

ANALISIS STRATIGRAFI SIKUEN INTERVAL PLIOSEN PADA LAPANGAN BUNYU TAPA, KALIMANTAN UTARA

HARI FERNANDES^{1,2}, DJUHAENI²

1. KSO Pertamina EP - Bunyu Tapa Energi, hari.fernandes@gmail.com
 2. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung
 (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia, 40132.

Sari – Lapangan Bunyu Tapa merupakan salah satu lapangan yang aktif menghasilkan hidrokarbon pada Pulau Bunyu, Kalimantan Utara. Salah satu interval yang produktif menghasilkan hidrokarbon di Lapangan Bunyu Tapa adalah interval Pliosen yang setara dengan Formasi Tarakan. Belum adanya analisis stratigrafi sikuen serta analisis distribusi reservoir dari interval Pliosen di Lapangan Bunyu Tapa menjadi latar belakang dari penelitian ini.

Hasil analisis dan interpretasi menggunakan konsep stratigrafi sikuen menunjukkan bahwa interval Pliosen di Lapangan Bunyu Tapa dapat dibagi menjadi lima paket sikuen. Secara umum batas sikuen pada Sikuen 1–3 menunjukkan perubahan fasies secara drastis dari *lower delta plain* menjadi *marsh*. Sedangkan batas sikuen pada Sikuen 4-5 dicirikan dengan perubahan fasies secara drastis dari *tidal sand flat* menjadi *marsh* yang diikuti dengan *fluvial channel*.

Distribusi reservoir UT-6 (Sikuen-5) menunjukkan lingkungan pengendapan *upper delta plain* sedangkan distribusi reservoir LT-3 (Sikuen-3) menunjukkan lingkungan pengendapan *lower delta plain*. Perubahan fasies secara vertikal dan lateral yang drastis atau secara tiba-tiba menyebabkan reservoir pada Lapangan Bunyu Tapa tidak terdistribusi dengan baik atau bersifat *isolated*.

Kata Kunci: Stratigrafi, Sikuen, Distribusi Reservoir, Lapangan Bunyu Tapa.

Abstract – *The Bunyu Tapa Field is located in Bunyu Island, North Borneo. Pliocene interval is one of many interval that actively produce hydrocarbon until now on The Bunyu Tapa Field. There is still lack understanding of sequence stratigraphy and reservoir distribution analysis from Pliocene interval at The Bunyu Tapa Field become the background for this study. Data that used for this study are well log, seismic, biostratigraphy and core.*

This study, shows that Pliocene interval on The Bunyu Tapa Field can be divided into five sequences. In general sequence boundary on Sequence 1–3 characterized by drastic facies changes from lower delta plain into marsh. Meanwhile, sequence boundary on Sequence 4–5 are characterized by drastic facies changes from tidal sand flat into marsh followed by fluvial channel.

In this study there are two reservoir that will be modelled, which are UT-6 and LT-3. The UT-6 Reservoir is located in the upper part of Sequence 5 that consist of tidal flat and fluvial channel in general. Reservoir modelling from the UT-6 shows the various depositional facies from marsh, tidal – fluvial complex. The LT-3 Reservoir is located in Sequence 3 that consist of mouth bar, tidal flat and marsh facies. Reservoir modelling from LT-3 shows various depositional facies from lower delta plain (distributary mouth bar) to upper delta plain (marsh, tidal – fluvial channel and distributary mouth bar). Abrupt facies changes in The Bunyu Tapa Field caused the reservoirs are not well distributed or isolated channel.

Keyword: *Stratigraphy, Sequence, Pliocene Interval, Bunyu Island, The Bunyu Tapa Field.*

1. PENDAHULUAN

Pulau Bunyu merupakan pulau dengan luas 198,2 km² yang berlokasi di Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara. Pulau Bunyu merupakan salah satu

pulau yang aktif menghasilkan hidrokarbon (minyak dan gas) di Kalimantan Utara. Terdapat beberapa lapangan yang aktif menghasilkan

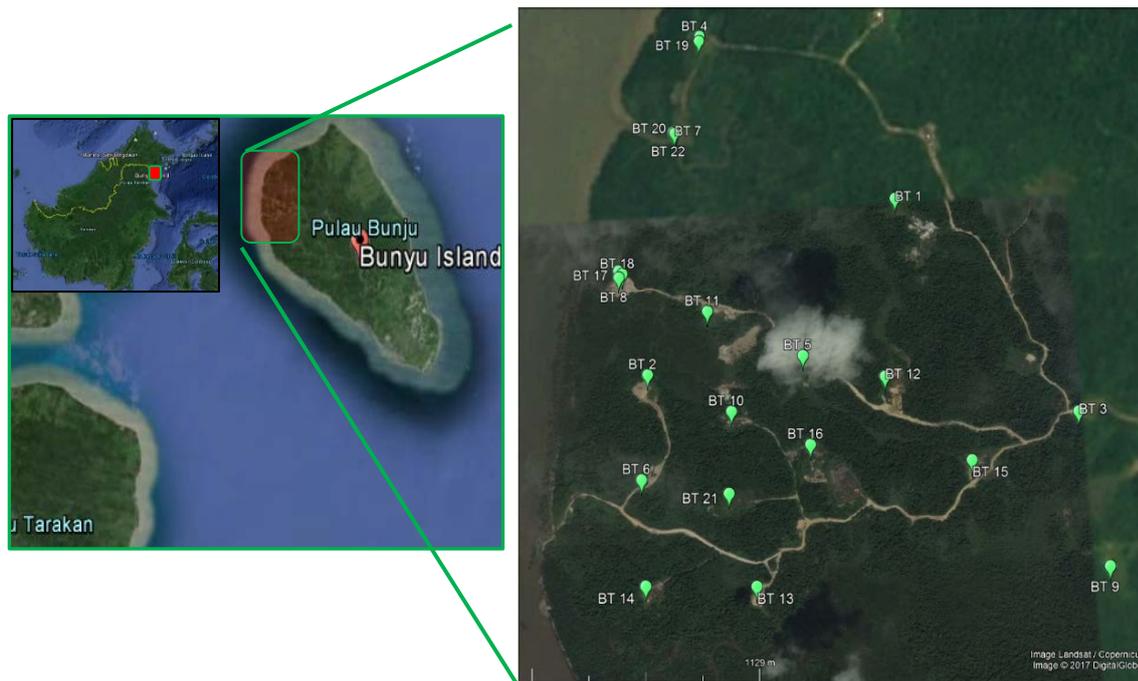
hidrokarbon pada pulau ini. Penelitian ini akan fokus kepada Lapangan Bunyu Tapa.

Lapangan Bunyu Tapa terletak di Pulau Bunyu yang secara administratif, termasuk ke dalam Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara (**Gambar 1**). Lapangan Bunyu Tapa ini memiliki luas $\pm 13 \text{ km}^2$ dengan panjang 3,56 Km dan lebar 3,7 Km.

Pada Lapangan Bunyu Tapa, interval Pliosen yang ekuivalen dengan Formasi Tarakan merupakan salah satu interval yang aktif memproduksi hidrokarbon sampai saat ini. Interval Pliosen pada Lapangan Bunyu Tapa diperkirakan terbentuk pada lingkungan *delta plain* bagian atas sampai bagian bawah (*upper* sampai *lower delta plain*) (Akuanbatin dkk, 1984). Distribusi reservoir pada

lingkungan *delta plain* (*upper* ataupun *lower delta plain*) umumnya tidak terdistribusi secara luas (*isolated*), sehingga memicu keingintahuan mengenai distribusi reservoir dari interval Pliosen pada Lapangan Bunyu Tapa. Belum adanya studi mengenai stratigrafi sikuen dari interval Pliosen pada Lapangan Bunyu Tapa menjadi latar belakang dari studi ini.

Dengan menerapkan konsep stratigrafi sikuen, harapannya dapat mengetahui perkembangan stratigrafi dari interval Pliosen di Lapangan Bunyu Tapa sehingga distribusi reservoir penghasil hidrokarbon pada Lapangan Bunyu Tapa dapat diketahui dengan lebih baik. Selain itu, harapannya juga dapat membangun kerangka stratigrafi dari interval Pliosen yang ada di Lapangan Bunyu Tapa.



Gambar 1. Peta lokasi Pulau Bunyu dan Lapangan Bunyu Tapa. Pulau Bunyu terletak di Kabupaten Bulungan, Provinsi Kalimantan Utara (Sumber: Google Earth).

2. DATA DAN METODOLOGI

2.1 Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan merupakan data mentah dan data sekunder.

Data mentah yang digunakan adalah sebagai berikut:

a.) Data Tali Kawat

Pada Lapangan Bunyu Tapa, terdapat 22 sumur, dengan 5 sumur miring dan 17 sumur vertikal. Sumur-sumur tersebut merupakan sumur yang dibor pada rentang tahun 1970 sampai tahun 1980, sehingga tidak semua data tali kawat dapat digunakan dalam studi ini.

Data tali kawat merupakan data utama yang digunakan karena data tali kawat pada daerah studi memiliki kualitas yang jauh lebih baik dibandingkan dengan kualitas data seismik. Dalam studi ini, data tali kawat digunakan untuk interpretasi sikuen stratigrafi, korelasi, serta pembuatan peta distribusi reservoir.

b.) Data Seismik

Pada Lapangan Bunyu Tapa, terdapat sembilan *line* seismik. Data seismik yang ada merupakan data seismik 2D tahun 1987 dan 1986 dengan kualitas yang kurang baik. Data seismik tersebut telah dilakukan pengolahan ulang (*reprocessing*) agar mendapatkan data yang lebih baik. Hasil pengolahan ulang data seismik pada Lapangan Bunyu Tapa masih menunjukkan kualitas yang kurang baik. Walaupun demikian, data seismik ini

tetap dipakai untuk mengetahui struktur geologi yang berkembang serta mengetahui perkembangan *horizon/marker* seismik pada Lapangan Bunyu Tapa. Buruknya kualitas data seismik pada daerah studi menyebabkan data ini tidak dapat digunakan untuk membantu pembuatan model distribusi reservoir.

c.) Data Contoh Inti Batuan.

Pada Lapangan Bunyu Tapa tidak terdapat data contoh inti batuan *hand specimen*, yang ada adalah laporan deskripsi contoh inti batuan baik contoh inti batuan samping (*sidewall core*) ataupun contoh batuan inti konvensional (*conventional core*) (**Tabel 1**).

Interval Pliosen pada Lapangan Bunyu Tapa yang ekuivalen dengan Formasi Tarakan berada pada ke dalaman 550 – 1530 m (sumur BT-3). Oleh karena itu, tidak semua data dapat dipakai dalam studi ini karena fokus studi ini ada pada interval Pliosen. Data contoh inti batuan yang termasuk ke dalam interval Pliosen adalah contoh inti batuan (*sidewall core*) pada sumur BT-1, BT-2, BT-3, dan BT-4 (Lampiran Contoh Inti Batuan BT-1, BT-2, BT-3 dan BT-4).

Tabel 1. Daftar laporan contoh inti batuan Lapangan Bunyu Tapa.

Sumur	Data Contoh Inti Batuan	Interval
BT-1	Side Wall Core	350 – 3892,5 m
BT -2	Side Wall Core	265 – 949 m
BT -3	Side Wall Core	217 – 3445 m
BT -4	Side Wall Core	1278 – 1689 m
BT -5	Conventional Core	2746 – 2747 m; 2854 – 2860 m
BT -6	Conventional Core	2535 – 2540 m
BT -16	Conventional Core	1848 – 1854 m; 1948 – 1952 m; 2212 – 2218 m

2.2 Metodologi

Dalam melakukan penelitian ini, metodologi penelitian yang digunakan dibagi menjadi beberapa langkah. Tahapan serta metodologi penelitian yang dipakai adalah sebagai berikut:

a. Pengumpulan Data

Dalam tahapan ini, pengumpulan data pertama yang dilakukan adalah melakukan pengumpulan studi literatur yang terkait dengan daerah penelitian baik yang telah

di maupun yang belum di publikasikan sehingga dapat membangun hipotesis.

Lapangan Bunyu Tapa merupakan lapangan yang dikelola oleh salah satu perusahaan yang melakukan kerjasama dengan PT. Pertamina EP, sehingga pengumpulan data mentah dilakukan dengan mengajukan izin kepada perusahaan pengelola lapangan tersebut.

- Data Contoh Inti Batuan (*Core*): Berdasarkan laporan contoh inti batuan (Tabel 1), diketahui secara umum Lapangan Bunyu Tapa tersusun atas tujuh fasies, yaitu: fasies batupasir lempungan, batubara, batupasir, batulempung pasiran, batulempung, batulanau dan serpih

b. Pengolahan Data

Setelah pengumpulan data, tahap selanjutnya adalah pengolahan data. Pada tahapan ini, data mentah yang didapat diolah secara terpisah. Berikut penjelasan singkat dari pengolahan tiap-tiap data:

- Data Contoh Inti Batuan (*Core*): Analisa contoh inti batuan dilakukan dengan mempelajari laporan data contoh inti batuan yang termasuk kedalam interval Pliosen. Berdasarkan analisa laporan contoh inti batuan tersebut diketahui bahwa secara umum lapangan Bunyu Tapa tersusun atas tujuh fasies, yaitu: fasies batupasir, batubara, batupasir lempungan, batulempung pasiran, batulempung, batulanau, dan serpih.

Contoh inti batuan dari sumur-sumur tersebut kemudian diintegrasikan dengan data log sinar gamma. Integrasi contoh inti batuan dengan log sinar gamma menunjukkan contoh inti batuan yang didominasi oleh serpih dan batulempung (batuan berukuran halus) ditunjukkan dengan log sinar gamma yang bernilai tinggi, sedangkan contoh inti batuan yang tersusun atas batupasir (batuan berukuran

kasar) ditunjukkan dengan log sinar gamma yang bernilai rendah.

Terbatasnya contoh inti batuan pada area studi menyebabkan untuk sumur-sumur lain yang tidak memiliki data contoh inti batuan akan mengikuti hasil integrasi contoh inti batuan dengan pola log sinar gamma sumur-sumur yang memiliki contoh inti batuan.

- Data log sumur: Interpretasi data log pada Lapangan Bunyu Tapa digunakan untuk interpretasi lingkungan pengendapan, analisis stratigrafi sikuen, korelasi dan membangun model distribusi reservoir.

Untuk sumur yang tidak memiliki data contoh inti batuan, interpretasi lingkungan pengendapan memakai klasifikasi pola log sinar gamma Emery dan Myers (1996). Dari deskripsi contoh inti batuan pada sumur BT-3 terdapat struktur *mud drape* yang menunjukkan lingkungan *tide-dominated*. Selain itu, hasil peneliti terdahulu serta geologi regional menunjukkan bahwa Pulau Bunyu termasuk ke dalam lingkungan deltaik. Oleh karena itu, interpretasi lingkungan pengendapan dari log sinar gamma mengarah pada lingkungan *tide-dominated delta*.

Analisis log sumur menunjukkan bahwa log sinar gamma bernilai rendah tidak hanya tersusun atas batupasir, tetapi juga batubara. Keberadaan batubara tersebut dapat diidentifikasi dari log neutron (NPHI) dan log densitas (RHOB). Oleh karena itu analisis log tidak dapat hanya menggunakan log sinar gamma tetapi juga memakai log neutron, log densitas.

Setelah itu, hasil interpretasi lingkungan pengendapan berdasarkan log sumur diintegrasikan dengan data lainnya (biostratigrafi dan contoh inti batuan) untuk interpretasi stratigrafi sikuen. Analisis stratigrafi sikuen ini pertama kali

dilakukan pada sumur kunci (sumur dengan data paling lengkap), yaitu sumur BT-2 dan BT-3. Setelah itu dilakukan korelasi antar sumur untuk mengetahui perkembangan stratigrafi dari tiap marker yang dijumpai pada sumur kunci. Korelasi stratigrafi sikuen ini dilakukan paralel dengan analisis seismik stratigrafi sikuen. Setelah itu, data korelasi tersebut digunakan untuk membangun model distribusi reservoir.

➤ Data seismik

Hasil interpretasi stratigrafi sikuen pada log sumur kemudian diikatkan dengan data seismik (*well-seismic tie*). Setelah dilakukan pengikatan (*well-seismic tie*), kemudian dilakukan *picking horizon* untuk melihat perkembangan marker stratigrafi sikuen dari log sumur pada seismik.

Data analisis seismik ini juga dikembangkan untuk mengetahui perkembangan struktur geologi pada Lapangan Bunyu Tapa menjadi peta struktur waktu (*time structure map*). Buruknya kualitas data seismik yang ada pada Lapangan Bunyu Tapa menyebabkan data seismik ini tidak dapat dikembangkan menjadi peta RMS *amplitude* yang dapat membangun model distribusi reservoir.

Oleh karena itu, interpretasi model lingkungan pengendapan akan mengandalkan data log sumur.

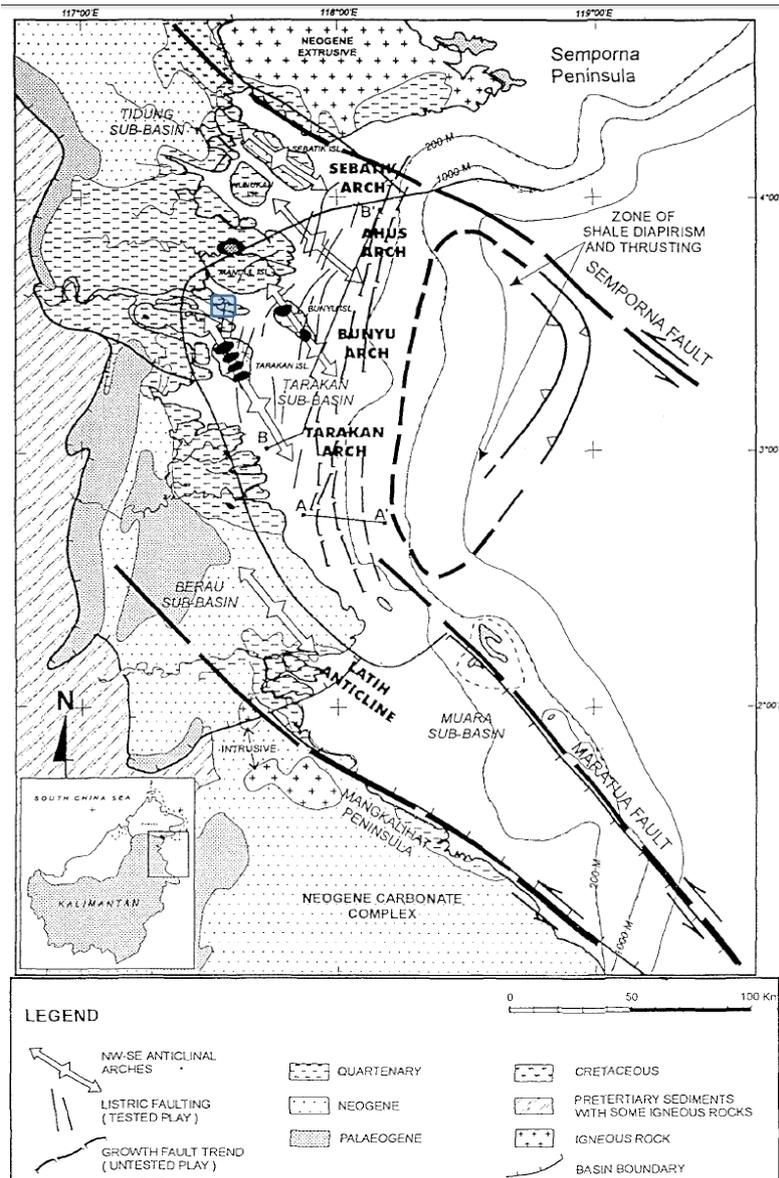
Dengan mengintegrasikan hasil analisis dan interpretasi, diketahui perkembangan stratigrafi sikuen secara vertikal dan horisontal, distribusi reservoir, dan dapat membangun kerangka stratigrafi dari interval Pliosen di Lapangan Bunyu Tapa.

3. GEOLOGI

Lapangan Bunyu Tapa termasuk ke dalam Cekungan Tarakan. Pada Cekungan Tarakan, terdapat empat Sub-cekungan, yaitu:

- a.) Sub-cekungan Tidung
- b.) Sub-cekungan Berau
- c.) Sub-cekungan Muara
- d.) Sub-cekungan Tarakan.

Dari ke-empat Sub-cekungan tersebut, daerah penelitian (Lapangan Bunyu Tapa) termasuk ke dalam Sub-cekungan Tarakan. Sub-cekungan Tarakan dibatasi oleh Sub-cekungan Tidung dan tinggian Sampoerna di bagian utara, kemudian Sub-cekungan Berau dan tinggian Suikerbrood di bagian barat, kemudian Sub-cekungan Muara dan tinggian Mangkalihat di selatan, serta selat Makasar di bagian Timur (**Gambar 2**).



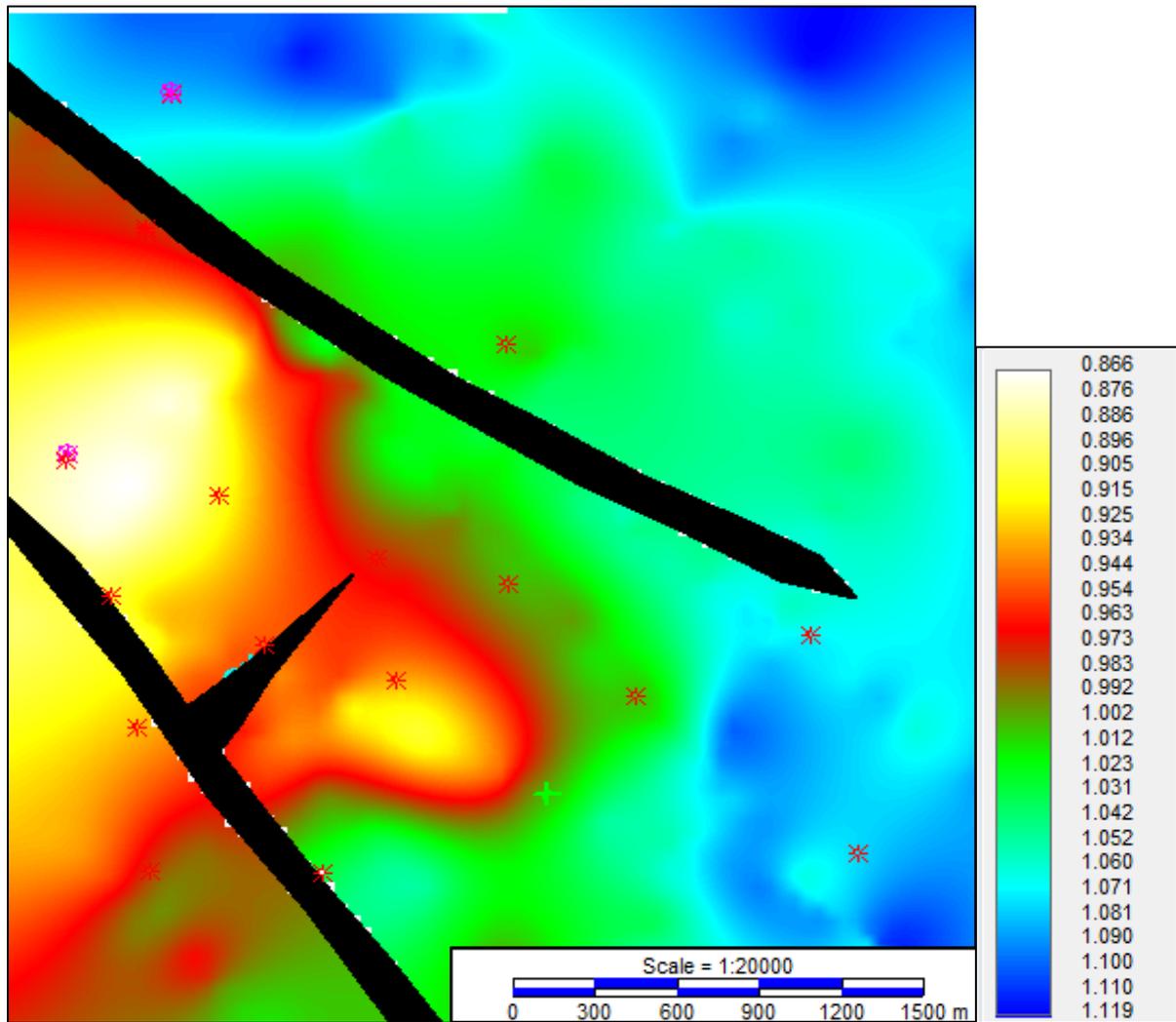
□: Lokasi Penelitian

Gambar 2. Struktur geologi regional Cekungan Tarakan (Lentini dan Darman, 1996).

3.1 Struktur Geologi

Pada Lapangan Bunyu Tapa, interpretasi struktur dilakukan menggunakan data seismik yang ada. Pada Lapangan Bunyu Tapa, data seismik yang ada merupakan data seismik 2D tahun 1987 dan 1986 dengan kualitas yang buruk walaupun sudah dilakukan proses ulang. Berdasarkan interpretasi seismik, diketahui bahwa pada Lapangan Bunyu Tapa terdapat dua arah

struktur sesar yang berkembang, yaitu sesar dengan arah relatif barat laut – tenggara dan sesar dengan arah relatif timur laut – barat daya (**Gambar 3**). Pada Lapangan Bunyu Tapa, sesar dengan arah relatif barat laut – tenggara memiliki dimensi yang lebih besar dibandingkan sesar dengan arah relatif timur laut – barat daya.

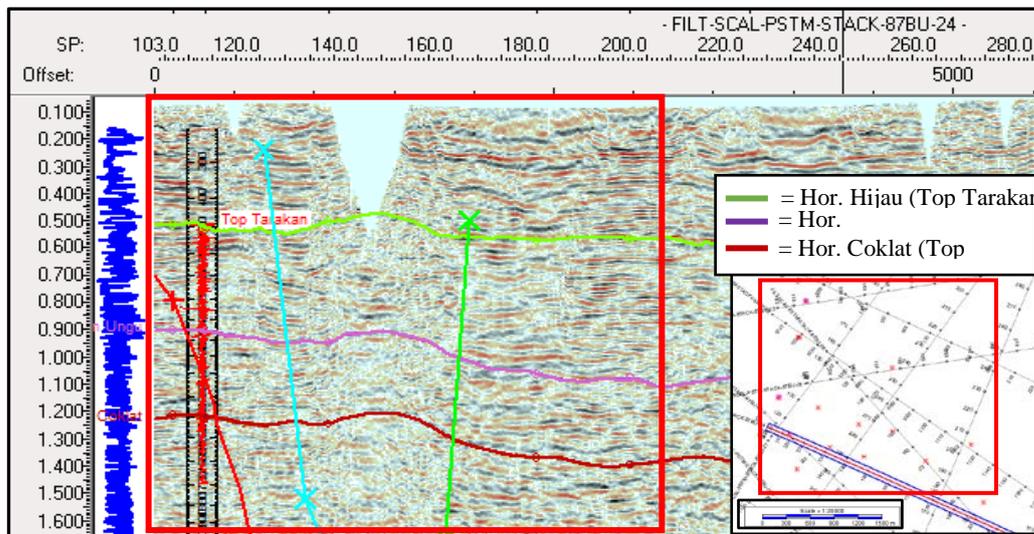


Gambar 3. Peta struktur waktu horizon ungu. Terdapat dua arah struktur, yaitu sesar dengan arah relatif barat laut – tenggara dan timur laut – barat daya.

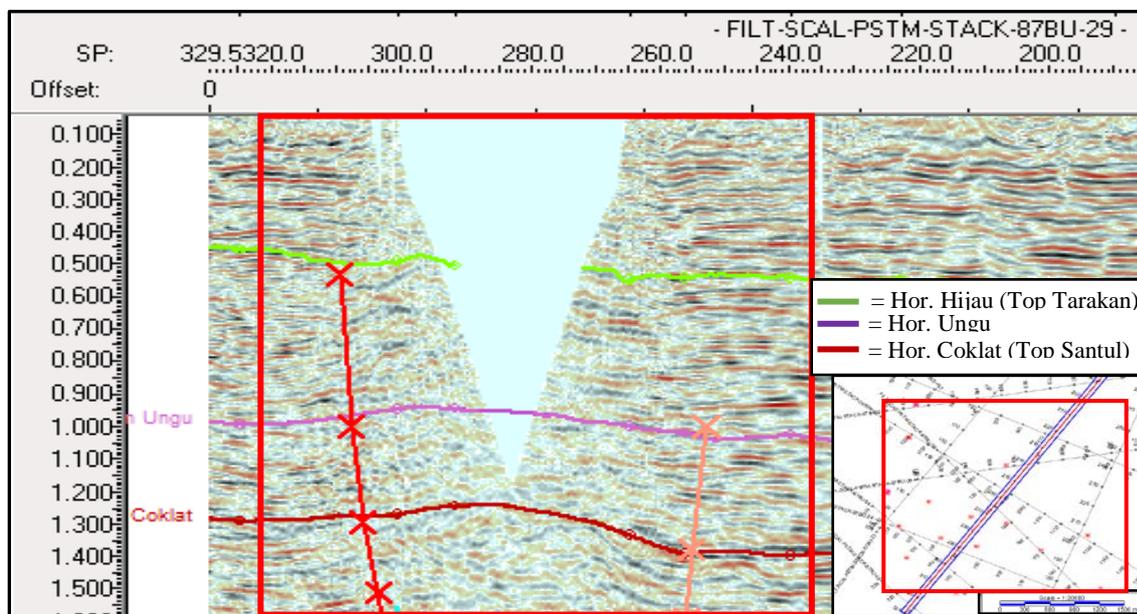
Pada seismik, interval Pliosen (equivalen Formasi Tarakan) yang menjadi fokus studi dibatasi oleh marker horizon jingga (Top Tarakan) serta marker horizon coklat (Top Santul).

Sesar dengan arah relatif barat laut–tenggara yang memiliki dimensi yang lebih besar merupakan struktur tertua yang ada pada Cekungan Tarakan yang terbentuk akibat dari pemekaran (*rifting*) pada Eosen (Lentini dan Darman, 1996). Sesar dengan dimensi lebih kecil dengan

arah relatif timur laut–barat daya diinterpretasikan terbentuk pada Plio–Pleistosen akibat dari pergerakan sesar geser pada Sub-cekungan Tarakan (Hidayati, 2010). Pergerakan sesar geser pada Plio–Pleistosen ini tidak hanya menghasilkan sesar dengan arah relatif timur laut–barat daya, namun juga menyebabkan sesar-sesar dengan arah relatif barat laut– tenggara mengalami inversi dan membentuk struktur bunga (*flower structure*) (**Gambar 4a dan 4b**).



□ : Area Studi (a)



□ : Area Studi

(b)

Gambar 4. Interpretasi struktur pada seismik (a). line 87BU-24 (*inline*) dan (b) line 87BU-29 (*crossline*). Interval Pliosen pada Lapangan Bunyu Tapa dibatasi oleh Horizon Jingga (Top Tarakan) pada bagian atasnya dan Horizon Coklat (Top Santul) pada bagian bawahnya.

3.2 Litostratigrafi

Pada tahun 1970-an, stratigrafi pada Lapangan Bunyu Tapa dibagi berdasarkan litostratigrafi menjadi dua kelompok, yaitu *coal series* dan *calcareous series* (Akuanbatin dkk., 1984). Seiring dengan bertambahnya data pemboran, pembagian

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL. 2, NO. 1, 2018
 DOI: 10.5614/bull.geol.2018.2.1.4

stratigrafi pada Lapangan Bunyu Tapa mengalami perkembangan sehingga pembagian stratigrafi pada Lapangan Bunyu Tapa tidak hanya dibagi menjadi dua kelompok, tetapi dibagi menjadi empat Formasi berdasarkan litologi yang berkembang (litostratigrafi).

Berdasarkan sumur-sumur terdalam di Lapangan Bunyu Tapa (salah satu contohnya adalah sumur BT-3), stratigrafi pada Lapangan Bunyu Tapa dibagi menjadi empat formasi, yaitu (**Gambar 5**):

a. Formasi Tabul:

Formasi Tabul tersusun atas perselingan batulempung, batulanau, dan batupasir. Berdasarkan litologi, formasi ini dicirikan dengan batulempung dan batulanau yang tebal serta pada beberapa tempat bersifat gampingan.

b. Formasi Santul

Formasi Santul dicirikan dengan kehadiran lapisan batubara tipis (1–2 meter) menyisip diantara batupasir, batulanau, dan batulempung. Batupasir dari Formasi Santul memiliki ukuran pasir halus sampai pasir sedang. Formasi Tabul dibedakan dengan Formasi Santul dari kehadiran batubara tipis pada Formasi Santul. Batas Formasi Tabul dengan Formasi Santul diperkirakan batas gradasional.

c. Formasi Tarakan

Formasi Tarakan dicirikan dengan peningkatan jumlah batubara diantara batulempung dan serpih. Berdasarkan regional, batas antara Formasi Santul dan Formasi Tarakan berupa ketidakselarasan (*unconformity*). Pada Lapangan Bunyu Tapa, batas ketidakselarasan antara kedua formasi ini tidak jelas dan kontak antara Formasi Tarakan dan Formasi Santul seperti batas gradasional.

d. Formasi Bunyu

Formasi Bunyu tersusun atas batupasir tebal dengan ukuran butir sedang sampai kasar. Pada beberapa tempat terdapat konglomerat serta sisipan batubara muda yang ada di bawah serpih. Formasi ini dicirikan dengan batubara yang cukup tebal. Berdasarkan regional, batas antara Formasi Bunyu dengan Formasi Tarakan adalah ketidakselarasan.

3.3 Biostratigrafi

Pada Lapangan Bunyu Tapa terdapat tiga data biostratigrafi, yaitu data biostratigrafi pada sumur BT-1, BT-2 dan BT-3 (Laporan internal Pertamina, 1976 tidak dipublikasikan). Data biostratigrafi ini didapat dari data serbuk bor (*cutting*) yang diambil dari permukaan hingga ke dalaman akhir dari sumur.

Pada Lapangan Bunyu Tapa tidak ditemukan adanya fosil indeks yang menunjukkan umur tertentu serta tidak terdapat data palinologi sehingga penentuan umur berdasarkan kandungan fosil pada sumur ini tidak dapat ditentukan.

Secara biostratigrafi, sumur BT-1 dibagi menjadi tiga zona (Laporan internal Pertamina, 1977 tidak dipublikasikan), yaitu: a.) Zona Barren I (0 – 1500 m) yang terendapkan pada lingkungan *fluvial – upper delta plain*, b.) Zona Haplophragmoides sp. dan Trochamina sp. (1500 – 3150 m) yang terendapkan pada lingkungan *tidal delta plain* atau *lower delta plain*, dan c.) Zona Barren II (3150 – 4005 m) yang terendapkan pada *delta front* atau *lower delta plain*.

Umur (Achmad dan Samuel, 1984)	Formasi (Akwabatin, 1984)	Naga-3	Litostratigrafi	Biostratigrafi (Laporan internal Pertamina, 1977)	Lingkungan Pengendapan (Laporan internal Pertamina, 1977)
Pleistocene	Bunyu	<p>Bunyu: Batupasir lepas ukuran sedang-kasar, konglomerat dengan sisipan batubara, ketebalan batubara yang meningkat (1 - 30 m); tidak selaras di atas Formasi Tarakan.</p> <p>Tarakan: Dicirikan dengan perselingan batupasir, lempung dan batubara; batubara terakhir dijadikan batas Formasi Tarakan dan Formasi Santul; batas dengan Formasi Santul adalah ketidakselarasan, tapi pada Pulau Bunyu batas tersebut tidak jelas dan terlihat seperti batas transisional.</p> <p>Santul: Dicirikan dengan sisipan batubara tipis (1 - 2 meter) diantara perselingan batupasir, serpih dan lempung.</p> <p>Tabul: Dicirikan dengan perselingan lempung, lanau, dan batupasir; lempung pada Formasi Tarakan cukup tebal (5-20 m); Batas antara Formasi Tabul dan Santul diperkirakan gradasional; dibedakan dengan kehadiran batubara pertama yang termasuk kedalam Formasi Santul.</p>	Zona Barren I	Fluivial-Upper Delta Plain	
Miocene Akhir	Santul		1434	Zona Trochamlna sp.	Lower Delta Plain
Miocene Tengah	Tabul		2990	Zona Barren III	Delta Front

Gambar 5. Pembagian stratigrafi Lapangan Bunyu Tapa menggunakan litostratigrafi pada sumur BT-3.

Sumur BT-2 dibagi menjadi empat zona (Laporan internal Pertamina, 1977 tidak dipublikasikan), yaitu: a.) Zona Barren I (0 – 1110 m) yang terendapkan pada lingkungan *fluvial – upper delta plain*, b.) Zona Haplophragmoides sp. (1110 – 2088 m) yang terbentuk pada lingkungan *tidal delta plain* atau *upper delta plain*, c.) Zona Trochamina sp. (2008 – 2595 m) yang terendapkan pada lingkungan *tidal delta plain* atau *lower delta plain*, dan d.) Zona Barren II (2595 – 3658 m) yang terendapkan pada *delta front* atau *lower delta plain*.

Sumur BT-3 dibagi menjadi tiga zona (Laporan internal Pertamina, 1978 tidak dipublikasikan), yaitu: a.) Zona barren I (0 – 1436 m) yang terendapkan pada lingkungan *fluvial – upper delta plain*, b.) Zona Trochamina sp. (1436 – 2990 m) yang terendapkan pada lingkungan *upper* sampai *lower delta plain*, dan c.) Zona barren II (2990 – 3500 m) yang terendapkan pada *delta front* atau *lower delta plain*.

Berdasarkan data biostratigrafi, diketahui bahwa pada Lapangan Bunyu Tapa terdapat kesamaan zona kelimpahan fosil antara sumur BT-1, BT-2 dan BT-3, yaitu: Zona Barren I pada bagian atas, Zona Haplophragmoides sp. dan Trochamina sp. dibagian tengah dan Zona Barren II dibagian bawah. Dari data biostratigrafi ini diketahui perkembangan stratigrafi secara vertikal dari Lapangan Bunyu Tapa yang mengindikasikan suksesi delta yang progradasional. Perkembangan stratigrafi secara vertikal di Lapangan Bunyu Tapa dari yang paling dalam hingga paling dangkal adalah *delta front – lower delta plain /tidal delta plain– upper delta plain/fluvial*.

Interval Pliosen yang ekuivalen dengan Formasi Tarakan (kedalaman 480 m – 1390 m pada sumur BT-2) termasuk ke dalam dua zona biostratigrafi, yaitu Zona Barren I yang terbentuk pada lingkungan

fluvial – upper delta plain dan Zona Haplophragmoides sp. dan Trochamina sp. yang terbentuk pada *upper – lower delta plain*.

4. HASIL DAN DISKUSI

4.1 Stratigrafi Sikuen

Pada Lapangan Bunyu Tapa, terdapat dua sumur kunci karena memiliki data yang cukup lengkap, yaitu: sumur BT-2 dan BT-3. Analisis dari sumur kunci ini kemudian dijadikan acuan untuk sumur lain yang tidak memiliki data lengkap seperti sumur kunci. Berdasarkan analisis stratigrafi sikuen, interval Pliosen (equivalen Formasi Tarakan) di Lapangan Bunyu Tapa dapat dibagi menjadi lima sikuen (**Gambar 7 dan 8**), yaitu:

a. Sikuen-1:

Sikuen pertama dibatasi oleh SB-0 dan SB-1. SB-0 pada sikuen ini merupakan batas sikuen antara Formasi Santul dengan Formasi Tarakan yang ditandai dengan perubahan secara drastis dari *lower delta plain* menjadi *marsh*. Pada seismik, batas formasi ini ditandai dengan Horizon Coklat (Top Santul). Pada sumur BT-2 dan BT-3 sikuen ini tersusun atas fasies batubara *marsh* (SB-0), berubah menjadi *mudflat*, kemudian menjadi *mouth bar*, *delta front*, dan *beach*.

SB-0 pada Lapangan Bunyu Tapa dicirikan dengan kehadiran batubara yang diinterpretasikan terbentuk pada *marsh*. Korelasi sikuen-1 menunjukkan sikuen ini memiliki tebal rata-rata 80 meter.

Batas sikuen (SB-1) pada sikuen ini ditandai dengan perubahan lingkungan pengendapan secara drastis ke arah darat dari *lower delta plain* (fasies batupasir *beach*) menjadi *marsh* yang mengindikasikan *forced regression*. Secara lateral tidak terlihat perkembangan stratigrafi ideal dari

sebuah delta yang mengalami *forced regression* dikarenakan luas area penelitian yang sempit.

b. Sikuen-2:

Sikuen ini dibatasi oleh SB-1 dan SB-2. Pada sumur BT-2 sikuen ini tersusun atas fasies batubara *marsh* menjadi *mouth bar*, dan *delta front* (**Gambar 6**). Pada sumur BT-3 sikuen ini ditunjukkan dengan perubahan fasies batubara *marsh* menjadi *mixed flat*, *distributary channel*, *mouth bar*, *delta front* dan *beach* (**Gambar 7**).

Korelasi sikuen-2 menunjukkan sikuen ini memiliki tebal rata-rata 290 meter. Berdasarkan korelasi, secara umum sikuen ini tersusun atas lingkungan pengendapan *upper delta plain* (*marsh* dan *distributary channel*) dan *lower delta plain* (*distributary channel*, *mouth bar*, *beach* dan *delta front*).

Batas sikuen (SB-2) pada sikuen ini ditandai dengan perubahan lingkungan pengendapan secara drastis ke arah darat dari *lower delta plain* (*mouth bar* pada sumur BT-3) dan *tidal sand flat* (sumur BT-2) menjadi *marsh* yang mengindikasikan *forced regression*. Secara lateral tidak terlihat perkembangan stratigrafi ideal dari sebuah delta yang mengalami *forced regression* dikarenakan luas area penelitian yang sempit.

c. Sikuen-3:

Sikuen-3 dibatasi oleh SB-2 dan SB-3. Pada BT2 sikuen ini tersusun atas fasies *marsh*, berubah menjadi *tidal sand flat*.

Pada BT3 sikuen ini tersusun atas fasies *marsh* kemudian berubah menjadi *mud flat*, *mixed flat*, *sand flat*, *mouth bar* dan *delta front* (**Gambar 7 dan 8**).

Korelasi sikuen-3 menunjukkan sikuen ini memiliki tebal rata-rata 55 meter. Berdasarkan korelasi, sikuen ini tersusun atas lingkungan pengendapan *upper delta plain* (*marsh* dan *tidal flat*) dan *lower delta plain* (*Mouth bar* dan *delta front*).

Batas sikuen (SB-3) pada sikuen ini ditandai dengan perubahan lingkungan pengendapan dari *lower delta plain* (*mouth bar* pada sumur BT3) dan *tidal sand flat* (sumur BT-2) menjadi *marsh* yang mengindikasikan *forced regression*. Secara lateral tidak terlihat perkembangan stratigrafi ideal dari sebuah delta yang mengalami *forced regression* dikarenakan luas area penelitian yang sempit.

d. Sikuen-3:

Sikuen-3 dibatasi oleh SB-2 dan SB-3. Pada BT2 sikuen ini tersusun atas fasies *marsh*, berubah menjadi *tidal sand flat*. Pada BT3 sikuen ini tersusun atas fasies *marsh* kemudian berubah menjadi *mud flat*, *mixed flat*, *sand flat*, *mouth bar* dan *delta front* (**Gambar 7 dan 8**).

Korelasi sikuen-3 menunjukkan sikuen ini memiliki tebal rata-rata 55 meter. Berdasarkan korelasi, sikuen ini tersusun atas lingkungan pengendapan *upper delta plain* (*marsh* dan *tidal flat*) dan *lower delta plain* (*Mouth bar* dan *delta front*).

e. Sikuen-3:

Sikuen-3 dibatasi oleh SB-2 dan SB-3. Pada BT2 sikuen ini tersusun atas fasies *marsh*, berubah menjadi *tidal sand flat*. Pada BT3 sikuen ini tersusun atas fasies *marsh* kemudian berubah menjadi *mud flat*, *mixed flat*, *sand flat*, *mouth bar* dan *delta front* (**Gambar 7 dan 8**).

Korelasi sikuen-3 menunjukkan sikuen ini memiliki tebal rata-rata 55 meter. Berdasarkan korelasi, sikuen ini tersusun atas lingkungan pengendapan *upper delta plain* (*marsh* dan *tidal flat*) dan *lower delta plain* (*Mouth bar* dan *delta front*).

Batas sikuen (SB-3) pada sikuen ini ditandai dengan perubahan lingkungan pengendapan dari *lower delta plain* (*mouth bar* pada sumur BT3) dan *tidal sand flat* (sumur BT-2) menjadi *marsh* yang mengindikasikan *forced regression*. Secara lateral tidak terlihat perkembangan stratigrafi ideal dari sebuah delta yang mengalami *forced regression* dikarenakan luas area penelitian yang sempit.

f. Sikuen-4:

Sikuen 4 dibatasi oleh SB-3 dan SB-4. Pada sumur BT2 dan BT3 sikuen ini tersusun atas fasies *tidal flat* (**Gambar 7 dan 8**). Sikuen ini diawali dengan perubahan lingkungan dari *marsh* menjadi *fluvial channel*, kemudian *marsh* kembali, kemudian berubah menjadi *mud flat*, *mixed flat* dan *sand flat* (**Gambar 7**). Secara biostratigrafi di sumur BT2, terjadi perubahan zona biostratigrafi dari zona *Haplophragmoides* sp. (1110–2088 m) menjadi zona *barren-1* (0–1110 m) yang mengindikasikan perubahan lingkungan pengendapan semakin ke arah darat yang ditunjukkan dengan kehadiran batubara yang semakin melimpah.

Korelasi sikuen-4 menunjukkan sikuen ini memiliki tebal rata-rata 170 meter. Berdasarkan korelasi, secara umum sikuen ini tersusun atas lingkungan pengendapan *fluvial channel*, *marsh*, *mud flat*, *mixed flat*, dan *sand flat*.

Batas sikuen (SB-4) pada sikuen ini ditandai dengan perubahan lingkungan pengendapan dari *sand flat* menjadi *marsh* diikuti dengan perubahan menjadi *fluvial channel* yang mengindikasikan terjadinya *forced regression*. Secara lateral tidak terlihat perkembangan stratigrafi ideal dari sebuah delta yang mengalami *forced regression* dikarenakan luas area penelitian yang sempit.

g. Sikuen-5:

Sikuen-5 dibatasi oleh SB-4 dan SB-5. Sama seperti pada sikuen empat, secara umum sikuen ini tersusun atas fasies *tidal flat* (**Gambar 7 dan 8**). Sikuen ini ditunjukkan dengan perubahan *marsh* (SB-4) menjadi *fluvial channel*, kemudian secara perlahan terjadi perubahan lingkungan ke arah laut yang ditunjukkan dengan fasies *mud flat*, *mixed flat* dan *sand flat*.

Korelasi sikuen-5 menunjukkan sikuen ini memiliki tebal rata-rata 300 meter. Berdasarkan korelasi, secara umum sikuen ini tersusun atas lingkungan pengendapan *fluvial channel*, *marsh*, *tidal flat*.

Batas sikuen (SB-5) pada sikuen ini ditandai dengan perubahan lingkungan pengendapan dari *sand flat* menjadi *marsh* dan diikuti oleh *fluvial channel* yang mengindikasikan *forced regression*. Secara lateral tidak terlihat perkembangan stratigrafi ideal dari sebuah delta yang mengalami *forced regression* dikarenakan luas area penelitian yang sempit.

Berdasarkan integrasi data serta interpretasi stratigrafi sikuen pada sumur BT-2 dan BT-3, diketahui bahwa interval Pliosen (equivalen Formasi Tarakan) menunjukkan pola mendangkal ke atas (*shallowing upward*) dari *lower delta plain* (Sikuen 1 – 3) menjadi *fluvial – tidal flat* dan *upper delta plain* (Sikuen 4 – 5). Pola mendangkal ke atas ini juga terlihat pada zonasi biostratigrafi, yang ditunjukkan dengan perubahan Zona Haplophragoimides sp. dan *Trochamina* sp. menjadi Zona Barren I. Pola tersebut juga terlihat pada litologi penyusun Lapangan Bunyu Tapa yang menunjukkan peningkatan jumlah batubara secara vertikal. Penumpukan lingkungan pengendapan yang semakin mendangkal ke arah darat ini secara stratigrafi dikenal dengan *progradational parasequence set*.

Batas sikuen (SB) pada tiap sikuen dicirikan dengan perubahan lingkungan pengendapan secara drastis ke arah darat yang mengindikasikan terjadinya *forced regression*, akan tetapi kenampakan ideal dari *forced regression* ini tidak dapat terlihat dengan jelas secara lateral. Hal tersebut dikarenakan luas daerah penelitian yang sempit hanya 13 Km² (panjang: 3,56 Km dan lebar: 3,4Km).

4.2 Distribusi Reservoir

Setelah melakukan analisis stratigrafi sikuen, kemudian dicoba untuk membangun model distribusi reservoir dari beberapa sikuen yang termasuk ke dalam interval Pliosen di Lapangan Bunyu Tapa. Pembuatan model distribusi reservoir ini tidak dapat memakai data seismik sehingga hanya mengandalkan data korelasi antar sumur. Pembuatan model distribusi reservoir berupa peta isopach ini menggunakan perangkat lunak GS Software.

Model distribusi reservoir yang akan dibangun dibatasi hanya dilakukan pada

dua sikuen saja yang dianggap mewakili **Gambaran** perkembangan stratigrafi dari interval Pliosen di Lapangan Bunyu Tapa, yaitu:

a.) Reservoir LT-3:

Secara litologi, reservoir LT-3 tersusun atas batuan berukuran pasir halus – sedang serta kuarsa. Secara stratigrafi sikuen, reservoir LT-3 termasuk ke dalam Sikuen-3 bagian atas (SB-2 – SB-3). Analisis stratigrafi sikuen pada sikuen-3 menunjukkan lingkungan *lower delta plain*.

b.) Reservoir UT-6:

Secara litologi, reservoir UT-6 tersusun atas material berukuran pasir halus – sedang serta kuarsa. Secara stratigrafi sikuen, reservoir UT-6 termasuk ke dalam Sikuen-5 bagian atas. Analisis stratigrafi sikuen pada sikuen-5 menunjukkan lingkungan *fluvial – tidal flat*.

4.2.1 Distribusi Reservoir Sikuen-3

Sikuen-3 dibatasi oleh SB-2 dan SB-3. Pemodelan reservoir Sikuen-3 akan fokus kepada reservoir LT-3 yang dibatasi oleh SB-2 pada bagian bawahnya serta SB-3 pada bagian atasnya. Sikuen-3 memiliki ketebalan rata-rata 55 m, sehingga pemodelan reservoir langsung satu sikuen (SB2 – SB3). Secara vertikal, terjadi perubahan lingkungan pengendapan pada Sikuen-3 ini, yang awalnya *marsh* kemudian pada berubah menjadi *tidal sand flat* pada bagian barat serta *distributary mouth bar* pada bagian timur (**Gambar 8**). Secara lateral, terjadi perubahan lingkungan pengendapan pada Sikuen-3, yaitu *tidal sand flat* pada bagian barat (*landward*) kemudian berubah menjadi *distributary mouth bar* pada bagian timur (*basinward*) (**Gambar 9**).

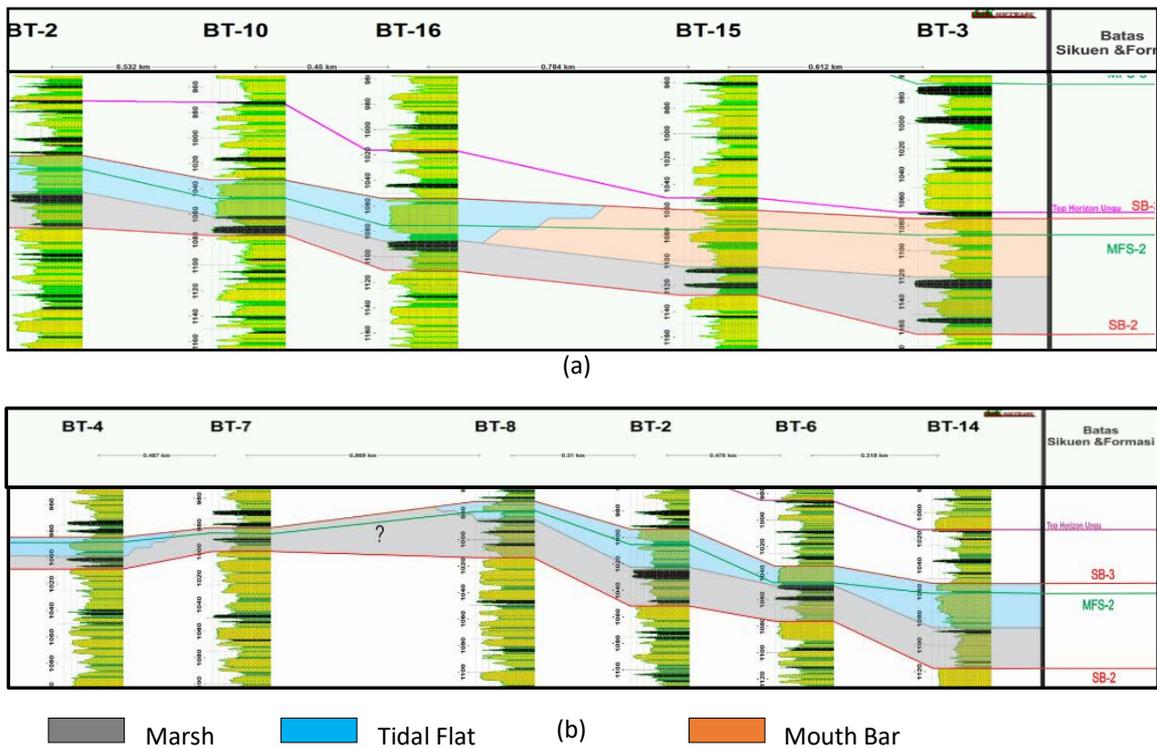
Model distribusi reservoir Sikuen-3 (peta isopach Sikuen-3) menunjukkan adanya perbedaan ketebalan. Perbedaan ketebalan

tersebut diinterpretasikan sebagai perbedaan lingkungan pengendapan. Interpretasi lingkungan pengendapan peta *isopach* ini didasarkan pada korelasi dan interpretasi lingkungan pengendapan pada log sumur. Integrasi tersebut menunjukkan peta *isopach* dengan ketebalan yang paling tipis (warna hijau) menunjukkan lingkungan *marsh*, ketebalan sedang (warna kuning muda) diinterpretasikan sebagai *tidal sand flat/tidal*, dan ketebalan yang tebal (warna kuning) diinterpretasikan sebagai *distributary mouth bar* (**Gambar 9**). Secara umum, model distribusi reservoir Sikuen-3 yang ditunjukkan pada peta *isopach* tersebut membentuk lingkungan pengendapan *lower delta plain* (**Gambar 9**).

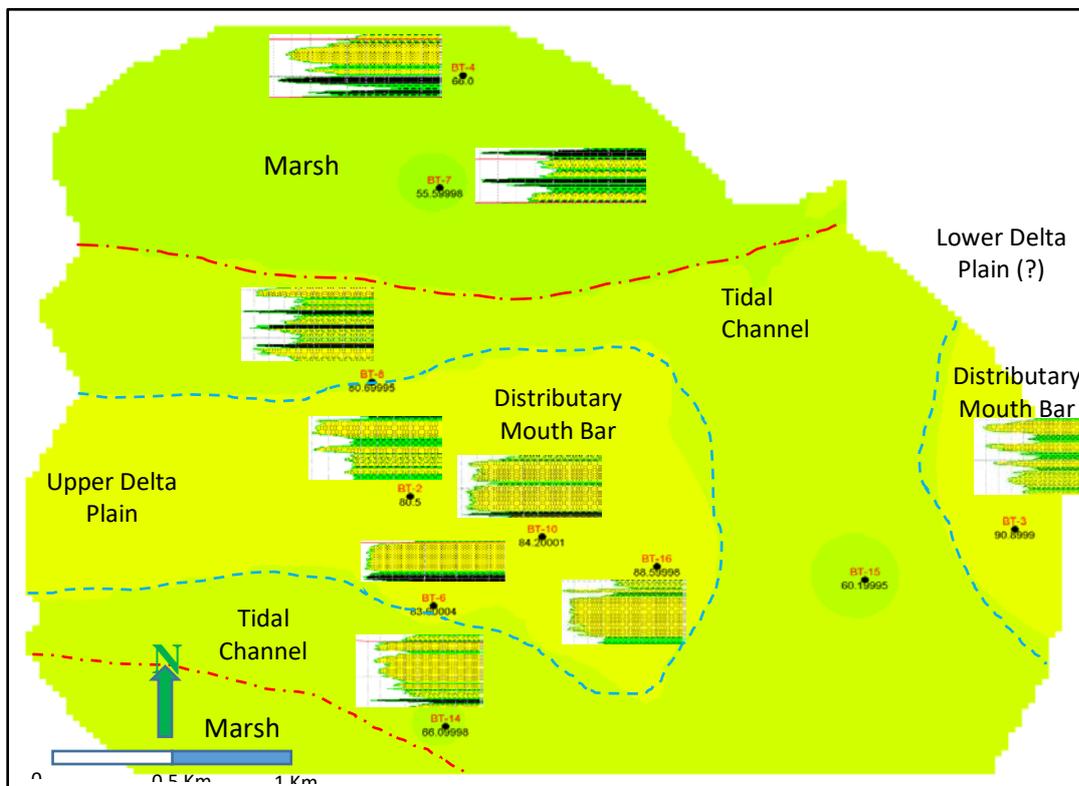
Selain itu, model distribusi reservoir Sikuen-3 ini juga menunjukkan arah sedimentasi relatif barat – timur. Arah

sedimentasi tersebut juga dapat terlihat pada korelasi barat – timur yang menunjukkan penebalan ke arah timur (*basinward*). Arah sedimentasi yang tersebut sesuai dengan arah sedimentasi dan struktur regional yang menebal atau terbuka ke arah timur (*basinward*).

Luas Lapangan Bunyu Tapa ($\pm 13\text{Km}^2$) sangatlah kecil dibandingkan dengan luas satu tubuh delta ideal yang dapat mencapai ratusan kilometer. Oleh karena itu, untuk mengetahui posisi Lapangan Bunyu Tapa dalam satu tubuh delta ideal perlu dibandingkan antara pola distribusi reservoir pada Lapangan Bunyu Tapa dengan tubuh delta ideal. Berdasarkan model ideal dari *tide-dominated delta* posisi dari Sikuen-3 diinterpretasikan berada pada *upper – lower delta plain*.



Gambar 8. Korelasi detail stratigrafi sikuen Sikuen-3. (a) Korelasi stratigrafi sikuen barat – timur. (b) Korelasi stratigrafi sikuen – selatan.



Gambar 9. Distribusi reservoir Sikuen-3 di Lapangan Bunyu Tapa. Diinterpretasikan bahwa Sikuen-3 ini terbentuk pada *lower delta plain* yang ditunjukkan dengan kehadiran sistem *mouth bar*.

4.2.2 Distribusi Reservoir Sikuen-5

Pemodelan reservoir Sikuen-5 akan fokus kepada reservoir UT-6 yang dibatasi oleh SB-4 pada bagian bawahnya serta SB-5 pada bagian atasnya. Sikuen-5 memiliki ketebalan rata-rata 300 m, sehingga perlu dilakukan pembatasan interval yang dimodelkan sehingga didapat gambaran distribusi reservoir yang baik. Secara stratigrafi sikuen, posisi reservoir UT-6 berada pada Sikuen-5 bagian atas. Marker yang digunakan untuk pemodelan reservoir UT-6 adalah marker S pada bagian bawahnya serta TS pada bagian atasnya.

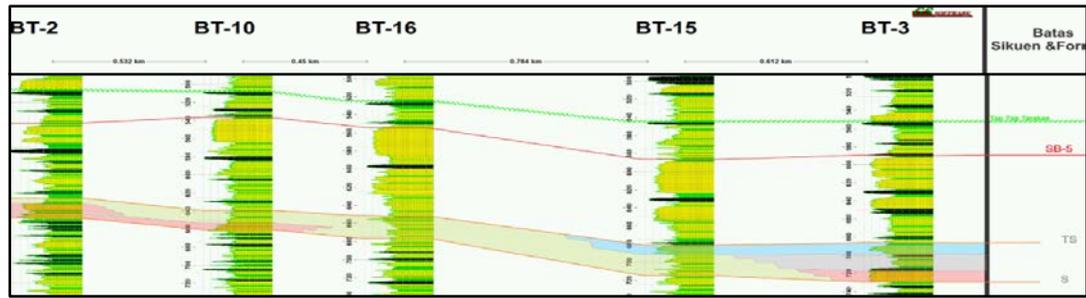
Secara vertikal, pada zona reservoir UT-6 yang dibatasi oleh marker S dan TS tidak terlihat adanya perubahan lingkungan pengendapan yang signifikan seperti pada Sikuen-3. Pada zona ini, perubahan secara vertikal hanya berkisar dari *fluvial* menjadi *upper delta plain* pada bagian barat (*landward*), serta *fluvial* menjadi *marsh* dan *tidal sand flat* pada bagian timur (*basinward*) (**Gambar 10**). Secara lateral, terjadi perubahan lingkungan pengendapan pada zona ini, yaitu *fluvial* serta *upper delta plain* pada bagian barat (*landward*), kemudian berubah menjadi *tidal sand flat* pada bagian timur (*basinward*) (**Gambar 11**).

Model distribusi reservoir Sikuen-5 (peta isopach Sikuen-5) menunjukkan adanya perbedaan ketebalan. Perbedaan ketebalan tersebut diinterpretasikan sebagai perbedaan lingkungan pengendapan. Interpretasi lingkungan pengendapan peta *isopach* ini didasarkan pada korelasi dan interpretasi lingkungan pengendapan pada

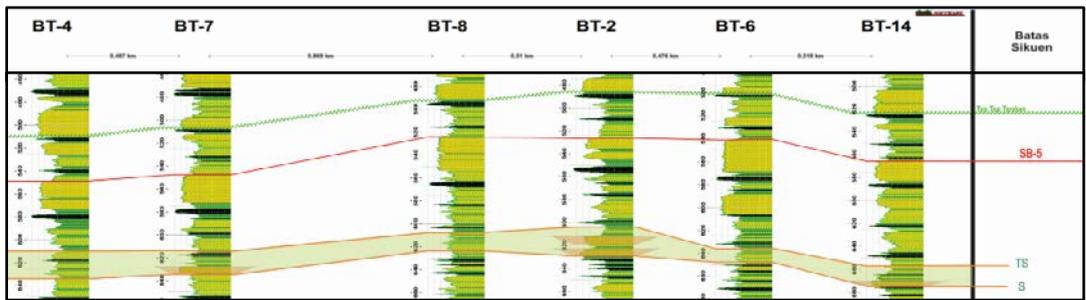
log sumur. Tidak seperti model distribusi reservoir Sikuen-3 yang membentuk pola lingkungan pengendapan (**Gambar 10**), model distribusi reservoir Sikuen-5 tidak membentuk pola lingkungan pengendapan dan cenderung hanya menggambarkan arah sedimentasi serta kontrol struktur barat – timur (**Gambar 11**).

Integrasi antara korelasi, interpretasi lingkungan pengendapan log sumur serta peta *isopach* menunjukkan bahwa peta *isopach* dengan ketebalan yang paling tipis (warna hijau) menunjukkan lingkungan pengendapan *marsh*, ketebalan sedang (warna kuning muda) diinterpretasikan sebagai *fluvial channel*, dan ketebalan yang tebal (warna kuning) diinterpretasikan sebagai *fluvial channel* dan *tidal sand flat* (**Gambar 11**).

Berdasarkan integrasi tersebut diketahui bahwa batas ketebalan pada peta *isopach* Sikuen-5 tidak sama dengan batas fasies seperti pada peta *isopach* Sikuen-3. Hal tersebut diketahui dari peta *isopach* dengan ketebalan sedang (warna kuning muda) dan ketebalan yang tebal (warna kuning), sama-sama tersusun atas fasies *fluvial channel*. Selain itu, secara korelasi terjadi perubahan ketebalan pada bagian barat (*landward*) yang tersusun atas fasies *fluvial channel* ke arah timur (*basinward*) yang tersusun atas fasies *tidal sand flat* namun tidak tergambar pada peta *isopach*. Walaupun demikian, model distribusi reservoir Sikuen-5 ini tetap dapat digunakan karena secara umum model distribusi reservoir Sikuen-5 ini tersusun atas fasies *fluvial channel* dan tergambar pada peta *isopach* tersebut.

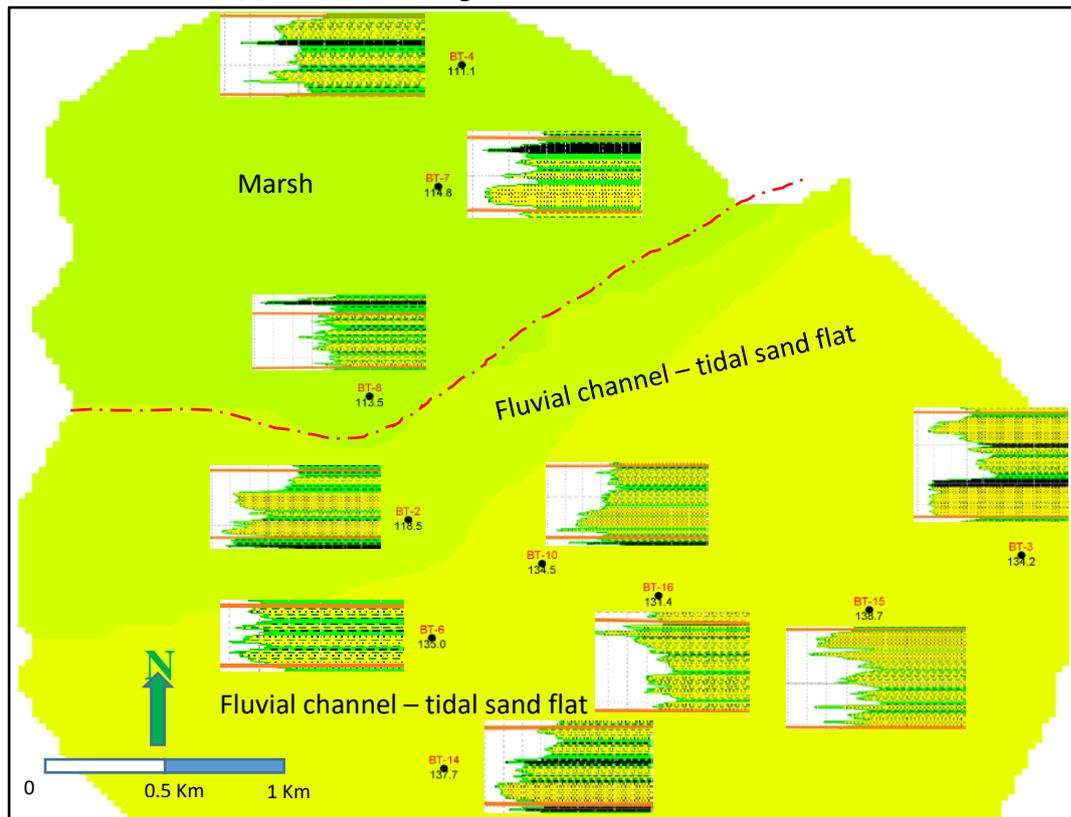


(a)



(b)

Gambar 10 Korelasi detail stratigrafi sikuen Sikuen-5. (a) Korelasi stratigrafi sikuen barat – timur. (b) Korelasi stratigrafi sikuen utara – selatan.



Gambar 11. Distribusi reservoir Sikuen-5 di Lapangan Bunyu Tapa. Diinterpretasikan bahwa Sikuen-5 ini terbentuk pada *delta plain* bagian atas (*upper delta plain*).

Selain itu, model distribusi reservoir Sikuen-5 ini juga menunjukkan arah sedimentasi relatif barat – timur. Arah sedimentasi tersebut juga dapat terlihat pada korelasi barat – timur yang menunjukkan penebalan ke arah timur (*basinward*). Arah sedimentasi yang tersebut sesuai dengan arah sedimentasi regional yang menebal atau terbuka ke arah timur (*basinward*).

Keterbatasan luas area studi menyebabkan penentuan posisi Lapangan Bunyu Tapa dalam satu tubuh delta ideal perlu dibandingkan dengan tubuh *tide-dominated* delta ideal. Berdasarkan model ideal dari *tide-dominated delta*, posisi dari

5. KESIMPULAN

Berdasarkan studi ini, maka didapatkan tiga kesimpulan, yaitu:

1. Analisis litostratigrafi, biostratigrafi, interpretasi lingkungan pengendapan, dan pemodelan distribusi reservoir pada interval Pliosen di Lapangan Bunyu Tapa secara vertikal menunjukkan pola mendangkal ke atas dari *lower delta plain* (Sikuen 1 – 3) menjadi *upper delta plain* (Sikuen 4 – 5). Selain itu, kehadiran struktur sedimen *mud drape* pada endapan delta membuktikan bahwa Lapangan Bunyu Tapa merupakan hasil endapan *tide-dominated delta*.
2. Interval Pliosen (equivalen Formasi Tarakan) di Lapangan Bunyu Tapa dapat dibagi menjadi lima sikuen, yaitu:
 - a. Sikuen 1: Dibatasi oleh SB-0 atau Horizon coklat (Top Santul dengan SB-1. Batas sikuen (SB-1) pada sikuen ini dicirikan dengan perubahan lingkungan secara drastis ke arah darat dari *lower delta plain* menjadi *marsh*.
 - b. Sikuen 2: Dibatasi oleh SB-1 dan SB-2. Batas sikuen (SB-2) pada sikuen ini dicirikan dengan perubahan

Sikuen-5 diinterpretasikan berada pada *fluvial channel – tidal sand flat* yang mencerminkan lingkungan *delta plain* bagian atas.

Berdasarkan hasil pemodelan distribusi reservoir, diketahui bahwa pada Lapangan Bunyu Tapa terjadi perubahan lingkungan pengendapan secara vertikal dan horisontal yang cukup drastis. Perubahan lingkungan pengendapan secara vertikal dan horisontal secara drastis atau signifikan menyebabkan distribusi reservoir pada Lapangan Bunyu Tapa bersifat *isolated* dan/atau *pinch out*.

lingkungan secara drastis ke arah darat dari *lower delta plain* menjadi *marsh*.

- c. Sikuen-3: Dibatasi oleh SB-2 dan SB-3. Batas sikuen (SB-3) pada sikuen ini dicirikan dengan perubahan lingkungan secara drastis ke arah darat dari *lower delta plain* menjadi *marsh*.
 - d. Sikuen 4: Dibatasi oleh SB-3 dan SB-4. Batas sikuen (SB-4) pada sikuen ini dicirikan dengan perubahan lingkungan secara drastis ke arah darat dari *sand flat* menjadi *marsh* kemudian diikuti dengan *fluvial channel*.
 - e. Sikuen-5: Dibatasi oleh SB-4 dan SB-5. Batas sikuen (SB-5) pada sikuen ini dicirikan dengan perubahan lingkungan secara drastis ke arah darat dari *sand flat* menjadi *marsh* kemudian diikuti dengan *fluvial channel*.
3. Secara umum, model distribusi reservoir LT-3 dan UT-6 menunjukkan perubahan lingkungan pengendapan semakin ke arah darat (*lower delta plain* menjadi *upper delta plain*). Selain itu, korelasi dan model distribusi reservoir menunjukkan bahwa reservoir yang ada

pada Lapangan Bunyu Tapa bersifat *isolated* dan/atau *pinch out* reservoir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih untuk Bapak Djuhaeni atas bantuan dalam mengerjakan paper dan tesis. Serta Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada PT. Pertamina EP dan PT. Bunyu Tapa Energi yang telah mengizinkan datanya digunakan untuk keperluan studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Z. dan Samuel, L. (1984): Stratigraphy and depositional cycles in the N. E. Kalimantan basin, Indonesia, *Proceeding Indonesian Petroleum Association 13th Annual Convention*.
- Akuanbatin, H., Rosandi, T., dan Samuel, L. (1984): Depositional environment of the hydrocarbon bearing Tabul, Santul and Tarakan Formation at Bunyu Island, N. E. Kalimantan, Indonesia, *Proceeding Indonesian Petroleum Association 13th Annual Convention*.
- Emery, D. dan Myers, K. J. (1996): Sequence stratigraphy, *Blackwell Science*, Oxford
- Hidayati, S., Guritno, E., Argenton, A., Ziza, W., dan Del Campana, I (2010): Re-visited structural framework of the Tarakan Sub-basin Northeast Kalimantan, Indonesia, *Proceeding Indonesian Petroleum Association 31st Annual Convention*.
- https://id.wikipedia.org/wiki/Bunyu,_Bulun (diunduh pada: 10 November 2016).
- Lentini, M.R., dan Darman, H. (1996): Aspects of the Neogene tectonic history and hydrocarbon geology of the Tarakan Basin, Indonesia, *Proceeding Indonesian Petroleum Association 25th Annual Convention*.
- Pertamina (1976): Laporan penelitian mikropaleontologi, Tidak dipublikasikan
- Pertamina (1977): Laporan penelitian mikropaleontologi, Tidak dipublikasikan
- Pertamina (1978): Laporan penelitian mikropaleontologi, Tidak dipublikasikan