

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



**SKRIPSI**

**Oleh:  
ELYA SUSILANINGSIH  
G1B016011**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS MATARAM  
2023**

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

**SKRIPSI**

Karya tulis sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana dari  
Universitas Mataram

Oleh

**ELYA SUSILANINGSIH**  
NIM: G1B016011

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS MATARAM  
2023**

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

Oleh  
ELYA SUSILANINGSIH  
NIM: G1B016011

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

By  
ELYA SUSILANINGSIH  
NIM: G1B016011

*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

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Identifikasi Fenomena *Mud Diapir* Berdasarkan Data Seismik 3D di Lapangan Z” *Shalawat* dan salam kepada junjungan alam Nabi besar Muhammad SAW karena berkat perjuangan beliau manusia dapat mengenal ilmu yang sebenar-benarnya ilmu.

Adapun dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini penulis menyadari bahwa selesainya proses ini tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun ke arah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan wawasan bagi para pembaca.

Mataram, 8 maret 2023



Elya Susilaningsih

**HALAMAN PERSETUJUAN**

IDENTIFIKASI FENOMENA MUD DIAPIR BERDASARKAN DATA  
SEISMIK 3D DAN DI LAPANGAN "Z"

EL YA SUSILANINGSIH  
NIM: G1B016011

Menyetujui  
Tim Pembimbing

Pembimbing I,



Syamsuddin, S.Si., M.T.  
NIP. 197012311977021001

Pembimbing II,



Dr. Budi Eka Nurcahya, M.Si  
NIP. 1966607141993031001

**HALAMAN PENGESAHAN**

Skripsi yang berjudul:

**IDENTIFIKASI FENOMENA MUD DIAPIR BERDASARKAN DATA  
SEISMIK 3D DI LAPANGAN "Z"**

**ELYA SUSILANINGSIH  
NIM: G1B016011**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Program Studi Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Pada tanggal: 8 maret 2023

Tim Penguji :

Dr. Suhayat Minardi, S.Si., M. T.  
NIP. 196909051997031001

(Ketua)

Dr. Drs. Marzuki, M.Si.  
NIP. 196512311998031002

(Anggota I)

Syamsuddin, S. Si. M. T.  
NIP. 197012311977021001

(Anggota II)

Dr. Budi Eka Nurcahya, M.Si.  
NIP. 196607141993031001

(Anggota III)

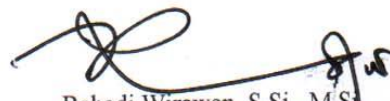
Mengetahui:

Fakultas MIPA Universitas Mataram  
Dekan



Prof. Dedy Suhendra, M.Si., Ph. D  
NIP. 196712071996031002

Program Studi Fisika  
Ketua



Rahadi Wirawan, S.Si., M.Si  
NIP. 197212271997021001

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam, karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis mampu menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Identifikasi Fenomena *Mud Diapir* Berdasarkan Data Seismik 3D di Lapangan Z” *Shalawat* dan salam kepada junjungan alam Nabi besar Muhammad SAW karena berkat perjuangan beliau manusia dapat mengenal ilmu yang sebenar-benarnya ilmu.

Adapun dalam pelaksanaan dan penulisan skripsi ini penulis menyadari bahwa selesainya proses ini tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun ke arah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan wawasan bagi para pembaca.

Mataram, 8 maret 2023

Elya Susilaningsih



## **MOTTO**

Tugasku hanya bermimpi dan berusaha sisanya Allah yang mengatur

### **Karya ini saya persembahkan untuk:**

Orang tuaku tercinta dan adik-adik tersayang yang telah setia menunggu dan mendukung proses penulisan skripsi ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

*Alhamdulillahirobbil`alamin* segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, tuhan semesta alam yang maha kuasa atas bumi, langit dan seluruh isinya, sebab hanya dengan kehendaknya maka penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi dengan judul “Identifikasi Fenomena Mud Diapir Berdasarkan Data Seismik 3D Di Lapangan Z”. Penyusun skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, dan motivasi dari berbagai pihak. Secara khusus penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Terima kasih dan salam cinta kepada Ibu Sukaiyah, Bapak Syamsi, adik-adik saya Arwansyah, Erwin, Widia dan Irwan serta keluarga saya yang paling membantu dalam kehidupan saya.
2. Prof. Dedy Suhendra, M.Si., Ph.D., selaku dekan FMIPA Universitas Mataram.
3. Dr. Rahadi Wirawan, S.Si, M.Si selaku ketua program studi Fisika sekaligus pembimbing akademik, terima kasih atas ilmu dan bimbingan, arahan, saran serta motivasi yang telah diberikan selama masa perkuliahan hingga akhir ini;
4. Syamsuddin, S.Si., M.T selaku dosen pembimbing I. Terima kasih atas ilmu, bimbingan, arahan, saran, kritikan, motivasi dan waktu yang diluangkan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan semestinya;
5. Dr. Budi Eka Nurcahya, M.Si selaku dosen pembimbing II. Terima kasih atas ilmu, bimbingan, arahan, saran, kritikan, motivasi dan waktu yang diluangkan sehingga penulis mampu menyelesaikan perkuliahan dan tugas akhir ini dengan semestinya;
6. Dosen-dosen jurusan Fisika Universitas Mataram, yang telah memberikan ilmu yang luar biasa dan memotivasi penulis untuk selalu menjadi lebih baik selama kuliah di jurusan Fisika Universitas Mataram;
7. Seluruh staf tata usaha jurusan Fisika, FMIPA UNRAM terutama Pak Adit bidang Akademik dan Pak Yusron yang telah memberi banyak bantuan dalam proses administrasi;
8. Seluruh teman-teman di Fisika angkatan 16 (Consixteen), terima kasih atas cerita manis maupun pahit untuk beberapa tahun ini. Dalam hidupku kalianlah

yang menjadi sosok keluarga kedua yang mau menerima lebih dan kurang saya;

9. Terima kasih Fathin Zulian Tsany, untuk dukungan, serta motivasi untuk selalu berusaha lebih baik dan mengingatkan untuk terus bangkit;
10. Sahabat-sahabat saya Tika, Rita, Yuli dan tim Januari yang telah mengingatkan untuk tidak berhenti berjuang serta membantu dalam penulisan; Dan semua pihak yang telah membantu dalam mengurus segala keperluan penyelesaian skripsi ini.

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
MOTTO.....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
BAB III LANDASAN TEORI.....	15
3.1 Gelombang Seismik.....	15
3.1.1 Gelombang Badan ( <i>Body Wave</i> ).....	15
3.1.2 Gelombang Permukaan ( <i>Surface Wave</i> ).....	16
3.1.3 Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Seismik.....	18
3.2 Metode Seismik.....	20
3.3 Eksplorasi Seismik.....	21
3.4 Seismik Refleksi.....	22
3.4.1 Komponen Seismik Refleksi.....	23
3.4.2 Impedansi Akustik dan Koefisien Refleksi.....	25
3.4.3 Polaritas dan Fasa.....	27
3.4.4 Reosolusi Data Seismik.....	28
3.4.5 Wavelet.....	30

3.4.5	Seismogram Sintetik.....	31
3.5	Picking Horizon dan Picking Fault.....	31
3.6	Seismik Atribut.....	31
3.7	Mud Diapir.....	36
BAB IV METODE PENELITIAN.....		39
4.1	Jenis Penelitian.....	39
4.2	Tempat dan Waktu Penelitian.....	39
4.3	Data Penelitian.....	39
4.4	Data Seismik.....	39
4.5	Peralatan Penelitian.....	41
4.6	Pengolahan Data.....	41
4.7	Teknik Interpretasi Data.....	42
4.8	Tahapan Penelitian.....	43
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....		45
5.1	Interpretasi Amplitudo Seismik.....	45
5.1.1	Interpretasi Stratigrafi.....	45
5.1.2	Interpretasi Struktur.....	46
5.1.1	Interpretasi Stratigrafi.....	48
5.1.3	Mud Diapir.....	50
5.2	Peta struktur waktu ( <i>Time structure map</i> ).....	50
5.3	Seismik Atribut.....	52
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		55
6.1	Kesimpulan.....	55
6.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....		56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar		Halaman
2. 1	<i>Picking fault</i> dan <i>picking horizon</i> (Sulistiyono, 2012).....	5
2.2	Identifikasi <i>Mud diapir</i> (Ahn Lee, 2001).....	6
2.3	Penampang vertikal hasil <i>picking fault</i> (a) penampang amplitude, (b) penampang <i>variance</i> (Arifudin, 2017).....	7
2.4	Penampang seismik atribut <i>envelope</i> (Harista, 2018).....	8
2.5	Penampang seismik atribut <i>envelope</i> (Harista, 2018).....	9
2.6	Penampang seismik pada frekuensi sesaat (Harista, 2018).....	10
2.7	Skema stratigrafi di Cekungan daerah penelitian (dimodifikasi dari Ran, dkk, 2019).....	10
3.1	Gelombang P (Wasserman, 2002).....	16
3.2	Gelombang S (Wasserman, 2002).....	16
3.3	Ilustrasi Gelombang <i>Love</i> dan Gelombang <i>Rayleigh</i> (Hidayati, 2010).....	18
3.4	Asas Fermat(Susilawati, 2004).....	19
3.5	Prinsip Huygens (Hamimu, 2017).....	19
3.6	Ilustrasi akuisisi data seismik laut (Hasanudin, 2005).....	21
3.7	Profil 3D pada data seismik (Chaouch dan Mari, 2006).....	22
3. 8	Komponen dasar seismik trace (Abdullah, 2007).....	24
3.9	Hubungan antara amplitudo, reflektivitas, dan kontras IA (safitri, 2019).....	25
3. 10	Konvensi polaritas seismik (Brown, 2001).....	26
3. 11	Jenis- jenis wavelet berdasarkan konsentrasi energinya (Sukmono, 1999).....	27
3.12	Seismogram sintetik menggunakan <i>wavelet zero phase</i> dengan polaritas positif. (Sukmono, 1999).....	30
3.13	Klasifikasi Atribut Seismik (Brown, 2000).....	33
3. 14	Ilustrasi Atribut Envelope (Sukmono, 2009).....	30
3.15	Perbandingan antara tras seismik dan <i>Instantaneous Frequency</i> (Sukmono, 2007).....	31
3. 16	Peta interpretasi geologis dari profil seismik dari tiga jenis karakter mud diapir di Cekungan Yinggehai (He, dkk, 2016).....	34
4. 1	Profil seismik pada daerah penelitian.....	35
4. 2	Peta dasar seismik daerah penelitian.....	36
4. 3	Tahap Penelitian.....	38
5. 1	Stratigrafi daerah penelitian.....	40
5. 2	Sistem patahan pada daerah penelitian.....	44
5. 3	<i>Picking Horizon</i> pada Formasi Lidah, Formasi Mundu dan Formasi Wonocolo.....	46
5. 4	(a) Patahan mayor dan sistem patahan, (b) Horizon daerah	

	penelitian, (c) Keberadaan dan penerobosan mud diapir pada penampang seismik.....	47
5. 5	Horizon pada Formasi Lidah, Formasi Paciran, Formasi Mundu dan Formasi Kujung.....	48
5. 6	Peta struktur waktu horizon.....	49
5. 7	Atribut seismik variance dan RMS amplitude menunjukkan keberadaan mud diapir.....	51
5. 8	Peta struktur waktu horizon 3 dengan atribut.....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran		Halaman
1	Detail stratigrafi daerah penelitian.....	60
2	Interpretasi sistem patahan.....	61
3	Penerobosan diapir.....	62
4	Picking horizon.....	63
5	Peta struktur waktu.....	64
6	Peta 3D time struktur map.....	67
7	Atribut Seismik.....	68
8	Peta struktur waktu yang telah diberikan atribut.....	69



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kekayaan sumber daya alam Indonesia yang melimpah menjadikan para peneliti untuk terus melakukan eksplorasi dan mengembangkan sumber daya alam yang ada. Eksplorasi sumber daya alam yang menjanjikan sebagai salah satu sumber energi tentu membutuhkan kajian yang mendalam. Salah satunya yaitu kegiatan eksplorasi minyak dan gas bumi yang membutuhkan banyak proses sampai akhirnya hasilnya dapat dirasakan langsung oleh masyarakat. Dalam proses eksplorasi perlu diperhatikan beberapa parameter atau indikator keberadaan hidrokarbon (*direct hydrocarbon indicator/ DHI*). Indikator yang mengacu pada lokasi ekplorasi yang berkaitan dengan geologi sangat penting bagi interpreter dalam memberikan info zona target serta potensi kegagalan dalam eksplorasi.

Informasi geologi yang mencakup formasi batuan dan struktur bawah permukaan memungkinkan bagi interpreter untuk memperkirakan titik keberadaan migas. 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 (Arifin, 2000).

Daerah dengan kondisi struktur geologi yang terjadi pelipatan dan sedimen yang mengandung gas menjadi salah satu risiko dalam eksplorasi minyak dan gas bumi. Hal ini dikarenakan besar kemungkinan ditemukan *mud*

*diapir* dan *mud volcano*. *Mud volcano* sendiri adalah fenomena ketika diapir sudah mencapai permukaan bumi. 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* (Satyana dan Asnidar, 2008).

Keberadaan *mud diapir* dan *mud volcano* tak jarang dijumpai di lingkup yang sama dengan lokasi keberadaan minyak dan gas bumi atau disebut juga hidrokarbon (Ran, 2019). Sifatnya yang mengandung gas metan dapat menjadi indikator dalam penentuan lokasi pengeboran dugaan keberadaan hidrokarbon. Studi mengenai lapisan bawah permukaan serta data geologi daerah penelitian dapat membantu proses penggambaran kondisi lapisan bawah permukaan. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan adalah metode seismik.

Metode seismik adalah salah satu metode fisika yang sering digunakan dalam kegiatan eksplorasi hidrokarbon. Eksplorasi minyak dan gas (migas) dengan menggunakan metode seismik dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan seperti geologi dan struktur batuan hingga zona keberadaan prospek hidrokarbon. Penggunaan metode seismik dalam eksplorasi migas memberikan banyak informasi terkait indikator keberadaan hidrokarbon (*direct hydrocarbon indicator/ DHI*). DHI dapat dideteksi dengan menerapkan atribut seismik sesuai dengan target atau indikator yang diinginkan oleh interpreter. *Mud diapir* yang mengandung gas dan dapat membentuk jebakan diaprik memungkinkannya sering dijumpai dekat dengan reservoir hidrokarbon.

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.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Apakah fenomena *mud diapir* yang terjadi berdasarkan data seismik 3D?
2. Apakah ciri-ciri *mud diapir* yang tampak di daerah penelitian?
3. Apakah material yang terkandung dalam *mud diapir*?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui fenomena *mud diapir* yang terjadi berdasarkan data seismik 3D.
2. Mengetahui ciri-ciri *mud diapir* pada data seismik 3D.
3. Mengetahui material yang terkandung dalam *mud diapir*.

## **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah penelitian ini, sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder seismik 3D laut *Post-Stack Time Migration* di Lapangan "Z".
2. Data yang digunakan adalah *time seismic section* dengan *increment* 5.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai sumber informasi Studi kasus fenomena *mud diapir* dan *mud volcano* khususnya dalam eksplorasi migas guna menghindari potensi kerugian dan bencana geologi.

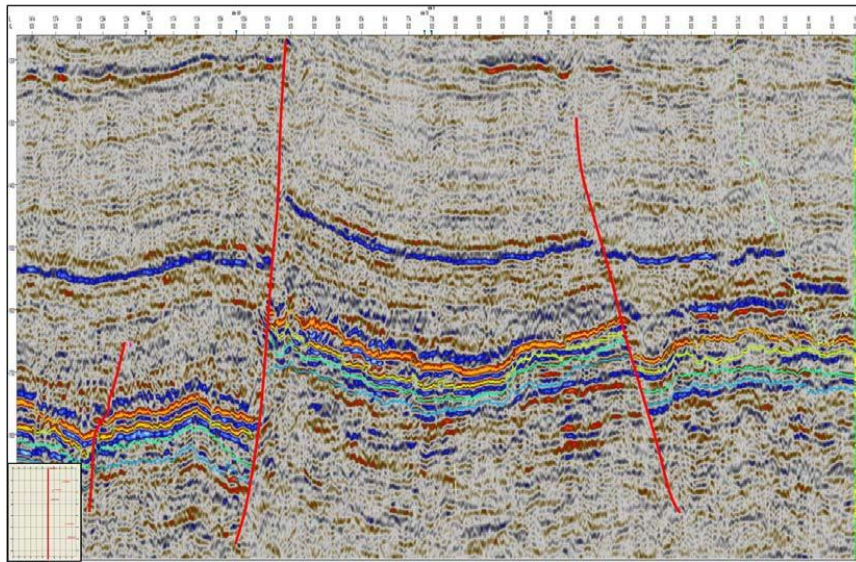
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian digunakan sebagai rujukan pustaka yang berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti baik dengan tempat maupun metode yang berbeda. Dimana dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Arifin (2009) di Perairan Selatan Pulau Madura menggunakan metode seismik refleksi dangkal menunjukkan adanya *mud diapir* di dalam lapisan sedimen yang mengandung gas. Dimana keberadaan *mud diapir* diikuti oleh lapisan sedimen yang mengandung gas. Gejala keberadaan *diapir* terlihat di Perairan Selatan Pulau Madura, mulai dari Perairan Sampang hingga ke Kalianget. Karakter diapir di daerah penelitian (Sampang, Pamekasan dan Kalianget) berupa *antiklin* (lipatan). Di sekitar *mud diapir* terdapat banyak rembesan gas yang diduga sebagai gas metan. Namun dalam penelitian tersebut belum diketahui formasi yang menjadi sumber keberadaan *mud diapir* dan sedimen yg mengikutinya.

Faturachman (2007) Melakukan penelitian di Perairan Sumenep, Jawa Timur dengan tujuan untuk mengetahui jalur migrasi dan akumulasi gas *biogenik* berdasarkan profil seismik refleksi. Hasil penelitian memperlihatkan dua runtunan yaitu runtunan A berumur Pra Kuartar dan runtunan B berumur Kuartar-Resen. Runtunan A telah mengalami pelipatan dan pensesaran dimana beberapa tempat diterobos oleh *mud diapir* sampai ke permukaan laut. Sedangkan runtunan B memperlihatkan refleksi yang transparan dan beberapa tempat diterobos oleh *mud diapir*. Menunjukkan keberadaan *mud diapir* sering dijumpai di daerah antiklin, bergerak menembus lapisan lemah di atasnya dan megakibatkan terbentuknya patahan.

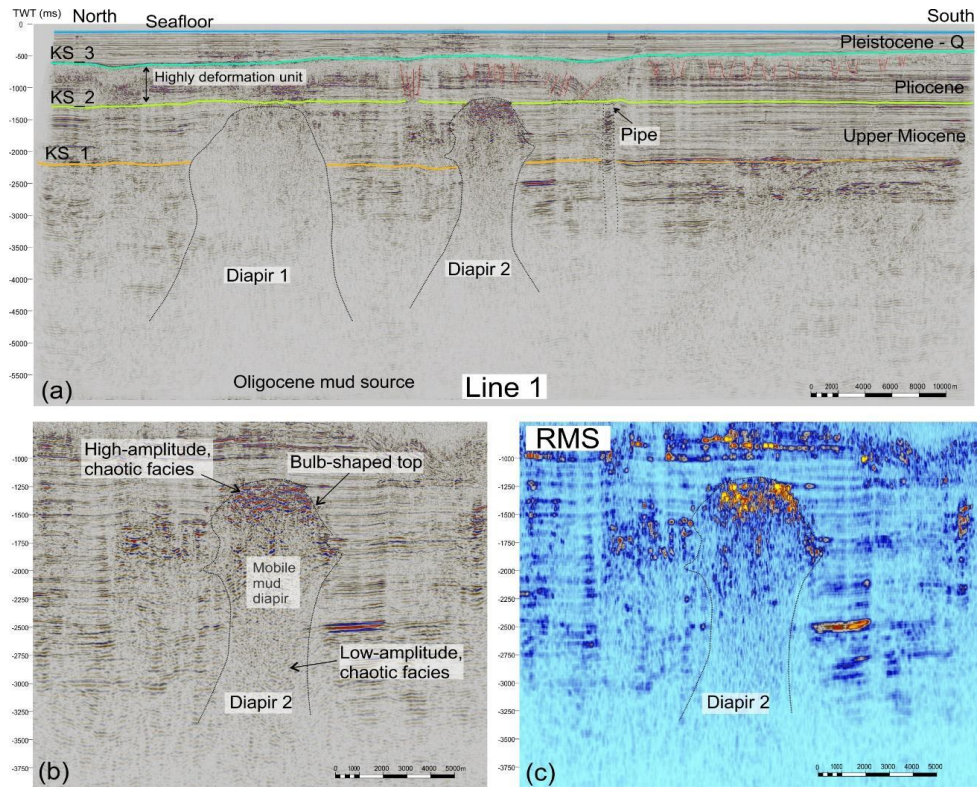
Penelitian *mud diapir* di selatan Caspia Basin oleh Lecrhe (2010) menggunakan metode *dynamical and termal effect* menyatakan eratnya kaitan keberadaan *mud diapir* dengan keberadaan dari hidrokarbon. Dimana keberadaan dari *mud diapir* membentuk jebakan *diaprik* dikarenakan sifat hidrokarbon yg memiliki kepadatan yang lebih rendah daripada air memudahkannya untuk mengalir ke lapisan sedimen antiklin. Jebakan reservoir seperti ini banyak dijumpai di Caspia Basin Selatan. Sementara itu Sulistiyono (2012) melakukan penelitian di Lapangan “HD” untuk melihat keberadaan batu pasir sebagai reservoir

hidrokarbon berdasarkan data seismik 3D *Post Stack Time Migration*. Hasil penelitian menunjukkan daerah prospek ditentukan dengan melakukan *picking horizon* pada *peak reflector* (Gambar 2.1). Pada penelitian tersebut ditemukan beberapa patahan mayor yang diduga sebagai zona lemah akibat sedimen yang lebih *mobile*.



**Gambar 2.1** *Picking fault* dan *picking horizon* (Sulistiyono, 2012)

Anh Le (2001) telah melakukan penelitian di Song Hong Basin, Vietnam untuk mengetahui karakteristik Mud Diapir dengan luas 3900 km<sup>2</sup> yang terletak di pusat cekungan Song Hong, menggunakan empat jalur seismik 2D. Ditemukan Ada enam *mud diapir* dan tiga pipa lumpur yang telah didokumentasikan. Gambar 2.2 Menunjukkan dua diapir yang terdapat pada line 1.



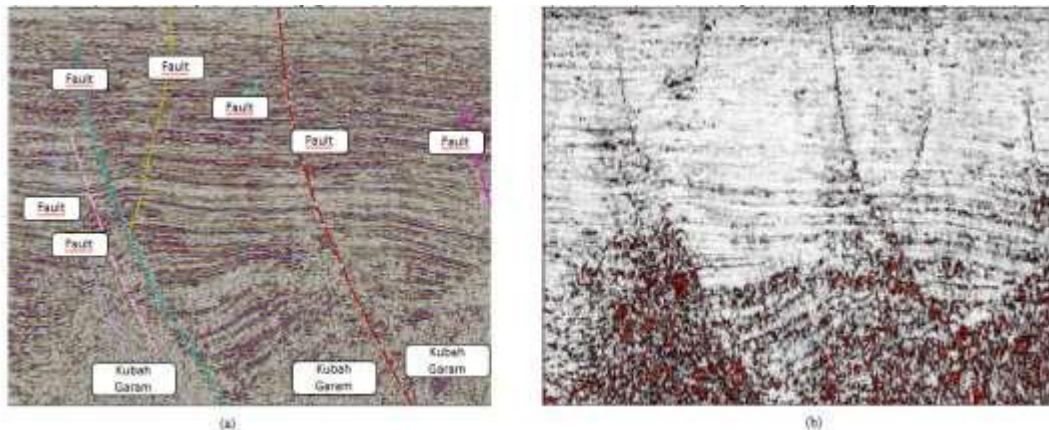
**Gambar 2.2** (a) Line seismik 1 dengan *diapir* 1, *diapir* 2, (b) Gambar *diapir* diperbesar, (c) menggabungkan dengan atribut *RMS Amplitude* (Ahn Lee, 2001).

Inti *Mud Diapir* terlihat kacau, refleksi seismik yang terganggu, dengan amplitudo refleksi dari rendah hingga tinggi (setelah diberikan atribut). Di bagian atas beberapa diapir terdapat akumulasi gas yang terlihat lebih terang dan semakin jelas pada Gambar 2.2(c) yang telah diberikan atribut *RMS Amplitude*. Batuan serpih yang kaya organik ini berada di saluran minyak dan gas, mengakibatkan pengangkatan *diapir*. Penemuan dan identifikasi terjadinya *mud diapir* menyiratkan potensi besar untuk prediksi perangkap struktural.

Penelitian yang telah dilakukan Arifuddin (2017) Lapangan Texaco terletak di *High Island Area, Offshore Southern Louisiana, Gulf of Mexico, USA* menggunakan data seismik 3D *post stack time migration* (PSTM) dengan analisis seismik atribut *variance* untuk melihat patahan. Pada penelitian tersebut *picking fault* dilakukan menggunakan interval spasi 10. Berdasarkan hasil *picking fault* (Gambar 2.3) yang telah dilakukan dapat dilihat adanya beberapa struktur seperti, kubah garam, patahan primer (mayor), dan diikuti dengan beberapa patahan sekunder (minor). Identifikasi patahan sangat penting guna mengetahui zona lemah

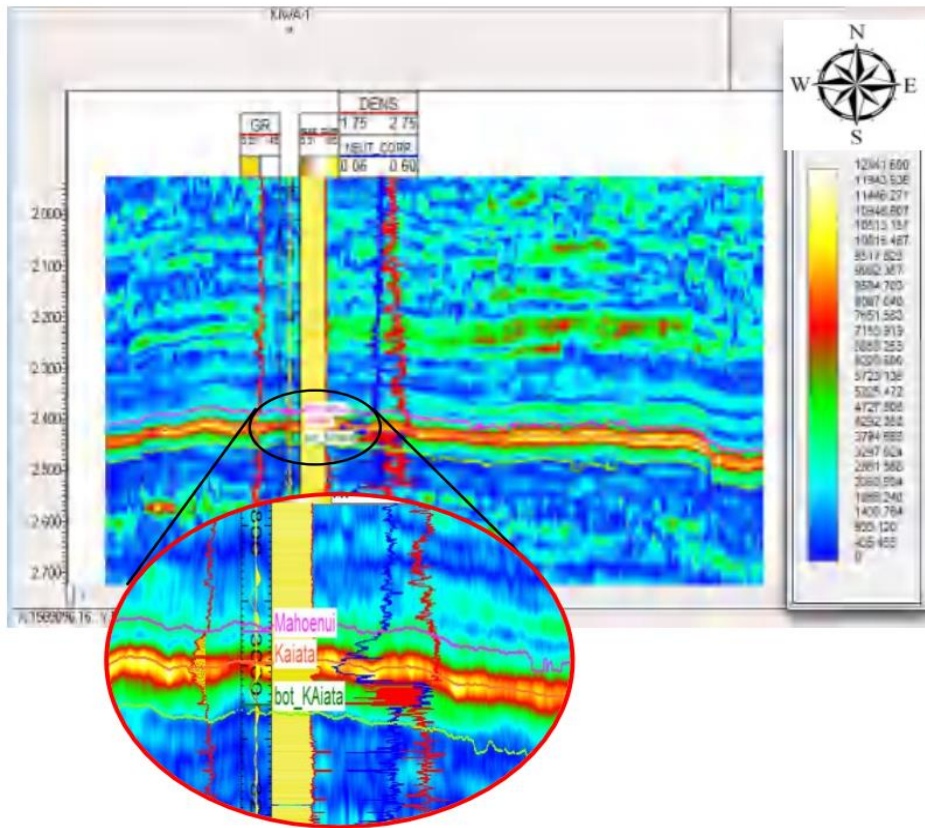


yang berpotensi menjadi jalur penerobosan *mud diapir*.

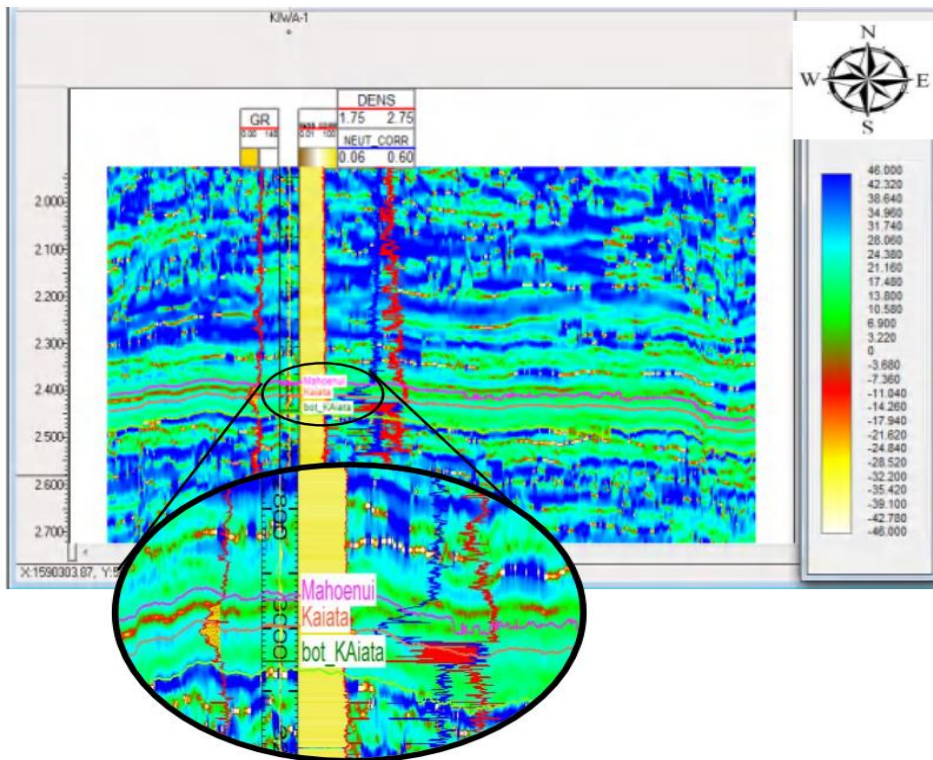


**Gambar 2.4** Penampang vertikal hasil *picking fault* (a) penampang amplitude, (b) penampang *variance* (Arifudin, 2017)

Harista (2018) telah melakukan penelitian karakterisasi reservoir di Cekungan Taranaki, New Zealand menggunakan seismik atribut *envelope* dan *instantaneous frequency* (frekuensi sesaat). Tujuan penelitian ini adalah menentukan sebaran hidrokarbon, zona target dan mengkarakterisasi reservoir. Hasil yang diperoleh pada atribut *envelope* dapat mendeteksi keberadaan reservoir pada Formasi Mahoeni berdasarkan kontras AI di daerah penelitian. Atribut *envelope* dapat memberikan informasi karakter dari formasi batuan target sehingga sangat baik dalam mengidentifikasi indikator keberadaan hidrokarbon serta *mud diapir*. Pada atribut Frekuensi sesaat digunakan untuk melihat anomali hidrokarbon yang akan ditunjukkan dengan anomali frekuensi rendah. Dalam penelitian ini frekuensi sesaat digunakan untuk melihat zona lemah yang ditandai dengan frekuensi yang rendah pada titik tertentu. Zona lemah sangat identik dengan keberadaan *mud diapir*. Gambar hasil ekstrak atribut *envelope* dan atribut frekuensi sesaat dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6 berikut:



Gambar 2.5 penampang seismik atribut *envelope* (Harista, 2018).



Gambar 2.6 Penampang seismik pada frekuensi sesaat (Harista, 2018).



Penelitian Pringgoprawiro (1983) untuk melihat Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara, menjadi acuan dalam melihat stratigrafi dan geologi regional daerah penelitian. Dimana disebutkan stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara terdiri dari 8 formasi (Gambar 2.7). Formasi paling atas yaitu Formasi Lidah terdiri atas satuan batulempung biru tua, masif, tidak berlapis. Satuan ini dapat dipisahkan menjadi bagian atas, tengah, bawah. Pada bagian bawah Formasi Lidah merupakan satuan batulempung berwarna biru (Anggota Tambakromo). Bagian atasnya terdiri batulempung dengan sisipan napal dan batupasir kuarsa mengandung glaukonit (Anggota Turi). Formasi ke-2 yaitu Paciran yang tersusun atas perulangan napal pasiran dan kalkarenit, dengan napal dan batupasir. Bagian atas dari satuan ini dicirikan batupasir dengan konsentrasi glaukonit. Formasi ke-3 yaitu Formasi Mundu Formasi Mundu terdiri dari napal yang kaya foraminifera planktonik, tidak berlapis. Bagian paling atas dari satuan ini ditempati oleh batugamping pasiran yang kaya foraminifera planktonik. Bagian atas dari Formasi Mundu ini disebut Anggota Selorejo, terdiri dari perselingan batugampingpasiran dan napal pasiran. Formasi ke-4 adalah Formasi Wonocolo yang tersusun dari napal, napal lempungan, hingga napal pasiran, yang kaya akan foram plankton, terdapat sisipan kalkarenit. Formasi ke-5 yaitu Formasi Ngrayon yang terdiri dari Pada Formasi ini dijumpai adanya batu pasir kuarsa berukuran halus pada bagian bawah dan menjadi kasar pada bagian atas dan terkadang gampingan. Formasi ke-6 yaitu Formasi Tuban Tuban tersusun atas napal pasiran berwarna putih abu-abu, semakin ke atas berubah menjadi endapan batu lempung biru kehijauan dengan sisipan batugamping berwarna abu-abu kecoklatan yang kaya akan foraminifera orbitoid, koral, dan alga. Formasi Ke-7 yaitu Formasi Ngimbang terdiri dari reefal, perselingan lempung dan kapur, lempung, kapur, dan karbonat turbidit. Pada bawah permukaan, pada daerah tertentu, bagian tengah dan atas Formasi Kujung secara lateral adalah carbonate reefal. Kemudian yang terakhir yaitu Basement. Berdasarkan informasi stratigrafi di atas menunjukkan potensi keberadaan *mud diapir* berada pada formasi wonocolo dan formasi Ngrayon.

Masa dan Umur				Strata	Litologi	Penanda Seismik	
Periode	Sekuen		Umur (Juta Tahun)				
Kuartar	Holosen		0.12	Lidah		L	
	Pleistosen		1.9			Li	
Tersier	Neogen	Pliosen	Akhir	3.2	Paciran		Pa
			Awal	5.3	Mundu		Mu
		Miosen	Akhir	~12.5 / 13	Wonocolo		Wø
			Tengah	~15	Ngrayon		Ng
	Paleogen	Oligosen	Awal	~21.5	Tuban / Upper Kujungan		Ku
			Akhir	24.6			
		Eosen	Akhir	33.7	Ngimbang		Bs
			Tengah	50?			
	Paleosen	Awal	54	Basement			
				65			

**Gambar 2. 7** Skema stratigrafi di Cekungan daerah penelitian (dimodifikasi dari Ran, dkk, 2019)

Berdasarkan dari beberapa tulisan diatas, dalam penelitian ini akan dilakukan identifikasi fenomena *mud diapir* berdasarkan data Seismik 3D *Post-Stack Time Migration* di Lapangan “Z” pada Cekungan Jawa Timur Utara, dimana penelitian-penelitian sebelumnya sebagai penguat untuk dasar dilakukannya penelitian ini.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Gelombang Seismik**

Gelombang adalah getaran yang merambat pada suatu medium. Pada metode seismik medium perambatan gelombang adalah bumi. Sehingga, gelombang seismik juga disebut gelombang elastik yang merambat di dalam bumi. Gelombang elastik adalah gelombang yang merambat melalui medium elastik. Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastik dikarenakan bumi bersifat elastik, dimana penjalaran gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan pada bidang batas antara lapisan, Fenomena penjalaran gelombang pada medium berlapis dapat dipahami melalui sifat-sifat pemantulan dan pembiasan gelombang karena sifat-sifat fisika batuan dapat direplikasi dari sifat-sifat refleksi bidang batas.

Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi yang disebut *body wave* dan ada juga yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave*. *Body wave* dibedakan menjadi dua berdasarkan arah getarnya. Gelombang P (*Longitudinal*) merupakan gelombang yang arah getarnya searah dengan arah perambatan gelombang sedangkan gelombang yang arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatannya disebut gelombang S (*transversal*). *Surface wave* terdiri atas *Rayleigh wave (ground roll)* dan *Love wave* ( Telford dkk, 1976 ).

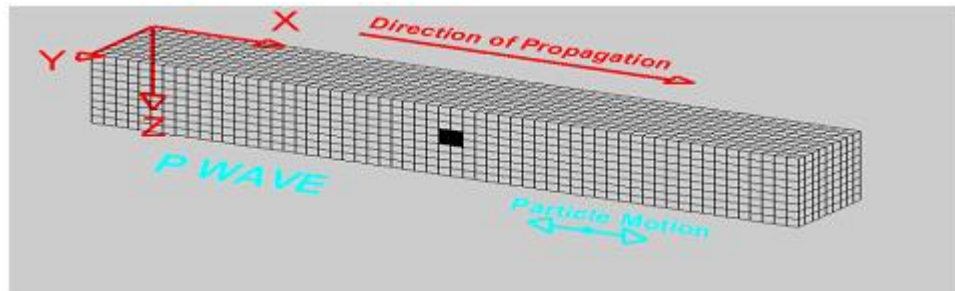
##### **3.1.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)**

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya gelombang badan dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

###### **1. Gelombang Primer (P)**

Gelombang badan adalah gelombang yang merambat di dalam bumi. Gelombang badan terdiri dari gelombang longitudinal (gelombang primer) dan gelombang transversal (gelombang sekunder). Dalam hal ini, metode seismik memanfaatkan gelombang badan dalam menggambarkan geologi bawah permukaan. Gelombang P (Primer/ *Pressure*) disebut juga

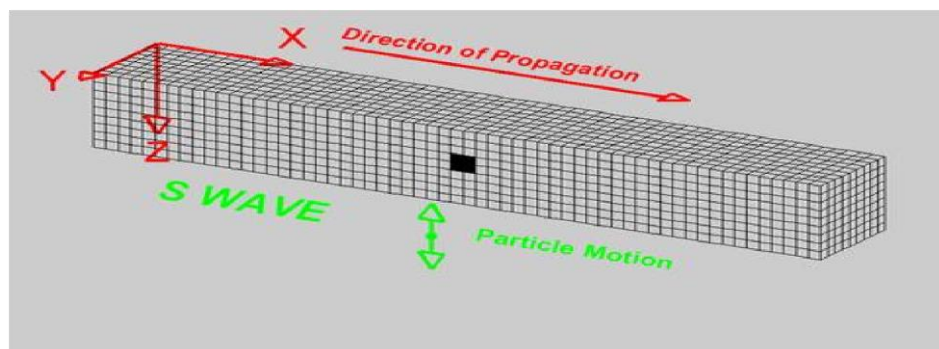
gelombang kompres yang mempunyai gerak partikel sejajar dengan arah penjarannya (Gambar 3.1).



**Gambar 3.1** Gelombang P (Wasserman, 2002)

## 2. Gelombang Sekunder (S)

Gelombang S atau gelombang sekunder atau gelombang transversal, yang hanya dapat menjalar dalam medium padat. Gelombang ini datang setelah gelombang P. Gelombang S sendiri memiliki kecepatan gelombang yang lebih rendah dari gelombang P, yaitu sekitar 60 % dari gelombang P. Gelombang sekunder menimbulkan efek geser. Efek geser ditunjukkan oleh perubahan bentuk elemen, yang membuat elemen kadang-kadang tegak, miring kekanan, miring ke kiri dan seterusnya. Apabila suatu elemen mengalami perubahan bentuk karena geser, maka pada elemen yang bersangkutan akan terjadi regangan geser dan tegangan geser (Pawirodikmoro, 2012). Gelombang ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.2** Gelombang S (Wasserman, 2002)

### 3.1.2 Gelombang Permukaan (Surface Wave)

Di samping gelombang badan, gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik. Gelombang ini terdapat pada batas permukaan medium. Gelombang permukaan merambat di sepanjang/dekat permukaan

bumi, karena gelombang ini merambat pada permukaan medium, maka gelombang permukaan ini mempunyai amplitudo yang mengecil dengan cepat terhadap kedalaman atau jarak dari permukaan medium. Terdapat dua macam gelombang permukaan, yaitu :

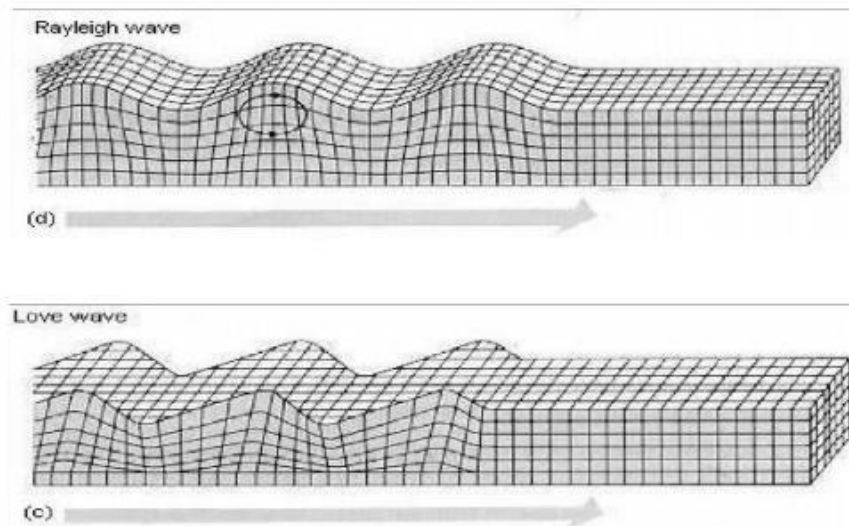
### **1. Gelombang *Rayleigh***

Gelombang *Rayleigh* adalah gelombang yang merambat di permukaan saja dan hanya dapat merambat pada media padat serta arah gerak partikelnya berlawanan arah dengan arah perambatannya. Gerakan partikel dari gelombang *Rayleigh* merupakan kombinasi dari gerakan partikel Gelombang P dan Gelombang S.

### **2. Gelombang *Love***

Gelombang *Love* adalah gelombang yang hanya merambat pada batas lapisan permukaan saja dan hanya bergerak pada bidang horizontal saja (Putri, 2012). Gelombang *Love* adalah Gelombang Permukaan yang gerakan dari partikelnya mirip dengan Gelombang S, yaitu terjadi secara transversal. Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang semakin bertambahnya kedalaman gelombang tersebut merambat, maka amplitudonya akan terus meningkat dan gelombang ini merupakan gelombang permukaan yang terbesar.

Gelombang *Love* memiliki kecepatan perambatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Gelombang *Rayleigh*. Ilustrasi perambatan gelombang permukaan ditunjukkan pada Gambar 3.3.

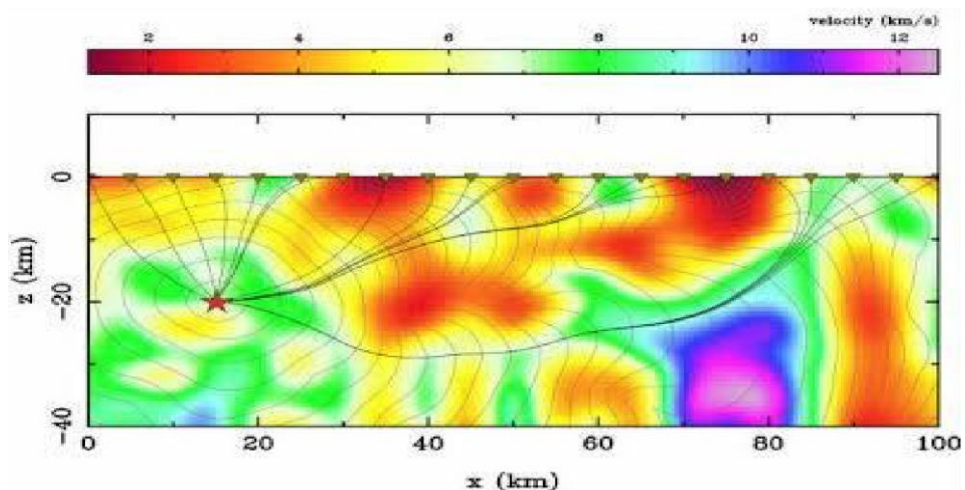


**Gambar 3.3** Ilustrasi Gelombang *Love* dan Gelombang *Rayleigh* (Elnashai, dan Sarno. 2008)

Hal-hal yang menjadi dasar pada pemantulan dan pembiasan gelombang adalah:

**a. Asas Fermat**

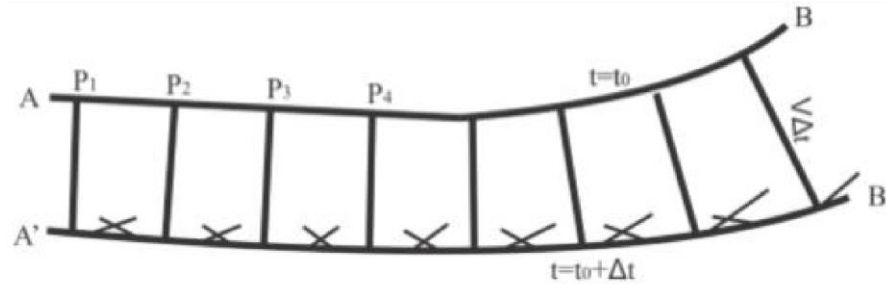
Prinsip Fermat menyatakan bahwa jika sebuah gelombang merambat dari satu titik ke titik yang lain, maka gelombang tersebut akan memilih jejak yang “tercepat”. Kata “tercepat” di sini dimaksudkan bahwa jejak yang akan dilalui oleh sebuah gelombang adalah jejak yang tercepat secara waktu bukan yang terpendek secara jejak. Gelombang akan menjalar dari satu titik ke titik lain melalui jalan yang tersingkat untuk waktu penjarannya seperti yang terlihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Asas Fermat(Susilawati, 2004)

## b. Prinsip Huygens

Prinsip Huygens menyatakan bahwa titik-titik yang dilewati oleh gelombang akan menjadi sumber gelombang yang baru. Muka gelombang yang menjalar menjauhi sumber adalah superposisi muka gelombang – muka gelombang yang dihasilkan oleh sumber gelombang baru tersebut seperti pada Gambar 3.5 berikut ini.



**Gambar 3.5** Prinsip Huygens (Hamimu, 2017)

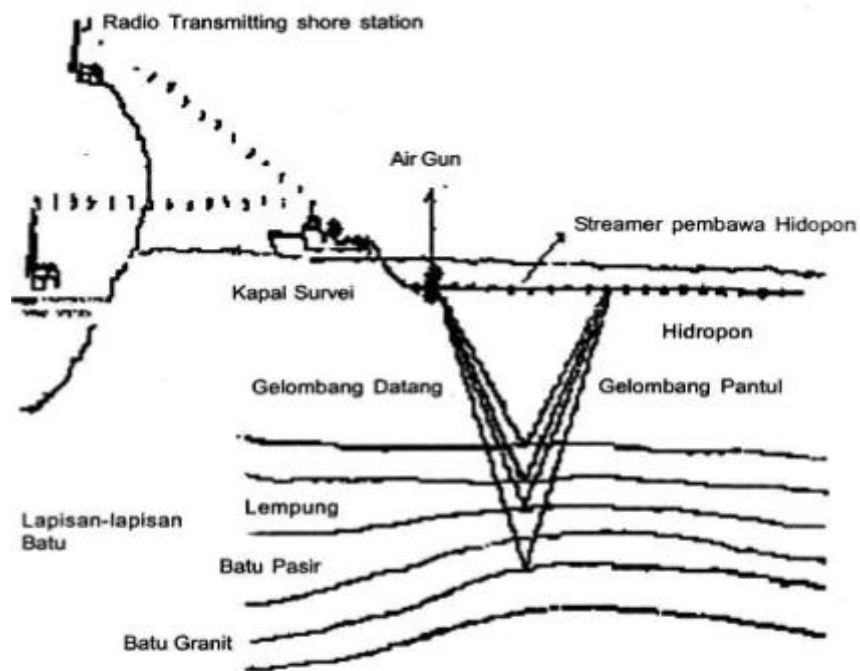
Faktor – faktor yang mempengaruhi cepat rambat gelombang seismik dalam batuan (Sheriff dan Geldart, 1995) antara lain:

1. Litologi
2. Densitas
3. Porositas
4. Kedalaman Batuan dan Tekanan
5. Umur, Frekuensi dan Temperatur

## 3.2 Metode Seismik

Metode seismik adalah salah satu metode geofisika yang memanfaatkan gelombang elastik untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan tanah. Metode seismik memanfaatkan gelombang untuk menggambarkan litologi bawah permukaan dalam bentuk waktu rambat gelombang, frekuensi gelombang, amplitudo gelombang dan variasi fasa. Didukung oleh perkembangan teknologi komputerisasi, pengolahan data dan interpretasi seismik secara umum sekarang dapat dianalisis untuk deliniasi sifat fisika batuan dan determinan litologi, porositas, fluida pori dan sebagainya (Kristianto, 2018).

Prinsip dasar metode seismik adalah diberikannya sumber gelombang pada permukaan bumi yang selanjutnya gelombang merambat ke bawah permukaan bumi, ketika melewati bidang batas lapisan akan ada gelombang yang dipantulkan, diserap dan dibiaskan, gelombang yang dipantulkan akan merambat ke permukaan bumi dan ditangkap oleh sensor (*geophone* atau *hydrophone*) kemudian dicatat atau direkam dengan alat sejenis seismogram. Dengan mengetahui parameter-parameter seperti waktu tempuh dan jarak antar *geophone* atau *hydrophone* dan sumber gelombang akan diketahui kecepatan gelombang yang dapat menggambarkan sifat batuan dalam bentuk profil seismik.



**Gambar 3.6** Ilustrasi akuisisi data seismik laut (Hasanudin, 2005).

### 3.3 Eksplorasi Seismik

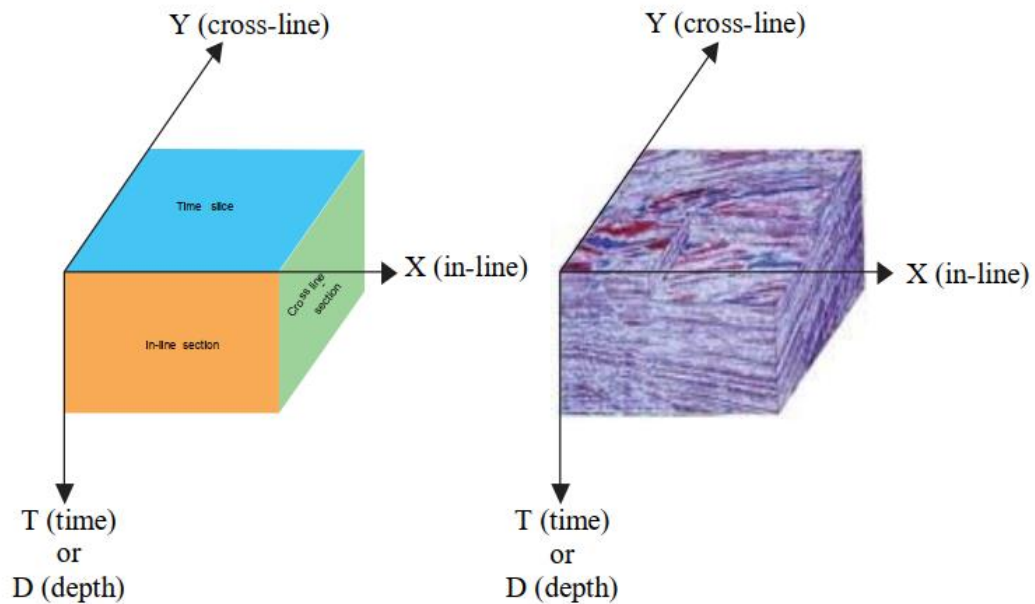
Eksplorasi seismik adalah istilah yang dipakai di dalam bidang Geofisika untuk menerangkan aktivitas pencarian sumber daya alam dan mineral yang ada di bawah permukaan bumi dengan bantuan gelombang seismik. Gelombang seismik yang digunakan dalam eksplorasi minyak dan gas bumi (hidrokarbon) adalah gelombang seismik refleksi. Hasil rekaman yang diperoleh dari survei seismik disebut dengan profil seismik (Hasanudin, 2005).



Eksplorasi seismik dikelompokkan menjadi dua, yaitu eksplorasi prospek dangkal yang biasa diaplikasikan untuk eksplorasi batubara, bahan tambang dan geohazard dan eksplorasi prospek dalam digunakan untuk prospek minyak dan gas bumi (hidrokarbon). Kedua kelompok ini tentu memiliki teknik akuisisi data yang berbeda berdasarkan geologi daerah survei dan parameter lapangan yang sesuai dengan target eksplorasi yang ingin dicapai.

Secara umum dalam suatu langkah eksplorasi hidrokarbon, urutan penggunaan metode seismik adalah pengambilan data seismik ( *Seismic Data Acquisition* ), pengolahan data seismik ( *Seismic Data Processing* ), interpretasi data Seismik ( *Seismic Data Interpretation* ). Tujuan utama akuisisi data seismik adalah untuk memperoleh pengukuran *travel time* dari sumber energi ke penerima (Hasanudin, 2005). Medan pengukuran seismik mencakup darat, laut dan daerah transisi. Selain itu pengukuran seismik dapat dilakukan secara 2 dimensi maupun 3 dimensi. Pengolahan data seismik, pada dasarnya dimaksudkan untuk mengubah data seismik lapangan yang terekam menjadi suatu penampang seismik yang kemudian dapat dilakukan interpretasi darinya. (Rachelyanna, 2015). Sedangkan Interpretasi data seismik bertujuan untuk menggali dan mengolah informasi-informasi geologi bawah permukaan dari profil seismik. Profil seismik 3D dapat menampilkan kubus seismik yang terdiri dari sumbu x atau *inline*, sumbu y atau *crossline* dan sumbu z atau *time* atau *depth slice* (Gambar 3.7). Pada umumnya, profil seismik akan menampilkan nilai amplitudo dengan domain waktu atau domain kedalaman.

Selain profil seismik, data sumur dan data *core* juga sangat membantu dalam interpretasi data seismik. Data sumur dan data *core* digunakan untuk mengkonfirmasi atau pembandingan pada data seismik sehingga interpretasi bisa lebih akurat. Interpretasi data seismik juga membutuhkan data geologi seperti data stratigrafi daerah survei untuk akurasi interpretasi dalam mengetahui formasi dan lingkungan pengendapan lapisan batuan.



**Gambar 3.7** Profil 3D pada data seismik (Chaouch dan Mari, 2006)

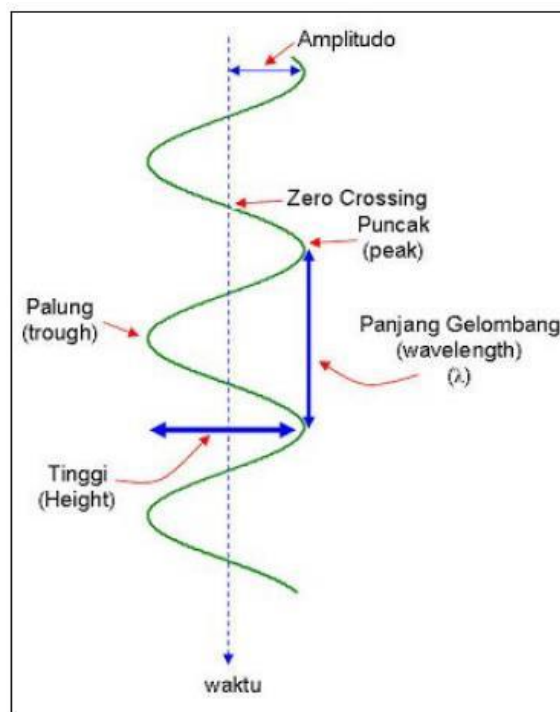
### 3.4 Seismik Refleksi

Gelombang adalah getaran yang merambat pada suatu medium. Pada metode seismik medium perambatan gelombang adalah bumi. Sehingga, gelombang seismik juga disebut gelombang elastik yang merambat di dalam bumi. Gelombang elastik adalah gelombang yang merambat melalui medium elastik. Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastik dikarenakan bumi bersifat elastik, dimana penjalaran gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan pada bidang batas antara lapisan. Fenomena penjalaran gelombang pada medium berlapis dapat dipahami melalui sifat-sifat pemantulan dan pembiasan gelombang karena sifat-sifat fisika batuan dapat direplikasi dari sifat-sifat refleksi bidang batas. Sifat fisika batuan ini yang menjadi parameter pada gelombang seismik, parameter tersebut dapat dimanfaatkan untuk pengukuran menggunakan metode seismik.

Tujuan utama dari pengukuran seismik adalah untuk memperoleh rekaman yang berkualitas baik. Kualitas rekaman seismik dapat dinilai dari perbandingan sinyal refleksi terhadap sinyal noise (S/N) yaitu perbandingan antara banyaknya sinyal refleksi yang direkam dibandingkan dengan sinyal noisennya dan keakuratan pengukuran waktu tempuh (*travel time*) (Hasanudin, 2005)

### 3.4.1 Komponen Seismik Refleksi

Komponen seismik refleksi menunjukkan komponen sebuah gelombang (*trace seismic*) (Gambar 3.8) : amplitudo, puncak, palung, *zero crossing* dan panjang gelombang. Kemudian dari komponen dasar tersebut dapat diturunkan beberapa komponen lain seperti : impedansi akustik, koefisien refleksi, polaritas, fasa, resolusi vertikal, *wavelet* dan seismogram sintetik.



**Gambar 3. 8** Komponen dasar seismik trace (Abdullah, 2007)

### 3.4.2 Impedansi Akustik (IA) dan Koefisien Refleksi

Bumi sebagai media rambat gelombang seismik tersusun dari perlapisan batuan yang memiliki sifat fisis yang berbeda-beda, terutama sifat fisis batuan ( $\rho$ ) dan cepat rambat gelombang ( $v$ ). Sifat fisis tersebut adalah sifat fisis yang mempengaruhi reflektivitas seismik. Berdasarkan konsep tersebut sehingga dapat dilakukan perkiraan bentuk lapisan/struktur bawah permukaan. Penerapan konsep tersebut kemudian disebut sebagai Impedansi Akustik, dimana sebagai karakteristik akustik suatu batuan dan merupakan perkalian antara densitas dan cepat rambat gelombang.

$$IA = \rho \cdot v \quad (3.1)$$

Dengan,

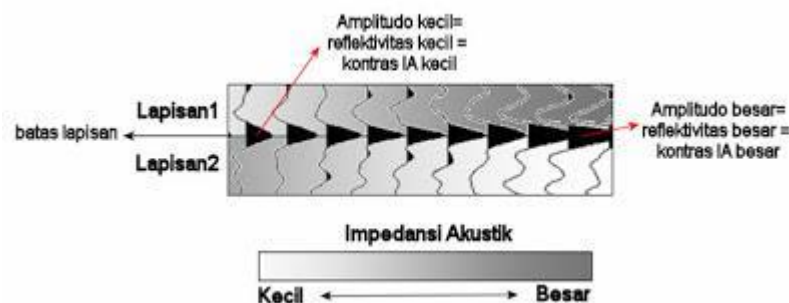
$IA$  : Impedansi Akustik ( $kg/m^2s$ )

$\rho$  : Densitas ( $kg/m^3$ )

$v_p$  : Kecepatan gelombang kompresional (m/s)

Dalam mengontrol nilai IA, kecepatan mempunyai arti yang lebih tinggi daripada densitas (Sukmono, 2002). Sebagai contoh, porositas atau material pengisi pori batuan (air, minyak, gas) lebih mempengaruhi nilai kecepatan daripada densitas. IA dianalogikan dengan *acoustic hardness*. Batuan yang keras (hard rock) dan sukar dimampatkan, seperti batu gamping mempunyai IA yang tinggi, sedangkan batuan yang lunak seperti lempung yang lebih mudah dimampatkan mempunyai IA rendah. Bidang batas antar lapisan umumnya berkaitan dengan bidang sedimentasi, ketidakselarasan dan lain-lain. Dalam penjararannya, gelombang seismik sering ditulis dalam bentuk *raypath*, dan berlaku hukum Snellius.

Harga kontras IA dapat diperkirakan dari harga amplitudo refleksi, dimana semakin besar amplitudo refleksi, maka semakin besar kontras IA-nya (Gambar 3.9). Impedansi akustik seismik memberikan resolusi lateral yang bagus (12,5 - 25 m), tetapi dengan resolusi vertikal yang buruk (5 - 10 m) sedangkan IA sumur memberikan resolusi vertikal yang sangat baik (s/d 0,15 m), tetapi resolusi lateralnya buruk (Safitri, 2019).



**Gambar 3.9** Hubungan antara amplitudo, reflektivitas, dan kontras IA (safitri, 2019)

Refleksi seismik terjadi apabila ada perubahan atau kontras AI. Koefisien refleksi merupakan cermin dari bidang batas medium yang memiliki nilai impedansi akustik yang berbeda. Untuk koefisien refleksi pada sudut datang nol derajat merupakan perbandingan antara energi yang dipantulkan dengan energi datang, yang dirumuskan:

$$KR = \frac{IA_2 - IA_1}{IA_2 + IA_1} \quad (3.2)$$

Dengan,

$IA_1$  : Impedansi Akustik Lapisan ke-1

$IA_2$  : Impedansi Akustik Lapisan ke-2

$KR$  : Koefisien Refleksi

### 3.4.3 Polaritas dan Fasa

Polaritas merupakan suatu konversi penampang dan rekaman dari data seismik. Polaritas normal didefinisikan oleh SEG (*Society Exploration of Geophysic*) sebagai berikut:

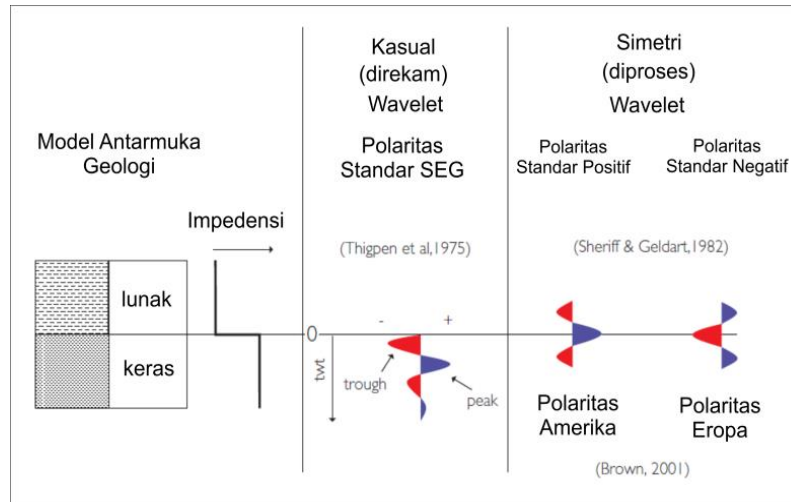
1. Sinyal seismik yang positif akan terekam negatif pada *tape*, defleksi negatif pada monitor dan trough pada penampang seismik.
2. Sinyal seismik positif akan menghasilkan tekanan akustik positif pada *hydrophone* di air atau pergerakan awal ke atas pada *geophone* di darat.

Oleh karenanya dengan menggunakan konvensi ini, maka pada penampang seismik menggunakan konvensi normal SEG akan didapatkan:

1. Pada bidang batas refleksi dimana  $IA_2 < IA_1$  akan berupa trough
2. Pada bidang batas refleksi dimana  $IA_2 > IA_1$  akan berupa peak.

Peranan polaritas sangat penting dalam interpretasi data seismik, sehingga sangat penting untuk memahami polaritas pada masa awal interpretasi (Gambar 3.11). Polaritas dapat ditentukan dari:

1. Keterangan penampang seismik.
2. Menghitung jenis polaritas untuk batas impedansi akustik yang pasti.
3. Membandingkan data seismik dengan data sumur pada saat pengikatan data sumur dengan data seismik.



**Gambar 3. 10** Konvensi polaritas seismik (Brown, 2001)

Gelombang seismik yang ditampilkan dalam rekaman seismik dapat dikelompok menjadi dua jenis fase yaitu fasa minimum dan fase nol. Pada fase nol, batas IA akan terdapat pada peak bagian tengah. Sedangkan pada fasa minimum energi yang terhubung dengan batas IA terkonsentrasi pada *onset* di bagian muka gelombang tersebut. Kelebihan fase nol dibandingkan dengan fase minimum yaitu:

1. Amplitudo maksimum sinyal fase nol akan selalu berimpit dengan *spike* refleksi, sedangkan pada kasus fase minimum amplitudo maksimum tersebut terjadi setelah *spike* refleksi terkait.
2. Untuk spektrum amplitudo yang sama, sinyal fase nol akan selalu lebih pendek dan beramplitudo lebih besar dibanding amplitudo minimum, sehingga *ratio signal to noise* nya juga kan lebih besar.

### 3.4.4 Resolusi Data Seismik

Resolusi adalah jarak minimum antara 2 objek yang dapat dipisahkan oleh gelombang seismik (Sukmono, 1999). Dengan kata lain kemampuan data seismik untuk memisahkan 2 reflektor. Rentang frekuensi dari seismik hanya antara 10-70 Hz yang secara langsung mempengaruhi keterbatasan resolusi seismik. Frekuensi gelombang seismik akan semakin berkurang terhadap kedalaman. Di Dalam dunia seismik, resolusi terbagi menjadi dua yaitu resolusi vertikal dan resolusi lateral.

## 1. Resolusi vertikal

Resolusi vertikal didefinisikan dengan  $\frac{1}{4}$  panjang gelombang seismik ( $\lambda$ ) sama dengan  $v/f$  dengan  $v$  adalah kecepatan gelombang seismik dan  $f$  adalah frekuensi, sehingga dapat dilihat bahwa hanya batuan yang mempunyai ketebalan diatas  $\frac{1}{4}\lambda$  yang dapat dibedakan oleh gelombang seismik (Ostrander,1984). Ketebalan ini disebut ketebalan tuning (*tuning thickness*). Persamaan Panjang gelombang resolusi vertikal dituliskan sebagai berikut berikut:

$$\frac{1}{4}\lambda = v/f \quad (3.3)$$

dengan,

- $\lambda$  : Panjang gelombang (m)
- $v$  : Kecepatan rata-rata (m/s)
- $f$  : Frekuensi dominan seismik (Hz)

Kecepatan akan bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman, sedangkan frekuensi akan semakin rendah akibat efek atenuasi. Dengan demikian ketebalan tuning akan bertambah besar. Analisa ketebalan tuning diperlukan untuk untuk menghitung ketebalan lapisan minimum agar dapat dibedakan oleh seismik terhadap lapisan lainnya. Jika lapisan memiliki ketebalan dibawah ketebalan lapisan tuning maka akan terjadi penumpukan amplitudo gelombang sehingga hanya tampak satu *interface* saja. Semakin kecil panjang gelombang maka semakin kecil perlapisan yang dapat dideteksi.

## 2. Resolusi Horizontal

Resolusi horizontal yaitu kemampuan seismik untuk membedakan dua titik yang berdekatan secara lateral, yaitu bagian dari reflektor dimana dipantulkan ke *geophone* atau *hydrophone* setelah separuh siklus atau seperempat panjang gelombang setelah terjadi refleksi pertama dengan radius zona Fresnel yang dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Abdullah, 2007):

$$r_f = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{t}{f}} \quad (3.4)$$

dengan,

- $r_f$  : Radius zona Fresnel (m)
- $v$  : Rata-rata kecepatan (m/s)
- $f$  : Frekuensi dominan seismik (Hz)
- $t$  : TWT (s).

### 3.4.5 Wavelet

Wavelet adalah gelombang harmonik yang menjadi sumber dalam seismik refleksi yang memiliki interval frekuensi, amplitudo, dan fasa tertentu (Sismanto, 2006). Terdapat empat macam fase dalam wavelet yaitu (Prihadi, 2004):

1. *Mixed Phase Wavelet*

*Wavelet* berfase campuran merupakan *wavelet* yang energinya tidak terkonsentrasi di bagian depan maupun bagian belakang.

2. *Minimum Phase Wavelet*

*Wavelet* berfase minimum memiliki energi yang terpusat pada bagian depan. *Wavelet* berfase minimum mempunyai pergeseran atau perubahan fase terkecil dibanding *wavelet* lain yang memiliki spektrum amplitudo yang sama. Dalam terminasi waktu, *wavelet* berfase minimum memiliki waktu tunda terkecil dari energinya.

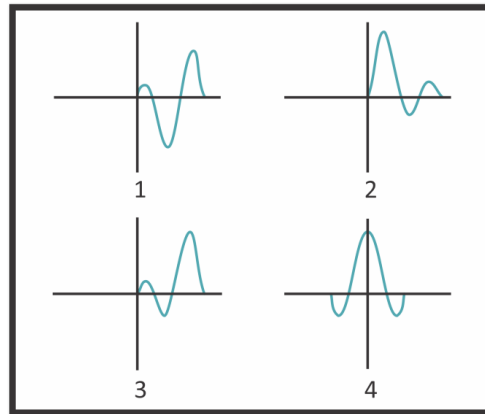
3. *Maximum Phase Wavelet*

*Wavelet* berfase maksimum memiliki energi yang terpusat di secara maksimal di bagian akhir *wavelet* tersebut, yang merupakan kebalikan dari *wavelet* berfase minimum.

4. *Zero Phase Wavelet*

Wavelet yang berfase nol mempunyai konsentrasi energi maksimum di tengah dan waktu tunda nol, sehingga memiliki resolusi dan *standout* yang maksimum. *Wavelet* berfase nol juga disebut dengan *wavelet* simetris merupakan jenis *wavelet* yang lebih baik dari semua jenis *wavelet* lain yang mempunyai spektrum amplitudo yang sama.

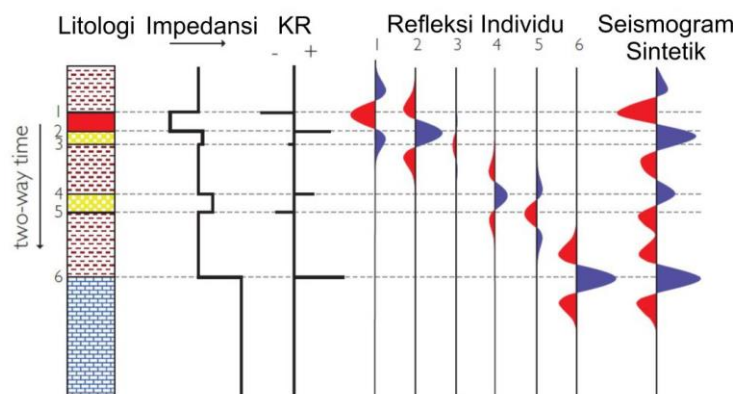




**Gambar 3.11** Jenis- jenis wavelet berdasarkan konsentrasi energinya, (1) mixed wavelet, (2) minimum phase wavelet, (3) maximum phase wavelet, dan (4) zero phase wavelet (Sukmono, 1999).

### 3.4.6 Seismogram Sintetik

Seismogram sintetik adalah amplitudo seismik buatan yang diproduksi dari nilai koefisien refleksi dan wavelet. Nilai koefisien refleksi merupakan nilai densitas ( $\rho$ ) dikalikan dengan nilai kecepatan ( $v$ ) yang di dapat dari data sumur. Sementara wavelet merupakan ekstraksi dari data seismik. Koefisien refleksi dan wavelet di konvolusi sehingga menghasilkan seismogram sintetik (Gambar 3.13). Seismogram sintetik berguna untuk mendiagnosa (*forward modeling*) karakter refleksi dari setiap horizon. Salah satu kelemahan dari seismogram sintetik yaitu umumnya seismogram sintetik menggunakan frekuensi yang sama untuk seluruh profil seismik, sementara frekuensi yang dipakai umumnya diambil dari zona target. Sehingga dapat mengakibatkan terjadinya *mistie* pada daerah di luar zona target.



**Gambar 3. 12** Seismogram sintetik menggunakan *wavelet zero phase* dengan polaritas positif. (Sukmono, 1999)

### 3.5 Picking Horizon dan Picking Fault

*Picking horizon* dan *picking fault* merupakan salah satu tahap interpretasi data seismik. Interpretasi dilakukan dengan mempertimbangkan konsep geologi seperti struktur geologi, kemenerusan lapisan. Sedangkan interpretasi seismik sendiri melihat kemenerusan amplitudo gelombang, *low and high amplitude*, polaritas seismik dan lain-lain. *Picking horizon* dilakukan dengan melihat kemenerusan amplitudo sedangkan *picking fault* dilakukan dengan menandai keberadaan sesar (Sukmono, 1999).

Pengetahuan mengenai bentuk gelombang seismik akan sangat membantu untuk *picking* yang akurat terhadap batas sekuen atau *horizon* target. Sebuah batas dengan koefisien refleksi yang positif paling baik *di pick* pada *onset* gelombang kompresi (*peak trough* untuk polaritas normal) pada penampang fase minimum, sedangkan untuk fase nol, *picking* dilakukan di tengah palung. Meskipun lokasi *picking* sudah diketahui, sering terdapat kendala saat ditemukan karakter refleksi. Dalam hal ini pengetahuan dan kondisi geologi akan sangat membantu, seperti:

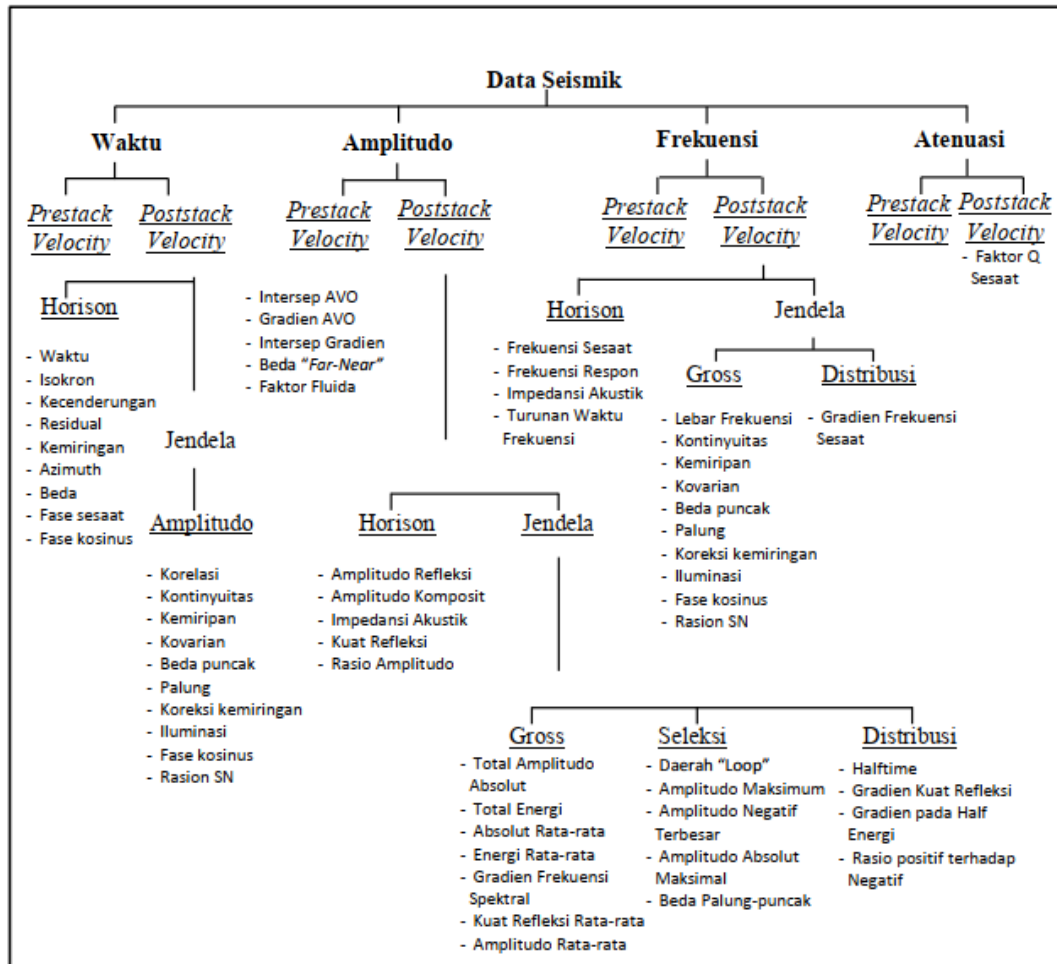
- Pada sebuah permukaan yang *di onlap* atau *di downlap*, *picking horizon* sebaiknya dijaga kondisi bawah dari arah *onlap* dan *downlap* tersebut.
- Pada permukaan yang tererosi atau *ter-toplap*, *picking* sebaiknya dijaga di sisi atas dari arah kemiringan pemotongan erosi tersebut.

### 3.6 Seismik Atribut

Seismik atribut atau atribut seismik adalah deskripsi matematis dari bentuk atau karakteristik lain dari jejak gelombang seismik pada interval waktu tertentu yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan suatu anomali pada data seismik 3D atau 2D baik secara geologi maupun geofisika. Menurut (Chien dan Sidney, 1997) atribut seismik dapat didefinisikan sebagai semua informasi berupa besaran spesifik yang diperoleh dari data seismik baik melalui pengukuran langsung maupun logis atau berdasarkan pengalaman. Seismik atribut menyediakan tambahan informasi parameter petrofisika atau geologi yang penting bagi para *interpreter* untuk meningkatkan kesensitifan data seismik. Seismik atribut dapat membantu dalam meningkatkan atau melakukan

kuantifikasi fitur-fitur menarik hasil interpretasi seismik secara visual (Chopra, 2007). Dengan kata lain seismik atribut adalah turunan atau kuantitas hasil ekstraksi data seismik yang dapat dianalisis untuk memperkaya informasi dari data seismik konvensional.

Semua atribut horizon dan formasi tidak dapat dipisahkan satu sama lain. Terdapat perbedaan hanya dalam hal detail analisisnya pada informasi dasar gelombang seismik terkait dengan display hasilnya. Informasi dasar yang dimaksud adalah waktu, amplitudo, frekuensi dan atenuasi. Setiap atribut seismik memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing, pada beberapa sifat reservoir tertentu, beberapa atribut lebih sensitif dibanding dengan atribut lainnya, sedangkan atribut yang lain mungkin juga dapat menampilkan informasi bawah permukaan yang awalnya tersembunyi menjadi lebih baik bahkan mampu mendeteksi *Direct Hydrocarbon Indicator* (DHI). Pengelompokan atribut dari data seismik didasarkan pada arti fisis, proses pengolahan dan jenis data. Klasifikasi atribut seismik ditunjukkan pada gambar dibawah.



**Gambar 3. 13** Klasifikasi Atribut Seismik (Brown, 2000)

Klasifikasi atribut seismik sebagai atribut turunan waktu, frekuensi, amplitudo, dan atenuasi sesuai Gambar 3.14. Atribut turunan amplitudo cenderung memberikan informasi stratigrafi dan reservoir. Atribut turunan waktu memberikan informasi perihal struktur. Sedangkan peranan atribut turunan frekuensi dan atenuasi belum benar-benar dipahami sepenuhnya, namun diyakini akan menyediakan sumber informasi tambahan yang berguna perihal reservoir, stratigrafi dan permeabilitas dimasa yang akan datang.

Pada penelitian ini, digunakan atribut 4 jenis yaitu atribut turunan amplitudo yaitu atribut RMS (*Root Mean Square*), atribut *envelope*, *Instantaneous Frequency*, dan atribut *Variance*. Keempat jenis atribut ini diharapkan dapat merepresentasikan target berupa identifikasi keberadaan *mud diapir* pada daerah penelitian.

### 3.6.1 Atribut RMS (Root Mean Square)

Root Mean Square atau atribut RMS merupakan atribut amplitudo yang mengakarkan jumlah energi dalam domain waktu (amplitudo dikuadratkan). Atribut ini sangat sensitif terhadap nilai amplitudo yang ekstrim oleh karenanya persamaan (3.5) nilai amplitudo diakarkan sebelum diratakan. RMS sangat berguna dalam identifikasi perubahan litologi yang ekstrim seperti pada kasus pasir, gas dan chanel deltaic. RMS Amplitudo dapat ditentukan dengan persamaan:

$$RMS \text{ Amplitudo} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2} \quad (3.5)$$

dimana,

$N$ : Jumlah sampel amplitudo pada jendela analisis

$a$ : besar amplitudo

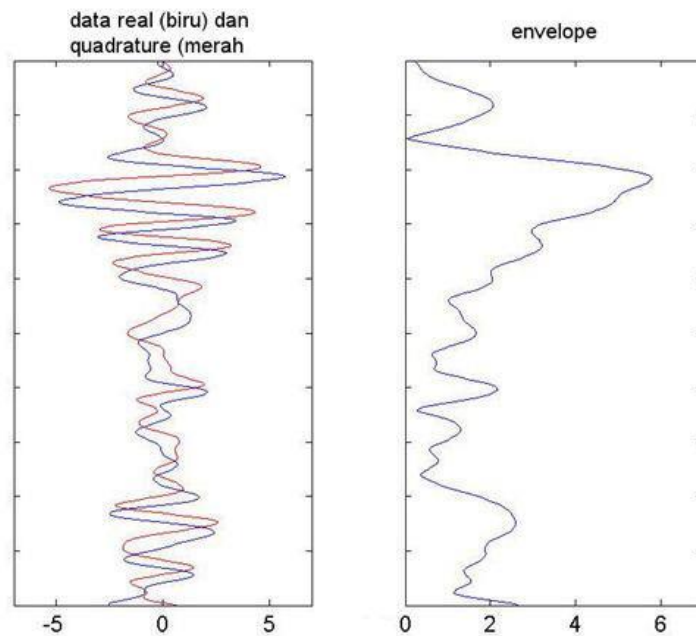
Atribut ini banyak digunakan untuk mengidentifikasi anomali amplitudo akibat adanya hidrokarbon seperti *bright spot*, *dim spot* maupun *flat spot*. Arti penting dari atribut RMS ini ialah menghilangkan pengaruh distorsi dari polarisasi refleksi dan fase *wavelet* dari amplitudo seismik. Hal ini mengakibatkan *brightspot* lebih mudah terlihat dan memungkinkan perbandingan relatif antara anomali amplitudo.

### 3.6.2 Atribut Envelope

Atribut *envelope* juga disebut sebagai kuat refleksi (*reflection strength*) atau disebut juga dengan instantaneous amplitude yang merefleksikan energi total suatu sinyal yang terjadi pada waktu sesaat. Atribut *envelope* sangat berhubungan erat dengan nilai amplitudo. Prinsipnya, atribut ini dapat diimajinasikan sebagai sebuah amplop (*envelope*) yang menyelubungi nilai besar dan kecilnya amplitudo seismik. Bila amplitudo tinggi maka nilai energi juga akan demikian dan sebaliknya. Atribut ini berguna dalam identifikasi DHI, menganalisis variasi lateral fluida, litologi dan stratigrafi dalam reservoir. Atribut *Envelope* penting untuk mendeteksi titik-titik terang yang sering disebabkan oleh akumulasi gas dangkal. Ini juga

dapat mendeteksi perubahan litologis besar yang terkait dengan pantulan dan batas yang kuat. Atribut *Envelope* dihitung dengan mengambil akar kuadrat dari jumlah kuadrat dari amplitudo nyata dan imajiner (Chopra & Marfurt, 2005). Gambar 3.15 menunjukkan perbandingan gambar gelombang antara data real seismik dengan data seismik yang telah diberikan Atribut Envelope.

Besar kecilnya amplitudo gelombang pada penampang atribut *envelope*, dapat disebabkan oleh adanya perubahan kontras impedansi dari satu lapisan dengan lapisan yang berada diatas atau dibawahnya, indikasi awal lapisan yang mengandung hidrokarbon, estimasi keberadaan ketidakselarasan, dan estimasi struktur sesar. Kelemahan dari atribut *envelope*, karena merata-ratakan semua amplitudo sehingga amplitudo kecil akan hilang dan berkurangnya resolusi vertikal.



**Gambar 3. 14** Ilustrasi Atribut Envelope (Sukmono, 2009)

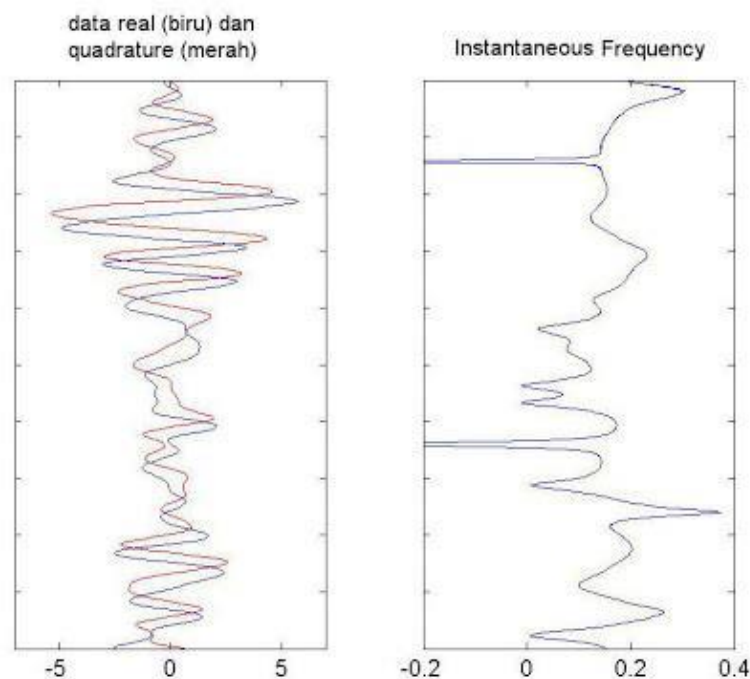
### 3.6.3 Atribut *Variance*

Atribut *variance* mewakili variabilitas jejak-ke-jejak yang dihitung dalam tiga dimensi dalam interval tertentu, kemudian menghasilkan perubahan lateral dalam impedansi akustik yang dapat ditafsirkan. Dengan kata lain, jejak yang mirip satu sama lain dalam tiga dimensi akan menghasilkan koefisien varians rendah, dan jejak yang terputus-putus akan

menghasilkan koefisien varians besar. Oleh karena itu, fitur seperti saluran, gangguan dan perubahan litologi atau geometri yang tiba-tiba akan terlihat jelas di bagian seismik (Hagset, 2016).

### 3.6.4 Instantaneous Frequency

Frekuensi sesaat memberikan informasi tentang perilaku gelombang seismik yang mempengaruhi perubahan frekuensi seperti efek absorpsi, rekahan, dan ketebalan sistem pengendapan. Atenuasi gelombang seismik ketika melewati reservoir gas dapat dideteksi sebagai penurunan frekuensi, fenomena ini lebih dikenal dengan “*low frequency shadow*” (Barnes,1999). Hilangnya frekuensi tinggi menunjukkan daerah *overpressure*. *Instantaneous frequency* digunakan juga untuk melihat zona rekahan yang akan berasosiasi dengan zona frekuensi rendah. Selain itu dapat digunakan sebagai indikator ketebalan lapisan serta untuk melihat geometri perlapisan yang masif seperti *sand-prone lithologies*. Gambar 3.16 menunjukkan perbandingan gambar gelombang antara data real seismik dengan data seismik yang telah diberikan Atribut *Instantaneous Frequency*.



**Gambar 3.15** Perbandingan antara tras seismik dan *Instantaneous Frequency* (Sukmono, 2007)

### 3.7 Mud Diapir

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 atau keduanya (Satyana dan Asnidar, 2008).

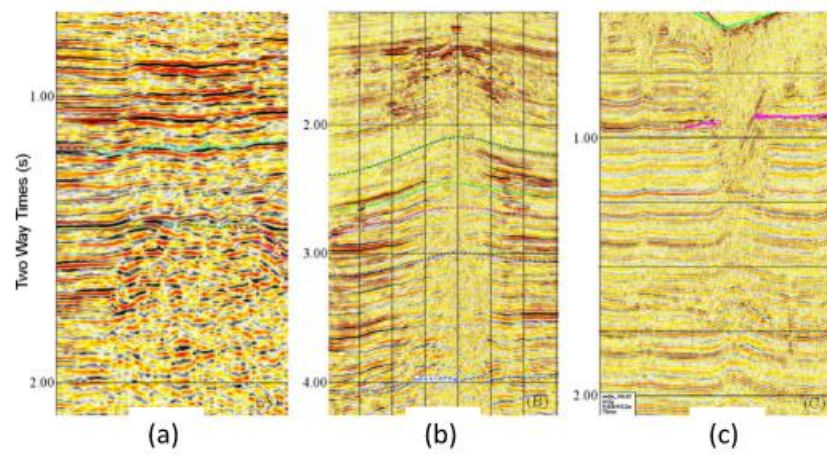
Karakter Mud Diapir dicirikan dengan zona yang terlihat kacau, refleksi seismik yang terganggu, dengan amplitudo refleksi dari rendah hingga tinggi ketika telah diberikan atribut. *Mud diapir* ditemukan dalam berbagai bentuk, ukuran dan berkaitan dengan batuan sekitarnya. *Mud diapir* dikarakterisasi pada *deep sourced* yang bersumber dari lapisan serpih Oligosen-Miosen Awal. Batuan serpih yang kaya organik ini berada di saluran minyak dan gas, sehingga pembentukan hidrokarbon bersamaan dengan inversi tektonik selama Miosen membuat serpih bertekanan berlebih dan mengakibatkan pengangkatan *mud diapir*. Penemuan dan identifikasi terjadinya *mud diapir* menyiratkan potensi besar untuk prediksi perangkap struktural di bagian tengah cekungan (He, dkk, 2008).

Satyana (2008) menyatakan bahwa kemunculan diapir disebabkan oleh tiga prakondisi geologi utama yaitu, proses sedimentasi cepat, posisi yang frontal dengan zona subduksi, dan kehadiran sesar-sesar aktif. Kondisi geologi seperti ini menyebabkan kemunculan *mud diapir/mud volcano*. Adanya *mud diapir* pada daerah penelitian perlu diwaspadai untuk mengantisipasi terjadinya bencana geologi. Tidak hanya mud diapir saja, tetapi munculnya sesar-sesar yang diduga sebagai sesar aktif dan keberadaan akumulasi gas menjadikan daerah penelitian termasuk kategori yang mempunyai risiko bencana geologi.



Oleh karena itu untuk keperluan keteknikan seperti pembangunan di lepas pantai seperti anjungan, rig tempat pemboran di laut, kondisi tersebut perlu diwaspadai (Arifin, 2009).

Jian Xiong He (2016) menjelaskan bahwa 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. 3.17a) 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. 3.17b) 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. 3.17c) 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. Selama evolusi *diapir*, jika sampai ke permukaan akan disebut *mud volcano* (gunung lumpur). *Mud volcano* dapat diamati pada puncak diapir (Dimitrov, 2002).



**Gambar 3. 16** Peta interpretasi geologis dari profil seismik dari tiga jenis karakter mud diapir di Cekungan Yinggehai (a) *mud diapir* tipe 1 (b) *mud diapir* tipe 2 (c) *mud diapir* tipe 3 (He, dkk, 2016)

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini termasuk jenis penelitian deskriptif analitik dengan menggunakan data seismik 3D dan data pendukung berupa informasi geologi.

### 4.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. Geoscience Indonesia Service, Kabupaten Sleman, Yogyakarta pada bulan Maret 2020 sampai Agustus 2020, dilanjutkan di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mataram. Adapun data penelitian yang digunakan merupakan data Lapangan “Z” di Provinsi Jawa Timur.

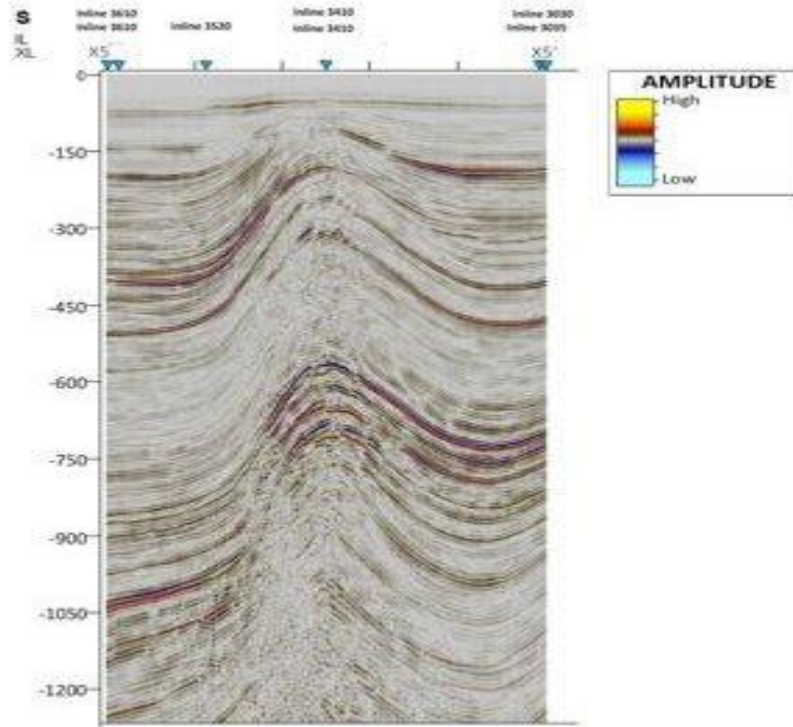
### 4.3 Data Penelitian

Data penelitian meliputi data *time section* 3D dan data pendukung berupa informasi geologi (Gambar 2.7).

### 4.4 Data Seismik

Penelitian ini menggunakan data *time section* seismik 3D laut seluas 5000 m x 12500 m Dengan keterangan sebagai berikut:

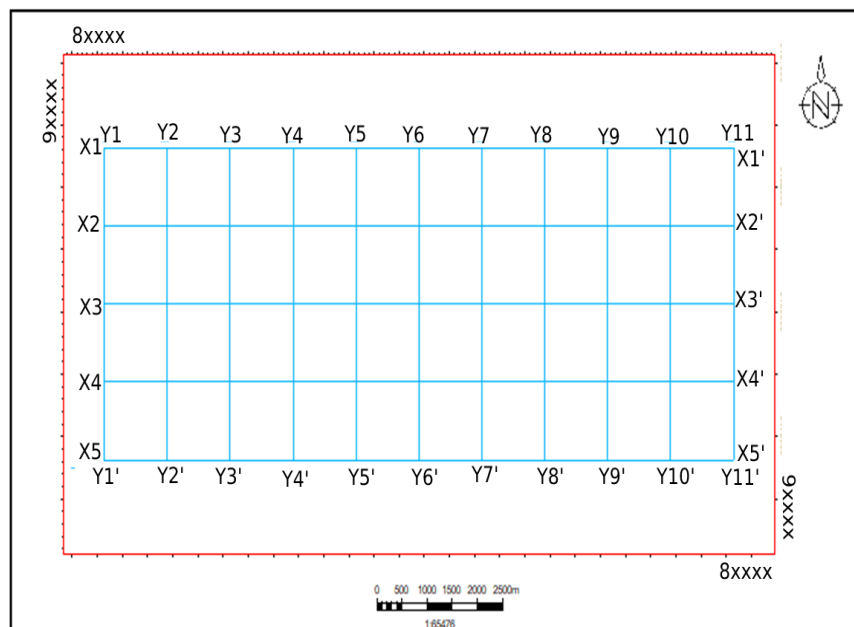
- a. Jumlah *Inline* : 400
- b. Jumlah *Xline* : 1000
- c. *Inline interval* : 12.5 m
- d. *Xline interval* : 12.5 m
- e. *Sample rate* : 4 ms
- f. Panjang Rekaman : 0 – 6000 ms
- g. Luas area : 62,5 km<sup>2</sup>
- h. Polaritas SEG normal



**Gambar 4. 4** Profil seismik pada daerah penelitian.

#### 4.4.1 Peta Dasar

Peta dasar menunjukkan posisi *inline* dan *xline* pada data seismik 3D



**Gambar 4. 5** Peta dasar seismik daerah penelitian.

#### **4.4.2 Informasi Geologi**

Informasi geologi berupa geologi regional dan stratigrafi regional daerah penelitian (Gambar 2.7).

#### **4.5 Peralatan Penelitian**

Proses pengolahan data menggunakan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak yaitu:

##### **4.5.1 Perangkat Keras**

Adapun perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- a. Laptop Asus Expert Book B1400
- b. Satu set komputer
- c. Flashdisk
- d. Hardisk

##### **4.5.2 Perangkat Lunak**

Adapun perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- a. Petrel 2015 dan 2017 digunakan untuk interpretasi data seismik seperti *picking horizon*, *picking fault* dan membuat *subsurface*.
- b. Microsoft Word, digunakan dalam penyusunan dan penulisan skripsi
- c. Adobe Photoshop, digunakan untuk digitasi dan ilustrasi gambar.

#### **4.6 Pengolahan Data**

Pada penelitian ini teknik pengolah data dilakukan untuk mempermudah dalam proses interpretasi data, adapun teknik pengolahan data sebagai berikut:

##### **4.6.1 Picking Patahan**

*Picking* patahan adalah menentukan daerah patahan pada profil seismik. *Picking fault* sangat penting dalam proses interpretasi data karena lokasi patahan akan sangat berperan dalam mengetahui kemenerusan lapisan dan titik-titik intrusi *mud diapir*. Pada penelitian ini *picking fault* dilakukan untuk mengetahui zona-zona lemah yang ditandai diskontinuitas amplitudo suatu lapisan secara lateral dengan memperhatikan data geologi.

##### **4.6.2 Picking Horizon**

*Picking horizon* adalah salah satu proses interpretasi dengan memilih batas-batas lapisan. Dalam interpretasi data refleksi seismik, horizon

adalah reflektor (atau peristiwa seismik) yang dipilih pada profil seismik. Reflektor ini mewakili perubahan sifat batuan melintasi batas antara dua lapisan batuan, terutama kecepatan dan kepadatan seismik. Pada penelitian ini *picking horizon* dilakukan untuk membuat *subsurface* lapisan yang menggambarkan kontur ketinggian (dalam domain waktu) lapisan yang telah dipilih. Selain itu, hasil *picking horizon* ketika dilakukan dengan atribut *surface* akan menggambarkan nilai atribut bersamaan dengan kontur lapisan.

#### **4.6.2 Peta Struktur Waktu**

Peta struktur waktu atau *subsurface* dalam domain waktu adalah peta struktur yang dibuat berdasarkan *picking horizon*. Peta struktur waktu dapat menggambarkan kedalaman horizon yang dipilih dalam domain waktu berdasarkan perbedaan warna pada peta struktur waktu. Pada penelitian ini pembuatan peta struktur waktu dilakukan untuk mengetahui lokasi intrusi *mud diapir* yang dilihat dari anomali *surface atribut*.

#### **4.6.3 Atribut Seismik**

Pada penelitian ini digunakan atribut *envelope*, *RMS amplitude*, *instantaneous frequency* dan *variance*. Ada banyak atribut yang dapat digunakan dalam aplikasi petrel, pemilihan atribut tergantung dengan objek yang ingin diteliti. 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 diapers 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.

#### **4.7 Teknik Interpretasi Data**

Teknik interpretasi data dilakukan berdasarkan data profil seismic yang telah diolah dan data regional daerah penelitian berupa stratigrafi. Adapun teknik interpretasi data sebagai berikut:

#### 4.7.1 Interpretasi Seismik Amplitudo

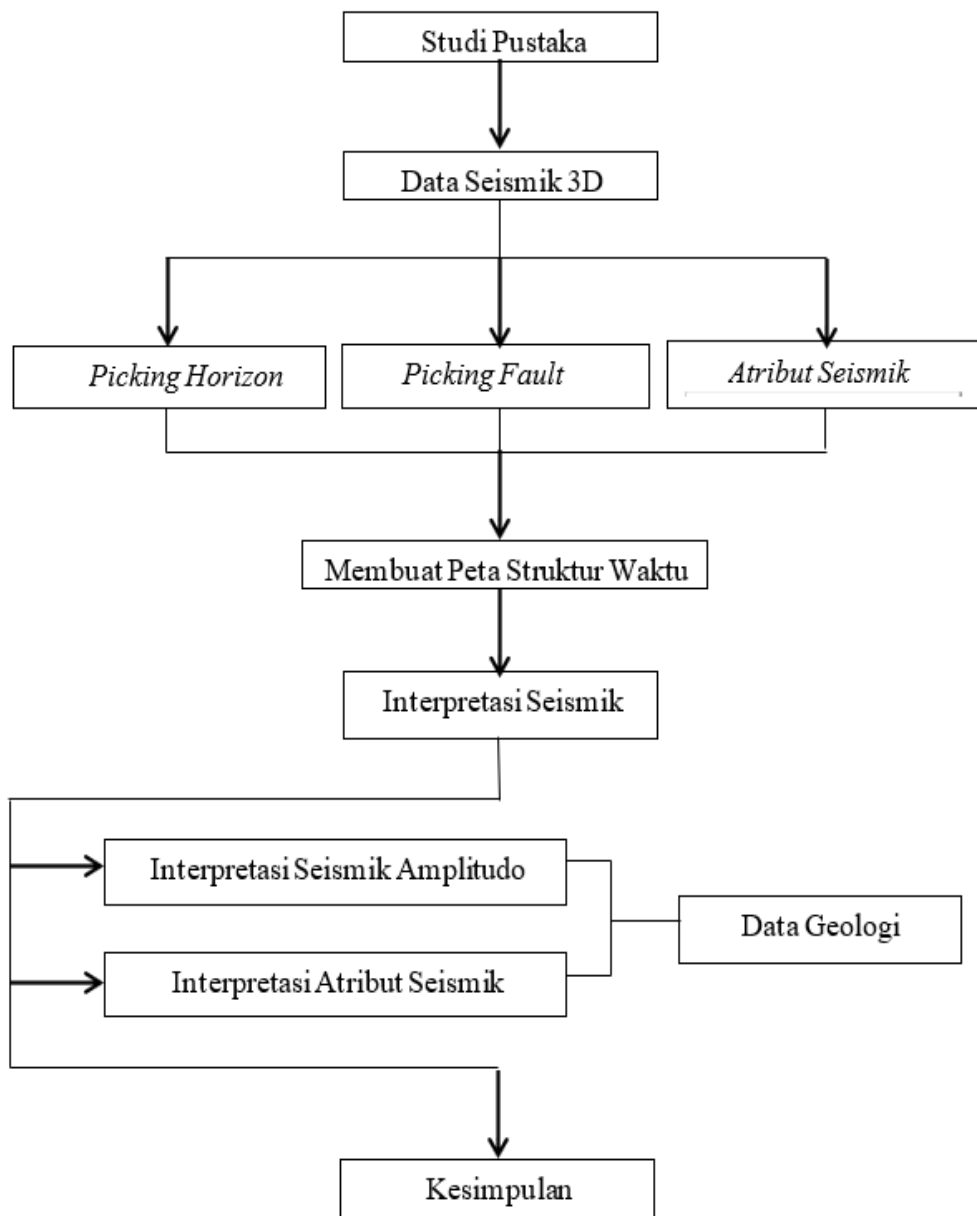
Interpretasi seismik amplitudo dilakukan berdasarkan *peak* dan *trough* pada profil seismik, dimana *peak* menunjukkan amplitudo bernilai positif dan *trough* menunjukkan amplitudo bernilai negatif. *Display* profil seismik menggambarkan amplitudo bernilai positif berwarna merah hingga kuning dan amplitudo bernilai negatif berwarna biru tua hingga biru muda. *Mud diapir* dapat diindikasikan melalui anomali amplitudo, yaitu ketika pada suatu horizon amplitudo yang terlihat kacau dengan reflektifitas yang terganggu amplitudo tiba-tiba meninggi ataupun merendah. *Picking fault* dan *picking horizon* yang telah dilakukan akan mempermudah dalam interpretasi seismik untuk mengetahui zona lemah dan keberadaan *mud diapir*.

#### 4.7.2 Interpretasi Atribut Seismik

Pada penelitian ini, seismik atribut yang digunakan adalah atribut *envelope*, *RMS amplitude*, *instantaneous frequency* dan *variance*. *Envelope* berhubungan langsung dengan kontras impedansi akustik, sehingga bermanfaat untuk melihat kontras impedansi akustik, anomali *brightspot*, akumulasi gas, batas sekuen, ketidakselarasan lapisan, perubahan litologi, perubahan lingkungan pengendapan. Amplitudo RMS merupakan akar dari jumlah energi dalam domain waktu (amplitudo dikuadratkan). Karena nilai amplitudo diakarkan sebelum dirata-ratakan, maka amplitudo RMS sangat sensitif terhadap nilai amplitudo yang ekstrim. Juga berguna untuk melacak perubahan litologi yang ekstrim seperti pada kasus pasir gas dan *chanel deltaic*. Frekuensi sesaat memberikan informasi tentang perilaku gelombang seismik yang mempengaruhi perubahan frekuensi seperti efek absorpsi, rekahan, dan ketebalan sistem pengendapan. Atribut *variance* dapat digunakan untuk memisahkan batasan-batasan dari input dataset. Dengan adanya batasan, menandakan terjadinya diskontinuitas pada kemenerusan amplitudo seismik.

#### 4.8 Tahapan Penelitian

Adapun tahap penelitian sebagai berikut:



**Gambar 4. 6** Tahap Penelitian



## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

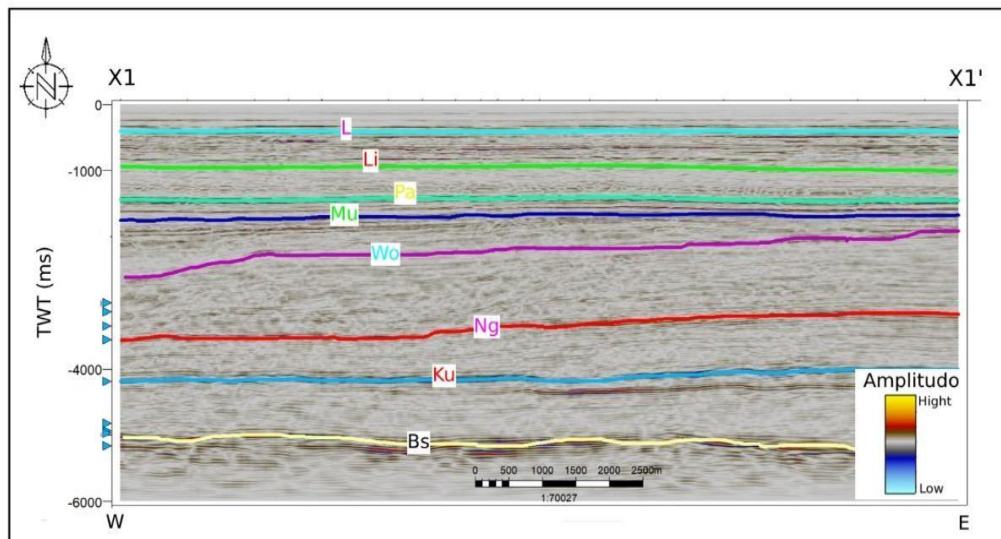
Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah parameter yang mengindikasikan keberadaan *mud diapir* pada lokasi penelitian yang dapat dilihat pada Penampang amplitudo seismik, Peta struktur waktu dan Atribut seismik dengan memperhatikan acuan dari data geologi berupa kolom stratigrafi (Gambar 2.7).

#### **5.1 Interpretasi Amplitudo Seismik**

Data seismik yang digunakan pada penelitian ini adalah data seismik 3D *post stack time migration* dengan luas daerah penelitian yaitu 62,5 km<sup>2</sup>. Data seismik diolah menggunakan aplikasi Petrel sehingga menghasilkan profil seismik yang dapat diinterpretasi. Interpretasi seismik yang dilakukan pada penelitian ini yaitu, interpretasi stratigrafi dan interpretasi struktur. Interpretasi stratigrafi dilakukan untuk mengetahui batas-batas formasi batuan pada daerah penelitian. Sementara untuk interpretasi struktur dilakukan untuk mengidentifikasi patahan, lipatan dan diapir pada daerah penelitian.

##### **5.1.1 Interpretasi Stratigrafi**

Data seismik menunjukkan bahwa daerah penelitian terdiri dari delapan formasi yang mengacu pada kolom stratigrafi (Gambar 2.7) yaitu, Formasi Lidah (L dan Li), Formasi Paciran (Pa), Formasi Mundu (Mu), Formasi Wonocolo (Wo), Formasi Ngrayong (Ng), Formasi Tuban dan Kunjungan (Ku), dan Formasi Ngimbang (Bs). Gambar Formasi batuan pada daerah penelitian dapat dilihat pada gambar profil seismik Gambar 5.1. Perbedaan Formasi batuan ditentukan berdasarkan profil seismik, yaitu perubahan nilai amplitudo yang signifikan dan menerus, selain itu formasi batuan dapat menggambarkan perbedaan karakteristik tiap lapisannya. Zona yang menunjukkan keberadaan Mud Diapir pada penelitian ini bergerak dari Formasi Wonocolo (Wo), Formasi Ngrayong (Ng), Formasi Tuban dan Kunjungan (Ku).



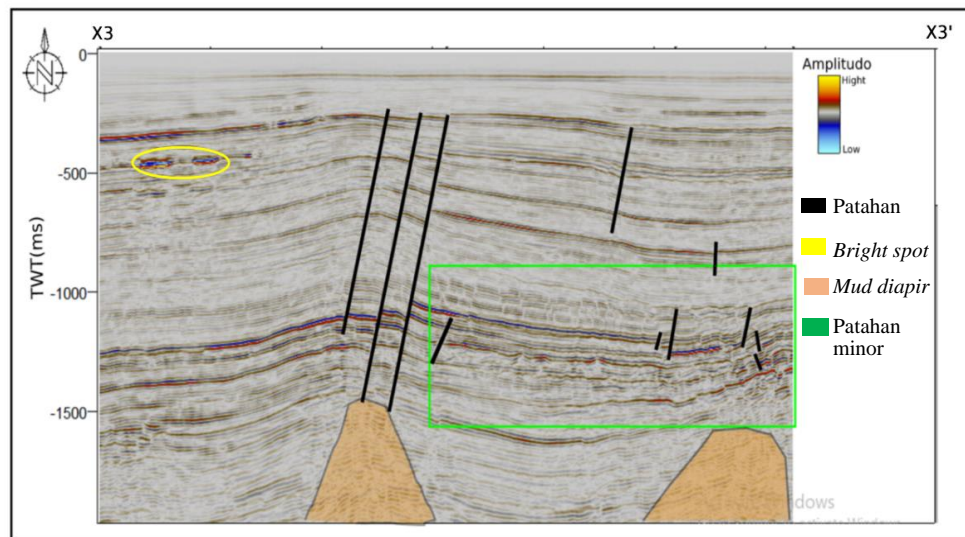
**Gambar 5. 1** Stratigrafi daerah penelitian (detail gambar dapat dilihat pada lampiran 1)

### 5.1.2 Interpretasi Struktur

Interpretasi struktur pada profil seismik dilakukan untuk membantu mengetahui perubahan lapisan terutama yang diakibatkan oleh pergerakan *mud diapir*. Inti *mud diapir* dicirikan dengan zona yang terlihat berantakan, refleksi dari rendah hingga tinggi. Refleksi amplitudo yang tinggi didistribusikan di bagian atas beberapa diapir, yang mungkin terkait dengan akumulasi gas. *Diapir* ditemukan dalam berbagai bentuk, ukuran dan berkaitan dengan batuan sekitarnya. Intrusi *diapir* dapat mengakibatkan patahan dan lipatan yang akan mempengaruhi struktur lapisan bawah permukaan daerah penelitian.

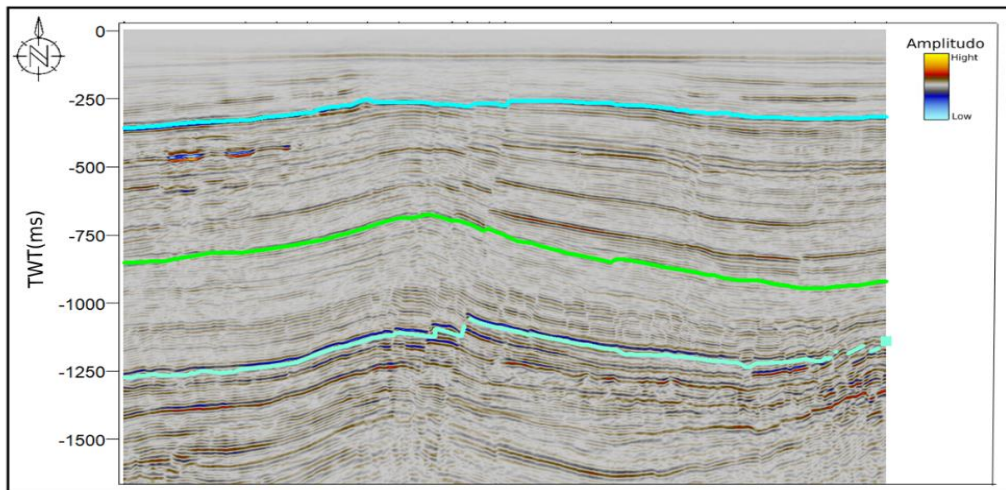
Interpretasi patahan dilakukan dengan cara *picking fault* pada lapisan dengan melihat diskontinuitas (zona patahan) yang mengalami pergeseran. Pergeseran atau patahan yang terjadi mengindikasikan bahwa zona penelitian termasuk zona lemah seperti pada Gambar 5.2 terdapat 3 patahan primer (mayor) yang 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 yaitu lapisan formasi Lidah (L dan Li). 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 5.2 juga diperlihatkan indikasi keberadaan DHI yaitu dengan adanya *bright spot* di arah barat yang dekat dengan permukaan yang mengidentifikasikan 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 5. 2** Sistem patahan pada daerah penelitian (detail gambar dapat dilihat pada lampiran 2)

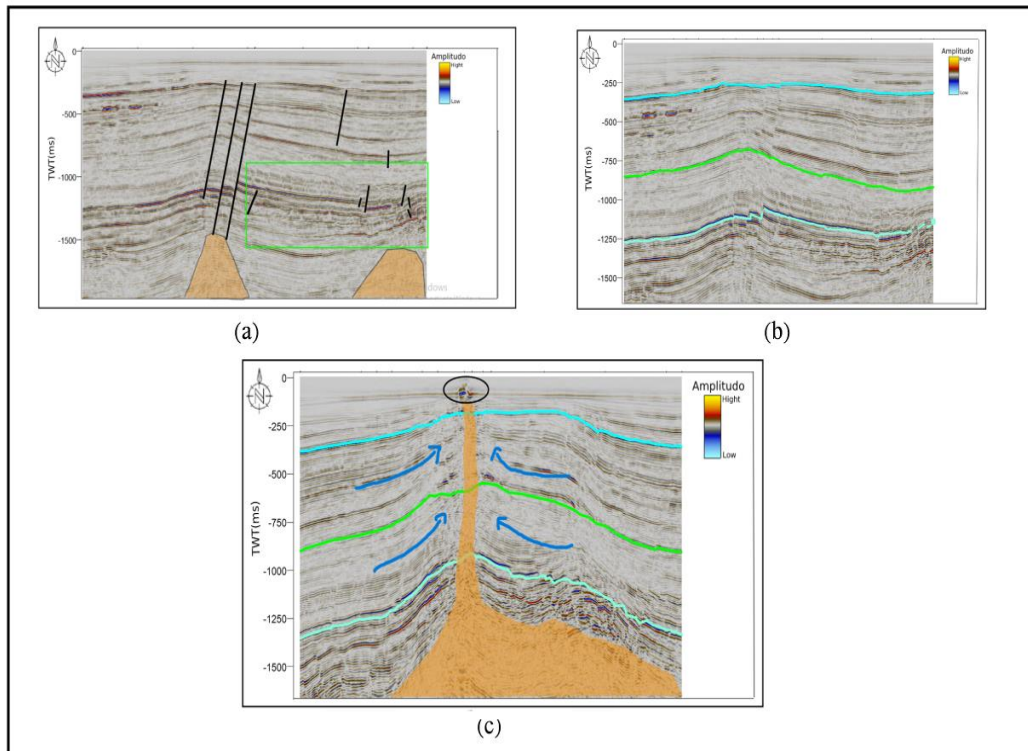
Interpretasi *horizon* dilakukan dengan cara melihat kemenerusan lapisan dengan memperhatikan amplitudo dan polaritas pada data seismik serta geologi daerah penelitian. *Picking Horizon* ini dilakukan secara kontinu ke arah lateral pada *peak* (maksimum amplitudo) sehingga bisa dibuat *horizon map* berupa peta struktur waktu (*Time Structure Map*). Pada gambar 5.3 dapat dilihat 3 *horizon* yang telah dibuat terlihat mengalami kenaikan yang diduga diakibatkan oleh keberadaan dari *mud diapir* ditambah dengan lokasi penelitian yang terdapat pada zona yang bersifat antiklin.



**Gambar 5. 3** Picking Horizon pada Formasi Lidah, Formasi Mundu dan Formasi Wonocolo

### 5.1.3 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 dekat di atas intrusi *mud diapir* (daerah arsir) seperti pada Gambar 5.4.



**Gambar 5.4** (a) Patahan mayor dan sistem patahan, (b) Horizon daerah penelitian, (c) Keberadaan dan penerobosan mud diapir pada penampang seismik (detail gambar (c) dapat dilihat pada lampiran 3)

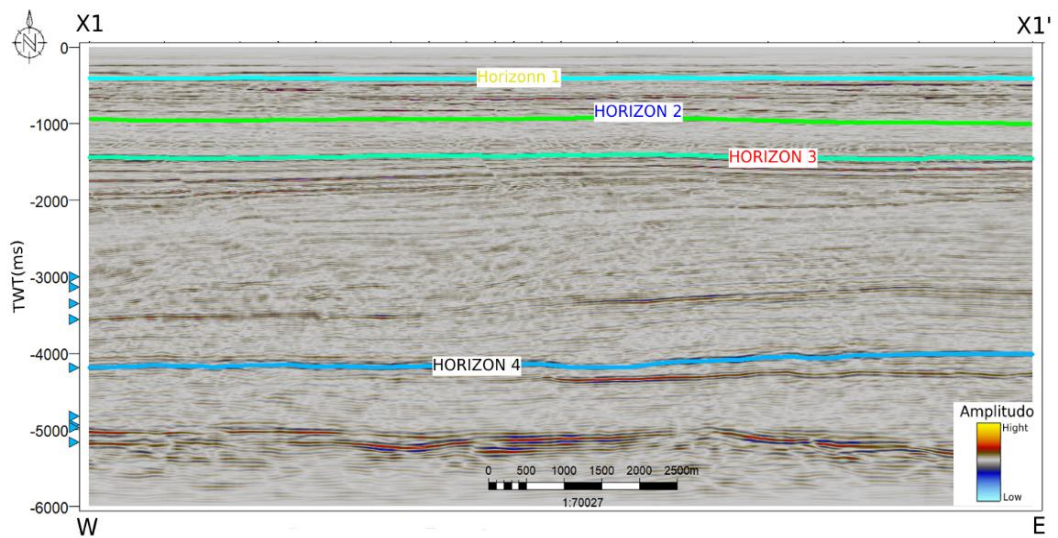
Terdapat 3 *horizon* Gambar 5.4 (a) yang menjadi zona lemah akibat keberadaan *mud diapir* diperkuat dengan keberadaan 3 patahan *major* Gambar 5.2 (b) yang akan menjadi saluran keluarnya *mud diapir*. Pada Gambar 5.4 (c) dapat dilihat pergerakan *mud diapir* melewati 3 *horizon* atau lapisan Gambar 5.4 (a) di atasnya hingga membentuk saluran seperti pipa sampai lapisan teratas pada Formasi Lidah (L dan Li) setelah melewati 3 patahan *major* Gambar 5.4 (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 Ngrayon dan Wonocolo (Gambar 5.1) yang berada pada kedalaman sekitar 4000ms.

## **5.2 Peta struktur waktu (*Time structure map*)**

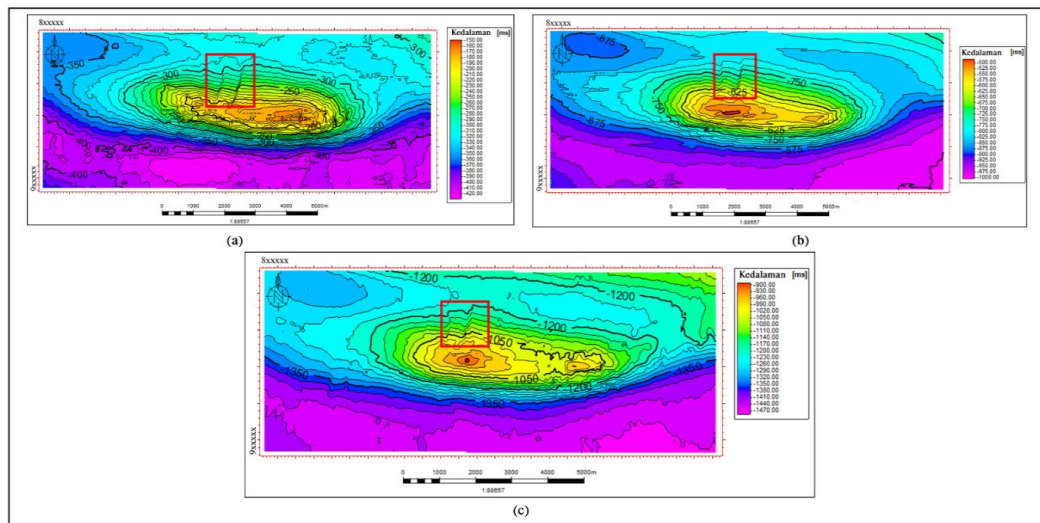
Peta struktur waktu merupakan peta kontur yang merepresentasikan suatu lapisan bawah permukaan yang memiliki kedalaman dalam domain waktu (ms). Proses pemetaan geologi bawah permukaan berupa *time structure map* dilakukan setelah proses interpretasi *picking horizon* di daerah penelitian. Peta struktur waktu diperoleh dari hasil proses *gridding* hasil *picking horizon* yang telah dilakukan pada *line* seismik baik *inline* maupun *crossline*. Interpretasi peta struktur waktu dilakukan dengan menggunakan empat horizon, dimana masing-masing horizon berada pada Formasi Lidah, Formasi Paciran, Formasi Mundu dan Formasi Kujung. Peta struktur waktu akan menampilkan kontur dari horizon atau lapisan yang telah di *picking*. Dari keempat horizon yang telah di *picking*, hanya horizon 1,2 dan 3 yang dianalisis lebih lanjut guna melihat keberadaan diapir yang terlihat terakumulasi di atas lapisan horizon 4 (Gambar 5.5).





**Gambar 5.5** Horizon pada Formasi Lidah, Formasi Paciran, Formasi Mundu dan Formasi Kujung. (Detail gambar dapat dilihat pada lampiran 4)

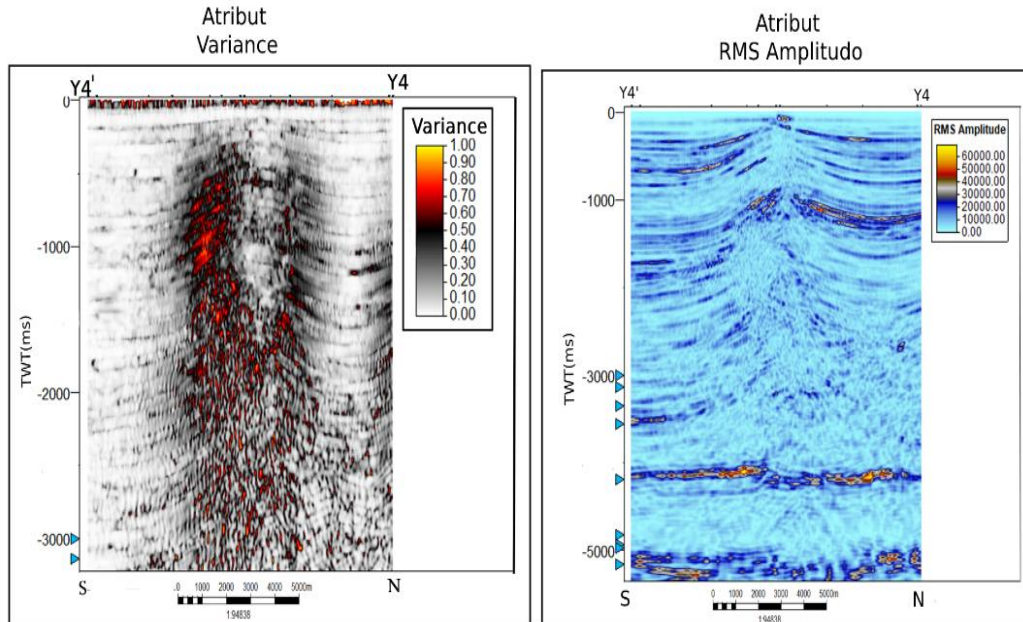
Berdasarkan Gambar 5.6 peta struktur waktu dapat dilihat bentuk patahan yang menjadi jalur penerobosan dari *mud diapir* ditandai dengan kotak merah. *Mud diapir* diwakili dengan warna kuning hingga merah dengan kedalaman dalam domain waktu. Peta struktur waktu *horizon 1* memperlihatkan keberadaan dari *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 6 dengan posisi dari ketiga *horizon* telah diterobos oleh *mud diapir*.



**Gambar 5.6** Peta struktur waktu horizon 1 (a), peta struktur waktu horizon 2 (b), peta struktur waktu horizon 3 (c) (Detail gambar dapat dilihat pada lampiran 5)

### 5.3 Seismik Atribut

Atribut *variance* menunjukkan kenampakan diapir dengan variasi amplitude yg cukup tinggi pada tengah-tengah penampang seismik. Terlihat pengangkatan pada lapisan yang diakibatkan dorongan dari bawah. Hal ini seperti sifat mud diapir yang mengakibatkan pengangkatan pada lapisan atasnya. Atribut *RMS amplitudo* memperlihatkan adanya *chaotic* pada amplitude yang terlihat di arah timur laut. Amplitude yang terlihat *chaos* (berantakan) tersebut adalah mud diapir yang terlihat bermigrasi ke lapisan di atasnya dengan nilai amplitudo yang tinggi. Pada bagian puncak mengindikasikan bahwa mud diapir telah bercampur dengan hidrokarbon sehingga terlihat amplitude yang terang di dekat permukaan yang kemungkinan didominasi oleh *shallow gas*. Keberadaan mud diapir pada penampang seismik yang telah diberikan atribut *variance* dan *RMS amplitudo* dapat dilihat pada Gambar (5.7). Sedangkan untuk atribut *envelope* dan *instantaneous frequency* memperlihatkan mud diapir dengan karakter yang hampir mirip dengan atribut *RMS amplitudo* yang dapat dilihat pada gambar lampiran 9.

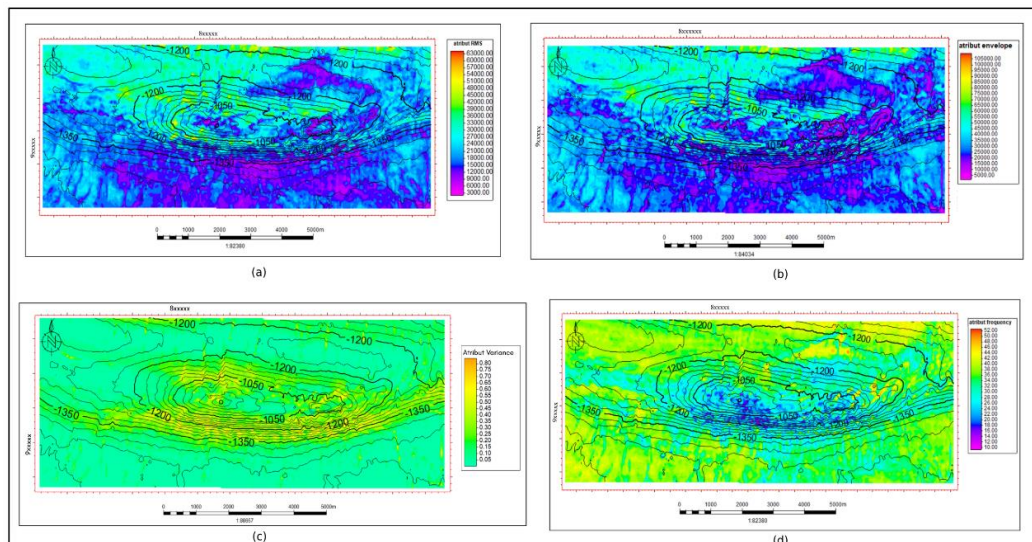


**Gambar 5.7** Atribut seismik variance dan RMS amplitudo menunjukkan keberadaan mud diapir (detail gambar dapat dilihat pada lampiran 7)

Interpretasi atribut pada ketiga *horizon* memperlihatkan nilai-nilai atribut yang mewakili litologi daerah penelitian (Gambar 5.8). 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 5.6) 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. 8** Peta struktur waktu horizon 3 (a) attribute RMS amplitude, (b) envelope, (c) variance, (d) instantaneous frequency (detail gambar dapat dilihat pada lampiran 8).

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

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*.

#### 6.2 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

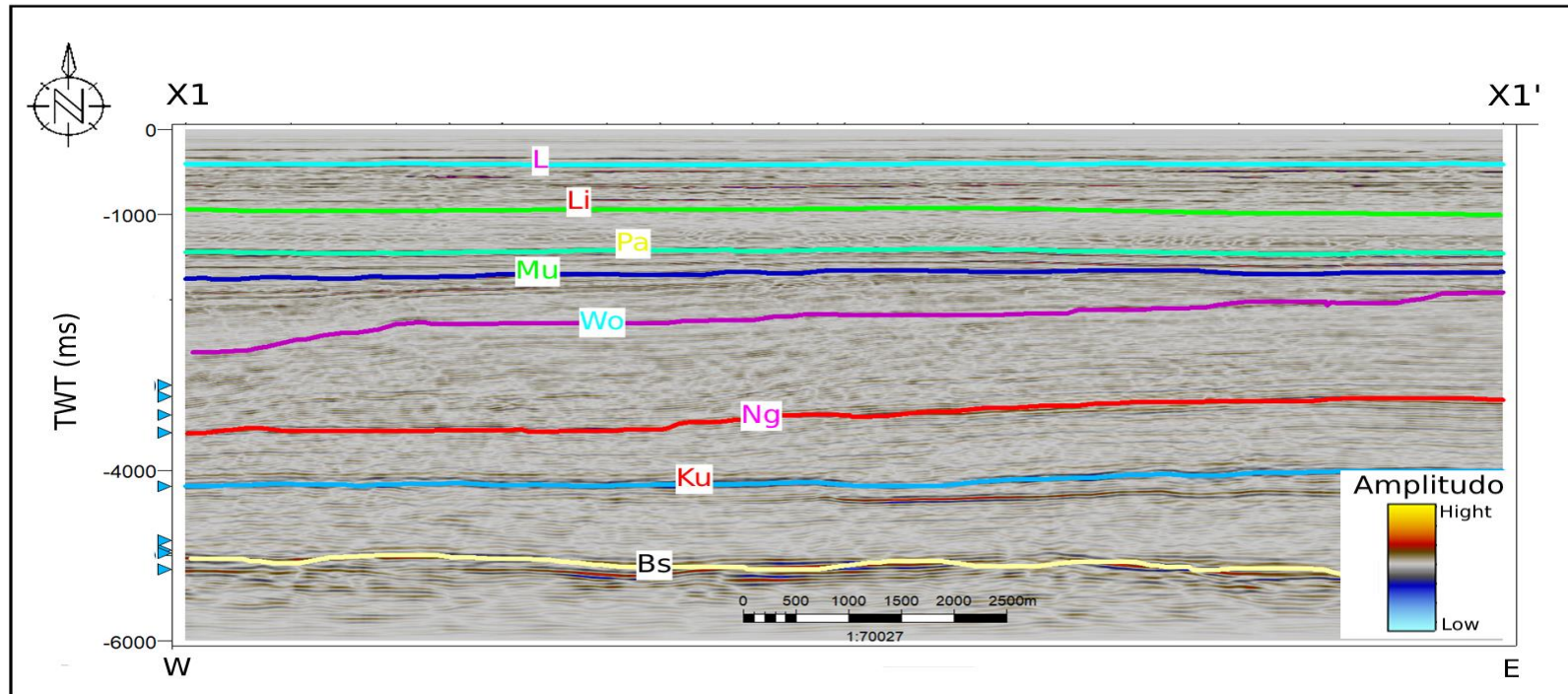
- Abdullah, A. 2007. Seismik Online Ensiklopedia. [www.Ensiklopediaseismik.online.com](http://www.Ensiklopediaseismik.online.com). Diakses pada 1 Juli 2020.
- Anstey, N. A. 1982. *Simple Seismics*. Netherlands: Springer.
- Ardhana, W. 1993. A Depositional Model for the Early Middle Miocene Ngrayong Formation and Implications for Exploration in the East Java.
- 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.
- Arifin, L., Kusnida 2009, Mud di Selatan Pulau Madura. *Jurnal Geologi dan Kelautan. Jurnal Vol.VII*, No. 3.
- Bacon, M., Simm, R., & Redshaw, T. (2009). *3-D Seismic Interpretation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Badley, M. E.1985. *Practical Seismic Interpretation*. Prentice Hall.
- Barnes, A. E. 1999. Seismic Attributes Past, Present, And Future: 69th Annual Internet. Mtg, Soc. Expl. Geophys, pp. 892-895.
- Brown, R.A., 2000, *Interpretation of ThreeDimensional Seismic Data Fifth Edition*. AAPG Memoir 42
- Brown, A. R. 2001. *Data Polarity for the interpreter*. The Leading Edge, vol. 20, pp. 549.
- Chien, Q. Sidney, S.1997. *Seismic Attribute Technology for Reservoir Forecasting and Monitoring*. Houston: Western Atlas International Inc.
- Chopra, S. Dan Marfurt, K. J. 2005. Seismic attributes - A historical perspective. *Geophysics, vol. 70*, no. 5, pp. 3-28
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.
- Fathoni, M., I. 2015. Geophone dan Hydrophone, Cara Kita Dapat Berkomunikasi dengan Alam. <https://hmgf.fmipa.ugm.ac.id/2015/12/18/geophone-dan-hydrophone-cara-kita-dapat-berkomunikasi-dengan-alam/>. Diakses pada 12 juni 2020.
- Faturachman, A. dan S. Marina, 2007, Jalur Migrasi dan Akumulasi Gas Biogenik Berdasarkan Profil Seismik Pantul Dangkal dan Korelasi Bor BH-2 di Perairan Sumenep, Jawa Timur. *Jurnal Geologi Kelautan, Vol.5*, No.3.
- Gadallah, M. R. dan Fisher R. 2009. *Exploration Geophysics*. Houston: Springer Verlag Berlin Heidelberg.

- Hagset, H. A. 2016. Seismic attributes, well correlation and geostatistical analysis for sequence variability prediction in the Sleipner area. *Thesis*. Troms: The Arctic University of Norway.
- Hamimu, L., Sahiddin, L. O., & Indrawati. (2017). *Buku Ajar Seismik Refraksi*. 72.
- Hasanudin, M. 2005. Teknologi Seismik Refleksi Untuk Eksplorasi Minyak Dan Gas Bumi. *Oseana*, vol. 30, no. 5, pp. 1-10.
- Harista, Ginting. 2018. Karakteristik Reservoir Menggunakan Metode Seismik Inversi Akustik Impedansi dan Atribut Seismik di Lapangan “RST” Cekungan Taranaki, New Zealand. Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin Makassar.
- He Jiaxiong, Xu RS, Liu QW, Sun DS, Wan ZF. 2008. Development and evolution of mud diapir and migration and accumulation of natural gas and CO<sub>2</sub> in Yinggehai Basin. *Mar Geol Quat Geol*, vol. 28, pp. 91–98.
- He Jiaxiong, Shuhong Wang, Wei Zhang<sup>1</sup>, 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.
- Kristianto, Abdi. 2018. *Analisis Inversi Seismik simultan untuk memprediksi penyebaran reservoir batupasir pada lapangan “Kairos” cekungan sumatera selatan*. Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.
- Kusumastuti, A., Van Rensbergen, P., Warren, J. K. 2002. Seismic sequence analysis and reservoir potential of drowned Miocene carbonate platforms 57 in the Madura Strait, East Java, Indonesia. *AAPG Bulletin*, vol. 86, no.2, pp. 213-232.
- Lerche, I. 2010. Mud diapirs in the South Caspian Basin: dynamical and thermal effects on hydrocarbon generation and retention. *Energy Exploration & Exploitation*, Vol. 28, No. 3 (June 2010), pp. 131-146.
- Matthews, S. J., Bransden, P. J. E. 1995. Late Cretaceous and Cenozoic tectonostratigraphic development of the East Java Sea basin, Indonesia. *Marine and Petroleum Geology*, vol. 12, no. 5, 499-510.
- Milkov, Alexei V. 2005. Global Distribution Of Mud Volcanoes And Their Significance In Petroleum Exploration As A Source Of Methane In The Atmosphere And Hydrosphere And As A Geohazard. *Springer*, pp. 29-34.
- Yunanda, Mohammad. 2010. Analisa Atribut Amplitudo Seismik Untuk Karakterisasi Reservoir Pada Lapangan X Laut Utara, Netherland. *Fakultas MIPA: Universitas Depok*
- 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*.

- Ostrander, W.J. 1984. Plane-wave reflection coefficient for gas sands at normal incident. *Geophysics, Vol.39*, p. 1637-1648.
- Prihadi S. (2004). *Interpretasi Seismik Geologi*. Diktat Kuliah pada FITB ITB
- Rachelyanna. 2015. Metode Seismik Refleksi. <https://geohazard009.wordpress.com/2015/02/16/metode-seismik-refleksi/>. Diakses pada 11 Juni 2020.
- Satyana, A. H. dan Armandita, C. 2004. Deep-Water play of Java, Indonesia: regional evaluation on opportunities and risks, Proceedings International Geoscience Conference of Deepwater and Frontier Exploration in Asia 59 and Australasia. *Indonesian Petroleum Association (IPA) dan American Association of Petroleum Geologists (AAPG)*, pp. 293-320.
- 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.
- Satyana, A. H. dan Cipi Armandita. 2004. Deepwater Plays Of Java, Indonesia: Regional Evaluation On Opportunities And Risks. *Indonesian Petroleum Association*, pp. 203-321.
- Sismanto, 2006, *Akuisisi dan Pemrosesan Data Seismik, Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, Program Studi Geofisika, FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*
- Sulistiyono, 2012. Aplikasi Multi Atribut Seismik Untuk Mengidentifikasi Fasies Paleochannel Formasi Talang Akar Bagian Atas (Studi Kasus Lapangan “HD” Cekungan Sunda). *Tesis*. Fakultas MIPA Universitas Indonesia: Jakarta.
- Susilawati. 2004. *Seismik Refraksi (Dasar Teori dan Akuisisi Data)*. Sumatera Utara.
- Sukmono, S., 1999, *Interpretasi Seismik Refleksi*. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Sukmono, S., 2002, *Interpretasi Seismik Refleksi*. Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Tangkalalo, D. dan W. Hindadari. 1999. Aplikasi Data Seismik 3D Untuk Reassessment Lapangan Minyak Tua Studi Kasus Struktur Rantau, Jakarta: Pertamina.
- Teknik Geofisika. 2019. Jenis Jenis Wavelet Pada Seismik Beserta Definisi. <https://akugeofisika.blogspot.com/2019/10/jenis-jenis-wavelet-pada-seismik.html>. Diakses pada 11 Juli 2020.
- Telford, M.W., Geldart, L.P., Sheriff, R.E, & Keys, D.A. 1976. *Applied geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Van Bemmelen, R., W. 1949. The Geology Of Indonesia Vol. IA. The Hague: Martinus Nyhoff.

Wasserman J. 2002. *Volcano Seismology*. New Manual of Seismology Observatory Practice. Bulletin of IASPEI. Vol 1.

**LAMPIRAN 1**  
**DETAIL STRATIGRAFI DAERAH PENELITIAN**

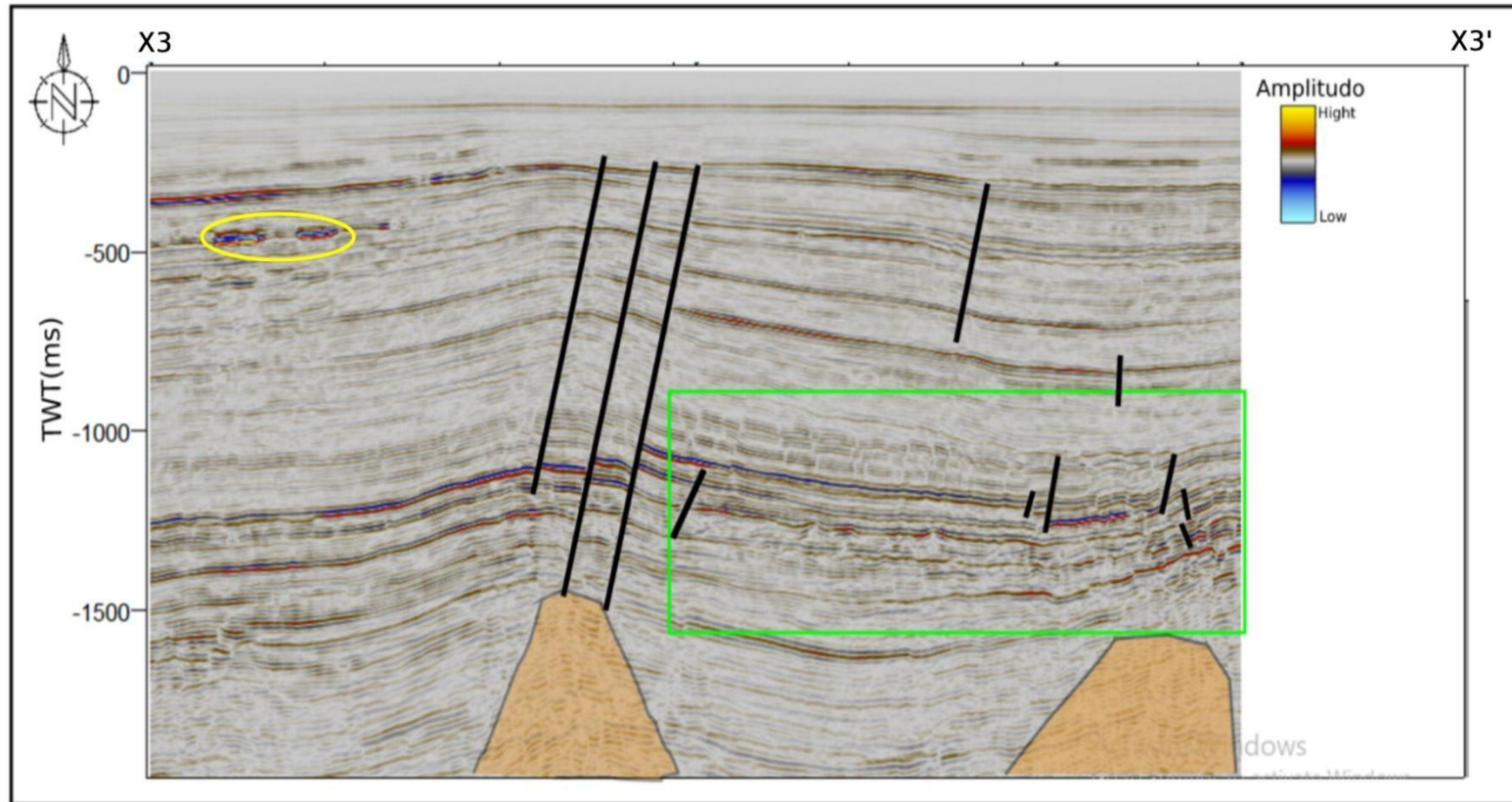


**Keterangan:**

- |    |                   |    |                    |    |                              |
|----|-------------------|----|--------------------|----|------------------------------|
| L  | : Formasi Lidah   | Mu | : Formasi Mundu    | Ku | : Formasi Tuban dan Kujungan |
| Li | : Formasi Lidah   | Wo | : Formasi Wonocolo | Bs | : Formasi Ngimbang           |
| Pa | : Formasi Paciran | Ng | : Formasi Ngrayong |    |                              |

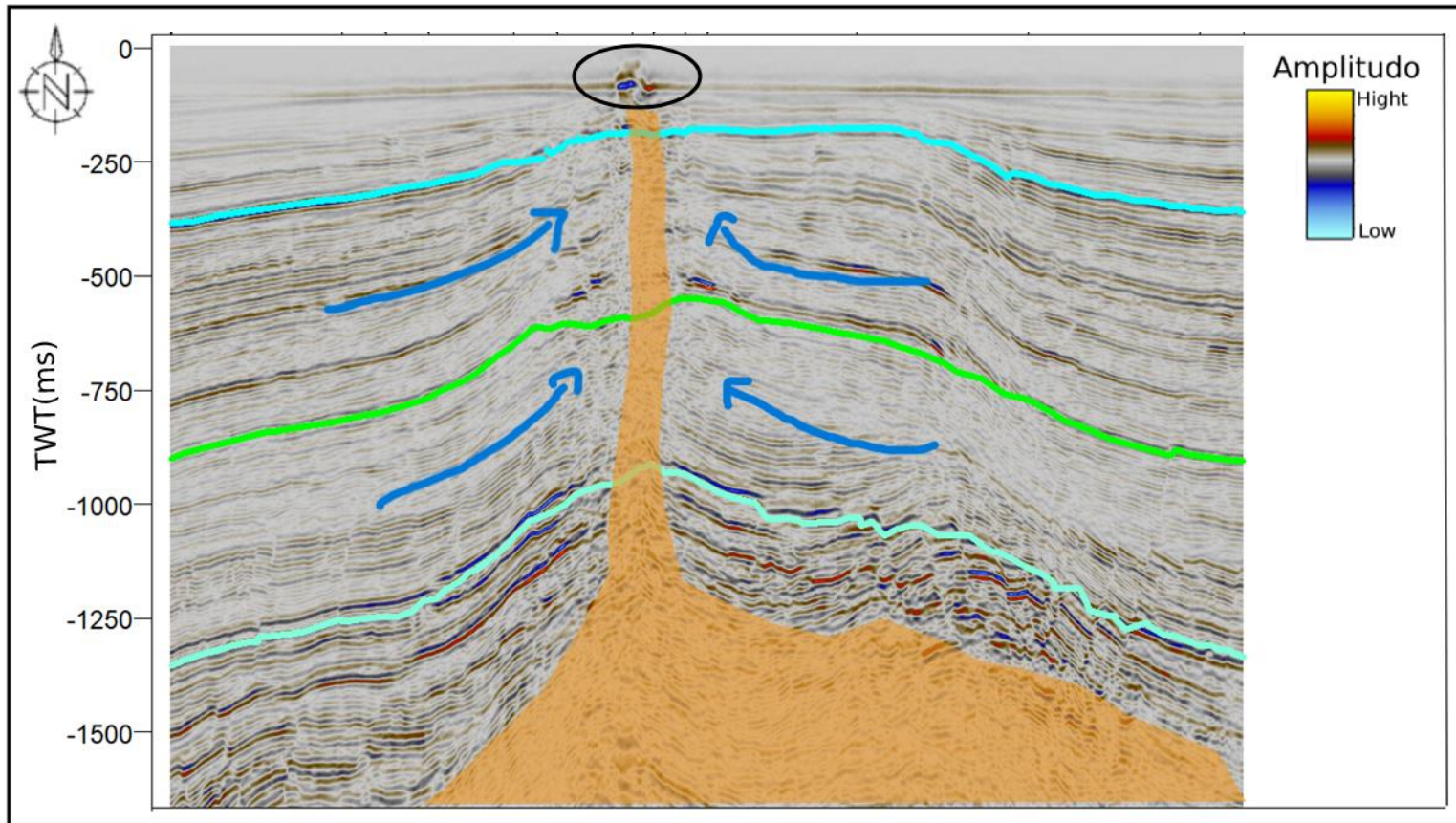


LAMPIRAN 2  
INTERPRETASI STRUKTUR SISTEM PATAHAN

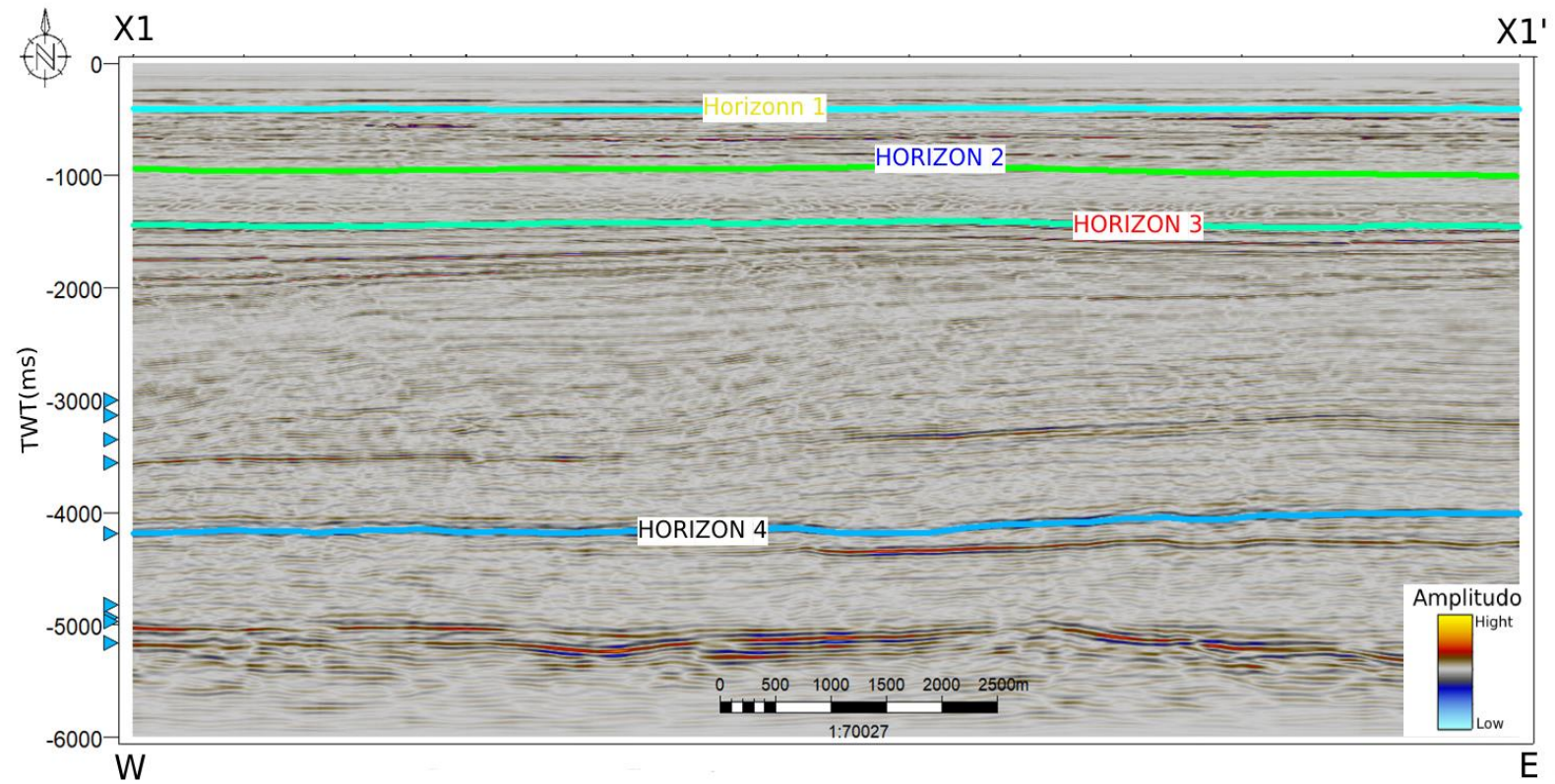




LAMPIRAN 3  
PENEROBOSAN MUD DIAPIR



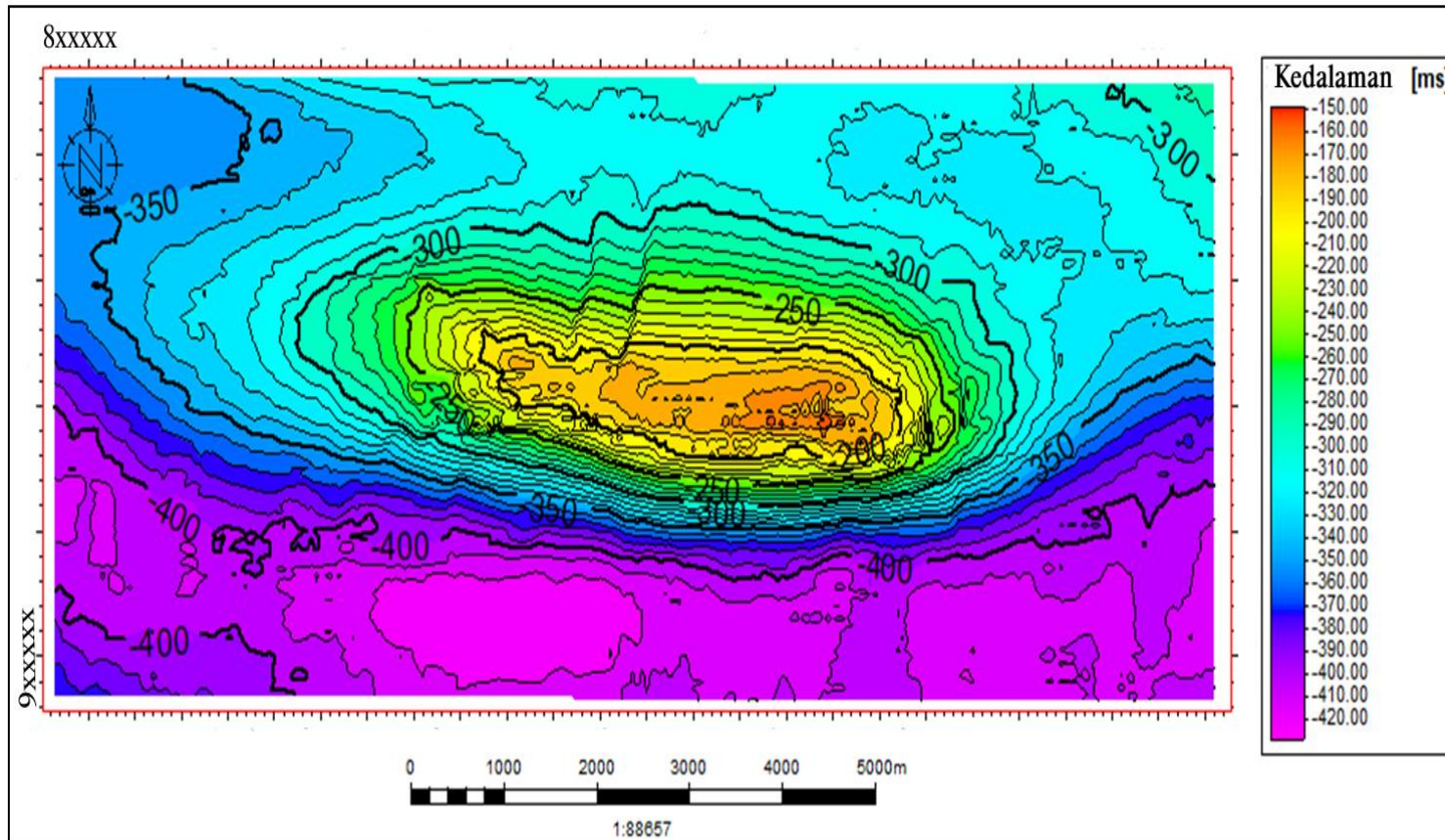
# LAMPIRAN 4 PICKING HORIZON



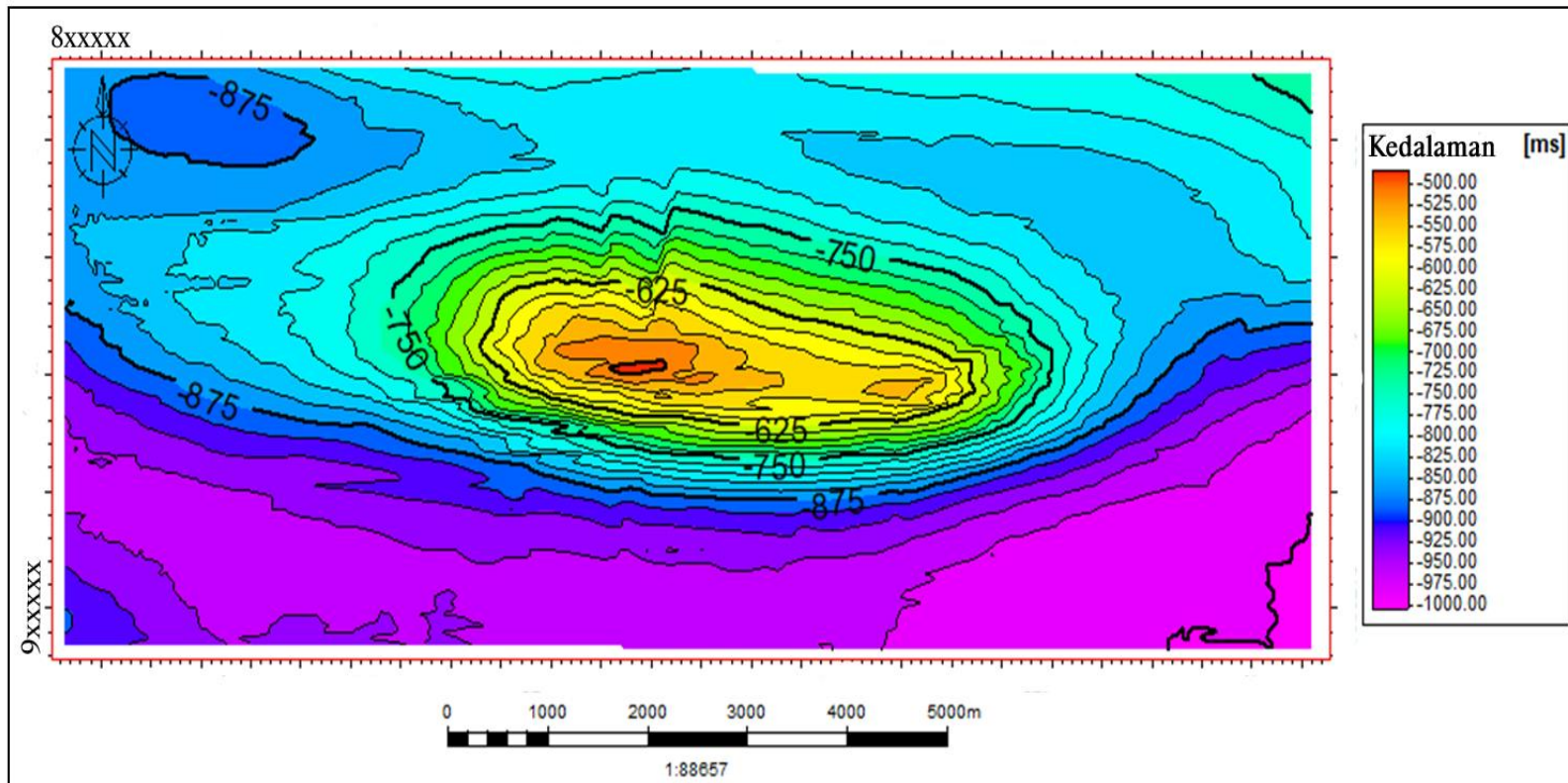


**LAMPIRAN 5**  
**PETA STRUKTUR WAKTU**

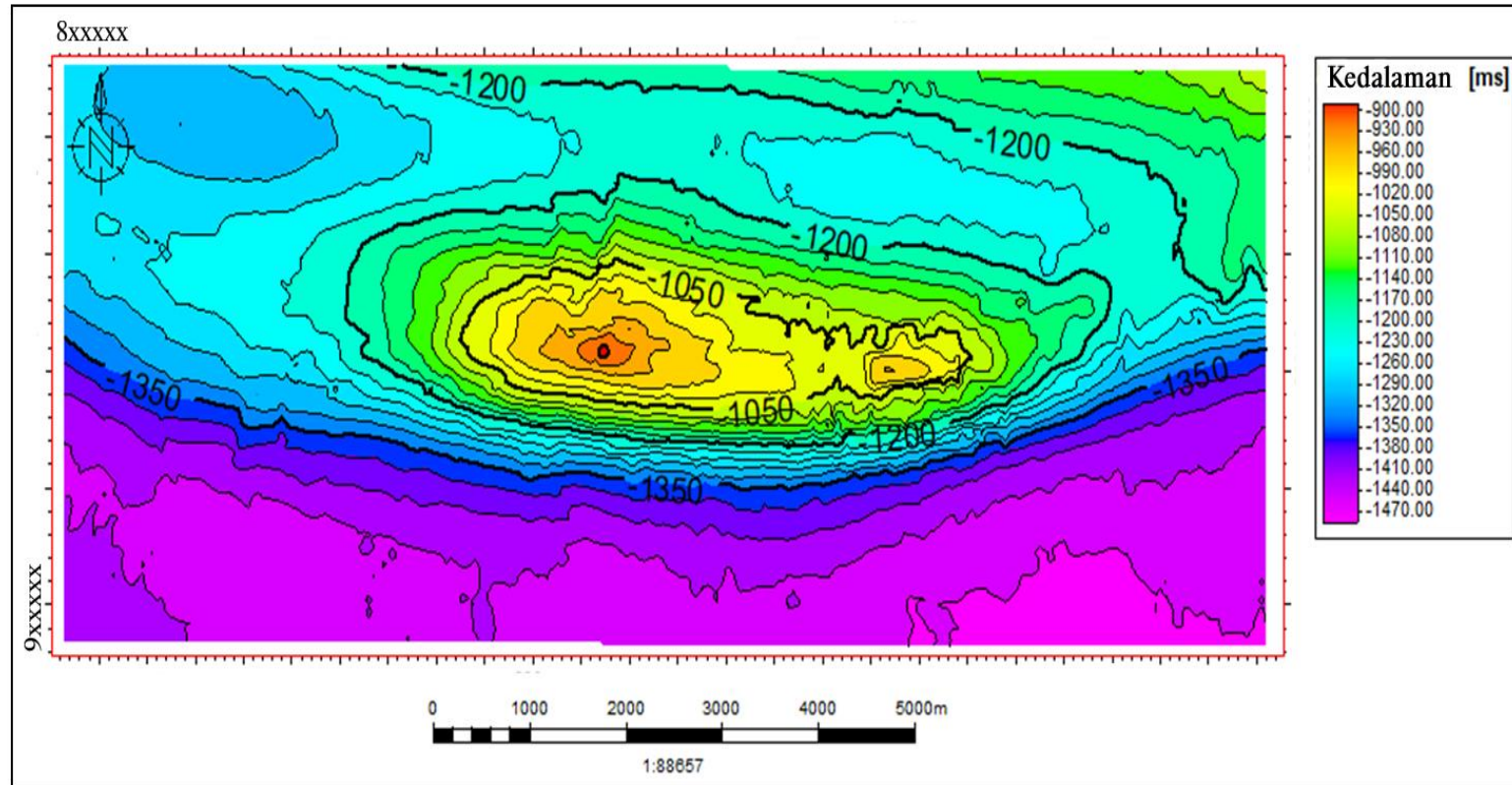
a. Peta struktur waktu *horizon 1*



b. Peta struktur waktu horizon 2

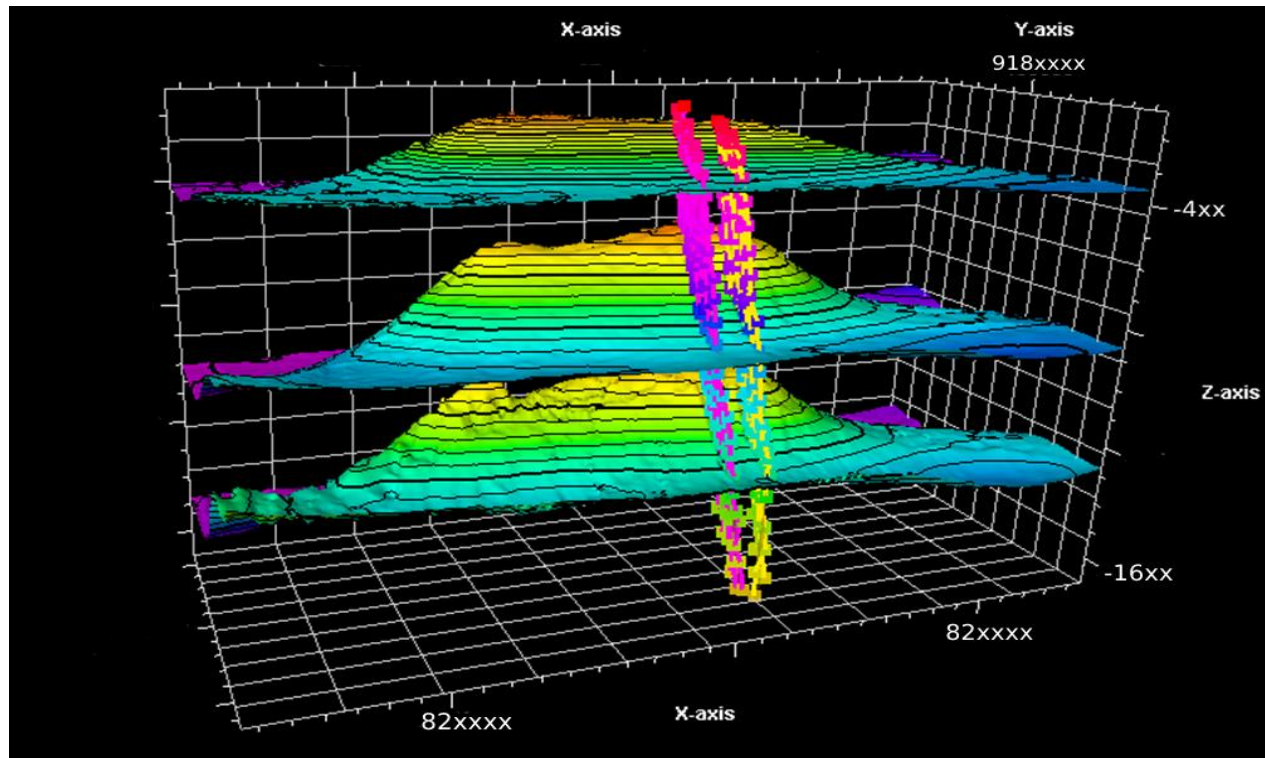


c. Peta struktur waktu horizon 3

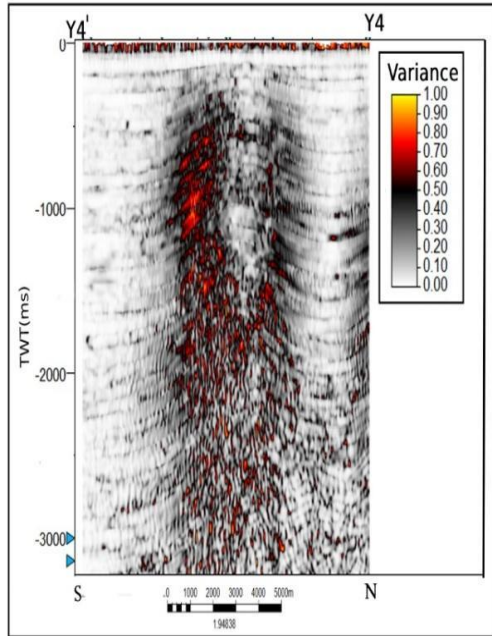




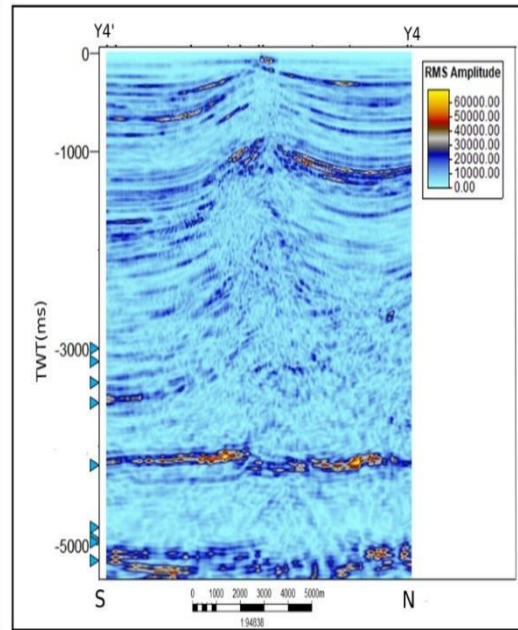
LAMPIRAN 6  
PETA 3D *TIME STRUKTUR MAP*



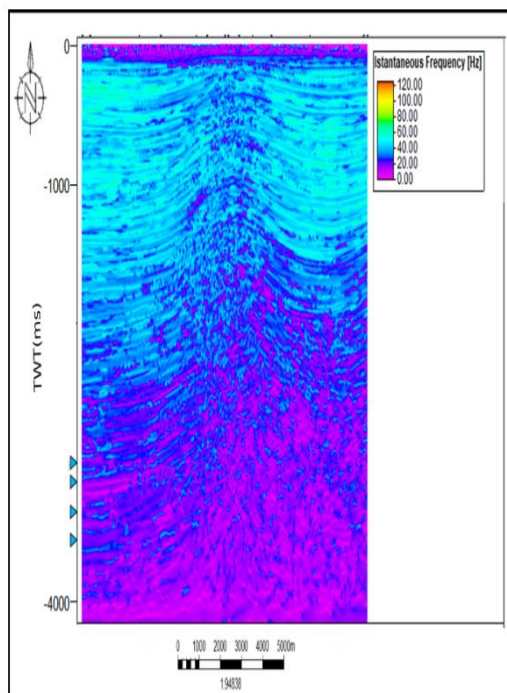
**LAMPIRAN 7**  
**ATRIBUT SEISMIK**



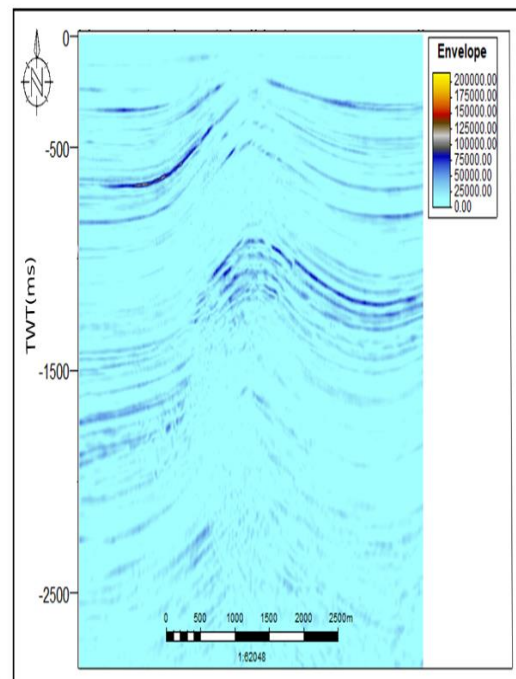
*Atribut Variance*



*Atribut RMS Amplitude*



*Atribut Instantaneous Frequency*

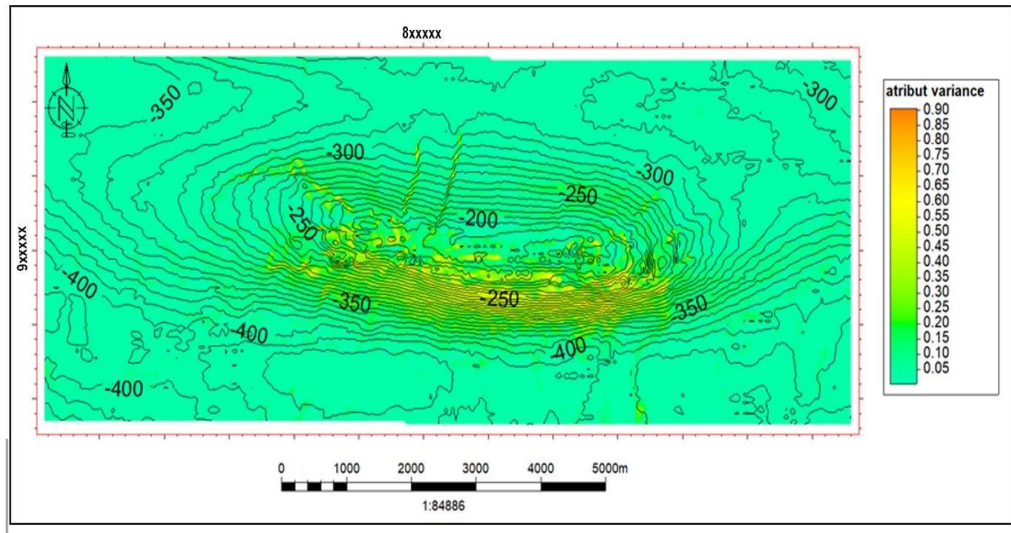


*Atribut Envelope*

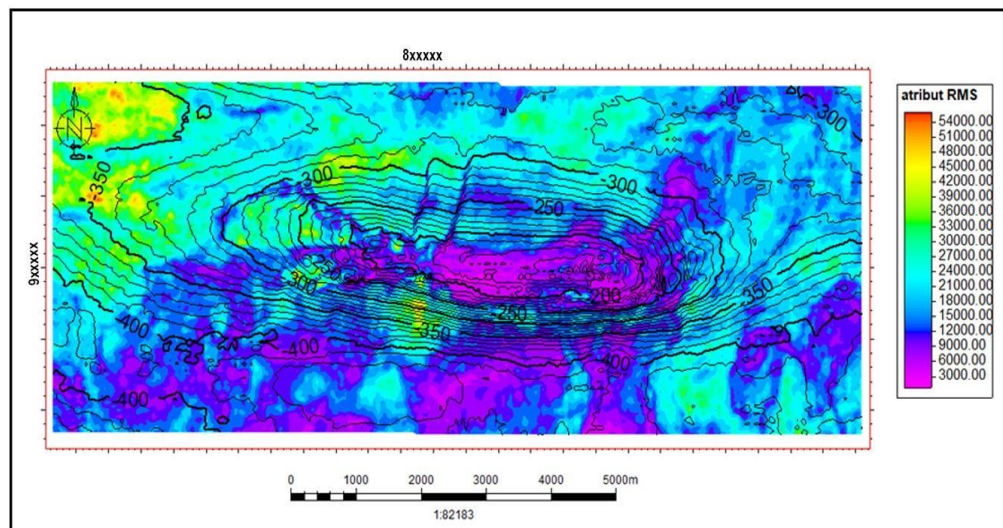
**LAMPIRAN 8**  
**PETA STRUKTUR WAKTU**  
**YANG TELAH DIBERIKAN ATRIBUT SEISMIK**

a. *Horizon 1*

● *Variance*

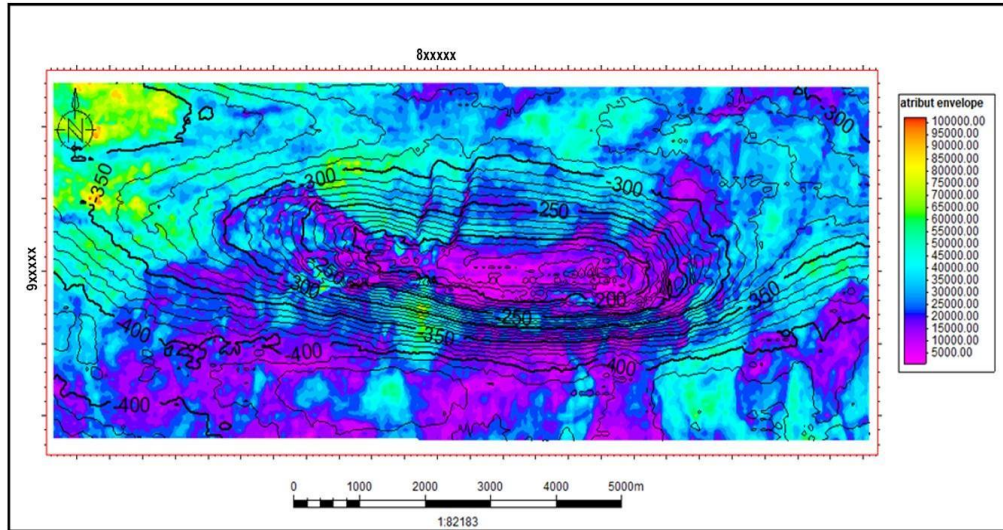


● *RMS Amplitude*

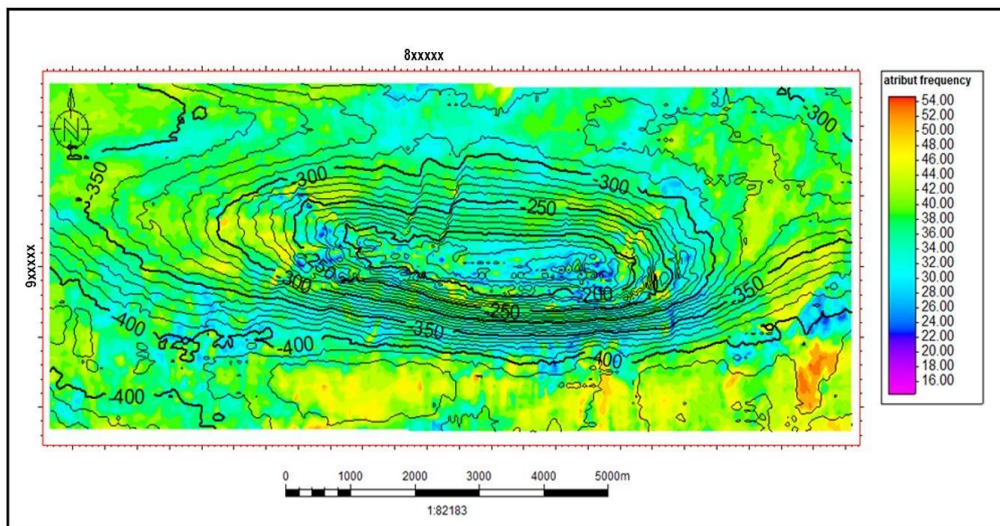




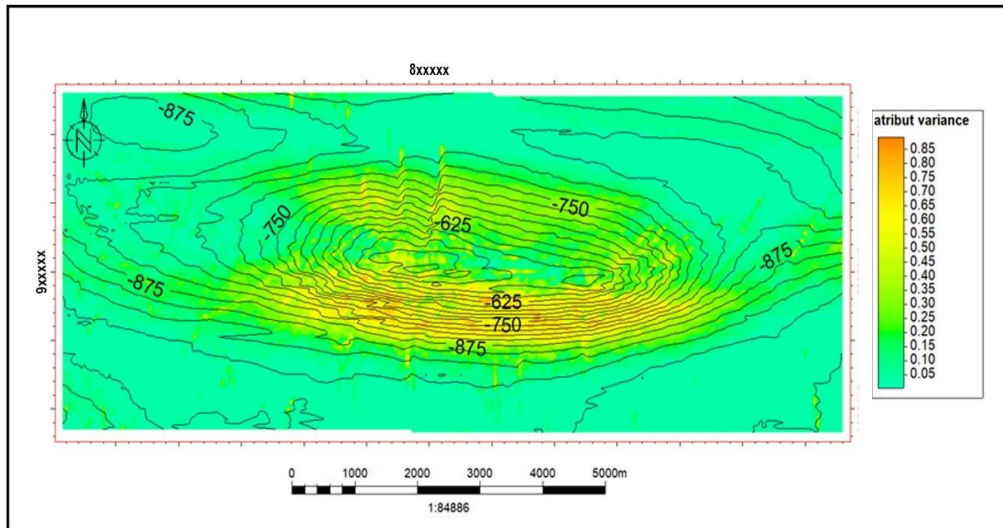
- *Envelope*



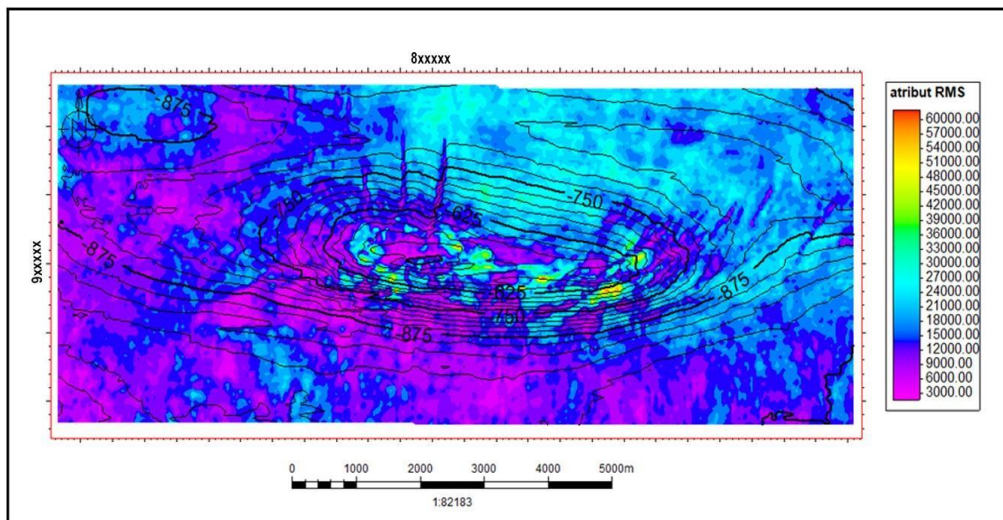
- *Instantaneous Frequency*



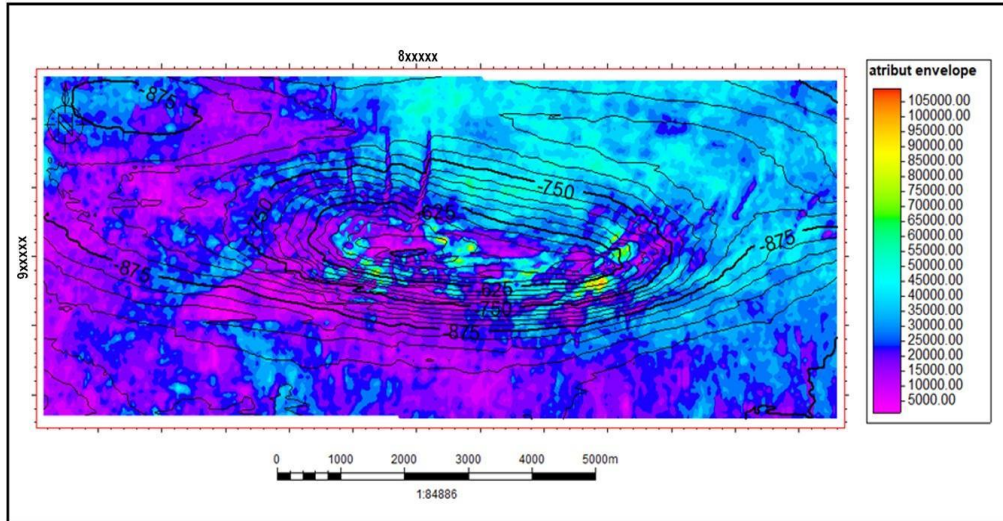
- b. Horizon 2
- Variance



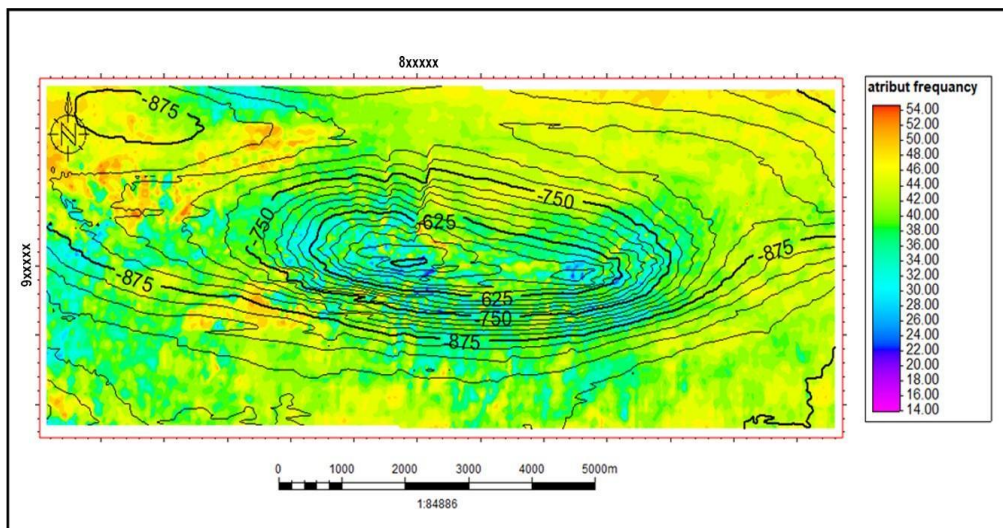
- RMS Amplitude



- *Envelope*



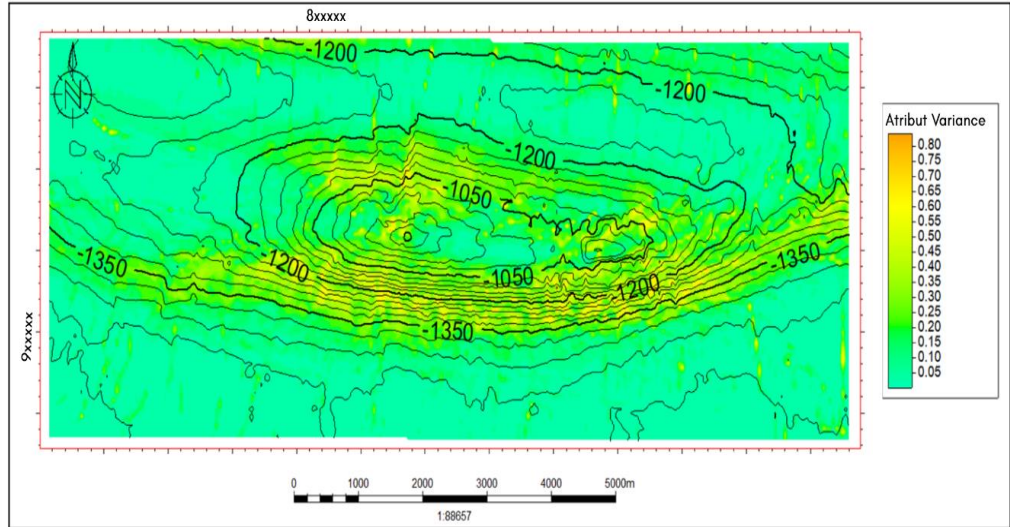
- *Instantaneous Frequency*



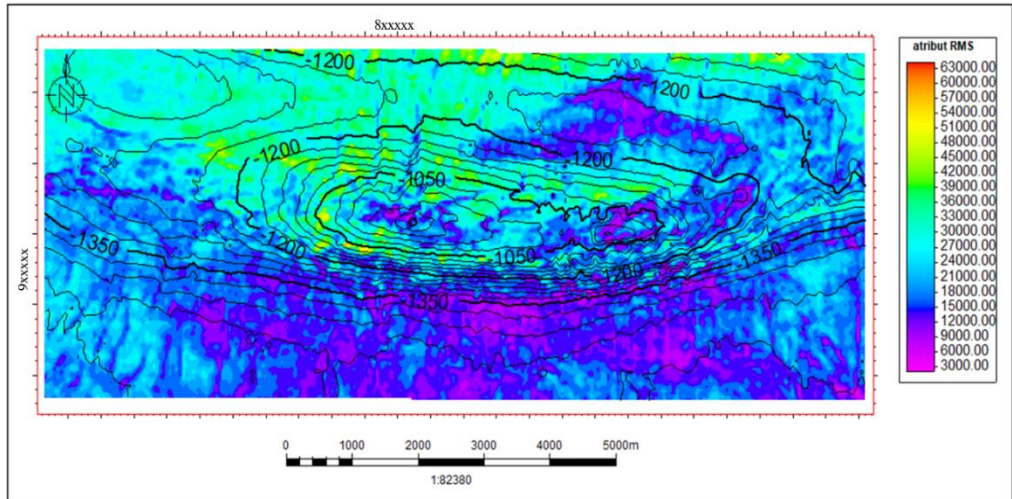


c. Horizon 3

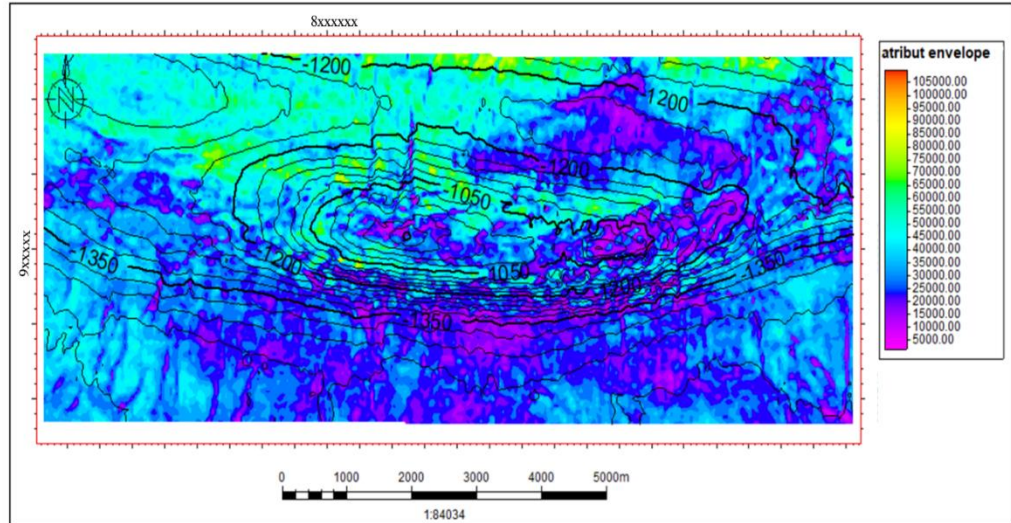
- Variance



- RMS Amplitude



- *Envelope*



- *Instantaneous Frequency*

