e-ISSN 2580 – 0752

Bulletin of Geology

e-ISSN 2580-0752

Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian
Institut Teknologi Bandung
www.buletingeologi.com

PENDEKATAN TERINTEGRASI DALAM PEMODELAN FASIES RESERVOIR D-10 STRUKTUR NKL, LAPANGAN SANGASANGA, CEKUNGAN KUTAI, INDONESIA.

FERDI RIZAL[1,2*], DWIHARSO NUGROHO[2], PRIHADI SUMINTADIREJA[2]

1. Pertamina Hulu Indonesia Zona 9, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia.
2. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung(ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.

*Email Korespondensi: Ferdi.Rizal@pertamina.com

Sari – Total kumulatif produksi minyak saat ini di Struktur North Kutai Lama (NKL) sekitar 70% berasal dari reservoir D-10 yang terletak di sayap (*flank*) antiklin timur dari ujung utara Antiklinorium Samarinda. Namun demikian, pengembangan reservoir ini mempunyai kendala dalam pemodelan fasies karena kurangnya data sumur yang menembus area *flank* dan reservoir D-10 tidak menerus hingga ke bagian punggungan (*crestal*) dari Antiklinorium Samarinda. Ketidakmenerusan ini terlihat dari posisi reservoir minyak pada area *flank* berada di bawah kontak minyak-air dari reservoir di daerah *crestal* dan tren evolusi tekanan terlihat berbeda antara bagian *crestal* dan *flank*. Salah satu tahapan penting dalam pemodelan fasies adalah analisis *paleo-depositional environment* yang tentunya berkaitan dengan penentuan fasies reservoir. Penelitian ini melakukan pendekatan terintegrasi dengan memanfaatkan dan mensintesiskan lima data, yaitu analisis biostratigrafi, elektro-fasies, besar butir, struktur sedimen dan *paleocurrent* serta salinitas reservoir. Korelasi antar sumur dilakukan dengan menggunakan konsep *cyclothem*, karena terdapat perulangan lapisan batubara yang membatasi lapisan batupasir baik secara lateral maupun vertikal. Tahapan berikutnya adalah interpretasi tren fasies dari peta *Net to Gross* (NTG) yang dikontrol oleh anomali atribut seismik, penentuan? Nilai NTG tiap sumur, perbedaan kontak fluida, analisis evolusi tren tekanan dan rasio lebar sungai terhadap *netsand*. Pendekatan terintegrasi terbukti dapat menjawab permasalahan pada distribusi fasies dan konektivitas reservoir D-10. Tentunya peta NTG digunakan sebagai tren pada saat pemodelan fasies secara 3D, sehingga perhitungan volume hidrokarbon menjadi lebih realistis.

Kata kunci: Analisis terintegrasi, lingkungan pengendapan purba, pemodelan fasies, atribut seismik, *cyclothem*

Abstract – *Total cummulative oil production at the North Kutai Lama (NKL) Structure about 70% came from reservoir D-10, which is located on the east flank of the northern Samarinda Anticlinorium. However, development of this reservoir layer is quite challenging while facies modeling due to the few well data obtained from the flank area, and this reservoir is not continuous at the crestal area of Samarinda Anticlinorium. This compartement issue has been recognized due to the difference of oil-water contact level as well as different trends of pressure evolution of the reservoir D-10 in the flank and the crestal area. Paleo-depositional environment and reservoir facies analyses are important in facies modeling. The integrated approach was introduced on this research by utilizing and synthesizing five data of biostratigraphy, lithofacies, grain size, sedimentary structure, paleocurrent, and reservoir salinity analyses. Results of the synthesis were used as a basis to build a facies model for correlating into the existing wells inside study area by using cyclothem concept. Afterwards, creating facies trends from NTG map, which are controlled by anomalies of seismic attributes, NTG value on each well inside study area and the width-to-thickness ratio of netsand. The result of this holistic approach has proven to resolve the issues of facies distribution and connectivity of reservoir D-10. The NTG map as an output of holistic approach become a trend for 3D facies modeling,so that will impact on calculation of initial hydrocarbon volume more realistic.*

Keywords*: Integrated analysis, paleo-depositional environment, facies modeling, seismic attribute, cyclothem.*

1. PENDAHULUAN

Reservoir D-10 terkenal sebagai kontributor utama penyumbang 70% produksi minyak di struktur North Kutai Lama (NKL) saat ini. Struktur NKL merupakan bagian dari Lapangan Sangasanga yang dikelola oleh PT. Pertamina EP Asset 5 atau pada masa ini menjadi bagian PT. Pertamina Hulu Indonesia Zona 9 yang terletak di utara Antiklinorium Samarinda. Secara geografi, berjarak sekitar 30 km perjalanan mobil ke arah timur dari kota Samarinda. Dalam hal pengelolaan wilayah kerja (WK) berbatasan dengan WK

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL.7 , NO. 3, 2023
DOI: 10.5614/bull.geol.2023.7.3.2

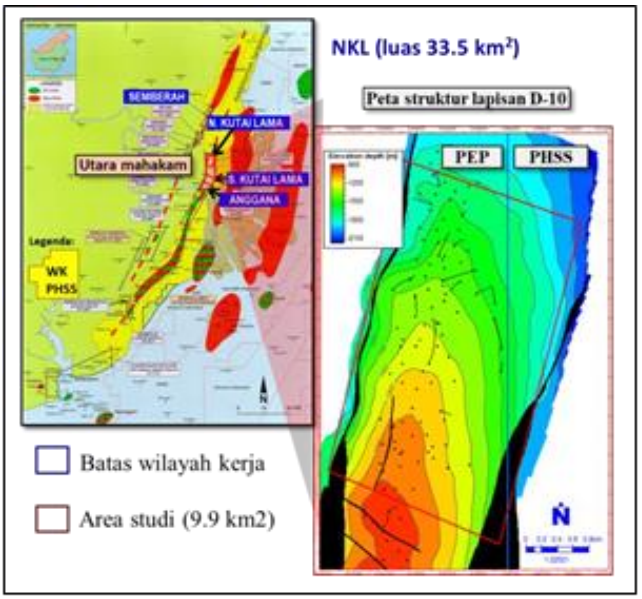
Pertamina Hulu Sanga Sanga seperti yang terlihat pada **Gambar 1** di bawah ini.

Fasies reservoir hidrokarbon di Cekungan Kutai, Kalimantan Timur yang berbentuk lonceng (*bell-shaped*) pada log *gamma ray* (GR) seringkali diinterpretasikan sebagai endapan sistem Delta Mahakam, khususnya fasies *distributary channel* yang terendapkan di lingkungan *delta plain.* Dalam penelitian ini, peneliti membuktikan bahwa reservoir D-10 yang menjadi objek penelitian bukan diendapkan pada sistem Delta. Perubahan interpretasi ini akan berdampak pada geometri, dimensi dan konektivitas antara reservoir yang akhirnya mempengaruhi perhitungan volume minyak dan strategi pengembangan lanjut.

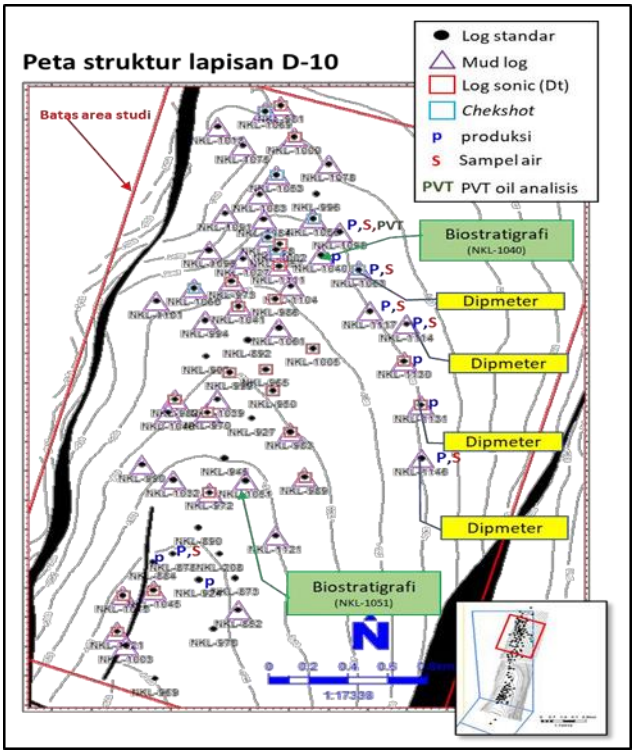
2. DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari berbagai operator sejak 1940an sampai Pertamina beroperasi di tahun 2008. Tantangannya, ketersedian data yang tidak lengkap sebagai contoh 19 sumur yang tidak mempunyai *master/mud log.* Berikut jenis dan kuantitas data yang tersedia dalam penelitian ini (**Gambar 2**):

- Seismik 3D, akusisi 1998 dengan *reprocessing* tahun 2010 dan *processing structural smoothing* tahun 2020.
- 66 sumur dengan log *triple combo* yang menembus lapisan D-10.
- 47 sumur tersedia *master/mud log*.
- 4 sumur log *dipmeter*, 8 sumur *checkshot*, 21 sumur log sonik kompresi (Dt).
- 2 sumur dengan analisis biostratigrafi.
- 9 sumur tersedia uji tekanan dan fluida.
- Data produksi dari 11 sumur yang berproduksi sejak April 2014 sampai Maret 2023.



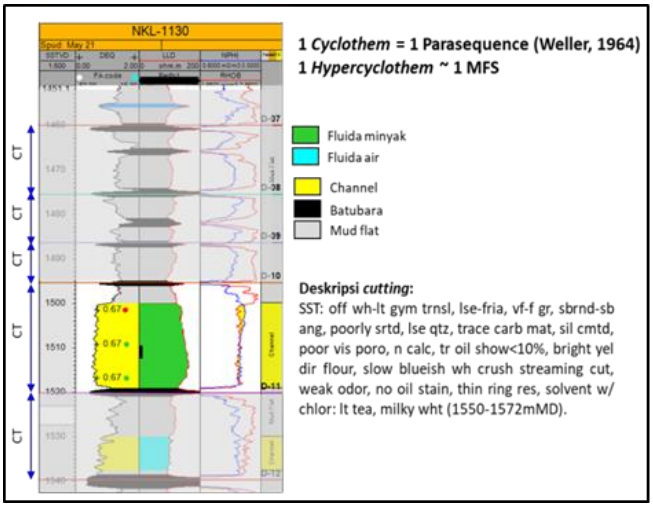
Gambar 1. Peta lokasi penelitian, terletak di *onshore* Cekungan Kutai pada bagian utara dari Antiklinorium Samarinda.



Gambar 2. Peta sebaran data dari berbagai jenis log di area penelitian.

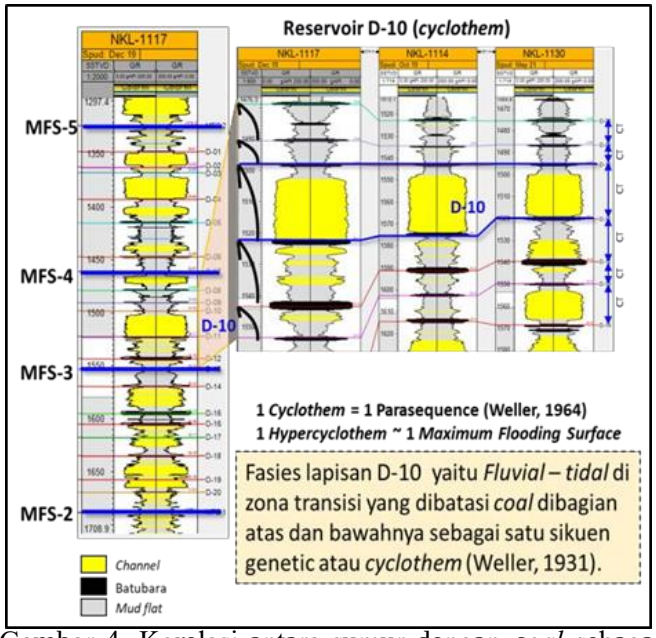
BULLETIN OF GEOLOGY, VOL.7 , NO. 3, 2023
DOI: 10.5614/bull.geol.2023.7.3.2

Tahap awal dalam pemodelan fasies yaitu identifikasi elektro-fasies seperti yang terlihat pada **Gambar 3**, berdasarkan pola log GR hampir semua reservoir D-10 di area penelitian berbentuk *blocky* dan satu sumur yang berbentuk *bell-shaped*. Menurut Sneider dkk. (1978) dalam Shepherd (1999), bentuk *blocky* atau *bell-shaped* mencerminkan endapan sungai. Keberadaan material karbonan dalam batupasir merupakan penciri pengaruh pasang-surut menurut Shchepetkina dkk., (2019) dan Dalrymple dan Choi (2007). Selain itu, adanya lapisan batubara yang berada di atas dan bawah batupasir merupakan indikasi lingkungan pengendapan yang di pengaruhi pasang-surut. Keberadaan lapisan batubara ini terjadi perulangan secara vertikal dan tersebar luas secara lateral, sehingga sangat bagus dijadikan *datum marker* atau kesamaan waktu pengendapan.



Gambar 3. Contoh litofasies lapisan D-10 yang diinterpretasikan sebagai endapan sungai di daerah yang dipengaruhi pasang-surut.

Lapisan batubara sudah lazim dipakai sebagai *marker* untuk korelasi antara sumur sebagai contoh di Lapangan Mutiara (Payenberg dkk., 2012), berjarak sekitar 40 km ke arah selatan dari area penelitian. Menurut Wanless dan Weller (1931) dan McCabe (1984), lapisan batubara dapat digunakan sebagai *marker* untuk korelasi stratigrafi antara sumur atau disebut juga sebagai *cyclothem*. Menurut Weller (1964), satu *cyclothem* sama padanannya dengan satu parasikuen atau orde ke-4 dalam stratigrafi sikuen (Van Wagoner dkk., 1990). sedangkan Wanless dan Shepard (1936) dan Wanless (1950) berpendapat orde yang lebih besar yaitu *megacyclothem* terdiri dari dua siklus *cyclothem* dan Weller (1958) memperkenalkan *hypercyclothem* terdiri dari empat *megacyclothem* atau setara dengan orde ke-3 dalam stratigrafi sikuen (**Gambar 4**).



Gambar 4. Korelasi antara sumur dengan *coal* sebagai datum marker, yang dapat dilacak kemenerusannya pada sumur sekitar.

Tahap berikutnya menentukan lingkungan pengendapan dan fasies detail endapan sungai reservoir D-10, hal ini akan mempengaruhi geometri, dimensi, karakteristik reservoir dan distribusi fasies batupasir yang nantinya akan berdampak pada perhitungan volume hidrokarbon.

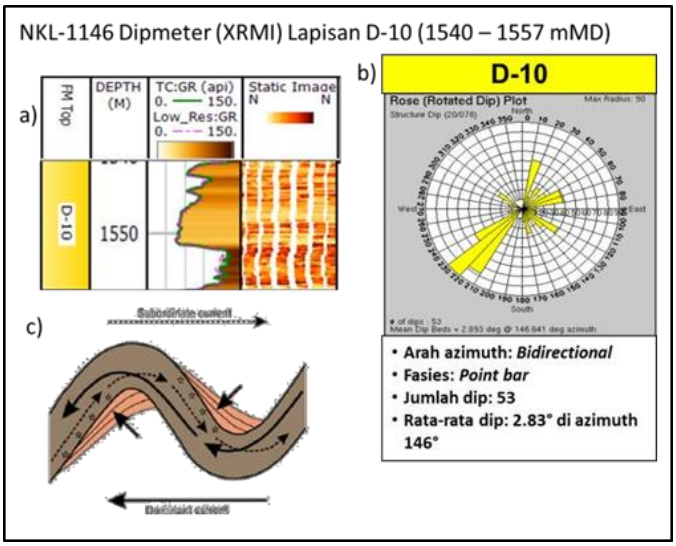
Pada penelitian ini menggunakan pendekatan terintegrasi dengan memanfaatkan dan menggunakan lima jenis data yang tersedia sehingga diharapkan menghasilkan analisis lingkungan pengendapan dan penentuan fasies yang lebih konklusif, yaitu:

- Analisis elektro-fasies, seperti yang dijelaskan sebelumnya reservoir D-10 terlihat merupakan fasies sungai dilingkungan yang dipengaruhi pasang-surut.
- Analisis besar butir sangat halus-halus dan adanya material karbonan di batupasir menurut

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL.7 , NO. 3, 2023
DOI: 10.5614/bull.geol.2023.7.3.2

Shchepetkina dkk. (2019), Dalrymple dan Choi (2007) merupakan endapan penciri *Fluvial-Tidal Transition Zone* (FTZ).

- Analisis biostatigrafi dari data *cutting* sumur NKL-1040 dan NKL-1051, terdapatnya fosil polen *Florschuetzia levipoli* indikasi lingkungan *back mangrove trees* menurut Carter dan Morley (1995) dan fosil nanoplankton *Calcidicus leptoporus* menurut Faranda dkk. (2008) yang dikutip dari situs https://www.mindat.org/taxon-3202195.html pada tanggal 9 Maret 2023. Fosil ini merupakan penciri lingkungan rawa-rawa (*brackish*). Selain itu, ditemukan juga fosil foraminifera arenaceous *Miliammina fusca* dan *Trochammina* spp., menurut Kadar dkk. (1996) terletak di daerah rawa-rawa atau *mud flat* yang dipengaruhi pasang-surut (Lambert, 2003).
- Struktur sedimen *bidirectional cross bedding* yang terlihat di sumur NKL-1146 menurut Slatt (2006), Dalrymple dan Choi (2007) penciri pasang surut (**Gambar 5**).
- Salinitas reservoir D-10 yang diambil di kepala sumur (*wellhead*) berkisar 0.5 – 5‰ (*oligohaline*), menurut Dalrymple dan Choi (2007) berada di area rawa-rawa.



Gambar 5. a). Log *dipmeter* NKL-1146. b). Diagram mawar azimuth yang menunjukkan struktur *bidirectional* c). Ilustrasi terbentunya *bidirectional* akibat dua arus yang berlawanan yaitu *subordinate* (pengaruh pasang-surut) dan *dominant* (pengaruh *fluvial*).

Dengan mengintegrasikan berbagai analisis di atas, disimpulkan lingkungan pengendapan reservoir D-10 pada umur Miosen Awal berada di zona transisi antara daratan berupa sistem fluvial dan pengaruh laut yaitu sistem delta. Menurut Shchepetkina dkk. (2019) endapan sungai reservoir D-10 yang berada di zona transisi merupakan fasies *Fluvial Tidal Transisition Zone* (FTZ). Sedangkan menurut Paterson dkk. (1997), analisis lingkungan pengendapan di *onshore* Cekungan Kutai pada Miosen Awal – Tengah berupa lingkungan sistem fluvial, transisi (termasuk delta) sampai laut seperti terlihat pada **Gambar 6.**

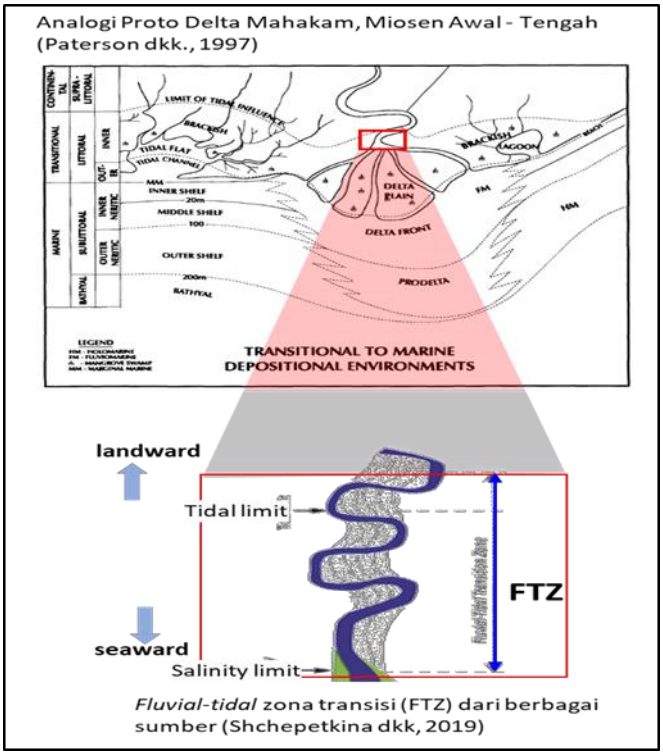
Setelah, semua sumur terhubung melalui kesamaan *marker* dengan menggunakan konsep *cyclothem*. Tahapan selanjutnya yaitu rekonstruksi poligon sungai dan pembuatan peta 2D NTG (*Net to Gross*). Peta dan poligon tersebut digunakan sebagai tren dan variabel kedua pada pemodelan fasies 3D (tiga dimensi). Data yang digunakan sebagai berikut:

- Atribut seismik 3D minimum amplitudo dari interpretasi ulang horizon seismik yang telah dikalibrasi dengan data NTG tiap sumur.
- Peta isopach dari nilai NTG ditiap sumur. Analisis paleocurrent dari log dipmeter.
- Lebar sungai dari netsand berdasarkan studi Width/Thickness (rasio W/T).
- Anomali seismik pasif VHSR (vertical to horizontal signal ratio) frekuensi 1-5 Hz, sebagai data tambahan untuk mengecek kemenerusan batupasir yang berisikan hidrokarbon.
- Geometri dan karakteristik fasies FTZ menggunakan model dari berbagai penelitian dunia yang dirangkum oleh Shchepetkina dkk., (2019) dan menggunakan analogi muara Sungai Mahakam modern menurut Septama (2021).

Menurut Rizal dkk. (2022), anomali seismik pasif VHSR dapat digunakan sebagai indikasi batupasir berhidrokarbon. Hal ini dibuktikan dengan pengeboran sumur NKL-1146 pada September 2022 yang terletak dibagian sayap antiklin bagian timur. Objektif sumur ini hanya menargetkan satu reservoir yaitu reservoir D-10 dengan penempatan titik pengeboran sumur didasarkan keberadaan anomali sesimik pasif. Berdasarkan evaluasi hasil pengeboran terbukti hanya satu reservoir hidrokarbon yaitu D-10 dengan ketebalan 8 m minyak. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL.7 , NO. 3, 2023
DOI: 10.5614/bull.geol.2023.7.3.2

anomali pasif di sayap antiklin bagian timur berkorelasi dengan reservoir D-10 dan kemenerusan reservoir ini.



Gambar 6. Model lingkungan pengendapan Cekungan Kutai pada Miosen Awal – Tengah menurut Paterson dkk., (1997). Area penelitian (kotak merah), berdasarkan karakteristiknya terletak di antara sistem delta dan sistem *fluvial*.

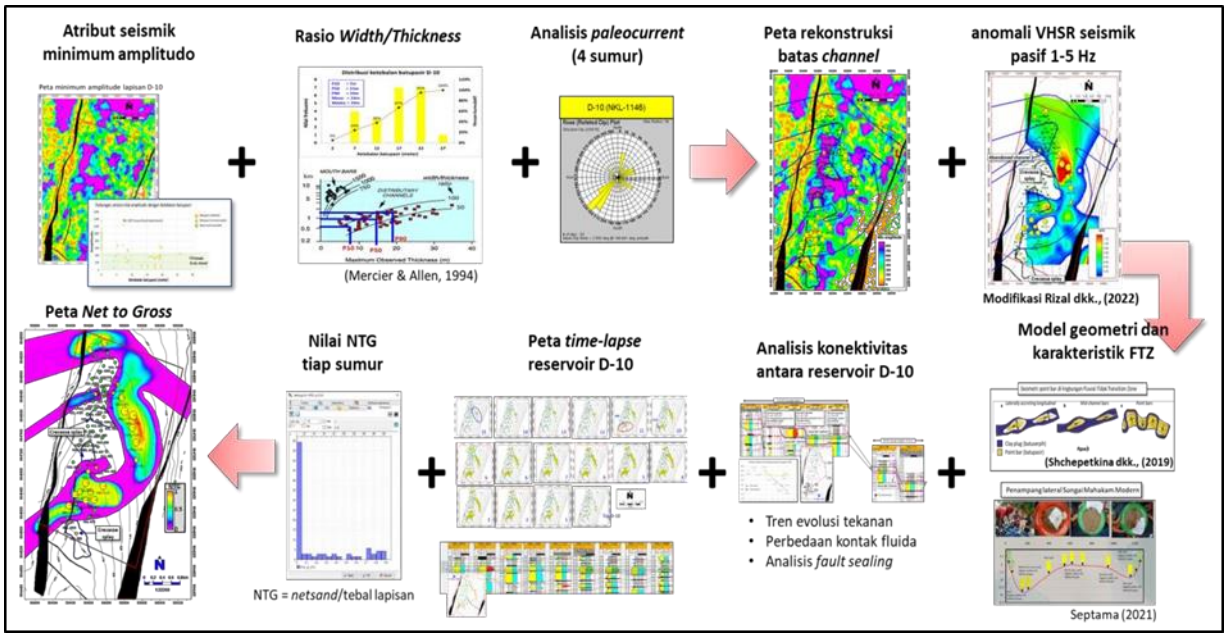
Pada penelitian ini, pembuatan peta 2D (dua dimensi) NTG, secara umum terbagi dua tahapan yaitu diawali dengan pembuatan batas sungai dalam bentuk poligon dan persebaran pola NTG seperti yang terlihat pada **Gambar 7**. Urutan pembuatan poligon sungai sebagai berikut:

1. Menggambar batas sungai berdasarkan bentuk menyerupai sungai pada atribut seismik yang divalidasi dari *netsand* dan studi W/T (menurut Mercier dan Allen, 1985). Rasio lebar sungai dari ketebalan batupasir (*netsand*). Pada skenario *basecase* didapat lebar sungai 900 m dari rata-rata *netsand* 15 m (**Gambar 8**). Korelasi *netsand* terhadap nilai atribut seismik minimum amplitudo di penelitian ini terlihat berkorelasi positif seperti yang ditunjukkan oleh *cross-plot netsand* (ketebalan batupasir) dan amplitudo, semakin rendah amplitudo (warna kuning-oranye) akan cenderung ke batupasir begitu pun sebaliknya semakin tinggi amplitudo (warna ungu) akan lebih cenderung ke batuserpih (**Gambar 9**).
2. Menggunakan arah *paleocurrent* dari log *dipmeter* yaitu berarah tenggara untuk sumur NKL-1130 dan NKL-1114 berarah barat daya untuk NKL-1146 dan berarah timur laut untuk sumur NKL-1063.
3. Mencocokkan dengan peta anomali VHSR seismik pasif yang telah terkalibrasi dari sumur produksi dan terbukti sebagai anomali DHI. Berdasarkan observasi nilai > 0,3 merupakan indikasi hidrokarbon (Rizal dkk., 2022).

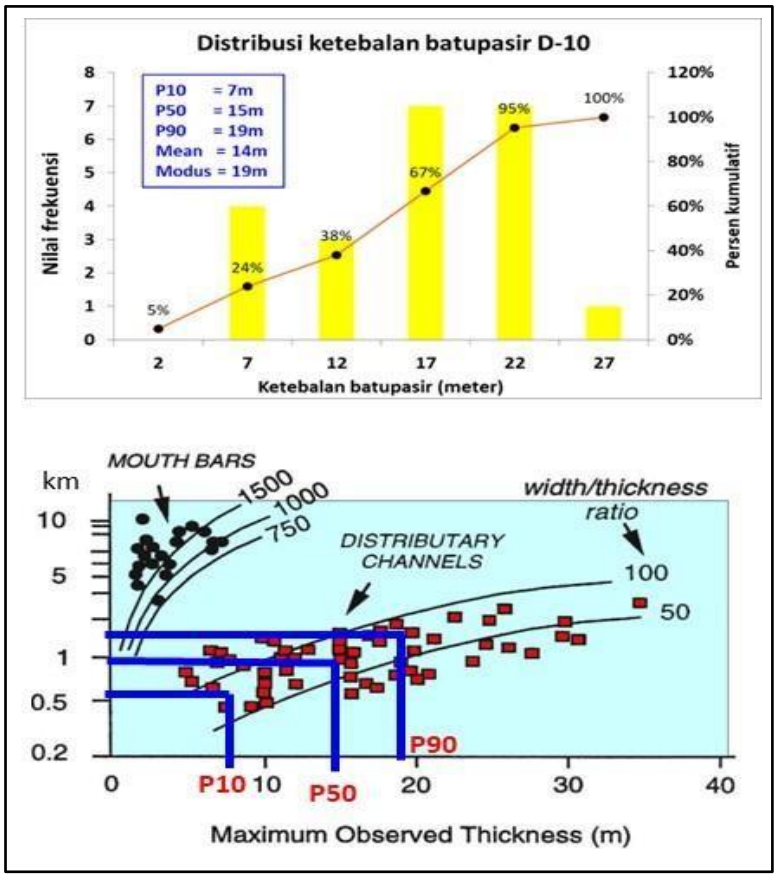
Berikut tahapan pembuatan pola sebaran NTG didalam poligon sungai, sebagai berikut:

1. Merujuk pada model geometri dan karakteristik fasies FTZ yang ada di dunia (menurut Shchepetkina dkk., 2019) dan analogi muara Sungai Mahakam yang masih terpengaruh tidal (Septama, 2021).
2. Analisis kompartemen yang ditandai oleh perbedaan kedalaman kontak fluida dan tren tekanan terhadap waktu dan analisis fault sealed pada sesar normal di crestal, yang menunjukkan SGR <20 % (Yielding dkk, 1997) dan permeabiliti sesar <0.2 mD (Manzocchi dkk., 1999) seperti yang terlihat pada **Gambar 10** dan pemahaman perkembangan batupasir D-10 berdasarkan analisis time-lapse (**Gambar 11**).
3. Pola isopach di dasarkan atas nilai NTG tiap sumur dalam fasies sungai.

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL.7 , NO. 3, 2023
DOI: 10.5614/bull.geol.2023.7.3.2

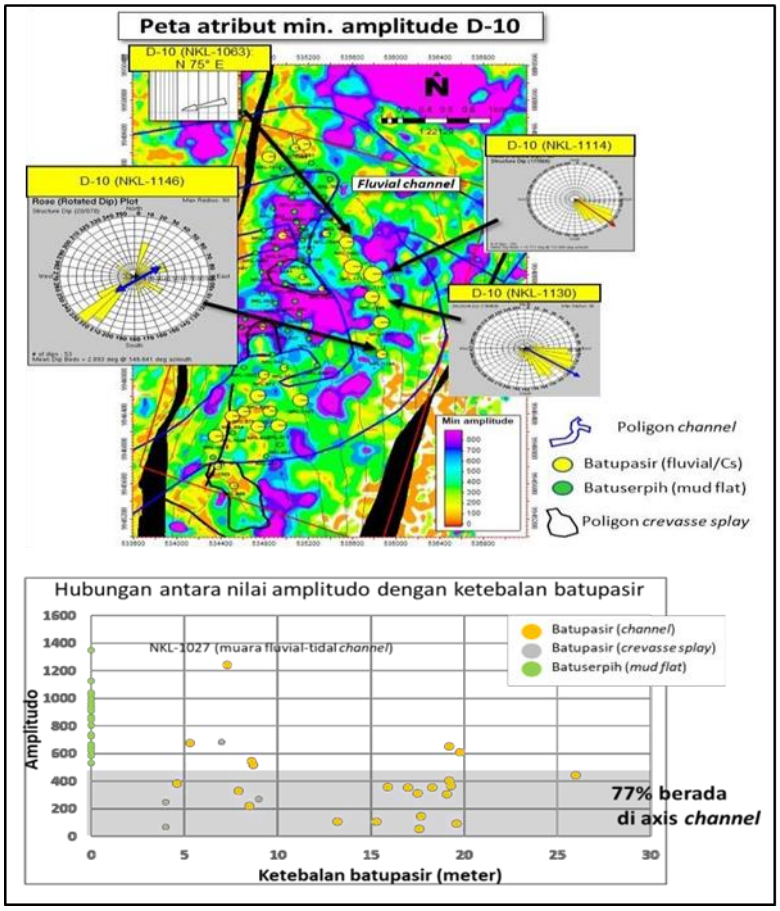


Gambar 7. Tahapan pembuatan peta NTG 2D, terbagi dalam pembuatan batas poligon sungai (atas) dan pembuatan karakteristik pola sebaran NTG dalam poligon sungai (bagian bawah).



Gambar 8. Lebar sungai reservoir D-10 didapat dari statistik *netsand* kemudian dilihat nilai lebarnya dari *cross-plot* W/T.

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL.7 , NO. 3, 2023
DOI: 10.5614/bull.geol.2023.7.3.2



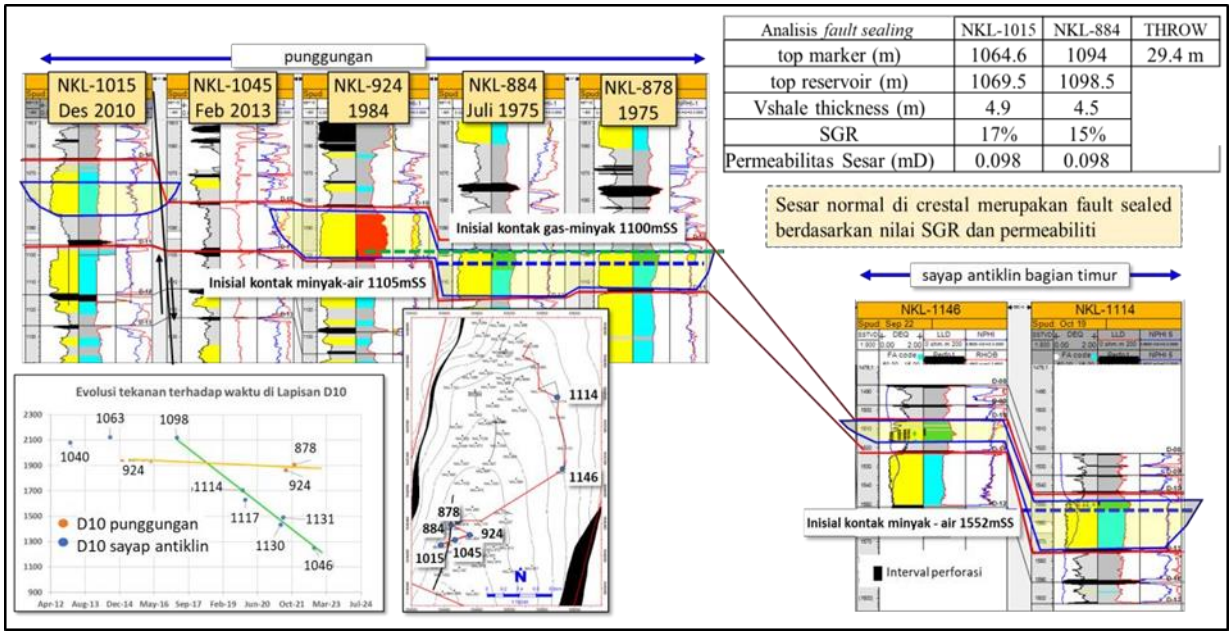
Gambar 9. Atas, atribut seismik yang ditumpangsusunkan dengan *bubble netsand* dan arah *paleocurrent.* Bawah, validasi atribut seismik dengan *cross-plot* antara minimum amplitudo dan *netsand*. Nilai amplitudo rendah menunjukkan *netsand* yang tebal, begitu sebaliknya.

3. HASIL

Dari hasil pembuatan peta 2D *Net-to-gross* (NTG) terlihat ada empat kompartemen batupasir yang dipisahkan oleh *thalweg/clay plug* didalam sungai yang merupakan indikasi perangkap stratigrafi. Selain itu, dapat juga disebabkan sesar normal yang tertutup, memisahkan dua kompartemen di bagian *crestal* berdasarkan hasil analisis SGR dan permeabilitas sesar. kumulasi produksi terbesar terletak pada kompartemen bagian *flank,* timur area penelitian. Tahapan pemodelan fasies 3D, menkonversi peta 2D NTG kedalam 3D dengan mengalikannya dengan persentase batupasir dan batuserpih disetiap *layer* K (vertikal) dari VPC (*Vertical Proportion Curve*) sehingga didapat gambaran reservoir D-10 yang lebih realistik dan menunjukkan heterogenitas reservoir yang lebih baik.

Saat pemodelan fasies 3D, NTG dalam bentuk 3D tersebut dijadikan sebagai tren data dan dipopulasikan dengan metode SIS (*Sequential Indicator Simulation*), yang sangat cocok untuk algoritma pemodelan fasies atau data diskrit.

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL.7 , NO. 3, 2023
DOI: 10.5614/bull.geol.2023.7.3.2



Analisis *fault sealing*	NKL-1015	NKL-884	THROW
top marker (m)	1064.6	1094	29.4 m
top reservoir (m)	1069.5	1098.5	
Vshale thickness (m)	4.9	4.5	
SGR	17%	15%	
Permeabilitas Sesar (mD)	0.098	0.098	

Gambar 10. Analisis kompartemen berdasarkan perbedaan kedalaman kontak fluida dan tren evolusi tekanan antara *crestal* dan *flank* serta analisis sekatan sesar normal di area *crestal*.

4. DISKUSI

Pada penelitian ini diuntungkan dengan data yang banyak dan bervariasi serta model fasies dari literatur yang saling menunjang sehingga memberikan analisis yang terintegrasi dan komprehensif. Fasies batupasir sungai reservoir D-10 diendapkan pada daerah transisi antara sistem fluvial dan sistem delta. Menurut berbagai peneliti di dunia, zona transisi adalah area yang terletak diantara batas pasang-surut (ke arah daratan) dan batas salinitas (ke arah laut) atau daerah antara fluvial dengan estuari/delta di bagian muara. Secara sedimentologi mempunyai banyak model dan istilah seperti TFT, *tidal-fluvial transition* (Dalrymple dkk., 1990); *fluvio-eustarine transition* (Buatois dkk., 1998); FMT, *fluvial to marine transition* (Dalrymple dan Choi, 2007; Longhitano dkk., 2012; Gugliotta dkk., 2017). Penentuan lingkungan pengendapan dan fasies reservoir sangat penting pada saat pemodelan karena berdampak pada geometri, dimensi dan konektivitas reservoir tersebut.

Intepretasi ulang dari data seismik 3D yang telah dilakukan pengolahan lanjutan *structural smoothing* di tahun 2020, memudahkan dalam melacak kemenerusan reflektor di lapisan D-10 sehingga hasil ekstraksi atribut seismik minimum amplitudo memberikan kenampakan sungai di area penelitian ini. Dari berbagai percobaan baik menggunakan atribut RMS (*root mean square*) ataupun maksimum amplitudo, ternyata minimum amplitudo memberikan visualisasi yang lebih baik dalam korelasi antara keberadaan batupasir daripada atribut lainnya.

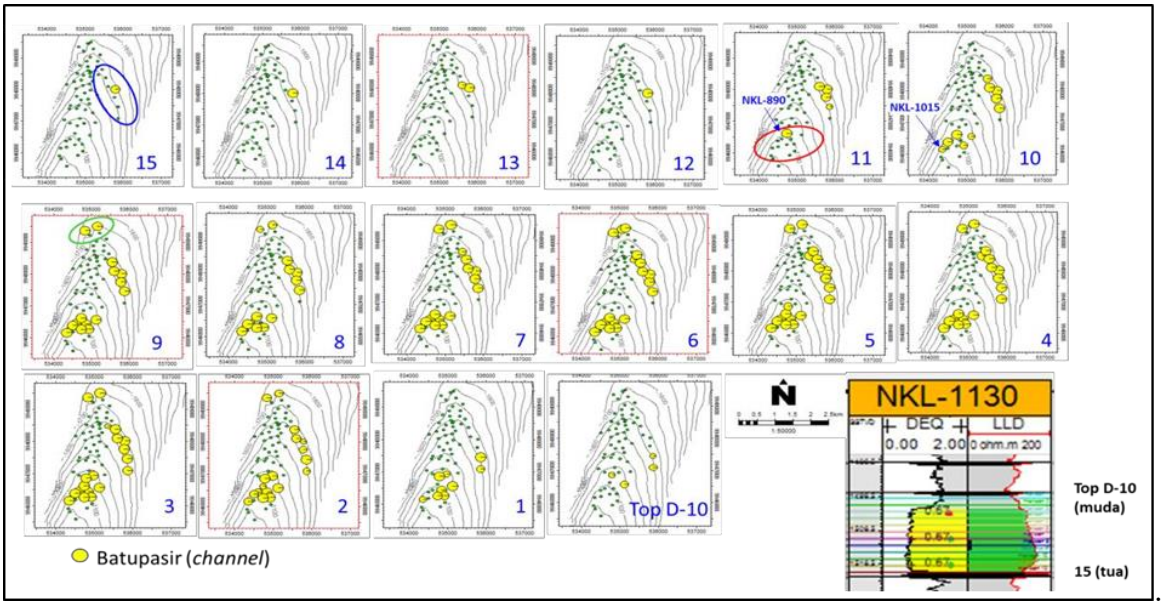
Dalam hal analisis penyebaran batupasir dalam poligon sungai, terlihat akumulasi terbesar dari endapan batupasir ini berkembang di bagian *flank*. Hal ini didukung oleh perkembangan pengendapan dari waktu ke waktu melalui peta *time-lapse* yang terlihat pada **Gambar 11**.

Endapan di *flank* terbentuk paling awal (lingkar biru) kemudian bergerak ke arah selatan (lingkar merah, endapan di *crestal*) dan diikuti terbentuknya

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL.7 , NO. 3, 2023
DOI: 10.5614/bull.geol.2023.7.3.2

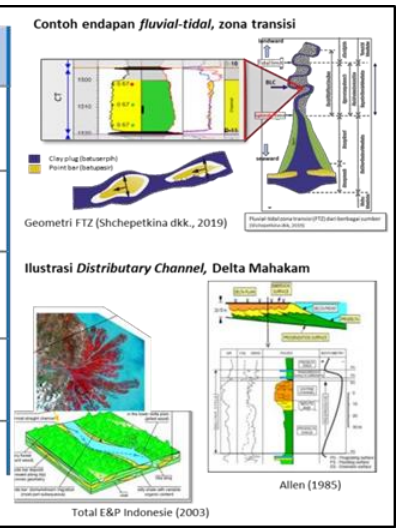
endapan di bagian utara (lingkar hijau) yang terhubung dengan *flank*. Endapan di *flank* cukup lama terisi oleh sedimen suplai sampai akhirnya pengendapan bergeser ke arah selatan (waktu pengendapan 1 dan top D-10).

Profil sungai FTZ mempunyai dua *thalweg* di kedua sisinya akibat pengaruh pasang surut, tentunya hal ini berbeda jika dibandingkan dengan fasies *distributary channel* yang hanya di satu sisi bagian lengkung (**Gambar 12**). Penggambaran *thalweg* tentunya berdampak pada konektivitas antara akumulasi batupasir baik di *flank* maupun di *crestal*, terbukti dengan perbedaan kedalaman fluida inisial dan tren evolusi tekanan. Selain itu, konektivitas dipengaruhi juga oleh keberadaan sekatan sesar normal antara batupasir dibagian *crestal*. Pada akhirnya penggambaran peta NTG batupasir sungai reservoir D-10 menjadi realistis dengan integrasi analisis dari berbagai data yang digunakan.



Gambar 11. Evolusi *time-lapse* pengendapan batupasir D-10 dari 15 sub lapisan secara *iso- thickness*. Terdapat tiga akumulasi endapan sungai. Pertama kali terbentuk endapan batupasir di bagian timur ditunjukkan dengan lingkar biru kemudian bergerak kearah selatan pada cluster merah dan akumulasi terakhir di utara (lingkar hijau).

	Zona transisi yang dipengaruhi tidal	Sistem Delta
Litofasies	- Dibatasi bagian atas dan bawah *coal*, dibagian tengah dapat berupa batupasir (*channel*) atau batuserpih (*mud flat*).	- Dbatasi bagian atas batuserpih transgresi, bagian tengah endapan *mouth bar* dan *channel*, bagian bawah batuserpih *pro delta*.
Biostratigrafi	- Rendahnya diversitas keberadaan fosil. - Dicirikan fosil yang berada di area rawa-rawa.	- Tingginya diversitas fosil. - Tingginya keberadaan bioturbasi.
Tekstur	Sebagian besar lingkungan pengendapan ini dicirikan besar butir *Very fine to fine grained* (Schepetkina dkk., 2019).	Lebih dominan *medium to fine grained*
Struktur sedimen	*Cross bedding bidirectional* (Dalrymple dan Choi, 2007)	*Cross bedding*
Salinitas	Menurut Dalrymple dan Choi (2007), daerah rawa-rawa < 5 ‰	Menurut Salahuddin (2011), salinitas Delta Mahakam modern > 10 ‰



Gambar 1.2 Perbandingan fasies sungai di zona transisi yang dipengaruhi pasang-surut (*Fluvial-Tidal Transition Zone*) dan sistem delta (*distributary channel*).

BULLETIN OF GEOLOGY, VOL.7 , NO. 3, 2023
DOI: 10.5614/bull.geol.2023.7.3.2

5. KESIMPULAN

Dengan penerapan metode terintegrasi dari berbagai data yang ada dalam menganalisis lingkungan pengendapan, disimpulkan bahwa reservoir D-10 bukan diendapkan pada lingkungan *delta plain* sebagai fasies *distributary channel* melainkan fasies zona transisi *fluvial-tidal* (FTZ). Hal ini tentunya akan mempengaruhi dalam penggambaran geometri dan karakteristik reservoir D-10 yang lebih realistis. Permasalahan mengenai kemenerusan batupasir D-10 antara bagian *flank* dengan *crestal* dengan pendekatan terintegrasi dapat memberikan jawaban bahwa akumulasi batupasir reservoir D-10 di kedua area tersebut merupakan dalam satu sistem sungai FTZ tetapi terbagi menjadi dua kompartemen yang berbeda dan dipisahkan oleh *thalweg* yang berisikan batuserpih. Selain hal itu, metode ini menghasilkan peta trend NTG yang lebih yakin karena berdasarkan banyak data sehingga berdampak pada pemodelan reservoir 3D.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pertamina Hulu Indonesia Zona 9 dan SKK MIGAS atas dukungan dan izin penggunaan hasil penelitian untuk dipublikasikan

DAFTAR PUSTAKA

Buatois, L., A., Mángano, M., G., Maples, C., G., dan Lanier, W., P., (1998): Ichnology of an upper carboniferous fluvio-estuarine paleovalley: The tonganoxie sandstone, Buildex Quarry, eastern Kansas, USA: *Journal of Paleontology*, **72**, 157 – 180.

Carter, I., S., dan Morley, R., J., (1995): Utilizing outcrop and paleontological data to determine a detailed sequence stratigraphy of the Early Miocene sediments of the Kutei Basin, EKalimantan, *proceedings of the International Symposium on Sequence Stratigraphy in SE Asia*, 345 – 361.

Dalrymple, R.,W., Knight, R., J., Zaitlin, B., A., dan Middleton, G., V., (1990): Dynamics and facies models of a macrotidal sand-bar complex, Cobequid Bay-Salmon River Estuary (Bay of Fundy): *Sedimentology*, **37**, 577 – 612.

Dalrymple, R., W., dan Choi, K., (2007): Morphologic and facies trends through the fluvial–marine transition in tide-dominated depositional systems: A schematic framework for environmental and sequence- stratigraphic interpretation, *Earth- Science Reviews*, **81**, 135-174.

Faranda, C., Cipollari, P., Cosentino, D., Gliozzi, E., dan Pipponzi, G., (2008): Late Miocene ostracod assemblages from eastern Mediterranean coral reef complexes (central Crete, Greece). *Revue de micropaléontologie*, **51(4)**, 287-308.

Gugliotta, M., Saito, Y., Nguyen, V., L., Oanh, T., T., K., Nakashima, R., Tamura, T., Uehara, K., Katsuki, K., dan Yamamoto, S., (2017): Process regime, salinity, morphological, and sedimentary trends along the fluvial to marine transition zone of the mixed-energy Mekong River delta, Vietnam, *Continental Shelf Research*, **147,** 7-26.

Kadar, A., P., Paterson, D., W., dan Hudianto (1996): Successful techniques and pitfalls in utilizing biostratigraphic data in structurally complex terrain: Vico Indonesia's Kutai Basin. *25th Annual Convention Proceedings*, 1, 315-331.

Lambert. B. (2003): Micropaleontological investigations in the modern Mahakam delta, East Kalimantan (Indonesia), *Carnets de Geologie*, **(A02),** 1-21.

Longhitano, S., G., Mellere, D., Steel, R., J., dan Ainsworth, R., B., (2012): Tidal depositional systems in the rock record: A review and new insights: *Sedimentary Geology*, **279**, 2 - 22.

McCabe, P., J., (1984): Depositional environments of coal and coal-bearing strata, *Special Publication of the International Association Sedimentologis*, **7**, 13-42.

Mercier, F., dan Allen, G. P. (1985): *Geometrie des barres de front de delta du champ de Handil, Laporan Internal*, Total-CFP Exploration Laboratory.

Payenberg, T., H., D., Sidi, F., H., dan Lang, S., C., (2012): Paleocurrents and reservoir orientation of Middle Miocene channel deposits in Mutiara Field, Kutei Basin, East Kalimantan, *Society for Sedimentary Geology*, 255-266.

Paterson, D. W., Bachtiar, A., Bates J. A., Moon, J. A., dan Surdam, R. C., (1997): Petroleum system of the Kutei Basin, Kalimantan, Indonesia. *Indonesian Petroleum Association, South East Asia and Australasia Conference*, 709-726.

Rizal, F., Wicaksono, C.W., Triyana, E., Satiawan, S., dan Zaky, D. A. (2022): Stage of quality control of low frequency passive seismic data acquisition: study case of NL area, Sangasanga Field, *IATMI*, IATMI22-069.

Septama, E. (2021): Virtual field trip to Mahakam Delta, Pertamina .

Shchepetkina, A., Gingras, M., K., Mangano, M., G., dan Buatois, L., A., (2019): Fluvio-tidal transition zone: terminology, sedimentological and ichnological characteristics, and significance, *Earth-Science Reviews,* **192**, 214-235.

Shepherd, M. (2009): Deltaic reservoir in oil field production geology, *AAPG Memoir,* **91**, 279 – 288.

Slatt, R., M., (2006): *Stratigraphic reservoir characterization for petroleum geologist, geophysicists and engineers*, Elsevier B. V, Vol **6**.

Van Wagoner, J. C., Mitchum, R. M., Campion, K. M., Rahmanian, V. D., (1990): Siliciclastic Sequence stratigraphy in Well Logs, Cores and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies, *AAPG Methods in Exploration Series*, **7**.

Wanless, H., R., (1950): Late Paleozoic cycles of sedimentation in the United States. Rep XVIII Sess Pt. IV Int Geol CongrLond 1950 Proc Sect C, 17-28.

Wanless, H., R., dan Shephard, R., P., (1936):Sea level and climatic changes related to Late Paleozoic cycles, Geoligical Society America Bulletin, 47, 1177-1206.

Wanless, H., R., dan Weller, J., M., (1931): Correlation and extent of pennsylvanian cyclothems, Bulletin of the Geology Society of America, 43, 1003-1016.

Weller, J., M., (1958): Cyclothems and larger sedimentary cycles of the Pennsylvanian. *Journal Geology,* **166**, 195-207.

Weller, J., M., (1964): Development of the Concept and Interpretation of rythmic Sedimentation, in D.F. Merriam, ed., Symposium on rythmic sedimentation: *Bulletin Kansas Geological Survey,* **169**, 607-621.