

Analisis AVO (*Amplitude Versus Offset*), Atribut Seismik dan Properti Fisika Batuan untuk Identifikasi Gas Reservoir Karbonat *Reef Build Up*, Lapangan ‘Katiman’ Cekungan Jawa Barat bagian Utara

Pebrian Tunggal Prakosa, Bagus Jaya Santosa

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
E-mail: bjs@physics.its.ac.id

Abstract— Metode AVO populer digunakan untuk identifikasi litologi dan fluida pada reservoir batu pasir. Sedangkan pada saat ini eksplorasi pada reservoir batu gamping menjadi topik yang menarik untuk diteliti. Data yang digunakan meliputi 1 data sumur dan data seismik CDP *gather*. Berdasarkan analisa petrofisika, didapatkan zona prospek gas pada bagian atas formasi Baturaja. Selanjutnya dilakukan analisa AVO, atribut AVO dan atribut seismik untuk melihat respon gas pada reservoir karbonat. Analisa AVO dilakukan pada karbonat formasi Baturaja dan formasi Parigi. Hasil analisa menunjukkan bahwa metode AVO dapat membedakan respon fluida pada batuan karbonat, dimana pada formasi Baturaja nilai amplitudo lebih kecil dan mengalami pengurangan yang lebih drastis dibandingkan formasi Parigi yang tidak mengandung gas. Sebagai validasi dilakukan juga analisa AVO menggunakan sintetik seismogram dari data sumur *Tole_1*, hasilnya menunjukkan kemiripan dengan analisa pada data seismik. Analisa *angle limited stack* pada offset *near* (1° - 14°), *mid* (14° - 29°) dan *far* (29° - 42°) menunjukkan efek anomali *diming* pada zona gas formasi Baturaja. Analisa gradien dan atribut AVO *intercept (A)*, *gradient (B)* dan *product (A*B)* dapat menunjukkan persebaran top dan base reservoir gas dengan baik. Atribut AVO *scaled poisson's ratio* dapat mengidentifikasi keberadaan fluida dengan jelas, sedangkan pada atribut *fluid factor* keberadaan gas tidak begitu jelas. Analisa atribut seismik menunjukkan keberadaan gas karbonat formasi Baturaja dicirikan dengan anomali *low instantaneous frequency*, anomali *high amplitude envelope*, dan anomali nilai tinggi pada atribut *sweetness*, dan atribut *sweetness* lebih sensitif terhadap keberadaan gas reservoir karbonat.

Kata Kunci—AVO, karbonat *reef build up*, atribut AVO, atribut seismik

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap energi berbasis fosil di Indonesia semakin tahun semakin meningkat. Semakin meningkatnya teknologi dan tingkat kebutuhan manusia menyebabkan konsumsi minyak dan gas di Indonesia juga mengalami peningkatan. Fakta ini berbanding terbalik dengan hasil produksi minyak dan gas bumi di Indonesia. Selama tahun 2006, rata-rata produksi minyak Indonesia berkisar pada 1.1 Milyar barel per hari (bbl/d), dimana 81 persennya atau 894.000 bbl/d adalah *crude oil* [4]. Sehingga perlu banyak dilakukan studi mengenai eksplorasi hidrokarbon dengan pendekatan baru, salah satu diantaranya adalah analisa AVO pada karbonat.

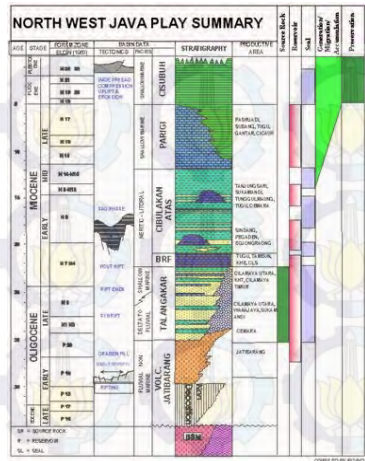
Pada pertengahan tahun 1970 salah satu fenomena yang digunakan sebagai indikator keberadaan hidrokarbon (gas) adalah adanya anomali *bright spot*. Keberadaan gas pada pori batuan dapat memberikan efek kenaikan amplitudo pada data seismik dan juga menyebabkan pantulan yang kuat terhadap gelombang seismik sehingga menyebabkan adanya fenomena *bright spot*. Dari perkembangan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa tidak semua *bright spot* menandakan adanya akumulasi gas, namun anomali tersebut ternyata kosong karena anomali yang disebabkan oleh pantulan batubara yang tipis. Ini berarti konsep *bright spot* bukanlah indikator langsung hidrokarbon yang dapat dijadikan jaminan.

Ostrander (1984) mengembangkan konsep baru dalam membantu menginterpretasikan kenampakan anomali amplitudo pada penampang seismik, yaitu dengan metode AVO. Konsep ini didasarkan pada adanya perubahan amplitudo gelombang terhadap perubahan jarak titik sumber dengan komponen penerima [5].

Penelitian tentang respon seismik dan AVO pada reservoir karbonat masih sangat jarang. Sensitivitas fisika batuan karbonat terhadap keberadaan fluida yang disebabkan besarnya nilai modulus dan kompleksnya susunan pori batuan karbonat membuat hal ini menjadi tantangan penelitian di akhir-akhir ini. Pada penelitian ini akan dilakukan analisa untuk melihat respon fluida gas terhadap gelombang seismik pada batuan karbonat *reef build up*, dengan menggunakan data seismik dan juga data sumur.

A. Geologi Regional

Cekungan Jawa Barat bagian Utara terletak di daerah Jawa Barat yang memanjang dari bagian *offshore* di Utara ke bagian *onshore* di Selatan. Area di cekungan Jawa Barat didominasi oleh patahan ekstensional dan minim struktur kompresional. Cekungan didominasi oleh regangan yang membentuk struktur deposenter (*half graben*), antara lain, sub-cekungan Jatibarang, sub-cekungan Ciputat dan sub-cekungan Pasir putih. Formasi Baturaja cekungan Jawa Barat diendapkan pada Miosen awal sampai Miosen tengah dengan lingkungan pengendapan berupa laut dangkal. Stratigrafi Cekungan Jawa Barat bagian Utara ditunjukkan seperti Gambar 1.1.

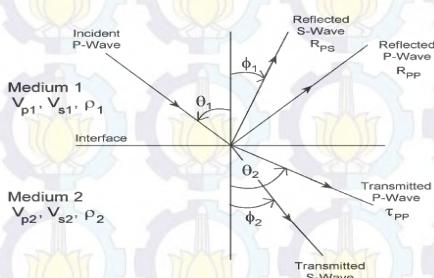


Gambar 1.1 Stratigrifi cekungan Jawa Barat bagian Utara

B. Metode AVO

Prinsip dasar dari AVO didasarkan pada adanya perubahan anomali amplitudo sinyal refleksi terhadap pertambahan *offset* yang diakibatkan oleh terpantulnya gelombang pada batas lapisan yang mengandung fluida. Sehingga bisa dikatakan juga bahwa semakin besar sudut datang maka semakin besar pula *offset* [5].

AVO muncul akibat adanya partisi energi pada saat melewati bidang reflektor. Ketika gelombang seismik menuju batas lapisan dengan sudut datang tidak sama dengan nol maka konversi gelombang P menjadi gelombang S akan terjadi. Amplitudo dari energi yang terefleksikan dan ditransmisikan tergantung pada sifat fisik di antara bidang reflektor. Sebagai konsekuensinya, koefisien refleksi menjadi fungsi dari kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang S (V_s), densitas (ρ) dari setiap lapisan, serta sudut datang (θ_1) sinar seismik (Gambar 1.2) [8]. Oleh karena itu terdapat empat kurva yang dapat diturunkan, yaitu amplitudo refleksi gelombang P, amplitudo refleksi gelombang S, dan amplitudo transmisi gelombang S. Perbedaan nilai kecepatan dan densitas pada batas antara lapisan tersebut akan mengakibatkan berbeda pula koefisien refleksi yang dihasilkan.



Gambar 1.2. Partisi kecepatan gelombang P

Persamaan dasar AVO pertama kali diperkenalkan oleh Zoeppritz (1919) yang menggambarkan koefisien refleksi dan transmisi sebagai fungsi dari sudut datang pada media elastik (densitas, kecepatan gelombang P dan kecepatan gelombang S). Persamaan Zoeppritz dapat dituliskan dalam bentuk persamaan matriks [12].

$$\begin{bmatrix} \sin \theta_1 & \cos \phi_1 & -\sin \theta_2 & \cos \phi_2 \\ -\cos \theta_1 & \sin \phi_1 & -\cos \theta_2 & -\sin \phi_2 \\ \sin 2\theta_1 & \frac{\alpha_1}{\beta_1} \cos 2\phi_1 & \frac{\rho_2 \alpha_1 \beta_2^2}{\rho_1 \alpha_2 \beta_1^2} \sin 2\theta_2 & -\frac{\rho_2 \alpha_1 \beta_2}{\rho_1 \beta_1} \cos 2\phi_2 \\ \cos 2\phi_1 & -\frac{\beta_1}{\alpha_1} \sin 2\phi_1 & -\frac{\rho_2 \alpha_2}{\rho_1 \alpha_1} \cos 2\phi_2 & -\frac{\rho_2 \beta_2}{\rho_1 \alpha_1} \sin 2\phi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta_1 \\ -\cos \theta_1 \\ \sin 2\theta_1 \\ -\cos 2\theta_1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

dimana :

- A = amplitudo gelombang P refleksi
- θ_1 = sudut datang gelombang P
- B = amplitudo gelombang S refleksi
- θ_2 = sudut bias gelombang P
- C = amplitudo gelombang P transmisi
- ϕ_1 = sudut pantul gelombang S
- D = amplitudo gelombang S transmisi
- ϕ_2 = sudut bias gelombang S
- α = kecepatan gelombang P
- ρ = densitas
- β = kecepatan gelombang S

Aki, Richards dan Frasier kemudian membuat pendekatan terhadap persamaan Zoeppritz [1]. Persamaan ini merupakan persamaan yang digunakan dalam analisa AVO dan atribut AVO.

$$R(\theta) = R_{po} + G \sin^2 \theta + C \tan^2 \theta \sin^2 \theta \quad (3.12)$$

Dimana,

$$R_{po} = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta V_p}{V_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right]$$

$$G = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} - 4 \left[\frac{\Delta V_s}{V_s} \right]^2 \frac{\Delta V_s}{V_s} - 2 \left[\frac{\Delta V_s}{V_s} \right]^2 \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

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

R_{po} merupakan linearisasi dari koefisien refleksi pada sudut datang sama dengan nol. G merupakan gradient dan C adalah kurvatur. Perhitungan koefisien refleksi gelombang P dari persamaan Zoeppritz disederhanakan lagi oleh Shuey (1985) menjadi [10]:

$$R(\theta) = R_p + \left(R_p A_0 + \frac{\Delta \sigma}{(1-\sigma)^2} \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \frac{\Delta \alpha}{\alpha} (\tan^2 \theta - \sin^2 \theta) \right) \quad (3)$$

Dimana,

$$\sigma = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2}$$

$$A_0 = B - 2(1+B) \frac{1-2\sigma}{1-\sigma}$$

$$B = \frac{\Delta \alpha / \alpha}{\Delta \alpha / \alpha + \Delta \rho / \rho}$$

Dengan,

- σ = Rata-rata Poisson's ratio
- $\Delta \sigma$ = Perbedaan σ yang melewati bidang batas $\sigma_2 - \sigma_1$
- α = Rata-rata kecepatan gelombang
- $\Delta \alpha$ = Perbedaan V_p yang melewati bidang batas
- θ = Rata-rata sudut datang dan sudut transmisi

ρ = Rata-rata densitas formasi

$\Delta\rho$ = Perbedaan densitas yang melewati bidang batas

Dari pendekatan Aki-Richard dan Shuey terhadap persamaan Zoeppritz, persamaan tersebut dapat diekspresikan dalam persamaan yang lebih sederhana dengan mengasumsikan sudut kecil yaitu:

$$R(\theta) = R_p + G \sin^2\theta \quad (4)$$

Persamaan ini linear jika kita mengplot R sebagai fungsi dari $\sin^2\theta$. Selanjutnya dapat dilakukan analisa regresi linear pada amplitudo seismik untuk mengestimasi nilai *intercept* (Rp) dan *gradient* (G). Tetapi, pertama harus dilakukan transformasi pada data seismik gather dari domain offset menjadi domain sudut datang.

C. Atribut AVO

Atribut AVO berguna dalam peningkatan interpretasi dan analisa reservoir hidrokarbon. Atribut AVO diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Intercept* (A)

Atribut *intercept* merupakan nilai koefisien refleksi gelombang seismik pada *zero offset* atau sudut datang nol (*zero angle axis*).

2. *Gradient* (B)

Gradient (B) merupakan kemiringan garis yang menggambarkan perubahan amplitudo terhadap sudut datang θ .

3. *Product* (A*B)

Atribut *product* merupakan atribut hasil perkalian antara *intercept* dengan *gradient*. Atribut ini digunakan sebagai identifikasi kenaikan dan penurunan amplitudo pada data seismik.

4. *Scaled Poisson's ratio* (aA+bB)

Atribut *scaled Poisson's ratio* merupakan atribut yang merepresentasikan harga *Poisson's ratio* yang terskala pada a dan b dengan asumsi lapisan bumi bersifat homogen isotropis.

5. *Fluid Factor* (FF)

Atribut *fluid factor* merupakan atribut turunan dari deviasi terhadap *mud rock line* yang digunakan untuk menunjukkan kecenderungan fluida [7]. Data yang digunakan yaitu penampang Rp dan Rs berdasarkan pendekatan persamaan Fatty (1994) [3]

D. Atribut Seismik

Atribut seismik juga merupakan sifat kuantitatif dari data seismik yang merepresentasikan besaran waktu, amplitudo, fasa, frekuensi dan atenuasi. Atribut seismik digunakan sebagai alat bantu dalam interpretasi data seismik, untuk menunjukkan anomali yang tidak terlihat jelas dalam data normal seismik [2].

1. Atribut *Instantaneous Frequency*

Atribut *Instantaneous Frequency* merepresentasikan besarnya perubahan fasa sesaat terhadap waktu atau *slope* jejak fasa yang didapatkan dari turunan pertama fasa sesaat. Atribut frekuensi sesaat memberikan informasi tentang perilaku gelombang seismik yang mempengaruhi perubahan frekuensi. Pada saat melewati gas dapat dideksi dengan adanya penurunan frekuensi, sedangkan hilangnya frekuensi tinggi menunjukkan

daerah *over pressure*. Persamaan atribut frekuensi sesaat ditunjukkan pada Persamaan (5).

$$\omega(t) = \frac{dq(t)}{dt} \quad (5)$$

q merupakan fasa sesaat yang ditunjukkan seperti Persamaan (6).

$$q = \tan^{-1} \left(\frac{f(t)}{f^*(t)} \right) \quad (6)$$

Dimana $f(t)$ merupakan data real seismik, dan $f^*(t)$ merupakan tras seismik imajiner [11].

2. Atribut *Amplitude Envelope*

Atribut *amplitude envelope* umumnya digunakan untuk mengetahui kontras *acoustic impedance* dan juga zona *bright spot*. Berdasarkan karakteristik atribut *amplitude envelope* nilai amplitudo tinggi umumnya diartikan sebagai pasir, sedangkan nilai amplitudo rendah sebagai *shale*. Persamaan fisis atribut *amplitude envelope* adalah sebagai berikut:

$$A_t = \sqrt{(f(t)^2 + f^*(t)^2)} \quad (7)$$

3. Atribut *Sweetness*

Atribut *sweetness* merupakan atribut hasil perhitungan menggunakan atribut frekuensi sesaat dan *amplitude envelope*. Untuk mendapatkan atribut *sweetness* digunakan Persamaan (8) di bawah ini.

$$\text{Sweetness} = \frac{[\text{Amplitude Envelope}]^2}{\sqrt{2} \text{Inst frekuensi}} \quad (8)$$

II. METODOLOGI

A. Data dan Alat Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data seismik CDP gather, data sumur Tole_1, data *checkshot*, data kecepatan yang digunakan untuk koreksi NMO dan data mud log. Perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data adalah Interactive Petrophysics 3.5 (IP 3.5) untuk analisa data sumur. Hampson Russel (HRS 9) untuk pengolahan data sumur dan juga data seismik. Pengolahan data sumur meliputi koreksi *checkshot*, *log correlation* dan *crossplot*. Pengolahan data seismik meliputi analisa AVO, AVO atribut dan atribut seismik.

B. Tahapan Penelitian

• Analisa Petrofisika

Analisa petrofisika dilakukan pada formasi Baturaja untuk mendapatkan daerah dengan prospek gas. Pertama dilakukan analisa kualitatif dengan mengidentifikasi zona reservoir. Selanjutnya dilakukan interpretasi kuantitatif dengan melakukan perhitungan parameter-parameter petrofisika seperti porositas, saturasi air dan permeabilitas.

• *Seismic Data Conditioning*

Dalam analisa AVO, data seismik yang digunakan harus memiliki kualitas data yang bagus dan terbebas dari *noise* sehingga perlu dilakukan *conditioning data*. Pertama yang dilakukan adalah koreksi NMO (*Normal Moveout*) karena data seismik belum mengalami koreksi NMO. Selanjutnya dilakukan filter *bandpass* untuk menghilangkan *noise* frekuensi tinggi dan rendah. Setelah dilakukan filter *bandpass* dilakukan koreksi *trim*

static, parabolic radon transform dan muting. Setelah data dianggap sudah cukup bagus dilakukan proses super gather. Dari hasil *super gather* dilakukan proses *angle gather* agar data seismik yang didapatkan semakin memiliki S/N yang tinggi. Selain itu pada proses AVO agar *offset* yang didapatkan berupa sudut datang.

• Analisa AVO

Analisa AVO dilakukan pada data seismik hasil *angle gather* dan seismic sintetis dari data sumur. Data sumur hanya digunakan sebagai validasi dari hasil analisa menggunakan data seismik. Pertama dilakukan analisa gradien untuk mengetahui perubahan amplitudo terhadap *offset*. Selanjutnya dilakukan *crossplot intercept vs gradient* untuk melihat persebaran anomali pada kuadran AVO. Setelah itu dilakukan analisa atribut AVO menggunakan atribut *intercept (A)*, *gradient (B)*, *product (A*B)*, *scaled Poisson's Ratio* dan *fluid factor*. Dari penampang atribut *intercept* dan *gradient* dilakukan *crossplot* untuk melihat dominasi *top* dan *base* reservoir pada formasi Baturaja. Dan terakhir dilakukan proses *stacking* berdasarkan sudut datang yang dipartisi dari sudut datang *near*, *mid* dan *far*.

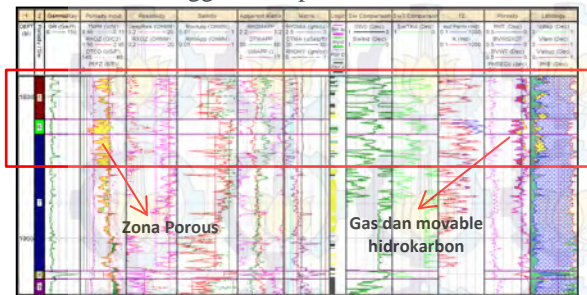
C. Atribut Seismik

Analisa atribut seismik menggunakan input data *angle stack*. Atribut seismik yang digunakan meliputi atribut frekuensi sesaat, atribut *amplitude envelope* dan atribut *sweetness*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Petrofisika

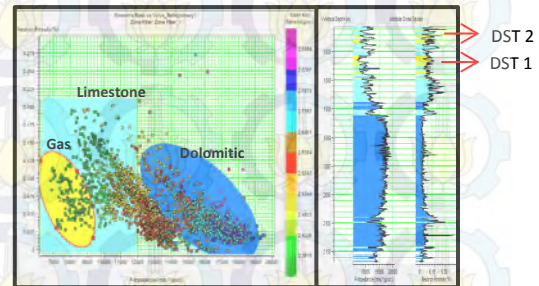
Untuk mengetahui karakteristik reservoir karbonat dan juga fluida pengisinya. pada penelitian ini dilakukan beberapa analisa data sumur melalui perhitungan properti batuan dan juga melalui *crossplot*. Pertama dilakukan interpretasi kualitatif pada sumur Tole_1 untuk mengetahui litologi penyusunnya. Selanjutnya dilakukan zonasi karena pada kedalaman tertentu terjadi perbedaan kecenderungan nilai data log. Hasil zonasi juga akan digunakan untuk perhitungan *volume clay*. Setelah menghitung *volume clay* selanjutnya adalah melakukan perhitungan porositas total, porositas efektif, saturasi air dan permeabilitas. Perhitungan saturasi air digunakan persamaan Indonesia sedangkan perhitungan permeabilitas menggunakan persamaan Timur.



Gambar 3.1 Hasil perhitungan petrofisika kedalaman 1784 m – 1940 m

Hasil perhitungan petrofisika (Gambar 3.1) terlihat adanya zona gas (warna merah) pada zona *porous* kedalaman 1775 m sampai 1850 m dengan posisi

berselang-seling. Untuk mengetahui pengaruh keberadaan gas pada reservoir tersebut dilakukan *crossplot* antara log porositas dan log *P-impedance* pada formasi Baturaja. Kurva *P-impedance* didapatkan dari perhitungan hasil perkalian data log densitas dan log *sonic* (V_p). Kemudian digunakan pula log densitas sebagai *color key*.



Gambar 3.2 Crossplot P-impedance vs porositas neutron (color key log densitas)

Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa formasi Baturaja didominasi oleh batuan karbonat *limestone* dan *dolomitic* pada bagian bawah. Batuan *dolomitic* ditandai dengan lebih besarnya nilai *P-impedance*. Pada zonasi batuan *limestone* dicoba untuk melakukan zonasi kembali pada nilai *P-impedance* yang kecil (warna kuning), ternyata dari hasil *cross section* zonasi tersebut juga merupakan bagian dari daerah yang dilakukan tes DST 1 dan DST 2. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *P-impedance* pada formasi Baturaja tidak hanya menunjukkan perubahan litologi saja namun juga dipengaruhi oleh adanya akumulasi gas. Analisa *crossplot* juga dilakukan menggunakan parameter fisika batuan yang lain (Lampiran).

Dari hasil *crossplot s-impedance* dan porositas *neutron* menunjukkan adanya pemisahan data pada litologi *limestone* dan dolomit. Keberadaan fluida gas memberikan efek mengecilnya nilai *s-impedance* karena pada zonasi nilai rendah *s-impedance* menunjukkan zona DST formasi Baturaja. *Crossplot* antara permeabilitas dan porositas efektif memberikan informasi bahwa pada formasi Baturaja bagian atas didominasi oleh nilai permeabilitas yang besar. Zonasi dilakukan berdasarkan klasifikasi nilai permeabilitas dan persebaran datanya. Dari hasil zonasi menunjukkan bahwa fluida gas formasi Baturaja menempati reservoir dengan permeabilitas yang baik.

Akumulasi gas berhubungan dengan nilai saturasi air yang rendah, sehingga zonasi dilakukan pada nilai saturasi dan porositas yang besar. Hasil *cross section* menunjukkan bahwa daerah yang dizonasi adalah zona DST formasi Baturaja. Pada *crossplot* menggunakan data parameter LMR ($\lambda \mu \rho$) menunjukkan adanya pemisahan yang dipengaruhi oleh fluida dan perbedaan litologi. Zona gas formasi Baturaja di indikasikan dengan nilai $\lambda \rho$ kecil dan nilai $\mu \rho$ besar. Parameter μ (μ) berkaitan dengan rigriditas batuan sehingga sensitif terhadap perubahan litologi. Sedangkan parameter λ (λ) berkaitan dengan inkompresibilitas sehingga sensitif terhadap fluida pori. Zona gas memiliki nilai $\mu \rho$ yang kecil karena batuan

karbonat di bagian bawah formasi baturaja memiliki litologi yang lebih *tight*. Pada batu gamping mengandung gas lebih kompresif daripada batu gamping yang tidak mengandung gas. Sehingga batu gamping yang mengandung gas memiliki nilai inkompresibilitas atau nilai Λ ρ yang rendah.

B. Analisa AVO

Analisa AVO dilakukan untuk mengetahui anomali AVO yang disebabkan oleh gas pada reservoir karbonat. Data yang digunakan merupakan data *angle gather* yang sebelumnya sudah dilakukan *conditioning data*. Dari data seismik tersebut akan ditentukan even reflektor yang akan dilakukan analisa gradien. Pada penelitian ini analisa gradien dilakukan pada zona gas DST 2 formasi Baturaja dan batuan karbonat formasi Parigi. Karbonat formasi Parigi digunakan sebagai pembandingan dari zona gas formasi Baturaja, sehingga akan diketahui perbedaan respon amplitudo pada karbonat Parigi yang dianggap kosong dan karbonat formasi Baturaja yang terisi gas. Dari proses *well seismic tie* menunjukkan bahwa *top* Parigi dan zona DST jatuh pada even *peak*, sehingga analisa gradien akan dilakukan pada even *peak* zona tersebut (Lampiran). Zona DST 2 jatuh pada even *peak* karena antara zona DST 2 dan *top* Baturaja memiliki ketebalan di bawah resolusi seismik yaitu 48 m, sehingga terdapat pada satu tubuh gelombang yang sama.

Formasi Parigi menunjukkan nilai amplitudo yang positif dan terjadi penurunan amplitudo seiring bertambahnya *offset*. Zona DST 2 formasi Baturaja memiliki amplitudo yang juga positif namun nilainya lebih rendah jika dibandingkan dengan formasi Parigi (Lampiran). Zona DST 2 formasi Baturaja menunjukkan pengurangan amplitudo yang lebih kuat seiring bertambahnya *offset*, dan bahkan mendekati nol pada *offset* jauh. Dari hasil analisa gradien dapat dilihat bahwa reservoir karbonat isi gas dan kosong memiliki perbedaan respon amplitudo, yang dicirikan dengan perubahan amplitudo terhadap *offset*. Hasil *crossplot intercept* dan *gradient* menunjukkan zona DST 2 dan Parigi terletak pada satu kuadran yang sama, namun zona DST 2 formasi Baturaja terlihat lebih mendekati *wet zone* (Gambar 1c).

Sebagai validasi analisa gradien pada data *seismic gather*, pada penelitian ini dilakukan juga analisa gradien pada sumur *Tole_1* dengan menggunakan *seismic synthetic seismogram* yang didapatkan dari persamaan Zoeppritz. Dari analisa AVO pada data sumur, amplitudo pada zona DST formasi Baturaja menunjukkan nilai yang lebih kecil dibandingkan zona formasi Parigi. Hasil analisa tersebut menunjukkan hasil yang menyerupai dengan data seismik pengukuran di lapangan. Hasil *crossplot intercept vs gradient* juga menunjukkan hasil yang mendekati sama antara data seismik dan data sumur (Lampiran). Hal ini menunjukkan bahwa penelitian ini valid karena even reflektor pada data seismik dan sumur menunjukkan kesamaan dan berkaitan.

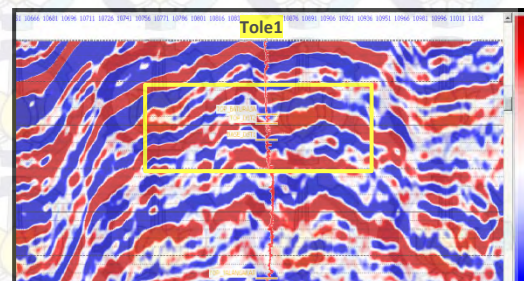
Dari analisa gradien terhadap data seismik dan data sumur menunjukkan bahwa amplitudo pada zona gas memiliki nilai yang lebih rendah yang disebabkan karena nilai koefisien refleksi yang juga lebih rendah pada zona

gas. Shuey (1985) menyatakan bahwa beberapa parameter yang mempengaruhi perubahan koefisien terhadap fungsi sudut datang adalah kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang S (V_s), densitas dan *Poisson's ratio*.

Nilai V_p , V_s dan densitas berpengaruh terhadap nilai kontras impedansi akustik, karena secara litologi formasi Baturaja dan formasi Parigi memang terletak di bawah litologi *shale* formasi Cisubuh dan Cibulakan Atas. Sehingga pada reflektor tersebut akan menghasilkan kontras impedansi yang menyebabkan nilai koefisien refleksi bernilai positif. Santoso (1995) menyatakan bahwa kuatnya reflektor sangat dipengaruhi oleh nilai *Poisson's ratio*, sehingga dari sini dapat disimpulkan bahwa perbedaan respon amplitudo atau koefisien refleksi antara *top* Parigi dan zona DST 2 formasi Baturaja disebabkan oleh adanya pengaruh nilai *Poisson's ratio* yang disebabkan adanya akumulasi gas, karena *Poisson's ratio* sangat sensitif terhadap keberadaan gas. Sehingga perbedaan besarnya amplitudo pada reflektor antara formasi Parigi dan zona DST formasi Baturaja disebabkan oleh adanya akumulasi gas

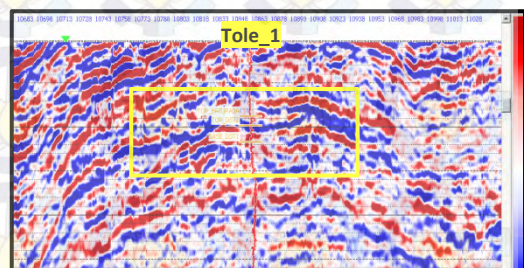
C. Atribut AVO

Atribut AVO digunakan untuk mengetahui pengaruh zona gas terhadap atribut AVO. Pada penampang hasil atribut *intercept*, zona gas menunjukkan nilai *intercept* positif yang ditunjukkan dengan *color key* warna merah. Dari informasi ini dapat diketahui bahwa zona DST terdapat pada *peak* atau amplitudo positif dan persebarannya pada data seismik.



Gambar 3.3 Penampang seismik atribut AVO *intercept*

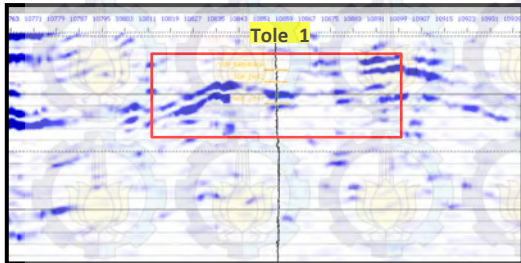
Penampang seismik hasil atribut *gradient* (B) menunjukkan nilai negatif (warna biru). Dari informasi ini dapat diketahui perubahan amplitudo terhadap *offset*. Nilai negatif pada data seismik atribut *gradient* (B) menunjukkan adanya penurunan nilai amplitudo terhadap *offset* (Gambar 3.4).



Gambar 3.4 Penampang atribut AVO *gradient*

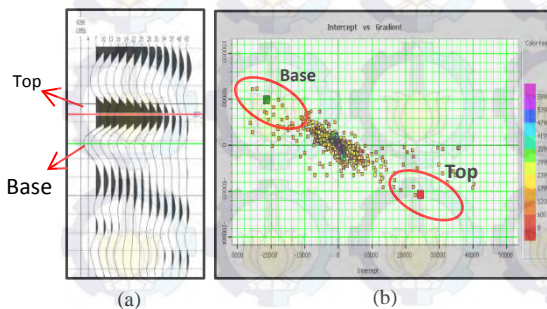
Selanjutnya, dari hasil atribut *product* (Gambar 3.5) dapat dilihat bahwa zona gas memiliki dominasi nilai

negatif (warna biru). Nilai negatif didapatkan dari hasil kali *intercept* yang memiliki nilai positif dan *gradient* yang memiliki nilai negatif. Dari penampang atribut *product* bisa diartikan pula pada dominasi warna biru atau nilai atribut *product* negatif maka terjadi pengurangan nilai amplitudo.

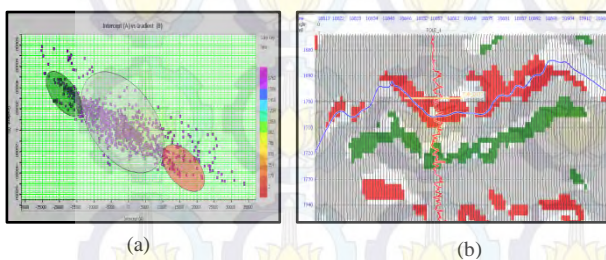


Gambar 3.5 Penampang atribut AVO *product*

Atribut AVO *intercept* dan *gradient* digunakan juga untuk analisa *top* dan *base* reservoir dengan melakukan zonasi terhadap hasil *crossplot* antara keduanya (Gambar 3.7a). zonasi didasarkan dari hasil analisa gradien *top* dan *base* reservoir dari data *seismic gather* (Gambar 3.6a).



Gambar 3.6 Analisa AVO zona gas (a) data *seismic gather*, (b) *crossplot intercept vs gradient*

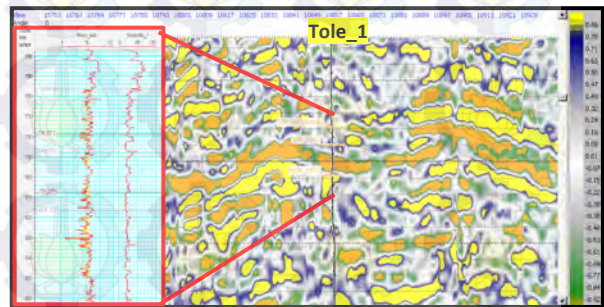


Gambar 3.7 (a) *Crossplot* atribut AVO *intercept vs gradient*, (b) hasil zonasi *crossplot* yang menunjukkan distribusi *top* dan *base* reservoir

Dari hasil analisa didapatkan persebaran *top* dan *base* reservoir pada formasi Baturaja memiliki persebaran *top* reservoir dari CDP 10820 sampai 10890, sedangkan untuk *base* reservoir dari CDP 10828 sampai 10910.

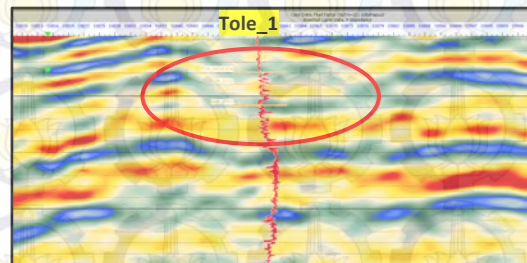
Atribut AVO lain yang digunakan adalah atribut *scaled Poisson's ratio*. Pada penampang atribut *scaled poisson's ratio* (Gambar 3.8) terlihat pada zona DST formasi Baturaja memiliki nilai *Poisson's ratio* yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan daerah di sekitarnya. Persebaran nilai *Poisson's ratio* pada data seismik terlihat memanjang pada zona DST seperti ditunjukkan pada lingkaran merah. Ross (2002) menjelaskan bahwa atribut *scaled Poisson's ratio* akan menunjukkan nilai negatif pada bagian *top* reservoir dan

nilai positif pada *base* reservoir. Nilai positif ditunjukkan dengan warna kuning sedangkan nilai negatif warna jingga, sehingga dapat dilihat dominasi persebaran *top* dan *base* reservoir pada penampang seismik.



Gambar 3.8 Penampang seismik atribut AVO *Scaled Poisson's ratio* (Insert data log *Poisson's ratio*)

Keberadaan gas dihubungkan dengan nilai *Poisson's ratio* rendah, karena pada zona gas akan menurunkan nilai kecepatan gelombang P yang berpengaruh terhadap rasio V_p/V_s dan *Poisson's ratio*.



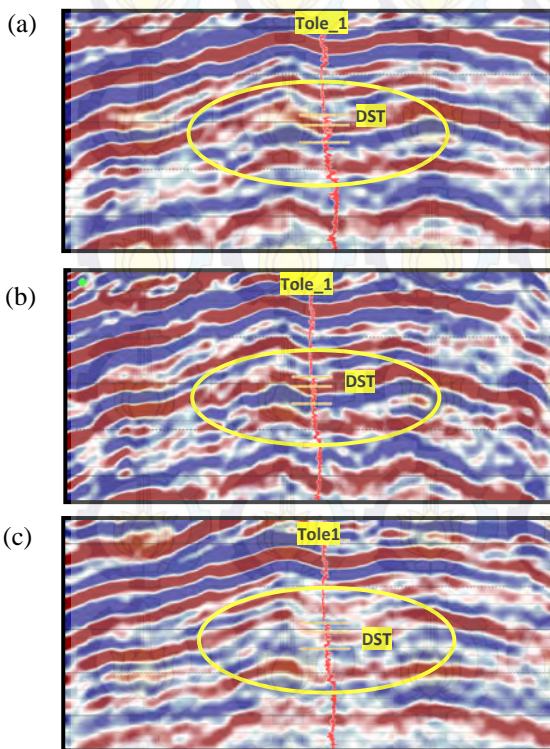
Gambar 3.9 Penampang seismik atribut AVO *fluid factor*

Gambar 3.9 menunjukkan penampang seismik hasil atribut *fluid factor*. Reservoir batu pasir yang mengandung hidrokarbon akan menunjukkan kecenderungan nilai *fluid factor* negatif, sedangkan reservoir yang berisi air menunjukkan nilai mendekati nol dan positif. Dari penampang seismik atribut *fluid factor* dapat dilihat bahwa zona DST formasi Baturaja memiliki kecenderungan nilai *fluid factor* negatif, sedangkan pada bagian bawah zona DST terlihat memiliki nilai positif. Atribut *fluid factor* umumnya digunakan sebagai interpretasi kehadiran hidrokarbon pada reservoir batu pasir. Untuk aplikasi atribut *fluid factor* pada reservoir karbonat terlihat masih banyak ambiguitas pada penampang seismik, dimana pada zona lain juga terdapat nilai *fluid factor* yang negatif.

D. Angle Stack

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk melihat keberadaan anomali AVO pada data seismik adalah dengan melakukan proses *angle range limited stack*. Pada proses ini data seismik di-*stack* berdasarkan perbedaan sudut datangnya, dimana *near offset* mengambil sudut 1° - 15° , *mid offset* mengambil sudut 15° - 29° dan *far offset* mengambil sudut 29° - 42° . Dari hasil *angle stack*, reflektor zona DST formasi Baturaja terlihat kuat pada penampang *near stack*. Pada penampang seismik *mid stack* reflektor mengalami sedikit pengurangan sedangkan pada penampang hasil *far stack* reflektor juga mengalami pengurangan sehingga

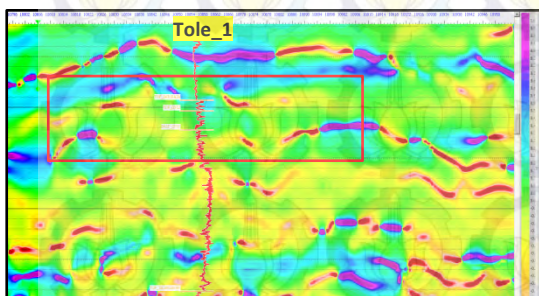
terlihat kabur dan tidak jelas (Gambar 3.10). Hal ini memperlihatkan bahwa amplitudo reflektor zona DST formasi Baturaja mengalami penurunan amplitudo seiring bertambahnya *offset*.



Gambar 3.10 Angle stack pada sudut (a) *near* (1° - 15°), (b) *Middle* (15° - 29°), (c) *Far* (29° - 42°)

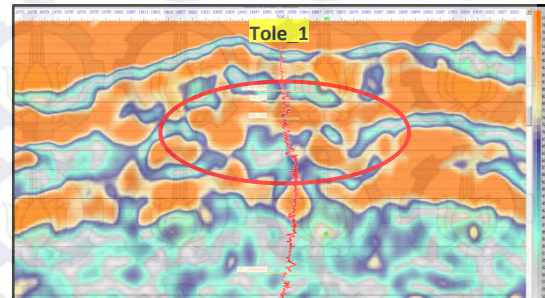
E. Atribut Seismik

Atribut *post stack seismic* digunakan untuk melihat persebaran gas dan respon masing-masing atribut seismik terhadap kehadiran gas pada reservoir karbonat. Input data yang digunakan dalam analisa atribut seismik ini adalah data *angle stack*. Atribut yang pertama digunakan adalah *Instantaneous Frequency*. Dari penampang atribut *instantaneous frequency* dapat dilihat zona DST memiliki nilai anomali rendah yang mendekati nol dan dikelilingi oleh anomali frekuensi yang negatif (Gambar 3.10). Namun, dari penampang seismik terlihat adanya ambiguitas nilai frekuensi dimana persebaran nilai frekuensi rendah terjadi pada banyak zona di formasi Baturaja. Hal ini dapat disebabkan karena formasi Baturaja yang memiliki litologi sama, yaitu batu gamping. Sehingga perlu digunakan atribut lain untuk memperjelas respon keberadaan fluida.



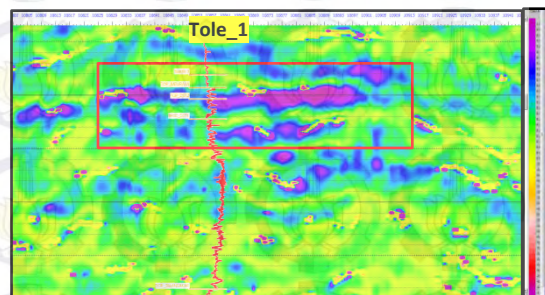
Gambar 3.11 Analisa atribut seismik menggunakan atribut *Instantaneous Frequency*

Dari penampang seismik hasil atribut *amplitude envelope* dapat dilihat bahwa zona DST formasi Baturaja (Lingkaran merah) memiliki anomali *high amplitude anomaly* yang diwakili oleh warna jingga. Pada batas bawah zona DST terlihat adanya nilai amplitudo yang tinggi (Gambar 3.11). Persebaran *high amplitude anomaly* yang diinterpretasikan akibat pengaruh gas dapat dilihat dengan jelas, namun pada kedalaman lain juga terdapat anomali yang sama.



Gambar 3.12 Analisa atribut seismik menggunakan atribut *amplitude envelope*

Dari analisa atribut *instantaneous frequency* dan *amplitude envelope*, keberadaan gas pada formasi Baturaja dapat dipetakan dan dicirikan dengan adanya *high amplitude anomaly* dan *low frequency anomaly*, namun juga masih terdapat beberapa ambiguitas pada penampang seismik. Sehingga perlu dilakukan analisa menggunakan atribut *Sweetness* yang merupakan hasil kalkulasi dari atribut *instantaneous frequency* dan *amplitude envelope*.



Gambar 3.13 Analisa atribut seismik menggunakan atribut *Sweetness*

Dari penampang seismik atribut *sweetness* sangat terlihat jelas anomali nilai *sweetness* tinggi yang menunjukkan zona gas formasi Baturaja atau zona DST (Gambar 3.12). Terlihat pula persebaran nilai atribut *sweetness* tinggi menyerupai persebaran anomali AVO pada hasil *crossplot* data seismik *intercept* dan *gradient*. Dari sini dapat dilihat bahwa atribut *Sweetness* dapat dengan baik mengidentifikasi dan memetakan adanya persebaran gas reservoir karbonat.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari Penelitian yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa:

- Zona potensi gas terdapat pada formasi Baturaja dengan kedalaman 1775 m – 1850 m dan dominasi yang berselang-seling.
- Keberadaan gas dicirikan dengan tren nilai p -impedance, saturasi air, λ ρ rendah dan nilai porositas efektif, permeabilitas, μ ρ tinggi.
- Metode AVO dapat membedakan respon gas pada batuan karbonat. Pada karbonat isi gas memiliki amplitudo yang lebih kecil serta penurunan amplitudo yang lebih drastis dibandingkan karbonat yang tidak mengandung gas
- *Angle range limited stack* dan atribut AVO (*intercept* (A), *gradient* (B) dan *product* (A*B)) memperlihatkan anomali gas karbonat *reef build up* memiliki karakteristik *dim spot*.
- Atribut *instantaneous frequency*, *amplitude envelope* dan *sweetness* dapat memperlihatkan adanya pengaruh gas, dimana atribut *sweetness* lebih bagus dalam memetakan gas karbonat *reef build up*.

B. Saran

- Dilakukan analisa AVO pada reservoir batuan karbonat yang berisi *brine* dan juga minyak.
- Perlu dilakukan analisa dengan sumur tambahan untuk melakukan validasi persebaran reservoir gas.

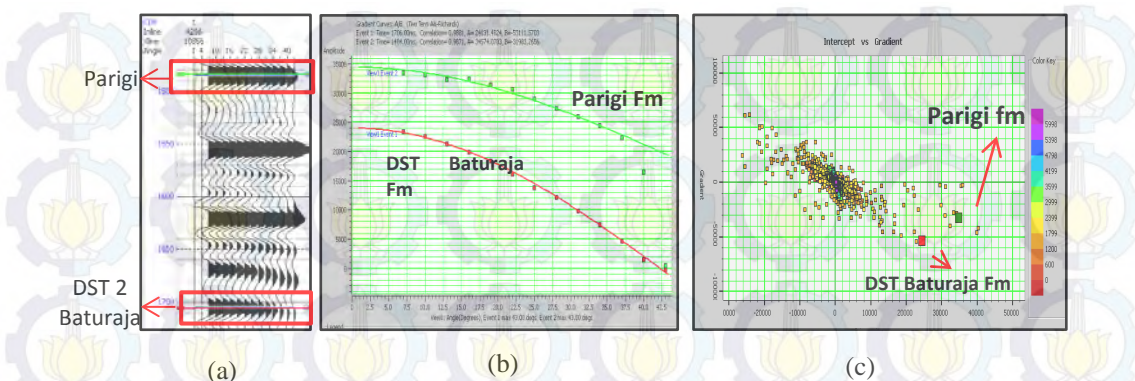
UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Pertamina EP Jakarta khususnya Bapak M. Arief akbar, Bapak Anggun Pribadi A, dan Bapak Agung Prasetyo atas dukungan dan izin yang diberikan untuk melakukan tugas akhir, serta Laboratorium Geofisika atas segala fasilitas dan bantuan terhadap penelitian ini.

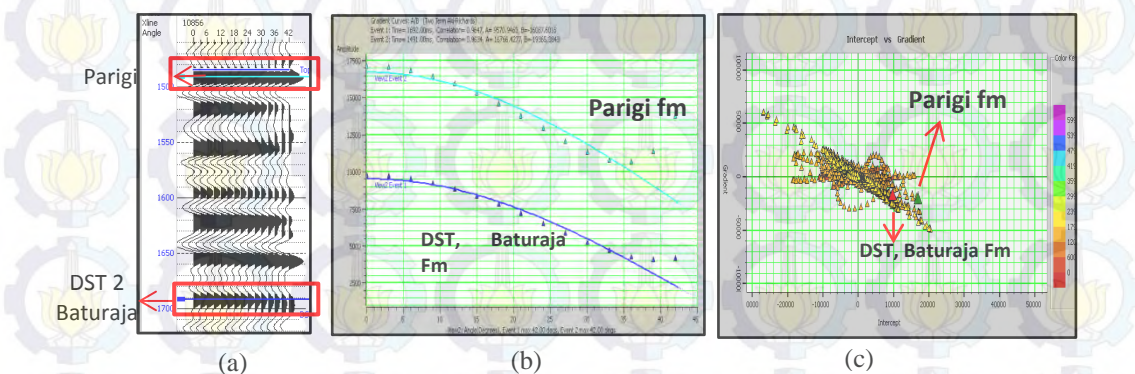
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aki, A, & Richard, P.G, 1980, *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, W.H.Freeman & Company.
- [2] Brown, A.R, 1996, *Seismic Attributes and their Classification*, The Leading Edge 15.10.
- [3] Fatti, J., Smith, G., Vail,P., Strauss, P, 1994. *Detection of gas in Sandstone reservoirs using AVO analysis: A 3-D case history using the geostack technique*. Geophysics, vol. 59, 1362-1376.
- [4] International Energy Agency, Indonesia: *Energy Profile, 2007*, <http://energiindonesia.blogspot.com/>.
- [5] Ostrander, W.J, 1984, *Plane wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence*, Geophysics, 49, 1637-1648.
- [6] Priyono, Awali, 2000, *Metode Seismik Dalam Usaha Pendeteksian Reservoir Minyak dan Gas Bumi (Penerapan Metode AVO)*, JMS Vol.5, No.1, 9-22.
- [7] Ross, Cristoper.P, 2002, *Comparison of Popular AVO Attributes, AVO Inversion, and Calibrated AVO Preditions*, The Leading Edge, March 2002, pages 244-252.
- [8] Rutherford, S, & William, R.H, 1989, *Amplitude Versus Offset variation in Gas Sands*, Geophysics. Vol. 54, no.6, 680-688.
- [9] Santoso, D., Alam, S., Hendraya, L., Alfian., Sulistyono., Munadi, S, 1995, *Estimation of Limestone Reservoir Porosity by Seismic Attribute and AVO Analysis*, exploration Geophysics, No.26, 437-443.
- [10] Shuey, R.T, 1985, *A Simplification of the Zoeppritz equation*, Geophysics, vol. 50, no. 4, hal. 609-614.
- [11]Taner, M.T., Koehler. F., Sheriff, R. E, 1979, *Complex seismic trace analysis*, Geophysics, Vol. 44, No. 6, hal. 1041-1063.
- [12]Zoeppritz, R, 1919, *On the reflection and propagation of seismic waves*, Erdbebenwellen VIII B; Gottinger Nachrichten I, 66-68.

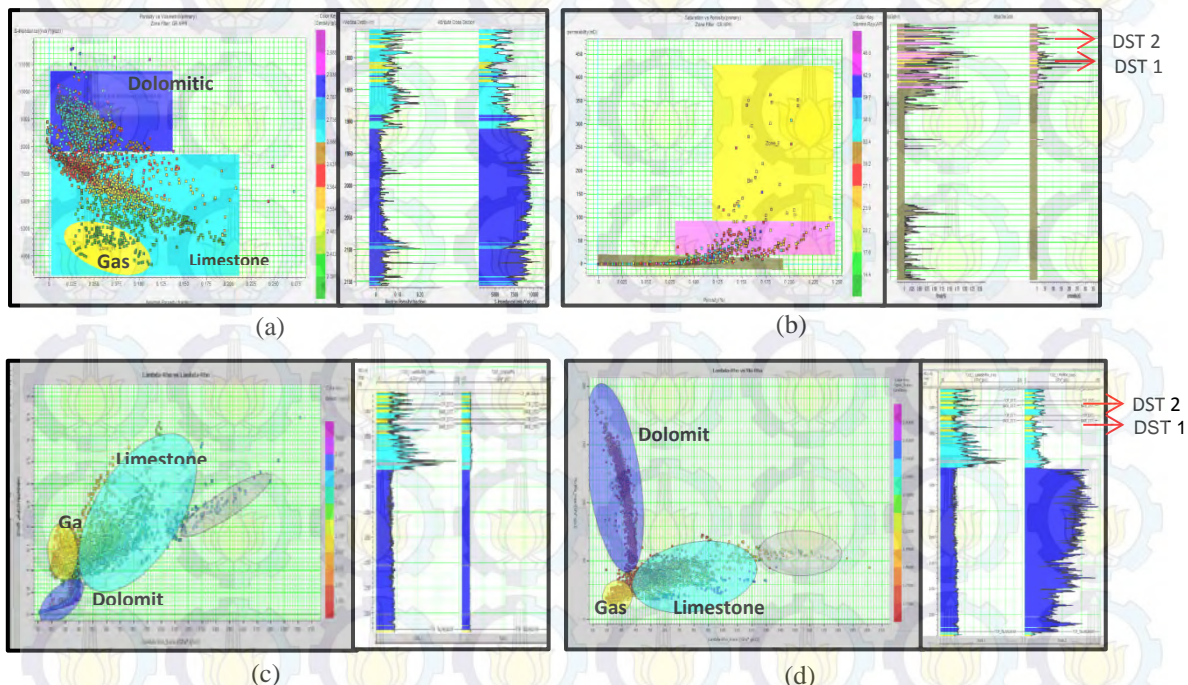
LAMPIRAN



Gambar 1—Analisa AVO (a) Data seismik *angle gather* (b) Analisa gradien (c) *Crossplot intercept vs gradient*



Gambar 2 — Analisa AVO (a) Data seismik *angle gather* (b) Analisa gradien (c) *Crossplot intercept vs gradien*.



Gambar 3— Crossplot data sumur menggunakan parameter fisika batuan (a) *s-impedance vs porositas neutron*, (b) *permeabilitas vs porositas efektif*, (c) *Lambda-rho vs Lambda/Mu*, (d) *Lambda rho vs Mu rho*.