

Analisis sesar tumbuh pada sistem deformasi delta Tersier di Subcekungan Tarakan, Kalimantan Utara

HADE BAKDA MAULIN^{1,2}, BENYAMIN SAPIIE², INDRA GUNAWAN²

1. Pertamina Hulu Energi, Jl. TB Simatupang kav 99 Jakarta Selatan, Email: hade.maulin@pertamina.com
2. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung (ITB), Jl. Ganesha No.10, Bandung, Jawa Barat, Indonesia.

Sari – Subcekungan Tarakan sangat menarik namun kurang dieksplorasi. Di sebelah utara, subcekungan ini dibatasi oleh Sesar Sampoerna dan di selatan dibatasi oleh Sesar Mangkalihat. Kedua patahan regional tersebut merupakan patahan geser mengiri yang menghasilkan pengaturan unik terhadap proses sedimentasi delta dan proses deformasi yang terjadi di daerah tersebut.

Struktur geologi yang berkembang di Subcekungan Tarakan berorientasi relatif timurlaut-baratdaya dengan jenis sesar normal di bagian ekstensi atau *proximal* secara pengendapan delta dan sesar anjak (*toe-thrust*) di bagian kontraksi atau *distal*. Kesejajaran pola antara sesar normal dan sesar anjak dalam suatu area yang sama kerap kali menimbulkan kesalahartafiran bagi para *explorationist* yang bekerja di area ini. Analisis struktur geologi berupa analisis deskriptif, kinematik dan dinamik dilakukan untuk mengetahui proses deformasi pada area ekstensi dengan mempertimbangkan proses sedimentasi Delta Tarakan. Pengukuran laju sedimentasi terhadap besaran *throw* dari masing-masing sesar normal dilakukan untuk mendapatkan *Expansion Index* (EI) sebagai gambaran terjadinya sesar tumbuh. Selanjutnya evaluasi terhadap sesar tumbuh dilakukan dengan restorasi penampang untuk mengetahui proses deformasi yang terjadi berupa *strain* dan adanya kemungkinan lain selain pergerakan normal yang diisi sedimen delta.

Deformasi yang terjadi di area penelitian dapat dikenali sebagai tektonik delta yaitu proses sedimentasi yang menghasilkan kontrol gravitasi terhadap deformasi batuan. Berdasarkan analisis yang dilakukan, sesar-sesar normal yang berada di area ekstensi merupakan sesar tumbuh dengan indeks pertumbuhan (EI) yang bervariasi terhadap umur batuan dan lokasi sesarnya. Hasil analisis terhadap beberapa sesar tumbuh menunjukkan indeks pertumbuhan sesar bervariasi terhadap *throw* dan laju sedimentasi pada *downthrown*-nya. Indeks pertumbuhan yang tidak sempurna diamati pada sesar-sesar yang terletak di bagian barat area penelitian, diduga terpengaruh aktifitas pengangkatan struktur pada Pliosen sehingga mengerosi sebagian besar sedimen sesar tumbuh. Adanya pergerakan aktif Sesar Sampoerna dan Sesar Maratua memberi pengaruh terhadap konfigurasi tektonik delta (*gravity induce tectonic*) berupa inversi sesar tumbuh yang sekaligus membentuk closure bagi pemerangkapan hidrokarbon.

Kata kunci: Cekungan Tarakan, tektonika delta, *toe-thrust folds*, sesar tumbuh, *inversion*, *Expansion Index* (EI)

Abstract - The Tarakan sub-basin is very interesting but less explored. To the north, the sub-basin is bordered by the Sampoerna Fault and to the south by the Mangkalihat Fault. The two regional faults are strike slip faults that provide a unique arrangement for the delta sedimentation and deformation processes that occur in the area.

The geological structure that develops in the Tarakan Subbasin is oriented relatively northeast-southwest as normal faults in the extension or proximal sections in delta deposition terminology and toe-thrust faults in the contraction or distal part. The parallel pattern between normal and thrust faults in the same area often creates misinterpretation for explorationists working in this area. Geological structure analysis in the form of descriptive, kinematic and dynamic analysis was carried out to determine the deformation process in the extension area by considering the Tarakan Delta sedimentation process. Measurement of the sedimentation rate against the throw magnitude of each normal fault is carried out to obtain the Expansion Index (EI) as an illustration of the occurrence of growth faults. Furthermore, evaluation of growth faults is carried out by restoration of the cross section to determine the deformation process that occurs in the form of strains and the presence of other possibilities besides normal movement filled with delta sediment.

Deformation that occurs in the research area can be recognized by the delta tectonic approach, well known by the sedimentation process which results in gravitational to control rock deformation. Based on the analysis conducted,

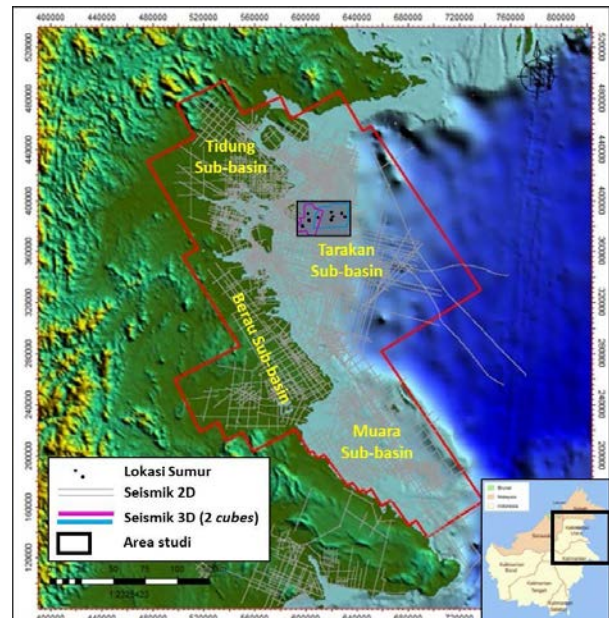
normal faults in the extension area are growth faults with growth index (EI) that varies with the age of the rocks and the location of the fault. The results of the analysis of several growth faults show that the growth index of the fault varies with the throw and sedimentation rate at its downthrown. The imperfect growth index was observed in faults located in the western part of the study area, presumably affected by the uplifting activity of structures in the Pliocene so that it eroded most of the growth fault sediments. The active movement of the Sampoerna Fault and the Maratua Fault has an effect on the delta tectonic configuration (gravity induce tectonic) in the form of a growth fault inversion which simultaneously forms a closure for hydrocarbon trapping.

Keywords: Tarakan Basin, delta tectonics, toe-thrust folds, growth fault, inversion, Expansion Index (EI).

1. PENDAHULUAN

Kegiatan eksplorasi hidrokarbon di Cekungan Tarakan (**Gambar 1**) telah lama dilakukan, setidaknya sejak jaman penjajahan Belanda. Sebanyak 45 sumur eksplorasi telah dibor yang menghasilkan beberapa penemuan yang secara periode hampir bersamaan dengan penemuan di Cekungan Kutai. Berbeda dengan Cekungan Kutai, kegiatan eksplorasi di Cekungan Besar Tarakan terhenti selama sekitar 50 tahun akibat Perang Dunia I dan II, kemudian kembali aktif setelah adanya beberapa temuan di area lepas pantai. Hal ini tidak terlepas dari pemutakhiran data seismik dan berkembangnya pemahaman geologi bawah permukaan. Namun demikian, tidak sedikit juga kegagalan eksplorasi dialami oleh para operator. Salah satu penyebab kegagalan eksplorasi tersebut diakibatkan oleh struktur geologi yang kompleks dan keterkaitannya dengan proses sedimentasi, selain juga oleh terbatasnya citra data seismik. Tahun 2016, Pertamina sebagai salah satu operator di Cekungan Tarakan melakukan studi regional dengan hasil berupa, salah satunya, rekomendasi untuk melakukan pemboran pada Struktur Parang. Satu tahun berikutnya, Sumur Parang-1 berhasil dibor hingga kedalaman akhir 11,000 kaki dan membuktikan keberadaan hidrokarbon baik minyak maupun gas dari enam lapisan yang dilakukan uji alir, sekaligus menjadi penemuan nomor 8 terbesar di dunia versi IHS.

Keberhasilan sumur Parang-1 menjadi titik balik sekaligus pemicu utama geliat eksplorasi di Cekungan Besar Tarakan, namun tetap saja kompleksitas struktur geologi terutama kaitannya dengan pengendapan sedimen delta menjadi hal yang harus dikaji lebih dalam guna mengurangi risiko bawah permukaan.



Gambar 1. Peta area studi di Cekungan Besar Tarakan yang terdiri dari Subcekungan Tidung, Subcekungan Berau, Subcekungan Muara dan Subcekungan Tarakan.

2. DATA DAN METODE PENELITIAN

Data yang akan digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 2 jenis yaitu: data terproses dan data terinterpretasi. Data terproses terdiri dari seismik 2D (3 lintasan semi regional) dan sekira 350 km² seismik 3D (**Gambar 1**) serta log talikawat dari 5 buah sumur eksplorasi. Data terinterpretasi terdiri dari hasil studi regional tektonik dan struktur, hasil analisis biostratigrafi, hasil analisis sikuen stratigrafi, dan hasil analisis seismik atribut. Data terproses digunakan untuk interpretasi kondisi bawah permukaan termasuk analisis struktur geologi. Penggunaan aplikasi Petrel, dan StructuralSolver dalam interpretasi seismik

akan menghasilkan peta struktur (kedalaman), model struktur geologi, serta restorasi penampang geologi (*2D structural restoration*).

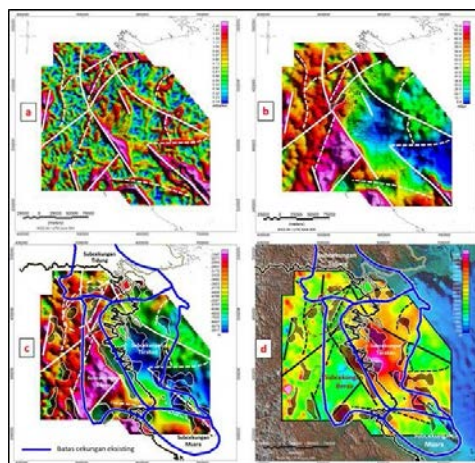
Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode deduksi, yaitu dengan menganalisis data dan informasi, maka akan dihasilkan beberapa fakta yang kemudian digabung menjadi kesimpulan untuk menjawab hipotesis. Secara umum proses penelitian terdiri dari 3 tahap, yaitu: interpretasi, analisis struktur dan sintesis geologi. Korelasi sumur dan penampang seismik akan dilakukan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan serta peta *isopach* untuk memperlihatkan paket sedimen dalam rentang umur tertentu.

Analisis struktur geologi terdiri dari analisis deskriptif, analisis kinematik dan analisis dinamik. Analisis deskriptif dilakukan untuk mendeskripsikan geometri, ukuran, dan orientasi dari struktur yang terbentuk. Analisis ini menggunakan peta struktur, peta *isopach* dan *isochron* untuk mengetahui kemiringan lapisan, arah kelurusan sesar, arah sumbu lipatan dan pengukuran dimensi struktur. Analisis kinematik dilakukan untuk mengidentifikasi perubahan bentuk, perubahan tempat, perubahan ukuran dan perubahan orientasi dari batuan, dengan menggunakan penampang seismik dan korelasi sumur. Dalam analisis kinematik, restorasi penampang dilakukan pada beberapa lintasan seismik yang mewakili area Subcekungan Tarakan. Hasil dari restorasi penampang ini adalah informasi mengenai pemanjangan dan pemendekan pada tiap lapisan yang mewakili umur tertentu. Perbandingan selisih panjang digunakan untuk mengetahui pada periode mana terjadinya tarikan atau kontraksi. Analisis dinamik dilakukan untuk memprediksi arah gaya tegasan utama dengan menggunakan hasil proyeksi stereogram dan diagram roset. Sintesis geologi akan dibangun dengan menggabungkan semua informasi, hasil interpretasi dan hasil analisis struktur menjadi peta pola tegasan, sejarah pengendapan, mekanisme pembentukan struktur geologi, serta model struktur dan perangkap hidrokarbon di Subcekungan Tarakan.

3. GEOLOGI REGIONAL

Cekungan Tarakan memiliki empat *depocenter* utama yang berumur Paleogen dan Neogen yaitu Subcekungan Tidung, Subcekungan Berau, Subcekungan Tarakan dan Subcekungan Muara sebagai lokasi pengendapan sedimen dengan perkiraan area melebihi 40.000 km² (**Gambar 2**). Batas dari tiap subcekungan merupakan perkiraan dari struktur geologi yang berkembang serta penipisan sedimen sehingga tidak dapat dipisahkan secara pasti (Pertamina, 2016).

Berdasarkan kelurusan pola struktur geologi dan analisis gravitasi dapat digambarkan pola yang merupakan tinggian atau pematang dan rendahan yang merupakan deposenter Tersier, sebagai pendekatan dari batas Subcekungan eksisting yang dipakai oleh beberapa penulis (**Gambar 2**).

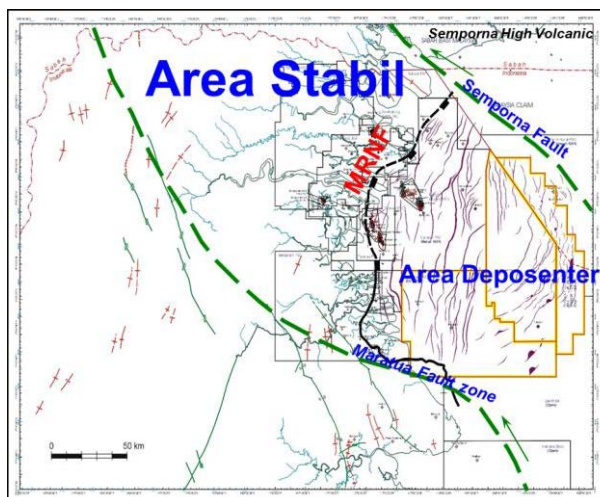


Gambar 2. Penentuan batas subcekungan di Cekungan Besar Tarakan a) Pola kelurusan struktur pada Peta Total Horizontal Gradient, b) Pola kelurusan struktur dan konfigurasi dalaman pada peta Bouguer gravity, c) Pola Kelurusan Struktur dan Konfigurasi Dalaman pada Peta Kedalaman Batuan Dasar dan d) Pola Kelurusan Struktur dan Konfigurasi Dalaman pada Peta Ketebalan Sedimen (Pertamina, 2016).

Subcekungan Tarakan sendiri dipisahkan menjadi dua area oleh sesar normal utama

regional yang disebut sebagai *Major Regional Normal Fault* (MRNF), yaitu area stabil di bagian *footwall* dan area tidak stabil atau *depocenter* di bagian *hanging wall* (Hidayati dkk, 2007). MRNF juga dianggap sebagai pemisah antara dua jenis kerak yang berbeda serta rezim tektonik yang berbeda pula (**Gambar 3**). Deformasi yang terbentuk di area stabil melibatkan batuan dasar (*thick skinned*), sedangkan di area *depocenter* didominasi oleh sesar tumbuh (*growth fault*) dan toe-thrust fold yang merupakan deformasi jenis *thin skinned* akibat pembebanan serta akumulasi sedimen delta yang memicu peluncuran gaya berat yang dikenal sebagai *gravitational gliding*.

Major Regional Normal Fault (MRNF) kemudian mengalami perubahan slip pada sekira Pliosen, menjadi sesar mendatar menganan (Tongkul, 2017). Hal ini didasari oleh pengamatan dengan menggunakan data kegempaan (*focal mechanism*) pada area Sabah dan Tarakan. Terdapat perbedaan arah tegasan regional (*far field stress*) di Sabah Tenggara dengan arah ke timur dan Laut Sulawesi yang berarah baratdaya yang kemudian diinterpretasikan sebagai batas *microplate* (**Gambar 4**).



Gambar 3. Pembagian Subcekungan Tarakan secara struktur geologi menjadi area stabil dan area depocenter (Hidayati dkk, 2007).

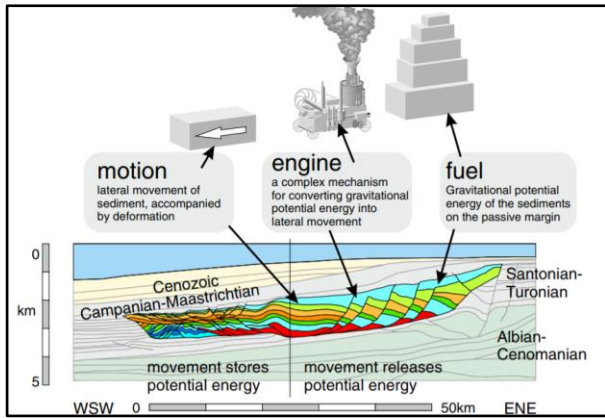


Gambar 4. Distribusi tekanan regional dari *focal mechanism* menggambarkan dua jenis rejim tekanan yang bekerja yaitu *thrust* dan *strike slip* dan dugaan keberadaan *regional strike slip* sebagai *microplate boundary* (Tongkul, 2017).

4. INTERPRETASI

Deformasi akibat gaya gravitasi sangat umum terjadi pada sistem *thin-skinned* dimana tubuh sedimen ditranslasikan ke arah cekungan, diakomodasi oleh gaya tarikan (*extension*) di bagian *updip* nya dan kontraksi pada bagian *downdip*. Kondisi ini dapat terjadi pada berbagai skala, dari skala beberapa meter hingga sistem yang lebih besar sampai ratusan kilometer (Peel, 2014).

Terdapat tiga elemen penting dalam sistem ini yaitu energi potensial gravitasi dari tumpukan sedimen *passive margin* di bagian *proximal* sebagai bahan bakar (*fuel*), mekanisme kompleks untuk mengubah gravitasi tadi menjadi pergerakan lateral sebagai mesin (*engine*) dan adanya gerakan lateral (*motion*) dari sedimen yang disertai deformasi di bagian *distal* (**Gambar 5**). Kesemuanya dapat diamati dalam satu sistem yang utuh dari sebuah delta, termasuk Delta Tarakan.

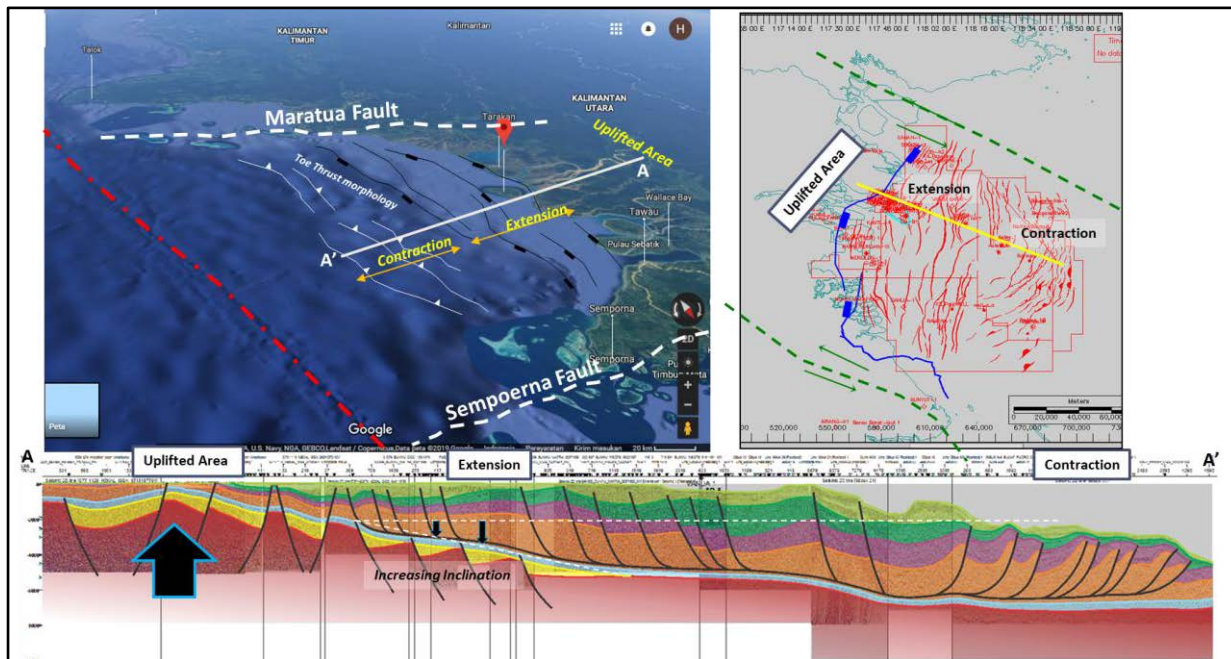


Gambar 5. Penafsiran sistem deformasi yang dikontrol oleh gravitasi (*gravity-driven deformation*) di Cekungan Orange, Afrika Selatan (Peel, 2014) sebagai analog bagi interpretasi struktur yang berkembang di Subcekungan Tarakan.

Beberapa elemen struktural dalam delta tektonik biasanya diasosiasikan dengan gaya

yang digerakkan gravitasi seperti sesar tumbuh (*growth faults*) sebagai manifesto terhadap gaya ekstensi dan toe-thrust folds untuk mewakili tekukan kontraksional.

Selanjutnya, interpretasi terhadap data seismik 3D di area penelitian dapat menggambarkan *listric normal faults* hingga *toe-thrust fold* seperti pada (**Gambar 6**). Pengangkatan struktur pada area *onshore* menyebabkan terjadinya penambahan sudut kemiringan bidang gelincir (*detachment surface*) sehingga menyebabkan arah sedimentasi memusat ke arah timur subcekungan Tarakan dan berkembanglah sistem *extensional* di *proximal* dan *contractional* di distal berupa *toe thrusts*. Kondisi seperti ini disebut sebagai *gravity gliding* atau *gravity sliding*, dimana struktur yang berkembang lebih dipengaruhi oleh kemiringan bidang gelincirnya. Sementara *gravity spreading* lebih dikendalikan oleh kemiringan dasar laut (*sea beds*).



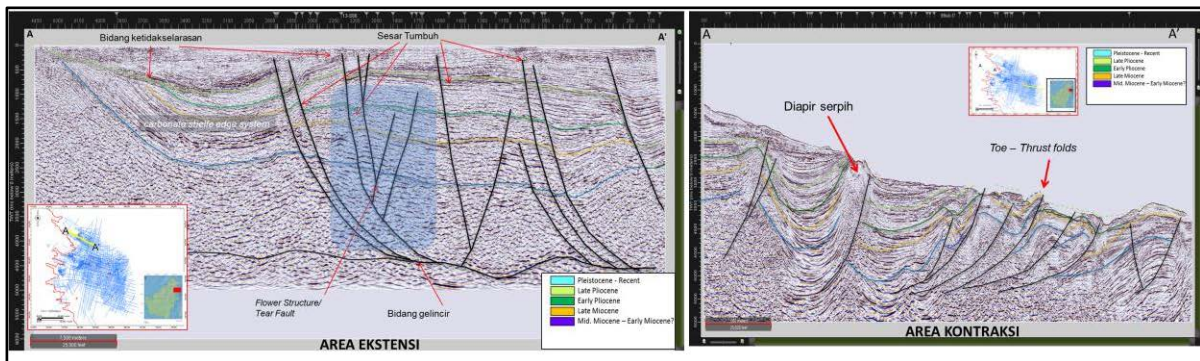
Gambar 6. Subcekungan Tarakan sebagai seting bagi berkembangnya tektonika delta dengan sistem *gravity gliding*.

Sesar tumbuh adalah sesar normal yang terbentuk selama proses pengendapan berlangsung (*syn-sedimentary deformation*). Akumulasi sedimen pada blok turun (*Downthrown*) lebih banyak daripada blok atas (*Upthrown*) sehingga terjadi penambahan

beban pada blok turun yang memungkinkan terjadinya penambahan *throw*. Terjadinya penambahan *throw* pada kedalaman hingga bidang sesar melandai (sesar listrik) dan bertemu bidang gelincir (**Gambar 7**). Bidang gelincir ini sendiri merupakan bidang sesar

dimana tekanan dari tiap segmen sesar tumbuh akan ditransfer ke arah *distal* berupa *compression* sehingga membentuk perlipatan dan sesar anjak. Beberapa literatur menyebutkan juga terjadinya perbedaan kompaksi antara blok atas dan blok turun. Pada

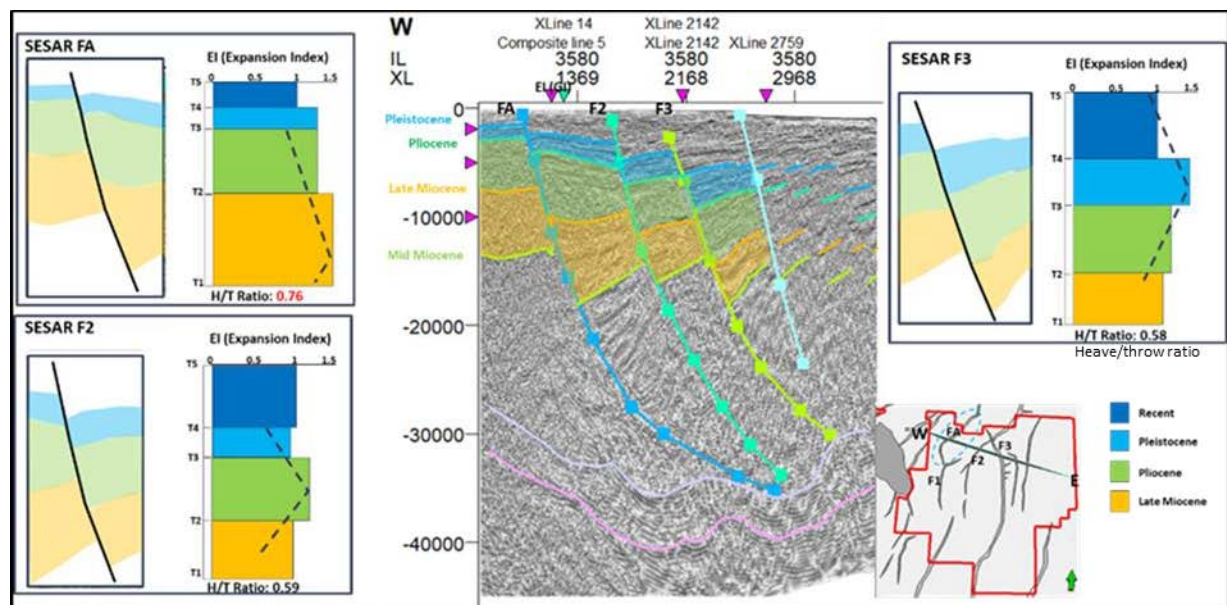
area penelitian, blok turun diamati mengalami proses struktur lanjutan berupa inversi sehingga mengangkat sebagian besar endapan sedimen. Pengangkatan ini memungkinkan terjadinya erosi lokal yang kemudian diendapkan lagi sebagai endapan setempat.



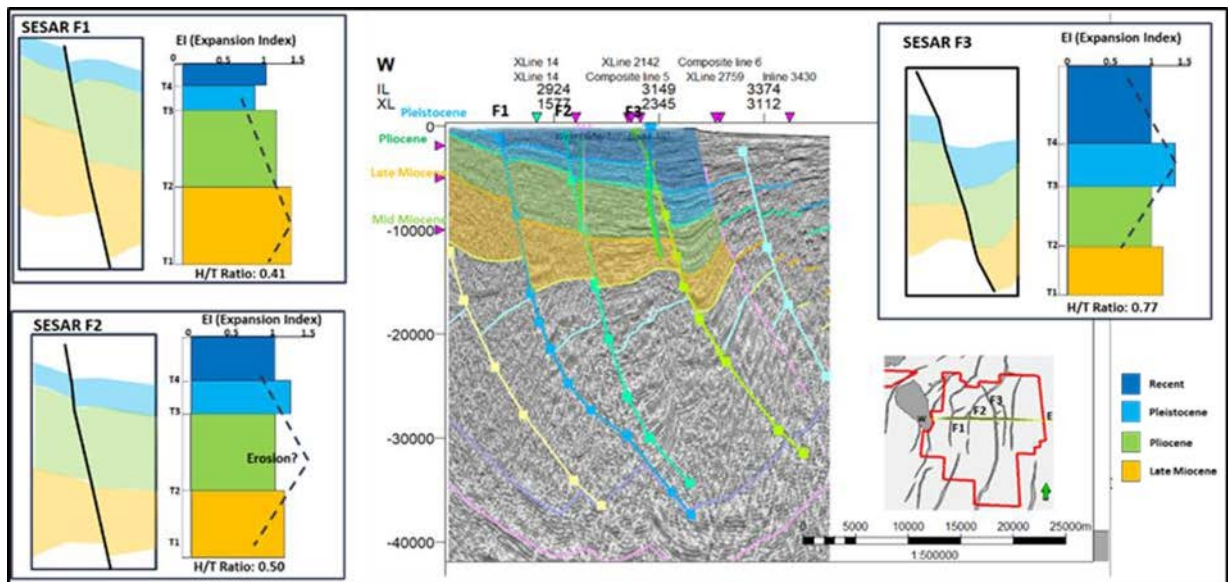
Gambar 7. Interpretasi seismik yang memperlihatkan pola sesar tumbuh berupa *listric normal faults* yang terinversi menjadi *tear faults* pada area Ekstensi serta *toe-thrust folds* pada area kontraksi.

Analisis terhadap sesar tumbuh dilakukan dengan menghitung *Expansion index* (indeks pertumbuhan) dari beberapa segmen sesar normal di area penelitian: FA, F1, F2 dan F3. Didapatkan kondisi sesar F2 mengalami puncak pertumbuhan pada Pliosen sementara

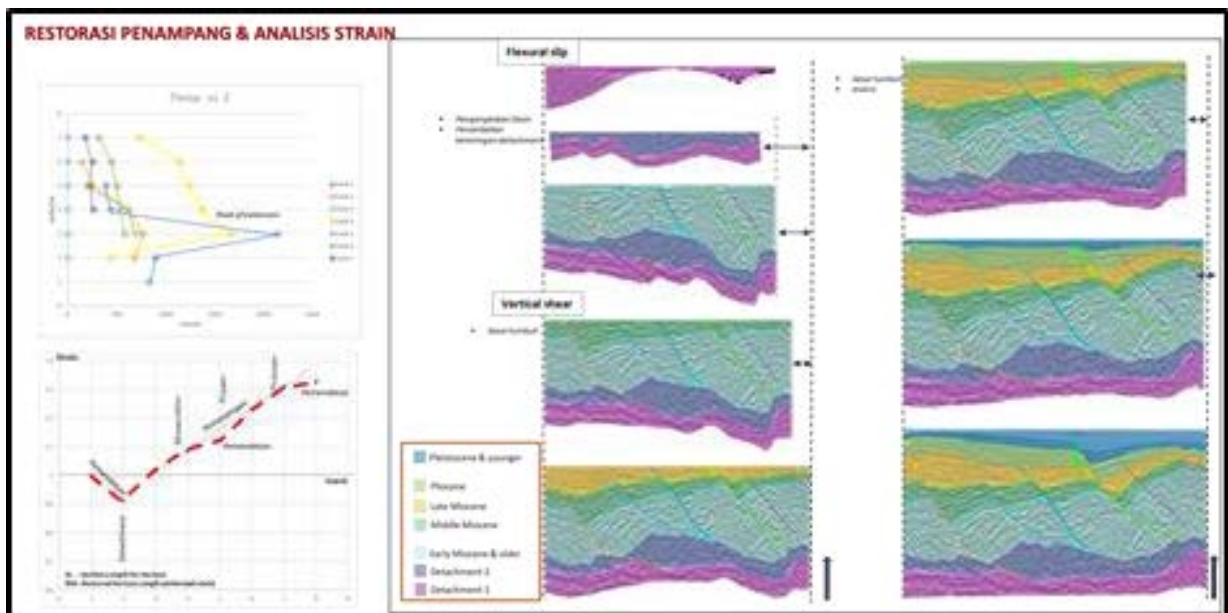
segmen F3 pertumbuhan maksimal terjadi pada Plistosen (**Gambar 8**). Segmen sesar F1 dan FB diduga mengalami erosi akibat pengangkatan struktur setidaknya yang terjadi pada Pliosen menuju Plistosen (**Gambar 9**).



Gambar 8. Analisis sesar tumbuh pada segmen sesar FB.



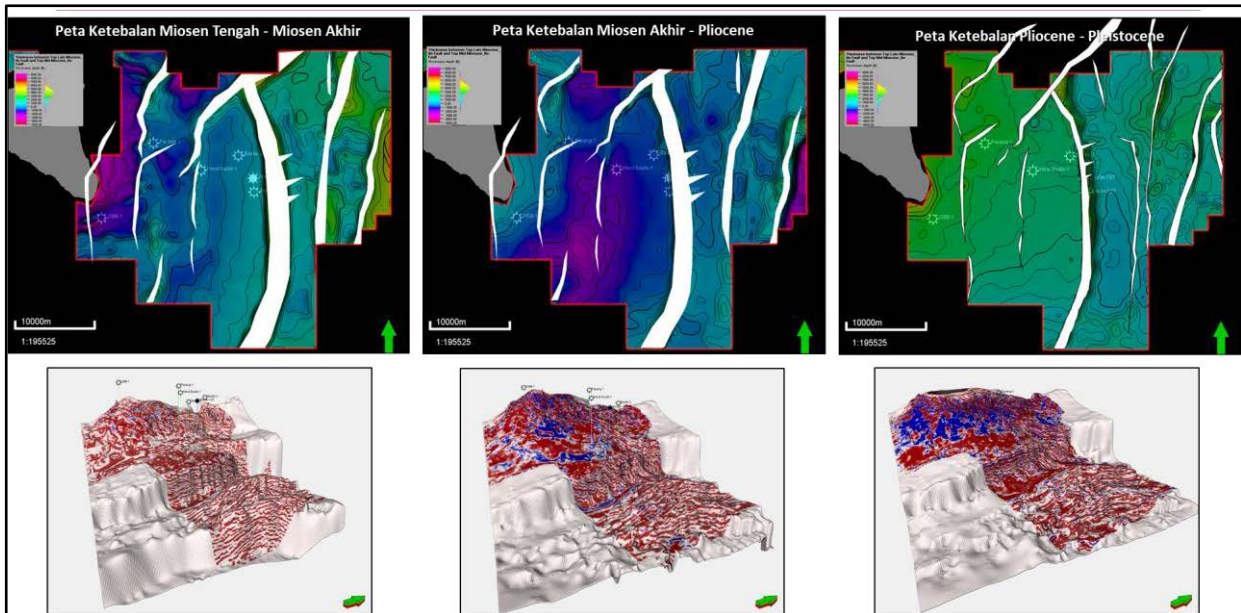
Gambar 9. Analisis sesar tumbuh pada segmen sesar F1, F2 dan F3.



Gambar 10. Restorasi penampang memperlihatkan fase regangan sebagai pembentukan sesar tumbuh sejak Miosen Tengah dan fase kompresi pada Pliosen hingga Plistosen sebagai inversi struktur.

Restorasi penampang dilakukan untuk melihat terjadinya perubahan dimensi terhadap tekanan yang bekerja (*strain*). Restorasi pada Miosen Tengah memperlihatkan *stretch factor* yang cukup besar yaitu 1.17, mengindikasikan adanya fase tarikan yang membuat ruang bagi pengendapan sedimen. Selanjutnya dapat diamati adanya fase kompresi (*shortening*) yang terjadi pada Pliosen dan Plistosen (**Gambar 10**). Pembuatan peta *isopach* dan model 3D atas atribut seismik memperlihatkan

area turun dari sesar F1, F2 dan F3 diisi oleh endapan sedimen yang *relative* lebih tebal daripada area naik. Hal ini mengkonfirmasi bahwa ketiga sesar tersebut merupakan sesar tumbuh pada area penelitian yang perkembangannya dikontrol oleh tektonik delta (*gravity gliding*) dan dipengaruhi juga oleh tektonik regional berupa pengangkatan/inversi yang terjadi pada Pliosen hingga Plistosen (**Gambar 11**).



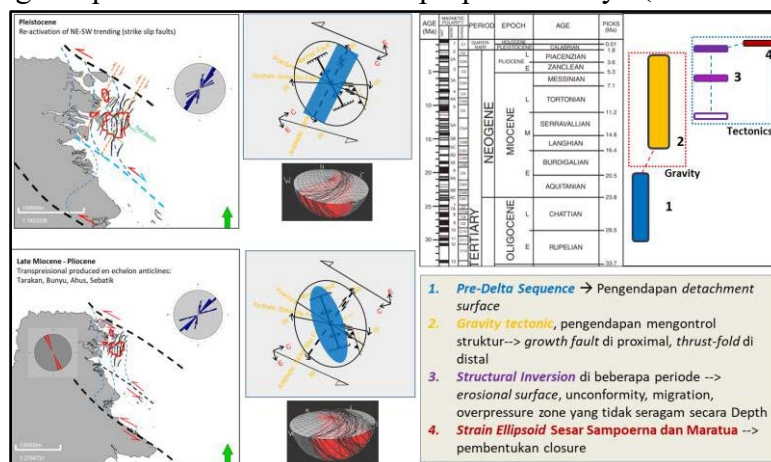
Gambar 11. Peta isopach pada Miosen Tengah – Miosen Akhir, Miosen Akhir – Pliosen, Pliosen – Pliosen serta model 3 dimensi terhadap sedimen yang diendapkan sebagai pengisi sesar tumbuh.

5. SINTESIS GEOLOGI

Berdasarkan evaluasi struktur baik dari analisis deskriptif, kinematik maupun dinamik, dapat disusun sintesis geologi struktur area penelitian. Setidaknya terdapat beberapa tahapan penting bagi pembentukan sesar tumbuh di subcekungan Tarakan yaitu *Pre-Delta sequence* pada Oligosen hingga awal Miosen. Fase ini merupakan fase dimana diendapkannya *detachment surface* berupa endapan laut yang memiliki elastisitas tinggi (*marine shale atau pelagic shale*).

Kemudian deformasi secara gravitasional terjadi ketika pengendapan delta tarakan

mengalami masa progradasi maksimal yaitu sejak Miosen Tengah. Endapan sedimen berasal dari Tinggian Kuching yang diendapkan melalui beberapa *feeder channel* seperti Sungai Sesayap Purba, Sesanip Purba dan sungai lainnya. Inversi struktur terjadi secara *periodic* sejak Miosen Akhir, namun diduga mengalami fase optimal pada Pliosen Akhir. Selanjutnya terjadi perubahan arah struktur akibat pengaruh dari Sesar Maratua dan Sesar Sampoerna berupa *simple shear* yang membentuk *closure* bagi beberapa area di Subcekungan Tarakan terutama area lepas pantai Bunyu (**Gambar 12**).



Gambar 12. Sintesis Geologi area studi, Perkembangan struktur dan Sesar tumbuh di sistem tektonik delta Subcekungan Tarakan.

6. KESIMPULAN

Analisis struktur geologi terhadap sesar tumbuh pada sistem deformasi delta berumur Tersier di Subcekungan Tarakan memberikan gambaran bahwa sesar normal yang berarah relatif utara-selatan hingga timurlaut baratdaya merupakan sesar-sesar tumbuh yang sangat dipengaruhi oleh proses sedimentasi delta. Laju sedimentasi yang cukup besar dari Tinggian Kuching mengakibatkan terjadinya *gravity gliding (delta tectonics)* di bagian lepas pantai, dengan ditandai oleh area ekstensi berupa sistem sesar normal dan area kontraksi berupa sistem sesar anjak (*toe-thrust*). Hasil analisis terhadap beberapa sesar tumbuh di area penelitian menunjukkan bahwa indeks pertumbuhan sesar (EI) sedikit bervariasi terhadap *throw* dan laju sedimentasi pada area sesar tumbuhnya. Sesar tumbuh dengan *throw* relatif lebih besar akan memiliki kesempatan membentuk area pengendapan lebih luas.

Indeks pertumbuhan yang tidak sempurna diamati pada sesar-sesar yang terletak di bagian barat penelitian (dekat Pulau Bunyu), diduga terpengaruh aktivitas pengangkatan struktur (*uplifting*) pada Pliosen sehingga mengerosi sebagian besar sedimen sesar tumbuh. Pengangkatan struktur yang terjadi pada Pliosen membentuk perangkap hidrokarbon sekaligus memberikan pasokan sedimentasi baru hasil erosi ke sesar tumbuh di sekitarnya yang akan sangat berpotensi bagi kegiatan eksplorasi.

Pemahaman akan sesar tumbuh pada sistem delta tectonics di area penelitian (Tren Bunyu) dapat dijadikan analog eksplorasi bagi tren lainnya (Tren Tarakan, Tren Ahus dan Tren Sebatik).

PENGHARGAAN

Penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada rekan kerja berikut management di PHE Nunukan Company atas kerjasama dan bantuan selama penelitian ini dilakukan. Apresiasi besar juga penulis layangkan kepada staf dan jajaran management Eksplorasi Pertamina Hulu Energi atas berbagai diskusi dan support lainnya.

REFERENSI

- Balaguru, A. and Hall, R., 2008, Tectonic Evolution and Sedimentation of Sabah, North Borneo, Malaysia: American Association of Petroleum Geology, Cape Town.
- Biantoro, E., Kusuma, M.I., Rotinsulu, L.F., 1996, Tarakan Sub-Basin Growth Faults, North-East Kalimantan: Their Roles in Hydrocarbon Entrapment, Indonesian Petroleum Association 25th Ann Conv, Jakarta.
- Destro, N., 1995, Release fault: A variety of cross fault in linked extensional fault systems, in the Sergipe – Alagoas Basin, NE Brazil, in Journal of Structural Geology, vo.17, No.5, pp.615 to 629.
- Groshong, H.R. (2006): 3D Structural Geology, 2nd edition, Springer Berlin Heidelberg.
- Hidayati, S., Guritno, E., Argenton, A., Ziza, W., dan Campana, I.D. (2007): ReVisited Structural Framework of the Tarakan Sub-Basin Northeast Kalimantan – Indonesia, Proceedings of Indonesian Petroleum Association, 31, 109-137.
- Lefort, J. J., and Thiriet, J. P., 2000, Evaluation of The Petroleum Potential of Sebawang-1 PSC, unpublished – TOTAL.
- Lentini, M. and Darman, H., 1996, Aspects of The Neogene Tectonic History and Hydrocarbon Geology of the Tarakan Basin, Indonesian Petroleum Association 25th Ann Conv, Jakarta.
- Maulin, H.B., Sapiie, B., Gunawan, I., The Neogene Deformation, Unconformity Surfaces and Uplift Features in Delta Tectonics, Tarakan Sub Basin, 2019, Indonesian Petroleum Association 43rd Ann Conv, Jakarta.
- Maulin, H.B., The Tarakan Subbasin Miocene - Pliocene Hydrocarbon Play Fairways: Fluvio-Delta to Deep Water., 2019, JCY HAGI-IAGI-IAFMI.
- Maulin, H.B., Wicaksono, A., Rezki, B., Ramdhan, A.M., The Possibility of Hydrodynamic Trap in Tarakan Sub Basin as an Explanation of the Existence of Water in an Identified Hydrocarbon Zone, 2019, AAPG Technical Symposium, Bogor.

- Morley, C.K., Back, S., Crevello, P., Van Rensbergen, P., dan Lambiase, J.J. (2003): Characteristics of repeated, detached, Miocene-Pliocene tectonic inversion events, in a large delta province on an active margin, Brunei Darussalam, Borneo, *Journal Structural Geology*, 25, 1147 – 1169.
- Morley, R. J., Morley, H. P., Swiecicki, T., 2017, Constructing Neogene palaeogeographical maps for the Sunda Region., SEAPEX 2017.
- Peel, F.J., 2014. The engines of gravity-driven movement on passive margins: Quantifying the relative contribution of spreading vs. gravity sliding mechanisms. *Tectonophysics*, 633: 126-142.
- Pertamina DAK-SSG (Sembakung Study Group), 1993, Studi Regional Terpadu Blok Sembakung Cekungan Tarakan Kalimantan Timur Bagian Utara, Eksplorasi Pertamina DAK.
- Pertamina, 2016, Studi Regional Cekungan Tarakan, Kalimantan Utara, un-published.
- Putra, P., R.Tasiyat, Sapiie, B., Ramdhan, A., M., 2017, Pore Pressure Prediction and its Relationship to Structural Style in Offshore Tarakan Basin, Northeast Kalimantan, Indonesia, Indonesian Petroleum Association 41st Ann Conv, Jakarta
- Rowan, M.G., Peel, F.J., dan Vendeville, B.C. (2004): Gravity-driven fold belts on passive margins, dalam McClay, K.R. (Ed.), *Thrust tectonics and hydrocarbon systems: AAPG Memoir 82*, 157– 182, AAPG, Tulsa U.S.A.
- Sudarmono, A. Direzza, H.B. Maulin, A. Wicaksono, Some New Insight of the Tectonic and Stratigraphic Evolution of the Tarakan Sub-Basin, Indonesian Petroleum Association 41st Ann Conv, Jakarta.
- Tongkul, F. (2017): Active tectonics in Sabah – seismicity and active faults, *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, Volume 64, December 2017, pp. 27 – 36.
- Wilson, M.E.J. and Hall, R., 2010, *Tectonic Influences on SE Asian Carbonate Systems and Their Reservoir Development, Cenozoic Carbonate Systems of Australasia also in SEPM Special Publication No. 95* Copyright 2010 and SEPM (Society for Sedimentary Geology), ISBN 978-1-56576-302-9, p. 13–40.