

STRUKTUR GEOLOGI LAUT FLORES, NUSA TENGGARA TIMUR

GEOLOGICAL STRUCTURES OF FLORES SEA, EAST NUSA TENGGARA

Riza Rahardiawan dan Catur Purwanto

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. DR. Junjuna No. 236, Bandung-40174
E-mail : catur@mgi.esdm.go.id

Diterima : 12-05-2014, Disetujui : 07-11-2014

ABSTRAK

Tujuan penelitian seismik saluran banyak di Laut Flores, Nusa Tenggara Timur adalah untuk mengetahui kondisi geologi bawah permukaan dasar laut. Daerah penelitian merupakan daerah yang aktif secara tektonik dan diekspresikan dalam bentuk prisma akresi, vulkanik tidak aktif dan sesar-sesar aktif yang membentuk morfologi dasar laut. Berdasarkan penafsiran stratigrafi seismik lapisan bawah permukaan dasar laut terdiri dari empat satuan batuan: Batuan Dasar, Prisma Akresi, Gunungapi Bawah Laut, dan Sedimen Klastika. Sedimen Klastika ini dibagi menjadi lima unit.

Kata kunci : seismik, morfologi dasar laut, sesar aktif, Laut Flores

ABSTRACT

The purpose of the study of seismic multi channel in Flores Sea, East Nusa Tenggara is to recognize subsurface geology condition. The study area is an active tectonic that expressed by accretion prisms, inactive volcanic and active faults form seabed morphology. Based on seismic stratigraphy interpretation, the study area is composed of four rocks units: Basement rocks, Accretionary Wedge, Seamount, and Clastic Sediments. This clastic sediment is divided into five units

Keywords : seismic, seabed morphology, active fault, Flores Sea

PENDAHULUAN

Lokasi penelitian secara administratif termasuk ke dalam Provinsi Nusa Tenggara Timur, secara geografis terletak pada koordinat 6°00'00"-8°00'00" Lintang Selatan dan 121°30'00"-123°00'00" Bujur Timur. Dalam indeks pemetaan bersistem daerah penelitian termasuk Lembar Peta 2208 dan 2209, Laut Flores (Gambar 1). Pada tahun 2012 Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan dengan menggunakan Kapal Riset Geomarin III telah melakukan pemetaan geologi dan geofisika di daerah ini (Purwanto, 2012).

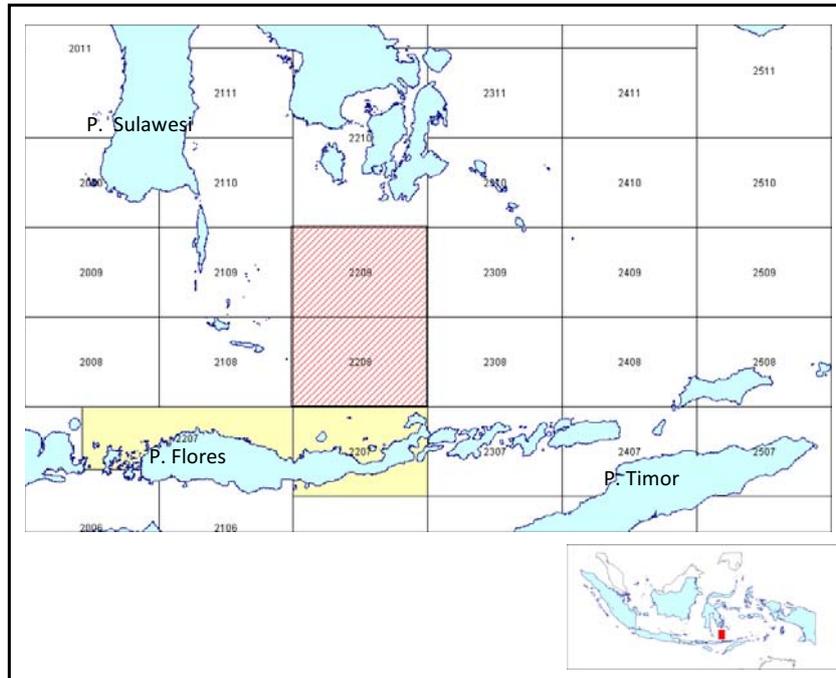
Maksud penulisan makalah ini adalah melakukan penafsiran data seismik. Tujuannya untuk mengetahui kondisi bawah permukaan dasar laut dan pemahaman geologi kawasan penelitian.

Lintasan seismik dilakukan bersamaan dengan pelaksanaan pemeruman, sebanyak 20 lintasan dengan panjang sekitar 1971 km dengan

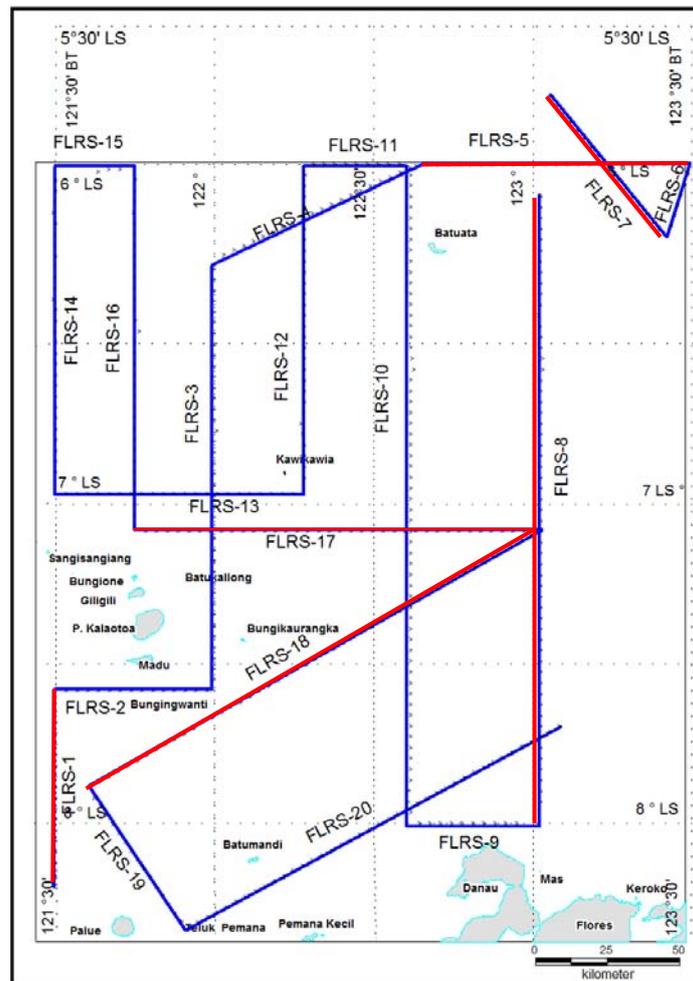
arah umum utara-selatan dan barat-timur (Gambar 2).

Kedalaman laut di daerah penelitian antara 300 meter dan 5500 meter. Kedalaman sekitar 300 meter terdapat di bagian tengah survei dan daerah paling dalam (5500 meter) terdapat di bagian selatan. Di bagian tengah daerah survei terdapat pulau-pulau kecil dengan kedalaman 800 meter. Morfologi dasar laut di daerah tenggara curam dan bergelombang, kemungkinan besar dikontrol oleh struktur geologi (Gambar 3).

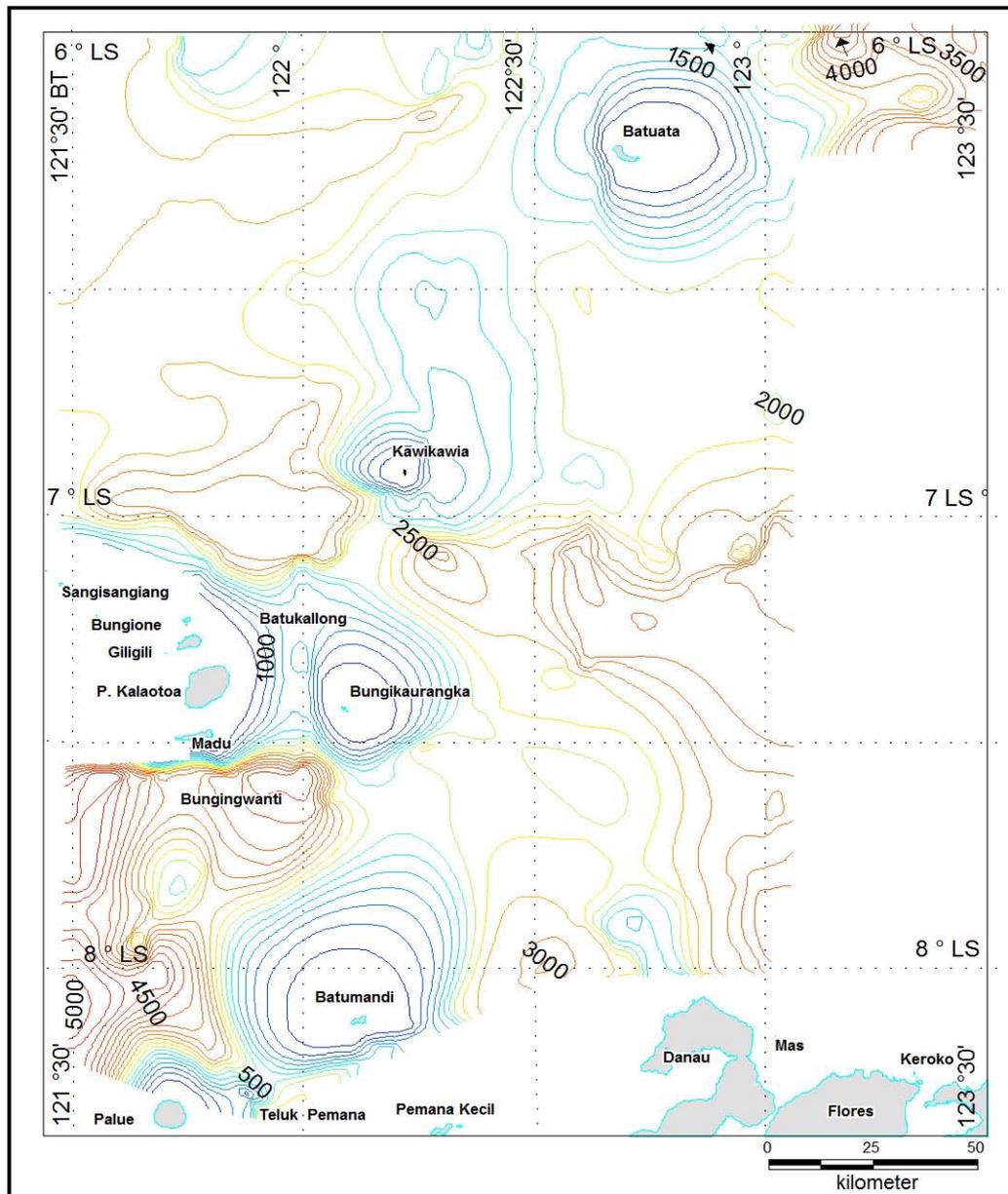
Menurut Darman dan Sidi (2000), Kepulauan Indonesia terbentuk dari interaksi tiga lempeng utama, yaitu Indo-Australia, Eurasia, dan Lempeng Pasifik (Gambar 4). Interaksi tiga lempeng tektonik utama ini menciptakan kompleks tektonik terutama di batas lempeng yang terletak di Indonesia Timur. Kepulauan Nusa Tenggara terbentuk sebagai akibat dari subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Busur Sunda-Banda



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian



Gambar 2. Lintasan seismik, pemeruman, dan lintasan terpilih untuk interpretasi seismik



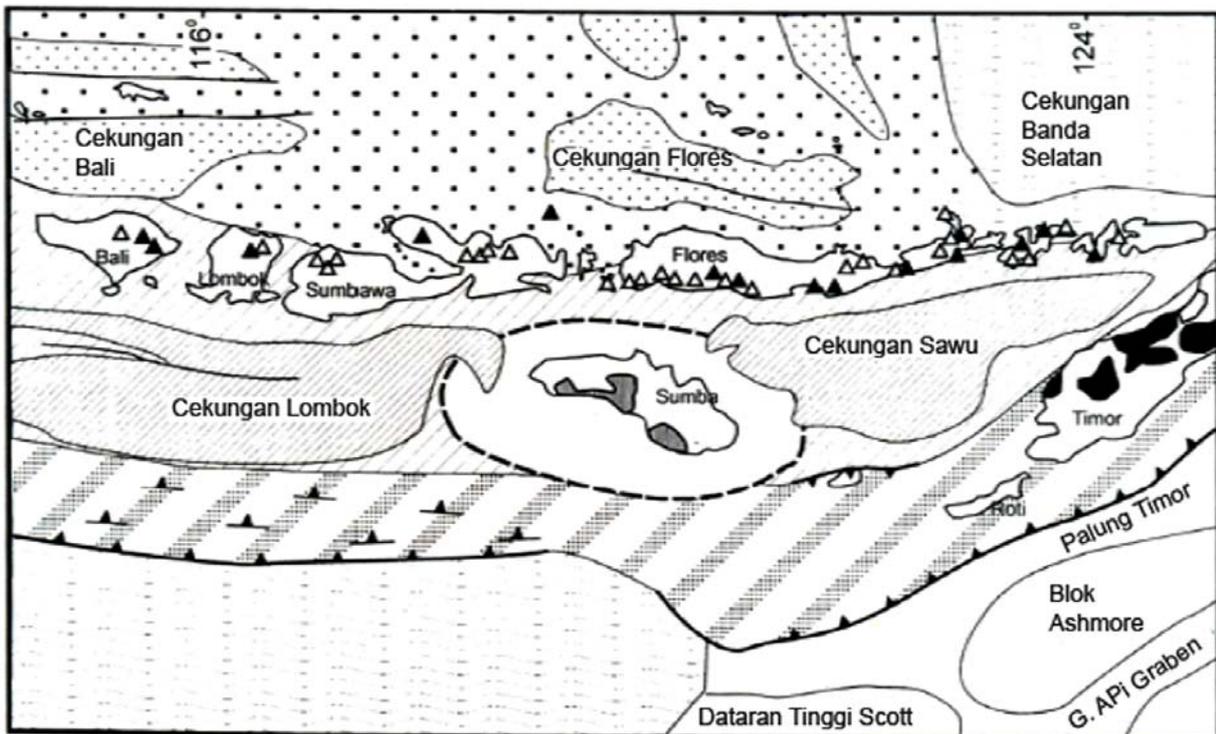
Gambar 3. Peta Batimetri daerah penelitian

selama Tersier Atas dimana subduksi ini membentuk busur vulkanik dalam.

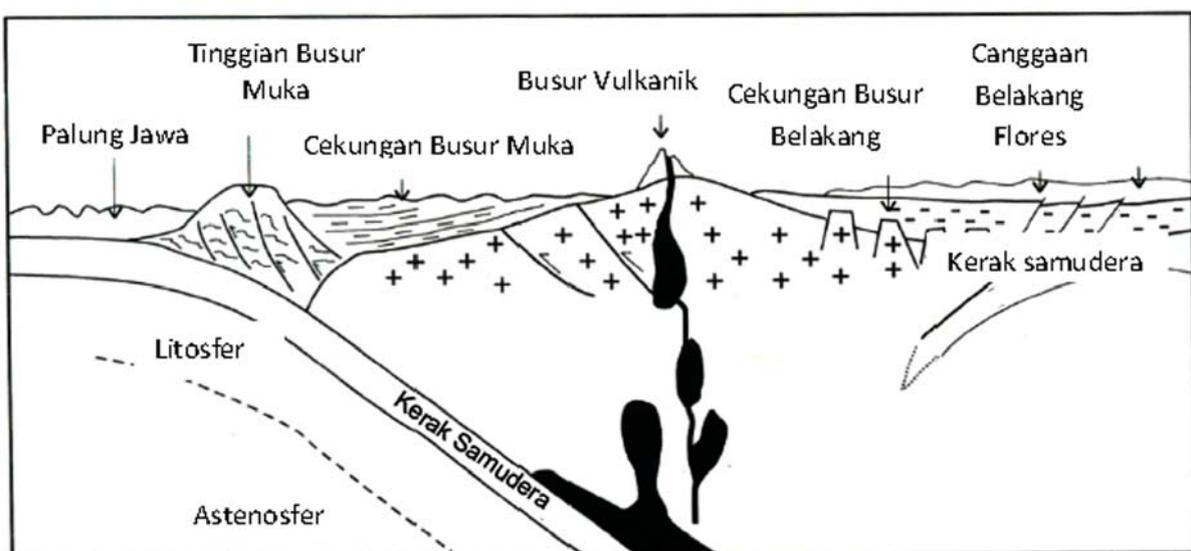
Batuan vulkanik pada Busur-Dalam Banda dari Kepulauan Nusa Tenggara terdapat batuan tertua berumur Miosen Awal yang ditemukan 150 km di atas zona miring gempa. Zona Benioff yang sangat aktif dibuat oleh Hatherton dan Dickinson (1969) dan diperbarui oleh Hamilton (1978). Kegempaan di bagian Jawa meluas hingga kedalaman maksimum 600 km. Hal ini menunjukkan subduksi kerak *sub-ocean* milik Lempeng Australia atau Papua Nugini di bawah Busur Banda dan penghentian vulkanisme pada Pliosen Awal. Tektonik ini berlawanan dengan Timor yang menunjukkan tabrakan Timor dengan

Alor dan Wetar, setelah semua kerak samudera masuk ke zona subduksi.

Ukuran pulau-pulau dari jajaran gunungapi ini secara bertahap semakin kecil ke arah timur dari Jawa terus ke Bali, Lombok, Sumbawa, Flores, Wetar ke Banda. Penurunan ini terlihat di sebelah timur Pulau Wetar yang kemungkinan mencerminkan jumlah kerak samudera masuk ke dalam zona subduksi. Hal ini menyiratkan gerakan *dip-slip* ke arah barat Pulau Wetar dan *strike-slip* ke arah timur. Kemungkinan lain bahwa busur vulkanik sebelah timur Pulau Wetar berumur lebih muda dan busur vulkanik awal bertumbukan dengan tepi benua Australia.



Gambar 4. Seting tektonik masa kini menunjukkan kerangka mega tektonik (Darman dan Sidi, 2000)



Gambar 5. Satuan Tektono-Struktural Kepulauan Sunda Kecil (Rangin and Silver, 1990)

Menurut Rangin dan Silver (1990), Kepulauan Nusa Tenggara dapat dibagi menjadi enam satuan tektono-struktural dari utara ke selatan, yaitu: Satuan Busur Belakang yang terdiri atas Cekungan Busur Belakang dan Canggaaan Belakang Flores; Satuan Busur Vulkanik yang dibentuk oleh serangkaian pulau vulkanik yang terdiri dari Bali, Lombok, Sumbawa, Komodo, Rinca, Flores, Adonora, Solor, Lomblen, Pantar, Alor, Kambing dan Wetar; Satuan Busur Luar yang dibentuk oleh pulau bukan vulkanik yaitu Dana, Raijua, Sawu, Roti, Semau dan Timor. Satuan Busur Muka yang terletak di antara Satuan Busur Vulkanik dan Satuan Busur Luar yang merupakan Cekungan Busur Muka yaitu Cekungan Lombok dan Cekungan Savu (Gambar 5).

METODE

Dalam penelitian ini digunakan metode penentuan posisi, pemeruman, dan seismik saluran banyak. Sistem penentuan posisi kapal menggunakan C-NAV sedangkan pemeruman menggunakan Echosounder 3,5 KHz SyQuest 2010P. Akuisisi seismik saluran banyak menggunakan *digital streamer* tipe Sercel sepanjang 600 m, seismik 60 saluran, *airgun array* dengan power 400 cu in dengan interval ledakan 12,5 detik, atau mewakili interval ledakan setiap 25 m kapal berjalan pada kecepatan 4 knot, *near offset* 100 m, kedalaman *streamer* 6 m dan *airgun* 4m.

Secara umum interpretasi dan analisis data rekaman seismik saluran banyak dilakukan memanfaatkan perangkat lunak *ProMax*TM, meliputi pengamatan kecepatan gelombang dan besaran amplitudo. Analisis secara visual dan memanfaatkan perangkat lunak *CorelDraw5* dan *Petrel-2010* meliputi pengamatan terhadap penerusan reflektor dan kontras perubahan sifat-sifat bidang refleksi disamping struktur geologi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Seismik Stratigrafi

Analisis dan interpretasi rekaman seismik didasarkan pada parameter seismik, yang meliputi batas runtunan, konfigurasi refleksi dan bentuk eksternal (Mitchum, 1977). Untuk memperoleh gambaran struktur geologi bawah permukaan maka dipilih rekaman seismik Lintasan FLRS-05, FLRS-07, FLRS-01, FLRS-18, FLRS-8, dan FLRS-18 (Gambar 2). Interpretasi terhadap penampang seismik di bagian utara dan selatan menunjukkan adanya empat satuan batuan, yaitu:

1. Batuan Dasar

Batuan dasar pembentuk paparan mikro-kontinen Buton-Tukang Besi, bagian atasnya dicirikan bentuk morfologi bergelombang. Sedangkan pola dan internal reflektor beramplitudo sangat kuat (tinggi), bergelombang dan tidak menerus. Bagian bawahnya dicirikan oleh pola dan internal reflektor beramplitudo sedang hingga lemah dan transparan (Gambar 6 dan 7)

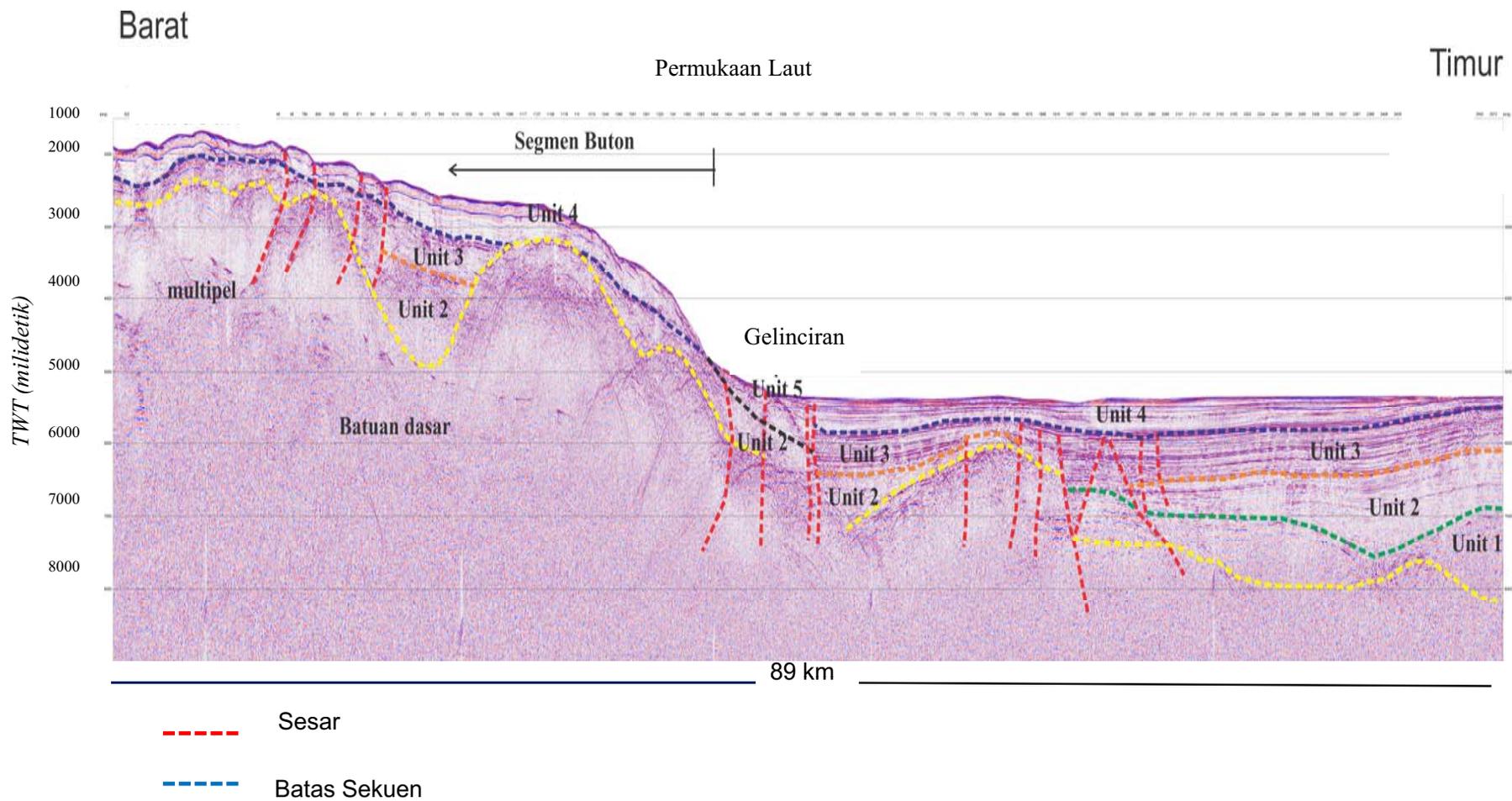
2. Prisma Akresi (*Accretionary Wedge*)

Kompleks batuan ini dicirikan oleh bentuk morfologi bergelombang sebagian telah terpancung, dengan pola dan internal reflektor beramplitudo sangat kuat (tinggi), bergelombang dan tidak menerus. Bagian bawahnya dicirikan oleh pola dan internal reflektor beramplitudo sedang hingga lemah yang beraturan dan transparan. Pada bagian atas, terlihat bahwa kompleks batuan telah terdeformasi kuat (intensitas rekahan/sesar) dengan bagian atasnya sebagian telah ditutupi oleh endapan turbidit dan *slump*.

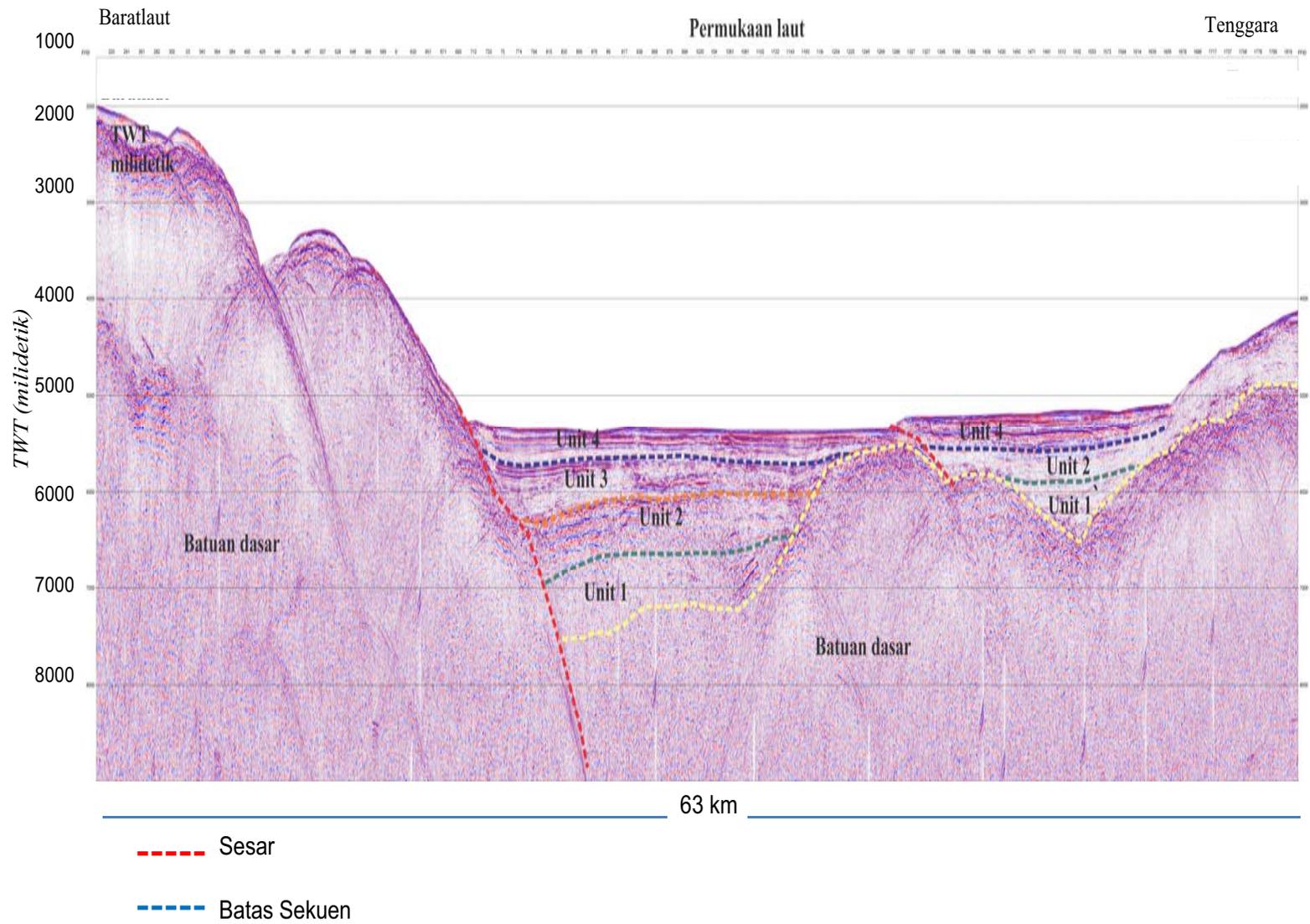
Banyaknya endapan *slump* sekitar lereng prisma akresi, tipis atau tidak adanya endapan turbidit di atas prisma akresi, dan adanya imbrikasi sesar naik (*imbrication thrust zone*). Hal ini berasosiasi dengan pembentukan prisma akresi (Gambar 8 dan 9) yang menunjukkan bahwa Komplek Prisma Akresi masih aktif untuk membangun endapan yang lebih luas di bagian barat. Sedangkan penyempitan luas prisma akresi arah timur diperkirakan terjadi akibat adanya tumbukan (*collision*) tubuh gunungapi bawah laut (*seamount*) yang akhirnya menyebabkan pelengkungan prisma akresi dan menipisnya prisma akresi ke bagian selatan. Umur endapan akresi ini diperkirakan terbentuk Kala Plio-Pleistosen hingga Resen, yaitu setelah terjadinya pembalikan busur (*arc reversal polarity*) Kala Pliosen.

3. Batuan Gunungapi Bawah Laut

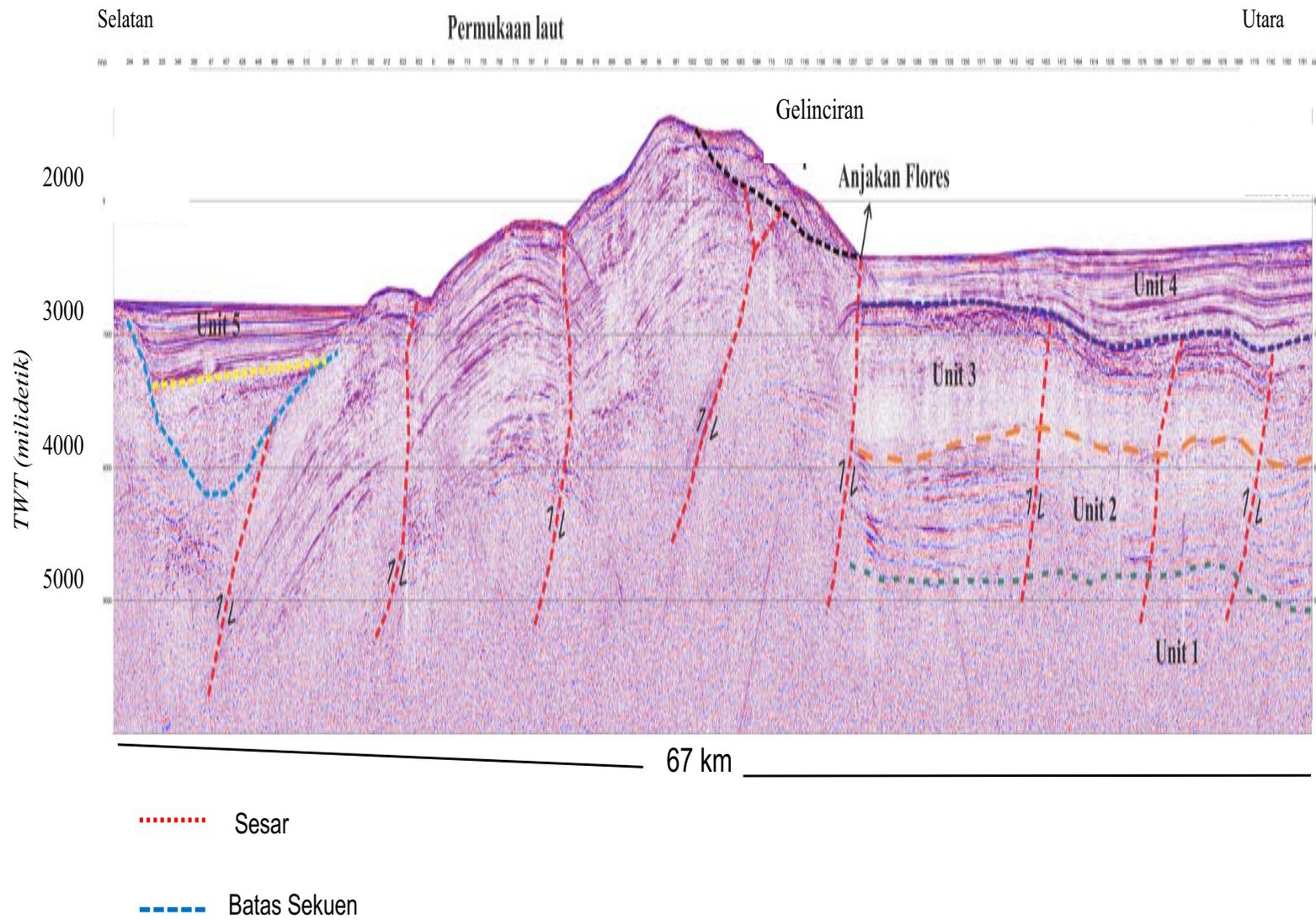
Kompleks batuan ini tersingkap di atas dasar laut, yang dicirikan oleh bentuk morfologi tinggian sebagian telah tererosi. Bagian atasnya memiliki internal reflektor beramplitudo kuat sampai sedang, dan konfigurasi adalah sub-paralel sampai bergelombang. Sedangkan bagian bawahnya dicirikan oleh pola dan internal reflektor beramplitudo sedang hingga lemah tidak beraturan hingga transparan. Pada bagian atas, terlihat bahwa



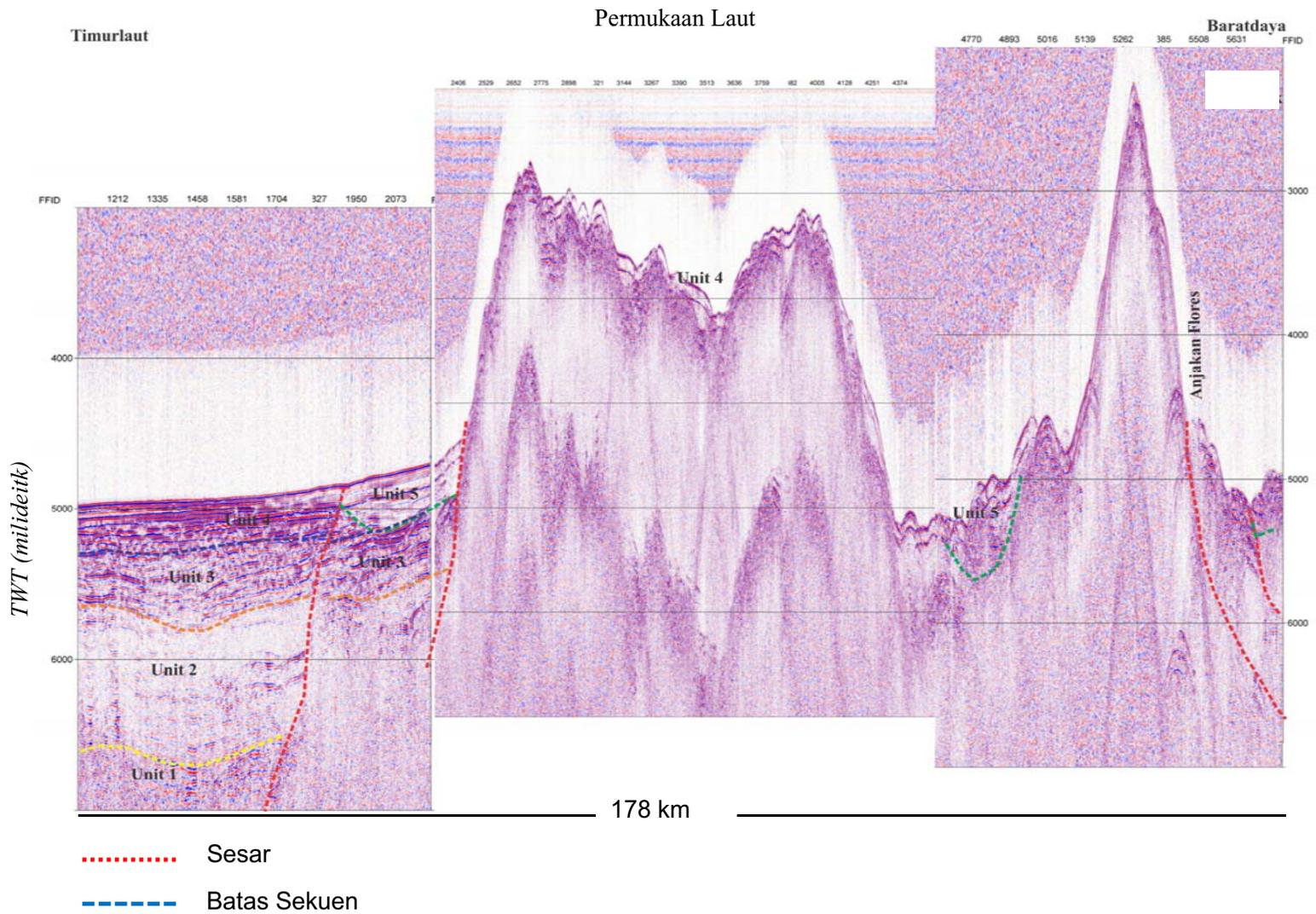
Gambar 6. Interpretasi Seismik Lintasan FLRS-5.



Gambar 7. Interpretasi Seismik Lintasan FLRS-7



Gambar 8. Interpretasi Seismik Lintasan FLRS-1



Gambar 9. Interpretasi Seismik Lintasan FLRS-18

kompleks batuan telah terdeformasi ditandai oleh adanya sesar normal dan disejumlah tempat ditutupi oleh endapan hemipelagik dan turbidit serta endapan *slump* di tepian tubuh gunungapi tersebut. Diperkirakan gugusan gunungapi bawah laut di bagian selatan daerah penelitian terbentuk **Kala Plio-Pleistosen** (Gambar 10 dan 11).

4. Endapan Batuan Sedimen Klastika (*Clastic Sedimentary Rock Deposites*)

Kompleks sedimen berumur Neogen-Resen di daerah penelitian pada umumnya berkembang dalam Cekungan Bone Selatan di bagian barat laut dan bagian timur Cekungan Banda Selatan dan cekungan-cekungan kecil akibat berkembangnya struktur geologi dan dalam prisma akresi. Kompleks batuan ini dapat dibagi lagi menjadi lima unit (Gambar 10 dan 11) yaitu :

Unit 1 merupakan batuan pelagik dan diperkirakan berumur Pliosen Tengah, dengan ketebalan maksimum mencapai >700 milidetik (milisecond/ms) di bagian tengah Cekungan Bone Selatan. Endapan ini dicirikan oleh konfigurasi pola sub-paralel hingga *hummocky*, menerus terputus-putus dan transparan di bagian bawahnya. Kontak dengan Batuan Dasar di bagian bawahnya adalah bidang ketidakselarasan yang ditandai oleh adanya bentuk membaji dari Unit 1 di tepian batuan dasar dengan bidang batas *onlap*.

Unit 2 merupakan batuan klastika pelagik/hemipelagik berumur Plio-Pleistosen, dengan ketebalan maksimum mencapai >500 ms di bagian tengah Cekungan Buton Selatan dan Cekungan Banda Selatan. Endapan ini dicirikan oleh konfigurasi pola sub-paralel hingga *hummocky*, menerus terputus-putus dan transparan di bagian bawahnya. Kontak dengan Batuan Dasar dan Batuan Gunungapi di bagian bawahnya adalah bidang ketidakselarasan yang ditandai oleh adanya bentuk membaji di tepian gunungapi dengan bidang batas *onlap*.

Unit 3 berumur Plistosen setelah atau bersamaan dengan aktifitas pertama vulkanisme di utara Wetar dan tersusun atas perselingan sedimen hemipelagik-turbidit. Endapan ini dicirikan oleh pola umum perselingan reflektor beramplitudo rendah-sedang, menerus, dan memperlihatkan bentuk luar berlapis. Pada bagian bawahnya beramplitudo rendah, menerus hingga transparan yang mencirikan dominasi endapan hemipelagik, sedangkan bagian atasnya menunjukkan dominasi endapan turbidit. Pada tepi cekungan/tepi gunung api bawah laut terlihat adanya endapan turbidit cukup tebal hingga

mencapai >400 ms. Hal ini menunjukkan bahwa endapan turbidit tersebut seumur/menjemari dengan endapan hasil erupsi gunungapi.

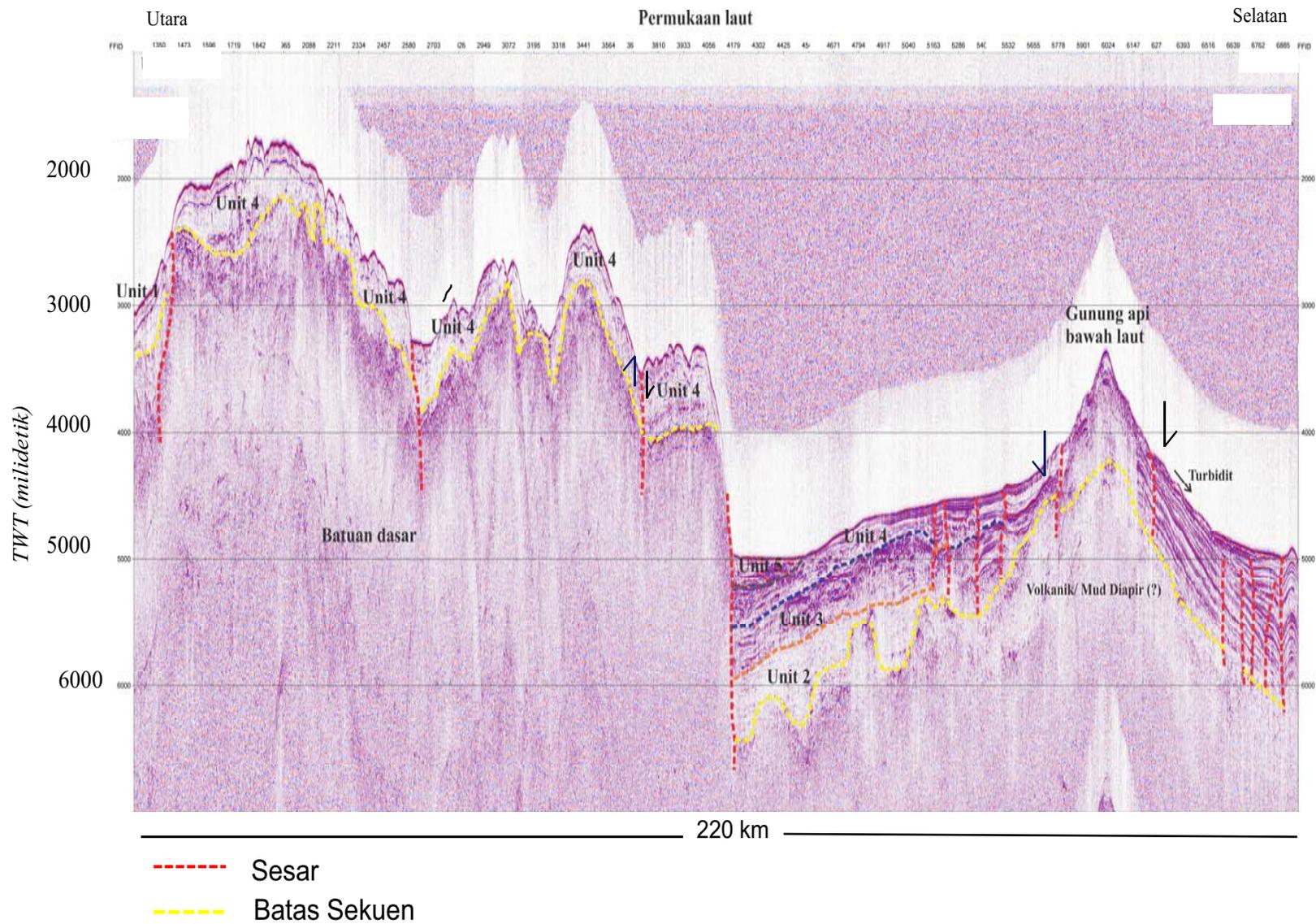
Unit 4 merupakan unit batuan sedimen terendapkan pada umur Plistosen Atas-Resen bersamaan atau setelah aktifitas vulkanisme ke dua di utara Flores yang tersusun atas batuan sedimen turbidit. Endapan ini dicirikan oleh pola umum perulangan dari perselingan reflektor beramplitudo rendah hingga sedang dan menerus, serta memperlihatkan bentuk luar berlapis. Bentuk ini membaji ditepi cekungan atau gunungapi yang mencirikan dominasi endapan turbidit. Unit ini terlihat menebal hingga mencapai >520 ms di bagian tengah cekungan karena adanya daerah depresi yang berasosiasi dengan sesar normal.

Unit 5 sebagai unit batuan sedimen termuda berumur Resen, dicirikan oleh pola reflektor beramplitudo rendah hingga sedang, menerus, dan memperlihatkan bentuk luar berlapis dengan bentuk luar membaji. Endapan ini berupa sedimen pengisi palung yang terdiri atas endapan turbidit bercampur dengan endapan *slump* di bagian atasnya, dengan ketebalan mencapai < 500 ms.

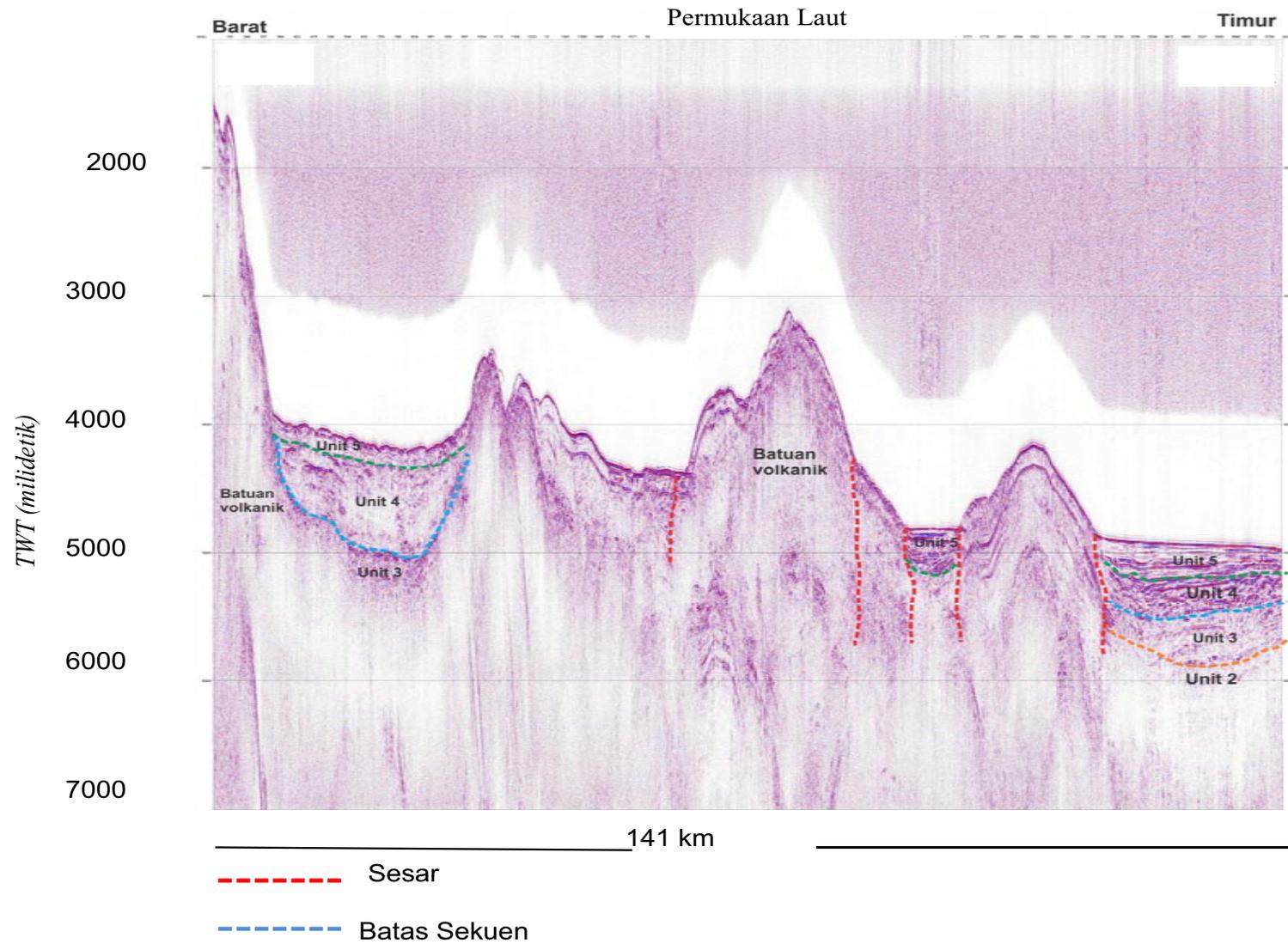
Komplek Batuan Sedimen Klastika memiliki ketebalan < 2500 ms di bagian Cekungan Bone Selatan dan menipis di bagian barat Cekungan Banda Selatan hingga mencapai >1200 ms. Dalam rekaman seismik terlihat bahwa kompleks batuan ini dibatasi oleh sesar normal sebagai bagian dari blok sesar. sesar normal dan rekahan ini membentuk daerah rendahan sebagai tempat terakumulasinya sedimen.

Struktur Geologi

Daerah penelitian merupakan daerah yang aktif secara tektonik dan diekspresikan dalam bentuk prisma akresi, vulkanisme tidak aktif dan sesar-sesar aktif. Sesar naik sebagai bagian dari Zona Anjakan Busur Belakang Flores dijumpai di bagian selatan Pulau Kalaotoa terbentuk Pliosen Bawah dan aktivitas pembentukan gunungapi sebagai busur magma tunggal di utara Pulau Flores terjadi mulai Plistosen Bawah. Anjakan Busur Belakang Flores telah membentuk daerah prisma akresi dengan lebar di bagian barat mencapai >37,5 km dan menipis hingga <5 km sekitar Teluk Pemana. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan canggaa busur belakang sebagai hasil pembalikan busur dimulai dari bagian barat dan semakin muda (Plistosen-Resen) di bagian timur. Ke arah timur sendiri terlihat bahwa Anjakan Busur Belakang Flores semakin



Gambar 10. Interpretasi Seismik Lintasan FLRS-8

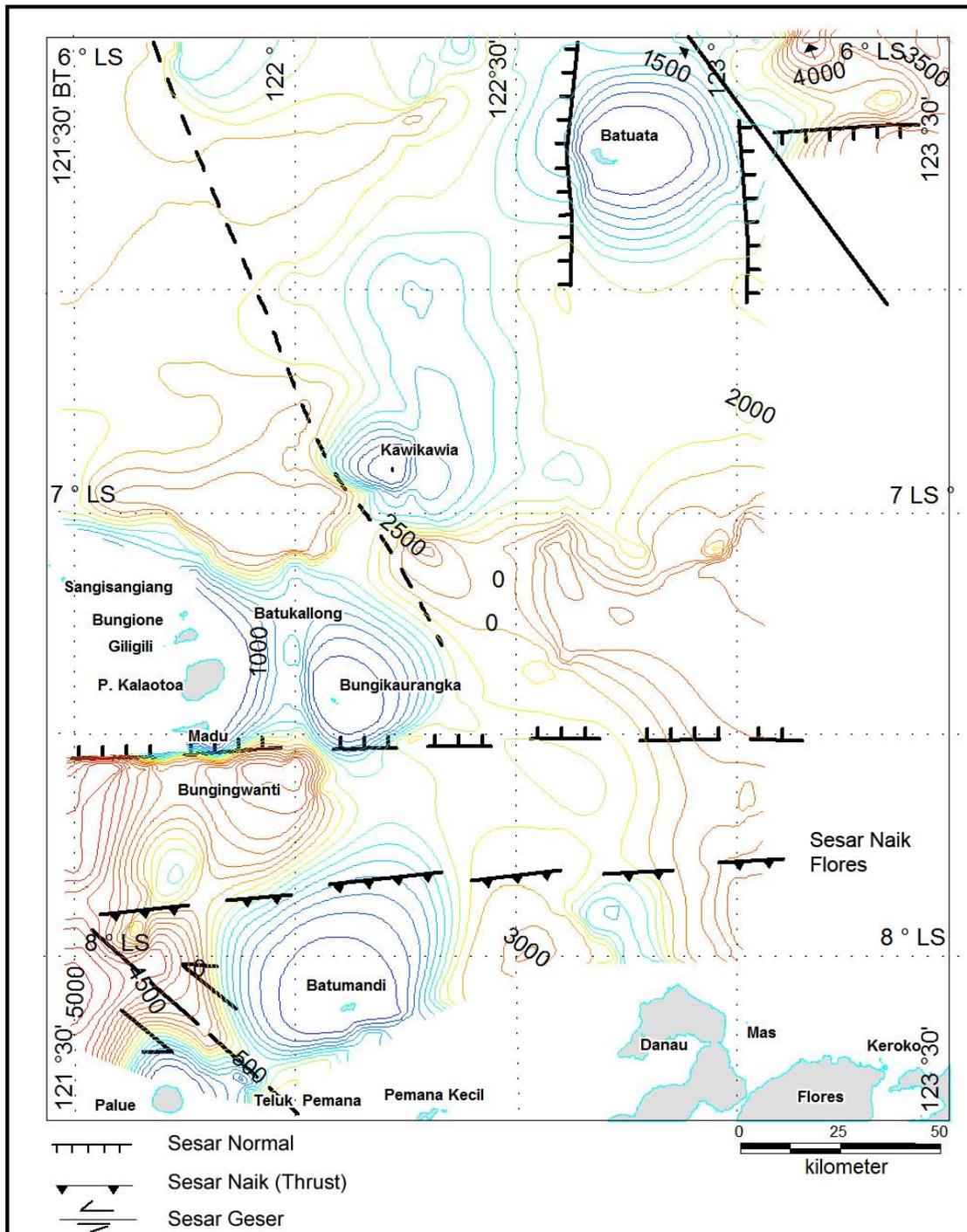


Gambar 11. Interpretasi Seismik Lintasan FLRS-17

mendekati daratan (menghilang) akibat adanya Komplek Batuan Gunungapi di bagian utara Pulau Kalaotoa dengan arah memanjang relatif baratlaut-tenggara. Hal ini mengakibatkan penyempitan jalur Prisma Akresi.

Gunungapi bawah laut yang berada di bagian utara Pulau Flores diperkirakan adalah gunung api bawah laut yang diperlihatkan oleh adanya sesar normal yang membundar mengelilingi gunungapi bawah laut dan membentuk daerah rendahan yang

berasosiasi dengan sesar normal yang berarah relatif timurlaut-baratdaya. Struktur geologi lain yang sangat berpengaruh terhadap perkembangan geologi daerah penelitian adalah sesar geser mengiri berarah baratlaut (Sesar Geser Bone) yang terbentuk Kala Plistosen hingga saat ini. Hal ini sebagai akibat adanya akomodasi tekanan dari Sesar Geser Palu-Koro bagian utara yang semakin meningkat akibat tumbukan mikro-kontinen Banggai-Sula ke arah barat. sesar lain adalah sesar



Gambar 12. Peta Struktur Laut Flores

geser mengaman berarah N 25° W di bagian timur daerah penelitian yang diperkirakan menerus ke utara sebagai akibat tumbukan mikro- kontinen Buton-Tukang Besi ke arah lengan timur Sulawesi. Batas antara mikro kontinen Buton-Tukang Besi dengan Cekungan Banda Selatan diperkirakan berupa sesar normal, namun jejak yang tegas tidak teramati pada penampang-penampang seismik (Gambar 12).

KESIMPULAN

Berdasarkan interpretasi rekaman seismik terdapat empat satuan batuan yaitu: Batuan Dasar sebagai batuan dasar Mikro Buton dan Lengan Timur Sulawesi; Batuan Prisma Akresi sebagai bagian pembentukan Canggaa Busur Belakang Flores; Batuan Gunungapi Bawah Laut; dan Batuan Sedimen Klastika. Batuan Sedimen Klastika ini dapat dibedakan lagi menjadi lima unit. Daerah penelitian merupakan daerah yang aktif secara tektonik dan diekspresikan dalam bentuk prisma akresi, vulkanisme tidak aktif dan sesar-sesar aktif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada rekan-rekan anggota Tim Pemetaan Geologi dan Geofisika Bersistem Lembar Peta 2209 dan 2209 atas bantuannya selama survei di lapangan. Rekan-rekan fungsional tertentu atas kerjasama, diskusi, dan saran hingga terselesaikannya tulisan ini.

DAFTAR ACUAN

- Darman, H. and Sidi, F.H., 2000, *An Outline of The Geology Indonesia*. Indonesian Association of Geologist, Jakarta:192 h.
- Hatherton, T. and Dickinson, W.R., 1969, The relationship between andesitic volcanism and seismicity in Indonesia, the Lesser Antilles, and other island arcs, *Journal of Geophysical Research*. h.5301-5310.
- Hamilton, W., 1978, *Tectonic map of the Indonesian region*. U.S. Geological Survey, Miscellaneous Inventory Service Map, I-875D.
- Mitchum, R.M., 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 1: Glossary of terms used in seismic stratigraphy, in Payton, C.E., ed., *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration: Association of Petroleum Geologists Memoir 26*, h.205-212.
- Purwanto, C., Susilohadi, Hanafi, M., dan Hutagaol, J.P., 2012. *Pemetaan Geologi dan Geofisika Bersistem Lembar Peta 2208 dan 2209, Laut Flores*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Balitbang Energi dan Sumber Daya Mineral, Laporan Intern, Tidak dipublikasikan.
- Rangin, C., and Silver, E., 1990, Geological setting of the Celebes and Sulu Seas, In: *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Reports*, v. 124.