

POTENSI HIDROKARBON SEDIMEN PRA-TERSIER DAERAH ATAMBUA, TIMOR BARAT

(Hydrocarbon Potential of The Pre-Tertiary Sediment of Atambua Area, West Timor)

Eko Budi Lelono, Djoko Sunarjanto, dan Abdul Kholiq

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

ekobl@lemigas.esdm.go.id; djokos02@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I tanggal 8 Maret 2016; Diterima setelah perbaikan tanggal 1 Agustus 2016;

Disetujui terbit tanggal: 31 Agustus 2016.

ABSTRAK

Di Atambua dan sekitarnya dijumpai rembesan minyak dan gas di beberapa lokasi. Namun eksplorasi migas belum dilakukan secara intensif sehingga potensinya belum banyak terungkap. Penelitian ini difokuskan pada geologi batuan pra Tersier untuk mengetahui dan mengidentifikasi potensi hidrokarbonnya, untuk memastikan daerah ini layak untuk ditawarkan kepada investor. Metode yang dilakukan diawali studi literatur dan penelitian terdahulu, interpretasi data citra satelit, survei lapangan, analisis laboratorium dan integrasi data. Penelitian ini menghasilkan temuan baru berupa sedimen air tawar (diduga danau) produk syn-rift berumur Perm, sehingga terbuka peluang adanya sistem petroleum umur Paleozoikum. Secara umum disimpulkan bahwa elemen-elemen sistem petroleum sudah terbentuk di Wilayah Atambua dan sekitarnya, antara lain: serpih Perm Formasi Bisane dan batulempung Trias Formasi Aitutu berperan sebagai batuan sumber. Batupasir Perm Formasi Bisane dan batupasir Jura Formasi Oebaat dapat bertindak sebagai reservoir, sedangkan batulempung Jura Formasi Wailuli berpotensi sebagai penyekat. Perangkap migas yang berhasil diidentifikasi berupa struktur basement involved thrust dan imbricated fault.

Kata Kunci: potensi, hidrokarbon, pra-tercier, timor barat.

ABSTRACT

Atambua area and its vicinity have been well known to possess many hydrocarbon seepages. Unfortunately, lack of exploration activity avoids hydrocarbon potentiality of this area. This paper focuses on the geology of pre-Tertiary sequences in order to identify their potentiality for preparing working areas to be offered to the investors. The methodology of this research includes literature overview and recognition, remote sensing data interpretation, field surveys, laboratory analysis and data integration. This work found Permian freshwater (?lacustrine) sediment as a product of syn-rift, for the first time. This finding provides new opportunity to have petroleum system within Paleozoic age. Generally, the elements of petroleum system are proven to occur in study area. The Permian shale of Bisane Formation and the Triassic clay of Aitutu Formation are considered to be source rocks, whilst the Permian sandstone of Bisane Formation and the Jurassic sandstone of Oebaat Formation are capable to act as reservoirs. Mean while, the Jurassic clay of Wailuli Formation may be potential for sealing. Hydrocarbon traps occurring in the studied area include basement involved thrust and imbricated fault.

Keywords: potentiality, hydrocarbon, pre-terciary, west timor.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Berdasarkan pembelajaran sistem hidrokarbon untuk wilayah Indonesia, dari semua data yang ada diketahui bahwa volume minyak dan/atau gas yang akan ditemukan masih berpotensi besar, baik di daratan maupun di laut (Howes 2000 dalam Satyana 2013). Daerah perbatasan Indonesia-Timor Leste, antara lain Atambua (wilayah Nusa Tenggara Timur) dan Suai Cova Lima (Timor Leste) sudah lama terbukti memiliki sejumlah lokasi rembesan migas. Namun, eksplorasi migas belum dilakukan secara intensif sehingga potensinya belum banyak terungkap.

Khusus untuk wilayah Suai Timor Leste di sebelah timur Blok Atambua, sudah pernah dilakukan eksploitasi dan produksi minyak bumi, meskipun sekarang sudah ditinggalkan. Inventarisasi lanjutan dilakukan oleh United Nations (2003) berupa tinjauan dan ikhtisar data mencakup geologi, kerangka tektonik, potensi mineral, sumberdaya hidrokarbon, dan analisis keekonomian hingga status eksplorasi serta pengembangan industri pertambangan dan perminyakan Timor Leste.

Dari berbagai daerah potensial di Indonesia, dilakukan Kegiatan Evaluasi Bersama Intensifikasi Eksplorasi Migas di Kawasan Timur Indonesia. Dalam tulisan ini dipilih daerah/ wilayah penelitian yang selama ini masih menyimpan tanda tanya banyak pihak tentang potensi migas yang terkandung di bawahnya, yaitu wilayah Atambua dan sekitarnya.

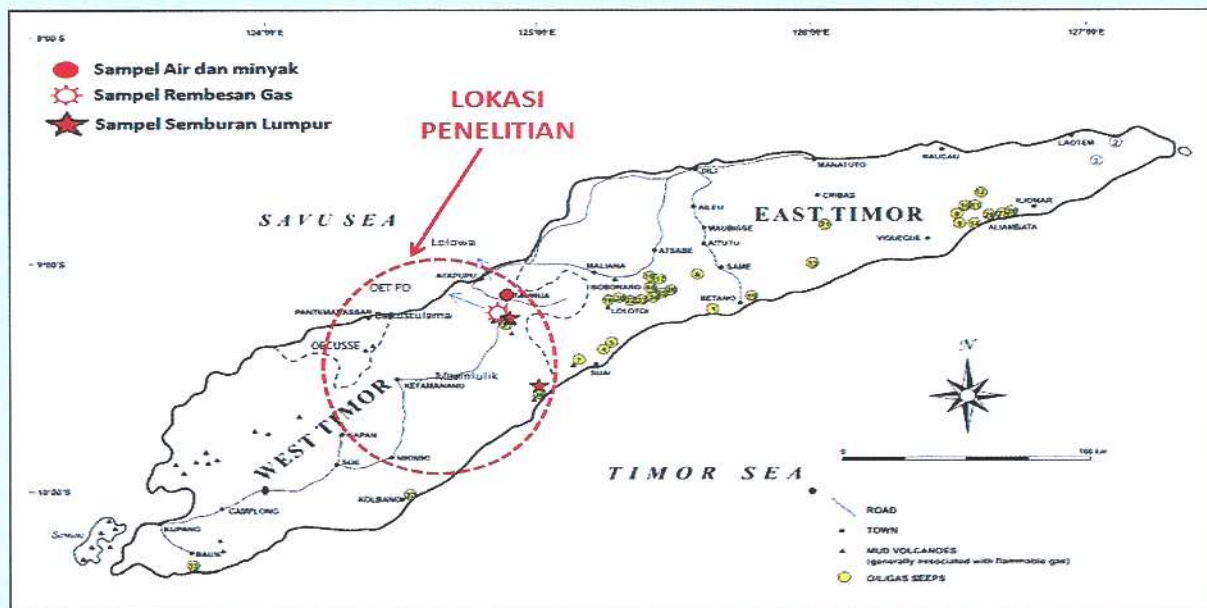
Mengingat di daerah perbatasan ini kondisi geologi Timor Indonesia dan Timor Leste banyak terdapat kesamaan, maka penelitian yang dilakukan di daerah Atambua memiliki nilai strategis dan pada saatnya nanti mampu meningkatkan tingkat keyakinan geologi, selanjutnya untuk mengetahui sumberdaya migas wilayah perbatasan negara Indonesia-Timor Leste-Australia.

B. Tujuan

Kegiatan eksplorasi migas Kawasan Timur Indonesia tahun 2015 difokuskan pada survei geologi, gayaberat, magnetik, magnetotelurik (MT) dan audio-magnetotelurik (AMT) di daerah Atambua, tetapi dalam makalah ini uraian difokuskan pada geologi batuan pra-Tersier dan kapasitasnya untuk bertindak sebagai batuan sumber (source rock), reservoir (reservoir) dan batuan penyekat (seal) sebagai perangkat hidrokarbon. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi potensi hidrokarbon batuan tersebut. Muaranya untuk menyiapkan lahan baru migas guna ditawarkan kepada investor. Diharapkan pada lahan migas yang berpotensi, akan ditindaklanjuti dengan kegiatan eksplorasi lanjutan termasuk juga pemboran dan ditawarkan sebagai wilayah kerja migas.

II. BAHAN DAN METODE

Secara garis besar metode yang dilakukan dalam penelitian ini diawali studi literatur dan evaluasi penelitian terdahulu. Selanjutnya adalah interpretasi



Gambar 1
Peta lokasi penelitian dan rembesan migas.

data citra satelit yang diikuti survei geologi dan geofisika serta analisis laboratorium. Akhirnya dilakukan integrasi antara data hasil survei dan hasil analisis laboratorium untuk mengetahui potensi batuan pra-Tersier dalam peranannya mengisi elemen-elemen sistem petroleum, juga untuk memahami struktur geologi yang berkembang yang berpotensi sebagai perangkap hidrokarbon.

Lokasi penelitian terletak di wilayah Atambua (Timor barat), dibatasi oleh Laut Savu di bagian utara dan laut Timor di bagian selatan. Bagian barat lokasi berbatasan dengan wilayah batugamping Kupang, sedangkan bagian timur lokasi berbatasan langsung dengan Timor Leste Gambar 1. Menurut Hadipandoyo dkk. (2007), geologi Pulau Timor relatif kompleks yang disebabkan oleh tektoniknya yang kompleks dan batuan penyusunnya yang beragam serta berasal dari tempat yang berbeda, yaitu batuan yang berasal dari pecahan Benua Australia, sedimen-sedimen yang berasal dari Busur Banda, serta sedimen yang diendapkan di Pulau Timor sendiri.

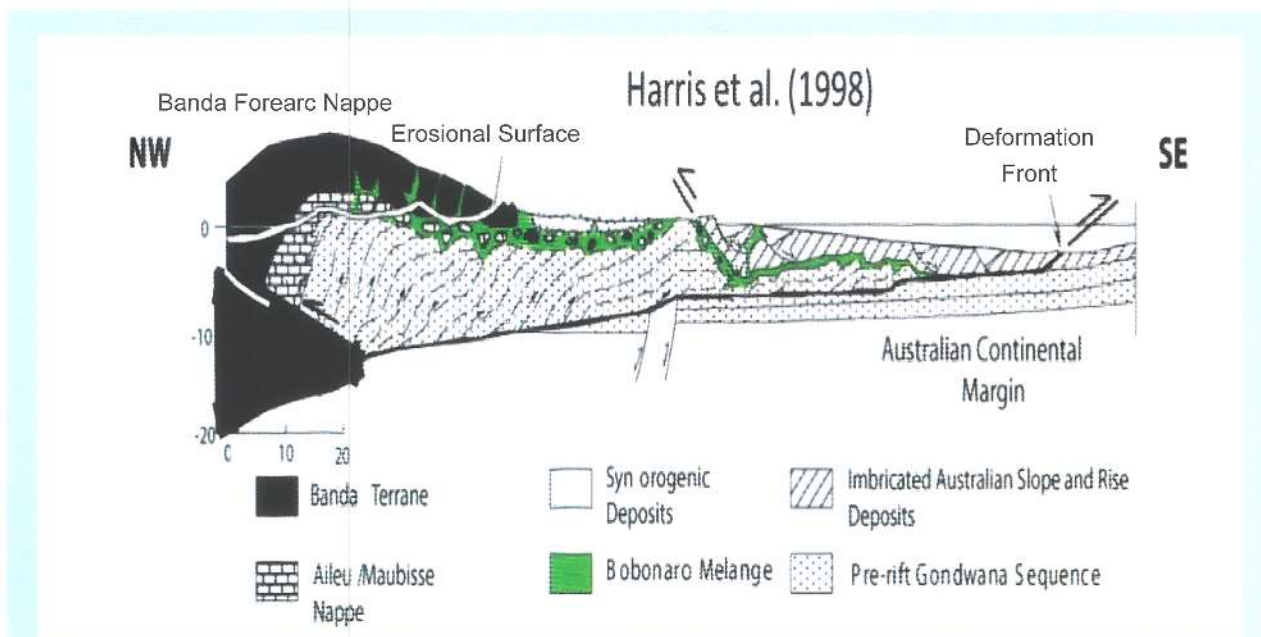
Geologi regional

Pulau Timor merupakan produk tumbukan antara Busur Vulkanik Banda dan Kontinen Australia yang terjadi pada Neogen, menciptakan kompleksitas geologi tinggi. Para ahli tektonik berbeda pendapat soal model tektonik yang berkembang di Pulau Timor. Hamilton (1979) menyimpulkan terjadi imbricated, sedangkan Harris (2011) menduga adanya overthrust. Sementara itu (Charlton et

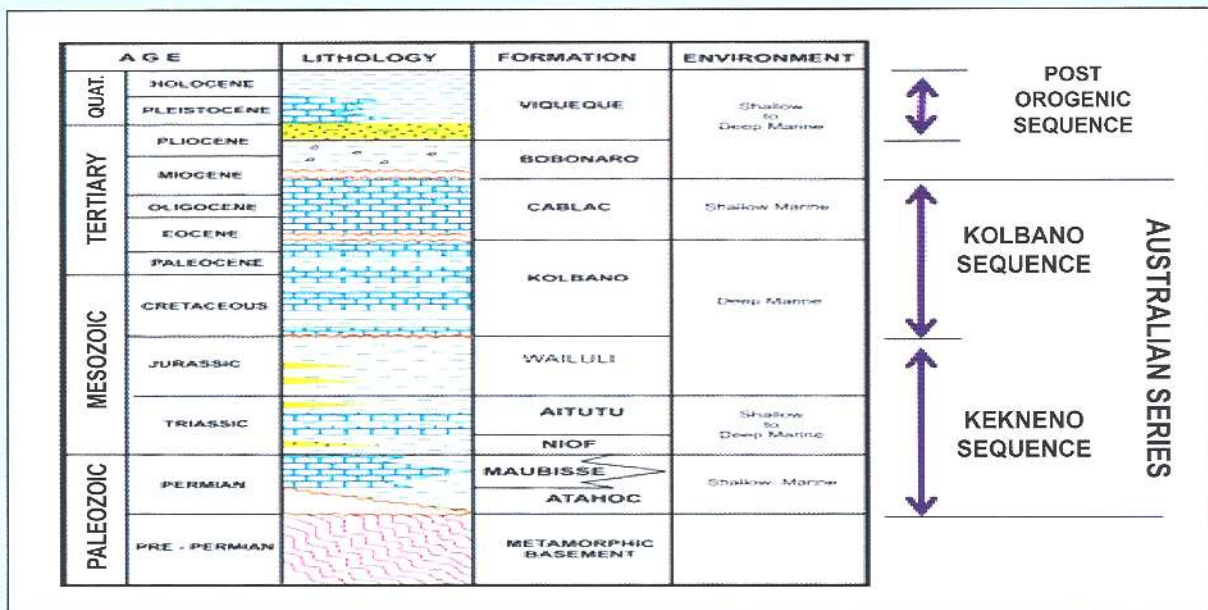
al. 2012) cenderung menganggap telah terjadi *basement involved thrust*. Semua model tektonik ini mengakibatkan tersingkapnya sedimen-sedimen berumur Paleozoikum sampai Kuartar secara luas. Selain itu, Pulau Timor juga dianggap sebagai bagian terluar dari Kontinen Australia yang mengandung sedimen-sedimen laut dalam berumur paleozoikum (Permian) sampai Kuartar.

Pada proses tektonik regional, bagian terdepan dari Timur Laut Australia bertabrakan dengan Busur Banda menyebabkannya pecah menjadi fragmen-fragmen atau blok-blok (Harris et al. 2000). Gaya friksi yang semakin membesar seiring tumbukan/gesekan antara Lempeng Australia dengan Busur Banda menyebabkan Busur Banda yang memiliki densitas lebih besar dapat naik ke atas Lempeng Australia yang memiliki densitas lebih kecil dikenal sebagai "crocodile type" seperti terlihat pada Gambar 2 (Harris 1998 dalam Lelono dkk 2015).

Kompleksitas tektonik Pulau Timor, berpengaruh pada tatanan stratigrafi daerah Timor. Secara umum, stratigrafi Pulau Timor dapat dibagi menjadi tiga sekuen yaitu Sekuen Kekneno, Kolbano dan Viqueque. Sekuen-sekuen ini terbentuk di lingkungan laut dangkal sampai dalam. Formasi tertua yang tersingkap di Pulau Timor berumur Permian yang ditemukan menumpang tidak selaras di atas batuan dasar pra-Permian. Sekuen Kekneno diperkirakan berumur Perm Awal sampai Jura Tengah terdiri dari Formasi-formasi: Bisane, Maubise, Niof, Aitutu, Babulu dan Wailuli. Sekuen Kolbano



Gambar 2
Model Tektonik Collision (Harris, 1998 dalam Lelono dkk, 2015).



Gambar 3 Stratigrafi regional Pulau Timor (deSmet dkk., 1996 dalam Lelono dkk, 2015).

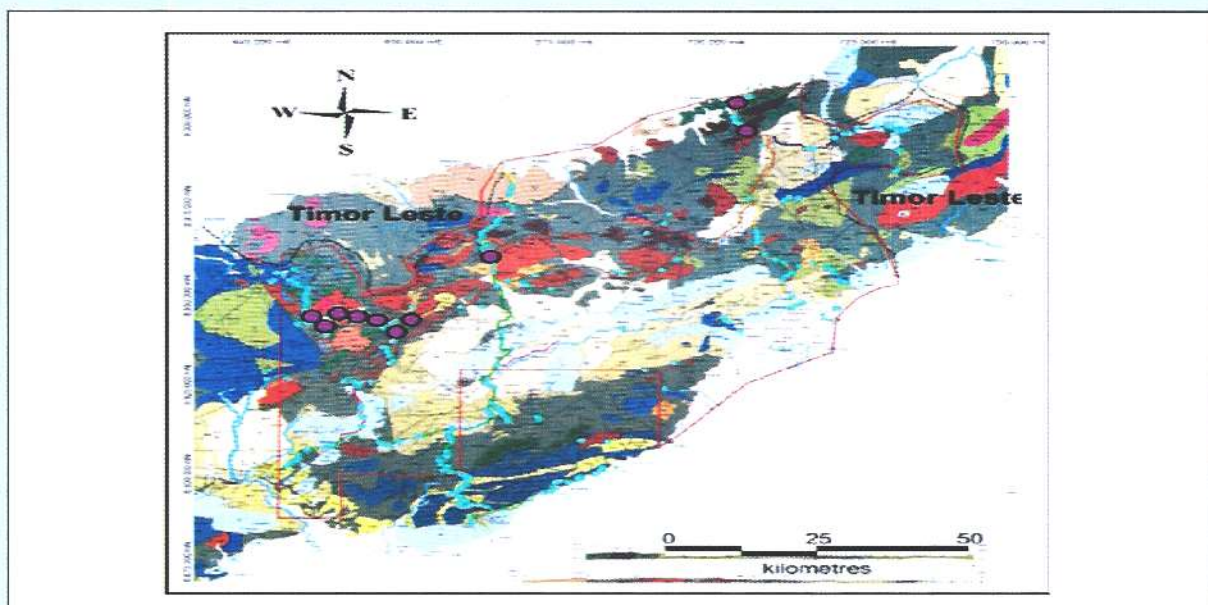
tersusun oleh batuan berumur Jura Akhir sampai Pliosen Awal termasuk Formasi- formasi Oebaat, Nakfunu, Menu dan Ofu. Sementara itu, Sekuen Viqueque merepresentasikan sedimen-sedimen post-orogenic berumur Plio-Pleistosen termasuk Formasi Viqueque dan melange. Formasi Viqueque tersusun oleh Anggota Batu dan Anggota Nole, sedangkan melange terdiri dari Formasi Bobonaro dan Formasi Sonnebait. Formasi termuda berumur Kuartar diendapkan di atas Formasi Viqueque, tersusun oleh

koral, konglomerat dan gravel serta aluvial, seperti terlihat pada Gambar 3.

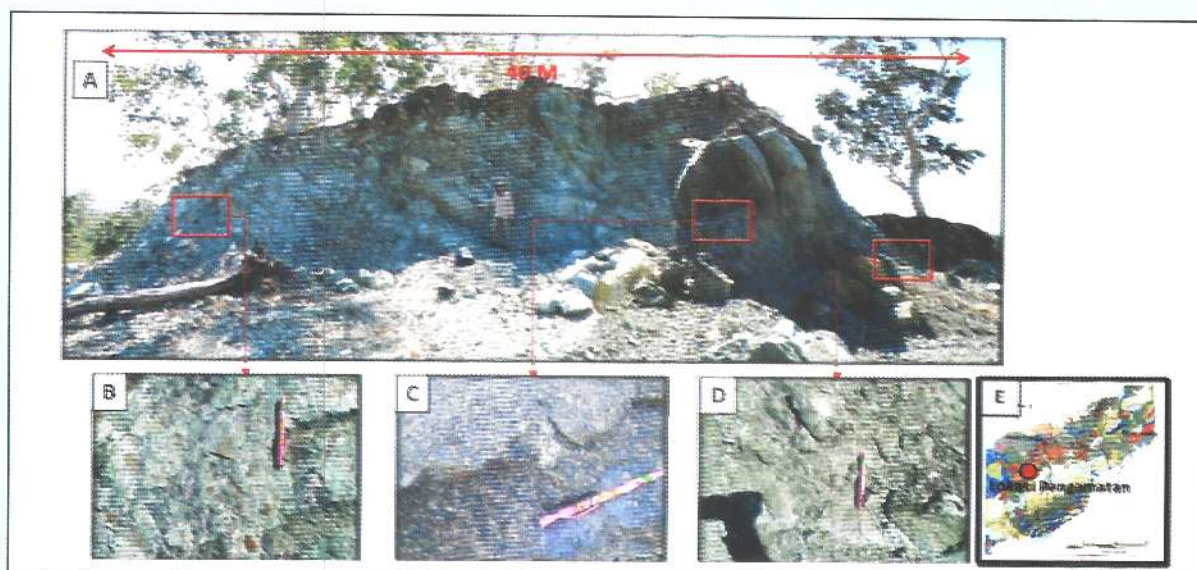
III. HASIL DAN DISKUSI

A. Stratigrafi Daerah Penelitian

Penamaan formasi batuan yang terdapat di daerah penelitian merujuk pada peta geologi yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi. Formasi batuan yang dijumpai memiliki kisaran umur tertua



Gambar 4 Peta sebaran batuan metamorf pra-Permian (titik ungu merupakan lokasi singkapannya).



Gambar 5

Singkapan batuan metamorf serpentinit. (A) Foto singkapan, (B) Foto Close-up serpentinit, (C) Foto close-up protolit serpentinit yang merupakan batuan beku ultrabasa (peridotit), (D) Foto close-up serpentinit dengan rekahan yang melimpah dan (E) Peta indeks lokasi pengamatan.

Perm dan yang termuda adalah Kuartar (Lelono *et al.* 2015). Pada beberapa lokasi ditemukan formasi batuan yang belum terpetakan atau berbeda dengan peta geologi terdahulu. Batuan yang tersingkap di daerah penelitian meliputi beberapa formasi sebagai berikut:

a. Pra-Permian.

Batuan berumur pra-Permian banyak ditemukan di bagian utara daerah penelitian, yaitu pada lintasan Bakulis, Kapan dan Bakitolas yang umumnya berupa batuan metamorf Gambar 4. Batuan ini tersusun oleh serpentinit, sedikit genis, sekis, batusabak dan amfibolit. Ditemukan serpentinit yang ditumpangi langsung oleh batugamping Formasi Maubisse berumur Permian.

Batuan metamorf pra-Permian umumnya tersingkap di tinggian berupa puncak-puncak bukit, seperti di Gunung Mutis yang merupakan bukit tertinggi di Nusa Tenggara Timur Gambar 5. Pada batuan metamorf dijumpai banyak rekahan yang menunjukkan kuatnya deformasi. Beberapa referensi (peta geologi Rosidi dkk, 1979; Sawyer dkk, 1993; dan Charlton 2002) mengungkapkan bahwa batuan metamorf ini merupakan batuan dasar Pulau Timor yang terangkat akibat tektonik yang bekerja pada Miosen Akhir.

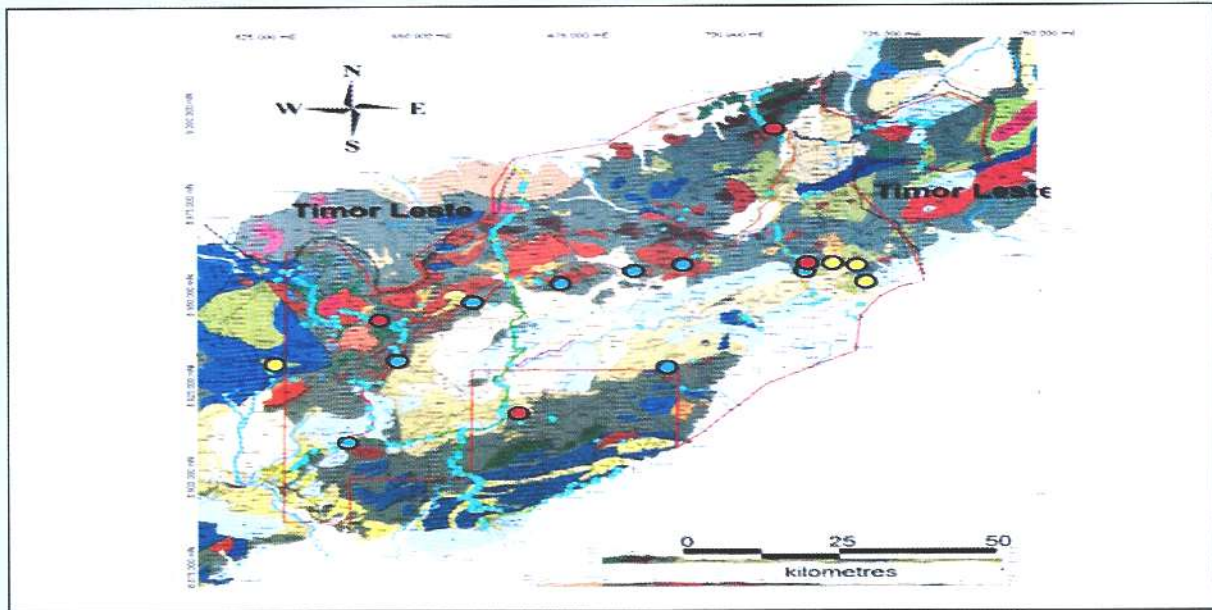
b. Permian.

Batuan sedimen tertua yang ditemukan di daerah penelitian berumur Permian, yang tersebar merata di seluruh daerah penelitian seperti di Desa-deso Soe,

Kapan, Kefamenanu, Atambua, Halilulik, Lil'ana dan Masilulik Gambar 6. Batuan Permian terdiri atas beberapa formasi batuan, yaitu Formasi Maubisse dan Formasi Bisane (ekivalen Formasi Atahoc atau Formasi Cribas). Kedua formasi batuan ini memiliki perbedaan litologi. Formasi Maubisse terdiri atas batugamping berwarna kemerahan, merupakan sedimen laut dangkal yang terdiri atas batugamping (kalkarenit) dengan ciri khas fosil amonit dan krinoid dengan jumlah yang melimpah. Sementara itu, Formasi Bisane terdiri atas batuan

Sedimen klastik yang diendapkan pada lingkungan laut dangkal. Ciri khas Formasi Bisane adalah batupasir tebal (ketebalan 0.3–5 meter), struktur sedimen silang-siur dan hummocky dengan komposisi mika yang cukup melimpah, mengandung fosil krinoid yang membuktikan umur batuan ini adalah Perm Gambar 7. Formasi Bisane berperan penting dalam sistem petroleum karena terdapat beberapa serpih hitam dengan TOC berkisar antara 11 sampai 24 sangat baik sebagai batuan induk (Lelono *et al.* 2015). Formasi Bisane juga memiliki batupasir yang dapat berperan sebagai reservoir (intraformational source rocks and reservoirs). Selain batuan sedimen, ditemukan pula singkapan batuan beku di beberapa tempat, berupa lava bantal yang memiliki struktur vesikuler.

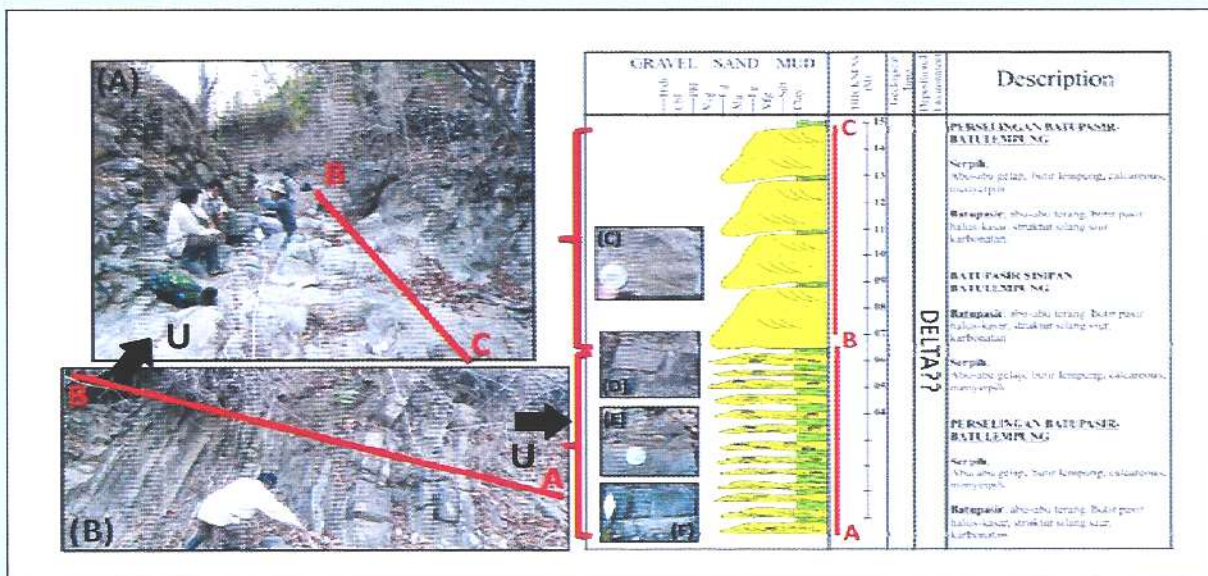
Selain sedimen marin, ditemukan pula sedimen non-marin pada Formasi Bisane yang tersingkap di bagian barat daerah penelitian. Sedimen non-marin memperlihatkan ciri-ciri endapan danau (lacustrine)



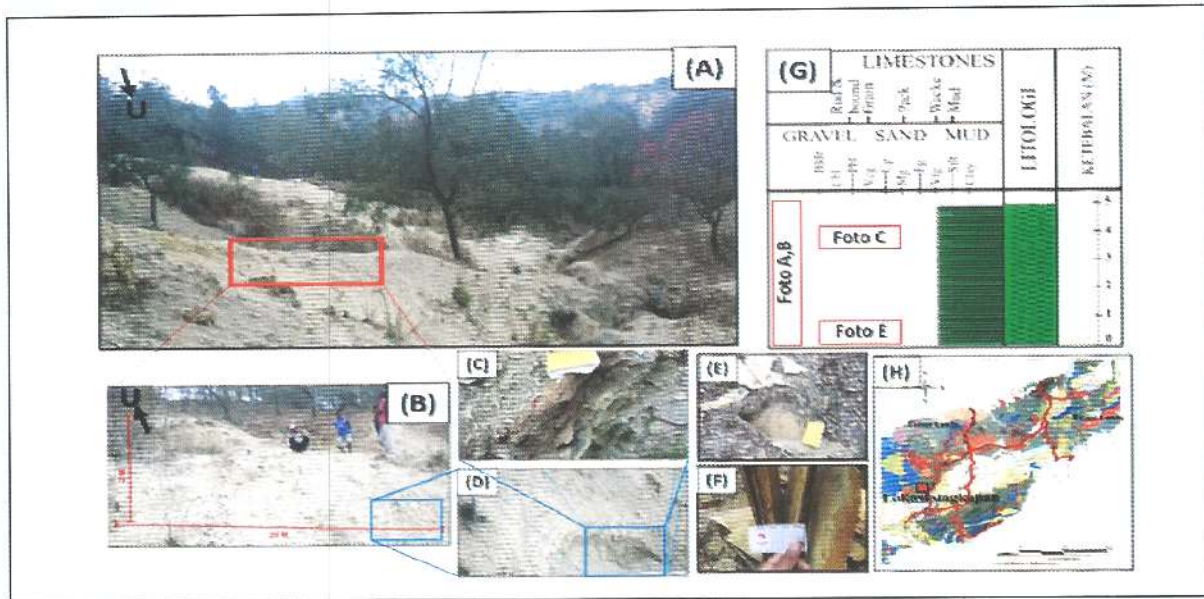
Gambar 6
 Peta sebaran batuan berumur Permian, titik biru lokasi singkapan Formasi Maubisse, titik kuning lokasi sebaran Formasi Bisane dan titik merah lokasi batuan beku Perm.

seperti litologi serpih hitam, struktur kertas (papery structures) dan dijumpai sulfur berwarna kekuningan Gambar 8. Terdapat rembesan gas pada sedimen non-marin ini yang terbakar untuk periode waktu yang cukup lama (sekitar satu tahun). Sedimen non-marin Formasi Bisane mengandung palinomorff yang didominasi oleh polen striate-bisaccate dan spora. Berdasarkan kemunculan polen indeks (striate-bisaccate) *Protohaploxypinus samoilovichii*, *P. fuscus*, *P. goraiensis*, *Striatopodocarpidites*

phaleratus, *Pinuspollenites globosaccus* dan *Lunatisporites pellucidus* yang dikombinasikan dengan spora (trilete-monosaccate) *Plicatipollenites malabarensis* dan *Cannanoropollis janakii* dapat disimpulkan umur Permian (Lelono *et al.* 2016). Dominasi polen striate dan non-striate bisaccates (diduga berasal dari *Glossopterid*) dan juga spora serta litologi serpih non gampingan menunjukkan bahwa sedimen terbentuk di lingkungan air tawar (fresh water swamp) pada iklim dingin. Dengan



Gambar 7
 Singkapan sedimen klastik Formasi Bisane. (A) dan (B) Foto singkapan yang menerus, (C) (D) (E) struktur sedimen silang siur dan (D) Struktur sedimen *hummocky cross-stratification*.

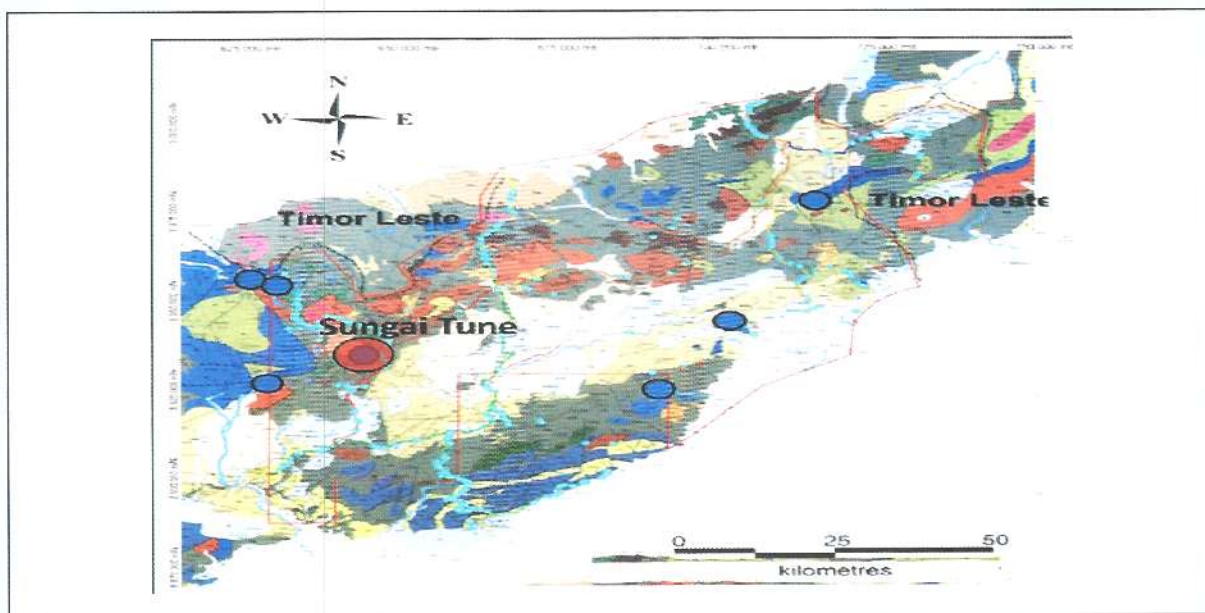


Gambar 8
Singkapan batuan sedimen danau. (A) dan (B) Foto singkapan batuan,
(C) (D) (E) (F) close-up papery shale, (G) Profil singkapan, dan (H) Peta indeks lokasi singkapan.

memperhatikan peristiwa tektonik pada umur Permian, diduga sedimen non-marine ini merupakan produk syn-rift yang terbentuk di lingkungan danau. Analisis geokimia menunjukkan bahwa sedimen danau ini mempunyai kandungan material organik tinggi (TOC: 11 sampai 24) (Lelono *et al.* 2015). Fakta ini adalah temuan penting yang membuka peluang baru ditemukannya sistem petroleum pada umur Paleozoikum.

c. Trias.

Batuan sedimen berumur Trias diwakili oleh Formasi Aitutu yang terbentuk di lingkungan laut dalam. Menurut Charlton (2002) Formasi Aitutu merupakan endapan syn-rift awal. Hal ini menunjukkan bahwa rifting di daerah penelitian terjadi di lingkungan laut. Formasi Aitutu tersingkap di lintasan Kapan dan beberapa titik di Desa Noelelo, Lil'ana, Amanatun Utara dan Kaeuman, berupa



Gambar 9
Penyebaran batuan Trias Formasi Aitutu, Lokasi Sungai Tune merupakan singkapan Formasi Aitutu terbaik.



Gambar 10

Singkapan Formasi Aitutu pada lintasan spot mapping Sungai Tune. (A) dan (B) batulempung hitam, (C) perselingan rijang, (D) struktur sedimen laminasi sejajar dan silang siur, dan (E) Halobia (fosil indeks Trias).

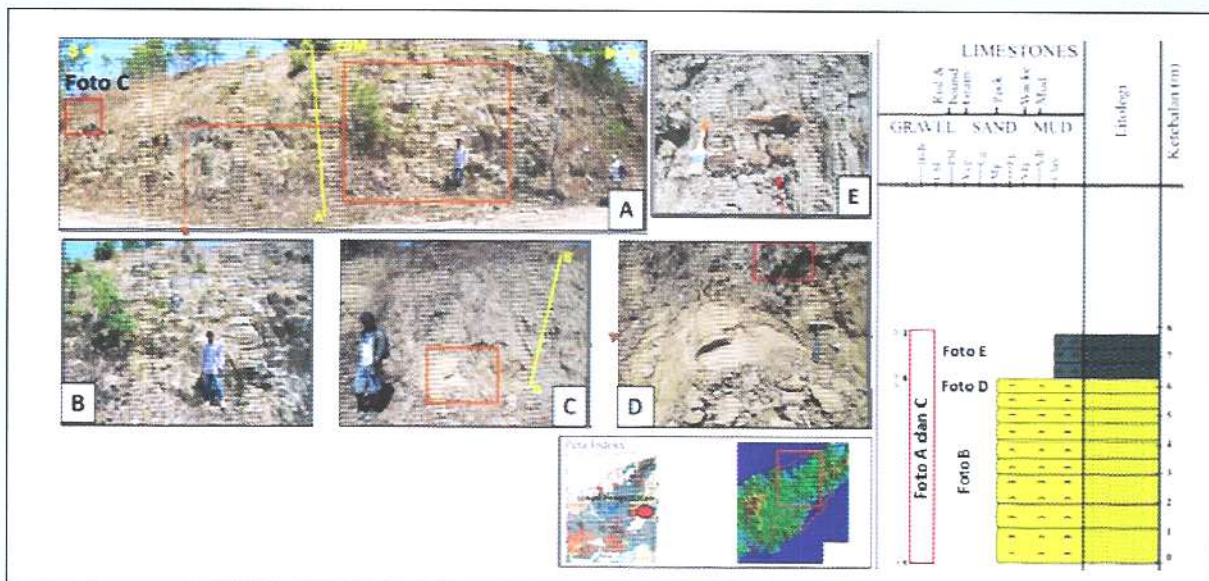
perselingan kalkarenit dengan kalsilutit dan beberapa sisipan rijang Gambar 9.

Singkapan Formasi Aitutu di Sungai Tune, Desa Eban tersusun oleh perselingan antara kalkarenit dan kalsilutit, di beberapa tempat terdapat

Sisipan serpih hitam dan rijang Gambar 10, kalkarenit, struktur sedimen graded bedding, parallel laminasi, silang siur, dan menghalus ke atas. Kalsilutit karbonatan dan serpih berwarna hitam, non karbonatan, tebal 1-15 cm. Rijang berwarna merah,

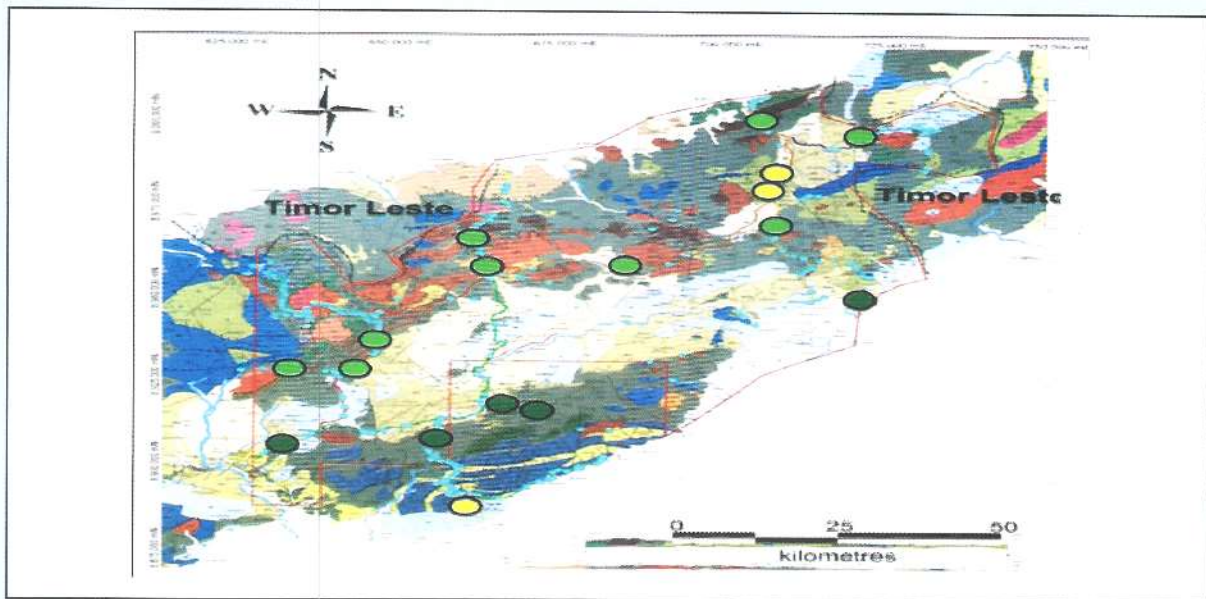
ukuran butir lempung-lanau, terkadang muncul sebagai lensa. Ciri khas ini menunjukkan bahwa batuan sedimen diendapkan di lingkungan laut dalam dengan mekanisme turbidit.

Menurut Charlton (2002), batuan sedimen Trias (Formasi Aitutu) menunjukkan potensi batuan induk yang bagus dengan keberadaan batulempung dan serpih berwarna hitam sampai abu-abu gelap yang diduga memiliki nilai TOC tinggi, di beberapa tempat muncul sulfur warna kekuningan, membuktikan



Gambar 11

Singkapan batuan Formasi Babulu. (A) dan (C) Singkapan batuan saling berhubungan, (B) Singkapan batupasir amalgamasi, (D) close up foto batupasir, (E) nodul besi pada batulempung.



Gambar 12

Lokasi singkapan batuan berumur Jura. Titik hijau gelap merupakan posisi mud volcano Formasi Wailuli, titik hijau terang berupa mélange, dan titik kuning merupakan batupasir Formasi Oebaat.

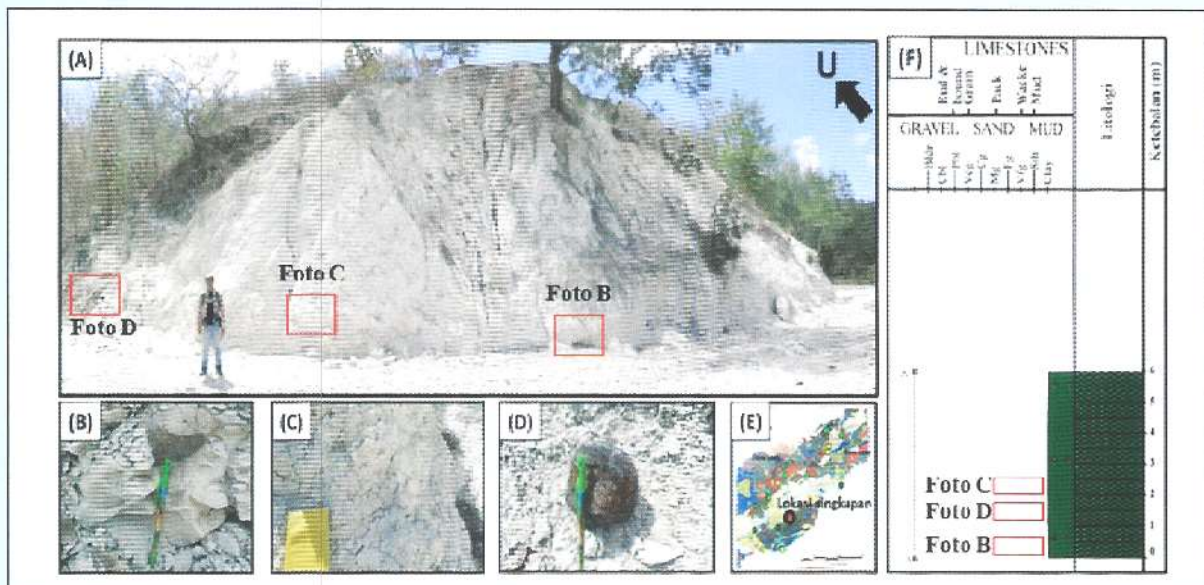
bahwa potensi hidrokarbon juga terdapat pada batuan sedimen dengan lingkungan pengendapan laut dalam.

Selain Formasi Aitutu, ditemukan pula seri batuan sedimen yang merupakan Formasi Babulu yang diendapkan di lingkungan laut dangkal (Sawyer *et al.* 1993). Formasi ini tersebar di sebelah timur daerah penelitian bagian. Berdasarkan pengamatan lapangan, Formasi Babulu mempunyai ciri khas berupa batupasir tebal dengan dominasi mineral

mika yang dominan Gambar 11. Ciri khas lainnya berupa batuan dengan struktur blocky, di bagian atas terdapat batulempung dengan nodul-nodul besi dan kandungan mangan.

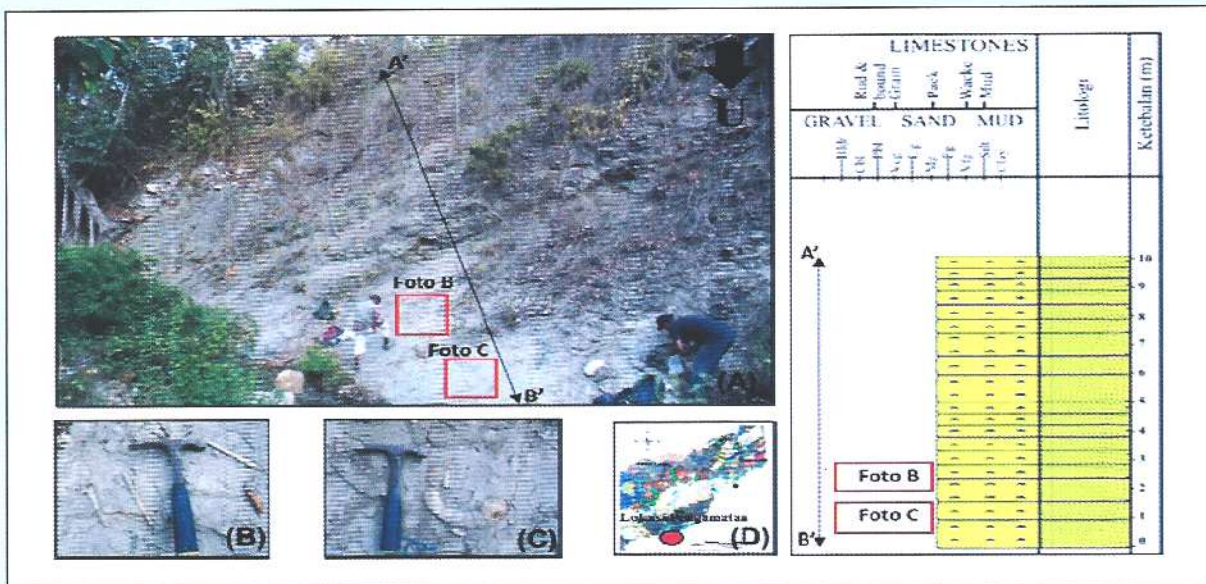
d. Jura.

Batuan sedimen umur Jura tersusun oleh batulempung yang sangat tebal dan unconsolidated, dikenal sebagai batulempung Formasi Wailuli dan juga batupasir tebal Formasi Oebaat (Harris 2011).



Gambar 13

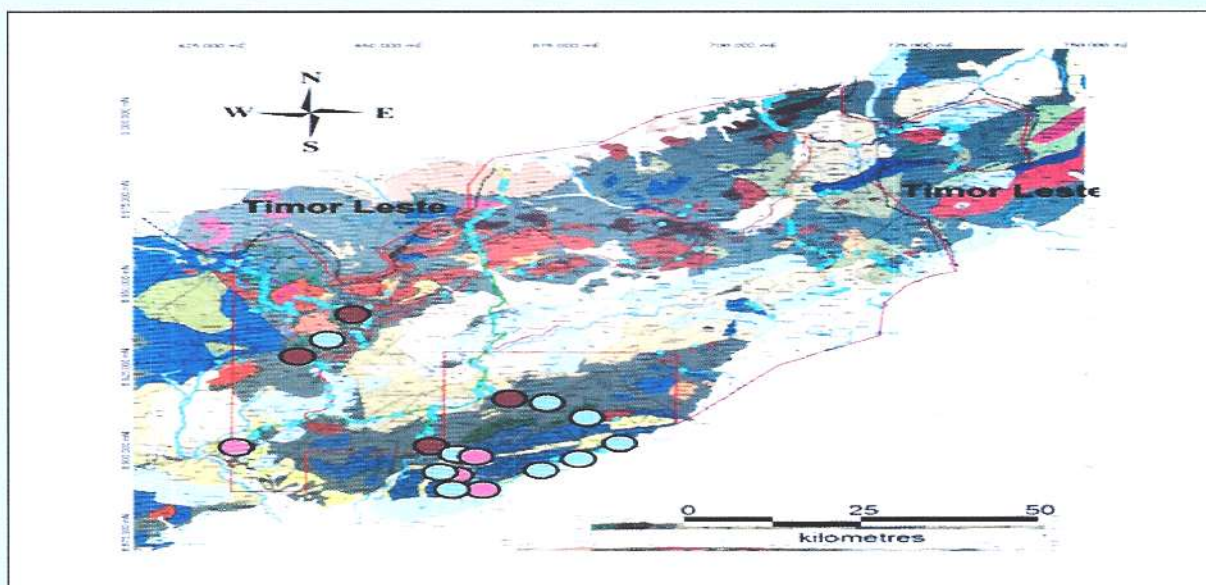
Singkapan batulempung Formasi Wailuli sebelum remobilised, (B) dan (C) Foto close-up batulempung Formasi Wailuli, (D) Nodul besi tertanam dalam batulempung, (E) Peta indeks lokasi singkapan.



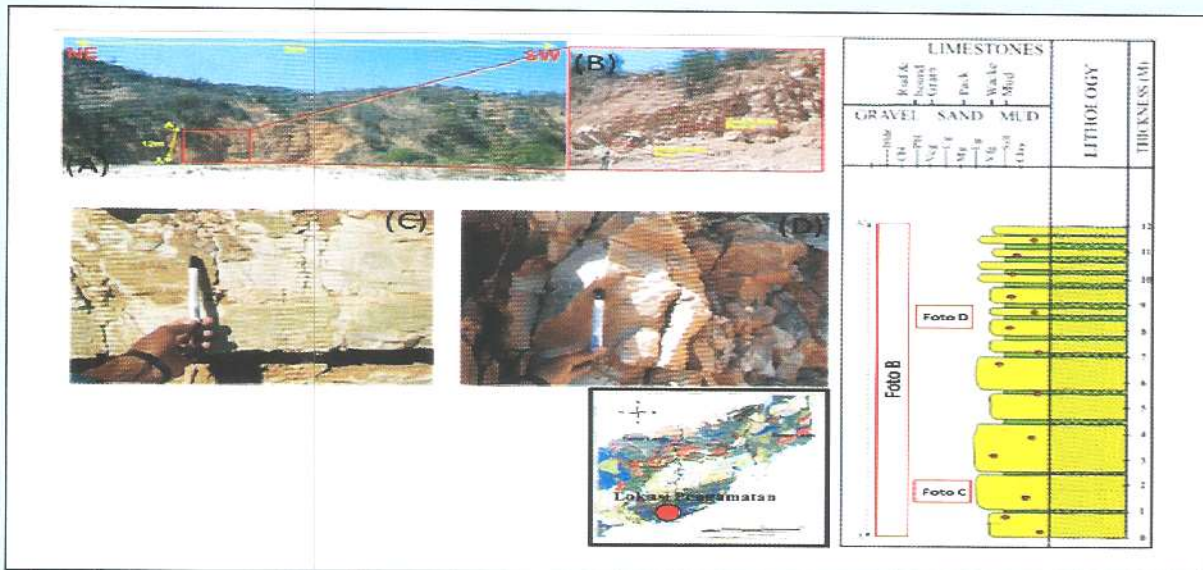
Gambar 14
Singkapan Formasi Oebaat.
(A) Foto lanskap singkapan, (B) dan (C) Foto close-up Belemnit, (D) Lokasi sampling.

Batuan sedimen Formasi Wailuli dianggap sebagai penyebab keberadaan mud volcano yang tersebar luas di Timor Barat. Mud volcano ini terbentuk akibat remobilized batulempung Formasi Wailuli yang keluar melalui bidang lemah seperti rekahan dan sesar. Batuan ini pada pegunungan utara juga berperan sebagai matriks yang menyelimuti blok batuan yang lebih tua yang terangkat karena proses tumbukan (collision).

Batuan sedimen berumur Jura ini tersebar luas di hampir seluruh daerah penelitian, antara lain pada lintasan Soe, Kapan, Banli, Kefamenanu, Bakitolas, Atambua, Halilulik, dan beberapa lokasi di Desa Amanatun Utara Gambar 12. Kenampakan (wujud) dari formasi ini juga berbeda, pada bagian utara, Formasi batulempung Wailuli ini dikenal dengan sebutan Formasi Bobonaro (remobilised Formasi Wailuli). Sedangkan di bagian selatan daerah



Gambar 15
Peta penyebaran batuan umur Kapur-Miosen. Titik coklat merupakan lokasi Formasi Nakfunu, titik biru muda adalah penyebaran Formasi Ofu dan titik merah muda menunjukkan penyebaran Formasi Batuputih.



Gambar 16

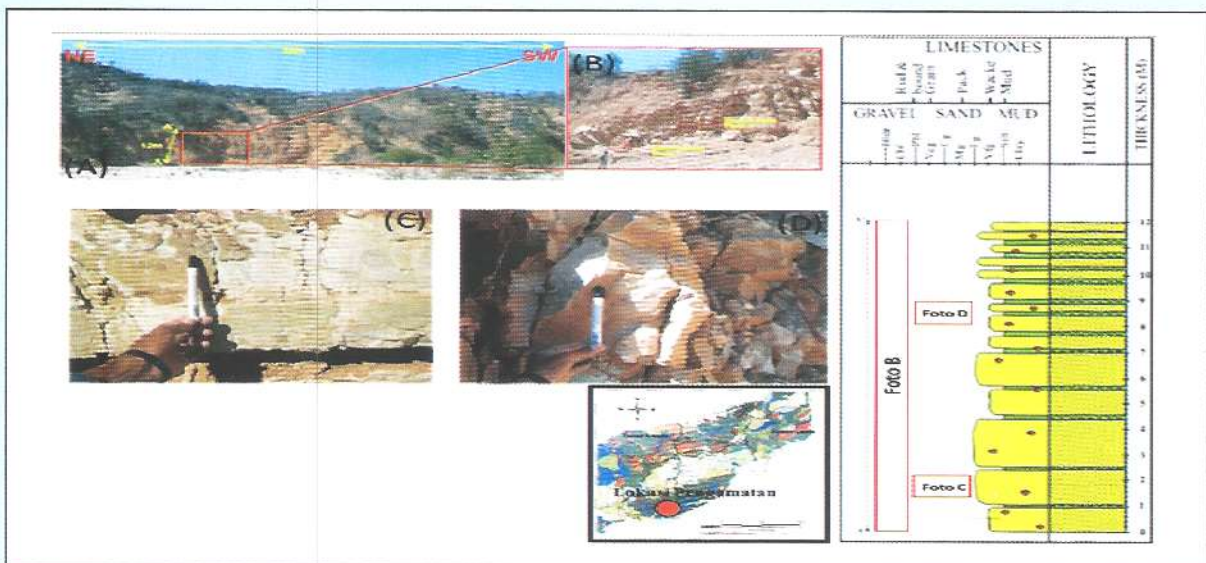
Penampang litologi Formasi Nakfunu. Warna kuning merupakan batupasir, warna hijau adalah batulempung, dan titik merah menunjukkan lensa-lensa rijang pada batupasir. (A) dan (B) Foto singkapan Formasi Nakfunu, (C) dan (D) Close up batupasir.

penelitian (Kolbano), wujud formasi ini berupa mud volcano yang sudah tidak aktif.

Pengamatan lapangan terhadap Formasi Wailuli yang belum mengalami remobilised memperlihatkan litologi terdiri atas batulempung berwarna kelabu, karbonatan, nodul mangan dan besi, tebal 20-30 m Gambar 13.

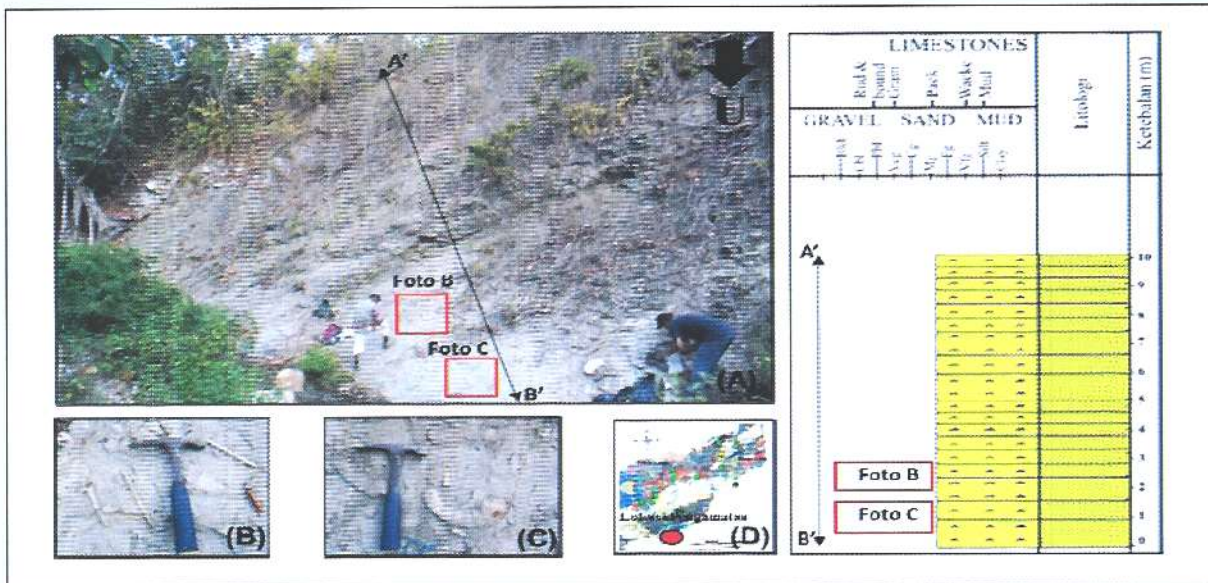
Pada sisi selatan bagian barat daerah penelitian ditemukan batupasir berumur Jura yang merupakan

Formasi Oebaat. Formasi ini tersusun oleh perselingan batupasir tebal (amalgamasi), banyak dijumpai fosil belemnit sebagai fosil indeks penentu umur Jura Gambar 14. Formasi ini sangat berpotensi sebagai reservoir, bahkan di sumur Banli-1 formasi ini merupakan target utama eksplorasi. Batupasir Formasi Oebaat ekuivalen dengan Formasi Plover (Jura tengah) di Lapangan Abadi yang merupakan kandidat reservoir paling potensial (Panuju *et al.* 2015).



Gambar 16

Penampang litologi Formasi Nakfunu. Warna kuning merupakan batupasir, warna hijau adalah batulempung, dan titik merah menunjukkan lensa-lensa rijang pada batupasir. (A) dan (B) Foto singkapan Formasi Nakfunu, (C) dan (D) Close up batupasir.



Gambar 17
 (A) Singkapan Formasi Ofu. (B) dan (D) close up perselingan batugamping dan batulempung hitam, (C) close up batugamping.

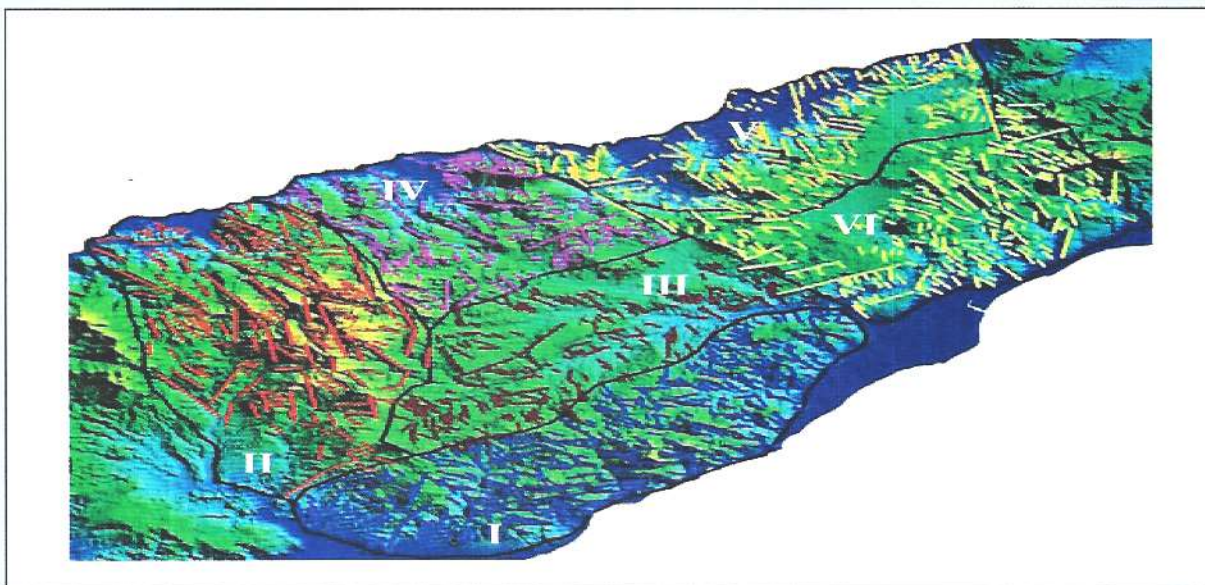
e. Kapur - Miosen.

Terdapat tiga formasi yang diendapkan pada umur Kapur sampai Miosen yaitu Formasi Nakfunu (Kapur), Formasi Ofu (Kapur-Miosen) dan Formasi Batuputih (Miosen). Ketiga formasi tersebut tersebar di bagian barat daerah penelitian, khususnya di sebelah selatan sepanjang pantai Gambar 15.

Formasi Nakfunu terbentuk di lingkungan laut dalam, tersusun oleh perselingan kalkarenit dan

kalsilitit dengan sisipan batulempung dan rijang Gambar 16. Rijang atau batulempung-rijang merupakan ciri khas formasi ini yang menunjukkan lingkungan pengendapan laut dalam.

Formasi Ofu terdiri atas perselingan antara kalkarenit, kalsilitit, batulempung dan serpih Gambar 17. Secara umum Formasi Ofu mirip dengan Formasi Nakfunu, hanya saja tidak ditemukan sisipan rijang yang menjadi ciri khas Formasi Nakfunu.



Gambar 18
 Peta Kelurusan struktur daerah penelitian.

Formasi Batuputih yang terbentuk pada umur Miosen tersusun oleh perselingan batugamping klastik dan tufa serta dijumpai beberapa sisipan batulempung dan serpih. Keberadaan tufa menjadi ciri utama Formasi Batuputih yang tersebar luas di bagian barat daerah penelitian di sisi selatan selatan sampai ke pantai.

B. Struktur Geologi

Analisis struktur dilakukan secara bertahap meliputi interpretasi data berdasarkan kelurusan pada peta Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), observasi/ ground-check dan survei lapangan serta analisis laboratorium. Daerah Atambua memperlihatkan fenomena tektonik yang kompleks sebagai daerah arc-continent collision, yaitu hubungan tektonik konvergen dua lempeng yang mengakomodasi tumbukan antar lempeng benua dengan lempeng benua, yaitu lempeng benua Eurasia yang diwakili oleh Busur Banda dan lempeng benua Indo-Australia.

a. Kelurusan

Analisis kelurusan berdasarkan peta model elevasi dilakukan untuk menentukan kelurusan struktur regional dan mengelompokkan daerah dengan kelurusan yang relatif sama. Kelurusan struktur diwakili arah bukit, lembah dan sungai yang erat kaitannya dengan struktur geologi. Berdasarkan parameter tersebut, daerah penelitian dibagi menjadi 6 kelompok kelurusan sebagaimana terlihat pada Gambar 18.

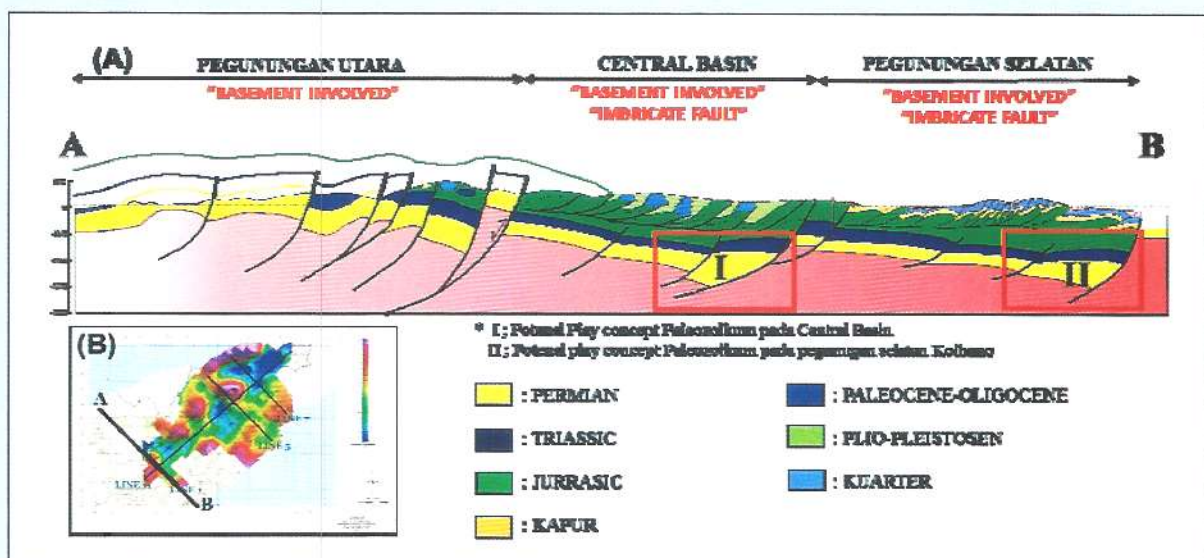
b. Arah Umum Kedudukan Batuan

Daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 fisiografi, yaitu northern range, central basin dan southern range. Ketiga fisiografi tersebut memiliki tren kedudukan batuan masing-masing. Kedudukan batuan pada northern range mempunyai arah umum NNE-SSW (N500E-N2300E), sedangkan daerah Central basin memiliki arah umum NNE-SSW (N350E-N2150E). Sementara itu daerah southern range menunjukkan arah umum ENE-WSW (N650E-N2450E). Interpretasi data magnetotelurik lintasan MT 1 menunjukkan variasi struktur geologi pada ketiga fisiografi tersebut Gambar 19. Northern range (pegunungan utara) berasosiasi dengan struktur basement involved thrust. Sementara itu, central basin dan southern range (pegunungan selatan) berkembang struktur basement involved thrust dan imbricated fault.

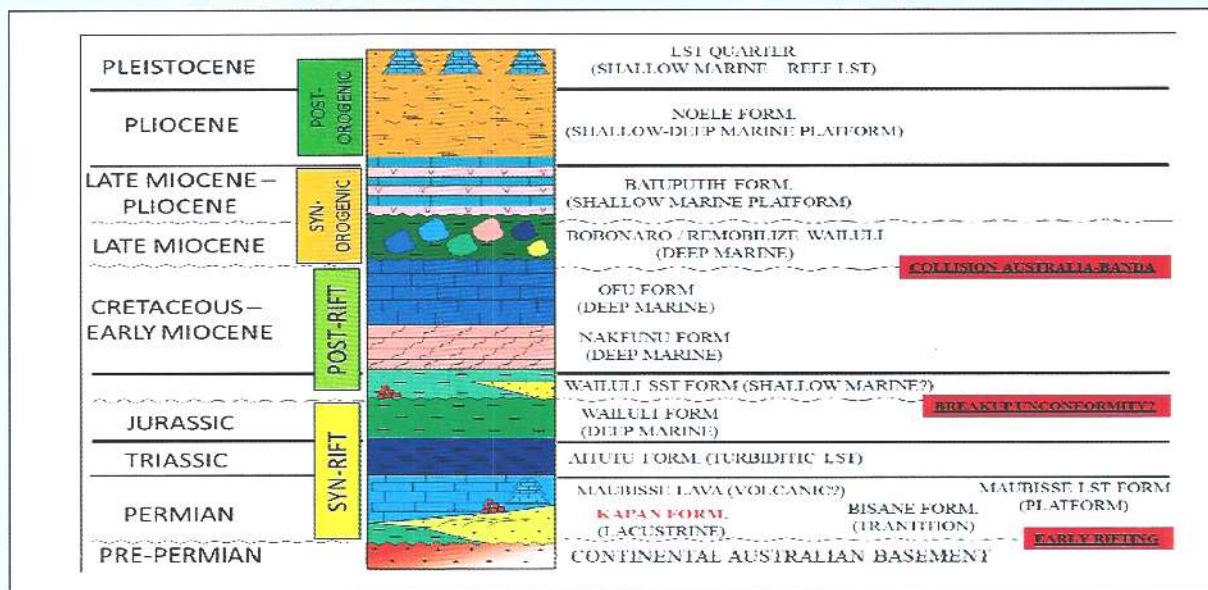
C. Tektonostratigrafi

Pembagian tektonostratigrafi berdasarkan atas kejadian tektonik yang berawal dari pembentukan cekungan, kemudian pengisian cekungan dan deformasi cekungan. Pembentukan cekungan di daerah penelitian diperkirakan terjadi pada Perm awal, dengan mekanisme extensional pada batuan dasar Kontinen Australia. Mekanisme extensional ini berlangsung hingga Jura. Pengisian cekungan terjadi segera setelah cekungan terbentuk (Perm awal) dan terus berlangsung hingga saat ini Gambar 20.

Pembentukan cekungan diawali di darat, ditandai



Gambar 19
(A) Penampang geologi lintasan survei magnetotelurik MT-1.
(B) Peta indeks lintasan MT-1 pada peta gravitasi residual.



Gambar 20
Tektonostratigrafi daerah penelitian.

dengan hadirnya sedimen air tawar (danau?) Formasi Bisane. Ciri khas dari batuan sedimen ini adalah perselingan serpih, batulempung dan batulanau, berwarna hitam, struktur lembar kertas (papery) dan kaya akan sulfur. Selanjutnya terjadi penurunan cekungan pada Perm akhir, diikuti dengan pengendapan sedimen laut dangkal dengan ciri khas batupasir tebal dengan sisipan batulempung dan mengandung fosil indeks Krinoid. Pada saat yang sama diendapkan batuan karbonat Formasi Maubisse. Kedua formasi ini diperkirakan menjari dan memiliki potensi sebagai reservoir (Lelono *et al.* 2015). Tersingkapnya formasi umur Perm ini akibat aktifitas tektonik yang intensif, sehingga mampu mengangkat Formasi Bisane dan Maubisse ke permukaan.

Penurunan cekungan terus berlangsung hingga Trias yang diindikasikan dengan terbentuknya sedimen laut dalam Formasi Aitutu. Singkapan Formasi Aitutu tersusun oleh batuan karbonatan yang diendapkan di lingkungan laut dalam dengan mekanisme turbidite, terlihat dari struktur sedimen berupa graded bedding, laminasi sejajar, silang siur dan batulempung pelajik. Selain itu ditemukan pula sisipan serpih hitam yang dapat berfungsi sebagai batuan induk dan batugamping klastik (kalkarenit) yang dapat berperan sebagai batuan reservoir, pada intraformational petroleum system (Lelono *et al.* 2015).

Penurunan cekungan berlanjut pada umur Jura yang dicirikan dengan pengendapan sedimen laut dalam Formasi Wailuli. Sedimen ini berupa batulempung tebal berwarna abu-abu dengan nodul besi dan mangan yang melimpah. Formasi Wailuli berperan sebagai bidang gelincir sesar yang

terbentuk akibat proses collision. Batulempung Formasi Wailuli dapat menjadi penyekat (seal) yang baik. Fase akhir penurunan cekungan pada umur Kapur-Miosen Awal ditandai dengan pengendapan sedimen laut dalam Formasi Nakfunu dan Ofu berupa batugamping klastik dengan sisipan batu lempung dan rijang (khusus Formasi Nakfunu).

Bersamaan proses collision terbentuk sedimen laut dalam Formasi Bobonaro yang diduga sebagai Formasi wailuli yang telah termobilisasi ulang (remobilised). Selanjutnya secara tidak selaras diendapkan sedimen laut dangkal Formasi Batuputih berupa perselingan tufa dan batugamping.

Paska collision pada umur Pliosen, terbentuk sedimen laut dangkal-laut dalam Formasi Noele yang terdiri atas napal dan batupasir turbidit. Formasi ini banyak ditemukan pada central basin, dan beberapa di rendahan (low) Atambua. Formasi Noele ekuivalen dengan Formasi Viqueque yang tersebar luas di Timor Leste. Di daerah Suai, batupasir Formasi Viqueque terbukti mengandung hidrokarbon. Sebagaimana Formasi Viqueque, batupasir Formasi Noele pun sangat potensial sebagai reservoir (Lelono *et al.* 2015). Selanjutnya pada umur Plistosen terbentuk batugamping Kuartar yang terbentuk di lingkungan laut dangkal.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan survei geologi dan geofisika non-seismik serta didukung analisis laboratorium, dapat disimpulkan bahwa sedimen pra-Tersier yang ada di daerah Atambua, NTT memiliki potensi migas.

Penelitian ini berhasil menyingkap keberadaan serpih hitam air tawar (danau?) produk syn-rift berumur Perm untuk pertama kalinya. Analisis palinologi perconton serpih hitam Formasi Bisane memperlihatkan kelimpahan polen striate bisaccate dan trilete monosaccate yang menandai umur Perm. Sementara itu, litologi non-kalkareous dan absennya palinomorfin marin menunjukkan lingkungan air tawar. Serpih hitam ini menunjukkan TOC tinggi sehingga sangat berpotensi sebagai batuan induk. Disisi lain, batupasir tebal Formasi Bisane dapat berperan sebagai reservoir. Penemuan ini membuka peluang keberadaan sistem petroleum umur Paleozoikum

Sementara itu, elemen-elemen sistem petroleum juga ditemukan pada formasi batuan berumur Mesozoikum dan Tersier, seperti serpih hitam Formasi Aitutu berumur Trias yang berpotensi sebagai batuan induk. Batupasir Formasi Oebaat (Jura) dan batupasir Formasi Noele (Pliosen) dapat berperan sebagai reservoir. Batulempung tebal Formasi Wailuli (Jura) sangat baik berperan sebagai batuan penyekat.

Kompleksitas tektonik daerah penelitian menghasilkan variasi struktur geologi yang dapat berfungsi sebagai jebakan migas. Di daerah pegunungan utara berkembang struktur basement involved, sedangkan di daerah central basin dan pegunungan selatan didominasi struktur basement involved thrust dan imbricated fault.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan berbagai pihak sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik, antara lain Kepala PPPTMGB "LEMIGAS" yang menugaskan penulis bersama tim melakukan penelitian, Kepala Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Nusa Tenggara Timur yang telah memberikan bantuan perijinan survei, pimpinan dan staf PT Elnusa Tbk dan PT GDA Consulting yang telah melakukan pekerjaan survei, prosesi dan interpretasi data geologi dan geofisika daerah Atambua. Ucapan terima kasih kami tujukan pula kepada seluruh anggota Tim dari Kelompok Program Litbang Teknologi Eksplorasi PPPTMGB "LEMIGAS" atas kerjasamanya yang sangat baik.

KEPUSTAKAAN

- Charlton, T.R.**, 2002. The Petroleum Potential of West Timor. Proceedings of the Indonesian Petroleum Association 30.
- Charlton, T. R.** dan **Gandara, D.**, 2012. Structural-Stratigraphy Relationships at the Boundary of

the Lolotoi Metamorphic Complex, Timor Leste: Field Evidence Against an Allochthonous Origin. 1st International Geology Congress of Geology of Timor Leste, Dili.

- Hadipandoyo, S., Setyoko, J.** dan **Guntur A.**, 2007. Kuantifikasi Sumberdaya Hidrokarbon Indonesia. Puslitbang Teknologi Migas, "LEMIGAS", Jakarta.
- Hamilton, W.**, 1979. Tectonics of the Indonesian Region. U.S. Geological Survey Professional Paper 1078.
- Harris, R. A., Kaiser, J., Hurford, A.** and **Carter, A.**, 2000. Thermal history of Australian passive margin cover sequences accreted to Timor during Late Neogene arc continent collision, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 18.
- Harris, R.A.**, 2011. The Nature of the Banda Arc Continent Collision in the Timor Region. *Arc Continent Collision*. Springer, Hal. 163-211.
- Lelono, E. B., Sukmo Rasanty, T. B.** dan **Riandra, F.**, 2015. Evaluasi Bersama Intensifikasi Eksplorasi Migas di Kawasan Timur Indonesia. Puslitbang Teknologi Migas "LEMIGAS" Laporan Internal Proyek DIPA.
- Lelono, E. B., Nugrahaningsih, L., Kurniadi, D., Suandhi, P. A.** dan **Utomo, B.**, 2016. Palynological Investigation of the Permian Sediment in the On-shore West Timor. Proceedings of Geosea XIV and 45th Indonesia Geologist Association Annual Convention, Bandung.
- Panuju, Setyoko, J., Lelono, E. B., Kapid, R., Anwari, J.** dan **Prayitno, I.**, 2015. Evaluasi Sumberdaya Hidrokarbon Daerah Barakan dan Sekitarnya. Prosiding Konferensi Teknologi Minyak dan Gas Bumi, Diskusi Ilmiah XII, Puslitbang Teknologi Migas "LEMIGAS", Jakarta.
- Rosidi, H. M. O., Suwitopiroyo, K.** dan **Tjokrosapetro, S.**, 1979. Geological map Kupang - Atambua Quadrangle, Timor 1:250.000. Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia.
- Satyana, A. H.**, 2013. Menyigi Geologi, Mencari Migas Indonesia. *Geomagz* Vol. 3 No.3, Badan Geologi KESDM.
- Sawyer, R. K., Sani, K.** dan **Brown, S.**, 1993. Stratigraphy and Sedimentology of West Timor, Indonesia. Proceeding of the 22nd Indonesian Petroleum Association Annual Convention, Hal. 1-20.
- United Nations**, 2003. Geology and Mineral Resources of Timor-Leste. Economic and Social Commission For Asia and The Pacific Atlas of Mineral Resources of The ESCAP Region, Vol. 17.