

**PENGUNAAN METODE EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE  
UNTUK MEMISAHKAN LITOLOGI DAN FLUIDA : STUDI KASUS  
RESERVOAR KARBONAT PADA LAPANGAN “X”  
DI JAWA BARAT UTARA**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains**

**Dyah Woelandari  
0806421003**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM PASCASARJANA FISIKA  
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR  
JAKARTA  
NOVEMBER 2010**

## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Dyah Woelandari  
NPM : 0806421003  
Program Studi : Geofisika Reservoar  
Judul Tesis : Penggunaan Metode Extended Elastic Impedance  
Untuk Memisahkan Litologi dan Fluida : Studi  
Kasus Reservoar Karbonat Pada Lapangan "X" di  
Jawa Barat Utara

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Kekhususan Geofisika Reservoar, Program Pascasarjana Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Abdul Haris (.....)

Penguji : Prof. Dr. Suprajitno Munadi (.....)

Penguji : Dr. Ricky Adi Wibowo (.....)

Penguji : Dr Carlos Tarazona (.....)

Ditetapkan di : Salemba, Jakarta  
Tanggal : 26 November 2010

## ***KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH***

Pertama sekali, saya ingin mengucapkan terimakasih dan syukur yang sedalam-dalamnya kepada Allah swt, Tuhan semesta alam yang telah mengijinkan saya mendapatkan sedikit tambahan ilmu lagi dalam menjalani hidup ini dengan selesainya tulisan ini.

Saya juga ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada Yayat Supriatna sebagai pembimbing informal yang telah memberikan kesempatan saya mempelajari lebih dalam mengenai EEI, yang telah dengan sabar menerima saya malam-malam bertamu dan membagikan ilmunya dengan sepenuh hati. Termasuk membiarkan Ibu Tuti, Fachri, Fadil, Hasna dan Rachma terganggu dengan kedatangan saya berkali-kali ke rumahnya.

Terima kasih tak terhingga juga saya sampaikan kepada Dr. Abdul Haris untuk semua petunjuk dan arahnya selama saya menyelesaikan tulisan ini, dan yang telah memberikan saya kebebasan dalam penyusunannya.

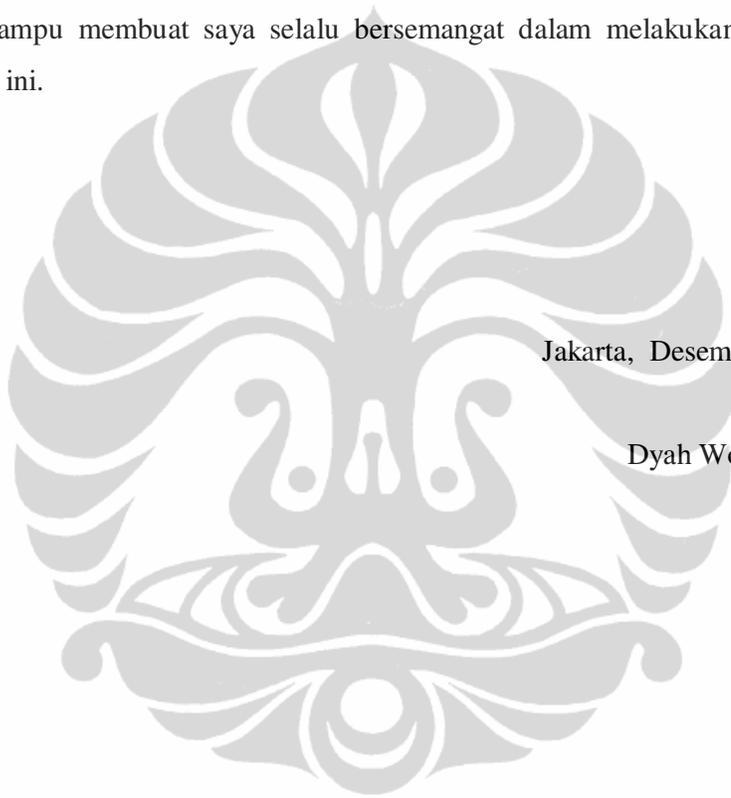
Juga kepada bapak-bapak penguji, Prof. Dr. Suprajitno Munadi, Dr. Carlos Tarazona dan Dr. Ricky Adi Wibowo terima kasih atas waktu dan kesediaannya datang pada saat ujian sidang, dan semua masukan-masukan yang sangat berarti.

Terima kasih juga tak lupa untuk teman seperjuangan saya, Prawoto dalam menyelesaikan tahap strata ini, tanpa berbagai bantuan dan dorongannya mungkin saya tidak sampai pada tulisan ini.

Terima kasih sedalam-dalamnya juga buat Ibu dan bapak, yang selalu menyayangi, mendoakan dan memberikan semangat dengan nasihat-nasihatnya buat saya, juga yang telah memberikan bekal yang berharga untuk selalu menghargai ilmu. Juga kepada semua kerabat di Bandung dan Singapore. Bude, Pakde, Ninik, Raras, Dhimas, Tante Not, Kevin, Dio, Okoh, Ira, Indah, Daning dan Bagas. Terutama Okoh, untuk diskusi-diskusi dan supportnya lewat messenger engine nya.

Terima kasih juga untuk semua teman-teman di UI dan di tempat saya bekerja, PHE-ONWJ, terima kasih atas semua dukungan dan diskusinya.

Yang terakhir tapi yang paling berarti dalam hidup saya, ucapan terimakasih saja sepertinya tidak cukup untuk suami tercinta, 'ayah' Leon yang tak pernah putus memberikan semangat, dukungan, bantuan, pengertian, kesabaran dan pengorbanan yang luar biasa besar buat saya. Juga anak-anak tersayang, Alia dan Ardyan yang telah memberikan motivasi terbesar bagi hidup saya dan mampu membuat saya selalu bersemangat dalam melakukan apapun dalam hidup ini.



Jakarta, Desember 2010

Dyah Woelandari

**LEMBAR PERNYATAAN**  
**PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH**  
**UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dyah Woelandari  
NIM : 0806421003  
Program Studi : Geofisika Reservoir  
Jurusan : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti-Non Eksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Penggunaan Metode Extended Elastic Impedance untuk Memisahkan  
Litologi dan Fluida : Studi Kasus Reservoir Karbonat Pada Lapangan "X"  
di Jawa Barat Utara**

beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmediakan, mengelola dalam bentuk pangkalan data, mendistribusikannya, dan menampilkan di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama telah mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, November 2010

(Dyah Woelandari)

## ABSTRAK

Metode AVO yang bekerja pada domain reflektifitas secara umum dapat dipakai untuk mengidentifikasi dan menganalisa adanya anomali hidrokarbon, akan tetapi pada kasus-kasus tertentu diperlukan analisa yang lebih dalam untuk mendeteksi keberadaan hidrokarbon. Dalam studi ini digunakan workflows Extended Elastic Impedance (EEI) untuk memetakan lapisan karbonat dan kandungan fluidanya di lapangan "X" Jawa Barat Utara.

Dalam studi ini Metode Extended Elastic Impedance (EEI) akan dikombinasikan dengan metode Color Inversion untuk menghasilkan peta penyebaran fluida (gas) dan litologi.

Identifikasi reservoir dilakukan dengan cara *cross correlation* antara kurva EEI dengan kurva GammaRay sedangkan untuk identifikasi kandungan fluidanya, dilakukan *cross correlation* antara kurva EEI dengan Resistiviti. Metoda *cross correlation* tersebut dilakukan dengan increment sudut  $\chi = 10^0$  pada sumur lapangan dari sudut  $-90^0$  sampai dengan  $90^0$ . Hasil nilai  $\chi$  (chi) dengan koefisien korelasi terbesar yang didapatkan kemudian ditransformasikan ke dalam nilai sudut datang ( $\theta$ ) dengan menggunakan hubungan  $\tan \chi = \sin^2 \theta$ . Sudut  $\theta$  (teta) tersebut kemudian digunakan dalam kombinasi proyeksi linier antara inversi data seismik near dan far.

Aplikasi metode EEI pada studi ini berhasil memperlihatkan pola penyebaran reservoir dan kandungan fluida (gas) nya sehingga selanjutnya bisa digunakan untuk keperluan pengembangan lapangan "X" di Jawa Barat Utara.

## ***ABSTRACT***

AVO method that works in reflectivity domain used to identify and analyze hydrocarbon anomaly. But, in some cases we need deeper analysis to predict the existence of hydrocarbon. In this study we use EEI workflows to predict lithology and fluid distribution of carbonate reservoir in “X” field, at North West Java basin.

In this study, Extended Elastic Impedance (EEI) as an extension from Elastic Impedance (EI) method will be combined with Color Inversion method to predict lithology from fluid (gas).

Cross correlation between EEI curve with Gamma Ray curve was used as a lithology identification and cross correlation between EEI curve with Resistivity curve as a fluid identification. The cross correlation was conducted every  $10^0$  of  $\chi$  (chi) value between  $-90^0$  to  $90^0$ . The  $\chi$  (chi) with the biggest coefficient correlation value then will be transformed to the angle of incident  $\theta$  (teta) thru equation :  $\tan \chi = \sin^2 \theta$ . Furthermore, the lithology and fluid impedance can be obtained by projecting seismic near and far inverse volume with  $\theta$  (teta) as an angle projection .

The result of EEI method in this study has been successfully predicting lithology and fluid (gas) distribution, therefore this method is applicable for field development purposes for “X” field at North West Java area.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	II
KATA PENAGNANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH .....	III
LEMBAR PERNYATAAN.....	V
ABSTRAK .....	VI
ABSTRACT .....	VII
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>X</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. IDENTIFIKASI MASALAH.....	2
1.3. MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN .....	2
1.4. SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
<b>BAB 2. GEOLOGI LAPANGAN “X” DI JAWA BARAT UTARA .....</b>	<b>4</b>
<b>BAB 3. DASAR TEORI.....</b>	<b>8</b>
3.1. IMPEDANSI AKUSTIK .....	8
3.2. INVERSI SEISMIK.....	8
3.3. ANALISA SENSITIVITAS .....	11
3.4. EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE .....	12
3.5. FLUID REPLACEMENT MODELLING .....	14
3.6. AVO .....	18
<b>BAB 4. PENGOLAHAN DATA .....</b>	<b>20</b>
4.1. DATA .....	20
4.2. METODE PENGOLAHAN DATA .....	20
4.3. METODE CROSSPLOT LMR SEBAGAI PEMBANDING METODE EEI.....	21
4.4. DIAGRAM ALIR STUDI.....	21
4.5.1. <i>Penentuan Pseudo Gelombang S, VpseudoS.....</i>	<i>22</i>
4.5.2. <i>Fluid Replacement Model .....</i>	<i>23</i>
4.5.3. <i>Lambda-Mu-Rho dan AVO.....</i>	<i>25</i>
4.5.4. <i>Extended Elastic Impedance.....</i>	<i>26</i>
4.5.5. <i>Filter Band Pass.....</i>	<i>26</i>
4.5.6. <i>Koefisien Korelasi antara kurva EEI dengan GR dan Resistivity.....</i>	<i>27</i>
4.5.7. <i>Ikatan Sumur dan Data Seismik (Seismic Well Tie).....</i>	<i>27</i>
4.5.8. <i>Pengolahan Data Seismik pada Lapangan “X” .....</i>	<i>29</i>
<b>BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
5.1. SENSITIVITAS AVO.....	32
5.2. SENSITIVITAS LMR.....	35
5.3. EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE PADA SUMUR REFERENSI M-01.....	36
5.4. EXTENDED ELASTIC IMPEDANCE PADA SUMUR WET A-04 DI LAPANGAN X .....	37
5.5. EXTENDED ELASTIC IMPEDACE PADA SUMUR GAS A-05 DI LAPANGAN X .....	39
5.6. ANALISA DATA SEISMIK .....	42
5.5.1. <i>Impedansi Litologi.....</i>	<i>42</i>
5.5.2. <i>Impedansi Fluida.....</i>	<i>44</i>
<b>BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>48</b>
6.1. KESIMPULAN .....	48
6.2. SARAN.....	49
<b>REFERENSI.....</b>	<b>50</b>

LAMPIRAN A .....	52
LAMPIRAN B .....	53
LAMPIRAN C .....	55
LAMPIRAN D .....	57



## DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Cekungan Arjuna yang mengapit akumulasi hidrokarbon di dalam daerah konsesi (Unpublished report, ARCO)
- Gambar 2.2 Stratigrafi Cekungan Utara Jawa Barat
- Gambar 3.1 Matching operator yang dihasilkan dari cross-matching antara data seismic dengan hasil inverse sparse spike
- Gambar 3.2 Perbandingan antara mathing operator (pink) dan colored inversion (biru)
- Gambar 3.3 Plot antara kecepatan dengan saturasi air
- Gambar 3.4 Plot antara density dengan saturasi air
- Gambar 3.5 Hubungan antara offset dengan sudut datang ( $\theta$ ) yang terekam dalam titik reflektor yang sama (Chiburis et al., 1993)
- Gambar 4.1 Diagram Alir studi dengan metode EEI yang menggunakan analisa sumur dan data seismic untuk menentukan nilai FI dan LI
- Gambar 4.2 Crossplot antara gelombang P,  $V_p$  dengan gelombang S,  $V_s$  dari sumur M-01 untuk mendapatkan fungsi linier yang dipakai menentukan nilai Pseudo- $V_s$
- Gambar 4.3 Plotting Pseudo  $V_s$  ( $S\text{-wave\_math\_new}$ ) yang di overlay dengan nilai  $V_s$  (DTSM), menunjukkan fungsi linier yang dipakai relative dapat mewakili nilai  $V_s$  yang sebenarnya.
- Gambar 4.4. FRM 40% pada sumur wet M-01 kasus blocking, menunjukkan bahwa besaran  $V_p$ ,  $V_s$  dan  $R_{hob}$  berubah pada kasus gas cocok dengan pemodelan AVO dimana pada kasus gas nilai amplitudanya membesar dengan penambahan angle
- Gambar 4.5 FRM 40% pada kurva sumur wet M-01, kurva merah menunjukkan nilai asal, dan kurva biru menunjukkan nilai setelah sumur mengalami FRM 40%
- Gambar 4.6 Penentuan Frekuensi dominan pada data lapangan "X" yang menghasilkan frekuensi batas bawah antara 8-10 Hz dan frekuensi batas atas 110-120 Hz.

- Gambar 4.7 Wavelet hasil ekstraksi yang dipakai untuk melakukan *seismic well tie* pada sumur A-04
- Gambar 4.8 Fasa yang dipakai untuk melakukan ekstraksi wavelet dengan metode statistic pada sumur A-04
- Gambar 4.9 Seismic well tie. Pada gambar sebelah kanan adalah penampang seismik yang melewati sumur A-05, tampak sudah pada posisi yang sesuai dengan kurva  $V_p$  setelah koreksi checkshot.
- Gambar 4.10 Post stack data seismic, diambil penampang arah strike line dari arah utara ke selatan yang melewati sumur A-05.
- Gambar 4.11 Peta struktur kedalaman pada lapangan "X", garis kuning menunjukkan arah strike line yang dipakai untuk penampang melintang data seismik. Tampak posisi sumur A-02, A-04 dan A-05 pada peta
- Gambar 4.12 Seismik Near Inverse pada penampang melintang arah utara selatan melewati sumur A-05 seperti pada gambar 4.10.
- Gambar 4.13 Seismik Far Inverse pada penampang melintang arah utara selatan melewati sumur A-05 seperti pada gambar 4.10.
- Gambar 5.1 Respon AVO pada data seismik synthetic angle gather pada sumur A-04
- Gambar 5.2 Data near angle stack dan far angle stack yang memperlihatkan perubahan amplitudo yang hampir tidak tampak untuk data post stack nya untuk sumur wet A-04
- Gambar 5.3 Respon AVO pada data seismik synthetic angle gather pada sumur A-05
- Gambar 5.4 Data near angle stack dan far angle stack yang memperlihatkan perubahan amplitudo yang hampir tidak tampak untuk data post stack nya untuk sumur wet A-05
- Gambar 5.5 Crossplot antara  $\mu$ -rho dan  $\lambda$ -rho dengan Gamma Ray sebagai color key. Dengan mengabaikan nilai kedalaman, data untuk kasus wet dan gas digabung dalam satu sumur cross section. Dari sini tampak bahwa area pemisahan di cross plot

menggambarkan mana daerah yang wet dan mana daerah yang gas pada cross section tersebut.

- Gambar 5.6 EEI pada sumur M-01 dikorelasikan dengan kurva GR untuk menunjukkan korelasi litologi. Tampak bahwa EEI  $90^{\circ}$  mempunyai derajat korelasi yang paling tinggi terhadap kurva GR (Correlation Coefficient = 0.75).
- Gambar 5.7 EEI pada sumur M-01 dikorelasikan dengan kurva Resistivity untuk menunjukkan korelasi fluida. Tampak bahwa EEI  $-30^{\circ}$  mempunyai derajat korelasi yang paling tinggi terhadap kurva Resistivity (Corr Coef = 0.9).
- Gambar 5.8 Nilai gelombang S, Pseudo Vs (S\_wave\_math) yang didapatkan untuk sumur wet lapangan X, A-04.
- Gambar 5.9 EEI pada sumur A-04 dikorelasikan dengan kurva GR untuk menunjukkan korelasi litologi. Tampak bahwa EEI  $90^{\circ}$  mempunyai derajat korelasi yang paling tinggi terhadap kurva GR (Correlation Coefficient = 0.90). Ini sesuai dengan sumur model M-01.
- Gambar 5.10 EEI pada sumur M-01 dikorelasikan dengan kurva Resistivity untuk menunjukkan korelasi fluida. Tampak bahwa EEI  $30^{\circ}$  mempunyai derajat korelasi yang paling tinggi terhadap kurva Resistivity (Corr Coef = 0.68).
- Gambar 5.11 EEI plot terhadap Gamma Ray, plot ditunjukkan untuk sudut  $30^{\circ}$  sampai dengan  $90^{\circ}$  Koefisien Korelasi terbesar ada pada sudut  $90^{\circ}$  yaitu 0.722 (plot lengkap ada pada lampiran).
- Gambar 5.12 EEI plot terhadap Gamma Ray, plot ditunjukkan untuk sudut  $-60^{\circ}$  sampai dengan  $0^{\circ}$  Koefisien Korelasi terbesar ada pada sudut sekitar  $-30^{\circ}$  yaitu 0.81 (plot lengkap ada pada lampiran).
- Gambar 5.13 Interpretasi Top Pre-Parigi (line biru) dan Base PreParigi (line pink) yang membatasi reservoir Pre-Pargi di lapangan "X", dengan wavelet yang menunjukkan EEI  $90^{\circ}$ . Tampak pada gambar wavelet tie dengan inverse far stack volume.

Gambar 5.14 adalah gambaran ekstraksi amplitudo pada inverse far stack volume ditumpuk dengan kontur kedalaman lapisan Top Pre-Parigi

Gambar 5.15 Formulasi near dan far inverse stack terhadap sudut  $\chi$  (chi)

Gambar 5.16 Ekstraksi amplitudo pada kombinasi  $0.65 \cdot \text{Near} - 0.76 \cdot \text{Far}$  inverse volume, yang diharapkan menunjukkan pola penyebaran fluida. Sumur A-05 merupakan sumur gas dan sumur A-04 merupakan sumur wet dan sumur A-02 merupakan sumur yang sedikit mengandung gas



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pada umumnya, AVO bekerja pada domain reflektifitas, dimana plot intercept terhadap gradien (A vs B) merupakan metode yang sudah umum dipakai untuk mengidentifikasi dan menganalisa anomali hidrokarbon, terutama yang berhubungan dengan pasir gas (Castagna and Swan, 1997)

Crossplot AIGI merupakan cara yang cukup efektif dalam memvisualisasikan perilaku AVO untuk mendapatkan gambaran rock properties pada data seismic.

Attribute hasil inversi seismic, antara lain Acoustic Impedance selama ini digunakan dalam prakteknya untuk membantu membedakan litologi dan fluida, namun dalam kasus-kasus tertentu pemisahan litologi dan fluida ini tidak memberikan gambaran yang jelas, hal ini dikarenakan Acoustic Impedance hanya merupakan fungsi dari gelombang P dan densitas,  $\rho$  saja. Crossplot antara Acoustic Impedance, AI dan Gradien Impedance, GI diharapkan memberikan pola sebaran yang dapat memperlihatkan perbedaan antara litologi dan fluida. Gradien Impedance, GI sebagai sumbu Y dan Acoustic Impedance, AI sebagai sumbu X. Crossplot ini mempunyai konsep yang sama seperti crossplot reflektifitas antara intercept dan gradien yang kita kenal pada workflows AVO tetapi dalam bentuk Impedance. Dimana Acoustic Impedance, AI merupakan fungsi dari kecepatan gelombang-P,  $V_p$  dan densitas  $\rho$  sementara Gradien Impedance, GI merupakan fungsi dari kecepatan gelombang-s,  $V_s$  dan densitas,  $\rho$

Secara umum, Extended Elastic Impedance (EEI) didefinisikan sebagai range antara Acoustic Impedance (AI) dan Gradien Impedance (GI) yang dikontrol oleh sudut  $\chi$ , sebagai fungsi dari  $\theta$  yang merupakan sudut datang dari target horizon. Sudut  $\chi$  merupakan sudut rotasi dari crossplot tersebut. Sehingga bisa dikatakan bahwa EEI merupakan nilai proyeksi pada domain AI GI.

Crossplot AIGI ini memungkinkan untuk menentukan proyeksi seismic AVO untuk memaksimalkan properti tertentu, seperti memisahkan antara hidrokarbon dengan brine sand atau antara sand dan shales.

Pada studi kasus di lapangan “X” cekungan Jawa Barat Utara ini akan diterapkan metode EEI untuk mendeteksi pemisahan litologi dan fluida sehingga didapatkan peta sebaran reservoir yang dibedakan dari peta sebaran gas pada formasi Pre-Parigi.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Evaluasi cekungan hidrokarbon semakin hari memerlukan evaluasi yang semakin detail. Karena jumlah hidrokarbon yang semakin berkurang. Sebaran hidrokarbon yang pada jaman dulu dapat ditentukan hanya dengan memetakan struktur bawah permukaan tanpa proses dan evaluasi lanjut tidak dapat lagi dilakukan pada masa sekarang ini. Adanya ketidakpastian antara sebaran litologi dan sebaran fluida pada analisa amplitude seismic biasa menyebabkan kerancuan dalam penentuan sumur lubang bor untuk mengangkat hidrokarbon, karenanya beberapa permasalahan menyangkut itu perlu dirumuskan antara lain ;

- Pemodelan sumur ideal yang mempunyai data-data kurva yang lengkap sebagai acuan dalam analisa selanjutnya pada reservoir karbonat
- Pemodelan sumur-sumur di lapangan untuk menurunkan besaran-besaran yang diperlukan
- Pemodelan dari data seismic untuk menurunkan besaran yang diperlukan
- Pemodelan pemetaan litologi dan fluida pada lapangan yang dievaluasi

## **1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah mengkombinasikan metode secara alternative pada besaran Lamda Mu Rho dan Elastic Impedance untuk mengidentifikasi sebaran litologi dan fluida

Tujuan penelitian ini adalah melakukan interpretasi untuk keperluan pengembangan evaluasi lapangan X di cekungan Jawa Barat bagian utara, dimana dalam perkembangannya, evaluasi ini memerlukan studi yang lebih dalam tidak hanya untuk menentukan bentuk struktur dan keberadaan hidrokarbon.

#### 1.4. Sistematika Penulisan

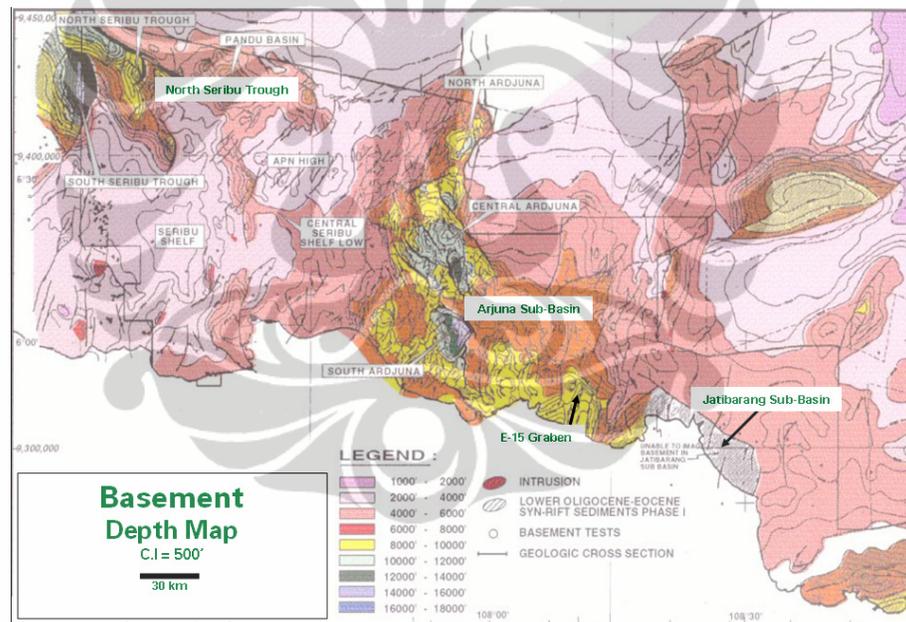
Sistematika penulisan tesis ini akan dituturkan dalam enam bab yang masing-masing memberikan pembahasannya sendiri-sendiri, terdiri dari :

- Bab 1, yang akan membahas latar belakang dan identifikasi permasalahan, tujuan dan maksud dari penelitian ini, serta sistematika penulisannya.
- Bab 2, akan membahas dasar teori yang menjadi pijakan dalam melakukan penelitian dalam tesis ini. Dalam bab ini akan dibahas teori-teori pendukung seperti teori Inversi dan Impedansi Akustik dan teori Extended Elastic Impedance, Fluid Replacement Model dan AVO
- Bab 3, adalah tinjauan geologi daerah penelitian yaitu blok X pada cekungan Jawa Barat bagian Utara. Pembahasan geologi umum, stratigrafi dan petroleum system akan dipaparkan disini. Report-report peneliti pada lapangan ini akan menjadi acuan untuk sumber tulisan pada bab ini.
- Bab 4, akan membahas data apa yang diperlukan dan cara pengolahannya untuk mendapatkan hasil yang diharapkan dan juga akan membahas diagram alir pengerjaan daerah penelitian ini.
- Bab 5, akan dijelaskan analisa dari hasil pengolahan data di bab sebelumnya
- Bab 6, yang merupakan bab terakhir akan memberikan kesimpulan yang didapat dari pembahasan dua bab sebelumnya. Juga akan dituliskan saran yang diperlukan sehubungan dengan penelitian ini.

## BAB 2. GEOLOGI LAPANGAN “X” DI JAWA BARAT UTARA

### 2.1. Stratigrafi Lapangan “X”

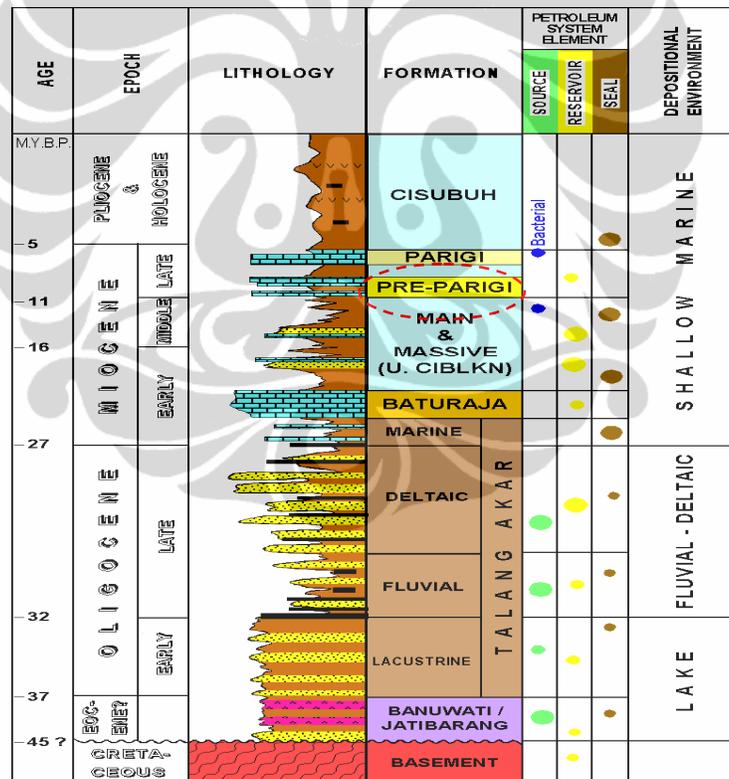
Lapangan “X” di Cekungan Jawa Barat Utara terletak sekitar 100 km lepas pantai ke arah utara dari kota Jakarta. Daerah konsesi lapangan “X” ini terletak di bagian lepas pantai dari cekungan Jawa Barat Utara yang mana merupakan sebuah cekungan zaman tersier dan berbentuk asimetris dengan arah barat daya – timur laut yang terletak di sebelah selatan tepian lempeng benua Sunda yang terbentuk sebelum Kretaseus Akhir. Hal tersebut bisa dibagi, dari barat ke timur, ke dalam Palung *North Seribu*, Cekungan Arjuna, *E-15 Graben* dan cekungan Jatibarang (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Cekungan Arjuna yang mengapit akumulasi hidrokarbon di dalam daerah konsesi (Unpublished report, ARCO)

Hal yang paling penting dari bagian-bagian tersebut adalah cekungan Arjuna, yang mengapit akumulasi hidrokarbon di dalam kontrak area. Cekungan ini, yang dibagi menjadi sub cekungan bagian utara (sekitar kedalaman 14000 ft ke batuan dasar) dan bagian selatan (sekitar 18000 ft ke batuan dasar), berisi suksesi Syn rift – Rift fill berumur Oligosen Bawah sampai Atas yang pada

umumnya terdiri dari endapan *non marine* dan kemudian ditindih oleh suksesi Oligosen Atas sampai Miosen Bawah berupa endapan paralik sampai sedimen marine. Saat fasa rifting, rotasi blok utama dan peristiwa trunkasi (pemotongan) menjelaskan dua fasa dari sedimentasi Syn – Rift yaitu yang pertama formasi ekuivalen Jatibarang dan fasa yang kedua adalah Formasi Talang Akar Kontinen. Sedimen syn – rift berkisar dari fasies fluvial yang terangkut secara aksial dan serpih/batubara endapan lakustrin di pusat–pusat cekungan, hingga batuan klastik berbutir kasar yang tidak matang berasal dari batuan dasar pada tepian Rift (Rift margin). Aktifitas vulkanisme secara jelas tercatat dalam fasa pertama. Pada saat Oligosen paling akhir, aktifitas rifting secara umum telah berhenti dan daerah Arjuna berkembang menjadi suatu daratan pesisir terbentang mendatar yang ekstensif.



Gambar 2.2 Stratigrafi Cekungan Utara Jawa Barat (Unpublished Report, ARCO)

Juga diendapkan batuan sedimen delta *post rift* yang berupa batubara, batulempung delta depan dan batupasir estuarine (Talang Akar Delta) dengan asal pengendapan pada umumnya dari arah Utara dan Barat.

Dengan menerusnya penurunan lendut (*flexural subsidence*) dan muka air laut yang relatif naik pada jaman Miosen, terendapkan karbonat laut dangkal (Baturaja), serpih, batulanau dan batupasir dekat dengan pantai (Main – Massive) dan *build up* karbonat (Parigi dan Pre parigi).

Target Formasi dari lapangan ini adalah Formasi Pre-Parigi. Secara umum gambaran Formasi di Cekungan Jawa Barat bagian Utara dapat dilihat pada gambar 2.2. Stratigrafi Cekungan Jawa Barat Utara yang digambarkan pada gambar 2.2 menunjukkan sekuen sediment yang mulai dari umur Eosen sampai Kuartar. Pengendapan yang paling tua adalah Formasi Jatibarang pada umur Eosen tengah sampai Oligosen yang terhampar di atas batuan dasar pre-tercier secara tidak selaras (*unconformity*). Formasi Jatibarang adalah sekuen sedimen yang tebal terdiri dari batuan vulkanik tuff dan batuan pasir vulkanik klastik yang secara seragam berselang seling dengan andesit dan lava basalt.

Lower Cibulakan terhampar secara tidak selaras diatas Formasi Jatibarang . Lower Cibulakan ini terdiri dari Talang Akar dan limestone (*gamping*) di Baturaja. Talang Akar yang utama terdiri dari lapisan lempung yang disisipi oleh batu pasir, batu lanau dan batu bara. Batas terbawah dari formasi Talang Akar merupakan batas yang tidak selaras dengan formasi Jatibarang pada daerah sub-cekungan Jatibarang atau merupakan batas yang tidak selaras dengan batuan beku atau basemen metamorfic di seluruh area. Baturaja limestone terhampar secara selaras di atas Talang Akar. Hampir seluruh unit ini terdiri dari limestone. Dolomit mungkin akan berkembang secara lokal.

Upper Cibulakan terdiri dari claystone yang berselang seling dengan dari batu pasir glauconitic dengan ukuran butir sangat halus sampai medium. Limestone yang tipis sampai tebal ada pada bagian atas (*upper part*). Di daerah offshore, sekuen ini dibagi dalam tiga unit yaitu “Massive”, “Main” dan “Post Main”. Di atas Upper Cibulakan ini menumpang lapisan Parigi limestone.

Limestone ini biasanya berada pada facies biostromal dan biohermal dengan porositas yang baik. Sedimen-sedimen bagian atas di Cekungan Jawa

Barat Utara adalah Formasi Cisubuh. Litologinya biasanya adalah batu lempung selingan batu lanau yang sangat tipis dan batu pasir diantaranya.

## 2.2. Petroleum System

Petroleum System di Jawa Barat Utara merupakan system yang besar. Sumber hidrokarbon terjadi pada beberapa sub cekungan yang terletak di daratan Pulau Jawa maupun di lepas pantai Jawa Barat Utara dan Sumatra Tenggara. Unsur-unsur utama yang dibutuhkan dalam kerja suatu petroleum system adalah batuan induk yang matang, jalur migrasi, lapisan reservoir, mekanisme jebakan dan ketepatan waktu dalam kejadian geologis.

Batuan induk di Jawa Barat Utara terdiri dari serpih lakustrin (minyak), serpih dan batubara fluvio deltaic (minyak dan gas), batulempung marin (bacterial gas).

Jalur migrasi untuk hidrokarbon bisa terjadi secara vertikal dan horizontal pada saat hidrokarbon keluar dari batuan induk. Prinsip horizontal adalah pada saat migrasi terjadi dalam satu lapisan menembus lapisan permeabel, sementara jalur vertikal yaitu dengan arah tegak lurus terhadap perlapisan. Di Jawa Barat Utara, jalur migrasi lateral adalah batupasir channel yang berarah utara-selatan pada Formasi Talang Akar. Dan jalur yang sama pada batupasir untuk Formasi Main dan Massive.

Reservoir batupasir dengan kualitas bagus terjadi pada urutan deltaic post rift pada jalam Oligosen atas dan batupasir miosen yang diendapkan berdekatan dengan pantai.

Studi batuan penyekat mengungkapkan bahwa endapan marin post rift menumpang diatas batupasir reservoir yang mempunyai kualitas sekatan yang bagus. Akumulasi hidrokarbon dihasilkan dari migrasi vertikal dan menyilang melalui system sesar normal. Jenis gas yang dijumpai adalah campuran dari gas biogenic dan thermogenik di karbonat berumur Miosen Atas.

## BAB 3. DASAR TEORI

### 3.1. Impedansi Akustik

Seismik inversi AI *post stack* merupakan suatu proses analisa terhadap *trace* seismik *zero offset* menjadi struktur bumi dalam bentuk impedansi akustik. Model satu dimensi yang paling sederhana dan paling sering digunakan untuk *trace* seismik adalah model konvolusional, yang menyatakan bahwa *trace* seismik merupakan hasil konvolusi antara reflektifitas bumi dengan suatu fungsi sumber seismik dengan tambahan komponen bising. Secara matematik dapat dirumuskan sebagai (\* menyatakan konvolusi):  $s_t = w_t * r_t + n_t$  (1)

dimana:

- $s_t$  = *trace* seismik
- $w_t$  = *wavelet* seismik
- $r_t$  = reflektifitas bumi
- $n_t$  = *noise*

jika *noise* dianggap nol, maka:  $s_t = w_t * r_t$

Koefisien refleksi (R) atau reflektifitas merupakan perubahan AI di dalam bumi yang didefinisikan sebagai hasil perkalian antara kecepatan gelombang P ( $V_p$ ) dan densitas ( $\rho$ ).

Secara matematis, R pada batas antara kedua lapisan dirumuskan sbb:

$$R_i = \frac{\rho_{i+1}V_{i+1} - \rho_iV_i}{\rho_{i+1}V_{i+1} + \rho_iV_i} = \frac{AI_{i+1} - AI_i}{AI_{i+1} + AI_i} \quad (2)$$

dimana lapisan ke-  $i$  terletak di atas lapisan ke-  $(i + 1)$ .

### 3.2. Inversi Seismik

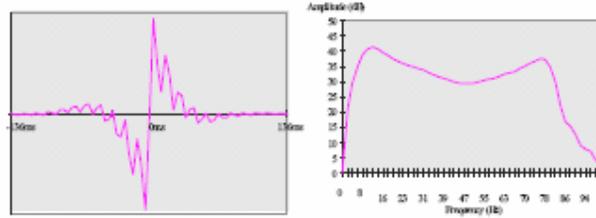
Seismik Inversi didefinisikan sebagai suatu teknik untuk membuat model bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono, 2000). Data seismik konvensional yang biasa

digunakan diperoleh dari hasil proses pemodelan ke depan (*Forward Model*) yang berupa proses konvolusi dari reflektifitas batuan dengan *wavelet* dan ditambah dengan bising (*noise*). Sedangkan untuk keperluan interpretasi seismik, akan lebih mudah dilakukan setelah data seismik tersebut dikembalikan menjadi model geologi, dan prosesnya disebut sebagai Inversi (*Inverse Modeling*).

Ada beberapa metode yang berkembang untuk mendapatkan nilai inversi seismik. Contohnya adalah Metode Sparse Spike, Model Based dan Rekursif. Ada sebuah teknik inversi lagi yang belakangan dikembangkan oleh Steve Lanchester dan David Whitecomb dari BP Amoco, dinamakan Coloured Inversion. Metode ini bukanlah merupakan metode yang paling baik di kelasnya, tetapi cukup cepat dan mudah digunakan. Meskipun begitu metode ini masih lebih unggul dari pada metode fast track inversi rekursif dan hasilnya cukup baik bila dibandingkan dengan metode Sparse Spike. Dimana metode Sparse Spike, secara empiris dapat dimodelkan sebagai sebuah proses konvolusi, dengan sebuah operator dimana spektrum amplitudonya memetakan mean spektrum seismik sampai mean Impedansi Akustik seismik, dan mempunyai fasa  $-90^{\circ}$ . Studi reflektifitas lebih lanjut oleh Walden & Hosken (1985) memberikan gambaran pada Lanchester dan Whitecomb bahwa nilai gross log IA memberikan nilai yang cukup konstan. Hal ini menunjukkan bahwa single operator saja dapat digunakan untuk melakukan inversi. Pendekatan ini mengasumsikan bahwa *wavelet* nya zero-phase.

Begitu nilai operator Coloured Inversion didapatkan, maka secara sederhana dapat diterapkan pada data seismik dalam bentuk 'filter buatan sendiri' (*user-defined filter*). Dengan cara ini inversi dapat dilakukan dengan cepat tanpa mengubah atau mengekspor volume seismik.

Studi yang dilakukan oleh Lanchester dan Whitecombe pertama kali adalah dengan melakukan cross matching data North Sea yang telah diinversi dengan metode Sparse Spike dengan data seismik. Dari sini akan keluar sebuah nilai operator. Operator itu kemudian dikonvolusi dengan data seismik sehingga akan menghasilkan data yang sudah terinversi. Filter dari percobaan empiris ini hampir dapat diterapkan pada semua region. Single operator yang kemudian diperlakukan seperti filter dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini,



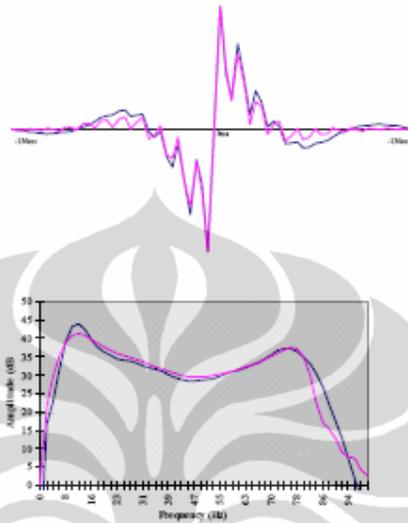
Gambar. 3.1 matching operator yang dihasilkan dari cross-matching antara data seismic dengan hasil inverse sparse spike

Yang diperlukan kemudian adalah mendapatkan nilai operator tanpa tahu hasil inverse sebelumnya. Dari percobaan empiris, dapat diturunkan bahwa operator ini mempunyai fasa  $-90^\circ$  dengan asumsi spektrum amplitudonya mempunyai refleksi spike fasa nol yang bisa ditransformasikan sebagai step menuju AI interface.

Walden & Hosken's (1984) dalam observasinya menemukan persamaan empiris yang menyatakan bahwa koefisien refleksi bumi bisa dirumuskan secara linier sebagai  $f^\beta$  dimana  $f$  adalah frekuensi dan  $\beta$  adalah konstanta positif. Hal ini sesuai dengan observasi Velzeboer (1981). Nilai  $\beta$  bisa bervariasi terhadap lapangan, tetapi pada umumnya nilai ini mempunyai nilai konstan untuk lapangan yang sama. Hal ini secara observasi similar dengan spektrum IA, hanya nilai eksponennya negatif, untuk menghindari nilai eksponen yang negatif, maka nilai  $\beta$  bisa digantikan dengan  $\alpha$ . Kemudian apabila seismic data kita diinversi secara benar, maka data seismik tersebut seharusnya mempunyai trend yang sama seperti trend log-log pada daerah yang sama atau dengan kata lain mempunyai nilai  $\alpha$  yang sama. Jadi apabila kita melakukan curve-fitting pada log AI pada suatu daerah sampai kita bisa mendapatkan nilai  $\alpha$ , maka operator inversi dari spektrum amplitudonya bisa ditentukan. Dari sini nilai mean dari spektrum seismiknya menjadi  $f^\alpha$ . Jadi yang kita perlukan untuk mendapatkan operator CI adalah log-log AI sepanjang zona interest dan trace-trace seismik yang cukup untuk mendapatkan estimasi yang bagus dari mean respons seismik. Begitu operator CI didapatkan, maka ini akan dengan mudah diterapkan pada volume seismik tanpa harus meng-inversi seluruh volume seismik tersebut.

Dalam hal ini wavelet amplitudo spektrum tidak perlu dicari, karena ini mendikte bentuk dari mean input dari spektrum seismik yang dikompensasikan

sebagai operator CI. Bila fasa belum nol maka proses inversinya akan error, dimana rotasi fasa dan konvolusi adalah proses kumulatif. Gambar di bawah ini memperlihatkan antar matching operator dan operator CI, yang menunjukkan kedua operator ini cukup similar.



Gambar. 3.2 Perbandingan antara matching operator (pink) dan colored inversion (biru)

### 3.3. Analisa Sensitivitas

Analisa sensitivitas akan dilakukan dengan cara mencari nilai Koefisien Korelasi. Cara yang dipakai adalah dengan metode *Cross Correlation*, ini adalah metode standar yang dipakai untuk mengukur derajat korelasi dari dua buah deret waktu (*time series*). Untuk dua buah deret waktu  $x(i)$  dan  $y(i)$ , dimana  $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$  maka hasil *cross correlation*  $r$  pada delay waktu  $d$ , dapat didefinisikan

$$r = \frac{\sum_i [(x_i - mx) * y(i - d) - my]}{\sqrt{\sum_i (x(i) - mx)^2} \sqrt{\sum_i (y(i - d) - my)^2}} \quad (3)$$

Dimana  $mx$  dan  $my$  adalah titik tengah dari deret bersangkutan. Jika perhitungan dilakukan untuk semua delay  $d=0, 1, 2, \dots, N-1$  maka hasilnya deret *cross correlation* akan mempunyai panjang deret dua kali lipat deret aslinya.

$$r(d) = \frac{\sum_i [(xi - mx) * y(i - d) - my]}{\sqrt{\sum_i (x(i) - mx)^2} \sqrt{\sum_i (y(i - d) - my)^2}} \quad (4)$$

Range dari nilai d (delay) dan panjang deret cross correlation bisa lebih kecil dari N, contohnya adalah perhitungan untuk delay yang pendek saja. Denominator dari persamaan di atas menormalisasi nilai correlation coefficients  $-1 \leq r(d) \leq 1$  yang menyatakan hubungan korelasi maksimum dan nilai 0 yang mengindikasikan tidak ada korelasi. Nilai korelasi negative mengindikasikan korelasi yang tinggi tapi merupakan *inverse* dari salah satu deret ukur yang dihitung.

### 3.4. Extended Elastic Impedance

Persamaan Elastic Impedance yang diperkenalkan oleh Conolly, menggunakan parameter  $Vp$ ,  $Vs$ , dan density ( $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\rho$ ) :

$$EI(\theta) = \alpha^a \beta^b \rho^c \quad (5)$$

Dimana

$$\begin{aligned} a &= (1 + \sin^2 \theta) \\ b &= -8K \sin^2 \theta \\ c &= (1 - 4K \sin^2 \theta) \end{aligned}$$

Dengan K adalah nilai konstanta, yang biasanya mempunyai nilai  $K = \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2$ .

Persamaan di atas kemudian mengalami modifikasi oleh Whitcombe, dengan memperkenalkan besaran  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  dan  $\rho_0$  yang mengubah variabel dimensi persamaan EI menjadi

$$EEI(\chi) = \alpha_0 \rho_0 \left[ \left(\frac{\alpha}{\alpha_0}\right)^a \left(\frac{\beta}{\beta_0}\right)^b \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^c \right] \quad (6)$$

Tujuan kita adalah memberikan menyatakan reflektifitas dalam hubungannya dengan impedance. Ada 2 kesulitan dalam menggunakan definisi EI yang ada. Yaitu tidak ada kontras impedance yang dapat memberikan nilai reflektifitas yang lebih besar dari pada satuannya (kecuali jika nilai impedancenya negatif). Dalam

prakteknya nilai  $|\sin^2 \theta|$  akan mendekati dan melampaui nilai satuan, log EI, dengan definisi tersebut ini akan bertambah secara tidak akurat

Untuk mengkompensasi kesulitan ini, maka kita melakukan 2 perubahan pada definisi EI. Yang pertama kita mengganti  $\sin^2 \theta$  dengan  $\tan \chi$  sehingga persamaan ini dapat didefinisikan pada nilai  $\pm \infty$  tidak hanya pada nilai 0-1 yaitu nilai yang bisa didapatkan pada nilai  $\sin^2 \theta$ . Definisi untuk versi terskala dari reflektifitas adalah normal reflektifitas dikali dengan  $\cos \chi$ , yang menjamin nilai reflektifitas keluar dari satuannya. Substitusi pada sampai suku kedua dari persamaan linier Zoeppritz memberikan nilai :

$$\begin{aligned} R &= A + B \sin^2 \theta \\ R &= A + B \tan \chi \end{aligned} \quad (7)$$

Persamaan 3.3.3 bisa dituliskan dalam bentuk :

$$R = \frac{(A \cos \chi + B \sin \chi)}{\cos \chi} \quad (8)$$

Diperkenalkan nilai  $R_s$ , dimana

$$R_s = R \cos \chi \quad (9)$$

Sehingga nilainya akan sama dengan :

$$R_s = A \cos \chi + B \sin \chi \quad (10)$$

Dari persamaan Elastic Impedance, disubstitusikan dengan persamaan 3.3.6, akan equivalent dengan :

$$EEI(\chi) = \alpha_o \rho_o \left[ \left( \frac{\alpha}{\alpha_o} \right)^p \left( \frac{\beta}{\beta_o} \right)^q \left( \frac{\rho}{\rho_o} \right) \right]^r \quad (11)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} p &= (\cos \chi + \sin \chi) \\ q &= -8K \sin \chi \\ r &= (\cos \chi - 4K \sin \chi) \end{aligned}$$

Kita sebut ini sebagai extended elastic impedance atau EEI. Besaran reflektivitas mempunyai properti yang bernilai A pada  $\chi = 0^\circ$  dan nilai B pada  $\chi = 90^\circ$ . EEI ekuivalen pada  $\chi = 0^\circ$  adalah *Acoustic Impedance* (AI) dan pada  $\chi = 90^\circ$  EEI akan mempunyai nilai reflektivitas yang sama dengan B yang disebut dengan  $\chi = 90^\circ$  *Gradient Impedance* (GI).

Dengan menuliskan :  $AI_o = \alpha_o \beta_o$ , persamaan EEI dapat dituliskan menjadi :

$$EEI(\chi) = AI_o \left[ \left( \frac{AI}{AI_o} \right)^{\cos(\chi)} \left( \frac{GI}{AI_o} \right)^{\sin(\chi)} \right] \quad (12)$$

### 3.5. Fluid Replacement Modelling

Kecepatan gelombang-P ( $V_p$ ), kecepatan gelombang-S ( $V_s$ ) dan densitas ( $\rho$ ), sangat mempengaruhi amplitudo refleksi seismik terhadap offset. Hal tersebut berkaitan dengan parameter fisika batuan seperti litologi, porositas, tekanan, temperatur, saturasi, jenis fluida, dan lain-lain. Hubungan antara  $V_p$  dan  $V_s$  dengan modulus elastik untuk material isotropis dan homogen adalah:

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad \text{dan} \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (13)$$

Persamaan tersebut merupakan hubungan yang sangat fundamental antara kecepatan gelombang seismik dengan properti batuan. Hubungan antara  $V_p$  dengan  $V_s$  diperoleh juga melalui hubungan empiris yang dinyatakan oleh Castagna (1985) dan Krief (Wang, 2001).

Persamaan Castagna :  $V_p = 1,16V_s + 1360m/s$

Persamaan Krief :  $V_p^2 = aV_s^2 + b$

(a dan b merupakan konstanta)

Hubungan antara  $V_p$  dengan  $\rho$  diperoleh juga melalui hubungan empiris yang dinyatakan oleh Gardner (1974) dan Lindseth (1979).

Persamaan Gardner :  $\rho = 0,23V_p^{0,25}$

Persamaan Lindseth :  $V = a(\rho V) + b$

(dimana a = 0,308 dan b = 3400 ft/detik)

Persamaan Biot-Gassmann – untuk *Shear Modulus* ( $\mu$ ):

$$V_p = \sqrt{\frac{K_{sat} + \frac{4}{3}\mu_{sat}}{\rho_{sat}}} \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu_{sat}}{\rho_{sat}}} \quad (14)$$

$$\mu_{sat} = \mu_{dry} = \mu_{wet} \longrightarrow K_{dry} \gg \gg K_{fluid}$$

Gassmann (1951, op. cit. Wang, 2001) membuat persamaan untuk menghitung efek dari substitusi fluida.

$$K_{sat} = K_{dry} + \frac{(1 - K_{dry} / K_m)^2}{\frac{\phi}{K_f} + \frac{1 - \phi}{K_m} - \frac{K_{dry}}{K_m^2}} \quad (15)$$

Dimana:

$K_{sat}$  : modulus bulk batuan tersaturasi fluida.

$K_{dry}$  : modulus bulk frame  $K_{dry} = \rho_{dry} \left( V_p^2 - \frac{4}{3} V_s^2 \right)$

$K_f$  : modulus bulk fluida  $\frac{1}{K_f} = \frac{S_w}{K_w} + \frac{S_o}{K_o} + \frac{S_g}{K_g}$

$K_w$ ,  $K_o$ , dan  $K_g$  : bulk moduli dari air, minyak, dan gas

$K_m$  : modulus bulk matrix

$\phi$  : porositas.

Mavko et.al, tulisannya di *Rock Physics Handbook*, memberikan bentuk yang lebih intuitif dari persamaan Biot-Gassman di atas menjadi :

$$\frac{K_{sat}}{K_m - K_{sat}} = \frac{K_{dry}}{K_m - K_{dry}} + \frac{K_{fl}}{\phi(K_m - K_{fl})} \quad (16)$$

Dengan sat= batuan tersaturasi, dry=dry frame, m=rock matrix, fl=fluid dan  $\phi$ =porosity

Biot mendefinisikan koefisien Biot  $\beta$  dan M (fluid modulus) sebagai :

$$\beta = 1 - \frac{K_{dry}}{K_m} \text{ dan } \frac{1}{M} = \frac{\phi}{K_{fl}} + \frac{\beta - \phi}{K_m} \text{ sehingga persamaan (15) dapat}$$

dituliskan :  $K_{sat} = K_{dry} + \beta^2 M$

Apabila  $\beta = 0$  (atau  $K_{dry} = K_m$ ), maka  $K_{sat} = K_{dry}$

Apabila  $\beta = 1$  (atau  $K_{dry} = 0$ ), maka  $\frac{1}{K_{sat}} = \frac{\phi}{K_{fl}} + \frac{1-\phi}{K_m}$

Secara fisis, apabila  $\beta = 0$ , artinya kita punya batuan yang tidak porous. Sementara, apabila  $\beta = 1$ , artinya kita punya partikel dalam suspensi (rumus nya dinamakan Rumus Wood's).

Bagaimana mengestimasi nilai Bulk Modulus dari persamaan Biot-Gassman, dimulai dari Bulk Modulus untuk Matrix batuan padat. Nilainya dalam Gigapascals (Gpa) ( $=10^{10}$  dynes/cm<sup>3</sup>). Bulk Modulus dari matrix batuan padat,  $K_m$  biasanya diambil dari data yang sudah dipublikasikan yang diukur dari contoh batuan inti. Pada umumnya nilai K adalah :

$$K_{sandstone} = 40 \text{ Gpa}$$

$$K_{limestone} = 60 \text{ Gpa}$$

Bulk modulus fluid dapat dimodelkan dengan persamaan :

$$\frac{1}{K_{fl}} = \frac{S_w}{K_w} + \frac{1-S_w}{K_{HC}} \quad (17)$$

Dimana  $K_{fl}$  = bulk modulus fluid

$K_w$  = bulk modulus air

$K_{HC}$  = bulk modulus hidrokarbon

Persamaan untuk memperkirakan nilai bulk modulii dari brine, gas dan minyak yang diberikan oleh Batzle dan Wang, 1992 (Seismic Properties of Pore Fluids, Geophysics, 57). Pada umumnya nilai K adalah :

$$K_{gas} = 0.021 \text{ GPa}, K_{oil} = 0.79 \text{ GPa}, K_w = 2.38 \text{ GPa}$$

Langkah-langkah yang diambil untuk melakukan FRM adalah menghitung nilai  $K_{dry}$  :

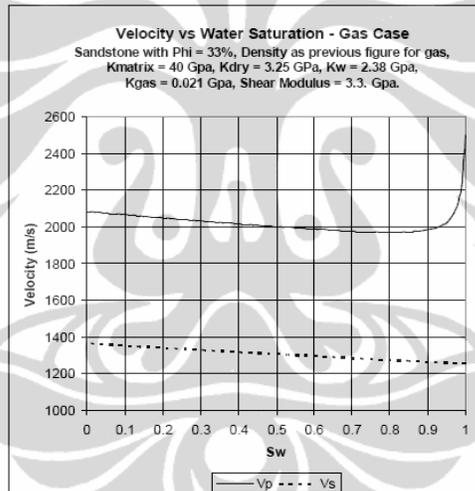
- Untuk nilai  $V_p$  dan  $V_s$  diketahui, nilai  $K_{dry}$  dapat diketahui dengan menghitung nilai

$K_{sat}$  dengan menggunakan persamaan Mavko terdahulu

- Untuk nilai  $V_p$  diketahui dan  $V_s$  tidak diketahui maka nilai  $K_{dry}$  dapat diestimasi dengan cara :

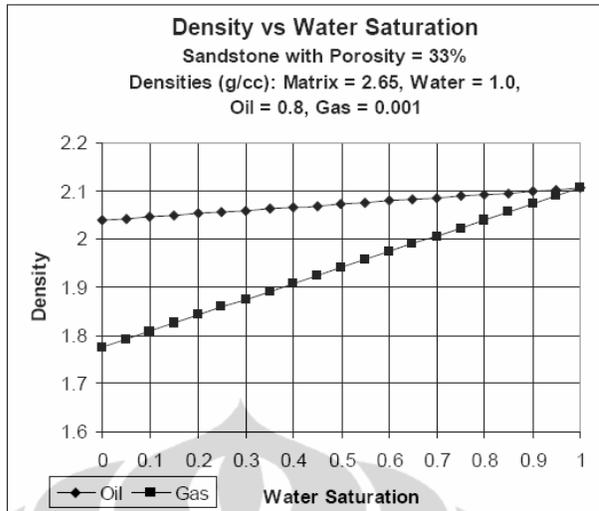
- Diasumsikan diketahui nilai Poisson's ratio, maka persamaan 3.4.0, bisa diselesaikan untuk nilai  $K_{dry}$
- Menggunakan persamaan mudrock line untuk mengestimasi kasus wet selanjutnya digunakan prosedur Mavko (Fluid Substitution : Estimating changes in  $V_p$  without knowing  $V_s$ , Geophysics , Nov-Dec, 1995) untuk menghitung kasus hidrokarbon.

Cross plot antara kecepatan dengan saturasi air untuk gas pada pasir yang poros menggunakan persamaan Biot-Gassman adalah seperti tampak pada gambar di bawah



Gambar 3.3 Plot antara kecepatan dengan saturasi air (Workshop Manual, HRS, 2009)

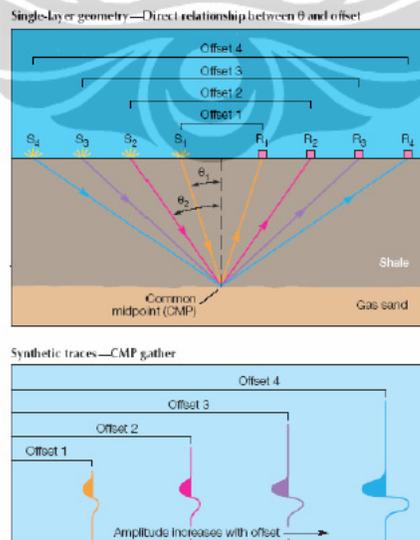
Sementara plot antara densitu dengan saturasi air pada pasir yang poros dengan parameter yang ditampilkan adalah seperti tampak gambar di bawah ini,



Gambar 3.4 Plot antara density dengan saturasi air (Workshop Manual, HRS, 2009)

### 3.6. AVO

Analisa AVO didasarkan pada perubahan amplitude sinyal terpantul terhadap jarak dari sumber gelombang ke penerima atau geophone, dalam hal ini semakin besar jarak dari sumber ke penerima (offset) semakin besar pula sudut datangnya (gambar 3.5)



Gambar 3.5 Hubungan antara offset dengan sudut datang (teta) yang terekam dalam titik reflektor yang sama (Chiburis et al., 1993)

Zoeppritz telah menghubungkan parameter-parameter yang berupa amplitude refleksi dan transmisi sebagai fungsi dari sudut datang dari fenomena perambatan gelombang untuk sudut datang tidak sama dengan nol.

Penyederhanaan dari persamaan Zoeppritz telah diturunkan dari persamaan Aki dan Richard (1980) dalam suatu proses mencocokkan kurva ke data AVO. Proses inversi yang didasarkan pada persamaan Shuey(1985) sangat mirip dengan Aki dan Richard (1980). Dengan menggunakan pendekatan dari Shuey (1985), didapatkan dua macam atribut :

$$R(\theta) = A + B \sin^2 \theta \quad (18)$$

Dengan A : reflektivitas *normal incidence = intercept* dan B : gradien antara koefisien refleksi terhadap sudut datang.



## BAB 4. PENGOLAHAN DATA

### 4.1. Data

Dalam Penelitian ini data yang dipakai adalah data seismic 3D dengan volume near stack inverse dan far stack inverse. Selain itu juga digunakan data sumur, ada 3 data sumur di lapangan penelitian (A-02, A-04, dan A-05) dan 1 data sumur (M-01) di lapangan lain yang digunakan sebagai data model untuk membentuk model gelombang S. Sementara untuk pemrosesan data digunakan perangkat lunak Hampson Russel dan Matlab. Dibantu dengan software OpenWorks PostackPAL dan ZMAPPlus.

### 4.2. Metode Pengolahan Data

Sumur yang dipilih dalam penelitian di lapangan X ini, adalah sumur-sumur yang memiliki kurva kecepatan gelombang-P,  $V_p$ , kecepatan gelombang-S,  $V_s$  dan density,  $\rho$ .

Untuk keperluan kalibrasi pembanding terhadap keberadaan hidrokarbon dan legend color key crossplot dari data sumur, diperlukan juga kurva Gamma Ray, NPHI dan Resistivity.

Data sumur M-01 digunakan untuk melakukan modeling sehingga didapatkan nilai gelombang S,  $V_s$ , yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan-perhitungan selanjutnya pada data lapangan dituju. Perhitungan data pseudo  $V_s$  ini didasarkan karena sumur M-01 mewakili sifat karakteristik carbonate di lapangan X

Dari data sumur M-01 yang cukup ideal ini, selain dipakai untuk perhitungan nilai Pseudo  $V_s$ , juga dipakai untuk modeling FRM yang akan memperlihatkan respon log setelah sumur tersebut berubah dari sumur yang wet menjadi sumur gas. Selain itu juga akan dilakukan modeling LMR pada sumur tersebut, untuk kemudian menjadi pembanding atau pendukung dari hasil pengolahan data yang dilakukan dengan proses EEI.

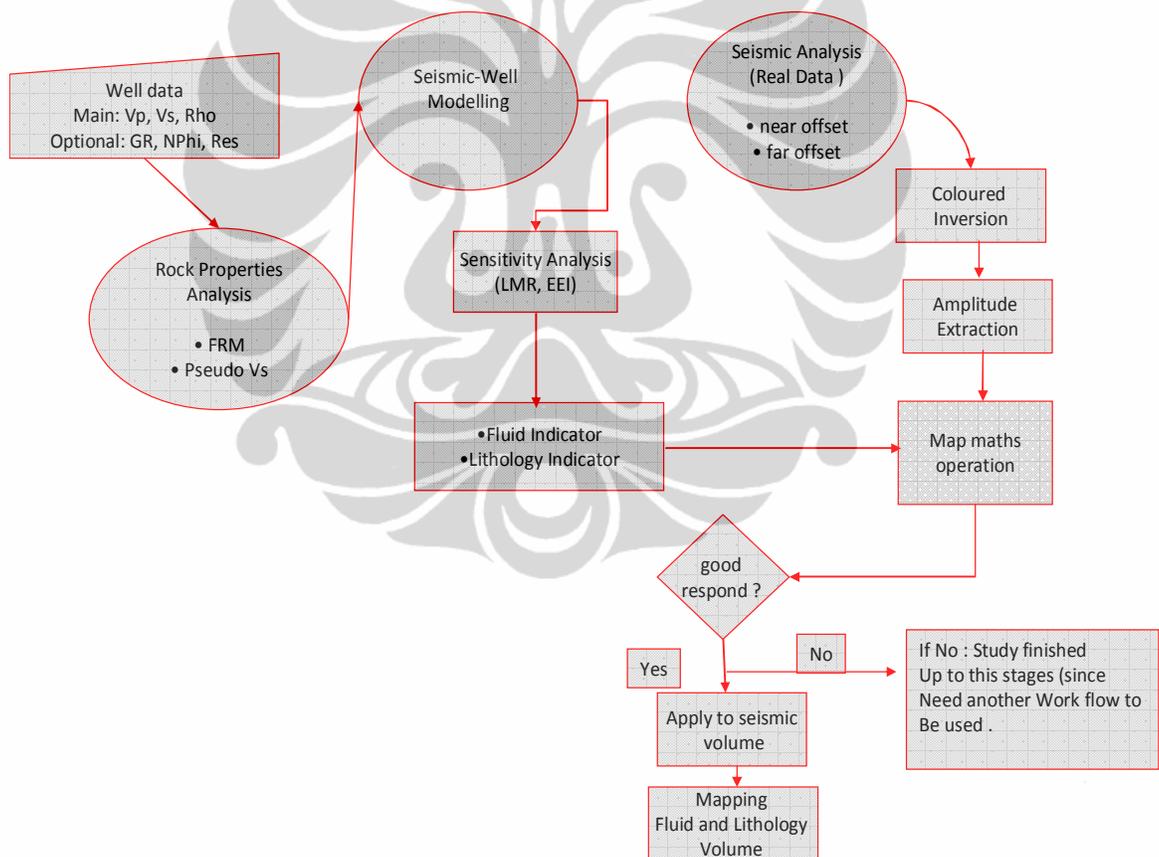
Metode Pengolahan data berikutnya adalah melakukan proses EEI pada sumur-sumur yang bersangkutan kemudian melakukan cross correlation antara

kurva EEI dengan GR dan Resistivity sehingga ditemukan sudut dengan korelasi terbesar yang akan menyatakan Fluid Impedance dan Litologi Impedance.

#### 4.3. Metode Crossplot LMR sebagai pembanding Metode EEI

Dalam pekerjaan ini perlu dilakukan studi LMR terlebih dulu sebelum beranjak ke studi EEI. Dimana studi ini hanya akan dilakukan pada sumur yang wet model ideal saja (M-01) untuk memperlihatkan apakah penyebaran litologi dan fluida dapat dideteksi lewat hubungan LMR. Dalam bagian ini juga dilakukan FRM untuk melihat perubahan respon pada saat well tersebut menjadi well yang berisi hidrokarbon.

#### 4.4. Diagram Alir Studi



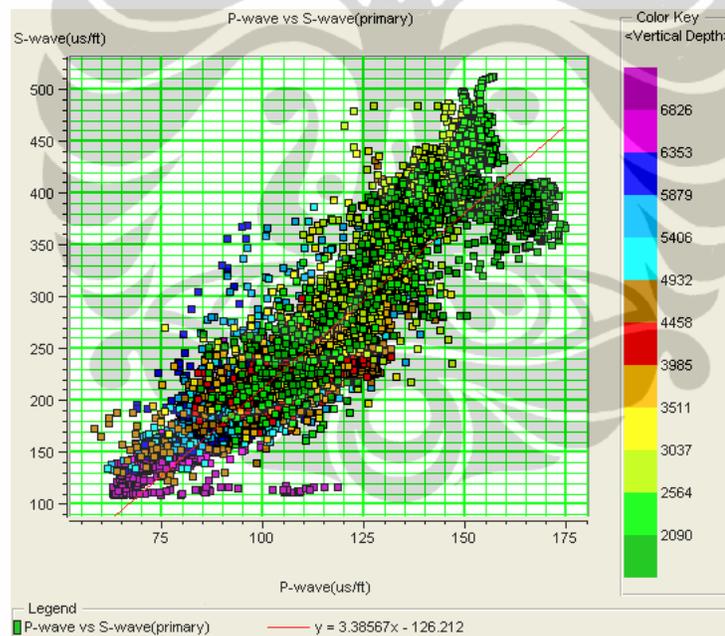
Gambar 4.1 Diagram Alir studi yang menggunakan well analisis dan seismic analisis untuk menentukan nilai FI dan LI

Dalam studi ini dilakukan analisa sensitivitas pada data sumur untuk mencari seismic *attribute* yang akan digunakan untuk mengidentifikasi sebaran reservoir dan hidrokarbon.

#### 4.5. Tahapan Pengolahan Data

##### 4.5.1. Penentuan Pseudo Gelombang S, VpseudoS

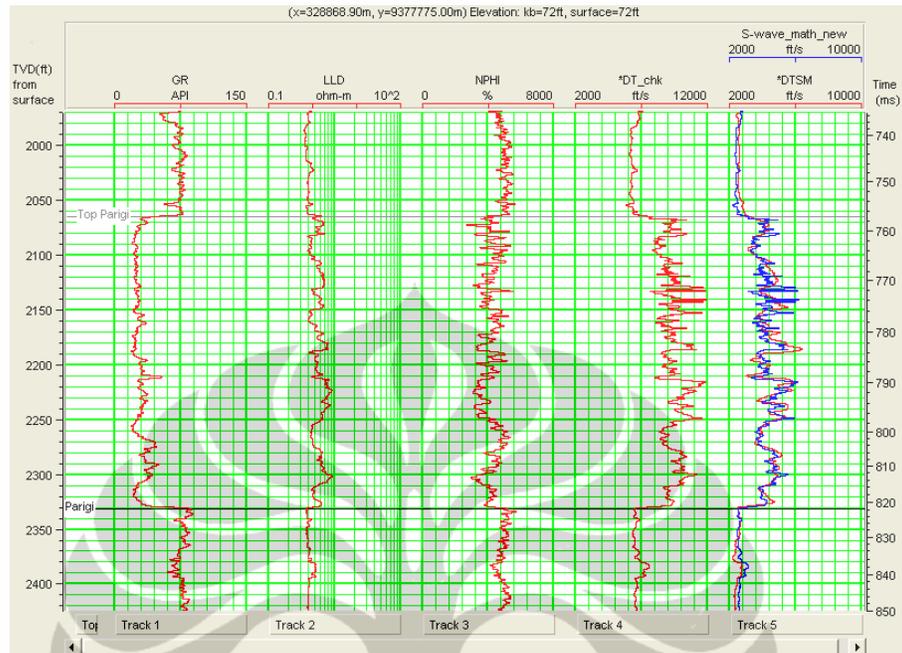
Penentuan Persamaan Pseudo Vs ini didasarkan dari sumur referensi M-01 yang merupakan sumur *wet* di formasi karbonat pada area sekitar area pengamatan. Pengolahan data Pseudo Vs didapatkan dari fungsi matematis hasil crossplot variable kecepatan gelombang P, Vp dengan kecepatan gelombang S, Vs.



Gambar 4.2 Crossplot antara gelombang P, Vp dengan gelombang S, Vs dari well M-01 untuk mendapatkan fungsi linier yang dipakai menentukan nilai Psedo-Vs

Fungsi matematis yang didapatkan dari crossplot gelombang P, Vp terhadap gelombang S, Vs adalah fungsi linier  $y=3.38567x-126.212$ , yang kemudian akan dipakai di well-well lain. Dimana x adalah gelombang P, Vp dan variable y adalah gelombang S, Vs. Dengan memasukkan nilai gelombang P, Vp

dari well M-01 didapatkan nilai gelombang S, Pseudo-Vs yang bila di plot dalam skala yang sama dengan nilai gelombang S, Vs seperti tampak pada gambar 4.2



Gambar 4.3 Plotting Pseudo Vs (S-wave\_math\_new) yang di overlay dengan nilai Vs (DTSM), menunjukkan fungsi linier yang dipakai relative dapat mewakili nilai Vs yang sebenarnya.

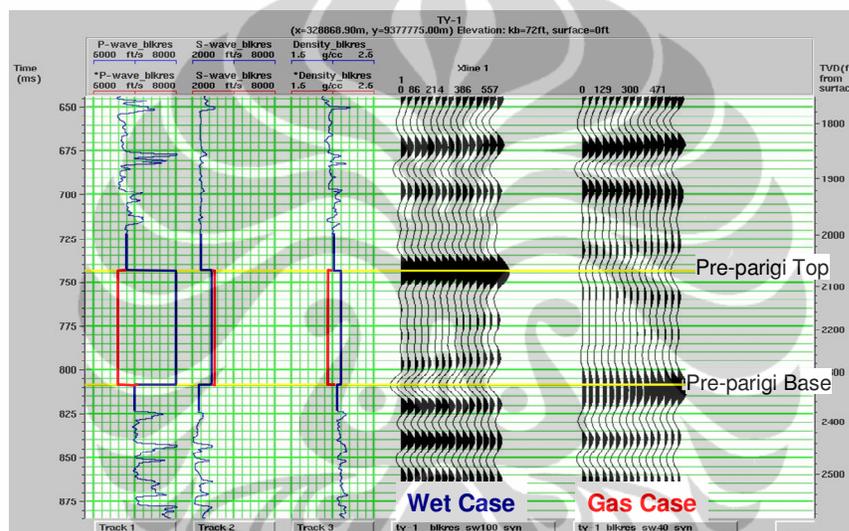
Untuk pseudo gelombang-s, Vs, dilakukan crossplot antara log gelombang-p, Vp terhadap gelombang-s, Vs dari well referensi yang telah dipilih, yang mempunyai kurva DTSM atau log gelombang-s. Dari crossplot yang dihasilkan kemudian ditarik persamaan trend garis linier gelombang-s, Vs sebagai fungsi gelombang-p, Vp yang akan menjadi acuan untuk melakukan perhitungan harga gelombang-s di lokasi well terdekat dengan target interest

Fungsi linier hubungan gelombang P, Vp terhadap gelombang S, Vs ini akan dipakai untuk menentukan nilai gelombang S, Vs pada data well di lapangan “X” nanti.

#### 4.5.2. Fluid Replacement Model

Input pengerjaan FRM ini adalah kurva log gelombang P yang sudah dikoreksi check shot (DT\_chk), gelombang S (DTSM) dan Density (RHOB).

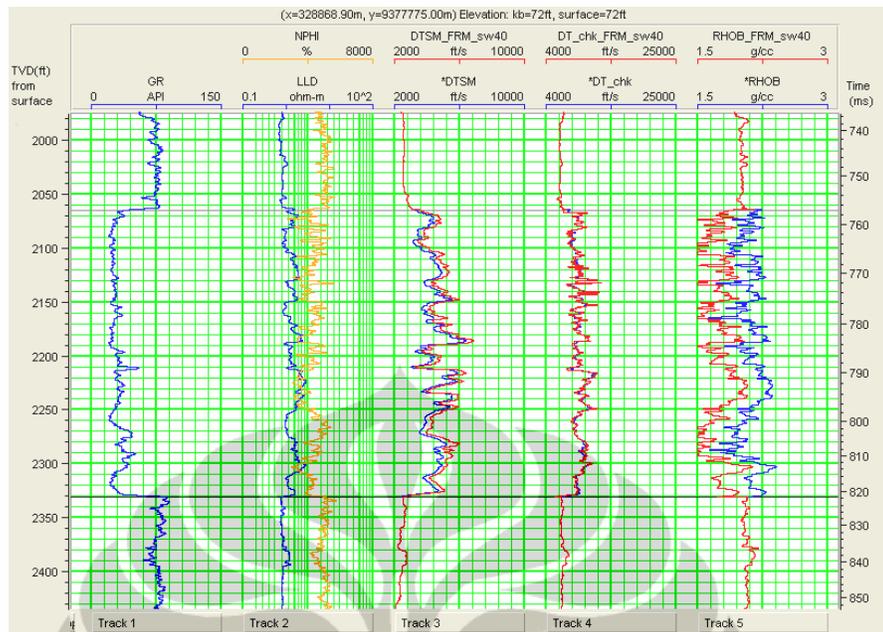
Algoritma yang dipakai dalam perhitungan Fluid Replacement Modelling adalah algoritma Biot-Gassmann yang memungkinkan substitusi nilai saturasi air dan porosity pada log output. Masukan lainnya selain kurva-kurva log sumur, dengan model dari Batlze – Wang yang memungkinkan input dari kombinasi material sampai 5 macam mineral untuk memodelkan material matriks nya. Dalam hal ini, target formasi yang dicari adalah karbonat dan hidrokarbon yang dicari adalah gas. Untuk perhitungan mineral properties komposisi mineral yang dipakai adalah calcyte (56.4%), clay (12.4%) dan Pyrite (31.2%), sementara untuk perhitungan komposisi fluid properties dilakukan dengan perumusan Batzle-Wang



Gambar 4.4. FRM 40% pada sumur wet M-01 kasus blocking, menunjukkan bahwa besaran  $V_p$ ,  $V_s$  dan  $R_{hob}$  berubah pada kasus gas cocok dengan pemodelan AVO dimana pada kasus gas nilai amplitudanya membesar dengan pertambahan angle

Pemodelan yang pertama dilakukan dengan melakukan blocking reservoir pada well M-01. Nilai  $V_p$  bertambah pada fluida kasus gas sementara nilai  $V_s$  berkurang dan nilai density bertambah secara tidak signifikan. Dari respon Amplitude versus Angle model didapatkan bahwa pada kasus gas amplitudanya bertambah besar secara negative pada far offset (tampak pada gambar 4.3)

Setelah pemodelan yang dilakukan dengan blocking, maka dilakukan pemodelan pada kurva data well yang sebenarnya. Tampak pada gambar 4.4 nilai  $V_p$ ,  $V_s$  dan Density mengalami perubahan sesuai dengan blocking modelnya.



Gambar 4.5 FRM 40% pada kurva sumur yang wet M-01, kurva merah menunjukkan nilai asal, dan kurva biru menunjukkan nilai setelah well mengalami FRM 40%

Pengerjaan FRM ini sebagai dasar untuk melakukan simulasi dan sensitivity LMR dan korelasi EEI pada well model.

Dari hasil FRM ini tampak bahwa perubahan harga  $V_p$  dari kasus wet ke kasus hidrokarbon (gas) akan sedikit turun, sementara untuk harga  $V_s$  dari kasus wet ke kasus gas akan naik. Sementara density dari wet ke gas juga akan turun.

#### 4.5.3. Lambda-Mu-Rho dan AVO

Metode LMR disisipkan pada pengolahan data di sini sebagai pembandingan dari hasil EEI. Data yang digunakan adalah data well referensi M-01 dengan nilai gelombang S merupakan gelombang S yang sebenarnya. Crossplot dilakukan antara besaran Mu-Rho – Lamda-Rho terhadap Gamma Ray untuk melihat sensitivitas pada litologi. Sementara crossplot antara besaran Mu-Rho – Lamda Rho terhadap Resistivity untuk melihat sensitivitas pada fluida.

Sensitivitas dilakukan pada dua kasus well yaitu well M-01 yang merupakan sumur yang wet dan sumur M-01 setelah mengalami FRM sehingga merupakan sumur yang berisi hidrokarbon.

Pada evaluasi crossplot LMR, nilai Mu-Rho dan Lamda-Rho dilakukan pada skala logaritmik.

Sementara untuk sensitivitas AVO juga dilakukan dalam studi ini untuk kedua sumur yang dipakai di lapangan “X”, untuk melihat respon AVO pada data seismik post stack di sumur A-04 yang wet dan sumur A-05 berisi hidrokarbon.

#### **4.5.4. Extended Elastic Impedance**

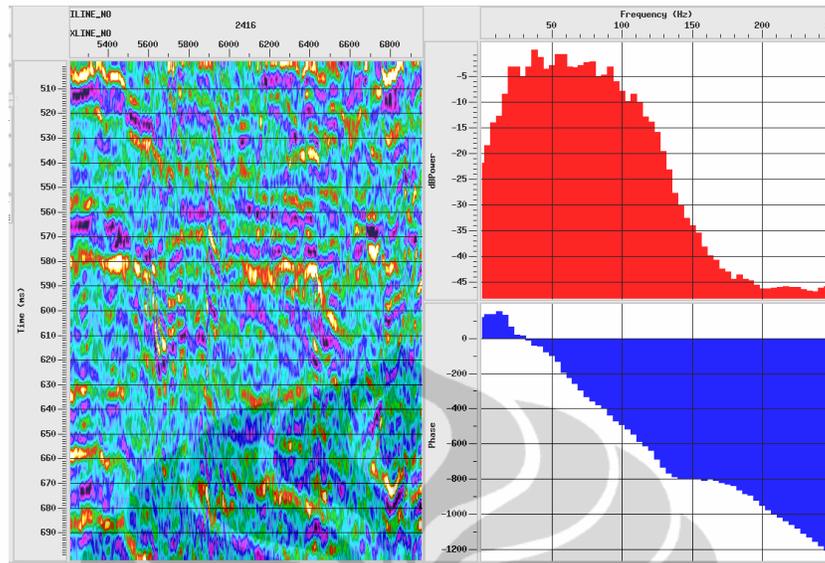
EEI dilakukan pada sumur reference M-01 dan sumur-sumur di lapangan A-04 (sumur dengan kondisi wet) dan A-05 (sumur yang berisi hidrokarbon). EEI dilakukan pada sudut  $-90^{\circ}$  sampai  $90^{\circ}$  dengan increment  $10^{\circ}$  untuk sumur reference dan dilakukan pada sudut  $-90^{\circ}$  sampai dengan  $90^{\circ}$ , dengan increment  $30^{\circ}$  pada data lapangan terkait. Hasil Perhitungan, persamaan, dan program matlab untuk mendapatkan koefisien korelasi ada di lampiran.

Hasil dari EEI ke-tiga sumur yang merupakan seismic-sumur modeling dipakai untuk mendapatkan sudut  $\chi$  (chi) dimana sudut  $\chi$  (chi) ini akan berasosiasi dengan sudut  $\theta$  melalui persamaan (7). Sudut  $\theta$  yang didapatkan kemudian akan diterapkan pada analysis data seismic real inverse untuk mendapatkan persamaan math map yang mampu menunjukkan peta sebaran litologi dan peta sebaran fluida.

Pengolahan data di atas merupakan penyederhanaan dari workflow yang sebenarnya karena dalam studi ini data yang dimiliki adalah data near dan far saja, sementara untuk mendapatkan parameter A dan B diperlukan data CDP gather.

#### **4.5.5. Filter Band Pass**

Filter Band Pass diterapkan pada kurva EEI, kurva GR dan Resistivity untuk mendapatkan resolusi data seismik. Frekuensi Band Pass yang didapatkan untuk melakukan filter ini adalah 8-10-110-120 Hz seperti tampak pada gambar 4.6 Ini didapatkan dari hasil evaluasi data seismik real di lapangan “X” untuk mendapatkan frekuensi dominan seismik. Pengerjaan dibantu dengan software PostackPAL dari OpenWorks.



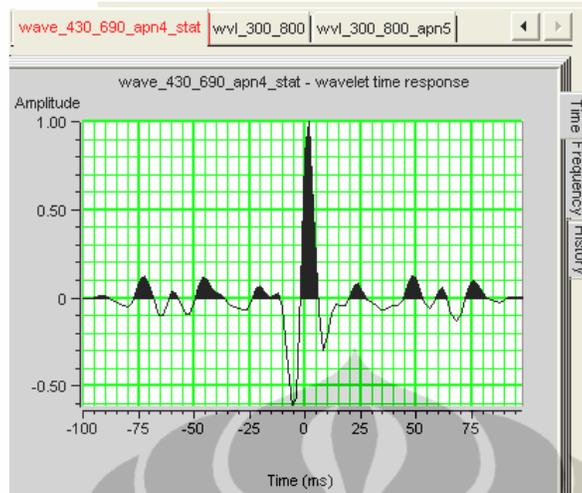
Gambar 4.6 Penentuan Frekuensi dominan pada data lapangan “X” yang menghasilkan frekuensi batas bawah antara 8-10 Hz dan frekuensi batas atas 110-120 Hz.

#### 4.5.6. Koefisien Korelasi antara kurva EEI dengan GR dan Resistivity

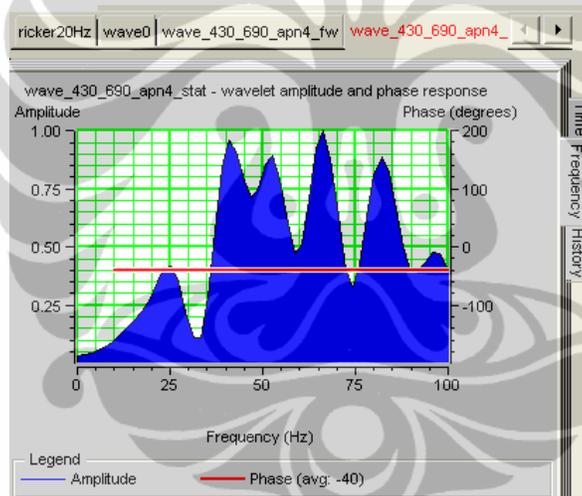
Operasi korelasi silang dilakukan antara kurva EEI dengan kurva GR untuk menentukan nilai  $\chi$  (chi) terbesar sebagai dasar untuk mendapatkan hubungan Litologi Impedance (LI). Sedangkan untuk mendapatkan hubungan Fluid Impedance, dilakukan antara kurva EEI dengan Resistivity. Penentuan nilai koefisien korelasi ini dibantu dengan software Matlab7 dengan sub program *corrcoef* di dalamnya. Hasil Perhitungan dapat dilihat pada lembar Lampiran.

#### 4.5.7. Ikatan Sumur dan Data Seismik (*Seismic Well Tie*)

Sebelum melakukan analisa data seismik, perlu dilakukan seismic well tie dimana seismic well tie ini diperlukan untuk meyakinkan bahwa antara data seismik dengan data log dari sumur sudah mempunyai ikatan yang dapat dipercaya. Seismic well ini juga diperlukan untuk memahami batas resolusi sebagai dasar kita melakukan modeling.



Gambar 4.7 Wavelet hasil ekstraksi yang dipakai untuk melakukan seismic well tie pada sumur A-04

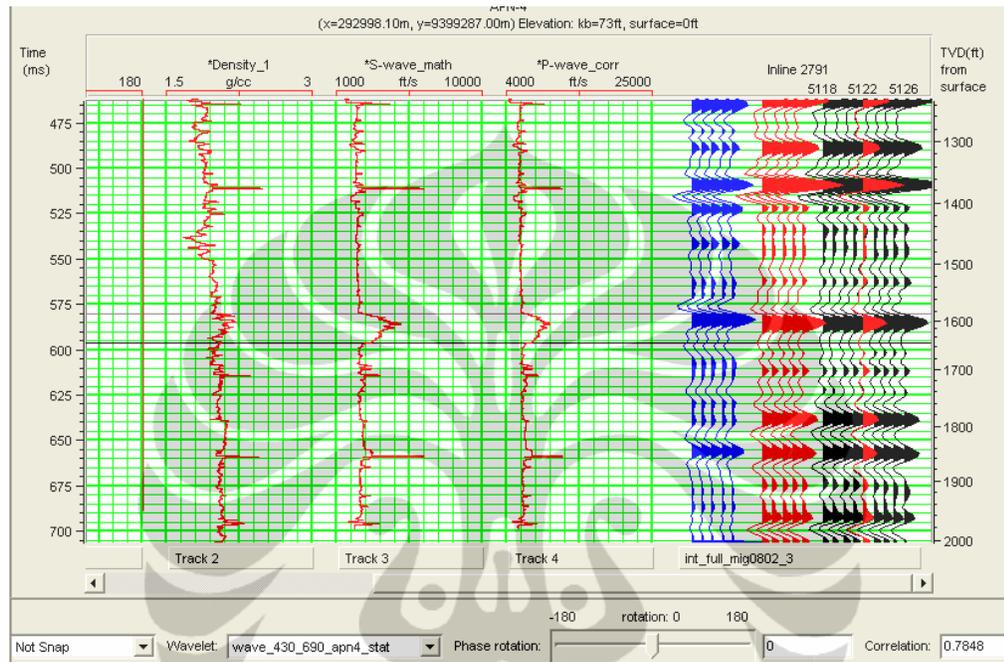


Gambar 4.8 Fasa yang dipakai untuk melakukan ekstraksi wavelet metode statistik pada sumur A-04

Seismic well tie dilakukan pada salah satu sumur saja, disini dipakai sumur A-04 yang merupakan sumur wet pada data lapangan “X” di cekungan Jawa Barat Utara.

Wavelet yang dipakai adalah wavelet yang diekstrak dengan cara statistik pada sumur A-04, dengan menggunakan volume seismik reflektivitas, pada windows 430 - 690 ms. Fasa yang dipakai untuk melakukan ekstraksi wavelet adalah  $-40^0$  atau  $320^0$ .

Pada gambar 4.9, trace synthetic (warna biru) didapatkan dari hasil konvolusi antara wavelet hasil ekstraksi data seismic dengan koefisien refleksi. Koefisien refleksi didapat dari nilai Impedansi Akustik yang diturunkan dari log sonic dan densitas. Sebelumnya data sonic dikoreksi dulu dengan log checkshot survey sehingga dihasilkan log sonic terkoreksi, P\_wave\_corr pada data tersebut.

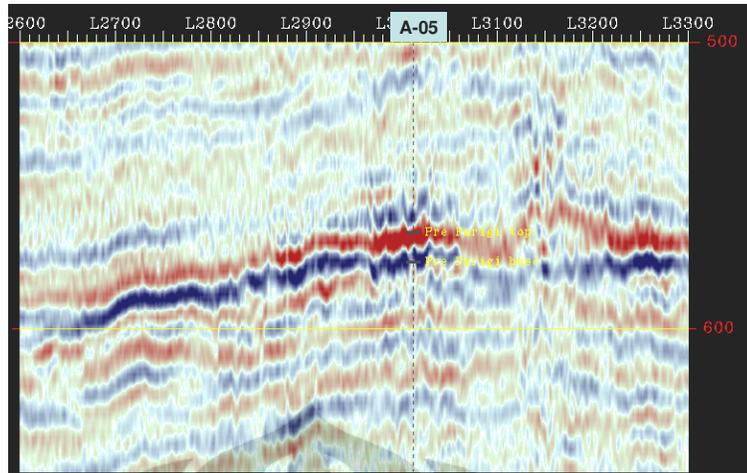


Gambar 4.9 Seismic well tie. Pada gambar sebelah kanan adalah penampang seismic yang melewati sumur A-04, tampak sudah pada posisi yang sesuai dengan kurva Vp setelah koreksi checkshot.

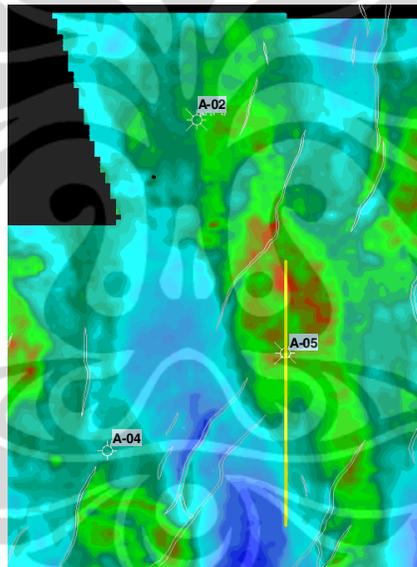
Pada analisa ini didapatkan nilai koefisien korelasi sebesar 0.7848, ini menunjukkan nilai korelasi yang relatif baik. Pengukuran derajat kekorrelasian antara data seismic dan sumur ini menggunakan window yang sama dengan window yang dipakai pada ekstraksi wavelet yaitu 430 - 690 ms.

#### 4.5.8. Pengolahan Data Seismik pada Lapangan “X”

Interpretasi pada data post stack untuk mendapatkan top karbonat (Pre-Parigi top) dan base karbonat (Pre-Parigi base) pada lapangan “X” di cekungan Jawa Barat Utara ini tidak dilakukan sebagai bagian dari studi ini.

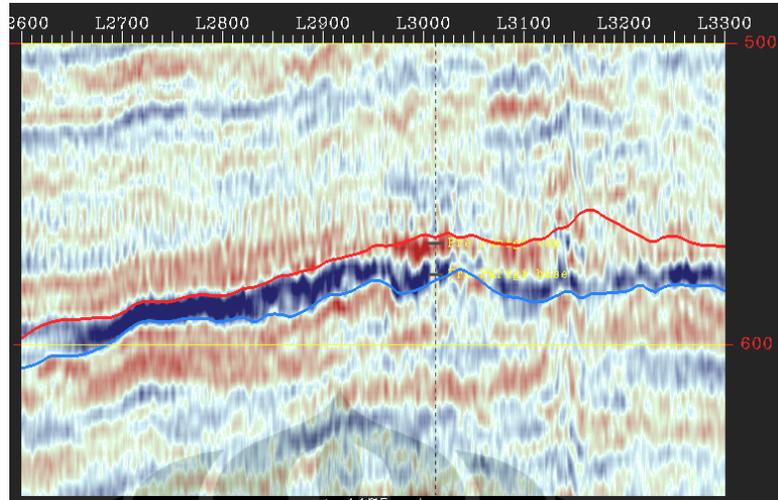


Gambar 4.10 Post stack data seismic, diambil penampang arah strike line dari arah utara ke selatan yang melewati sumur A-05

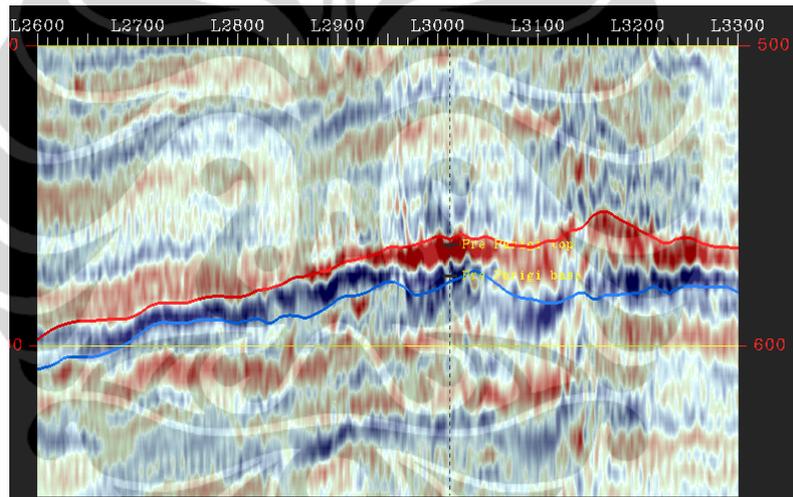


Gambar 4.11 Peta struktur kedalaman pada lapangan “X”, garis kuning menunjukkan arah strike line yang dipakai untuk penampang melintang data seismik. Tampak posisi sumur A-02, A-04 dan A-05 pada peta

Demikian pula dengan peta struktur kedalaman tidak dilakukan pada studi ini. Gambar 4.10 adalah penampang data seismik reflektiviti pada lapangan “X” yang melewati sumur gas A-05



Gambar 4.12 Seismik Near Inverse pada penampang melintang arah utara selatan melewati sumur A-05 seperti pada gambar 4.11



Gambar 4.13 Seismik Far Inverse pada penampang melintang arah utara selatan melewati sumur A-05 seperti pada gambar 4.11

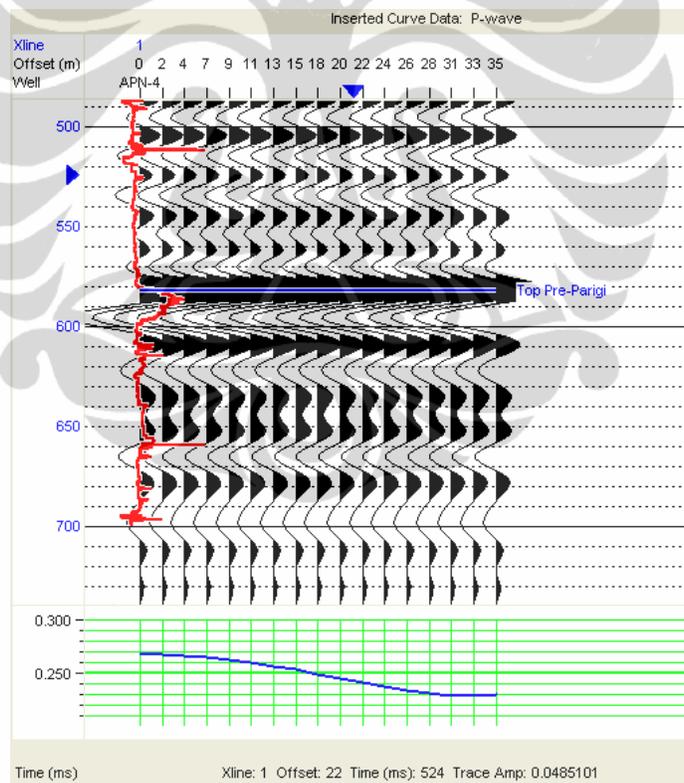
Volume yang dipergunakan kemudian adalah far dan near stack volume. Langkah selanjutnya dilakukan inversi pada kedua volume tersebut dengan teknik Coloured Inversion. Setelah dilakukan analisa EEI dan mendapatkan nilai sudut dengan koefisien korelasi terbesar, kemudian dicari sudut datang (teta) untuk diterapkan menjadi perumusan kombinasi antara data inverse seismik near dan far untuk dilakukan operasi map math sehingga dapat dipetakan sebaran Litologi dan Fluida

## BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Sensitivitas AVO

Analisa atau sensitivitas AVO dilakukan untuk data seismik reflektiviti pada dua buah sumur A-04 (*wet*) dan A-05 (gas). Akan dilihat bagaimana respon AVO terhadap sumur *wet* dan gas tersebut.

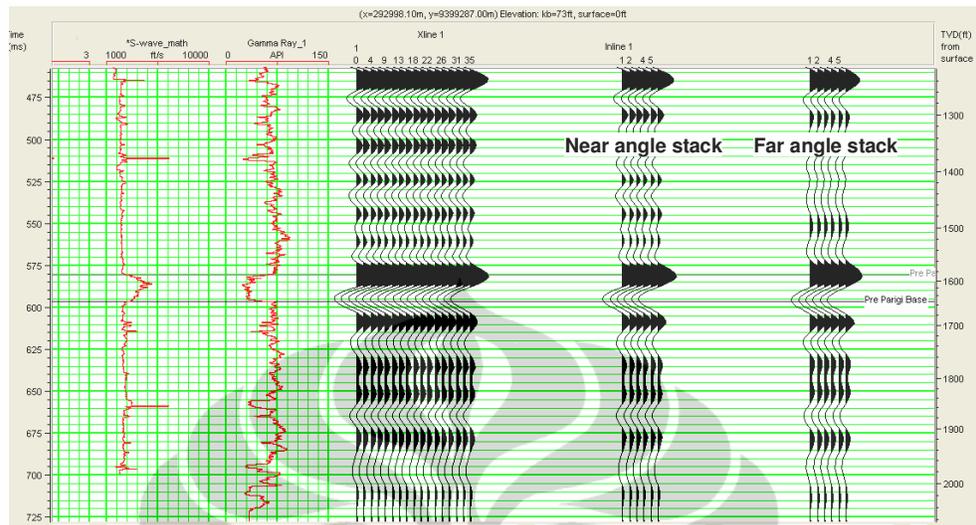
Karena analisa AVO hanya bekerja pada data gather, sementara data seismik yang dimiliki adalah data post stack, seperti tampak pada gambar 4.10, maka dilakukan pemodelan sehingga didapatkan data seismik *angle gather*. *Synthetic angle gather* yang didapat kemudian dipisahkan antara near dan far angle gather. Disini, metode Zoeppitz dipakai untuk perhitungan synthetic angle gather.



Gambar 5.1 Respon AVO pada data seismik synthetic angle gather pada sumur A-04

Time window yang digunakan untuk melihat respon AVO di sumur wet A-04 adalah 525 – 650 ms. Dalam kasus ini, amplitudo synthetic angle gather

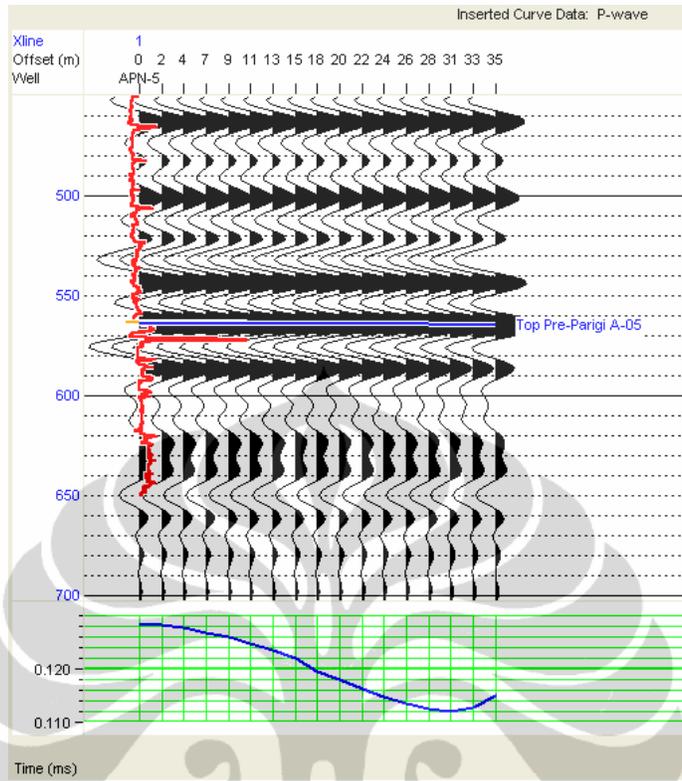
tampak menurun dengan range yang cukup kecil yaitu antara 0.275 sampai dengan 0.225 yang diperlihatkan pada gambar 5.1



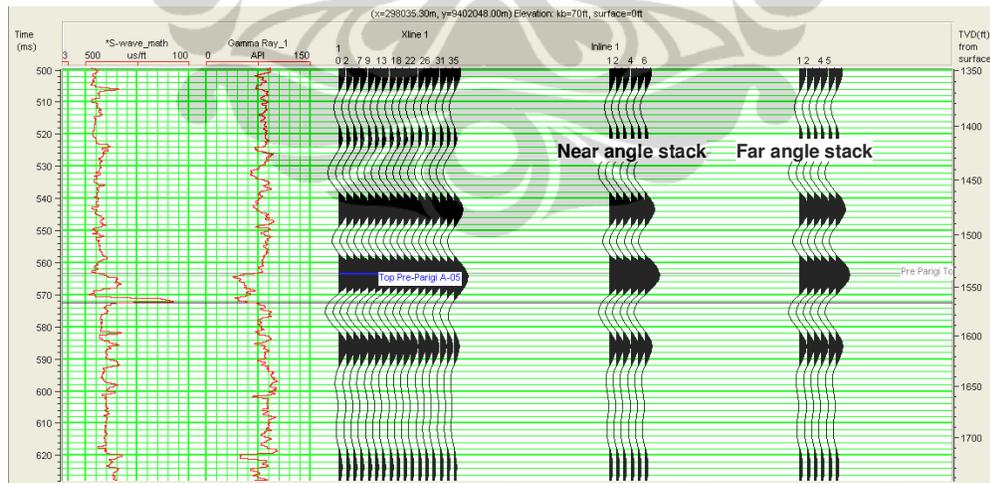
Gambar 5.2 Data near angle stack dan far angle stack yang memperlihatkan perubahan amplitudo yang hampir tidak tampak untuk data post stack nya untuk sumur wet A-04

Pada data stack perubahan amplitudo akibat respon AVO hampir tidak tampak baik di data near maupun data far. Near angle stack pada gambar 5.2 adalah synthetic angle gather untuk sumur A-04 yang distack untuk sudut datang 0-15 derajat, sementara far angle stack adalah data synthetic angle gather yang distack untuk sudut datang 15-30 derajat.

Sementara untuk kasus sumur gas A-05 dapat dilihat pada gambar 5.3 dan 5.4. Time window yang dipakai untuk melihat respon AVO pada data angle gather adalah 550 – 580 ms. Tampak pada gambar 5.3 amplitudo data angle gather turun sampai angle sekitar 30 derajat kemudian naik sampai batas angle yang ditampilkan yaitu 35 derajat. Dimana angle 30 derajat kemungkinan sudah merupakan *critical angle* pada kasus tersebut.



Gambar 5.3 Respon AVO pada data seismik synthetic angle gather pada sumur A-05

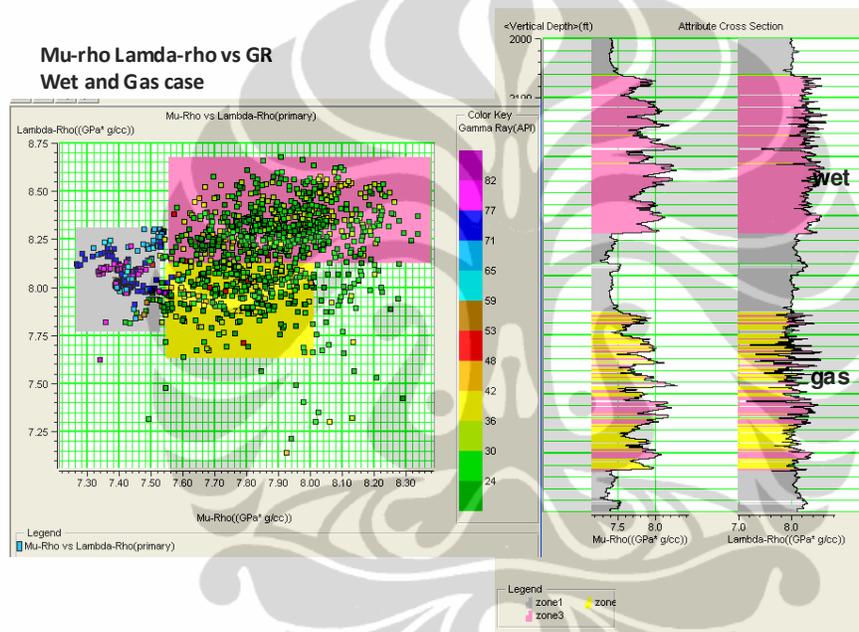


Gambar 5.4 Data near angle stack dan far angle stack yang memperlihatkan perubahan amplitudo yang hampir tidak tampak untuk data post stack nya untuk sumur wet A-05

Dari analisa AVO kedua sumur ini tidak menunjukkan perbedaan respon yang jelas antara kasus sumur wet dan kasus sumur gas, karena keduanya menunjukkan penurunan amplitudo dari arah near angle ke far angle.

## 5.2. Sensitivitas LMR

Di bawah adalah hasil akhir dari simulasi LMR (urutan proses pengerjaan dan pembahasan LMR ada pada lampiran)



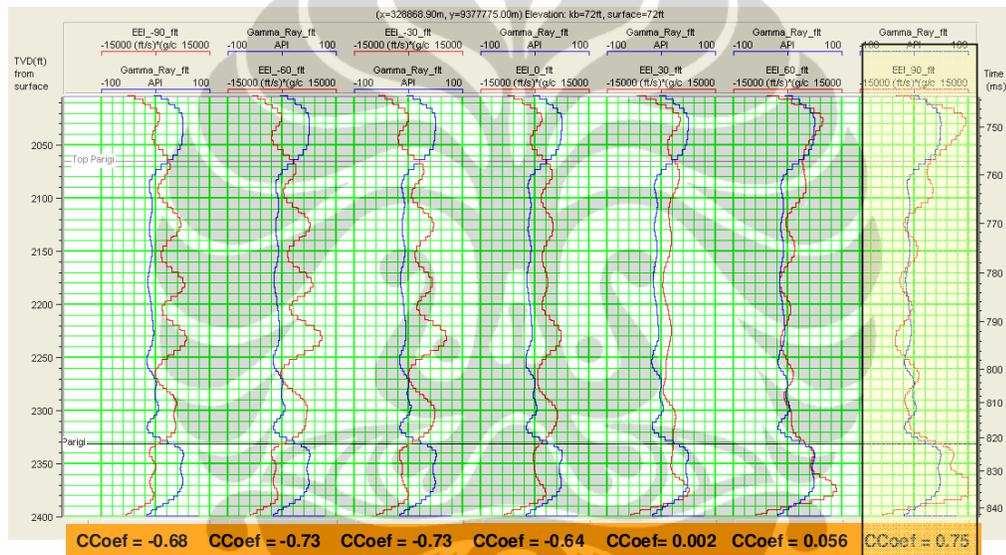
Gambar 5.5 Crossplot antara Mu-rho dan Lamda-rho dengan Gamma Ray sebagai color key. Dengan mengabaikan nilai kedalaman, data untuk kasus wet dan gas digabung dalam satu sumur cross section. Dari sini tampak bahwa area pemisahan di cross plot menggambarkan mana daerah yang wet dan mana daerah yang gas pada cross section.

Disini sumur dengan kasus wet diplot pada cross section yang sama dengan sumur hasil FRM 40% (sumur kasus berisi hidrokarbon). Daerah abu-abu adalah daerah shale, daerah merah muda adalah daerah reservoir, sementara daerah kuning adalah daerah reservoir berisi hidrokarbon. Dari sini tampak bahwa plot antara Lamda-Rho terhadap Mu-Rho memberikan gambaran yang cukup jelas, sehingga pemisahan antara daerah reservoir yang kosong dan daerah

reservoir yang terisi hidrokarbon dapat dipisahkan dengan pembagian area seperti tampak pada gambar 5.5 (rectangle) di atas.

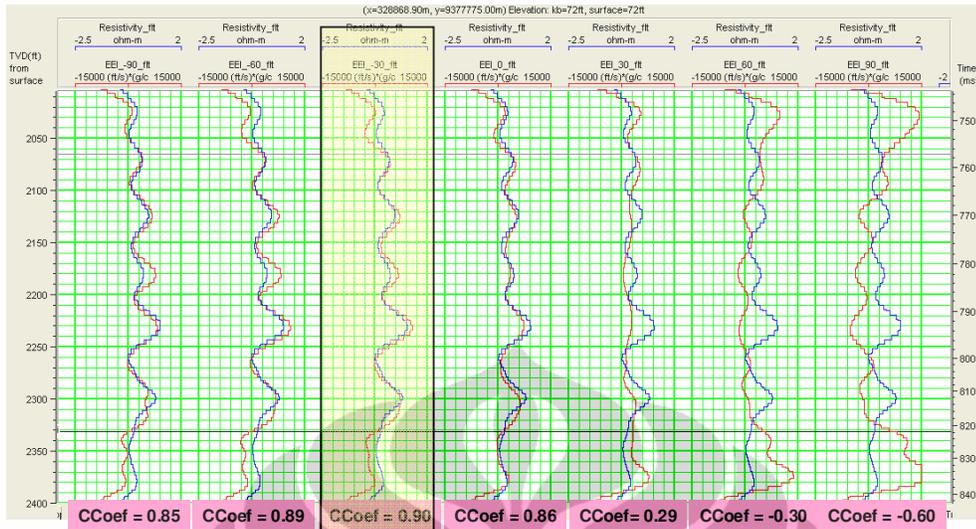
### 5.3. Extended Elastic Impedance pada Sumur Referensi M-01

Extended Elastic Impedance pada sumur reference M-01 didapatkan dengan memasukkan nilai  $V_p$ ,  $V_s$  dan  $RHOB$ . Hasil korelasi dengan kurva Gamma Ray setelah dilakukan filter band pass pada frekuensi 4-8-110-120, maka didapatkan koefisien korelasi terbesar adalah pada sudut  $\chi$  (chi) =  $90^\circ$  dengan koefisien korelasi = 0.75



Gambar 5.6 EEI pada sumur M-01 dikorelasikan dengan kurva GR untuk menunjukkan korelasi litologi. Tampak bahwa EEI  $90^\circ$  mempunyai derajat korelasi yang paling tinggi terhadap kurva GR (Correlation Coefficient = 0.75).

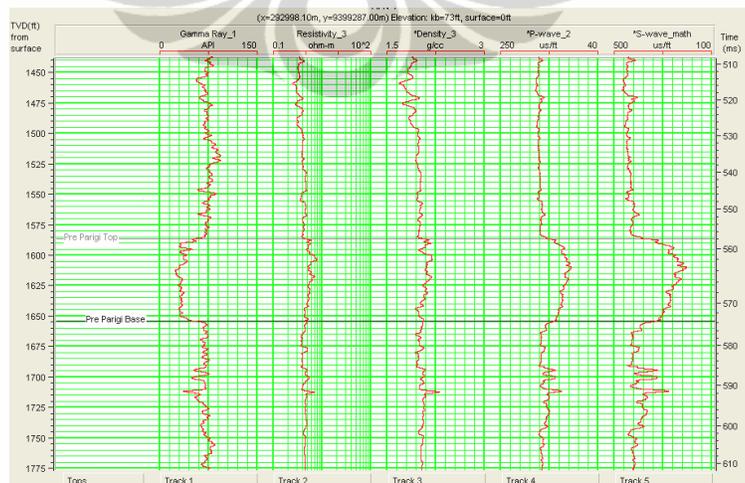
Simulasi EEI pada sumur reference M-01 yang dikorelasikan dengan kurva Resistivity setelah dilakukan filter band pass pada frekuensi yang sama seperti simulasi sebelumnya untuk mendapatkan resolusi seismic, menghasilkan korelasi terbesar pada sudut  $\chi$  (chi) =  $-30^\circ$  dengan koefisien korelasi sebesar 0.90



Gambar 5.7 EEI pada sumur M-01 dikorelasikan dengan kurva Resistivity untuk menunjukkan korelasi fluida. Tampak bahwa EEI  $-30^0$  mempunyai derajat korelasi yang paling tinggi terhadap kurva Resistivity (Corr Coef = 0.9)

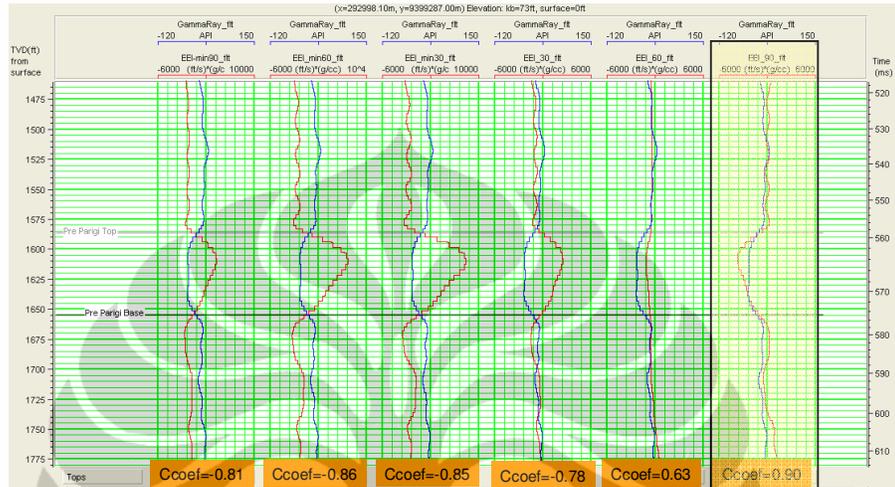
#### 5.4. Extended Elastic Impedance pada Sumur wet A-04 di Lapangan X

Pada sumur A-04 (sumur yang wet) nilai Pseudo Vs harus ditentukan terlebih dulu dengan melakukan substitusi nilai gelombang P, Vp pada persamaan yang didapatkan pada pengolahan data sumur model M-01,  $V_s = 3.38567V_p - 126.212$ , sehingga didapatkan nilai Pseudo Vs,

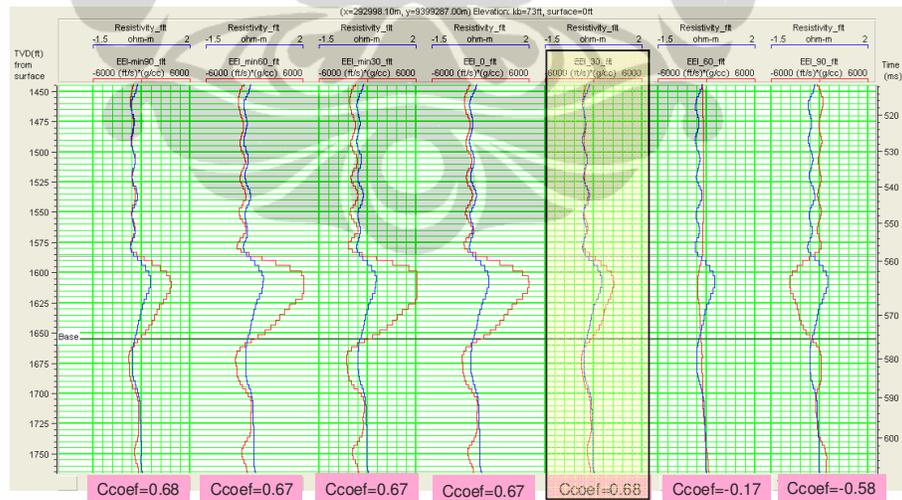


Gambar 5.8 Nilai gelombang S, Pseudo Vs ( $S\_wave\_math$ ) yang didapatkan untuk sumur wet lapangan X, A-04

Extended Elastic Impedance pada sumur wet data lapangan didapatkan dengan memasukkan nilai  $V_p$ ,  $V_s$  dan  $RHOB$ . Hasil korelasi dengan kurva Gamma Ray setelah dilakukan filter band pass pada frekuensi 4-8-110-120, koefisien korelasi terbesar didapatkan pada sudut  $\chi$  (chi) =  $90^\circ$  dengan koefisien korelasi = 0.90



Gambar 5.9 EEI pada sumur A-04 dikorelasikan dengan kurva GR untuk menunjukkan korelasi litologi. Tampak bahwa EEI  $90^\circ$  mempunyai derajat korelasi yang paling tinggi terhadap kurva GR (Correlation Coefficient = 0.90). Ini sesuai dengan sumur model M-01.



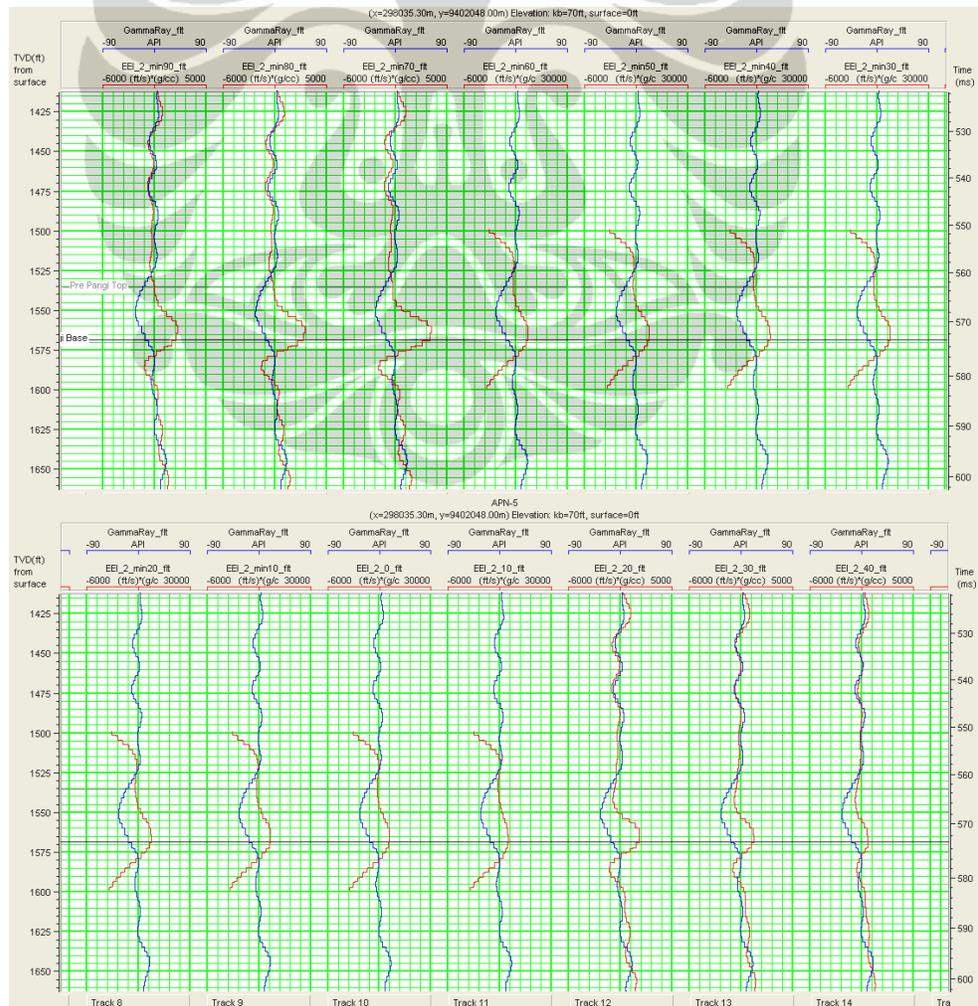
Gambar 5.10 EEI pada sumur A-04 dikorelasikan dengan kurva Resistivity untuk menunjukkan korelasi fluida. Tampak bahwa EEI  $30^\circ$  mempunyai derajat korelasi yang paling tinggi terhadap kurva Resistivity (Corr Coef = 0.68)

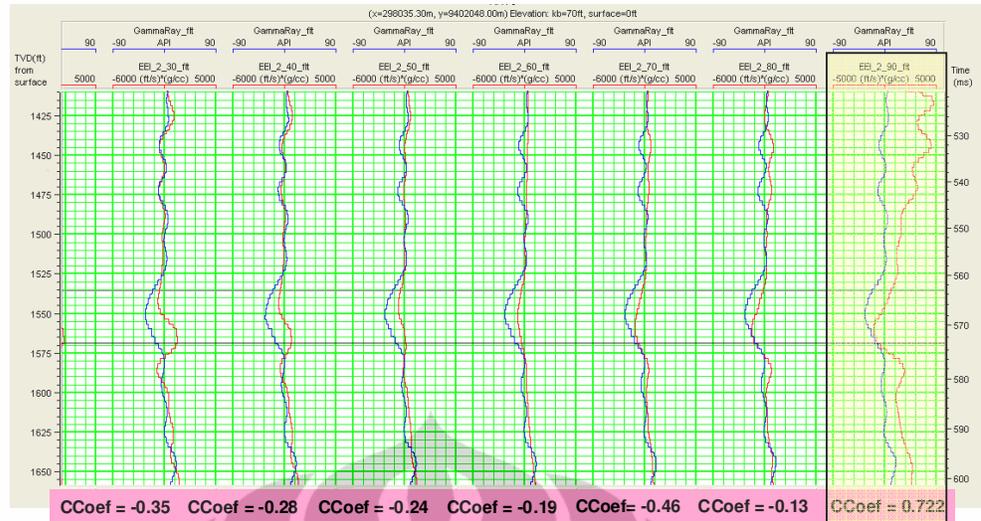
Sementara korelasi terhadap resistivity menunjukkan derajat kekorelasi sebesar 0.68 pada sudut  $\chi$  (chi) = 30° (Gambar 5.10).

### 5.5. Extended Elastic Impedance pada Sumur Gas A-05 di Lapangan X

Sumur A-05 ini merupakan gas sumur yang akan dicari sudut korelasi terbesar untuk Litologi Impedance dan sudut korelasi terbesar untuk Fluid Impedance. Sumur ini sama seperti sumur data lapangan lainnya yang tidak memiliki nilai gelombang S, Vs, karenanya perlu dilakukan dulu substitusi persamaan  $V_s = 3.38567V_p - 126.212$ . Setelah didapatkan nilai gelombang S, Vs maka dapat dilakukan perhitungan sudut korelasi untuk EEL.

Karena perhitungan nilai pseudo Vs yang dilakukan pada sumur ini didasarkan pada sumur model yang wet, maka harus dilakukan FRM dulu agar nilai Vs yang didapatkan nanti sudah merupakan nilai Vs sumur gas.

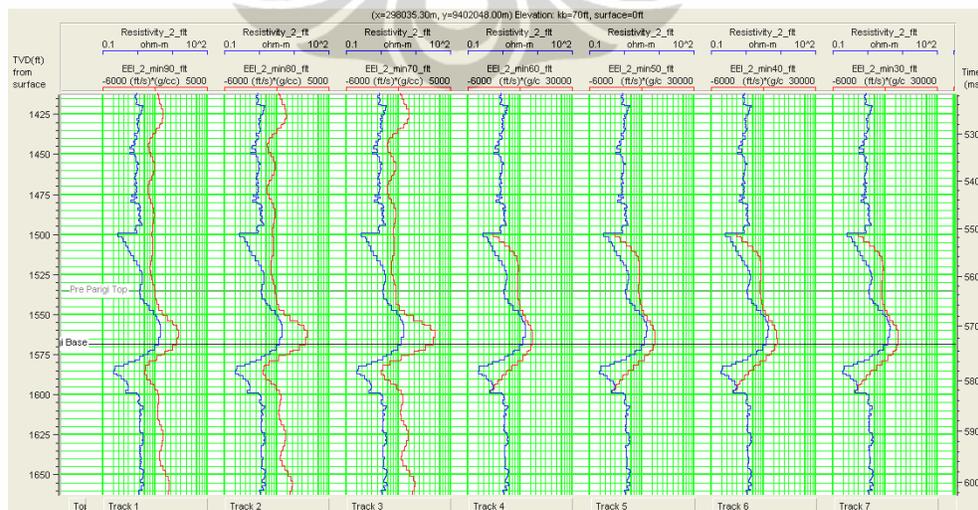


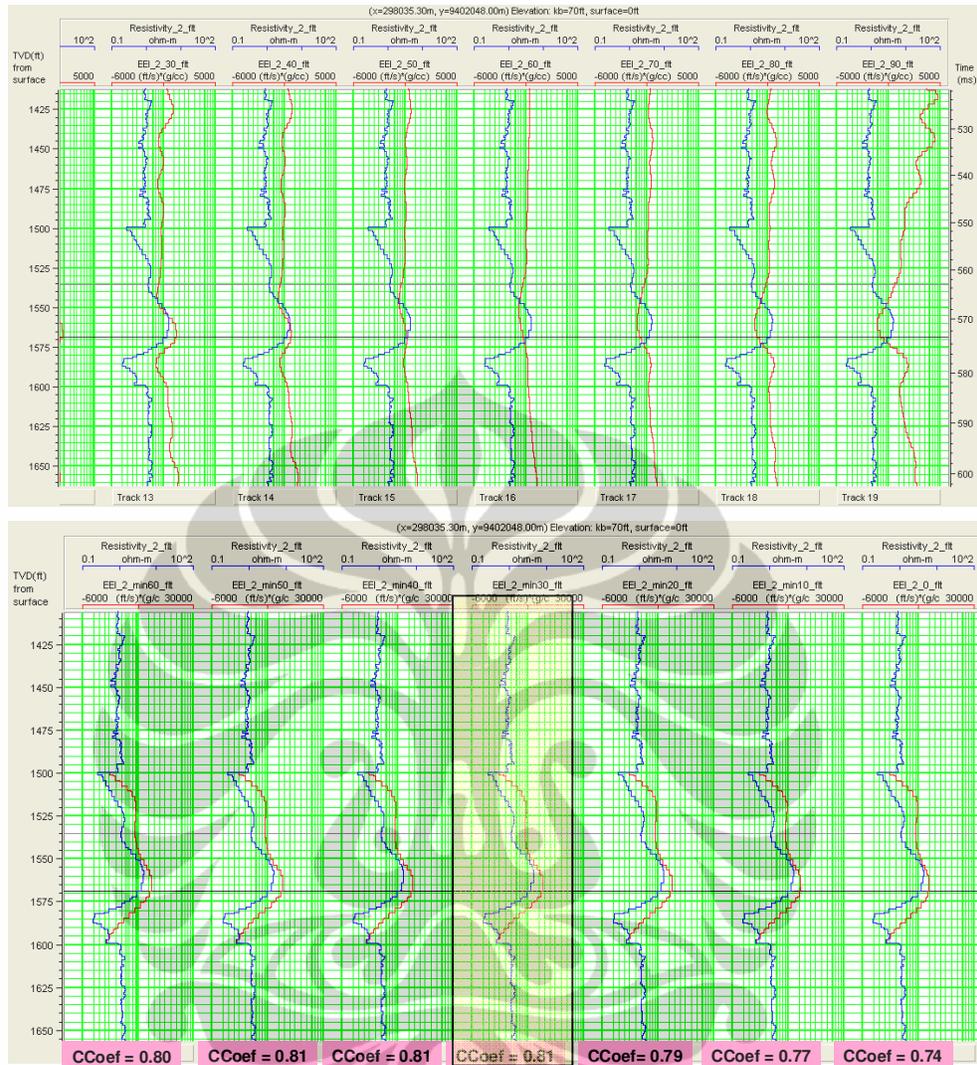


Gambar 5.11 EEI plot terhadap Gamma Ray, plot ditunjukkan untuk sudut  $-90^{\circ}$  sampai dengan  $90^{\circ}$  Koefisien Korelasi terbesar ada pada sudut  $90^{\circ}$  yaitu 0.722

Setelah didapatkan nilai Vs sumur gas, maka perhitungan EEI dapat dilakukan untuk menentukan nilai sudut bagi Litologi Impedance dan Fluida Impedance.

Untuk mendapatkan nilai  $\chi$  (chi) pada hubungan litologi, maka nilai EEI dikorelasikan dengan kurva Gamma Ray (gambar 5.11) dan resistivity (Gambar 5-12), dari hasil korelasi akan didapatkan nilai koefisien korelasi yang menunjukkan tingkat kekorelasi terbesar seperti pada gambar-gambar tersebut, dimana kurva dikorelasikan dengan increment sudut  $10^{\circ}$





Gambar 5.12 EEI plot terhadap Resistivity, plot ditunjukkan untuk sudut  $-90^{\circ}$  sampai dengan  $90^{\circ}$  dengan increment sudut  $10^{\circ}$ . Koefisien Korelasi terbesar ada pada sudut sekitar  $-30^{\circ}$  yaitu 0.81

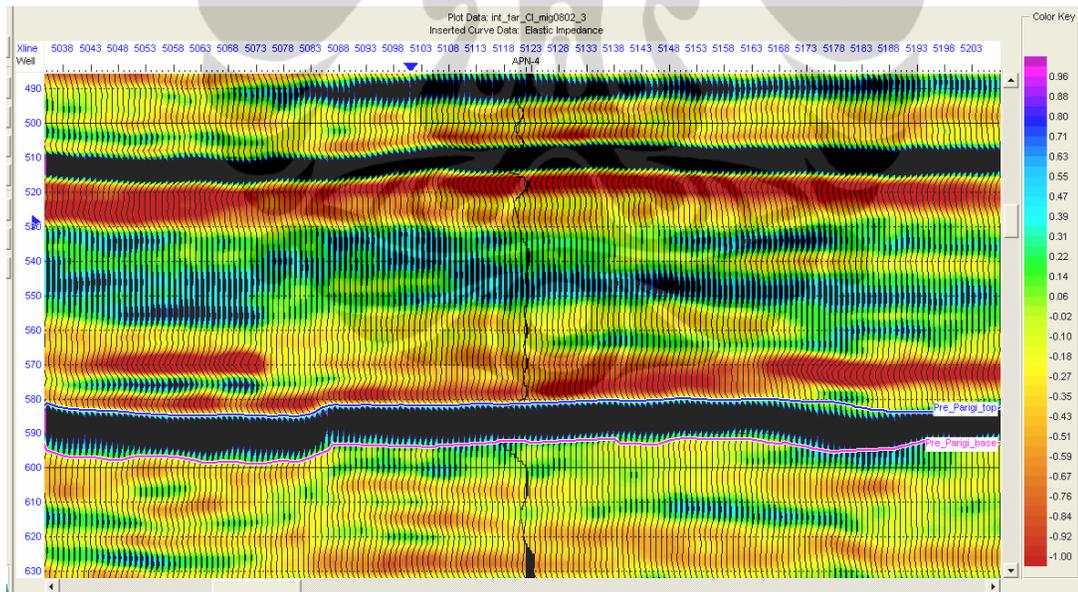
Kesimpulan sementara yang didapatkan dari hasil koefisien korelasi ke-3 sumur tersebut (satu sumur model dan 2 sumur lapangan), adalah bahwa nilai  $\chi$  untuk Litologi Impedance ada pada sudut  $\chi=90^{\circ}$ , sementara nilai  $\chi$  (chi) untuk Fluida Impedance adalah  $\chi$  (chi) pada sudut sekitar  $-30^{\circ}$ . Perlu diingat bahwa nilai sudut ini tidak tepat pada sudut tersebut, karena simulasi yang dilakukan berjarak sekitar  $-10^{\circ}$ , sehingga increment sudut kecil tidak ter-cover dalam simulasi ini.

## 5.6. Analisa Data Seismik

Analisa data seismik pada data lapangan dilakukan untuk volume far stack inverse dan near stack inverse. Berdasarkan processing report, volume near offset ini dibentuk pada sudut sekitar  $3^{\circ} - 20^{\circ}$ . Sementara untuk volume far offset dibentuk pada sudut  $18^{\circ} - 33^{\circ}$ . Analisa amplitude volume Inverse dilakukan dengan metode Coloured Inversion.

### 5.5.1. Impedansi Litologi

Pengolahan data EEI menunjukkan bahwa kurva EEI yang di korelasi silang dengan kurva Gamma Ray mempunyai korelasi koefisien terbesar pada sudut  $\chi = 90^{\circ}$ . Sementara pengolahan data seismik yang dilakukan untuk volume far stack dengan Coloured Inversion secara garis besar adalah melakukan rotasi fasa pada sudut  $90^{\circ}$ . Karena kedua hal diatas, maka nilai Impedansi Litologi adalah nilai far stack inverse, atau  $LI = \text{Inverse Far}$ .

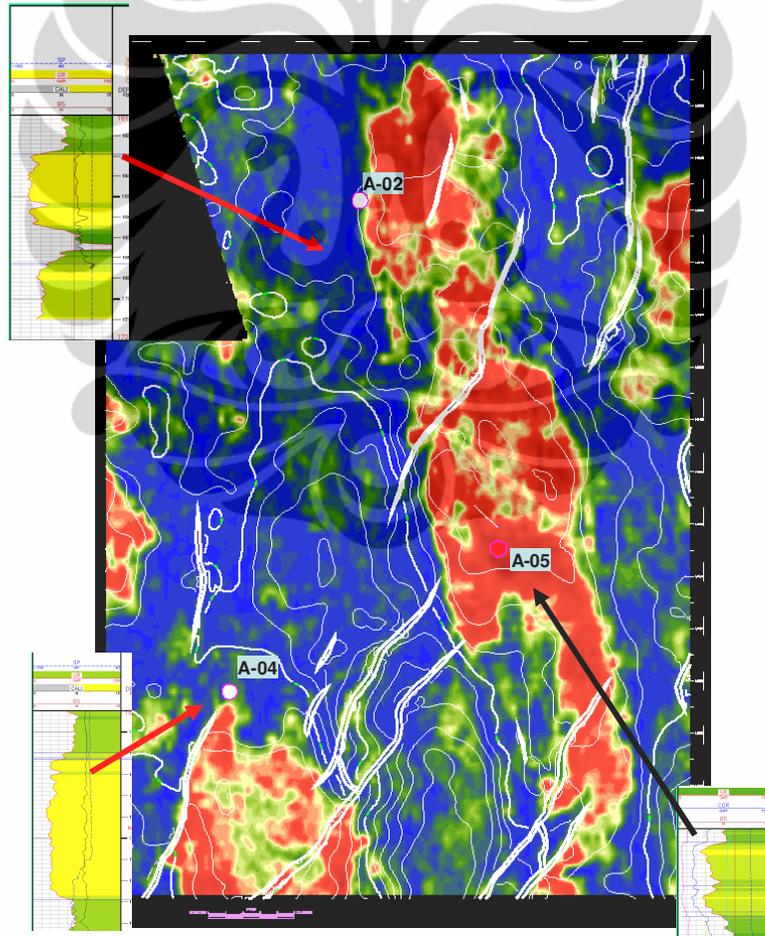


Gambar 5.13 Interpretasi PreParigi Top (line biru) dan PreParigi Base (line pink) yang membatasi reservoir Pre Pargi di lapangan X, dengan wavelet yang menunjukkan EEI  $90^{\circ}$ . Tampak pada gambar wavelet tie dengan inverse far stack volume

Untuk membuktikan hal di atas, bahwa EEI pada sudut  $\chi = 90^{\circ}$  sesuai dengan inverse far stack pada data seismic, dilakukan sumur tie untuk EEI sudut

$\chi = 90^0$  dengan data seismic inverse far stack. Gambar 5.13 menunjukkan kurva EEI sudut  $90^0$  yang sudah cukup *tie* dengan inverse far stack seismic volumenya. Sehingga dapat diambil kesimpulan sementara bahwa inverse dari volume far pada lapangan ini sesuai dengan EEI pada sudut  $90^0$  atau Gradien Impedance (GI). Atau bisa dikatakan EEI pada sudut  $90^0$  bisa menjadi gambaran Litologi Impedance.

Untuk memperlihatkan pola penyebaran reservoir dan fluida dalam bentuk peta, diperlukan ekstraksi amplitudo dalam prosesnya. Karena hal yang sudah diterangkan di atas, maka peta sebaran amplitude dari Impedansi Litologi dilakukan pada volume far stack inverse. Ekstraksi amplitude dilakukan dalam berbagai macam metode, tetapi yang kemudian dipilih adalah yang paling sesuai (*conform*) terhadap struktur.



Gambar 5.14 adalah gambaran ekstraksi amplitudo pada inverse far stack volume ditumpuk dengan kontur kedalaman lapisan Top Pre-Parigi

Dalam analisa ini dilakukan beberapa proses ekstraksi amplitude antara lain Maximum Negative, RMS dan Absolute Amplitude. Dari hasil yang diperoleh, tampak bahwa proses matematis Maximum Negative merupakan proses ekstraksi yang paling sesuai dengan gambaran struktur kedalaman pada lapisan Top Pre-Parigi. Gambar amplitudo terhadap stuktur bisa dilihat pada gambar 5.14.

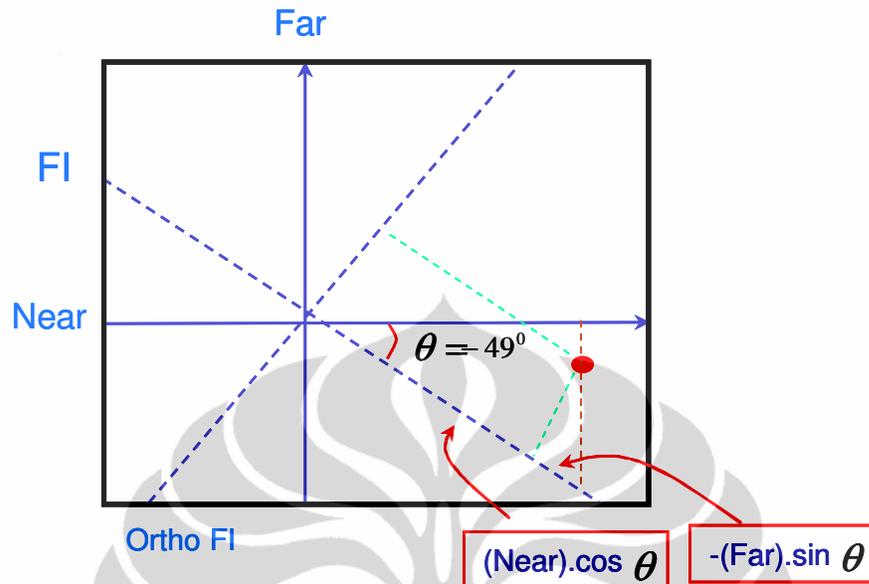
Seperti sudah dijelaskan di atas, maka hasil ekstraksi amplitude pada volume far stack inverse ini bisa menggambarkan sebaran peta sebaran litologi. Daerah yang merah sampai kuning merupakan daerah yang menggambarkan sebaran reservoir pada lapangan "X", sementara daerah yang biru sampai hijau tua adalah daerah yang bisa menggambarkan shale atau non-reservoir lainnya. Ini dapat dikonfirmasi juga dengan sumur-sumur penelitian dan sumur sekitar (A-02), dimana tampak bahwa sumur A-05 berada pada daerah berwarna merah gelap, merupakan daerah dengan reservoir yang cukup bagus dan tebal, meskipun pada log nya memang ada bagian yang tight di bawahnya. Gambaran Log dari sumur A-05, A-04 dan A-02 ada pada lampiran.

Sementara itu sumur A-04 yang merupakan sumur yang kosong atau wet berada tepat pada batas reservoir yaitu pada warna merah dan kuning berbatasan dengan warna hijau. Ini juga dapat dikonfirmasi dengan kurva log yang ada bahwa daerah ini, mempunyai reservoir yang masih cukup bagus meskipun tidak sebagus sumur A-05. Demikian pula untuk sumur A-02 yang merupakan offset sumur, dalam penelitian ini tidak digunakan dalam pengolahan data tetapi hanya digunakan sebagai sumur pembanding saja. Sumur A-02 ini berada pada nilai amplitude yang hampir sama dengan sumur A-04 sehingga juga ada pada batas warna antara merah – kuning dan hijau.

### **5.5.2. Impedansi Fluida**

Dari seismik sumur modeling, didapatkan korelasi terbaik kurva EEI dengan Resistivity adalah pada sudut  $\chi = -30^{\circ}$ . Dimana korelasi EEI dan Resistivity merepresentasikan Impedansi Fluida Sesuai dengan persamaan 2-3.1 dimana nilai  $\tan \chi = \sin^2 \theta$ . Maka nilai  $\theta$  atau sudut refleksi adalah sekitar  $-49^{\circ}$ . Perhitungan dilakukan memproyeksikan

sudut  $\theta$  pada sumbu X dan Y, dimana sumbu X adalah sumbu near stack dan sumbu Y adalah sumbu far stack seperti tampak pada gambar 5.15

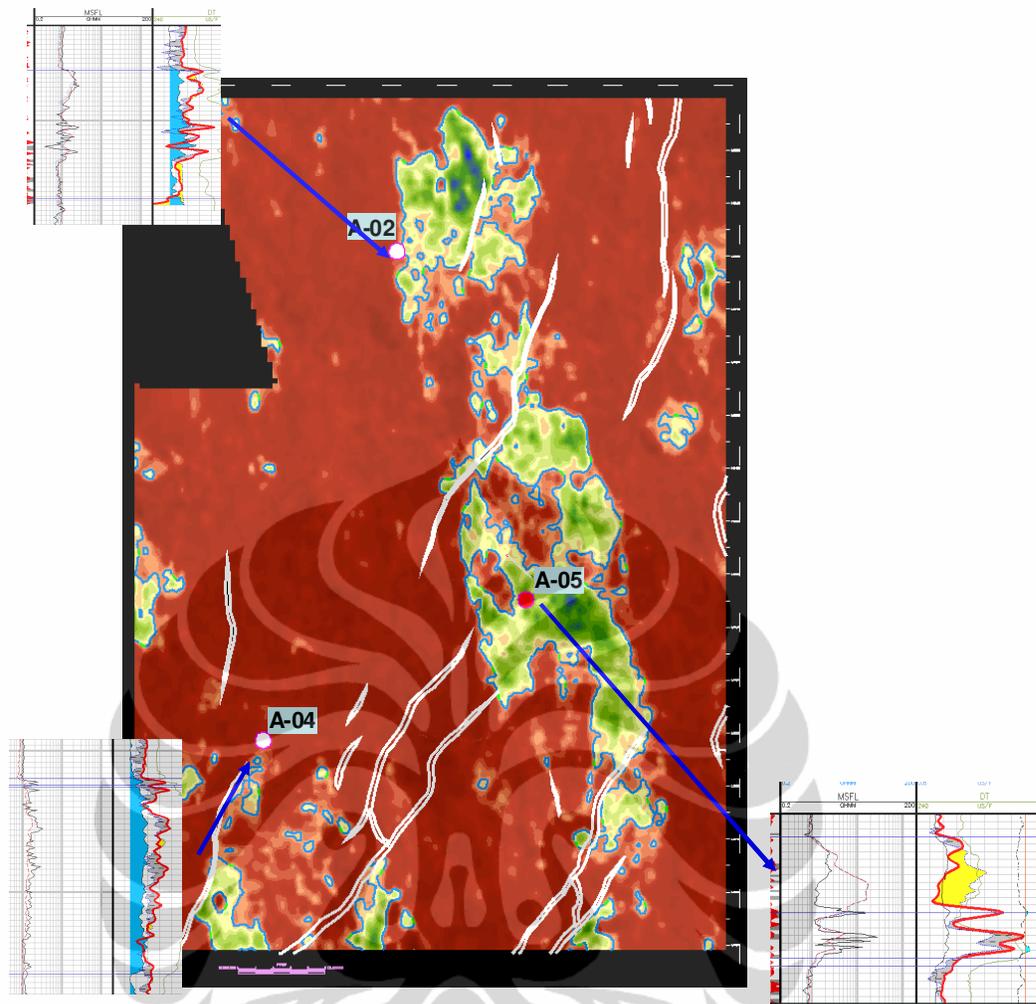


Gambar 5.15 Formulasi near dan far inverse stack terhadap sudut  $\chi$  (chi)

Dari gambar 5.15, persamaan near dan far nya bisa dituliskan menjadi  $FI = \cos \alpha \cdot (Near) + \sin \alpha \cdot (Far)$  dengan  $\alpha = -49^\circ$ , maka persamaan yang didapatkan menjadi  $FI = 0.65 (Near) - 0.76 (Far)$

Perhitungan di atas kemudian diterapkan dalam map math terhadap volume near dan far stack inverse, yang akan menghasilkan peta sebaran Fluida.

Dari gambar peta sebaran fluida, gambar 5.16, batas (*boundary*) amplitudo antara hijau- muda kuning dengan warna merah pada lapangan "X" ini ditunjukkan dengan kontur biru mudah pada pada nilai amplitudo sekitar -6000 pada gambar 5.16, batas ini merepresentasikan batas fluida terhadap non-fluida.



Gambar 5.16 Ekstraksi amplitudo pada kombinasi  $0.65 \cdot \text{Near} - 0.76 \cdot \text{Far}$  inverse volume, yang diharapkan menunjukkan pola penyebaran fluida. Sumur A-05 merupakan sumur gas dan sumur A-04 merupakan sumur wet dan sumur A-02 merupakan sumur yang sedikit mengandung gas.

Pelamparan daerah yang berwarna hijau sampai kuning merupakan gambaran sebaran fluida. Ini dapat dikonfirmasi oleh sumur-sumur di lapangan tersebut. Sumur A-05 yang merupakan sumur gas dan berada di daerah yang berwarna hijau cukup pekat dengan nilai amplitude sekitar  $-3000 - -5000$ . Jika dikonfirmasi lebih lanjut dengan kurva log A-05 menunjukkan *cross over* yang cukup baik pada nilai NPHI dan RHOB, gambar ada pada lampiran C, hal ini menunjukkan nilai gas yang cukup tinggi, dibuktikan pula dengan adanya nilai 130 unit gas peaks dari log report sumur A-05. Sementara itu sumur A-04 pada peta sebaran fluida menunjukkan posisi sumur ada di bagian amplitude berwarna merah yang mengindikasikan daerah non-fluida, konfirmasi pada log sumur A-04

ditunjukkan juga dengan tidak adanya *cross over* di bagian atas pada kurva NPHI dan RHOB pada sumur ini, gambar pada lampiran C. Sementara untuk sumur A-02 berada tepat di kontur biru muda yang mengindikasikan batas fluida (gas) dengan non-gas, sudah masuk ke dalam area yang *wet*. Ini dapat dikonfirmasi dari kurva NPHI dan RHOB dimana terdapat sedikit *cross over* di bagian atas, yang kemudian menghilang ke sebelah bawahnya. Dari log report juga ditunjukkan bahwa sumur A-02 ini mengandung sedikit gas.



## BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

- Pada data sumur yang tidak memiliki kurva gelombang S, nilai pseudo gelombang S,  $V_s$  yang dipakai cukup representatif untuk melakukan pemodelan EEI. Pseudo gelombang S diturunkan dari data sumur yang mempunyai nilai  $V_s$  pada daerah dengan karakteristik reservoir yang sama dengan data lapangan
- Dalam kasus lapangan “X” cekungan Jawa barat utara ini, metode analisa AVO tidak efektif untuk memisahkan efek fluida
- Metode Lambda-Mu-Rho masih cukup efektif untuk memisahkan efek fluida dan litologinya, tetapi untuk implementasi ke data seismic diperlukan input data CMP gather sehingga untuk studi ini tidak dapat diteruskan karena keterbatasan data.
- Untuk kasus sumur model yang distudi, dari studi EEI, pemisahan litologi dari fluida menunjukkan nilai  $\chi = 90^0$  dan  $\chi = -30^0$ . Ini diperkuat dengan studi LMR yang memberikan hasil yang cukup representatif, dimana pemisahan fluida dan litologi tampak pada hasil cross sectionnya sesuai dengan polygon cross plotnya.
- Impedansi Litologi (LI) pada lapangan “X” dihasilkan dengan nilai  $\chi(chi) = 90^0$  yang nilainya sesuai dengan inverse far stack volumenya.
- Impedansi Fluida (FI) dihasilkan dengan nilai  $\chi(chi) = -30^0$  atau sama dengan formulasi map maths FI = 0.65 (Near) – 0.76 (Far) volumenya.
- Peta sebaran Impedansi Litologi dan Impedansi Fluida didapatkan dengan ekstraksi amplitude dari kombinasi far dan near di atas, dengan metoda matematis Maximum Negative, dimana metode ini menghasilkan peta sebaran amplitude yang paling cocok (*conform*) terhadap struktur kedalaman lapisan karbonat Pre-Parigi di lapangan “X”
- Dari peta sebaran litologi dapat dilihat pada sumur A-02, A-04 dan sumur A-05 merupakan daerah reservoir, meskipun untuk sumur A-04 merupakan reservoir yang lebih tipis daripada sumur A-05. Sementara dari peta sebaran fluida tampak bahwa sumur A-05 merupakan sumur dengan kandungan gas

yang cukup bagus. Untuk sumur A-04 adalah sumur yang wet dan sama sekali tidak ada kandungan gas, sementara untuk sumur A-02 adalah sumur dengan sedikit sekali kandungan gas.

## **6.2. Saran**

Untuk pengeboran sumur produksi disarankan untuk melakukan pengeboran di daerah yang berwarna hijau ke arah kuning dari peta sebaran litologi, dan diharapkan untuk menghindari daerah yang berwarna merah, dengan kata lain untuk sumur pengeboran pada lapisan karbonat Pre-Parigi bisa dilakukan arah ke selatan agak ke timur dari sumur A-05 atau arah ke utara agak ke barat. Dan untuk mengoptimisasi produksi bisa disarankan untuk pengeboran dengan sumur horizontal dan strategi perforated liner untuk sumur gas ini.

Untuk melihat dan mengidentifikasi pemisahan litologi terhadap fluida lebih lanjut untuk sumur-sumur produksi berikutnya dengan metoda ini, disarankan untuk melakukan akuisisi seismik 3D lagi yang ditambah komponen waktu dalam lapangan ini setelah ada sumur produksi, hal ini dimaksudkan untuk melihat perjalanan fluida pada lapisan karbonat Pre-Parigi.

## REFERENSI

- \_\_\_\_\_, 1995 ; Well Completion and Report Manual (Unpublished report)
- \_\_\_\_\_, 2009 ; Workshop Manual, Hampson-Russel CGG Veritas
- Castagna , J., and Swam, H., 1997, *Principals of AVO Crossplotting : The Leading Edge*, 16 No. 4, 337-342
- Connolly, P., 1999, *Elastic Impedance : The Leading Edge*, 18 No 4, 438-452.
- Latimer, R. B., et al, 2000, *An Interpreter's guide to understanding and working with seismic derived acoustic impedance data : The Leading Edge*, 242-256
- Gassman, F., 1951, *Über die elastizität poroses medien : Vierteljahrsschrift der Natur, Gessellschaft*, 96, 1-23.
- Lancaster, Steve and Whitecomb, David, 2000, *Fast Track Coloured Inversion : SEG Expanded Abstract*, 19, 1572 (4 pages)
- Simm, R., et al, 2000, *The anatomy of AVO crossplots : The Leading Edge*, 19, No 2, 150-155
- Velzeboer, C.J., 1981, *The theoretical seismic reflection response of sedimentary sequences*. *Geophysics* Vol. 46, No. 6, pp843-853
- Whitecomb, D.N. and Fletcher, J. G., 2001, *AIGI crossplot as an aid to AVO analysis and calibration : SEG Expanded Abstract*, 20, 219
- Whitcombe, D. N., et. al, 2002, *Extended Elastic Impedance for Fluid and Lithology Prediction : Geophysics* Vol. 67 no. 1, 63-67
- Zoeppritz, K., 1919, *Erdbebenwellen VIII B, On the reflection and propagation of seismic waves: Gottinger Bchrichten*, I, 66-84.
- Munadi S., 1991, *Seismologi Eksplorasi*, Publikasi HAGI Indonesia.
- Chiburis, E.F., 1984. *Analysis of Amplitude Versus Offset to detect gas oil contact in Arabic Gulf*, 54th, Ann, internat. Mtg., Soc. Expl., Geophys., Expanded Abstract, 669-670

Sukmono, S, 2000 ; Seismik Inversi untuk Karakterisasi Reservoir, Jurusan  
Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung.



## LAMPIRAN A

Parameter yang digunakan untuk Fluid Replacement Model pada sumur referensi M-01. Parameter untuk fluid properties dan parameter untuk matrix properties minerals. Data diambil dari lab core test dengan karakter reservoir karbonat

**Perform Batzle-Wang Calculations**

**Set Parameters for Fluid Properties Calculations**  
This menu calculates the density and bulk modulus of the hydrocarbon and brine

Pressure: Constant = 511.000 PSI

Gas Gravity: Constant = 0.570 API

Temperature: Constant = 125.700 Degrees F

Oil Gravity: Constant = 0.000 API

Gas-Oil Ratio: Constant = 10000.000 L / L

Salinity: Constant = 25000.000 ppm

Do not exceed saturation GOR  Patchy Saturation (Bulk Modulus Voigt Average)

Calculation Method: Batzle-Wang Formulas

	Oil	Gas	Brine	Pore Fluid : brine + gas	
Calculated Density:	0.0254	0.0220	1.0058	0.0220	(g/cc)
Calculated Modulus:	0.0034	0.0054	2.4920	0.0054	(GPa)
Saturation GOR:	4.165	(L/L)	Water Saturation:	0.00	[frac]
Water Flash Pressure:	0.0072	(MPa)	Sample #	0	2061.5 m.

Ok Apply Reset Cancel Help

**Set the Biot-Gassman Minerals Parameters**

**Calculate Matrix Properties from Minerals**  
This menu calculates the density and bulk modulus of the matrix, assuming it is composed of the minerals listed below.

Use Volumetric Logs

Mineral	Logs	Amount (%)	Density (g/cc)	Bulk Modulus (GPa)	Shear Modulus (GPa)
Quartz	Constant =	0.0	2.650	36.600	45.000
Calcite	Constant =	56.4	2.710	76.800	32.000
Clay	Constant =	12.4	2.580	20.900	6.900
Pyrite	Constant =	31.2	4.930	147.400	132.500
(None)	Constant =	0.0	0.000	0.000	0.000

Matrix Averaging Formula:  
 Reuss  
 Hashin-Shtrikman average

G-C Coefficients: Import

Sample # 0 2061.5 m.

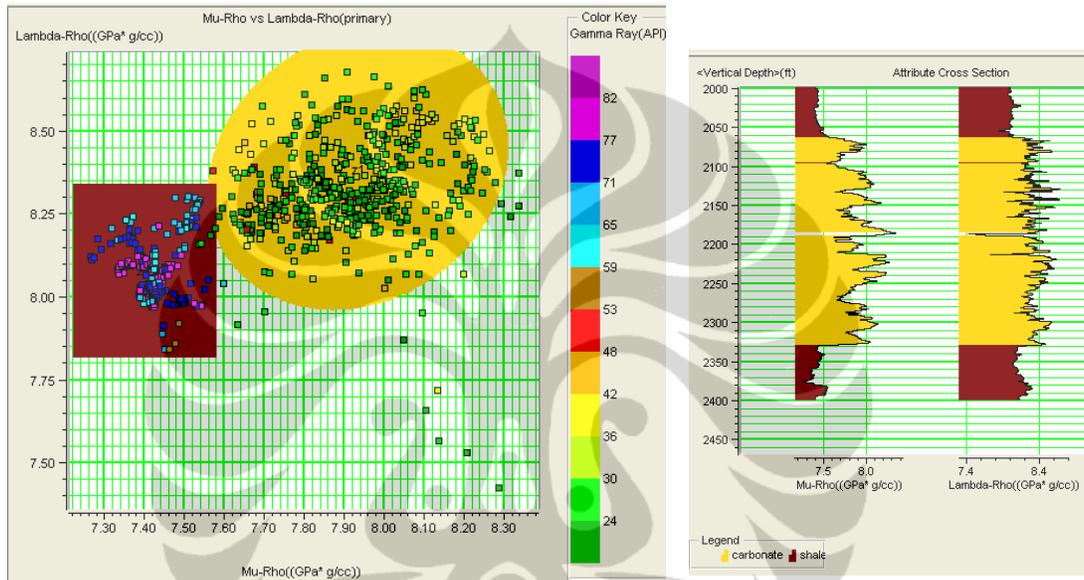
Calculated Density: 3.38652 (g/cc)  
 Calculated Bulk Modulus: 64.9627 (GPa)  
 Calculated Shear Modulus: 26.35 (GPa)

Ok Apply Reset Cancel Help

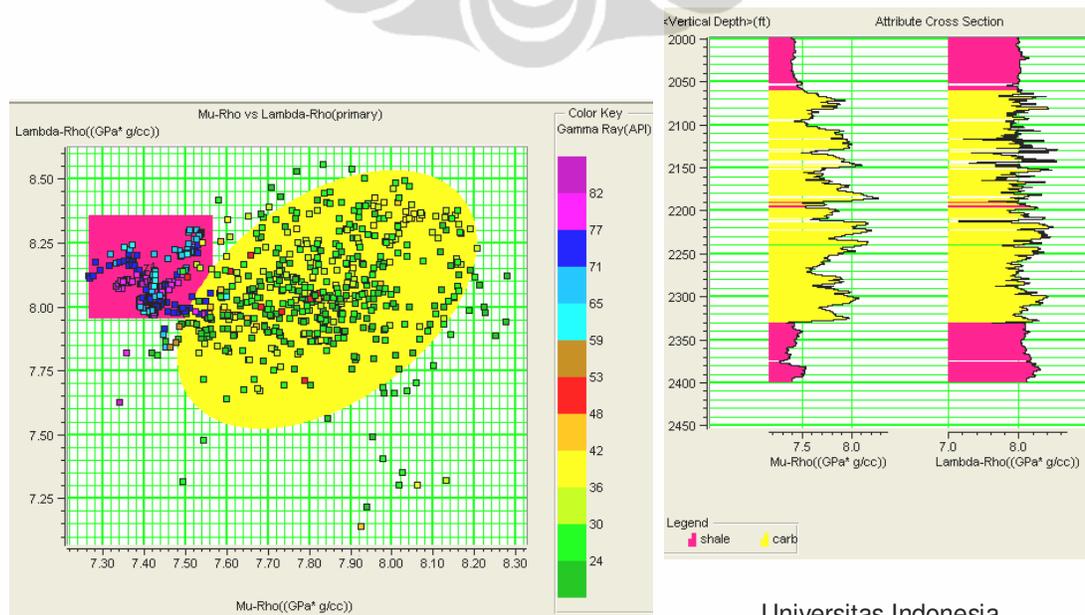
## LAMPIRAN B

### Analisa Sensitivitas Lambda-Mu-Rho

Mu-rho Lamda rho terhadap Gamma Ray wet case

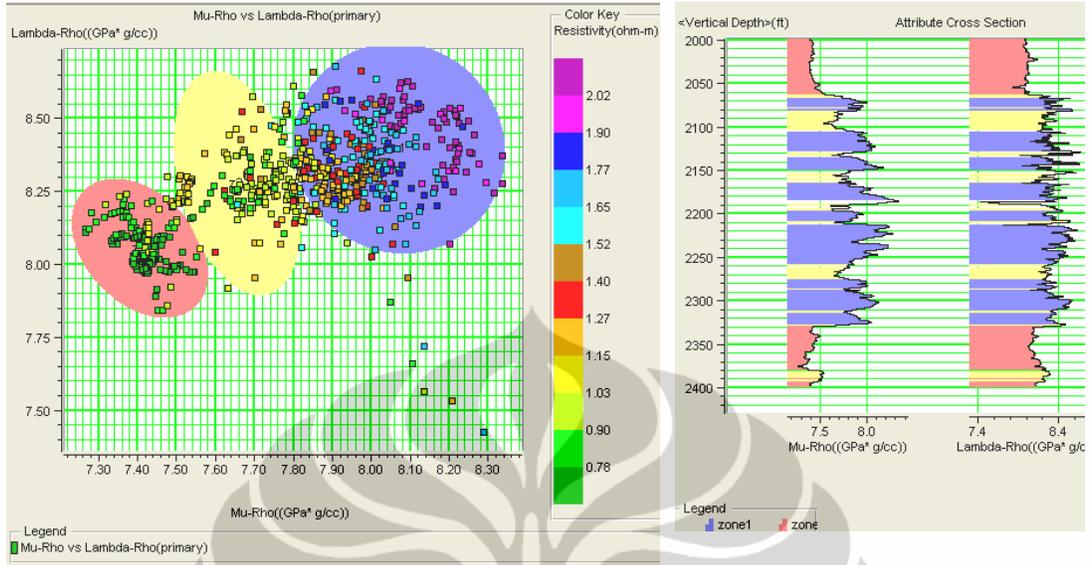


Mu-rho Lamda-rho terhadap Gamma Ray Kasus Hydrocarbon (Gas)

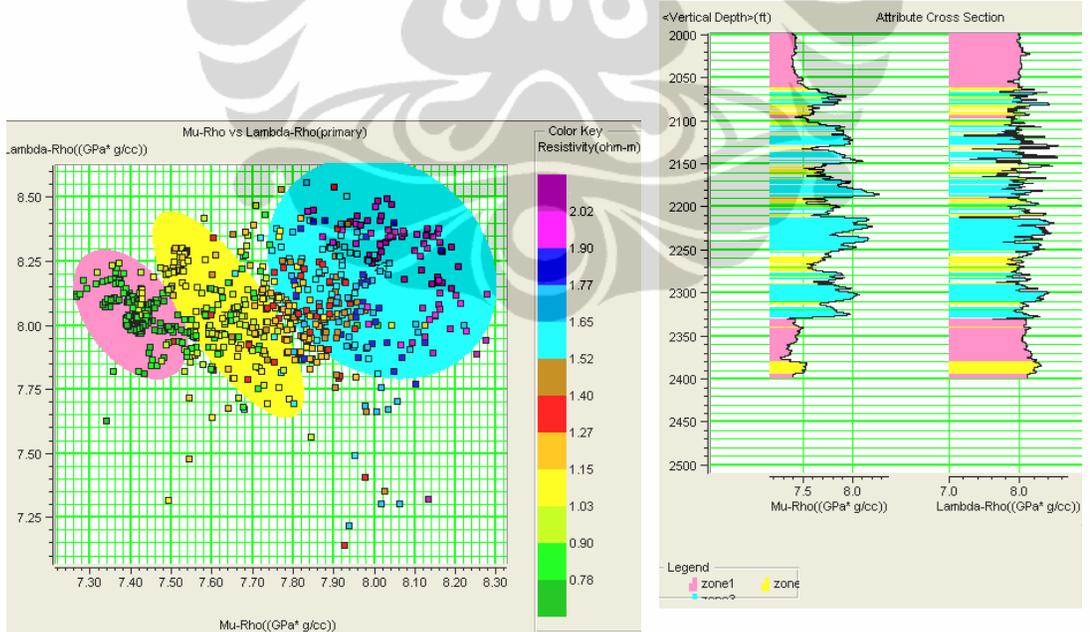


Universitas Indonesia

### Mu rho Lamda rho vs Resistivity Wet case



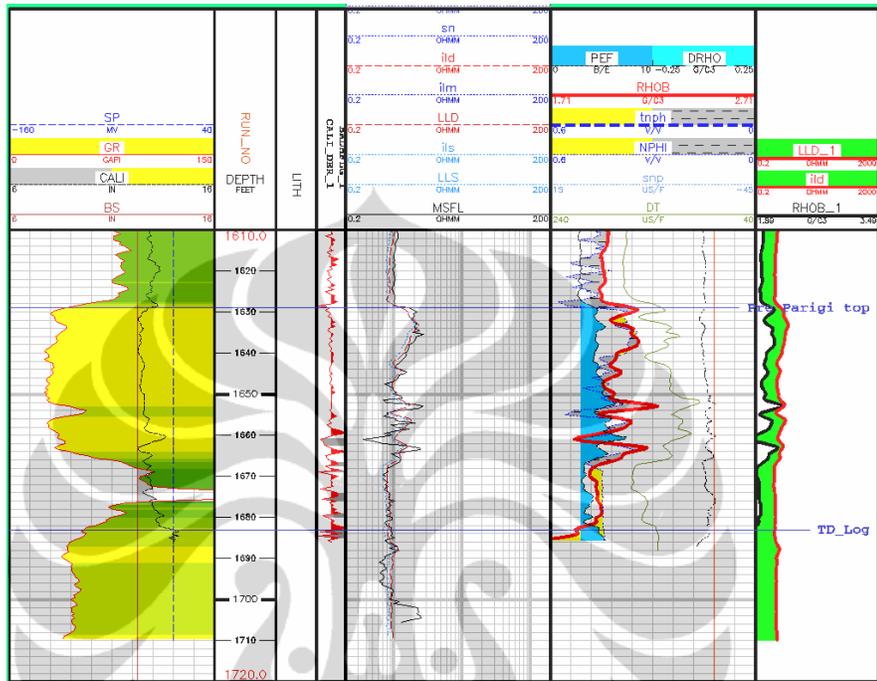
### Mu rho Lamda rho vs Resistivity Gas Case



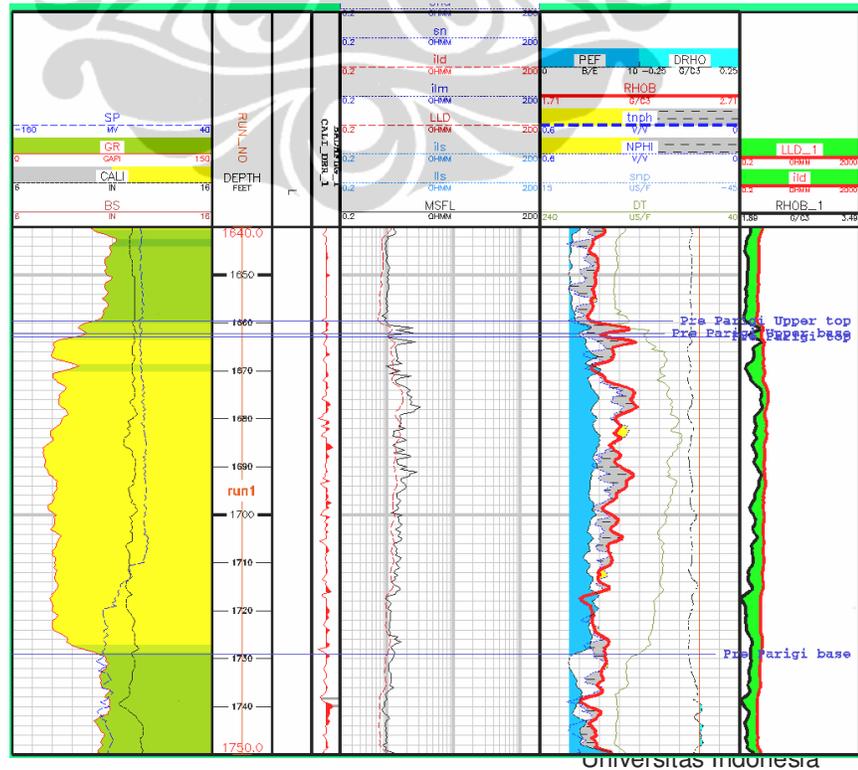
## LAMPIRAN C

Completion log Sumur A-02, A-04 dan A-05

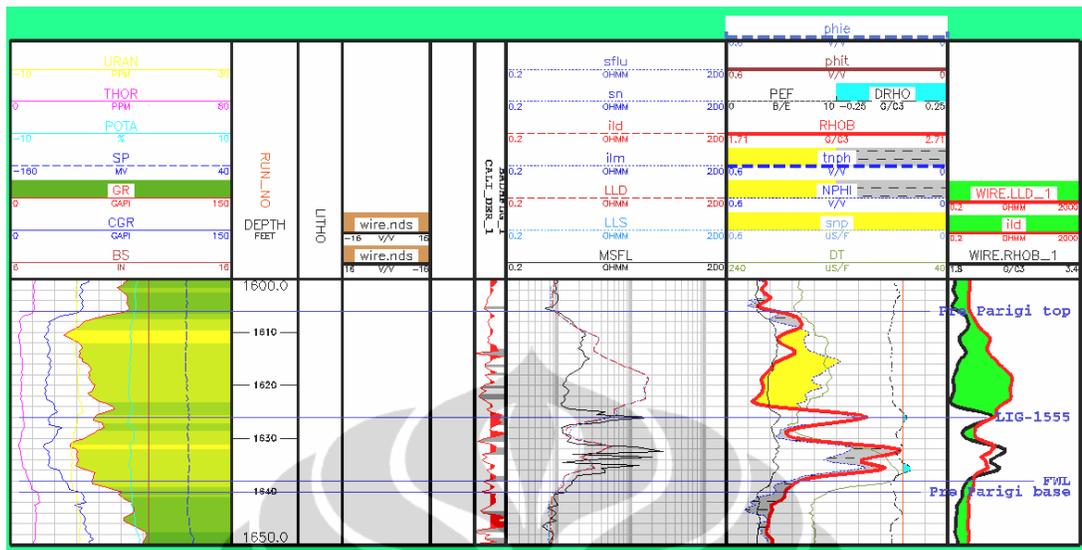
Log Sumur A-02



Log Sumur A-04



Log A-05



## LAMPIRAN D

Script Matlab dan Eksport file perhitungan correlation coefisien dari semua kombinasi kurva EEI dengan kurva GammaRay dan Resistivity

```
%gr=load('Export_EEI\A05_gammaray_flt_2.dat'); % Load GR data
res=load('Export_EEI\A05_res_flt_2.dat'); % Load GR data

% Load EEI filtered data

A05_eei_min90_flt=load('Export_EEI\A05_eei_min90_flt_2.dat');
A05_eei_min80_flt=load('Export_EEI\A05_eei_min80_flt_2.dat');
A05_eei_min70_flt=load('Export_EEI\A05_eei_min70_flt_2.dat');
A05_eei_min60_flt=load('Export_EEI\A05_eei_min60_flt_2.dat');
A05_eei_min50_flt=load('Export_EEI\A05_eei_min50_flt_2.dat');
A05_eei_min40_flt=load('Export_EEI\A05_eei_min40_flt_2.dat');
A05_eei_min30_flt=load('Export_EEI\A05_eei_min30_flt_2.dat');
A05_eei_min20_flt=load('Export_EEI\A05_eei_min20_flt_2.dat');
A05_eei_min10_flt=load('Export_EEI\A05_eei_min10_flt_2.dat');
A05_eei_0_flt=load('Export_EEI\A05_eei_0_flt_2.dat');
A05_eei_10_flt=load('Export_EEI\A05_eei_10_flt_2.dat');
A05_eei_20_flt=load('Export_EEI\A05_eei_20_flt_2.dat');
A05_eei_30_flt=load('Export_EEI\A05_eei_30_flt_2.dat');
A05_eei_40_flt=load('Export_EEI\A05_eei_40_flt_2.dat');
A05_eei_50_flt=load('Export_EEI\A05_eei_50_flt_2.dat');
A05_eei_60_flt=load('Export_EEI\A05_eei_60_flt_2.dat');
A05_eei_70_flt=load('Export_EEI\A05_eei_70_flt_2.dat');
A05_eei_80_flt=load('Export_EEI\A05_eei_80_flt_2.dat');
A05_eei_90_flt=load('Export_EEI\A05_eei_90_flt_2.dat');

% Correlation Coef

ccoefmin90=corrcoef(res(:,2),A05_eei_min90_flt(:,2))
ccoefmin80=corrcoef(res(:,2),A05_eei_min80_flt(:,2))
ccoefmin70=corrcoef(res(:,2),A05_eei_min70_flt(:,2))
ccoefmin60=corrcoef(res(:,2),A05_eei_min60_flt(:,2))
ccoefmin50=corrcoef(res(:,2),A05_eei_min50_flt(:,2))
ccoefmin40=corrcoef(res(:,2),A05_eei_min40_flt(:,2))
ccoefmin30=corrcoef(res(:,2),A05_eei_min30_flt(:,2))
ccoefmin20=corrcoef(res(:,2),A05_eei_min20_flt(:,2))
ccoefmin10=corrcoef(res(:,2),A05_eei_min10_flt(:,2))
ccoef0=corrcoef(res(:,2),A05_eei_0_flt(:,2))
ccoef10=corrcoef(res(:,2),A05_eei_10_flt(:,2))
ccoef20=corrcoef(res(:,2),A05_eei_20_flt(:,2))
ccoef30=corrcoef(res(:,2),A05_eei_30_flt(:,2))
ccoef40=corrcoef(res(:,2),A05_eei_40_flt(:,2))
ccoef50=corrcoef(res(:,2),A05_eei_50_flt(:,2))
ccoef60=corrcoef(res(:,2),A05_eei_60_flt(:,2))
ccoef70=corrcoef(res(:,2),A05_eei_70_flt(:,2))
ccoef80=corrcoef(res(:,2),A05_eei_80_flt(:,2))
ccoef90=corrcoef(res(:,2),A05_eei_90_flt(:,2))

% Plot

subplot(1,2,1), plot(gr(:,2),gr(:,1));
subplot(1,2,2), plot(A05_eei_90_flt(:,2),A05_eei_90_flt(:,1))
```

### Hasil koefisien korelasi EEI terhadap GammaRay pada sumur A04 (wet)

>>eei\_filter\_A04\_gr

ccoefmin90 =  
1.0000 0.6818  
0.6818 1.0000

ccoefmin60 =  
1.0000 0.6732  
0.6732 1.0000

ccoefmin30 =  
1.0000 0.6704  
0.6704 1.0000

ccoef0 =  
1.0000 0.6738  
0.6738 1.0000

ccoef30 =  
1.0000 0.6792  
0.6792 1.0000

ccoef60 =  
1.0000 -0.1730  
-0.1730 1.0000

ccoef90 =  
1.0000 -0.5570  
-0.5570 1.0000

>>

### Hasil koefisien korelasi EEI terhadap Resistivity pada sumur A04 (gas)

>>eei\_filter\_A04\_res

ccoefmin90 =  
1.0000 -0.8105  
-0.8105 1.0000

ccoefmin60 =  
1.0000 -0.8563  
-0.8563 1.0000

ccoefmin30 =  
1.0000 -0.8632  
-0.8632 1.0000

ccoef0 =  
1.0000 -0.8536

```

-0.8536  1.0000

ccoef30 =
  1.0000 -0.7757
 -0.7757  1.0000

ccoef60 =
  1.0000  0.6362
  0.6362  1.0000

ccoef90 =
  1.0000  0.9046
  0.9046  1.0000
>>

```

**Hasil koefisien korelasi EEI terhadap GammaRay pada sumur A05 (gas)**

```

>> eei_filter_A05

ccoefmin90 =
  1.0000 -0.4420
 -0.4420  1.0000

ccoefmin80 =
  1.0000 -0.4500
 -0.4500  1.0000

ccoefmin70 =
  1.0000 -0.4623
 -0.4623  1.0000

ccoefmin60 =
  1.0000 -0.4647
 -0.4647  1.0000

ccoefmin50 =
  1.0000 -0.4634
 -0.4634  1.0000

ccoefmin40 =
  1.0000 -0.4591
 -0.4591  1.0000

ccoefmin30 =
  1.0000 -0.4520
 -0.4520  1.0000

ccoefmin20 =
  1.0000 -0.4418
 -0.4418  1.0000

ccoefmin10 =
  1.0000 -0.4278
 -0.4278  1.0000

ccoef0 =

```

```

1.0000 -0.4088
-0.4088 1.0000

ccoef10 =
1.0000 -0.3840
-0.3840 1.0000

ccoef20 =
1.0000 -0.3531
-0.3531 1.0000

ccoef30 =
1.0000 -0.3531
-0.3531 1.0000

ccoef40 =
1.0000 -0.2768
-0.2768 1.0000

ccoef50 =
1.0000 -0.2357
-0.2357 1.0000

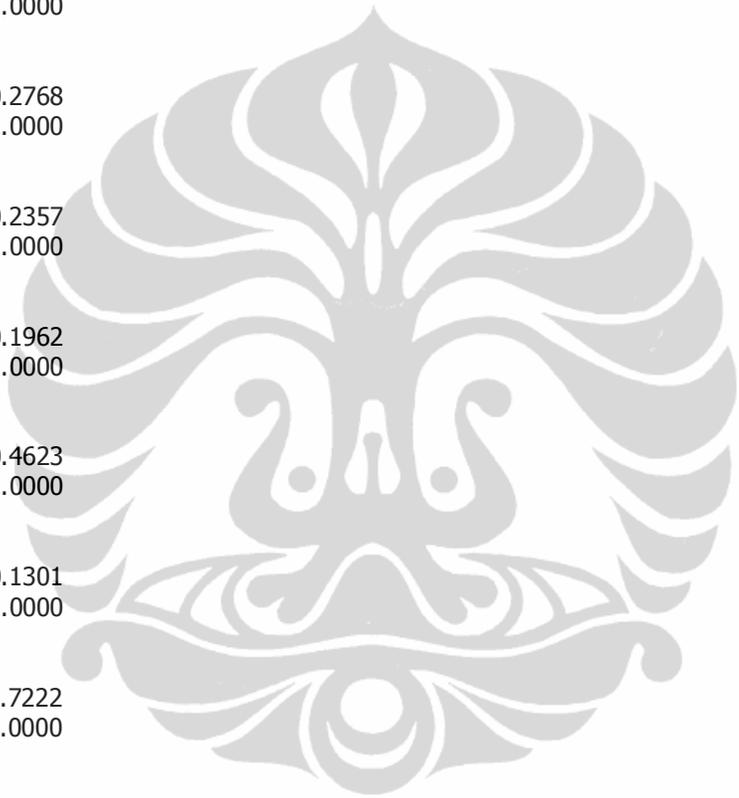
ccoef60 =
1.0000 -0.1962
-0.1962 1.0000

ccoef70 =
1.0000 -0.4623
-0.4623 1.0000

ccoef80 =
1.0000 -0.1301
-0.1301 1.0000

ccoef90 =
1.0000 0.7222
0.7222 1.0000

```



**Hasil koefisien korelasi EEI terhadap Resistivity pada sumur A05 (gas)**

```

>> eei_filter_A05

ccoefmin90 =
1.0000 0.7182
0.7182 1.0000

ccoefmin80 =
1.0000 0.7370
0.7370 1.0000

ccoefmin70 =
1.0000 0.7861
0.7861 1.0000

```

ccoefmin60 =  
1.0000 0.8050  
0.8050 1.0000

ccoefmin50 =  
1.0000 0.8151  
0.8151 1.0000

ccoefmin40 =  
1.0000 0.8173  
0.8173 1.0000

ccoefmin30 =  
1.0000 0.8119  
0.8119 1.0000

ccoefmin20 =  
1.0000 0.7986  
0.7986 1.0000

ccoefmin10 =  
1.0000 0.7764  
0.7764 1.0000

ccoef0 =  
1.0000 0.7441  
0.7441 1.0000

ccoef10 =  
1.0000 0.7007  
0.7007 1.0000

ccoef20 =  
1.0000 0.6464  
0.6464 1.0000

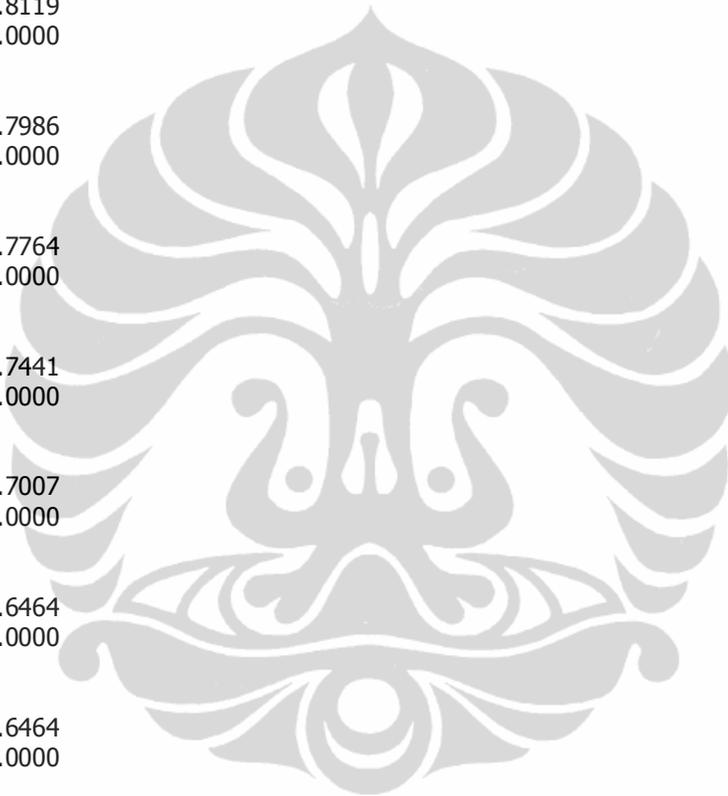
ccoef30 =  
1.0000 0.6464  
0.6464 1.0000

ccoef40 =  
1.0000 0.5137  
0.5137 1.0000

ccoef50 =  
1.0000 0.4433  
0.4433 1.0000

ccoef60 =  
1.0000 0.3761  
0.3761 1.0000

ccoef70 =  
1.0000 0.7861  
0.7861 1.0000



```
ccoef80 =  
  1.0000  0.2636  
  0.2636  1.0000
```

```
ccoef90 =  
  1.0000 -0.9677  
 -0.9677  1.0000
```

```
>>
```

