

IDENTIFIKASI FENOMENA MUD DIAPIR BERDASARKAN DATA SEISMIK 3D DI LAPANGAN “Z”

IDENTIFICATION OF THE PHENOMENA OF DIAPIR BASED ON 3D SEISMIC DATA IN FIELD “Z”

Elya Susilaningsih¹, Syamsuddin², Budi Eka Nurcahya³

¹Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Mataram, 83125

²Fisika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, Mataram, 83125

³Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55281

*E-mail: elyasusilaningsih@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian *mud diapir* sangat penting dilakukan terutama dalam eksplorasi migas. Keberadaan *mud diapir* yang menjadi ancaman bencana geologi sangat penting diidentifikasi, terutama sebelum melakukan pengeboran saat eksplorasi migas selain itu *mud diapir* juga erat kaitannya dengan keberadaan hidrokarbon. Daerah penelitian berada di lapangan “Z” yang merupakan zona elisional yang terdapat beberapa *mud volcano* dan *mud diapir* dan terletak di sekitar lapangan migas yang masih produktif hingga sekarang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi fenomena *mud diapir* dan mengetahui material *mud diapir*. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode seismik refleksi dengan mengintegrasikan data geologi dan data bawah permukaan. Dari data geologi dapat diketahui formasi batuan dan usia batuan. Kemudian data bawah permukaan berupa data seismik 3D *post stack time migration* dilakukan interpretasi guna mengetahui keberadaan dari *mud diapir*. Hasil penelitian berupa interpretasi data seismik 3D dan seismik atribut yang memperlihatkan keberadaan fenomena *mud diapir* yang bersumber dari Formasi Ngrayon dan Formasi Wonocolo kemudian bergerak hingga ke permukaan namun belum membentuk *mud volcano*. Pada peta struktur waktu *mud diapir* teridentifikasi pada masing-masing *horizon* dengan kedalaman dinyatakan dalam domain waktu. Pada *horizon 1* *mud diapir* teridentifikasi pada kedalaman 150 ms – 250 ms, *horizon 2* pada kedalaman 500 ms – 700 ms dan *horizon 3* pada kedalaman 900 ms – 1110 ms. Sedangkan pada penampang seismik yang telah diberikan atribut, *mud diapir* teridentifikasi paling jelas pada atribut *variance*. Kandungan material *mud diapir* merupakan sedimen yang berasal dari Ngrayon dan Wonocolo yang bercampur dengan gas yang dapat dilihat pada peta struktur waktu atribut *RMS amplitude* dan *envelope*.

Kata kunci: *Mud diapir*, Seismik 3D, Seismik Atribut

ABSTRACT

Mud diapir research is very important especially in oil and gas exploration. It is very important to identify the existence of mud diapir, which poses a threat to geological disasters, especially before drilling during oil and gas exploration. In addition, mud diapir is also closely related to the presence of hydrocarbons. The research area is in field "Z" which is an elisional zone where there are several mud volcanoes and mud volcanoes and is located around oil and gas fields which are still productive today. The purpose of this research is to identify the mud diapir phenomenon and find out the mud diapir material. This research was conducted using the reflection seismic method by integrating geological data and subsurface data. From geological data can be known rock formations and rock ages. Then the subsurface data in the form of 3D post stack time migration seismic data is interpreted to determine the presence of mud diapir. The results of the study are in the form of interpretation of 3D seismic data and seismic attributes which show the existence of a mud diapir phenomenon originating from the Ngrayon Formation and the Wonocolo Formation then moving to the surface but not yet forming a mud volcano. On the time structure map, mud diapir is identified in each horizon with depth expressed in the time domain. In horizon 1 mud diapir was identified at a depth of 150 ms – 250 ms, horizon 2 at a depth of 500 ms – 700 ms and horizon 3 at a depth of 900 ms – 1110 ms. Meanwhile, on the seismic section that has been given attributes, the mud diapir is identified most clearly on the variance attribute. The material content of the mud diapir is sediment originating

from Ngrayon and Wonocolo mixed with gas which can be seen on the time structure map of the RMS amplitude and envelope attributes.

Keywords: *Mud diapir, 3D Seismic, Attribute Seismic*

1. Pendahuluan Latar Belakang

Saat melakukan eksplorasi migas sangat penting untuk mengurangi risiko kerugian dan kegagalan dalam menemukan titik keberadaan reservoir yang tepat. Salah satu risiko yang patut diwaspadai yaitu keberadaan dari *mud diapir*. Keberadaan *mud diapir* merupakan fenomena geologi yang disebabkan oleh aktivitas tektonik maupun faktor litologi lapisan batuan daerah tersebut. *Mud diapir* adalah intrusi massa yang bersifat lebih fleksibel dibandingkan lapisan lainnya akibat adanya perbedaan tekanan dan daya angkat ke atas. Karakteristik diapir yaitu intrusi terjadi secara vertikal di sepanjang rekahan struktur yang lemah. *Mud diapir* biasanya ditemukan berbentuk kubah atau lipatan yang biasa ditemukan di daerah elisional. Daerah elisional dicirikan dengan keberadaan struktur geologi pelipatan, patahan dan sedimen yang mengandung gas dan biasanya terjadi pada formasi berumur Pliosen [1].

Karakteristik diapir yang memiliki daya angkat serta tekanan yang lebih besar dibandingkan lapisan atasnya menjadikan daerah tersebut *overpressure*, sehingga dengan adanya kondisi tersebut menjadikan penentuan titik pengeboran minyak dan gas bumi diperlukan interpretasi serta kajian yang mendalam guna menghindari kerugian serta potensi bencana geologi akibat luapan *mud diapir* [2]. Keberadaan *mud diapir* dan *mud volcano* tak jarang dijumpai di lingkup yang sama dengan lokasi keberadaan minyak dan gas bumi atau disebut juga hidrokarbon [3]. Sifatnya yang mengandung gas metan dapat menjadi indikator dalam penentuan lokasi pengeboran dugaan keberadaan hidrokarbon.

Tujuan

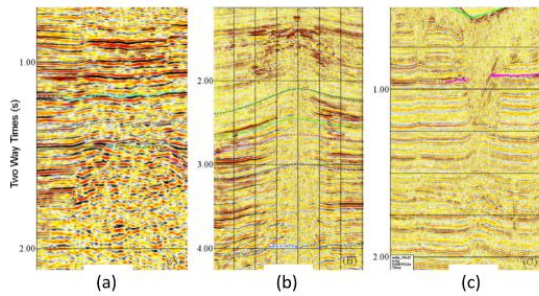
Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan fenomena *mud diapir* dengan melakukan interpretasi data seismik 3D *Post-Stack Time Migration* pada Lapangan "Z" di daerah cekungan Jawa Timur Utara yang menjadi salah satu zona prospek hidrokarbon di Indonesia. Daerah tersebut merupakan daerah cekungan lemah dengan fisiografi antiklin rembang yang ditandai dengan adanya perbukitan pelipatan (antiklin) yang bergelombang.

Landasan Teori

Fenomena *mud diapir* adalah penerobosan (intrusi) batuan karena perbedaan tekanan dan *bouyancy*. Penerobosan biasanya vertikal melibatkan batuan

berdensitas rendah yang relatif *mobile* menerobos batuan berdensitas lebih tinggi, biasanya melalui rekahan (*fracture*). Istilah diapir lebih sering digunakan di batuan sedimen meskipun kadang digunakan pada batuan beku. *Salt* diapir jika batuan penerobos adalah garam (*salt*). *Shale* diapir jika material penerobos adalah serpih (*shale*). Dalam proses penerobosannya diapir akan mengakibatkan terbentuknya lipatan (*anticline*) atau *dome* di bagian atas. Diapir ini menimbulkan banyak jebakan *reservoir* di bagian atas atau samping, karena sifatnya yang masif tidak dapat mengalirkan fluida, berfungsi sebagai *seal*. Pembentukan diapir dapat diakibatkan oleh proses tektonik atau proses pengendapan yang cepat [2].

Saluran diapir ataupun pinggirnya menghasilkan berbagai macam bentuk serta berantakan (*chaos*) atau bahkan kosong pada profil seismik 2D dan 3D, karena pengangkatan *mud diapir* dan pergerakan fluida panas. Berdasarkan profil seismik, karakteristik morfologi, aktivitas, tingkat dorongan dan ketinggian intrusi *mud diapir* dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu, *mud diapir* tipe 1 (Gambar. 1a) berada jauh di dalam dan memiliki amplitudo intrusi diapir dan lengkungan ketinggian yang rendah dengan energi lemah hingga medium. *Mud diapir* tipe ini tidak mengganggu lapisan di atasnya. *Mud diapir* tipe 2 (Gambar. 1b) tidak terlalu jauh dari permukaan (*shallow*), memiliki amplitudo intrusi diapir dan lengkungan ketinggian yang lebih tinggi dari tipe 1 dengan energi medium hingga kuat. Energi dan kekuatan diapir mendorong hingga mendekati atau sudah mencapai lapisan di atasnya namun belum sepenuhnya menerobos. *Mud diapir* tipe 3 (Gambar. 1c) memiliki bentuk kolom yang sangat jelas, energi intrusi yang sangat kuat dan lengkungan amplitudo yang tinggi. *Diapir* semacam ini dapat dianggap sebagai gunung lumpur meskipun tidak berbentuk kerucut atau gundukan yang menumpuk di bagian atas diapir, masih ditandai oleh kepadatan dan kecepatan rendah, dan suhu dan tekanan tinggi. Lengkungan intrusi kuat secara vertikal, dan energi dan kekuatan diapir telah sangat melebihi kekuatan strata atasnya. Kubah *mud diapir* terbentuk oleh deformasi sedimen bergerak [4].



Gambar 1. Interpretasi geologi dari profil seismik dari 3 jenis karakter *mud diapir*.

2. Metode Penelitian

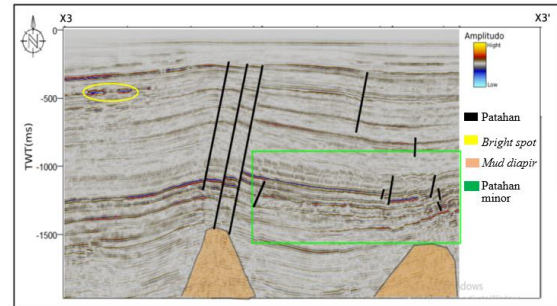
Data yang digunakan meliputi data *time section* 3D dan data pendukung berupa informasi geologi. Dengan data seismik 3D laut seluas 5000 m x 12500 m, jumlah *inline* sebanyak 400 dan *xline* sebanyak 1000 dengan interval 12,5 m, *sample rate* 4 ms, panjang rekaman 0 – 6000 ms serta menggunakan polaritas SEG.

Kajian ini terdiri dari 3 tahap analisis yaitu, interpretasi struktur dengan melakukan *picking horizon* dan *picking fault* terhadap profil seismik, kemudian membuat *time structure map* untuk melihat kenampakan *diapir* pada *gridding* semua *nline* dengan *xline*, kemudian diberikan atribut seismik pada profil seismik. Dimana ekstraksi atribut seismik ini bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan *mud diapir*. Atribut seismik yang digunakan yaitu *envelope*, *RMS amplitude*, *instantaneous frequency* dan *variance*. Atribut *envelope* dan *RMS amplitudo* dapat mendeteksi anomali amplitudo yang dapat menggambarkan keberadaan *Direct Hydrocarbon Indicator/DHI* (seperti *bright spot*, *dim spot* dan *flat spot*). yang biasanya dijumpai dekat dengan keberadaan *mud diapir* yang dapat membentuk jebakan diapirs dan membantu proses pematangan hidrokarbon. Atribut *instantaneous frequency* digunakan untuk mendeteksi perubahan lapisan dan atribut *variance* untuk mengetahui variasi amplitudo yang menandakan *chaos* dan patahan pada bawah permukaan.

3. Hasil dan Pembahasan Interpretasi Struktur

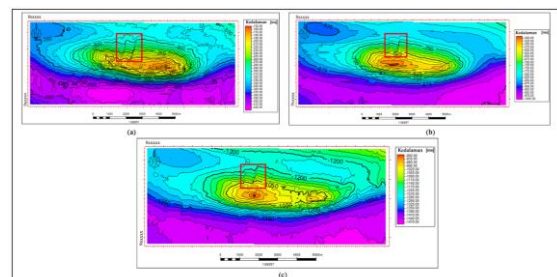
Kajian ini dimulai dengan melakukan interpretasi struktur daerah penelitian seperti pada Gambar 2. terdapat 3 patahan primer (mayor) yang terlihat lebih panjang dibanding patahan-patahan lainnya. Patahan mayor terlihat mengarah dari timur laut ke barat daya daerah penelitian. Patahan mayor ini akan menjadi jalur penerobosan *diapir* hingga mencapai lapisan teratas. Selain itu terdapat juga beberapa patahan-patahan kecil atau sekunder (minor) di sekitar patahan mayor yang dapat disebut sistem patahan. Patahan yang berada pada zona antiklin dapat menyebabkan lapisan batuan menjadi lemah sehingga menjadi

lokasi intrusi *diapir*. Pada Gambar 2. juga diperlihatkan indikasi keberadaan DHI yaitu dengan adanya *bright spot* di arah barat yang dekat dengan permukaan yang mengidentifikasi bahwa di daerah tersebut terdapat *shallow gas*. *Shallow gas* terlihat pada penampang seismik dengan amplitudo yang tiba-tiba meninggi dan terlihat lebih. Keberadaan dari *shallow gas* berpotensi menjadi bencana geologi sehingga perlu diwaspadai.



Gambar 2. Interpretasi struktur pada daerah penelitian.

Berdasarkan Gambar 3 peta struktur waktu dapat dilihat bentuk patahan yang menjadi jalur penerobosan dari *mud diapir* ditandai dengan kotak merah. *Mud diapir* diwakili dengan warna kuning hingga merah dengan kedalaman dalam domain waktu. Peta struktur waktu *horizon 1* memperlihatkan keberadaan dari *mud diapir* berada pada kisaran 250 ms - 150 ms, *horizon 2* pada kisaran 700 ms - 500 ms dan *horizon 3* pada kisaran 1110 ms - 900 ms. Bentuk 3D dari peta struktur waktu (*time map surface*) dapat dilihat pada Lampiran dengan posisi dari ketiga *horizon* telah diterobos oleh *mud diapir*.



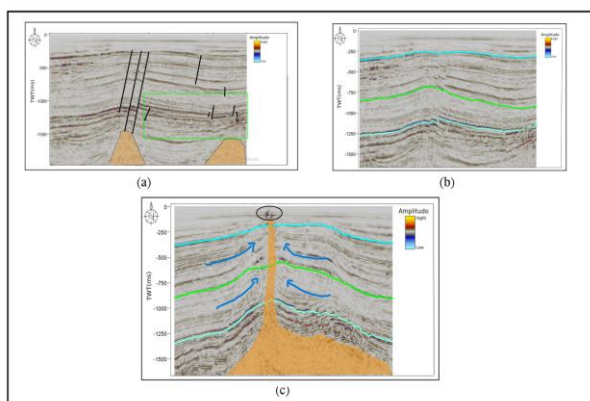
Gambar 3. Peta strktur waktu (*time struktur map*)

Identifikasi Mud Diapir

Berdasarkan informasi geologi, *mud diapir* terjadi di daerah penelitian diakibatkan karena daerah penelitian berada pada zona elisional yang terakumulasi di Formasi Ngrayong dan Formasi Wonocolo, Lebih tepatnya di arah timur laut daerah penelitian kemudian bergerak lurus ke atas hingga melewati 3 lapisan yang telah dilakukan *picking horizon*. Intrusi *diapir* yang membawa material yang telah tercampur baur sehingga membentuk lumpur bersama hidrokarbon terus bergerak mendekati permukaan. Hidrokarbon yang berupa gas dan liquid bergerak menjalar ke permukaan melalui patahan-

patahan yang terbentuk karena dorongan dari *mud diapir*. Sehingga terlihat anomali amplitudo terang dapat di atas intrusi *mud diapir* (daerah arsir) seperti pada Gambar 4.

Terdapat 3 *horizon* Gambar 4(a) yang menjadi zona lemah akibat keberadaan *mud diapir* diperkuat dengan keberadaan 3 patahan *major* Gambar 4(b) yang akan menjadi saluran keluarnya *mud diapir*. Pada Gambar 4(c) dapat dilihat pergerakan *mud diapir* melewati 3 *horizon* atau lapisan Gambar 4(a) di atasnya hingga membentuk saluran seperti pipa sampai lapisan teratas pada Formasi Lidah (L dan Li) setelah melewati 3 patahan *major* Gambar 4(b). Hal ini sama seperti tipe *mud diapir* yang terdapat dalam penelitian sebelumnya tentang karakteristik *mud diapir* yang telah dilakukan oleh Jian Xiong (He, dkk 2016). *Mud diapir* yang terdapat pada daerah penelitian terlihat sudah menerobos 3 *horizon* di atasnya dengan bentuk saluran seperti kolom yang terlihat jelas. *Mud diapir* di daerah penelitian diidentifikasi di arah timur laut yang berada di Formasi Ngrayong dan terlihat bergerak ke tengah menembus formasi-formasi di atasnya. Intrusi *mud diapir* terlihat menerobos melalui patahan dan lipatan yang terlihat pada lapisan bawah permukaan daerah penelitian. *Mud diapir* terlihat pada zona yang telah diberikan arsiran dimana terlihat refleksi seismik yang berantakan dan nilai refleksi dari rendah hingga tinggi. Refleksi amplitudo yang tinggi didistribusikan di bagian atas beberapa *diapir*, yang mungkin terkait dengan akumulasi gas. Terlihat anomali terang di dekat permukaan yang mengindikasikan lumpur (*Mud Volcano*) sudah mencapai permukaan namun belum sepenuhnya membentuk kubah lumpur. Material dari *mud diapir* merupakan sedimen yang terkumpul dari Formasi Ngrayong dan Wonocolo yang berada pada kedalaman sekitar 4000ms.

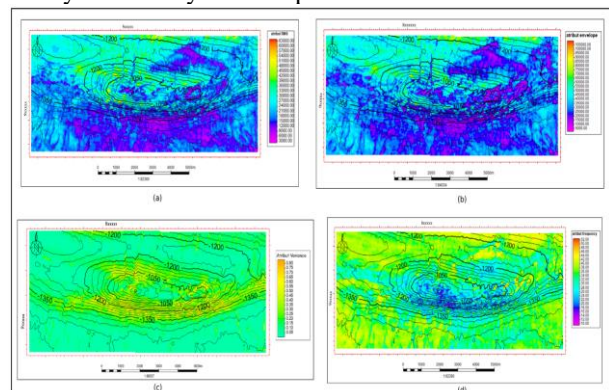


Gambar. 4 Identifikasi keberadaan *mud diapir*

Interpretasi Atribut

Interpretasi atribut pada ketiga *horizon* memperlihatkan nilai-nilai atribut yang mewakili litologi daerah penelitian (Gambar 5). Atribut RMS dan *Envelope* menggambarkan perubahan litologi

pada nilai amplitudo tinggi. Pada Utara daerah penelitian memiliki nilai atribut tinggi yang ditunjukkan berwarna hijau-kuning. Hal ini menunjukkan adanya perubahan litologi yang dapat disebabkan oleh pergerakan dari *mud diapir* di timur laut daerah penelitian. Pergerakan *mud diapir* menyebabkan area kanan dan kiri yang tidak terdorong akan menjadi tempat terakumulasinya material yang terbawa, sehingga akan menjadi titik terang berupa pada gambar atribut RMS dan *Envelope* karena terjadi perubahan litologi yang signifikan. Pada atribut *variance*, variasi tinggi menunjukkan variasi batuan yang tinggi dan hal ini mengindikasikan terjadinya patahan dan tekanan. Variasi tinggi terlihat pada bagian tengah daerah penelitian, memanjang dari barat ke timur. Pada daerah tersebut juga terindikasi keberadaan dari *mud diapir*, sehingga dapat disimpulkan bahwa *mud diapir* memiliki variasi batuan yang tinggi. Pada atribut *Instantaneous Frequency* menunjukkan penurunan nilai frekuensi di bagian tengah daerah penelitian. Hilangnya frekuensi tinggi menunjukkan daerah *overpressure*, daerah *overpressure* menunjukkan adanya pergerakan dan dapat mengindikasikan keberadaan *mud diapir*. Didukung oleh peta struktur waktu (Gambar 3) yang menunjukkan adanya patahan pada bagian tengah daerah penelitian. Hal ini sejalan dengan tekanan tinggi pada *mud diapir* akan mendorong lapisan di atasnya dan menyebabkan patahan.



Gambar 5. Peta struktur waktu *horizon* yang telah diberikan atribut (a) attribute RMS amplitude, (b) envelope, (c) variance, (d) instantaneous frequency

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

1. Fenomena *mud diapir* diidentifikasi pada penampang profil seismik 3D, *mud diapir* terlihat berasal dari Formasi Ngrayong dan Formasi Wonocolo, pada peta struktur waktu *mud diapir* teridentifikasi pada masing-masing *horizon* dengan *horizon* 1 pada kedalaman 250 ms – 150 ms, *horizon* 2 pada kedalaman 700 ms – 500 ms dan *horizon* 3 pada kedalaman 1110 ms – 900 ms. Sedangkan pada penampang atribut *mud diapir* teridentifikasi paling jelas pada atribut *variance*.

2. Ciri- ciri dari *mud diapir* yang terlihat pada data seismik 3D berupa pengangkatan atau dorongan terhadap lapisan di atas *mud diapir*, refleksi seismik yang berantakan dan nilai seismik refleksi dari rendah hingga tinggi.
3. Kandungan material mud diapir tersusun dari sedimen yang berasal dari Formasi Ngaryon dan Wonocolo dan gas yang dapat dilihat pada peta struktur waktu atribut *RMS amplitude* dan *envelope*.

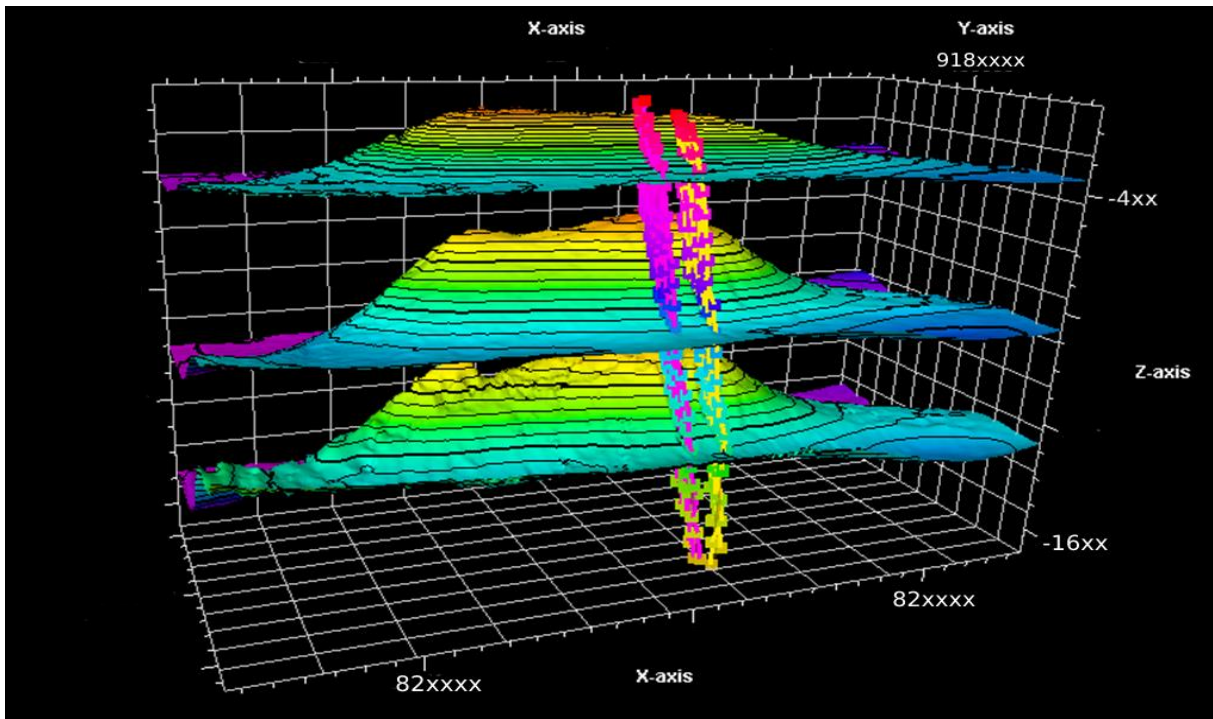
Saran

Mengetahui keberadaan *mud diapir* tidak cukup akurat hanya dengan menggunakan data seismik. Dibutuhkan data sumur maupun geokimia yang dekat dengan lokasi penelitian agar penafsiran dan ketebalan lapisan menjadi lebih akurat dan mengetahui lebih detail kandungan material yang terdapat di zona indikasi Fenomena *mud diapir*.

Daftar Pustaka

- [1] Arifin, L., 2000, Struktur Patahan, Lipatan dan Akumulasi Gas di Perairan Sampang-Bluto dan sekitarnya, Madura, Jawa Timur. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Vol.X*, No.103.
- [2] Satyana, A. H. dan Asnidar. 2008. Mud Diapirs And Mud Volcanoes In Depressions Of Java To Madura: Origins, Natures, And Implications To Petroleum System. *Indonesian Petroleum Association*. pp. 1-34.
- [3] Ran, W., Dandan Zhang, Mohammad Saiful Islam. 2019. Seismic characteristics and strontium isotope ages of the Middle Miocene Ngrayong Formation in the Madura Strait Basin: implications for the paleogeographic reconstruction of East Java. *Elsevier Ltd*.
- [4] He Jiaxiong, Shuhong Wang, Wei Zhang¹, Wen Yan. 2016. Characteristics Of Mud Diapirs And Mud Volcanoes And Their Relationship To Oil And Gas Migration And Accumulation In A Marginal Basin Of The Northern South China Sea. *Springer, vol. 75*, pp. 1122.

Lampiran



Gambar 6. Bentuk 3D dari peta struktur waktu (*time map surface*) dengan posisi dari ketiga *horizon* telah diterobos oleh *mud diapir*.