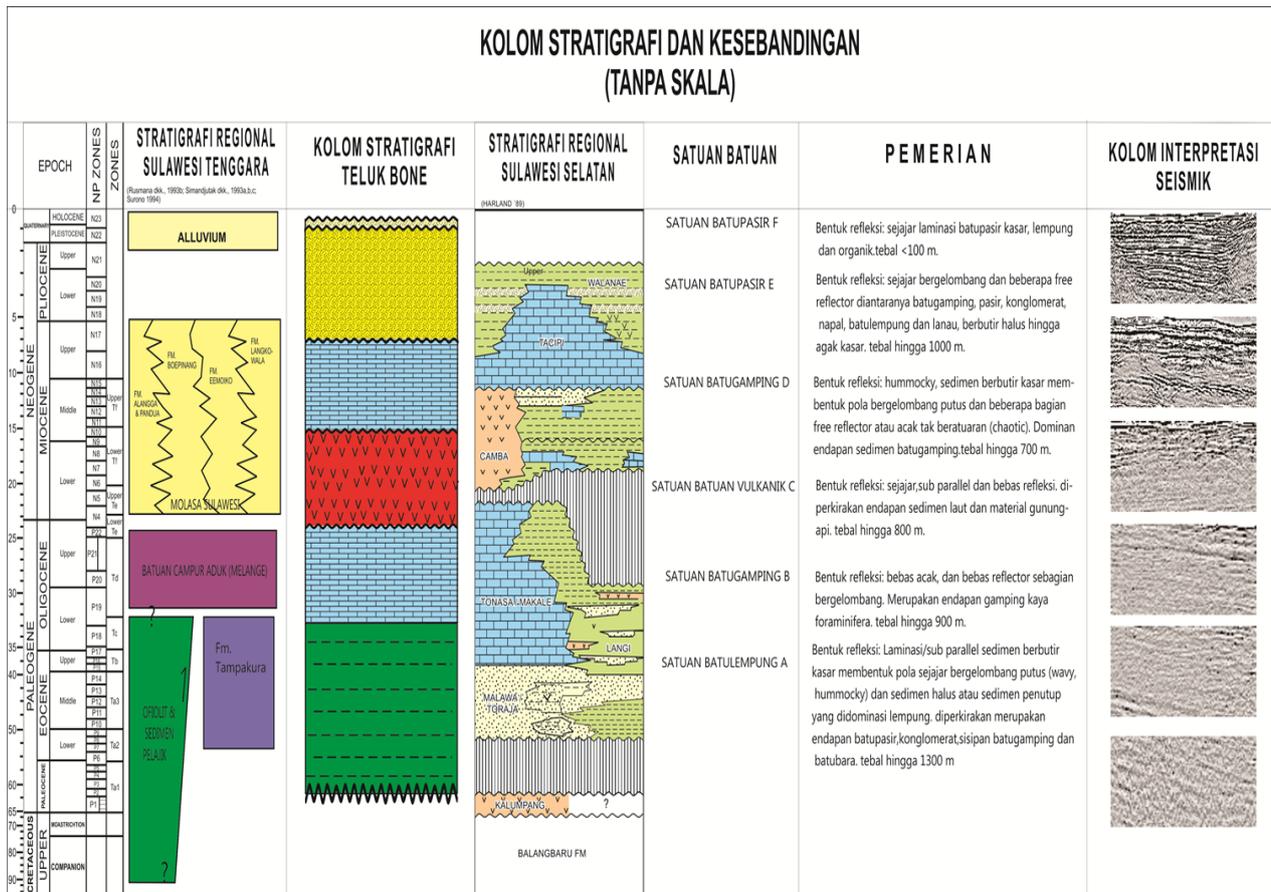
Sekuen A disetarakan dengan Batulempung yang merupakan sekuen yang berada paling bawah dari cekungan Bone dan memiliki umur yang paling tua berdasarkan pada kenampakan dari Formasi Malawa di bagian Lengan Barat dan Formasi sedimen pelagik dan ofiolit di Lengan Timur pada kolom kesebandingan (Gambar 12), yakni berumur Eosen dengan ketebalan satuan ini

mencapai 450 meter dengan kedalaman disekitar 3986 meter di bawah permukaan laut.

Sekuen B disetarakan dengan Batugamping yang diperkirakan merupakan satuan yang mewakili dari Formasi Tonasa dan Formasi Tampakura yang berumur Oligosen (Gambar 11) dengan ketebalan variasi yang mencapai 900 meter dengan kedalaman terdalam sekitar 3407 meter di bawah permukaan laut. Pada sekuen ini terlihat cekungan dengan bentuk yang memanjang dengan bagian selatan lebih luas dari pada bagian utara.

Sekuen C disetarakan dengan Batuan Vulkanik (Gambar 12) yang merupakan satuan yang mewakili Formasi Camba dan Molasa Sulawesi Formasi Langkowala (Miosen bawah hingga tengah). Pada cekungan ini terdapat beberapa ketebalan sedimen yang mencapai 200 meter dengan kedalaman sekitar 3114 meter di bawah permukaan laut.

Sekuen D yang disetarakan dengan Batugamping (Gambar 12) mewakili Formasi Tacipi dan termasuk pada Molasa Sulawesi Formasi Eemoiko yang berumur Miosen tengah. Memiliki ketebalan sedimen hingga 700 meter



Gambar 12. Depositer A dan B pada Cekungan daerah penelitian (Indriyati, 2012)

dengan kedalaman sekitar 3021 meter di bawah permukaan laut. Sekuen ini membentuk cekungan yang memanjang dengan arah utara-selatan, dimana semakin kearah utara maka sedimen semakin dangkal dan sebaliknya semakin kearah selatan sedimen semakin dalam.

Satuan Batupasir E mewakili endapan Formasi Walanae dan Molasa Sulawesi. Satuan ini memiliki ketebalan hingga 1000 meter pada kedalaman mencapai 3278 meter di bawah permukaan laut. Pada sekuen ini terdapat pula cekungan Kuartar yang berada di bagian atas dari sekuen dan terisi oleh endapan baru. Morfologi sekuen ini memiliki bentuk lonjong memanjang dengan bagian terdalam berada pada bagian selatan dan dangkal pada bagian utara.

## KESIMPULAN

- Zaman Kapur : Sulawesi Barat merupakan bagian dari kompleks subduksi sepanjang batas Dataran Sunda
- Paleogen : Bagian busur depan sebagai bagian dari kompleks subduksi yang mengarah ke Sulawesi Barat. Batulempung pelagik yang merupakan sekuen A yang berada paling bawah dari cekungan Bone dan memiliki umur yang paling tua berdasarkan pada kenampakan dari Formasi Malawa di bagian Lengan Barat dan Formasi sedimen pelagik dan ofiolit di Lengan Timur pada kolom kesebandingan, yakni berumur Eosen. Pada periode ini dapat ditafsirkan dimana bagian dari kerak samudera mewakili bagian bawah dari cekungan Bone ini.
- Paleosen-Oligosen Awal : Pada umur yang sama juga diendapkan berupa sedimen lainnya yang didominasi oleh satuan Batupasir terutama di lengan Barat Sulawesi yang lingkungan pengendapannya lebih dangkal dinandingkan lengan Timur Sulawesi. Satuan ini diperkirakan terendapkan pada lingkungan darat - lagoon.
- Oligosen Awal-Oligosen Akhir : terjadi genang laut sehingga diendapkan Satuan Batugamping B, yang membentuk topografi karst. Hubungan stratigrafi dengan sedimen di bawahnya (sekuen A) diduga tidak selaras (paraconformity), dimana telah terjadi jeda waktu antara sekuen A dengan sekuen B dengan lingkungan pengendapannya yang berbeda.
- Oligosen Akhir-Miosen Awal : Satuan Batuan Vulkanik C mulai terbentuk akibat dari pembentukan dan tektonik yang berulang pada saat Oligosen. Hubungan stratigrafi dengan sedimen di bawahnya tidak selaras yang diduga dibatasi oleh bidang erosi antara kedua sekuennya.
- Miosen Awal-Pliosen Awal : Satuan Batugamping D terbentuk. Terjadi pengangkat -an dan pensesaran berarah Utara Timurlaut-Selatan Baratdaya. Hubungan stratigrafi antara sekuen C dan D ini tidak selaras yang dibatasi oleh bidang erosi.
- Plio-Pleistosen terjadi pembentukan Satuan Batupasir E dengan lingkungan laut dangkal hingga darat. Pergerakan lempeng selama ini telah mengakibatkan adanya pergerakan sesar mendatar sepanjang Walanae, Teluk Bone, Palukoro dan sesar lainnya. Secara konsekuen ketidak selarasan terjadi dengan sekuen di bawahnya
- Sesar ini ada yang teraktifkan kembali sehingga membuat suatu cekungan berumur Kuartar yg diisi oleh sedimen muda (Satuan Batupasir F).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya karya tulis ini kami mengucapkan terimakasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan Bandung Dr. Ir. Ediar Usman M.T., yang telah memberikan ijinnya untuk publikasi ini. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Dr. Ir. Hayadi Permana DEA dan Prof. Dr. Ir. Eddy Sunardy M Sc yang telah mengoreksi makalah ini sebagai bagian dari mitra bestari di Jurnal Geologi Kelautan ini.

## DAFTAR ACUAN

- Armstrong, F. S., 2012. *Struktur Geologi Sulawesi*. Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2009. *Peta Pulau Sulawesi*. Jakarta
- Darman H., dan Hasan F. S., 2000. *An Outline of The Geology of Indonesia*, Published by IAGI-2000, h. 101-120.
- Indriyati, D., 2012. *Analisis Pembentukan Cekungan Bone berdasarkan Penafsiran Seismik Refleksi di Perairan Teuk Bone Provinsi Sulawesi Selatan*. Universitas Jenderal Soedirman (tidak dipublikasikan).
- Lemigas, 1998, *Hydrocarbon Potential of the Bone Basin and Its Surrounding Basinal Area*, unpublished report.

- Mann, P., Gahagan, L. dan Gordon, M.B., 2003, Tectonic setting of the world's giant oil and gas fields, in Halbouty, M.T., ed., Giant Oil and Gas Fields of the Decade 1990-1999, *American Association of Petroleum Geologists Memoir No.78*, h. 15-105.
- Sarmili, L. 2011. *Laporan Penelitian Cekungan Bone*, Laporan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan. (tidak dipublikasikan).
- Sarmili, L. 2015. Opening Structure of the Bone Basin on the South Sulawesi in relation to process of sedimentation. *Bulletin of the Marine Geology*, 3 (2), h. 75-86.
- Silver, E.A., Reed, D. dan Mc Caffrey, R., 1983, Back Arc Thrusting in the eastern Sunda arc, Indonesia : a consequence of arc-continent collision. *Journal of Geophysical Research*, 88(89), h. 7429-7448.
- Sudarmono, 1999. Tectonic And Stratigraphic Evolution Of The Bone Basin, Indonesia: Insights To The Sulawesi Collision Complex. *27<sup>th</sup> Proceedings, IPA* Oktober 1999.
- Sukmono, S. 1999. *Interpretasi Seismik Refleksi*. Bandung: Jurusan Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung (tidak dipublikasikan).
- Surono, 2010. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*, Publikasi Khusus, Badan Geologi, Bandung.
- Hamilton, W.H., 1970. *Tectonic Map of Indonesia*. USGS, Denver, Colorado.
- Yassin, O. dan Nawawi, N., 1993. *Peranan Struktur Geologi Terhadap Keberadaan Mineralisasi Logam Dan Hidrokarbon Daerah Sulawesi Selatan*, Bandung : Kerjasama Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral dengan Institute National des Science de L'Univers(INSU).
- Yulihanto, B., 2004, Hydrocarbon Play Analysis of the Bone Basin, South Sulawesi, *Proceedings, Deepwater and Frontier Exploration In Asia & Australia Symposium*, h. 333-347.