

## **APLIKASI INVERSI-AVO UNTUK INTERPRETASI SEISMIK DIBAWAH KETEBALAN TUNING THICKNEES STUDI KASUS LAPANGAN “HD”**

**Endriasmoro M. Siagian<sup>1)</sup>, Agus Setyawan<sup>1)</sup> dan Oky Irawan Sugiri<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl Prof Soedarto, SH. Tembalang Semarang, 50275.

<sup>2)</sup>PT. Pertamina EP Jakarta, Menara Standart Chartered lantai 15, Jalan Prof. Dr. Satrio 164, Jakarta Selatan, 12950.

E-mail:driassiagian@st.fisika.undip.ac.id

### **ABSTRACT**

*The seismic data has different character, therefore the method used for reservoir characterization of a particular area will not be the same as the other areas. If the coating has a thickness below tuning thickness of the layer, there will be a buildup of wave amplitude. If not recognized can lead to misinterpretation (pitfall). There are several methods that can still interpret the data among other things, methods of seismic inversion and AVO. Both methods are used to characterize the reservoir and determine the rock layers are believed to have potential hydrocarbon accumulation.*

*Seismic inversion methods used to determine the distribution of rock layers below the surface, obtained through this method lithological layers of sandstone that has the potential to be a reservoir. AVO method is the initial method used to determine the gas anomalies and known in this field there is the presence of gas, but in this method can only indicate the presence of gas, by combining these two parameters will be obtained by the distribution of lithology and hydrocarbon clearly.*

*The integration of these two methods shows that although the seismic data below the tuning thickness, can still be interpreted in order to get the reservoir lithological a sandstone layer is enough potential to be explored further. Value inversi Vp/Vs 1,75-1,82*

**Keywords:** Inversion, AVO, tuning thickness

### **ABSTRAK**

*Data seismik memiliki karakter yang berbeda – beda, oleh karena itu metode yang digunakan untuk karakterisasi reservoir suatu daerah tertentu tidak akan sama dengan daerah lainnya. Jika lapisan memiliki ketebalan dibawah ketebalan lapisan tuning maka akan terjadi penumpukan amplitudo gelombang. Jika tidak dikenali dapat mengakibatkan kesalahan interpretasi (pitfall). Ada beberapa metode yang masih dapat menginterpretasikan data tersebut antara lain, metode seismik inversi dan AVO. Kedua metode tersebut digunakan untuk mengkarakterisasi reservoir dan mengetahui lapisan batuan yang diduga memiliki akumulasi hidrokarbon yang sangat potensial.*

*Metode seismik inversi digunakan untuk mengetahui sebaran lapisan batuan dibawah permukaan, melalui metode ini diperoleh litologi lapisan batupasir yang berpotensi untuk jadi reservoir. Metode AVO merupakan metode awal yang digunakan untuk mengetahui adanya anomali gas dan diketahui pada lapangan ini terdapat adanya gas, namun pada metode ini hanya dapat mengindikasikan adanya gas, dengan menggabungkan kedua parameter tersebut maka akan diperoleh persebaran litologi dan hidrokarbon secara jelas.*

*Integrasi dari kedua metode tersebut menunjukkan bahwa meskipun dengan data seismik dibawah ketebalan tuning thickness, masih bisa diinterpretasi sehingga didapat litologi yang reservoirnya berupa lapisan batupasir yang cukup potensial untuk dieksplorasi lebih lanjut, dimana nilai inversi Vp/Vs adalah 1,75-1,82.*

**Kata Kunci:** Inversi, AVO, tuning thickness

### **PENDAHULUAN**

Metode seismik merupakan salah satu metode geofisika yang mampu menggambarkan keadaan bawah permukaan secara lateral dengan baik, dengan memanfaatkan parameter-parameter fisis dan ditunjang dengan data sumur yang merepresentasikan informasi bawah permukaan

secara kedalaman lalu menginterpretasikannya melalui pengetahuan geologi maka diperoleh analisis yang cukup akurat.

Data seismik sendiri memiliki karakter yang berbeda – beda, oleh karena itu metode yang digunakan untuk karakterisasi reservoir suatu daerah tertentu tidak akan sama dengan daerah lainnya. Ketebalan minimum lapisan

untuk dapat dibedakan oleh seismik terhadap lapisan lainnya disebut ketebalan tuning. Jika lapisan memiliki ketebalan dibawah ketebalan lapisan tuning maka akan terjadi penumpukan amplitudo gelombang. Jika tidak dikenali dapat mengakibatkan kesalahan interpretasi (*pitfall*).

Untuk memperoleh hasil yang optimal perlu dilakukan analisa awal menggunakan baik data sumur maupun data sintetik, sehingga pengolahan data seismik dan metoda yang dipilih akan lebih terarah. Salah satu metoda yang digunakan untuk tujuan mengestimasi sebaran potensial reservoir batupasir adalah AVO – Inversi.

## DASAR TEORI

### Metode Seismik Refleksi

Metode seismik merupakan metode yang banyak dipakai dalam menentukan lokasi minyak bumi. Dengan metode ini, orang memperoleh informasi - informasi tentang struktur lapisan di bawah permukaan tanah. Prinsip metode seismik yaitu pada tempat atau tanah yang akan diteliti dipasang geophone yang berfungsi sebagai penerima getaran.

Metode seismik memanfaatkan perambatan gelombang elastis ke dalam bumi yang mentransfer energi gelombang menjadi pergerakan partikel batuan. Dimensi gelombang elastik atau gelombang seismik jauh lebih besar bila dibandingkan dengan dimensi pergerakan partikel batuan tersebut. Meskipun demikian penjalaran gelombang seismik dapat diterjemahkan dalam bentuk kecepatan dan tekanan partikel yang disebabkan oleh getaran selama penjalaran gelombang tersebut. Metode seismik refleksi menggunakan energi gelombang yang dipantulkan ini untuk menafsirkan keadaan bawah permukaan.

Energi seismik yang terus menjalar ke dalam bumi akan diserap dalam tiga bentuk yaitu[1] :

- Spherical divergence*. Energi perambatan gelombang menurun sebanding dengan jarak akibat adanya *spreading geometris*.
- Absorpsi (Q)*. Energi perambatan gelombang berkurang karena terserap oleh massa batuan.

- Terpantulkan*. Bentuk energi gelombang yang terpantulkan merupakan dasar penggunaan metoda seismik refleksi.

Model dasar dan yang sering digunakan dalam model satu dimensi untuk trace seismic yaitu mengacu pada model konvolusi yang menyatakan bahwa tiap trace merupakan hasil konvolusi sederhana dari reflektivitas bumi dengan fungsi sumber seismic ditambah dengan noise[2]. Dalam bentuk persamaan dapat dituliskan sebagai berikut (tanda \* menyatakan konvolusi):

$$S(t) = W(t) * r(t) + n(t) \quad (1)$$

(2.1)

Dengan S(t) adalah trace seismik, W(t) adalah wavelet seismik, r(t) adalah reflektivitas bumi dan n(t) adalah noise.

### Resolusi Vertikal Seismik

Resolusi adalah jarak minimum antara dua objek yang dapat dipisahkan oleh gelombang seismik. Range frekuensi dari seismik hanya antara 10-70 Hz yang secara langsung menyebabkan keterbatasan resolusi dari seismik. Nilai dari resolusi vertikal adalah :

$$rv = \frac{v \cdot f}{4} \quad (2)$$

Dengan rv adalah resolusi vertikal, v adalah kecepatan gelombang seismik, f adalah frekuensi dari data seismik.

Dapat dilihat dari persamaan 2 bahwa hanya batuan yang mempunyai ketebalan di atas  $\frac{1}{4} \lambda$  yang dapat dibedakan oleh gelombang seismik. Ketebalan ini disebut ketebalan tuning (*tuning thickness*). Dengan bertambahnya kedalaman, kecepatan bertambah tinggi dan frekuensi bertambah kecil, maka ketebalan tuning bertambah besar[3].

### Inversi Seismik

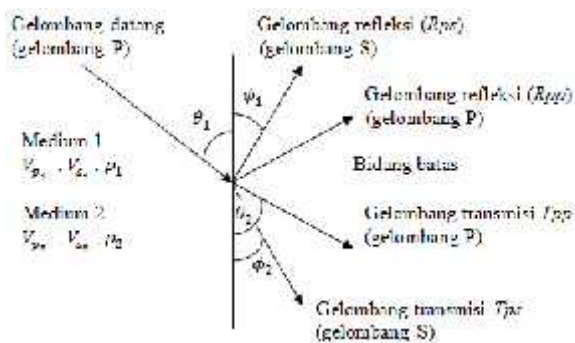
Proses inversi merupakan proses pembalikan data seismik yang berupa time (domain waktu) menjadi model fisis yang diinginkan. Dalam hal ini adalah proses inversi

untuk mendapatkan model impedansi akustik, impedansi elastik[3].

**AVO**

Prinsip dasar metode AVO adalah menganalisa perubahan amplitudo gelombang refleksi terhadap *offset*, dengan *offset* didefinisikan sebagai jarak antara posisi *source* dan *receiver*. Nilai *offset* akan berbanding lurus dengan perubahan sudut datang gelombang.

Pada saat gelombang P yang datang mengenai batas antara dua lapisan dengan sudut tidak sama dengan nol dari garis vertikal, maka gelombang datang P akan mengalami konversi menjadi refleksi gelombang P ( $R_{pp}$ ), refleksi gelombang S ( $R_{ps}$ ), transmisi gelombang P ( $T_{pp}$ ) dan transmisi gelombang S ( $T_{ps}$ ), sehingga besarnya koefisien refleksi bergantung dari kecepatan gelombang P, kecepatan gelombang S ( $V_p$ ), dan densitas ( $\rho$ ) dari setiap lapisan (Gambar 2) [4].



**Gambar 1.** Partisi energi gelombang seismik pada bidang reflector

Persamaan dasar AVO pertama kali diperkenalkan oleh [5] dengan menggambarkan koefisien refleksi dan transmisi sebagai fungsi dari sudut datang pada medium elastik (densitas, kecepatan gelombang P, kecepatan gelombang S). Zoeppritz menurunkan nilai koefisien refleksi dan transmisi dengan mengamati tekanan dan pergeseran yang terjadi di sepanjang batas lapisan antara dua medium, baik pada arah normal. Persamaan yang menggambarkan koefisien refleksi dan transmisi sebagai fungsi dari sudut datang pada medium elastik

dituliskan dalam bentuk persamaan matriks seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 3.

$$\begin{matrix}
 R_p \\
 R_s \\
 T_p \\
 T_s
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 \sin \theta_1 & \cos \phi_1 & -\sin \theta_2 & \cos \phi_2 \\
 -\cos \theta_1 & \sin \phi_1 & -\cos \theta_2 & -\sin \phi_2 \\
 \sin 2\theta_1 & \frac{V_{p2}}{V_{p1}} \cos 2\phi_1 & \frac{\rho_2 V_{p2} V_{p1}}{\rho_1 V_{p1} V_{p2}} \cos 2\phi_1 & -\frac{\rho_2 V_{p2} V_{p1}}{\rho_1 V_{p1} V_{p2}} \cos 2\phi_2 \\
 \cos 2\theta_1 & -\frac{V_{s2}}{V_{p1}} \sin 2\phi_1 & -\frac{\rho_2 V_{s2}}{\rho_1 V_{p1}} \cos 2\phi_1 & -\frac{\rho_2 V_{s2}}{\rho_1 V_{p1}} \sin 2\phi_2
 \end{matrix}
 =
 \begin{matrix}
 -\sin \theta_1 \\
 -\cos \theta_1 \\
 \sin 2\theta_1 \\
 -\cos 2\theta_1
 \end{matrix}
 \quad (3)$$

dengan  $V_p$  adalah kecepatan gelombang P,  $V_s$  adalah kecepatan gelombang S,  $\theta_1$  adalah sudut datang gelombang P,  $\theta_2$  adalah sudut bias gelombang P,  $R_p$  adalah amplitudo gelombang P refleksi,  $R_s$  adalah amplitudo gelombang S refleksi,  $\phi_1$  adalah sudut pantul gelombang S,  $\phi_2$  adalah sudut bias gelombang S,  $T_p$  adalah amplitudo gelombang P transmisi,  $T_s$  adalah amplitudo gelombang S transmisi, dan  $\rho$  adalah densitas.

Persamaan Zoeppritz (3) memperlihatkan hubungan antara amplitudo gelombang P dan S baik yang ditransmisikan maupun yang direfleksikan dengan besarnya sudut datang dan refleksi. Namun persamaan 3 ini tidak dapat memberikan suatu pemahaman bagaimana hubungan antara amplitudo dengan *offset* dan parameter fisik batuan. Oleh karena itu, untuk mengatasi kelemahan dari persamaan Zoeppritz, maka [6] menurunkan persamaan Zoeppritz dengan memisahkan densitas, kecepatan gelombang P, dan kecepatan gelombang S seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2, yang disebut persamaan *Three Term Aki-Richards* [7].

$$R_p \theta = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta \quad (4)$$

dengan :

$$A = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$B = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} - 4 \frac{V_s}{V_p} \frac{\Delta V_s}{V_s} - 2 \frac{V_s}{V_p} \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$C = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p}$$

Kehadiran gas dalam suatu medium akan memberikan respon AVO yang berbeda – beda. AVO dalam beberapa kelas, berdasarkan litologi dan kandungan fluida dalam lapisan tersebut. Kelas pertama adalah batupasir dengan impedansi tinggi (*high impedance sand*) yang mengandung gas. Kelas kedua adalah batupasir yang memiliki kontras impedansi mendekati nol, sedangkan kelas ketiga adalah batupasir dengan impedansi rendah[8]. kemudian definisi untuk AVO anomali kelas 4, yaitu batupasir dengan impedansi rendah dengan anomali AVO yang menurun (*decreasing AVO*)[9].

Secara umum, anomali AVO terjadi karena adanya perubahan perbandingan  $V_p$  dengan  $V_s$ . *P-wave* akan melambat ketika melewati fluida, sedangkan *S-wave* tidak dapat melewati fluida dan akan merambat melewati bagian matriks dari batuan dan menghindari pori batuan yang mengandung fluida. Sehingga ketika gelombang mengenai suatu lapisan yang mengandung fluida, maka akan terjadi perubahan perbandingan  $V_p$  dan  $V_s$ .

## METODE PENELITIAN

Data yang digunakan merupakan data sekunder dari PT. Pertamina EP Jakarta berupa data seismik 3D *pre* dan *post stack*, data sumur, dan data RMS. Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi :

Pada penelitian ini yang dilakukan adalah menganalisa penampang seismiknya apakah berada apakah zona target berada di dalam ketebalan tuning. Untuk menganalisanya menggunakan metode resolusi vertikal seismik. Penampang seismik memiliki spektrum frekuensi yang memiliki harga maksimum sekitar 20 Hz. Berdasarkan data *depth-time table velocity* dan data log sonik ( $V_p$ ), dapat diketahui kecepatan rata-rata perambatan gelombang pada zona target. Jika kecepatan perambatan gelombang ( $V$ ) dan frekuensi ( $f$ ) diketahui maka panjang gelombang adalah hasil bagi  $V$  dengan  $f$ . Resolusi vertikal data seismik umumnya seperempat dari panjang gelombang. Berdasarkan data marker dan composite log dari kelima sumur didapat ketebalan

rata-rata lapisan batupasir adalah 12.133 m. Kecepatan gelombang  $P$  rata-rata adalah 4058 m/s, dengan asumsi frekuensi maksimum adalah 20 Hz maka didapatkan panjang gelombang 202.9 meter. Sehingga resolusi seismik pada lapisan batupasir adalah  $\frac{1}{4} \times 202.9$  m = 50.725 m. Sehingga zona target sudah keluar dari kisaran resolusi vertikal seismik dan dapat menyebabkan *pitfall tuning effect*.

Untuk menganalisa solusi yang tepat untuk menginterpretasi seismik dibawah ketebalan *tuning thickness* dilakukan feasibility study, atau yang sering dikenal dengan *crossplot* data sumur.

Dari hasil *crossplot* data sumur akan terlihat inversi apa saja yang dapat dilakukan untuk menginterpretasi dibawah ketebalan *tuning thickness*.

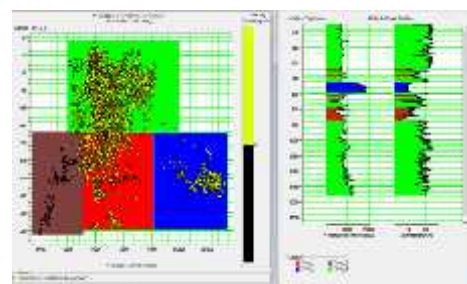
Tahap terakhir melakukan *mapping* secara lateral untuk mengetahui arah litologi *reservoir*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa hasil *Crossplot*

Berdasarkan hasil *crossplot* hanya ada 3 kemungkinan yang dapat dilakukan untuk menginterpretasi penampang seismik tersebut, yaitu inversi  $A_i$ , inversi  $E_i$  dan inversi  $V_p/V_s$ .

Hasil *crossplot*  $P$ -Impedance vs  $\gamma_{ray}$  dapat dilihat pada gambar 2.

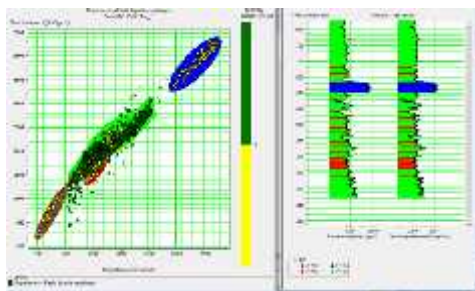


**Gambar 2.** Hasil *crossplot*  $P$ -Impedance vs  $\gamma_{ray}$  pada semua sumur dengan *cross-section* sumur C-MDTZ8

Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa inversi  $A_i$  dapat membedakan litologi yang ada seperti batubara yang ditunjukkan warna coklat, dengan nilai  $P$ -Impedance 2500-5000 ((m/s)\*(gr/cc)) batuan beku delorit ditunjukkan

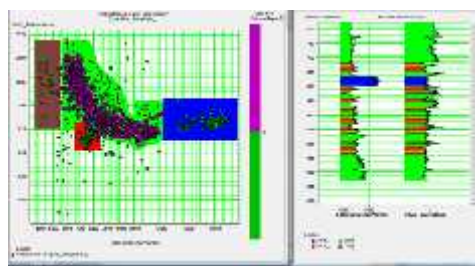


warna biru dengan nilai P-Impedance 15000-19000 ((m/s)\*(gr/cc)), tetapi tidak dengan batu pasir yang ditunjukkan warna merah dengan nilai P-Impedance 6500-11000 ((m/s)\*(gr/cc)) dan batu lempung yang ditunjukkan warna hijau dengan nilai P-Impedance 6500-11000 ((m/s)\*(gr/cc)) dari nilai tersebut terlihat litologi batupasir dan batulempung *overlap*.



**Gambar 3.** Hasil *cross plot* P-Impedance vs S-Impedance pada semua sumur dengan *cross-section* sumur C-MDTZ8

Gambar 3 memperlihatkan hasil *croosplot* hampir sama dengan gambar 1 hanya membedakan litologi, tetapi tidak bisa membedakan batupasir potensial dengan batu pasir yang bercampur lempung, karena dari gambar tersebut masih saling *overlap* antara batupasir potensial dengan batu lempung.



**Gambar 4.** Hasil *cross plot* P-Impedance vs Vp/Vs pada semua sumur dengan *cross-section* sumur C-MDTZ8

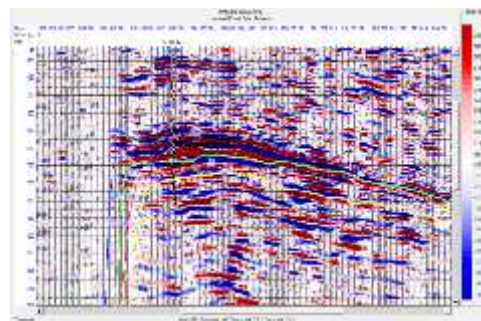
Gambar 4 berbeda dengan gambar 1 dan gambar 2 dikarenakan hasil Vp/Vs dapat membedakan batu pasir potensial dengan batu pasir yang bercampur lempung, karena batu pasir potensial memiliki nilai Vp/Vs yang lebih rendah diantara ketiga litologi tersebut ditunjukkan warna merah dengan nilai 1,75-1,82.

Dari hasil *croosplot* hanya inversi Vp/Vs yang dapat membedakan batu pasir potensial dengan batu pasir yang bercampur lempung, dan dilakukan Slicing pada inversi Vp/Vs agar dapat

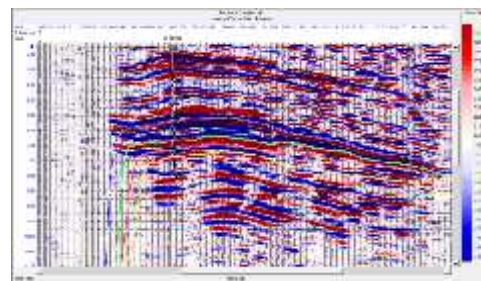
mengetahui persebaran lapisan batupasir potensial.

### Analisa AVO

Analisa awal dalam AVO adalah menganalisa apakah terdapat anomali AVO pada data seismik CDP gather, setelah diketahui terdapat anomali amplitudo terhadap offset atau angle selanjutnya menganalisa anomali tersebut berada pada kelas berapa. Pada data seismik CDP gather yang digunakan pada penelitian ini, menunjukkan adanya anomali AVO. Selanjutnya dilakukan analisa lebih lanjut guna mengetahui kelas anomali dari data seismik tersebut. Berdasarkan fenomena penurunan amplitudo terhadap offset atau sudut dan juga akustik impedansi relatif yang lebih tinggi pada reservoir, merupakan karakteristik dari dua kelas anomali AVO, yaitu kelas I dan kelas IV, guna mengetahui lebih lanjut letak kelas anomali, maka dilakukan analisa terhadap *intercept* (A) dan *gradient* (B) melalui analisa atribut volume.



(A)



(B)

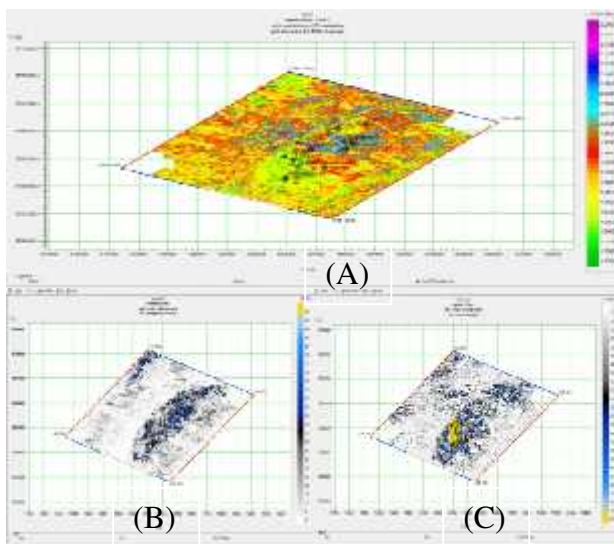
**Gambar 5** Penampang Atribut AVO *Intercept* (A) dan *Gradient* (B).

Gambar 5 menunjukkan nilai *intercept*

(A) bernilai positif (berwarna merah), sedangkan nilai *gradient* (B) bernilai negatif (berwarna biru), di daerah reservoir yang ditandai dengan garis merah. maka dari analisa *intercept* dan *gradient* dapat diketahui bahwa pada data seismik CDP gather yang digunakan memiliki anomali AVO kelas I.

Setelah diketahui hasil dari analisa *intercept* dan *gradient* nya dilakukan slicing penampang dari *intercept* dan *gradient*.

### Peta Persebaran Reservoir



Gambar 6. Peta persebaran Vp/Vs (A), Intercept (B), dan Gradient (C)

Pada gambar 6 menunjukkan hasil inversi dan proses AVO pada seluruh luasan data seismik yang di overlay dengan letak sumur yang berproduksi, dimana pada peta persebaran Vp/Vs nilainya 0,5 – 1 ft/cc yang di tandai dengan warna hijau kekuning-kuningan, dan untuk peta persebaran Avo daerah yang berwarna biru kehitam-hitaman adalah daerah yang lapisan batu pasir berpotensi mengandung reservoir.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Hasil inversi AI dan EI *far* sulit memperlihatkan penyebaran lapisan batupasir potensial yang pada umumnya memiliki ketebalan di bawah *tuning*

*thickness* seismik karena nilai AI dan EI *far* batupasir potensial berada di antara batubara dan *shale*, sehingga perlu dibantu dengan adanya hasil Analisis Avo dan hasil Vp/ Vs agar dapat melihat penyebaran lapisan reservoir potensial batupasir.

2. Berdasarkan analisa *intercept* dan *gradient*, dapat diketahui lapangan penelitian memiliki anomali AVO kelas I.
3. Dari hasil penelitian didapat peta penyebaran lapisan reservoir potensial batupasir.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Landmark. 2003. *SpecDecomp 2003 12 Tuning Cube Tuning Mapper and Volume Recon*. Landmark Graphics Corporation.
- [2]. Hampson, D.P., and Russell, B.H. (2008) *AVO Workshop Part 1*, Course Notes, CGG Veritas.
- [3]. Sukmono, S. (2007) *Fundamentals of Seismic Interpretation*, Geophysical Engineering, Bandung Institute of Technology, Bandung.
- [4]. Yilmaz, O., 2001, *Seismic Data Analysis: Processing, Interpretation and Inversion*, Society of exploration Geophysics.
- [5]. Zoeppritz, R., 1919, *On the reflection and propagation of seismic waves*, Erdbebenwellen VIII B; Gottinger Nachrichten I, 66-68.
- [6]. Aki, K., Richards, P.G., and Frasier, 2002, *Quantitative Seismology, 2<sup>nd</sup> Edition*, University Science Books, United State of America.
- [7]. Russel, B.H., 1998, *Introduction to Seismic Inversion Methods*, Society of Exploration Geophysicist, Tulsa.
- [8]. Rutherford, S., and Williams, R. (1989) *Amplitude versus offset variation in gas sands*, Geophysics 54, 680-688.
- [9]. Castagna, J.P., Swan, H.W., and Foster, D.J. (1998) *Framework For AVO Gradient and Intercept Interpretation*, Geophysics, 63, 948-956.