

**ANALISIS DAN PERBANDINGAN METODE SEISMIK  
INVERSI *POST-STACK MODEL-BASED*, *BANDLIMITED*,  
DAN *SPARSE-SPIKE* DI AREA QDTF, *NORTH SERIBU  
TROUGH***

**SKRIPSI**

**oleh :**

**QORI'UL DENNIS TUGAS FIANDANI  
125090700111022**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2016**



**ANALISIS DAN PERBANDINGAN METODE SEISMIK  
INVERSI *POST-STACK MODEL-BASED*, *BANDLIMITED*,  
DAN *SPARSE-SPIKE* DI AREA QDTF, *NORTH SERIBU  
TROUGH***

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dalam Bidang Fisika

oleh :

**QORI'UL DENNIS TUGAS FIANDANI  
125090700111022**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2016**

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## LEMBAR PENGESAHAN

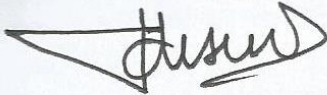
### ANALISIS DAN PERBANDINGAN METODE SEISMIK INVERSI *POST-STACK MODEL-BASED, BANDLIMITED,* DAN *SPARSE-SPIKE* DI AREA QDTF, NORTH SERIBU TROUGH

oleh :

**QORI'UL DENNIS TUGAS FIANDANI**  
**125090700111022**

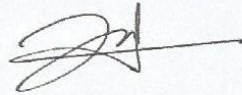
Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal.. **0-2.. NOV 2016**  
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I



Adi Susilo, Ph.D.  
NIP. 196312271991031002

Pembimbing II



Deni Wahyuadi

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



Sukir Maryanto, Ph.D.  
NIP. 197106271998021001

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Qori'ul Dennis Tugas Fiandani  
NIM : 125090700111022  
Jurusan : Fisika  
Penulisan Skripsi berjudul :

### **ANALISIS DAN PERBANDINGAN METODE SEISMIK INVERSI *POST-STACK MODEL-BASED, BANDLIMITED,* DAN *SPARSE-SPIKE* DI AREA QDTF, *NORTH SERIBU TROUGH***

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam daftar pustaka Skripsi ini, semata-mata hanya digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila dikemudian hari diketahui bahwa isi Skripsi saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 21 Juli 2016  
Yang menyatakan,

(Qori'ul Dennis Tugas Fiandani)  
NIM. 125090700111022

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



# **ANALISIS DAN PERBANDINGAN METODE SEISMIK INVERSI *POST-STACK MODEL-BASED*, *BANDLIMITED*, DAN *SPARSE-SPIKE* DI AREA QDTF, NORTH SERIBU TROUGH**

## **ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian analisis dan perbandingan metode seismik inversi *post-stack model-based*, *bandlimited*, *sparse-spike maximum likelihood* dan *sparse-spike linear programming* pada area QDTF. Tujuan penelitian yaitu untuk menentukan metode seismik inversi yang paling tepat digunakan di daerah penelitian, menentukan *range* nilai impedansi akustik reservoir dan mengidentifikasi pola persebaran reservoir. Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan seperti *quality control* data seismik dan sumur, *well seismic tie*, interpretasi struktur dan *horizon*, analisis sensitivitas, pembuatan model awal, analisis inversi, proses inversi hingga diperoleh peta impedansi akustik tiap-tiap metode inversi. Analisis semua metode dilakukan dengan membandingkan hasil secara kuantitatif mulai dari nilai *error* dan korelasi analisis inversi, serta dilihat secara kualitatif pada hasil inversi. Berdasarkan hasil penelitian, *range* nilai impedansi akustik pada zona reservoir berkisar antara 20000-27500 ((ft/s).(g/cc)) dengan *range* nilai porositas 10%-56.5%. Metode seismik inversi yang paling tepat digunakan di daerah penelitian yaitu metode seismik inversi *sparse-spike linear programming* dengan nilai korelasi 0.998 dan *error* hasil inversi 5.17% serta kesesuaian antara impedansi akustik hasil inversi dan data sumur sudah baik. Berdasarkan peta impedansi akustik, pola persebaran reservoir dapat diidentifikasi dan mempunyai orientasi dari arah selatan ke utara berlawanan arah dengan *trend* struktur.

Kata kunci : metode inversi *model-based*, *bandlimited*, *sparse-spike maximum likelihood*, *sparse-spike linear programming*

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

**ANALYSIS AND COMPARISON OF MODEL-BASED,  
BANDLIMITED, AND SPARSE-SPIKE POST-STACK SEISMIC  
INVERSION METHOD IN QDTF AREA, NORTH SERIBU  
TROUGH**

**ABSTRACT**

*The research has been undertaken to analyze and compare the model-based, bandlimited, sparse-spike maximum likelihood and sparse-spike linear programming post-stack seismic inversion method in QDTF area. The purpose of this research to analyze and determine the seismic inversion methods which most appropriate in the area, determine the range of acoustic impedance reservoir value and identified the reservoir distribution pattern. The research was done by several steps such as quality control of seismic and well data, seismic well tie, interpretation of structure and horizon, sensitivity analysis, built model, inversion analysis, until the inversion process to obtain the map of acoustic impedance inversion of each method. The analysis methods included determine the quantitative results from an error value and correlation of inversion analysis and qualitatively by observe the inversion result. Based on analyze, the range values of acoustic impedance in the reservoir zone between 20000-27500 ((ft/s).(g/cc)) with a range of porosity value 10%-56.5%. Based on quantitative and qualitatively comparison the seismic inversion methods which the most appropriate in the research area is sparse-spike linear programming seismic inversion method with correlation value 0.998 and inversion result error 5.17%, and compatibility between acoustic impedance inversion result and well data were good. Based on acoustic impedance map, the reservoir distribution pattern could be identified and the orientation of reservoir distribution leads from south to north against with trend of structure.*

*Keyword : model-based, bandlimited, sparse-spike maximum likelihood, sparse-spike linear programming inversion methods*

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, karena atas limpahan rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya, penulis dapat melaksanakan kegiatan tugas akhir dan menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul : **ANALISIS DAN PERBANDINGAN METODE SEISMIK INVERSI *POST-STACK MODEL-BASED, BANDLIMITED, DAN SPARSE-SPIKE* DI AREA QDTF, NORTH SERIBU TROUGH** dengan lancar dan sesuai pada waktu yang telah ditentukan. Laporan penelitian tugas akhir ini bertujuan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh derajat Sarjana S-1 di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, masukan serta dukungan dari semua pihak, laporan penelitian tugas akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Sukir Maryanto, Ph.D., selaku ketua jurusan Fisika.
2. Bapak Adi Susilo, Ph.D selaku pembimbing I yang telah memberikan dukungan, masukan, nasehat serta ilmunya kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Mas Deni Wahyuadi selaku pembimbing II yang telah sabar membimbing, memberikan masukan serta saran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan lancar.
4. Ayah, Ibu dan Adik serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan motivasi, dukungan, dan doa kepada penulis.
5. Mbak Andra, Pak Awa, Mas Aldo, Pak Itung, Mas Firman, Mas Asep, Mbak Linda, Mas Aveliansyah, Mbak Valen, Pak Chandra, Bu Nina, Bu Debby, Mas Indra, Pak Kosasi, Pak Bambang, Pak Wahyu, Mbak Yashinta, Mas Aldif dan seluruh keluarga departemen *subsurface* yang telah memberikan masukan, saran dan dukungan kepada penulis.
6. Pak Prawoto yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian di Divisi New Development.
7. Pak Ujang yang telah mengizinkan penulis melakukan penelitian di Divisi Eksplorasi.
8. Danan (Geofisika UI), Ade (Teknik Perminyakan UPN), Jalu (Teknik Geologi UNDIP), Nisa (Teknik Perminyakan Universitas Trisakti), Deffy (Geofisika UGM) dan Riri

(Geofisika UGM) teman seperjuangan di lantai 9 yang senantiasa menyemangati dan memberikan masukan serta saran kepada penulis selama pelaksanaan penelitian.

9. Fathur (Teknik Mesin POLINES), Endah (Teknik Geologi UGM), Okty (Geofisika UNPAD) dan Rika (Teknik Perminyakan UPN) serta teman-teman seperjuangan yang melaksanakan tugas akhir di PHE WMO dan JOB-Talisman Jambi Merang.
10. Putri, Indah, Mas Farizky, Mas Surya, Viqri, Wawan, Danang, Rival, Intan, Asti, Adel, Erwan, Argya, Aziz, Ririn, Alfi, Dessy, Mas Zarnuji, Dwi, Fida, Mbak Lia, Mbak Hami dan yang telah memberikan dukungan, motivasi dan doa kepada penulis.
11. Teman-teman geofisika UB angkatan 2012 yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
12. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyelesaian penulisan laporan penelitian tugas akhir yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan penelitian tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan penulisan di kemudian hari. Semoga ilmu-ilmu yang tertulis dalam laporan penelitian ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca sekalian.

Malang, 21 Juli 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Geologi Regional.....	3
2.2 Struktur dan Stratigrafi Daerah <i>North Seribu Trough</i> .....	4
2.3 Gelombang Seismik.....	7
2.3.1 Gelombang Badan ( <i>Body Wave</i> ).....	7
2.3.2 Gelombang Permukaan ( <i>Surface Wave</i> ).....	9
2.4 Komponen Seismik Refleksi.....	10
2.4.1 Impedansi Akustik dan Koefisien Refleksi.....	12
2.4.2 Polaritas.....	13
2.4.3 Wavelet.....	14
2.4.4 Resolusi Seismik.....	15
2.4.5 Seismogram Sintetik.....	17
2.5 Seismik inversi.....	18
2.5.1 Model Konvolusional.....	20
2.5.2 Inversi <i>Model-based</i> .....	20
2.5.3 Inversi <i>Bandlimited</i> .....	22
2.5.4 Inversi <i>Sparse-spike</i> .....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Rancangan Penelitian.....	27
3.3 Materi Penelitian.....	27

3.4 Langkah Penelitian .....	29
3.4.1 Studi Literatur .....	30
3.4.2 <i>Quality Control</i> Data Sumur dan Data Seismik .....	30
3.4.3 Pengikatan Data Seismik dan Data Sumur ( <i>Well Seismic Tie</i> ) .....	31
3.4.4 Interpretasi Struktur dan <i>Horizon</i> .....	32
3.4.5 Analisis Sensitivitas .....	33
3.4.6 Pembuatan Model Awal.....	34
3.4.7 Analisis Inversi.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Analisis Sensitivitas .....	37
4.2 Analisis Inversi.....	41
4.2.1 Inversi <i>Model-based</i> .....	42
4.2.2 Inversi <i>Bandlimited</i> .....	44
4.2.3 Inversi <i>Sparse-spike Maximum Likelihood</i> .....	46
4.2.4 Inversi <i>Sparse-spike Linear Programming</i> .....	48
4.3 Analisis Hasil Inversi .....	51
4.4 Peta Impedansi Akustik.....	56
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN .....	65



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lokasi penelitian area <i>North Seribu Trough</i> (Taufiqurrachman & Tanjung, 2013) .....	3
Gambar 2.2 Kolom stratigrafi di area <i>North Seribu Trough</i> (Noble, et al., 1997) .....	4
Gambar 2.3 Penjalaran gelombang primer (Elnashai & Sarno, 2008) .....	8
Gambar 2.4 Penjalaran gelombang sekunder (Elnashai & Sarno, 2008) .....	9
Gambar 2.5 Penjalaran gelombang <i>Love</i> (Elnashai & Sarno, 2008) ..	9
Gambar 2.6 Penjalaran gelombang <i>Reyleigh</i> (Elnashai & Sarno, 2008) ..	10
Gambar 2.7 Penjalaran gelombang P ketika melewati dua medium berbeda (Oldenburg, et al., 2016) .....	11
Gambar 2.8 Prinsip metode seismik refleksi, (A) Penjalaran gelombang seismik kebawah permukaan kemudian dipantulkan dan diterima oleh geopon dan (B) Penampang seismik (Slatt, 2006) .....	11
Gambar 2.9 Koefisien refleksi pada sudut datang nol derajat (Bhatia & N., 1986) .....	13
Gambar 2.10 Polaritas normal dan <i>reverse</i> (Abdullah, 2014).....	14
Gambar 2.11 Tipe wavelet <i>minimum phase</i> dan <i>zero phase</i> (Veeken, 2007) .....	15
Gambar 2.12 Resolusi vertikal tergantung pada interaksi jarak wavelet yang berdekatan (Brown, 2001) .....	16
Gambar 2.13 Seismogram sintetik yang diperoleh dari konvolusi koefisien refleksi dan wavelet (Sukmono, 1999) .....	18
Gambar 2.14 Hubungan antara <i>forward</i> dan <i>inverse modelling</i> (Russell, 1988) .....	19
Gambar 2.15 Macam-macam teknik inversi (Russell, 1988).....	19
Gambar 3.1 Diagram alir tahapan pengolahan data .....	29
Gambar 3.2 a. <i>Well seismic tie</i> dengan hasil korelasi 0.72, b. wavelet <i>Ricker</i> dengan <i>zero phased</i> .....	32
Gambar 3.3 a.Peta <i>time surface</i> dan b. Hasil interpretasi struktur dan <i>horizon</i> pada <i>inline 800</i> .....	33
Gambar 3.4 Hasil pembuatan model pada <i>inline 578</i> .....	34

Gambar 4.1 <i>Crossplot</i> antara log <i>P-impedance</i> (sumbu X) dan log <i>gamma ray</i> (sumbu Y) untuk memisahkan litologi, b. <i>Cross section</i> dari kedua log tersebut.....	38
Gambar 4.2 a. <i>Crossplot</i> antara log <i>porosity</i> dan log <i>P-impedance</i> , b. <i>Cross section</i> dari kedua log tersebut .....	40
Gambar 4.3 Analisis inversi <i>model-based</i> .....	43
Gambar 4.4 Analisis inversi <i>bandlimited</i> .....	45
Gambar 4.5 Analisis inversi <i>sparse-spike maximum likelihood</i> .....	47
Gambar 4.6 Analisis inversi <i>sparse-spike linear programming</i> .....	49
Gambar 4.7 Hasil inversi metode <i>model-based</i> .....	52
Gambar 4.8 Hasil inversi metode <i>bandlimited</i> .....	53
Gambar 4.9 Hasil inversi metode <i>sparse-spike maximum likelihood</i> .....	54
Gambar 4.10 Hasil inversi metode <i>sparse-spike linear programming</i> .....	55
Gambar 4.11 Peta impedansi akustik inversi <i>sparse-spike linear programming</i> .....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Interpretasi dari nilai korelasi (Zou, et al., 2003) .....	41
Tabel 4.2 <i>Quality control</i> hasil analisis inversi.....	50

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Penggunaan Data.....	65
Lampiran 2 <i>Quality Control</i> Data Seismik dan Data Sumur .....	67
Lampiran 3 <i>Crossplot Quality Control</i> Analisis Inversi .....	69
Lampiran 4 Peta impedansi akustik .....	71
Lampiran 5 Peta <i>Time Surface</i> .....	74

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada tahun 1969, IAPCO menemukan lapangan baru di cekungan Sunda dan menghasilkan minyak mencapai 170 MMBOE. Dibagian timur cekungan Sunda, *North Seribu Trough* mempunyai *source rock* yang sudah matang. Besar cadangan minyaknya diperkirakan mencapai 60 MMBOE (Noble, et al., 1997). Namun penelitian yang telah dilakukan di area QDTF, *North Seribu Trough* masih berupa interpretasi data seismik 2D dan 3D untuk menentukan jebakan potensial dan pemetaan geometri patahan (Agus, et al., 1996). Selanjutnya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai karakterisasi reservoir untuk mengetahui persebaran reservoir yang terdapat di area penelitian dengan menggunakan metode seismik inversi.

Metode karakterisasi reservoir yang baik digunakan untuk mengetahui persebaran reservoir yaitu metode seismik inversi *post-stack* (inversi AI). Seismik inversi ini menggunakan data seismik sebagai parameter input dan data sumur sebagai parameter kontrol. Seismik inversi AI memanfaatkan parameter *acoustic impedance* bawah permukaan dalam menghasilkan model bumi, sehingga sangat baik digunakan dalam mengkarakterisasi reservoir. Pada seismik inversi *post-stack* terdiri dari beberapa macam metode seperti metode *model-based*, *bandlimited*, *sparse-spike maximum likelihood*, dan *sparse-spike linear programming*. Semua metode inversi tersebut dapat digunakan untuk mengkarakterisasi suatu reservoir hidrokarbon. Namun, tidak semua metode seismik inversi tersebut dapat memberikan hasil yang baik dalam mengkarakterisasi reservoir suatu area tertentu. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan penggunaan parameter dan algoritma pada tiap-tiap metode seismik inversi serta dapat dipengaruhi oleh karakteristik area penelitian.

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis metode seismik inversi *post-stack* dalam menentukan metode yang paling tepat untuk karakterisasi reservoir khususnya karakterisasi reservoir di area QDTF, *North Seribu Trough*. Sehingga dengan terpilihnya metode yang tepat untuk karakterisasi reservoir tersebut, diharapkan dapat memberikan solusi metode untuk proyek karakterisasi reservoir di area QDTF yang terdapat di *North Seribu Trough*.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa nilai impedansi akustik di reservoir area penelitian?
2. Metode inversi *post-stack* apa yang paling tepat untuk memperlihatkan persebaran reservoir di area penelitian?
3. Bagaimana pola persebaran reservoir di area penelitian?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Penelitian ini dibatasi pada Formasi Talang Akar - Lakustrin yang berada di area QDTF pada *North Seribu Trough* yang merupakan obyek penelitian.
2. Penelitian ini dibatasi untuk memperoleh penampang impedansi akustik, dan analisis metode inversi *Model-based*, *Bandlimited*, dan *Sparse-spike*.

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Menentukan nilai impedansi akustik dari reservoir area penelitian.
2. Menentukan metode inversi *post-stack* yang paling tepat untuk memperlihatkan persebaran reservoir di area penelitian.
3. Mengidentifikasi pola persebaran reservoir di area penelitian.

## 1.5 Manfaat Penelitian

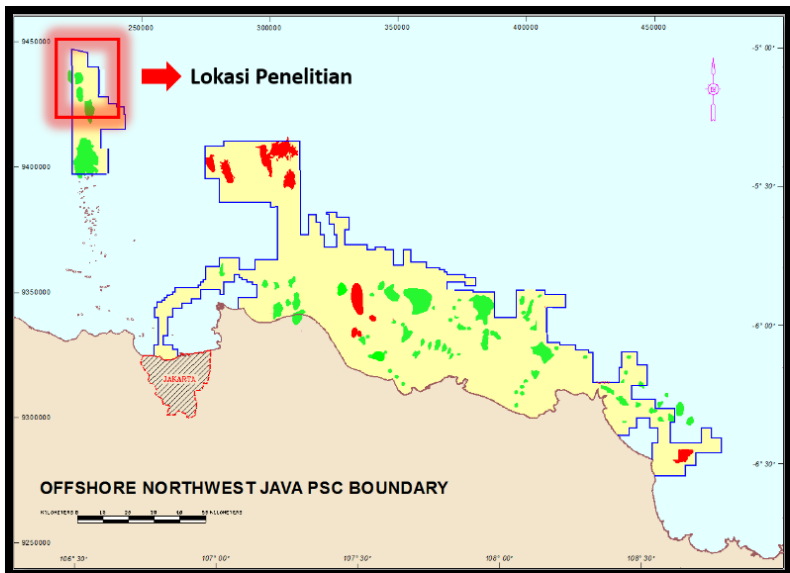
Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penggunaan metode *Model-based*, *Bandlimited*, dan *Sparse-spike*, diharapkan dapat digunakan sebagai referensi dalam penentuan metode seismik inversi untuk melakukan proyek karakterisasi reservoir di area penelitian.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Regional

Daerah penelitian termasuk di dalam sistem sub-cekungan *North Seribu Trough*. Secara regional menurut Fletcher, Soepardji dan Katili di dalam Fainstein & Pramono (1986), daerah penelitian termasuk di dalam sistem *back-arc basin (foreland basin off)* yang terletak di *Northwest Java Sea*. Lokasi penelitian terletak di *trend* Pulau Seribu *Northwest Java Sea*, bagian paling timur dari Cekungan Sunda (Fainstein & Pramono, 1986). Paparan Seribu merupakan blok *horst* utama yang terletak di antara Cekungan Sunda dan Cekungan Arjuna ke arah timur. *Trend* Pulau Seribu bergerak mendekati arah N-S dan membentuk perbatasan Paparan Seribu di sebelah barat (Fainstein & Pramono, 1986).

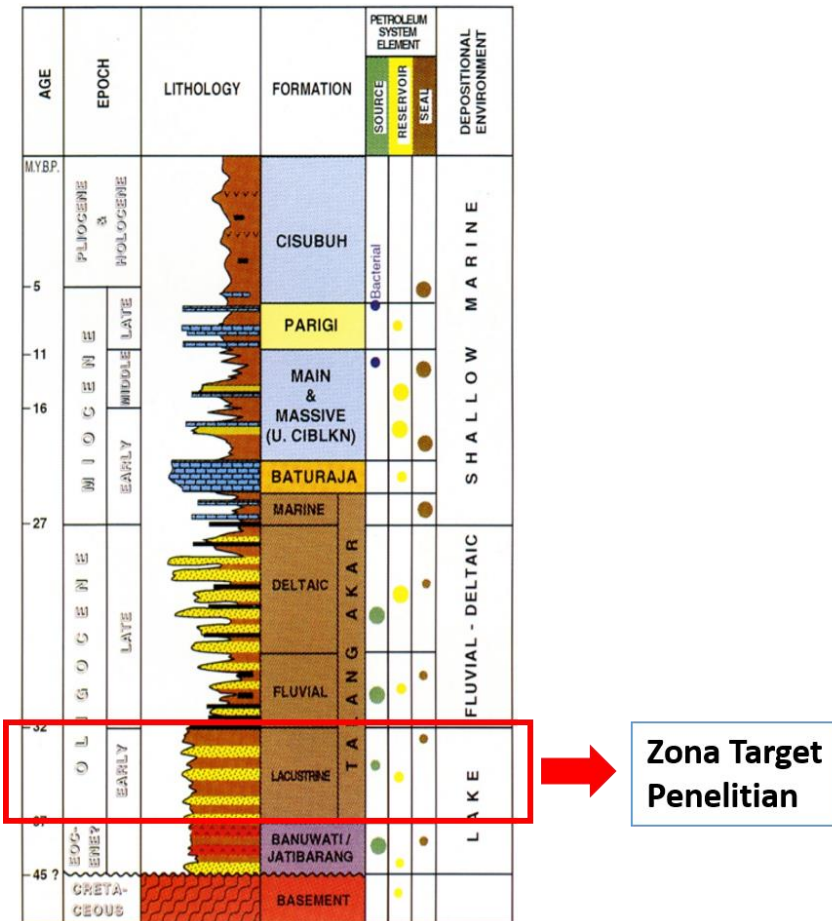


Gambar 2.1 Lokasi penelitian area *North Seribu Trough*  
(Taufiqurrachman & Tanjung, 2013)

Lokasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 merupakan salah satu wilayah operasi kerja PT Pertamina Hulu Energi ONWJ bagian *Northwest corner*.

## 2.2 Struktur dan Stratigrafi Daerah North Seribu Trough

North Seribu Trough dikontrol oleh sistem graben dengan *trend* berarah N-S selama periode Eosen-Oligosen. Struktur cekungan secara keseluruhan merupakan rangkaian dari proses *rifting* N-S yang merambat secara teratur terhadap NE Sunda *craton* (kerak benua lempeng tenggara Asia). *Subsidence* yang terjadi di sepanjang *rift* menghasilkan sebuah rangkaian *half-graben* (Wight, et al., 1986). Stratigrafi di daerah North Seribu Trough terdiri dari 6 buah formasi dan disertai dengan batuan dasar (*basement*).



Gambar 2.2 Kolom stratigrafi di area North Seribu Trough (Noble, et al., 1997)

Gambar 2.2 menunjukkan kolom stratigrafi area *North Seribu Trough* dan berikut ini merupakan penjelasan stratigrafi dari tua ke muda (Noble, et al., 1997) :

#### 1. Batuan Dasar (*Basement*)

Batuan dasar terdiri dari batuan beku andesitik dan basaltik yang berumur *Cretaceous* Tengah sampai *Cretaceous* Akhir dan batuan metamorf yang berumur Pra Tersier (Gresko, et al., 1995). Lingkungan pengendapannya berupa suatu permukaan dengan sisa vegetasi tropis yang lapuk (Budiyani, et al., 1991).

#### 2. Formasi Banuwati

Formasi ini terendapkan secara tidak selaras di atas batuan dasar. Pada area *Northwest Java*, Formasi Banuwati tersusun atas *lacustrine* klastik dan volkanoklastik (Sudarmono, et al., 1997).

#### 3. Formasi Talang Akar

Formasi ini terendapkan secara selaras di atas Formasi Banuwati. Litologi penyusun pada bagian bawah terdiri dari batu serpih gampingan dengan sedikit kandungan pasir, batu lanau dengan sisipan batupasir, serta ditemui batu konglomerat secara lokal. Pada bagian atas disusun oleh batuan karbonat. Formasi ini terbentuk pada lingkungan delta sampai laut yang merupakan hasil dari fase transgresi kedua pada periode Neogen (Gresko, et al., 1995). Formasi ini terbentuk dari kala Oligosen-Miosen Awal. Pada formasi ini ditemui lapisan batubara yang terbentuk di lingkungan delta. Batubara dan batu serpih tersebut adalah batuan induk (*source rock*) untuk hidrokarbon. Ketebalan formasi ini berkisar antara 50-300 m (Budiyani, et al., 1991).

#### 4. Formasi Baturaja

Formasi ini terendapkan secara selaras di atas Formasi Talang Akar. Litologi penyusunnya terdiri dari batu gamping terumbu dengan penyebaran tidak merata. Pada bagian bawah tersusun oleh batu gamping masif yang semakin ke atas semakin berpori. Selain itu juga ditemukan dolomit, interkalasi serpih glaukonitan, napal, *chert* dan batubara. Formasi ini terbentuk pada kala Miosen Awal-Miosen Tengah (terutama dari asosiasi foraminifera). Pembentukan formasi ini terjadi di lingkungan laut dangkal dengan kondisi air cukup jernih dan adanya sinar matahari (terutama adanya foraminifera *Spiriroclypens Sp* yang melimpah). Ketebalan formasi ini berkisar 50 m (Budiyani, et al., 1991).

## 5. Formasi Cibulakan

Formasi ini terbagi menjadi 3 bagian yang terdiri dari *Massive*, *Main*, dan Pre Parigi.

### a. Formasi *Massive*

Formasi ini terendapkan secara selaras di atas Formasi Baturaja. Litologi penyusun formasi adalah perselingan batu lempung dengan batupasir yang mempunyai ukuran butir halus-sedang. Pada formasi ini terdapat adanya kandungan hidrokarbon, terutama pada bagian atas. Selain itu terdapat fosil foraminifera planktonik seperti *Globigerina trilobus*, foraminifera bentonik seperti *Amphistegina* (Arpandi & Patmosukismo, 1975).

### b. Formasi *Main*

Formasi ini terendapkan secara selaras di atas Formasi *Massive*. Litologi penyusunnya adalah batu lempung berselingan dengan batupasir yang mempunyai ukuran butir dari halus-sedang (bersifat glaukonitan). Pada awal pembentukannya, berkembang batu gamping dan terdapat blangket-blangket pasir. Untuk bagian ini dibedakan dengan Formasi *Main* dan disebut dengan *Mid Main Carbonat* (Budiyani, et al., 1991).

### c. Formasi Pre-Parigi

Formasi ini terendapkan secara selaras di atas Formasi *Main*. Litologi penyusunnya terdiri dari perselingan batu gamping, dolomit, batupasir dan batu lanau. Formasi ini terbentuk pada kala Miosen Tengah-Miosen Akhir. Lingkungan pengendapannya yaitu neritik tengah-neritik dalam (Arpandi & Patmosukismo, 1975).

## 6. Formasi Parigi

Formasi ini terendapkan secara selaras di atas Formasi Pre-Parigi. Litologi penyusunnya sebagian besar adalah batu gamping abu-abu terang, berfosil dan berpori dengan sedikit dolomit. Pada bagian bawah litologi penyusunnya yaitu serpih karbonatan, dan napal. Kandungan koral, alga, banyak ditemui *bioherm* dan *biostrom*. Selain itu juga dijumpai foraminifera besar seperti *Alveolina quoyi*, foraminifera bentonik kecil seperti *Quinqueloculina kirembatira*, foraminifera planktonik seperti *Globigerina siakensis*. Lingkungan pengendapan formasi ini adalah laut dangkal-neritik tengah (Arpandi & Patmosukismo, 1975). Pada umumnya, batu gamping pada formasi ini dapat menjadi reservoir yang baik karena mempunyai porositas

sekunder dan permeabilitas yang besar. Ketebalan formasi kurang lebih 400 m. (Gresko, et al., 1995).

## 7. Formasi Cisubuh

Formasi ini terendapkan secara selaras di atas Formasi Parigi. Litologi penyusunnya berupa batu lempung yang berselingan dengan batupasir dan batu serpih gampingan, mengandung banyak glaukonit, lignit, sedikit *chert*, pirit dan fragmen batuan beku vulkanik. Pada bagian bawah terdapat kandungan fosil yang semakin ke atas semakin sedikit. Umur formasi ini mulai dari kala Miosen Akhir sampai Pliosen-Pleistosen. Formasi Cisubuh diendapkan pada fase regresi pada kala Neogen, hal ini dapat dilihat dari semakin ke atas formasi ini semakin bersifat pasiran dengan dijumpai batubara. Formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal yang semakin ke atas menjadi lingkungan litoral-paralik (Arpandi & Patmosukismo, 1975). Hidrokarbon tidak pernah ditemukan pada formasi ini. Ketebalan formasi ini berkisar antara 100 m-1200 m (Budiyani, et al., 1991).

## 2.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi yang disebabkan oleh adanya deformasi struktur, tekanan atau tarikan karena sifat elastisitas kerak bumi. Gelombang ini membawa energi kemudian menjalarkan ke segala arah di seluruh bagian bumi dan mampu dicatat oleh seismograf (Siswowidjojo, 1996). Menurut Hidayati (2010) gelombang seismik terdiri dari :

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

Hidayati (2010) menjelaskan bahwa gelombang badan merupakan gelombang yang menjalar melalui bagian dalam bumi dan disebut sebagai *free wave* karena dapat menjalar ke segala arah di dalam bumi. Gelombang badan dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

#### a. Gelombang Primer (*P Wave*)

Gelombang ini terjadi karena adanya tekanan dan memiliki kecepatan tinggi, sehingga waktu tibanya lebih dahulu dari pada gelombang Sekunder. Persamaan (2.1) merupakan persamaan untuk kecepatan gelombang primer (Hidayati, 2010).

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

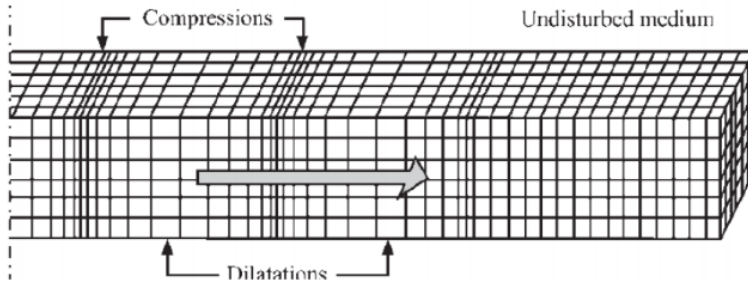
Keterangan :

$v_p$  = kecepatan gelombang P

$\lambda$  = konstanta lame

$\mu$  = rigiditas

$\rho$  = densitas



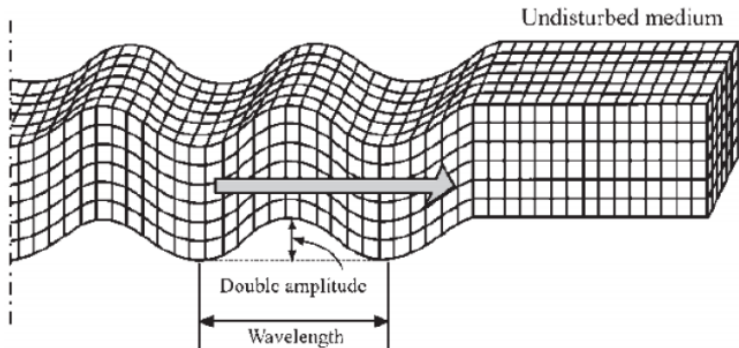
Gambar 2.3 Penjalaran gelombang primer (Elnashai & Sarno, 2008)

Gelombang primer merupakan gelombang longitudinal yang partikelnya merambat secara bolak balik sejajar dengan arah rambatnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 (Hidayati, 2010).

b. Gelombang Sekunder (*S Wave*)

Gelombang sekunder atau gelombang transversal (*Shear wave*) adalah gelombang badan (*body wave*) yang partikelnya bergerak tegak lurus terhadap arah rambat dan waktu tibanya setelah gelombang Primer. Gelombang ini tidak dapat merambat di fluida, sehingga pada inti bumi bagian luar tidak dapat terdeteksi sedangkan pada inti bumi bagian dalam mampu dilewati. Persamaan kecepatan gelombang Sekunder ( $v_s$ ) ditunjukkan pada persamaan (2.2) (Hidayati, 2010).

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$



Gambar 2.4 Penjalaran gelombang sekunder (Elnashai & Sarno, 2008)

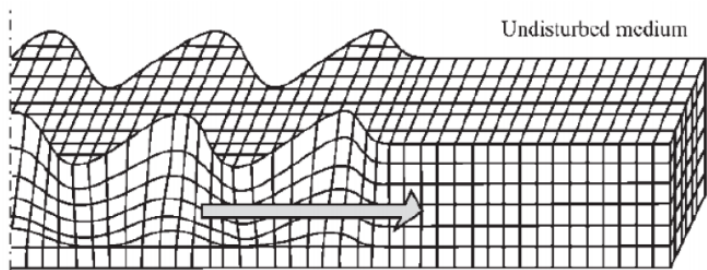
Gambar 2.4 menunjukkan penjalaran gelombang S yang partikelnya bergerak tegak lurus terhadap arah rambatannya sehingga membentuk lembah dan puncak gelombang (Hidayati, 2010).

### 2.3.2 Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan adalah gelombang seismik yang menjalar melalui permukaan bebas (*Tide Waves*). Gelombang ini di bagi menjadi dua jenis yaitu (Hidayati, 2010) :

a. Gelombang *Love*

Gelombang *Love* merupakan gelombang yang arah rambat partikelnya bergetar melintang terhadap arah penjarannya.

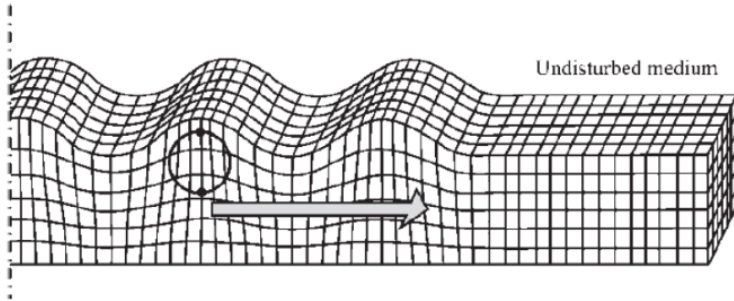


Gambar 2.5 Penjalaran gelombang *Love* (Elnashai & Sarno, 2008)

Gambar 2.5 menunjukkan pergerakan gelombang *Love* yang partikelnya bergerak secara melintang (Hidayati, 2010).

b. Gelombang *Reyleigh*

Gelombang *Rayleigh* merupakan jenis gelombang permukaan yang arah rambatnya bergerak tegak lurus terhadap arah penjarannya dan searah bidang datar (Hidayati, 2010).



Gambar 2.6 Penjalaran gelombang *Reyleigh* (Elnashai & Sarno, 2008)

Pada Gambar 2.6 menunjukkan penjalaran gelombang *Reyleigh* yang partikelnya bergerak tegak lurus (Hidayati, 2010).

## 2.4 Komponen Seismik Refleksi

Metode seismik refleksi adalah metode geofisika yang memanfaatkan gelombang refleksi dari batuan bawah permukaan. Penjalaran gelombang refleksi berprinsip pada hukum Snellius yang menyatakan bahwa sudut refleksi dan refraksi adalah fungsi dari sudut datang dan kecepatan gelombang, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.3) dan (2.4) (Oldenburg, et al., 2016).

$$\theta_r = \theta_1 \quad (2.3)$$

$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$\theta_1$  = sudut datang

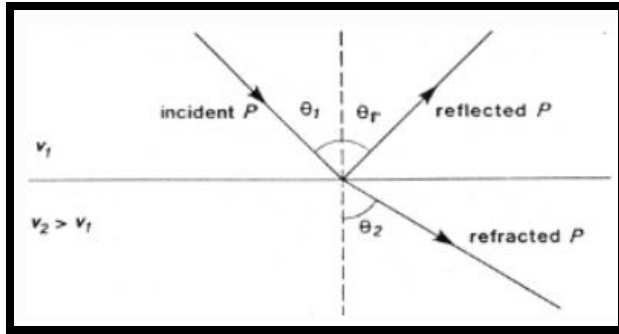
$\theta_2$  = sudut refraksi

$\theta_r$  = sudut refleksi

$v_1$  = kecepatan gelombang pada medium pertama

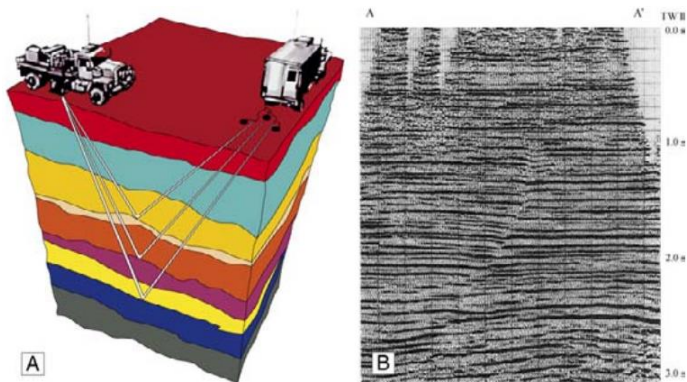
$v_2$  = kecepatan gelombang pada medium kedua





Gambar 2.7 Penjalaran gelombang P ketika melewati dua medium berbeda (Oldenburg, et al., 2016)

Gambar 2.7 menunjukkan penjalaran gelombang P yang mengenai bidang batas antara dua medium yang berbeda berdasarkan hukum Snellius (Oldenburg, et al., 2016).



Gambar 2.8 Prinsip metode seismik refleksi, (A) Penjalaran gelombang seismik kebawah permukaan kemudian dipantulkan dan diterima oleh geopon dan (B) Penampang seismik (Slatt, 2006)

Gambar 2.8 menunjukkan prinsip metode seismik refleksi. Hal ini dilakukan dengan cara mengirimkan sinyal (gelombang) ke dalam bumi, kemudian sinyal tersebut akan dipantulkan oleh batas antara dua lapisan, dan sinyal pantulan tersebut direkam oleh *receiver* (geopon atau hidropon). Data yang digunakan dari gelombang pantul tersebut adalah waktu tempuh yang akan memberikan informasi mengenai

kecepatan penjaralan gelombang pada lapisan batuan tersebut. (Kaharuddin, et al., 2015).

#### 2.4.1 Impedansi Akustik dan Koefisien Refleksi

Impedansi akustik merupakan sifat fisik batuan yang terukur dan merupakan hasil dari perkalian antara densitas batuan dan kecepatan (Slatt, 2006). Persamaan untuk impedansi akustik ditunjukkan pada persamaan (2.5) (Sukmono, 1999).

$$AI = Z = \rho \cdot v \quad (2.5)$$

Keterangan :

$AI$  = impedansi akustik

$\rho$  = densitas batuan

$v$  = kecepatan gelombang

Impedansi akustik dapat dikonversi secara langsung untuk mengetahui litologi dan sifat reservoir seperti porositas dan *net pay* (Slatt, 2006). Sukmono (1999) menganalogikan AI dengan *acoustic hardness*. Batuan yang keras (*hard rock*) dan sukar termampatkan, seperti batu gamping mempunyai AI yang tinggi, sedangkan batuan yang lunak seperti lempung yang lebih mudah dimampatkan mempunyai AI rendah.

Koefisien refleksi diartikan sebagai perbandingan antara energi yang dipantulkan dengan energi yang datang pada kondisi normal (Sukmono & Abdullah, 2001). Sementara menurut Bhatia & N. (1986) koefisien refleksi merupakan perbandingan antara amplitudo gelombang pantul  $A_1$  dengan amplitudo gelombang datang  $A_0$ .

Bhatia & N. (1986) menjelaskan bahwa koefisien refleksi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti perbedaan nilai densitas ( $\rho$ ), kecepatan gelombang P, dan sudut datang gelombang seismik. Koefisien refleksi dengan sudut  $0^0$  merupakan koefisien refleksi dengan gelombang datang tegak lurus terhadap bidang pemantul. Koefisien refleksi gelombang P saat sudut datang  $0^0$  dapat dirumuskan pada persamaan (2.6).

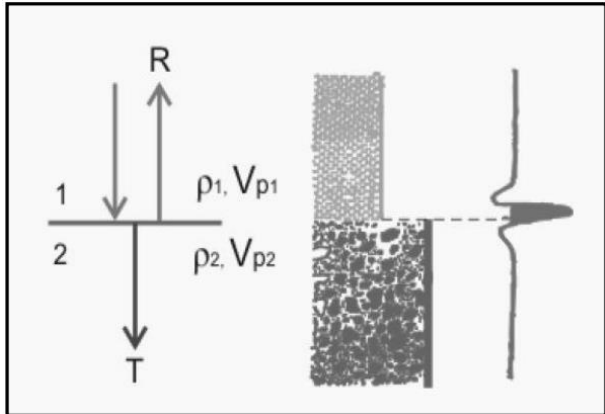
$$KR = \frac{A_1}{A_0} = \frac{AI_2 - AI_1}{AI_2 + AI_1} = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (2.6)$$

Keterangan :

$KR$  = koefisien refleksi pada sudut datang  $0^0$

$AI_1$  = impedansi akustik pada medium 1

$AI_2$  = impedansi akustik pada medium 2  
 $A_1$  = amplitudo gelombang pantul  
 $A_0$  = amplitudo gelombang datang  
 $\rho_1$  = densitas pada medium 1  
 $\rho_2$  = densitas pada medium 2  
 $v_1$  = kecepatan gelombang P pada medium 1  
 $v_2$  = kecepatan gelombang P pada medium 2



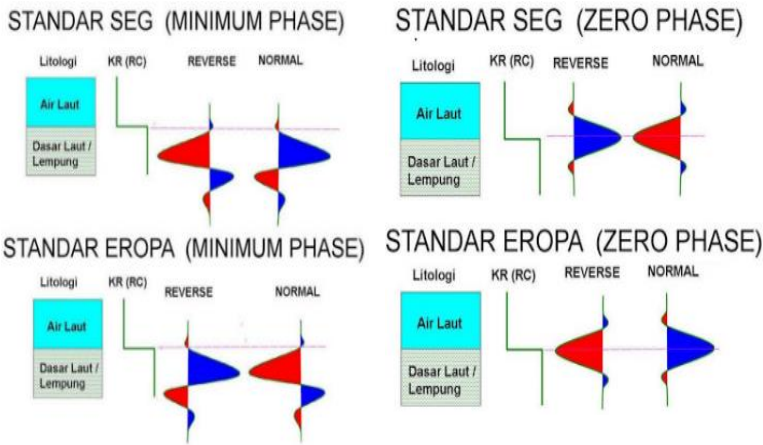
Gambar 2.9 Koefisien refleksi pada sudut datang nol derajat (Bhatia & N., 1986)

Gambar 2.9 menunjukkan gelombang datang mengenai bidang batas antar medium kemudian terpantulkan dan diteruskan. Bidang batas antar medium merepresentasikan koefisien refleksi dari suatu lapisan (Bhatia & N., 1986).

Menurut Sismanto (2006), tiap-tiap perlapisan memiliki sifat yang berbeda sehingga memiliki nilai impedansi akustik yang berbeda pula. Pada dasarnya, setiap koefisien refleksi dapat dianggap sebagai sebuah respon dari wavelet seismik terhadap sebuah perubahan impedansi akustik di dalam bumi. Semakin tinggi koefisien refleksi maka akan semakin kuat refleksinya.

#### 2.4.2 Polaritas

Sukmono (1999) menerangkan bahwa terdapat dua jenis konvensi polaritas yaitu Standar SEG dan Standar Eropa seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Polaritas normal dan *reverse* (Abdullah, 2014)

*Society of Exploration Geophysicists (SEG)* dalam Sukmono (1999) mendefinisikan polaritas normal sebagai berikut :

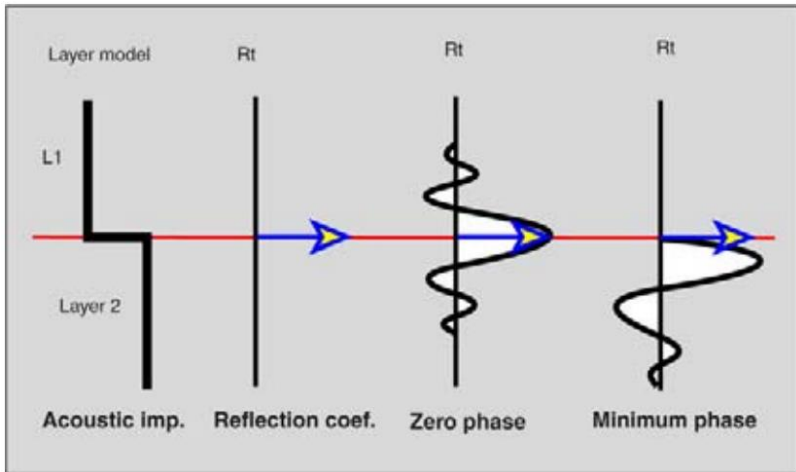
1. Sinyal seismik positif akan menghasilkan tekanan akustik positif pada hidropon di air atau pergerakan awal ke atas pada geopon di darat.
2. Sinyal seismik yang positif akan terekam sebagai nilai negatif pada tape, defleksi negatif pada monitor dan *trough* pada penampang seismik.

Pada sebuah penampang seismik dengan tampilan polaritas normal SEG maka akan dihasilkan :

- a. Apabila  $IA2 > IA1$ , batas refleksi pada penampang seismik berupa *trough*.
- b. Apabila  $IA2 < IA1$ , batas refleksi pada penampang seismik berupa *peak*.

### 2.4.3 Wavelet

Wavelet adalah gelombang harmonik yang mempunyai interval amplitudo, frekuensi dan fasa tertentu (Sismanto, 2006). Menurut Veecken (2007), terdapat dua bentuk dasar dari wavelet seismik yaitu wavelet *minimum phase* dan *zero phase*.



Gambar 2.11 Tipe wavelet *minimum phase* dan *zero phase* (Veeken, 2007)

Gambar 2.11 menunjukkan tipe wavelet *minimum phase* dan *zero phase*. Wavelet *minimum phase* berupa wavelet yang bagian awalnya bertepatan dengan bidang batas antar litologi. Sedangkan wavelet *zero phase* yaitu wavelet yang amplitudo maksimumnya bertepatan dengan bidang batas antar litologi (Veeken, 2007).

#### 2.4.4 Resolusi Seismik

Resolusi dapat diartikan sebagai jarak minimum antara dua obyek yang dapat dipisahkan oleh gelombang seismik dan berhubungan erat dengan fenomena interferensi (Sukmono, 1999).

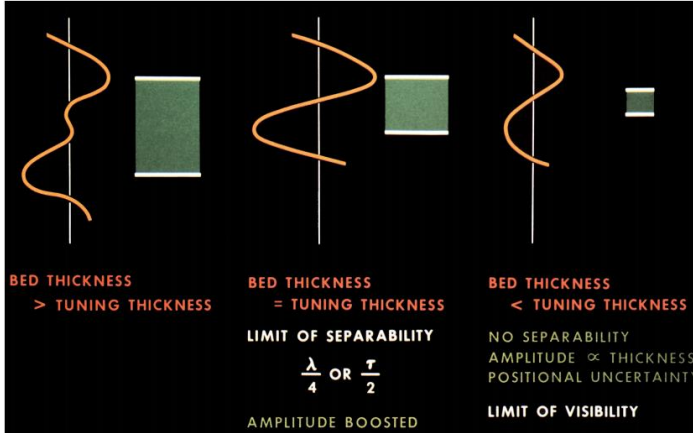
Kecepatan gelombang seismik mengalami peningkatan terhadap kedalaman karena adanya pengaruh batuan yang semakin padat dan lebih terkompaksi. Frekuensi akan menurun terhadap kedalaman karena frekuensi sinyal seismik yang lebih tinggi akan lebih cepat teratenuasi. Hasilnya menyebabkan panjang gelombang semakin meningkat terhadap kedalaman dan membuat resolusi menjadi rendah (Brown, 2004).

Brown (2004) membagi resolusi seismik menjadi dua yang terdiri dari resolusi vertikal dan resolusi horisontal.

##### a. Resolusi Vertikal

Resolusi vertikal merupakan kemampuan akuisisi seismik untuk dapat memisahkan atau membedakan dua bidang batas

perlapisan batuan secara vertikal. Resolusi ini dicerminkan oleh suatu batas yaitu kedua reflektor yang masih dapat dipisahkan oleh gelombang seismik dan besarnya tergantung pada ketebalan dan panjang gelombang (Kaharuddin, et al., 2015).



Gambar 2.12 Resolusi vertikal tergantung pada interaksi jarak wavelet yang berdekatan (Brown, 2001)

Resolusi vertikal memiliki dua batas yang keduanya dihasilkan dari interaksi wavelet pada reflektor yang berdekatan. Batas pemisahannya yaitu seperempat panjang gelombang (setengah periode) yang merepresentasikan ketebalan lapisan yang berhubungan dengan pemisahan dua wavelet terdekat yang diberikan oleh *bandwidth* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12. Untuk lapisan yang lebih tipis dari seperempat panjang gelombang, amplitudo akan teratenuasi sampai batas kelayakan tercapai, ketika sinyal refleksi menjadi kabur oleh *background noise*. Batas kelayakan tergantung pada kontras akustik dari lapisan geologi, *noise* random dan sistematis, serta fase data atau bentuk wavelet seismik (Brown, 2004). Menurut Veeken (2007) resolusi vertikal data seismik ditentukan oleh frekuensi sinyal seismik, *bandwidth*, interval kecepatan pada zona target dan kontras impedansi akustik. Persamaan resolusi vertikal ditunjukkan pada persamaan (2.7).

$$r_v = \frac{1}{4}\lambda = \frac{v}{4f} \quad (2.7)$$

dengan :

$r_v$  = resolusi vertikal

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$v$  = kecepatan rata-rata (m/s)

$f$  = frekuensi (Hz)

Berdasarkan persamaan (2.7), hanya batuan yang mempunyai ketebalan di atas seperempat panjang gelombang yang dapat dibedakan oleh gelombang seismik. Ketebalan ini disebut ketebalan tuning (*tuning thickness*). Seiring bertambahnya kedalaman, kecepatan bertambah tinggi dan frekuensi bertambah kecil, maka ketebalan tuning bertambah besar (Sukmono, 1999).

#### b. Resolusi Horisontal

Resolusi horisontal merupakan kemampuan akuisisi seismik untuk dapat memisahkan dua kenampakan permukaan reflektor. Ambang batas resolusi horisontal dengan jari-jari (radius) zona fresnel pertama, nilainya tergantung dari panjang gelombang dan kedalaman. (Kaharuddin, et al., 2015). Magnitudo zona Fresnel menurut Sukmono & Abdullah (2001) dirumuskan seperti persamaan (2.8).

$$r_f = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{t}{f}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

$r_f$  = radius zona Fresnel (m)

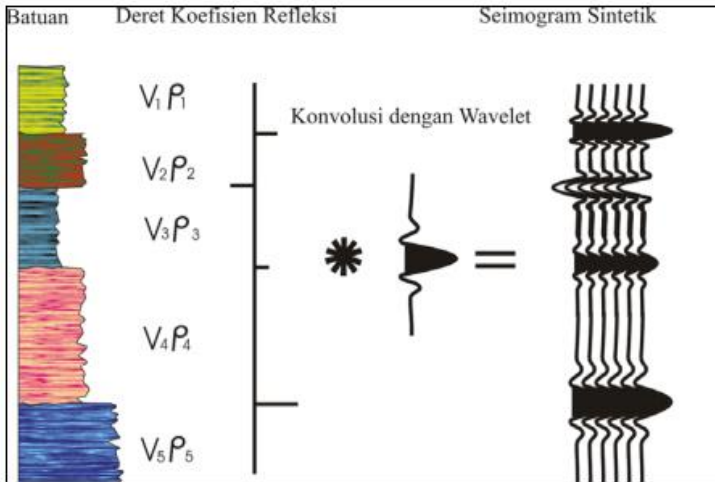
$t$  = TWT (s)

$v$  = kecepatan rata-rata (m/s)

$f$  = frekuensi dominan (Hz)

### 2.4.5 Seismogram Sintetik

Seismogram sintetik adalah rekaman seismik buatan yang dibuat dari data log kecepatan dan densitas. Data kecepatan dan densitas membentuk fungsi koefisien refleksi (RC) yang selanjutnya dikonvolusikan dengan wavelet (Kaharuddin, et al., 2015). Menurut Sukmono (1999), wavelet yang digunakan sebaiknya mempunyai frekuensi dan *bandwith* yang sama dengan penampang seismik.



Gambar 2.13 Seismogram sintetik yang diperoleh dari konvolusi koefisien refleksi dan wavelet (Sukmono, 1999)

Pada Gambar 2.13 menunjukkan ilustrasi pembuatan seismogram sintetik melalui konvolusi wavelet dengan koefisien refleksi (Sukmono, 1999).

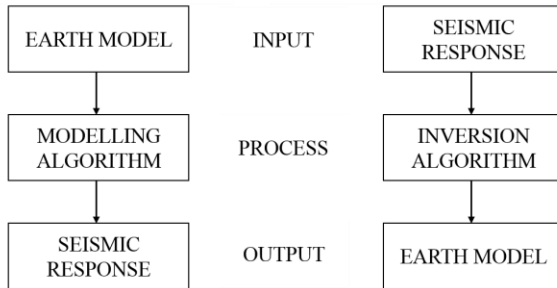
## 2.5 Seismik Inversi

Menurut Russell (1988), inversi geofisika meliputi pemetaan sifat fisik dan struktur dari obyek bawah permukaan dengan menggunakan pengukuran yang dilakukan di permukaan bumi dan bila mungkin dengan kontrol data sumur. Pengertian yang lebih spesifik tentang inversi seismik dapat didefinisikan sebagai suatu teknik pembuatan model bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono, 2000).



**FORWARD MODELLING**

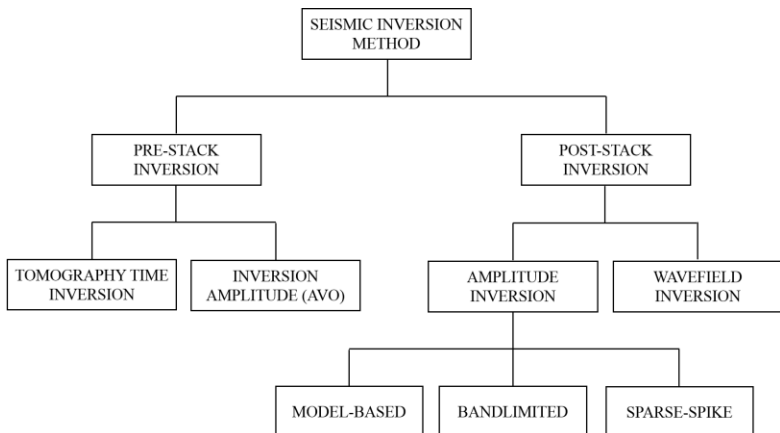
**INVERSE MODELLING (INVERSION)**



Gambar 2.14 Hubungan antara *forward* dan *inverse modelling* (Russell, 1988)

Definisi tersebut menjelaskan bahwa metode inversi merupakan kebalikan dari pemodelan metode kedepan (*forward modelling*) yang berhubungan dengan pembuatan seismik sintetik berdasarkan model bumi. Hubungan antara *forward* dan *inverse modelling* ditunjukkan pada Gambar 2.14.

Russel (1988) membagi metode inversi seismik dalam dua kelompok, yaitu inversi *pre-stack* dan inversi *post-stack*.



Gambar 2.15 Macam-macam teknik inversi (Russell, 1988)

Seperti pada Gambar 2.15 metode inversi *pre-stack* dibagi menjadi 2 yaitu inversi *tomography time* dan AVO. Sementara metode inversi *post-stack* terbagi menjadi inversi *amplitude* (inversi AI) dan inversi

*wavefield*. Inversi AI terbagi menjadi 3 metode yang terdiri dari metode *model-based*, *bandlimited* dan *sparse-spike* (Russell, 1988).

### 2.5.1 Model Konvolusional

Pada umumnya model 1-dimensi digunakan dalam model *trace* seismik. Model ini disebut pula dengan model konvolusi. Model konvolusi menurut Russell (1988) yaitu sebuah model *trace* seismik yang diperoleh dari konvolusi reflektivitas bumi dengan fungsi sumber seismik dan penambahan komponen *noise*. Bentuk persamaan dari model konvolusi diantaranya seperti pada persamaan (2.9) (Russell, 1988).

$$s(t) = w(t) * r(t) + n(t) \quad (2.9)$$

Asumsi yang lebih sederhana yaitu dengan menganggap komponen *noise* bernilai nol, sehingga *trace* seismik secara sederhana dapat diperoleh dari konvolusi wavelet seismik dengan reflektivitas bumi seperti pada persamaan (2.10) (Russell, 1988).

$$s(t) = w(t) * r(t) \quad (2.10)$$

Keterangan :

$s(t)$  = *trace* seismik

$w(t)$  = wavelet seismik

$r(t)$  = reflektivitas bumi

$n(t)$  = *noise*

\* = operator konvolusi

### 2.5.2 Inversi Model-based

Menurut R. & Danusaputro (2010) prinsip dari inversi *model-based* yaitu membandingkan antara model geologi yang telah dibuat dengan data seismik yang didalamnya melibatkan proses iterasi supaya diperoleh korelasi yang lebih baik. Semakin besar iterasi yang diberikan maka nilai korelasi antara seismik sintetik dan seismik riilnya semakin besar serta nilai *error* semakin kecil.

Supaya dihasilkan nilai *error* terkecil, proses iterasi pembuatan model dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Generalized Linear Inversion* (GLI). Menurut Russell (1988) metode GLI menurunkan model geologi yang paling tepat dengan data hasil pengukuran berdasarkan nilai rata-rata *error* terkecil (*least-squares*).

Metode GLI membentuk model dengan metode *trial* dan *error* dengan cara menganalisis *error* antara *output* model dan data hasil pengukuran, kemudian memperbaharui parameter model dengan cara sedemikian rupa untuk menghasilkan *output* yang memiliki *error* terkecil. Secara matematis dapat dituliskan seperti pada persamaan (2.11) (Russell, 1988).

$$F(M) = F(M_0) + \frac{\delta F(M_0)}{\delta M} \Delta M \quad (2.11)$$

Dimana :

$M_0$  = model awal (*initial model*)

$M$  = model sebenarnya (koefisien refleksi yang dicari)

$\Delta M$  = selisih antara model awal dengan model sebenarnya

$F(M)$  = *seismic trace* hasil pengukuran

$F(M_0)$  = *synthetic seismic trace* hasil perhitungan dari model awal

$\frac{\delta F(M_0)}{\delta M}$  = derivatif parsial dari model sebenarnya

Nilai *error* antara data hasil pengukuran dan keluaran model secara sederhana dirumuskan seperti pada persamaan (2.12) (Russell, 1988).

$$\Delta F = F(M) - F(M_0) \quad (2.12)$$

Dalam bentuk matriks, persamaan (2.13) dapat dituliskan sebagai berikut (Russell, 1988) :

$$\Delta F = A F(M) \quad (2.13)$$

dengan  $A$  adalah matriks derivatif dengan jumlah baris  $n$  dan kolom  $k$ . Solusi dari persamaan (2.13) akan menjadi (Russell, 1988) :

$$\Delta M = A^{-1} \Delta F \quad (2.14)$$

dengan  $A^{-1}$  adalah invers dari matriks  $A$ .

Namun, ketika terdapat data hasil pengukuran yang lebih banyak daripada parameter model ( $n > k$ ), maka matriks  $A$  biasanya bukan persegi, sehingga tidak mempunyai invers sebenarnya. Kasus ini disebut sebagai kasus overdeterminasi. Untuk memperoleh solusi dari kasus ini, maka perlu menggunakan solusi *least square* yang sering disebut sebagai metode *Marquart-Levenburg* (Lines & Tritel, 1984). Solusi yang diperoleh dapat melalui rumusan berikut (Russell, 1988).

$$\Delta M = (A^T A)^{-1} A^T \Delta F \quad (2.15)$$

dengan  $A^T$  adalah matriks *transpose* A.

Turunan hubungan fungsional diperlukan untuk menghubungkan model dengan data hasil pengukuran. Penyelesaian sederhana yang dapat merepresentasikan hal tersebut yaitu model konvolusional yang baku seperti pada persamaan (2.10).

Keunggulan dari metode inversi *model-based* menurut Kaharuddin, Lantu, Massinai, & Aswad (2015) yaitu metode ini tidak menginversi secara langsung dari data seismik melainkan menginversi data model geologinya, sehingga hasil yang diperoleh memiliki informasi lebih akurat karena memasukkan komponen frekuensi rendah (dari data log). Sementara kelemahan dari metode ini menurut Kaharuddin, Lantu, Massinai, & Aswad (2015) yaitu terdapat sifat ketidak-unikan untuk wavelet tertentu dimana semua hasil sesuai dengan *trace* seismik pada lokasi sumur yang sama dan sifat sensitif terhadap bentuk wavelet dimana dua wavelet yang berbeda dapat menghasilkan *trace* seismik yang sama. Hal ini dapat diartikan sebagai banyaknya kemungkinan solusi model untuk dapat memperoleh hasil *output* yang sama.

### 2.5.3 Inversi *Bandlimited*

Inversi *bandlimited* adalah algoritma inversi yang mengabaikan efek wavelet seismik dan memperlakukan seolah-olah *trace* seismik merupakan kumpulan koefisien refleksi yang telah difilter oleh wavelet fasa nol. Secara matematis inversi rekursif dimulai dengan persamaan dasar yang ditunjukkan pada persamaan (2.6) (Russell, 1988). Untuk penurunan dari rumus inversi rekursif diantaranya yaitu (Russell, 1988) :

$$1 + r_i = \frac{Z_{i+1} + Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} + \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} = \frac{2 Z_{i+1}}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (2.16)$$

$$1 - r_i = \frac{Z_{i+1} + Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} - \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} = \frac{2 Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (2.17)$$

dengan menggunakan persamaan (2.16) dan (2.17) diperoleh (Russell, 1988) :

$$\frac{Z_{i+1}}{Z_i} = \frac{1 + r_i}{1 - r_i} \quad (2.18)$$

Hasil akhirnya ditunjukkan pada persamaan berikut (Russell, 1988) :

$$Z_{i+1} = Z_i \left[ \frac{1 + r_i}{1 - r_i} \right] \quad (2.19)$$

Keterangan :

$Z_{i+1}$  = impedansi akustik lapisan ke  $i + 1$

$Z_i$  = impedansi akustik lapisan ke  $i$

$r_i$  = koefisien refleksi lapisan ke  $i$

Persamaan (2.19) menyatakan bahwa apabila impedansi akustik dari suatu lapisan dan koefisien refleksi dari bawah lapisan tersebut diketahui maka impedansi akustik untuk lapisan berikutnya dapat diketahui. Untuk memperoleh impedansi akustik lapisan ke- $n$  ( $Z_n$ ) dimulai dari lapisan pertama ( $Z_1$ ), impedansi lapisan berikutnya ditentukan secara rekursif dan tergantung nilai impedansi akustik lapisan di atasnya dengan perumusan sebagai berikut (Russell, 1988) :

$$Z_n = Z_1 \prod_{i=1}^{n-1} \left[ \frac{1 + r_i}{1 - r_i} \right] \quad (2.20)$$

Menurut Russell (1988) kelemahan dari penggunaan metode inversi *bandlimited* yaitu adanya pembatasan pita frekuensi dapat menyebabkan hilangnya komponen frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Keunggulannya yaitu teknik inversi yang paling sederhana dalam menghasilkan penampang impedansi akustik.

#### 2.5.4 Inversi *Sparse-spike*

Metode *sparse-spike* yaitu salah satu metode teknik dekonvolusi yang mengasumsikan model reflektivitas tertentu dan membuat estimasi wavelet berdasarkan asumsi model tersebut (Sukmono & Abdullah, 2001). Berikut ini merupakan metode inversi *sparse-spike* (Russell, 1988) :

##### a. Metode inversi *sparse-spike maximum likelihood*

Menurut Sukmono & Abdullah (2001), metode ini mengasumsikan bahwa reflektivitas bumi terdiri dari suatu deret *spike (event)* besar yang bertumpukan dengan *spike-spike* yang lebih kecil sebagai *Gaussian background*. Secara geologi *spike-spike* yang besar berhubungan dengan adanya *unconformity* dan batas-batas litologi utama (Russell, 1988). Menurut Russell (1988), berdasarkan asumsi model, dapat diturunkan fungsi obyektif yang dapat diminimalkan untuk memperoleh reflektivitas yang paling mirip dan kombinasi wavelet yang konsisten dengan

asumsi statistika. Fungsi obyektif dapat dituliskan seperti persamaan (2.21) (Russell, 1988) :

$$J = \sum_{k=1}^L \frac{r^2(k)}{R^2} + \sum_{k=1}^L \frac{n^2(k)}{N^2} - 2m \ln(\lambda) - 2(L - m) \ln(1 - \lambda) \quad (2.21)$$

dimana :

$r(k)$  = koefisien refleksi pada sampel  $k$

$m$  = bilangan refleksi

$L$  = jumlah bilangan sampel

$N$  = besarnya RMS dari *noise*

$n$  = *noise* pada sampel ke  $k$

$\lambda$  = kemungkinan bahwa sampel yang diberikan memiliki refleksi

$R$  = besarnya RMS dari *spikes-spikes* yang besar

Metode ini membangun deret reflektivitas satu *spike* pada suatu waktu. *Spike-spike* ditambahkan hingga *trace* yang dimodelkan cukup akurat. Algoritma yang digunakan dalam penambahan *spike-spike* tersebut yaitu algoritma SMLA (*single most likely addition algorithm*) (Russell, 1988).

b. Metode inversi *sparse-spike linear programming*

Russell (1988) berpendapat bahwa metode *sparse-spike linear programming* adalah metode yang digunakan dalam penyelesaian masalah *linear programming*, dapat disebut metode *L1 norm*. Menurut Oldenburg (1983) didalam Hampson & Russel (2004), pendekatan *linear programming* yaitu membuat model impedansi dengan reflektivitas *sparse*, menghasilkan bilangan koefisien refleksi *nonzero* yang paling sedikit. Solusi dari *linear programming* tidak mempunyai komponen frekuensi rendah karena sifat *bandlimited* input seismik. Oleh karena itu, komponen frekuensi rendah diambil dari model awal dan komponen frekuensi tinggi diperoleh dengan memberlakukan sebuah *constraint* pertidaksamaan (menggambarkan *sparseness* pada fungsi reflektivitas) (Russell, 1988). Untuk menemukan solusi *L1 norm* dengan meminimalkan fungsi obyektif yang persamaannya seperti pada persamaan (2.22).

$$J(m) = \sum_{n=0}^{N-1} |r_n| + |Lm - s| \quad (2.22)$$

Dimana :

$Lm$  = operator *linear*

$s$  = data seismik asli

$\sum_{n=0}^{N-1} |r_n| = \textit{constraint}$  untuk model  $m$

Menurut Sukmono & Abdullah (2001), metode *sparse-spike* mempunyai kelebihan dari metode dekonvolusi klasik karena estimasi *sparse-spike* dengan pengontrol ekstra dapat digunakan sebagai estimasi *full-bandwidth* reflektivitas.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian tugas akhir dilaksanakan pada 14 Maret 2016 hingga 11 Juli 2016 di Pertamina Hulu Energi *Offshore Northwest Java* (PHE ONWJ), Departemen *Subsurface*, Divisi *New Development*, PHE Tower Lt. 9, Jl. T.B. Simatupang Kavling 99, Jakarta Selatan.

#### **3.2 Rancangan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode inversi *post-stack model-based, bandlimited, sparse-spike maximum likelihood, dan sparse-spike linear programming*. Penelitian diawali dengan studi literatur untuk penentuan metode dan daerah penelitian, selanjutnya pengolahan data dimulai dengan, pengikatan data seismik dan data sumur, interpretasi *horizon* dan struktur, analisis sensitivitas, analisis inversi dan analisis hasil inversi. Pemilihan metode yang paling tepat dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Secara kuantitatif berdasarkan nilai korelasi dan tingkat *error* analisis inversi sedangkan secara kualitatif dengan melihat kesesuaian antara AI hasil inversi yang dikorelasi dengan AI data sumur.

#### **3.3 Materi Penelitian**

Pada penelitian ini digunakan peralatan berupa perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang meliputi :

- a. Perangkat Keras (*Hardware*)
  - *Workstation hp Z620 Intel Xeon 4 Core 1600 MHz*
  - *Dua unit LCD monitor HP 24''*
  - *Satu unit laptop Acer, spesifikasi Intel Core 2 Duo 2.20GHz 64 bit*
- b. Perangkat Lunak (*Software*)
  - *Operating System Red Hat Enterprise Linux 2.16.0*
  - *Hampson Russel version CE8R441*
  - *SeisWorks 2003.12.2.3*
  - *Microsoft Office : Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Power Point*

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data sekunder dengan rincian sebagai berikut :

a. Peta Basemap

Peta basemap berfungsi untuk menunjukkan lokasi area penelitian dan posisi sumur-sumur pada lintasan seismik. Peta basemap tersedia pada Lampiran 1.

b. Data Seismik

Data seismik yang digunakan dalam penelitian ini adalah data seismik 3D PSTM. Horizon yang digunakan sebanyak dua buah terdiri dari Horizon 1A, dan Horizon 2A. Keterangan lain dari data seismik yang digunakan untuk penelitian ini yaitu :

- *Inline* : 200 – 1002
- *XLine* : 1790 – 3510
- *Depth (time)* : 1100 – 3000 ms
- *Sampling rate* : 4 ms
- Jarak antar *Inline* : 12.49 m
- Jarak antar *crossline* : 12.5 m
- *Polarity* : SEG Normal
- Luas area :  $\pm 215 \text{ km}^2$

c. Data Sumur

Pada penelitian ini digunakan sebuah data sumur vertikal yaitu sumur QDTF. Data sumur terdiri dari *log caliper*, *log gamma ray*, *log resistivity*, *log density*, *log neutron porosity*, *log sonic*, *log porosity* dan *log checkshot*. *Log sonic* diperoleh dari hasil transformasi eksponensial dan *input* dari *log density*. Hal ini disebabkan karena pada data sumur tidak tersedia *log sonic*, sehingga perlu dilakukan pembuatan *log sonic* untuk keperluan proses *well seismic tie*. Persamaan untuk transformasi eksponensial yaitu persamaan *reversed gardner* seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3.1) (Hampson & Russel, 2004).

$$P - wave = \left[ \frac{\rho}{C1} \right]^{1/0.25} \quad (3.1)$$

Dimana :

$\rho$  = densitas (g/cc)

C1 = konstanta bernilai 0.23034

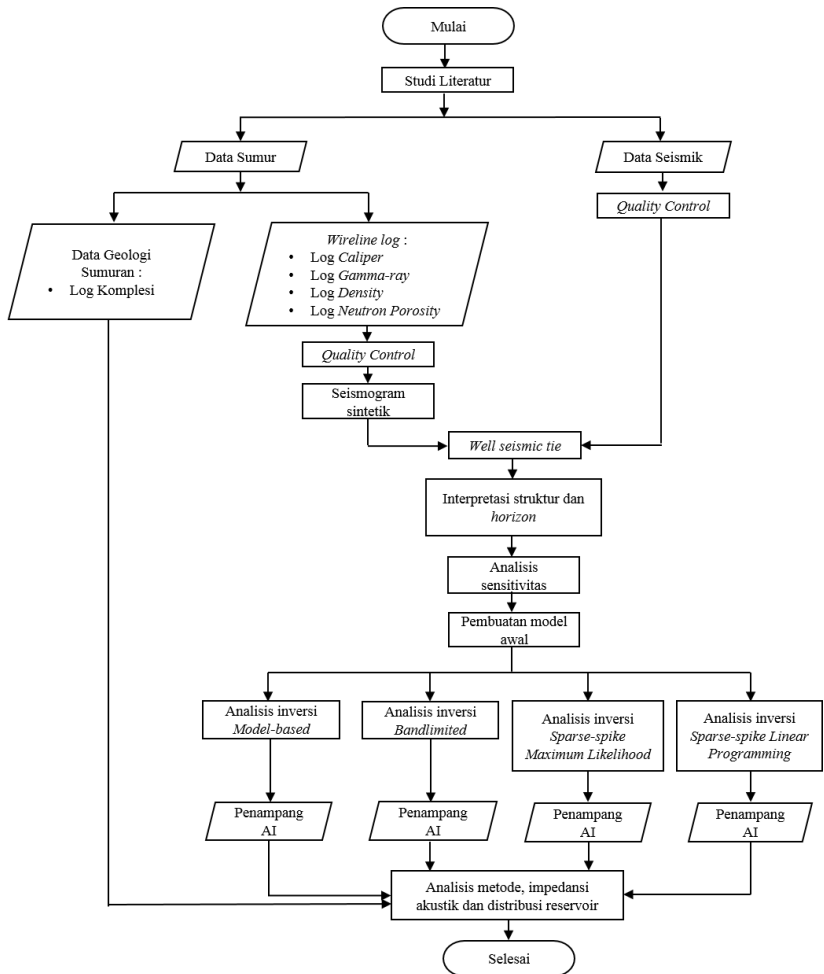
Untuk *log porosity* juga diperoleh dari hasil perhitungan dengan menggunakan parameter *log density* sebagai *input*.

d. Data Marker

Data *marker* yang digunakan yaitu Top QDTF dan Base QDTF.

### 3.4 Langkah Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data dengan menggunakan data sekunder.



Gambar 3.1 Diagram alir tahapan pengolahan data

Tahapan pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 3.1 dengan penjelasan sebagai berikut.

### 3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi geologi daerah penelitian. Berdasarkan hal tersebut, permasalahan dapat teridentifikasi serta mengetahui metode yang baik digunakan dalam pemecahan masalah tersebut.

### 3.4.2 *Quality Control* Data Sumur dan Data Seismik

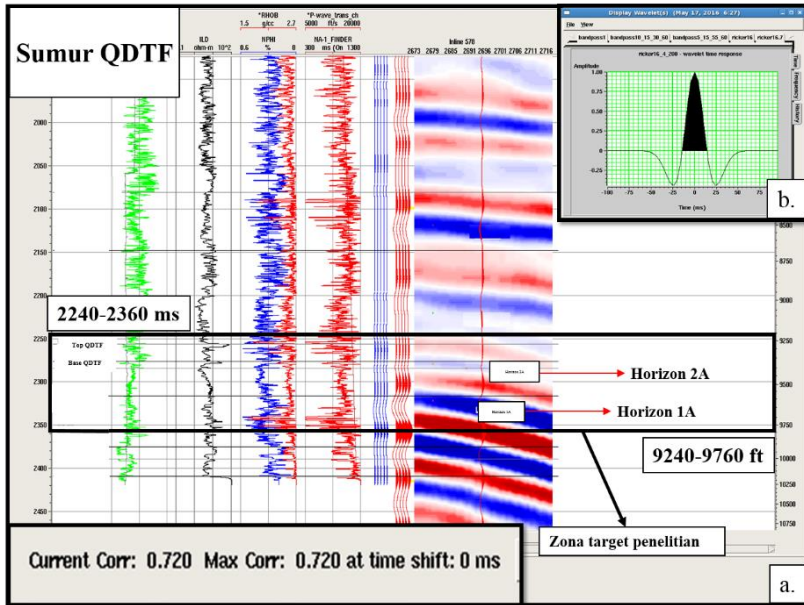
Tahap ini merupakan tahap pengecekan kelengkapan dan kualitas data yang digunakan dalam penelitian. *Quality control* pada data sumur dilakukan dengan interpretasi *quick look* dari log *caliper* dan dilihat ada tidaknya kurva *spike* yang signifikan mengarah kedalam atau keluar. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi lubang bor. Apabila ditemukan kurva *spike* yang mengarah kedalam secara signifikan maka menunjukkan pada lubang bor terdapat *mud cake* dan apabila kurva *spike* mengarah keluar secara signifikan maka lubang bor mengalami *caving*, sehingga dapat mempengaruhi tingkat keakuratan hasil pembacaan log lainnya. *Quality control* data sumur juga dilakukan dengan membuat *check list* yang meliputi nama sumur, jenis sumur (vertikal atau deviasi), nama dan jenis log yang tersedia dalam tiap-tiap sumur tersebut. Untuk *quality control* data seismik dilakukan dengan pengecekan jenis polaritas, fasa, frekuensi data seismik, perhitungan resolusi vertikal. Hal ini dilakukan supaya tidak menimbulkan kesalahan dalam interpretasi data seismik.

Pada *quality control* data seismik diperoleh informasi bahwa jenis polaritas data seismik yaitu polaritas SEG normal dengan fasa nol. Frekuensi dominan dari data seismik berkisar 16.7 Hz yang diperoleh dari *spectrum amplitude* dengan memasukkan beberapa parameter input seperti *inline*, *xline* dan *depth* dari zona target penelitian. Frekuensi dominan dan nilai kecepatan rata-rata gelombang P digunakan sebagai parameter input dalam perhitungan resolusi vertikal. Nilai kecepatan rata-rata gelombang P diperoleh dengan merata-rata besar kecepatan yang terukur oleh log *sonic* pada zona target penelitian. Rumus matematis untuk perhitungan resolusi vertikal ditunjukkan pada persamaan (2.7). Resolusi vertikal dari zona target penelitian hasil perhitungan yaitu 236.440 ft.

### 3.4.3 Pengikatan Data Seismik dan Data Sumur (*Well Seismic Tie*)

*Well seismic tie* adalah proses pengikatan data seismik dan data sumur dengan cara menyamakan kedudukan *event* seismik riil dengan *event* seismogram sintetis. Sebelum dilakukan *well seismic tie* dilakukan ekstraksi wavelet. Ekstraksi wavelet merupakan proses pembuatan wavelet. Pada penelitian ini dilakukan ekstraksi wavelet dengan menggunakan wavelet *Ricker*. Pembuatan wavelet *Ricker* dilakukan dengan memasukkan parameter frekuensi dominan 16 Hz, *sample rate* 4 ms dan *wavelet length* 200 ms seperti pada Gambar 3.2b.

Hasil ekstraksi wavelet digunakan dalam proses pembuatan seismogram sintetis. Seismogram sintetis yaitu *trace* seismik buatan yang diperoleh melalui proses konvolusi antara log KR (Koefisien Refleksi) dan wavelet. Log KR diperoleh dari hasil perkalian log kecepatan (log *sonic*) dan log densitas (log *density*). Tujuan dari seismogram sintetis yaitu untuk menempatkan *event* seismik (skala waktu) pada posisi kedalaman sebenarnya, sehingga dapat diperoleh informasi litologi, umur dan parameter lain yang sesuai dengan data sumur. Untuk keperluan *well seismic tie*, data sumur yang masih dalam domain kedalaman perlu dikonversi ke domain waktu melalui *checkshot calibration*, sehingga sebelum proses *well seismic tie* dilakukan pengkonversian data sumur ke domain waktu.



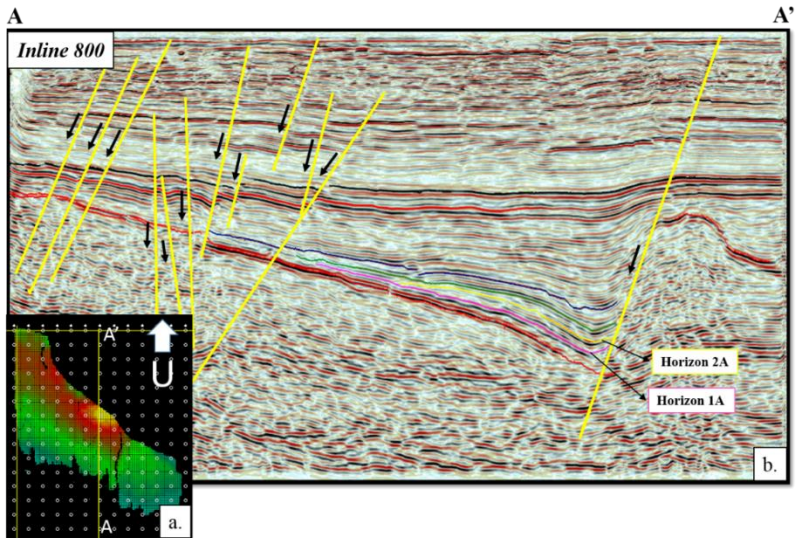
Gambar 3.2 a. Well seismic tie dengan hasil korelasi 0,72, b. wavelet Ricker dengan zero phased

Proses *well seismic tie* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu proses *shifting*, *stretching*, *squeezing* dan pemilihan wavelet. Proses *shifting* dilakukan untuk menggeser komponen seismogram ke posisi yang diinginkan. Proses *stretching* dan *squeezing* yaitu proses peregangan dan pemampatan dari dua amplitudo yang berdekatan pada seismogram. Pada penelitian ini tidak dilakukan proses *stretching* dan *squeezing*. Hal ini dikarenakan proses tersebut dapat merubah *depth* (ms) pada data log *sonic*. Berdasarkan hasil *well seismic tie* sumur QDTF seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 a, diperoleh nilai korelasi sebesar 0.720 dengan zona target berada pada kedalaman 9240-9760 ft dalam TVD dan 2240-2360 ms dalam *time*.

### 3.4.4 Interpretasi Struktur dan *Horizon*

Interpretasi struktur dilakukan dengan cara penarikan *trend* struktur pada data seismik seperti struktur sesar naik dan sesar turun. Adanya struktur sesar ditandai dengan adanya ketidakmenerusan reflektor. Selanjutnya interpretasi *horizon* dilakukan dengan

penarikan *trend* reflektor yang menerus. Penarikan *trend* reflektor didasarkan pada data marker yang diperoleh dari *completion log*.



Gambar 3.3 a.Peta *time surface* dan b. Hasil interpretasi struktur dan *horizon* pada *inline 800*

Gambar 3.3a. menunjukkan peta *time surface* yang dihasilkan dari interpretasi *horizon*. Apabila peta *time surface* dibuat *cross section* A-A' maka diperoleh penampang seismik dari *cross section* A-A'. Pada Gambar 3.3b. menunjukkan penampang seismik yang telah dilakukan interpretasi struktur dan diperoleh adanya struktur sesar turun. Struktur yang mendominasi di daerah penelitian mempunyai orientasi dari arah utara ke selatan.

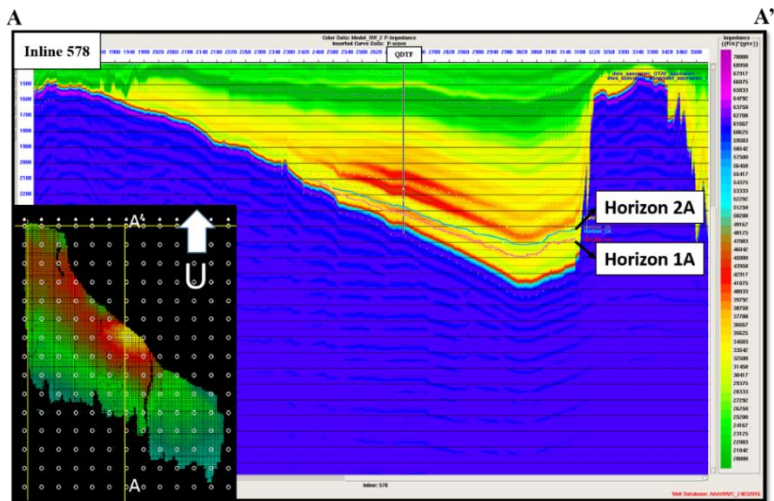
### 3.4.5 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan tahapan untuk mengetahui tingkat sensitivitas dari data log sumur dalam melakukan pemisahan zona. Pada penelitian ini dilakukan analisis sensitivitas dengan menggunakan log *gamma ray*, log *P-impedance*, dan log *porosity*. Log *P-impedance* diperoleh dari hasil perkalian antara log *density* dan log *sonic* sementara log *porosity* dihasilkan dari perhitungan menggunakan input log *density*. Pada tahap analisis sensitivitas dilakukan *crossplot* antara log *gamma ray* (sumbu X) dan log *P-*

*impedance* (sumbu Y) dengan sumbu Z berupa *depth*. *Crossplot* ini dilakukan untuk mengetahui *cut off sand* berdasarkan tingkat sensitivitas log *gamma ray* dalam memisahkan litologi *sand* dan *shale*. Selanjutnya dilakukan *crossplot* antara log *P-impedance* (sumbu X) dan log *porosity* (sumbu Y) dengan sumbu Z berupa *depth*. *Crossplot* ini dilakukan untuk mengetahui tingkat sensitivitas log *P-impedance* dalam memisahkan zona. Nilai dari log *P-impedance* (log AI) yang dapat memisahkan zona nantinya digunakan sebagai dasar dalam penentuan nilai impedansi akustik yang merepresentasikan persebaran reservoir dari area penelitian. Untuk *range* kedalaman yang digunakan sebagai *input* masukan yaitu 9250-9300 ft.

### 3.4.6 Pembuatan Model Awal

Pada dasarnya data seismik mempunyai frekuensi terbatas yang bersifat *bandpass* yang mengakibatkan komponen frekuensi rendah dan tinggi tidak terkontrol dengan baik. Model awal dibuat sebagai masukan awal untuk mengisi frekuensi rendah dalam proses seismik inversi. Model awal merupakan model volume impedansi akustik yang dibuat dengan menggunakan log *P-impedance* tiap sumur. Nilai dari log *P-impedance* tiap sumur selanjutnya dilakukan interpolasi dan ekstrapolasi melalui kontrol lateral dari *horizon* data seismik yang telah ada.



Gambar 3.4 Hasil pembuatan model pada *inline 578*



Gambar 3.4 menunjukkan penampang hasil pembuatan model awal berdasarkan parameter-parameter yang telah dimasukkan.

### 3.4.7 Analisis Inversi

Proses analisis inversi bertujuan untuk menentukan perkiraan nilai *error* hasil seismik inversi terhadap data seismik sebelum dilakukan *inverting volume* (*running* inversi). Parameter masukan awal untuk analisis inversi diantaranya yaitu sumur QDTF, wavelet *Ricker*, *time processing* 1100-3000 ms dan lebar window 1350-2500 ms. Pada penelitian ini, analisis inversi pertama yang dilakukan yaitu analisis inversi dengan menggunakan metode *model-based*. Parameter masukan dalam analisis inversi metode *model-based* yaitu :

*Inversion Option* : Pembatas ketat (*Hard Constraint*) bernilai *Upper* 50% dan *Lower* 50%  
*Average block size* : 4 ms  
*Prewhitening* : 1%  
*Iteration* (Iterasi) : 50

Pada inversi *model-based* *average block size* yang digunakan 4 ms disesuaikan dengan waktu sampling data seismik untuk menghindari terjadinya aliasing. *Inversion option* yang digunakan adalah pembatas ketat dengan nilai *upper* 50% dan *lower* 50% yang dapat diartikan sebagai batas perubahan yang diperbolehkan terjadi pada impedansi hasil inversi yaitu sebesar 50% ke atas dan 50% ke bawah. *Prewhitening* sebesar 1% digunakan untuk memberikan kestabilan dalam proses inversi. Iterasi bertujuan untuk memperoleh hasil inversi dengan tingkat *error* terkecil.

Selanjutnya dilakukan analisis inversi dengan menggunakan metode inversi *bandlimited*. Parameter yang menjadi masukan analisis inversi *bandlimited* yaitu *Constraint High-Cut Frequency* sebesar 15 Hz. Parameter ini mengontrol filter yang digunakan pada model awal untuk menyediakan komponen frekuensi rendah. Semua frekuensi diatas 15 Hz akan dihilangkan dari model awal sedangkan semua frekuensi dibawah 15 Hz dihilangkan dari *inversion trace*. Selanjutnya hasil akhir inversi *bandlimited* merupakan penjumlahan dari model awal yang telah difilter dengan *inversion trace*.

Tahap selanjutnya yaitu dilakukan analisis inversi dengan menggunakan inversi *sparse-spike maximum likelihood*. Parameter masukan untuk inversi ini berupa :

*Maximum number of spikes* : 225

*Spike detection threshold* : 5%  
*Maximum impedance change* : Pembatas ketat (*Hard Constraint*)  
bernilai *Upper* 30% dan *Lower* 30%  
*Iteration* : 100

Parameter *maximum number of spikes* adalah parameter yang membatasi jumlah *spike* maksimum yang terdapat pada tiap-tiap *trace* seismik. Parameter *spike detection threshold* digunakan sebagai pengontrol amplitudo *spike*. *Maximum impedance change* merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan batas maksimum impedansi hasil inversi yang diperbolehkan berubah. Besar *maximum impedance change upper* 30% dan *lower* 30% dapat diartikan sebagai batas maksimum impedansi hasil inversi yang diperbolehkan berubah yaitu 30% ke bawah dan 30% ke atas.

Tahap berikutnya yaitu dilakukan analisis inversi dengan menggunakan metode inversi *sparse-spike linear programming* dengan parameter masukan yang berupa :

*Sparseness* : 85%  
*Maximum constraint frequency*: 5  
*Window length* : 128 samples

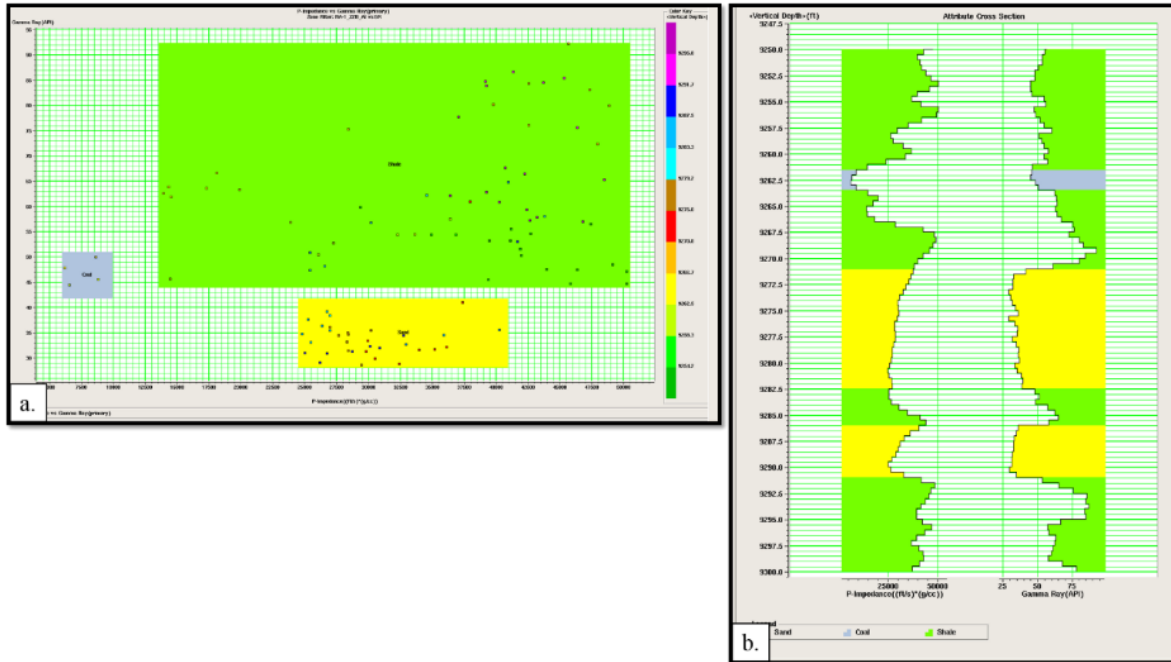
Parameter *sparseness* menentukan seberapa banyak komponen frekuensi tinggi yang ditambahkan ke model supaya model terlihat *sparse*. Apabila *sparseness* 100% maka dihasilkan model paling sederhana. Apabila *sparseness* 0% maka dihasilkan model yang bersifat *bandlimited* yang tidak mengandung komponen frekuensi tinggi. Parameter *maximum constraint frequency* menentukan seberapa banyak komponen frekuensi rendah yang diambil dari model awal. Apabila nilai *maximum constraint frequency* terlalu besar, maka tingkat kesesuaian yang rendah terhadap data seismik dapat terjadi. Namun apabila terlalu kecil nilai *maximum constraint frequency* dapat menyebabkan diskontinuitas lateral. Selanjutnya *window length* digunakan sebagai parameter utama dalam mengontrol *run time* dari program inversi *sparse-spike linear programming*. Semakin kecil *window length* yang digunakan maka semakin cepat program tersebut berjalan.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Sensitivitas

Seperti pada bahasan sebelumnya, analisis sensitivitas bertujuan untuk mengetahui tingkat sensitivitas data log dalam memisahkan zona. Analisis sensitivitas berfungsi untuk mengetahui nilai *cut off* dari zona yang prospek. Pada seismik inversi AI, analisis sensitivitas diperlukan untuk mengetahui bisa tidaknya log *P-impedance* dalam memisahkan zona prospek dan tidak prospek. Apabila log *P-impedance* bisa memisahkan zona prospek dan tidak prospek maka nilai *cut off* dapat digunakan sebagai batas *range* nilai impedansi akustik dari zona prospek.

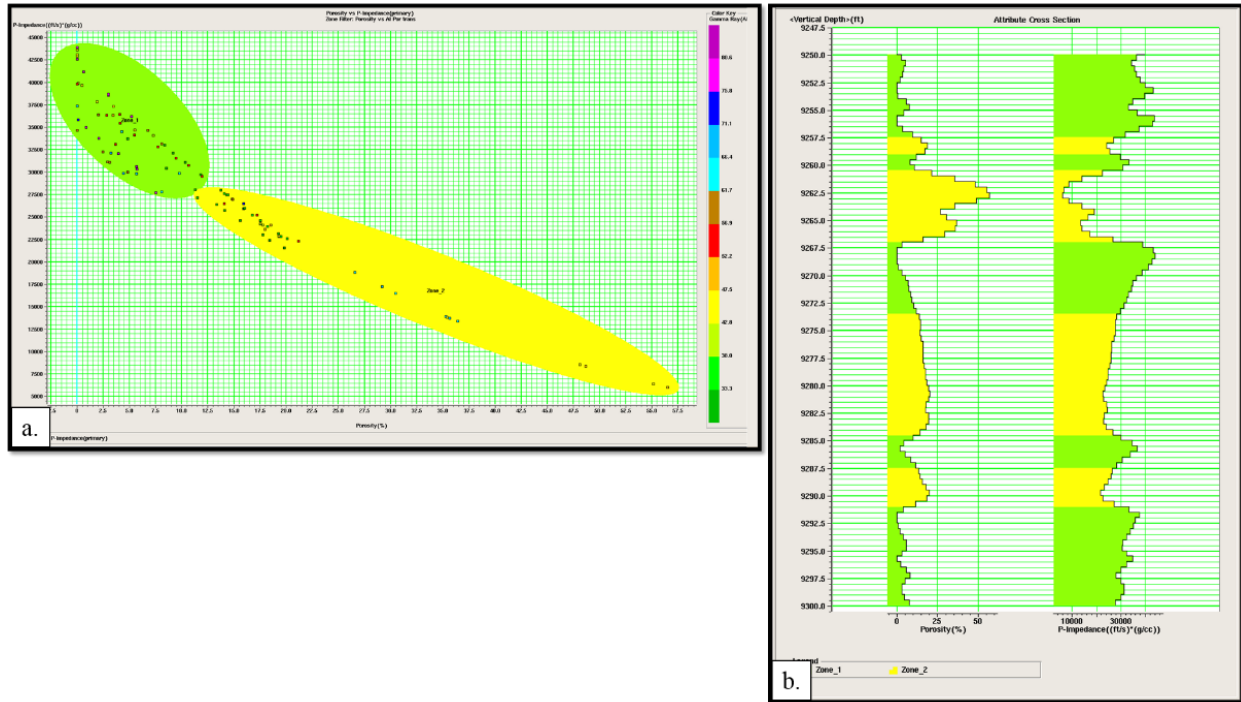
Pada penelitian ini, analisis sensitivitas dilakukan dengan *crossplot* antara log *P-impedance* dan log *gamma ray* serta log *P-impedance* dengan log *porosity*. Pada hasil *crossplot* antara log *P-impedance* (sumbu X) dan log *gamma ray* (sumbu Y) dengan sumbu Z berupa *depth* menunjukkan bahwa log *P-impedance* tidak dapat memisahkan zona litologi *sand* dan *shale*. Hal ini ditandai dengan nilai impedansi akustik kedua zona yang saling tumpang tindih (*overlapping*) atau berada pada *range* nilai impedansi akustik yang sama. Sedangkan log *gamma ray* dapat memisahkan zona litologi batupasir (*sand*) dan batu serpih (*shale*). Berikut ini merupakan *crossplot* antara log *P-impedance* dan log *gamma ray*. Gambar 4.1a menunjukkan *crossplot* antara log *P-impedance* dan log *gamma ray*. Sedangkan Gambar 4.1b merupakan *cross section* dari hasil zonasi *crossplot* secara vertikal.



Gambar 4.1 *Crossplot* antara log *P-impedance* (sumbu X) dan log *gamma ray* (sumbu Y) untuk memisahkan litologi, b. *Cross section* dari kedua log tersebut

Pada hasil *crossplot*, zona batupasir ditunjukkan dengan warna kuning, zona batu serpih ditunjukkan dengan warna hijau dan zona batubara (*coal*) ditunjukkan dengan warna abu-abu. Berdasarkan hasil *crossplot* diperoleh nilai *cut off* 41.5 API. Apabila nilai di bawah 41.5 API menunjukkan litologi batupasir dan nilai di atas 41.5 API menunjukkan litologi batu serpih. Namun karena log *P-impedance* tidak dapat memisahkan ketiga zona tersebut, maka hasil *crossplot* antara log *P-impedance* dengan log *gamma-ray* tidak bisa dijadikan acuan dalam penentuan *range* nilai impedansi akustik.

Selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas dengan menggunakan *crossplot* antara log *porosity* (sumbu X) dengan log *P-impedance* (sumbu Y) dan skala warna *vertical depth* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2a. Pada hasil *crossplot* menunjukkan log *P-impedance* dapat memisahkan zona berporous dan tidak berporous. Zona berporous ditunjukkan dengan warna kuning dan zona tidak berporous ditunjukkan dengan warna hijau. Berdasarkan hasil *crossplot* tersebut diperoleh nilai *cut off* porositas sebesar 10%. Hal ini dapat diartikan sebagai *range* nilai porositas zona berporous rendah antara 0%-10%, sedangkan zona berporous tinggi mempunyai *range* porositas antara 10%-56.5%. Menurut Koesoemadinata (1980), porositas dengan skala 10%-56.5% dikategorikan sebagai porositas yang cukup-istimewa dan baik untuk suatu reservoir hidrokarbon. Sedangkan porositas dengan skala 0%-10% dikategorikan sebagai porositas yang buruk dan tidak baik untuk suatu reservoir hidrokarbon. Pada hasil *crossplot*, zona berporous tinggi berada dalam *range* nilai impedansi akustik rendah yang berkisar antara 5000-27500 ((ft/s).(g/cc)). Zona yang mempunyai nilai porositas yang tinggi dan impedansi akustik rendah merepresentasikan zona *low sand* AI (zona batupasir yang memiliki AI rendah).



Gambar 4.2 a. *Crossplot* antara log porosity dan log P-impedance, b. *Cross section* dari kedua log tersebut

Pada Gambar 4.2a dapat dilihat bahwa log *porosity* dan log *P-impedance* mampu memisahkan zona, sehingga zona yang berpotensi sebagai reservoir dapat diketahui. Gambar 4.2b menunjukkan *cross section* hasil zonasi yang ditampilkan secara vertikal dalam skala kedalaman (ft). Selanjutnya *range* nilai impedansi akustik yang telah diketahui akan digunakan untuk mengetahui persebaran reservoir di daerah penelitian pada saat analisis peta impedansi akustik.

## 4.2 Analisis Inversi

Analisis inversi berfungsi sebagai *quality control* dalam penentuan baik tidaknya model untuk dilakukan proses inversi. Analisis inversi dilakukan dengan memasukkan parameter *input* pada masing-masing metode inversi untuk mengetahui perkiraan nilai korelasi dan *error* hasil inversi. Apabila nilai *error* hasil inversi masih tinggi dan nilai korelasi antara model dan hasil inversi masih rendah maka perlu dilakukan analisis inversi kembali dengan mengubah parameter-parameter yang ada.

Nilai korelasi ( $r$ ) pada analisis inversi menyatakan hubungan antara nilai impedansi akustik sumur dengan impedansi akustik hasil inversi yang ditunjukkan oleh suatu nilai. Menurut Zou, et al. (2003), besar nilai korelasi mempunyai arti hubungan antara dua variabel data (variabel dependen dan independen) seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Interpretasi dari nilai korelasi (Zou, et al., 2003)

Nilai Korelasi	Tingkat Kekuatan Korelasi
0	Tidak ada hubungan
0.2	Hubungan positif
0.5	Hubungan sedang
0.8	Hubungan kuat
1	Hubungan sempurna

Pada penelitian ini yang berfungsi sebagai variabel dependen adalah impedansi akustik hasil inversi dan variabel independen adalah impedansi akustik dari data sumur. Berdasarkan Tabel 4.1, apabila nilai korelasi  $>0.5$  maka nilai impedansi akustik hasil inversi mempunyai nilai yang semakin mirip dengan impedansi akustik data sumur. Oleh karena itu, semakin tinggi nilai korelasi maka model awal yang akan digunakan untuk inversi semakin baik serta diperoleh hasil

inversi yang baik. Besar nilai korelasi dapat diperoleh dari rumus matematis sebagai berikut (Rawlings, et al., 1998) :

$$r = \sqrt{R^2} = \sqrt{\frac{SS_{reg}}{SS_{tot}}} = \sqrt{\frac{\beta_1^2 \sum (X_i - \bar{X})^2}{\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2/n}} \quad (4.1)$$

Dimana :

$R^2$  = koefisien determinasi

$SS_{reg}$  = jumlah kuadrat karena variabel  $X$

$SS_{tot}$  = jumlah kuadrat total yang terkoreksi

$\beta_1$  = koefisien regresi

$X_i$  = variabel independen

$\bar{X}$  = variabel independen rata-rata

$Y_i$  = variabel dependen

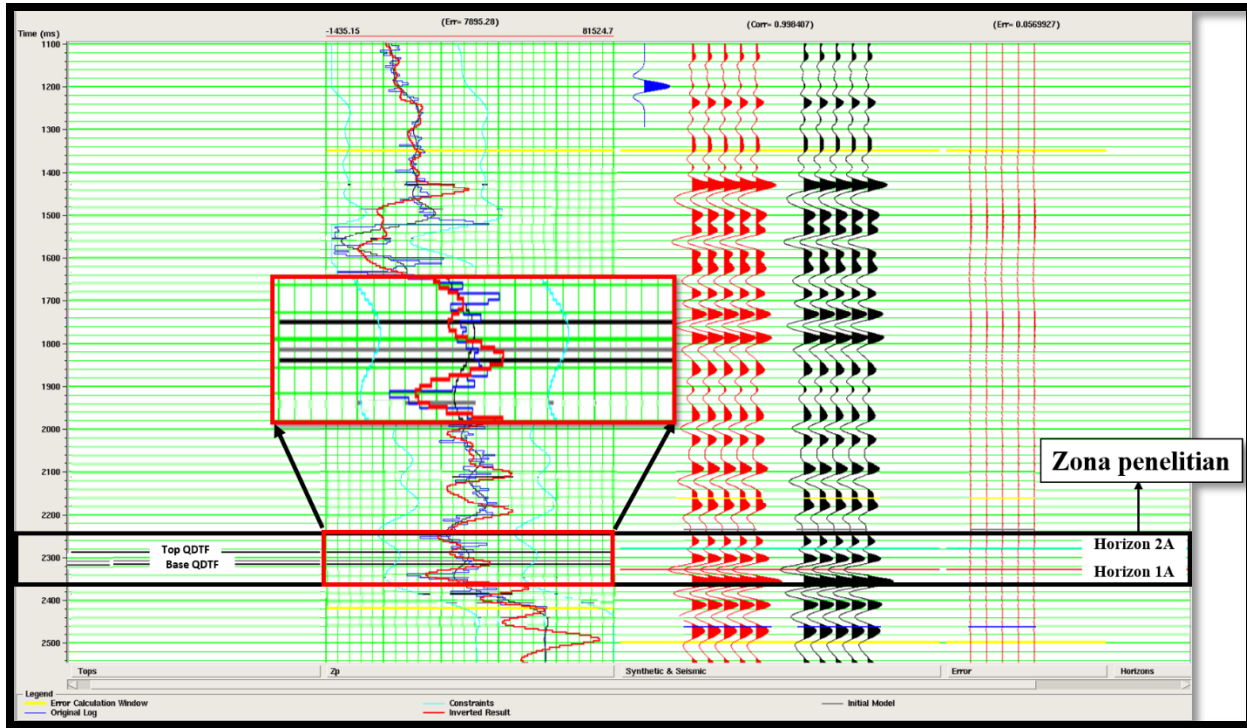
$n$  = data sampel

Pada penelitian ini, *quality control* ditunjukkan dengan adanya *crossplot* analisis inversi yang ditampilkan pada Lampiran 3. Hasil *crossplot* analisis inversi berupa persamaan regresi linear. Berikut ini pembahasan analisis inversi masing-masing metode.

#### 4.2.1 Inversi *Model-based*

Inversi *model-based* merupakan inversi yang didasarkan pada model konvolusi. Model konvolusi yaitu model awal *P-impedance* frekuensi rendah yang dihasilkan dari data sumur dan *horizon*. Prinsip dari inversi *model-based* yaitu membuat model awal dari log *P-impedance* dalam bentuk blok-blok kecil kemudian dikonvolusikan dengan wavelet hingga diperoleh *trace* sintetik. Selanjutnya *trace* sintetik dibandingkan dengan *trace* data seismik dan dihitung tingkat *error*nya. Proses dilakukan secara iterasi dengan memodifikasi blok *trace* model hingga diperoleh nilai *error* yang paling kecil. Pada penelitian ini digunakan inversi *model-based* dengan parameter *hard constraint* yang merupakan batasan seberapa jauh impedansi akustik hasil inversi yang diperbolehkan mengalami perubahan.





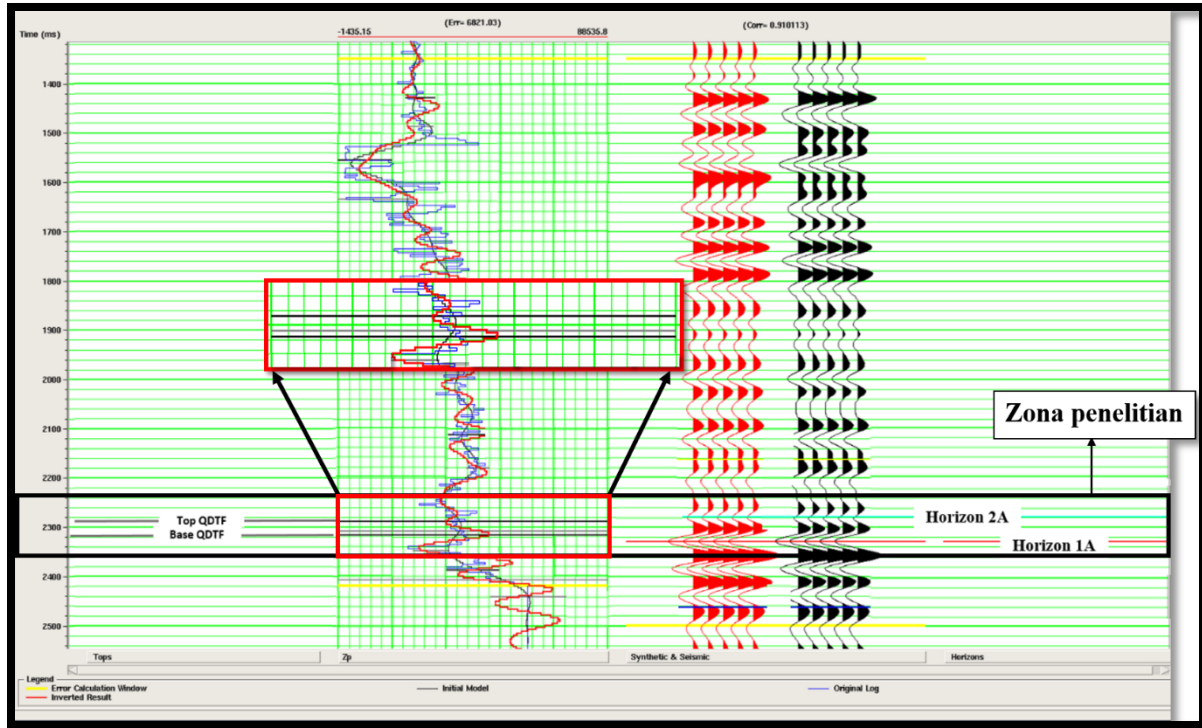
Gambar 4.3 Analisis inversi *model-based*

Gambar 4.3 menunjukkan analisis inversi *model-based*. Pada analisis inversi *model-based* diperoleh nilai *error* RMS sebesar 10.57%, nilai korelasi 0.998 dan nilai *error* hasil inversi 5.69%. Nilai *error* (kolom pertama paling kiri) merupakan besarnya penyimpangan nilai AI maksimum antara nilai AI hasil inversi dengan nilai AI sumur. Korelasi (kolom kedua) menunjukkan tingkat kesesuaian antara *trace* hasil inversi dengan *trace* seismik, serta *error* hasil inversi (kolom ketiga paling kanan) menunjukkan selisih antara data seismik asli dengan hasil inversi.

Nilai korelasi yang semakin tinggi dan tingkat *error* hasil inversi yang semakin rendah akan memberikan hasil yang semakin baik. Berdasarkan analisis inversi *model-based*, nilai korelasi dan *error* hasil inversi menunjukkan hasil yang baik. Pada zona penelitian seperti yang ditunjukkan pada kotak berwarna merah, terlihat bahwa kurva impedansi akustik sebenarnya (warna biru), impedansi akustik model awal (warna hitam) dan impedansi akustik hasil inversi (warna merah) menunjukkan arah *trend* yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kesesuaian antara ketiga kurva impedansi khususnya antara *trend* kurva impedansi akustik model awal dengan impedansi akustik hasil inversi sudah baik.

#### **4.2.2 Inversi Bandlimited**

Prinsip inversi *bandlimited* yaitu menginversi data seismik dengan algoritma rekursif yang mengasumsikan bahwa *trace* seismik sebagai suatu deret koefisien refleksi yang telah difilter oleh wavelet *zero phase*. Model awal dibuat dengan memfilter log impedansi dari data sumur untuk menghasilkan komponen frekuensi rendah. *Trace* seismik diskalakan ke reflektivitas dengan menggunakan persamaan rekursif untuk memperoleh komponen frekuensi pertengahan (10-60 Hz). *Trace* yang telah diskalakan ditambahkan ke dalam model awal yang telah difilter untuk memperoleh hasil akhir.



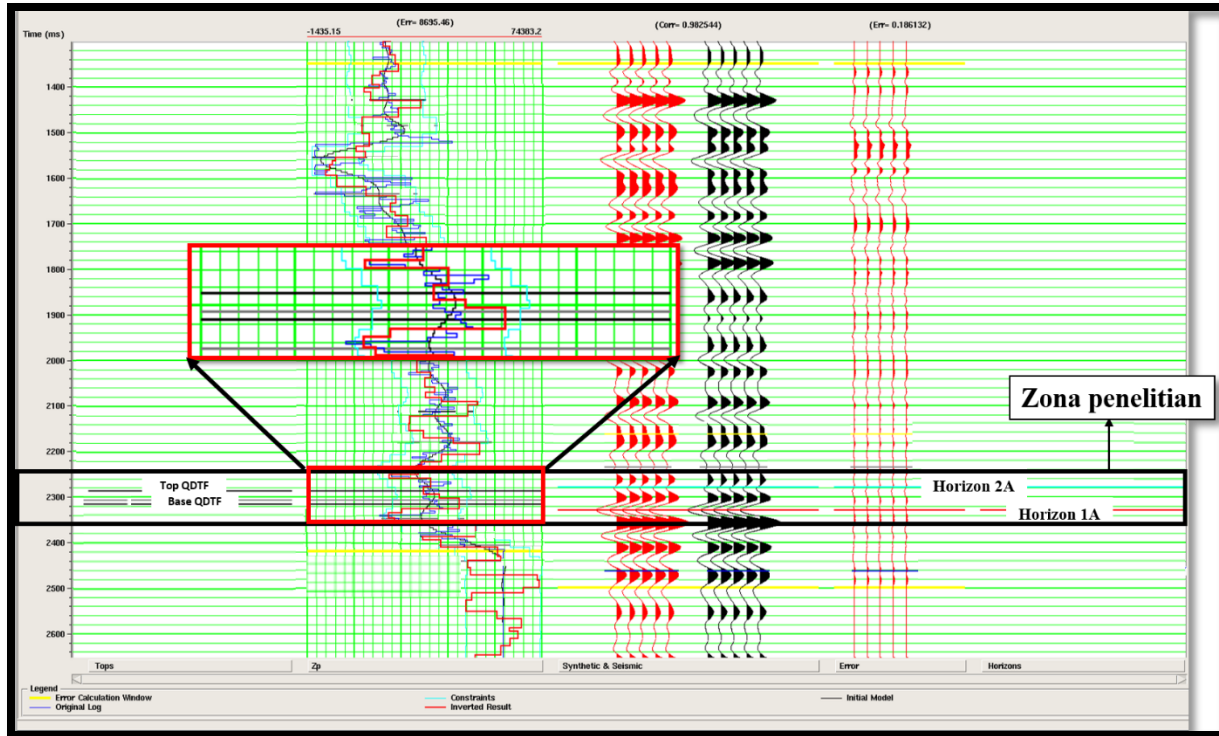
Gambar 4.4 Analisis inversi *bandlimited*

Gambar 4.4 menunjukkan analisis inversi *bandlimited* yang menghasilkan informasi nilai *error* RMS (penyimpangan nilai AI) dan korelasi. Pada analisis inversi *bandlimited* dihasilkan nilai *error* RMS sebesar 9.23% dan nilai korelasi 9.10%. Untuk analisis inversi ini tidak terdapat nilai *error* hasil inversi. Hal ini disebabkan karena dalam proses inversinya menggunakan *input* data seismik secara keseluruhan dan menambahkannya dengan model awal yang dibuat dari log *P-impedance* sebagai komponen frekuensi rendah. Nilai korelasi analisis inversi *bandlimited* yang cukup tinggi memberikan hasil yang baik. Namun pada hasil inversi ini masih bersifat *bandlimited*.

#### **4.2.3 Inversi *Sparse-spike Maximum Likelihood***

Prinsip dari metode ini yaitu membangun deret reflektivitas dengan menambahkan *spike-spike* hingga *trace* yang dimodelkan menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi. Proses penambahan *spike-spike* dilakukan dengan menggunakan algoritma iterasi. Algoritma akan melakukan iterasi hingga menemukan *spike* dengan amplitudo lebih kecil dari pada *threshold value* yang dikalikan dengan amplitudo rata-rata *spike-spike* sebelumnya. Ketika amplitudo *spike* yang baru lebih kecil daripada *spike detection threshold* maka algoritma akan berhenti menambahkan *spike*.

Pada analisis inversi *sparse-spike maximum likelihood* diperoleh nilai *error* RMS sebesar 12.01%, nilai korelasi 0.982 dan *error* hasil inversi 18.61%. Nilai korelasi dan *error* hasil inversi memberikan hasil yang baik karena nilai korelasi yang dihasilkan tinggi dan nilai *error* yang rendah.



Gambar 4.5 Analisis inversi *sparse-spike maximum likelihood*

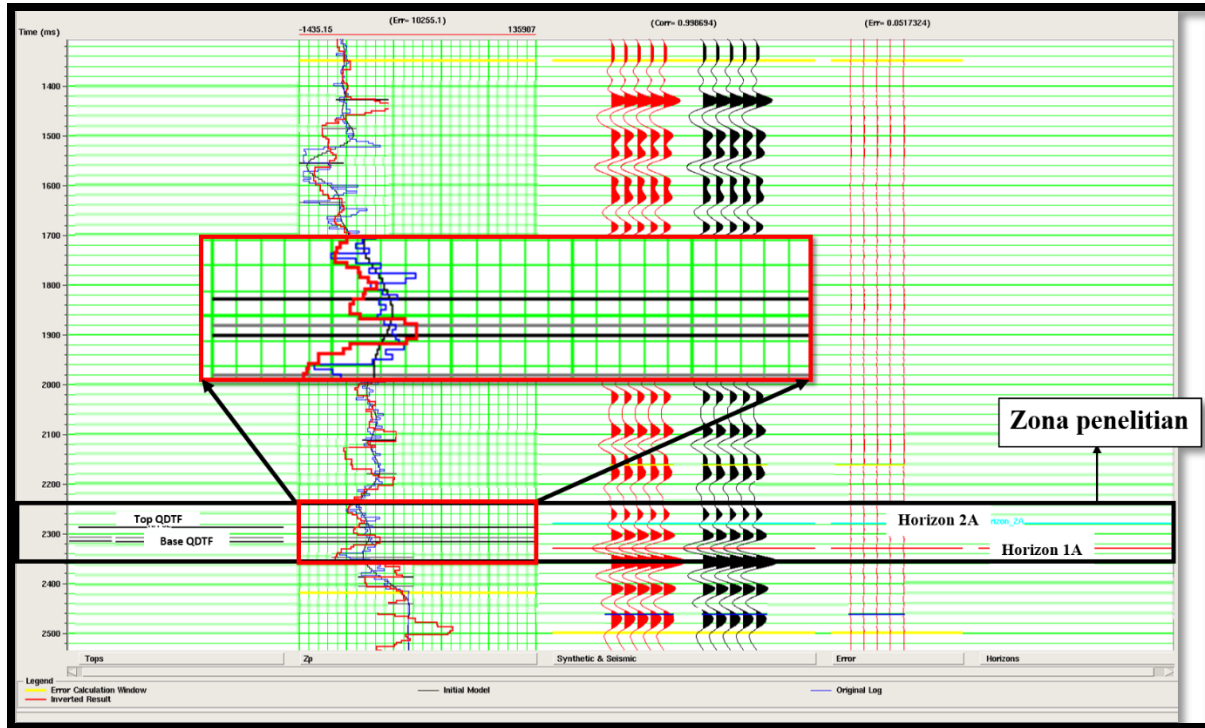
Selanjutnya pada kolom *error* RMS bagian zona penelitian, terlihat ketiga kurva impedansi akustik menunjukkan arah *trend* yang sama, apabila kurva impedansi akustik asli mengarah ke kiri (nilainya semakin kecil) maka kurva impedansi akustik model dan hasil inversi juga mengarah ke kiri dan sebaliknya.

Kurva impedansi hasil inversi memiliki bentuk *blocky*. (Gambar 4.5). Hal ini terjadi karena penggunaan algoritma inversi *model-based* untuk penentuan amplitudo blok-blok impedansi. Pada Gambar 4.5 menunjukkan analisis inversi *sparse-spike maximum likelihood* dengan hasil yang baik dan model yang telah dibuat dapat digunakan dalam proses *running* inversi. Hasil yang sudah baik ditandai dengan nilai *error* hasil inversi yang rendah dan nilai korelasi yang tinggi.

#### **4.2.4 Inversi *Sparse-spike Linear Programming***

Prinsip inversi *sparse-spike linear programming* yaitu membuat model impedansi reflektivitas *sparse* (beberapa bilangan koefisien refleksi yang tidak nol). Untuk kontrol frekuensi rendah digunakan parameter *constraint frequency* dan kontrol frekuensi tinggi digunakan parameter *sparseness*.

Pada inversi *sparse-spike linear programming* dihasilkan nilai *error* RMS sebesar 14.85%, nilai korelasi 0.998 dan nilai *error* hasil inversi 5.17% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Nilai korelasi dan nilai *error* hasil inversi yang diperoleh memberikan hasil yang baik, karena menunjukkan nilai korelasi yang tinggi dan nilai *error* hasil inversi yang rendah. Pada kolom *error* RMS terlihat bahwa kurva impedansi akustik hasil inversi dan impedansi akustik log di bagian zona penelitian menunjukkan *trend* yang sama meskipun *scale* antara kedua inversi tersebut kurang rapat.



Gambar 4.6 Analisis inversi *sparse-spike linear programming*

Gambar 4.6 menunjukkan analisis inversi *sparse-spike linear programming*.

Berdasarkan analisis inversi keempat metode diperoleh *quality control* yang terdiri dari *error RMS*, korelasi dan *error hasil inversi*. Tabel *quality control* dari hasil analisis inversi keempat metode ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 *Quality control* hasil analisis inversi

<b>Nama Inversi</b>	<b>Error RMS (%)</b>	<b>Korelasi</b>	<b>Error hasil inversi (%)</b>
<i>Model-based</i>	10.67	0.998	5.69
<i>Bandlimited</i>	9.23	0.910	-
<i>Sparse-spike Maximum Likelihood</i>	12.01	0.982	18.61
<i>Sparse-spike Linear Programming</i>	14.85	0.998	5.17

Untuk menentukan metode yang paling tepat, nilai *error RMS* tidak digunakan karena adanya pengaruh dari impedansi akustik data sumur. *Error RMS* menyatakan besar perbedaan maksimum antara nilai AI hasil inversi dan nilai AI data sumur. Nilai *error RMS* yang cukup tinggi disebabkan karena log *P-impedance* yang digunakan untuk membuat model tidak dilakukan pemfilteran dengan *bandpass filter* sehingga hal ini mempengaruhi nilai penyimpangan AI. Selanjutnya penyimpangan AI juga dapat terjadi karena adanya *badhole* pada sumur sehingga mempengaruhi pembacaan log densitas dan nilai AI sumur.

Pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai korelasi yang paling baik dan nilai *error hasil inversi* yang paling rendah yaitu analisis inversi metode *sparse-spike linear programming*. Selanjutnya pada Tabel 4.2 juga menunjukkan bahwa tiap-tiap metode dihasilkan nilai *error RMS*, nilai korelasi dan nilai *error hasil inversi* yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena tiap metode memiliki pendekatan algoritma serta parameter input yang berbeda-beda. Pada metode *model-based* menggunakan pendekatan algoritma membuat model awal yang sesuai dengan data seismik, metode *bandlimited* menggunakan pendekatan algoritma rekursif untuk diperoleh hasil



inversi yang *bandlimited*. Metode *sparse-spike maximum likelihood* menggunakan pendekatan dekonvolusi dengan menambahkan *sparse-spike* berukuran besar dari data seismik sampai diperoleh *trace* yang cukup akurat. Kemudian metode *sparse-spike linear programming* juga menggunakan pendekatan dekonvolusi yang memulihkan model impedansi dengan reflektivitas *sparse* serta memasukkan komponen frekuensi rendah dari fungsi reflektivitas data AI sumur dan komponen frekuensi tinggi dari fungsi reflektivitas *sparse*.

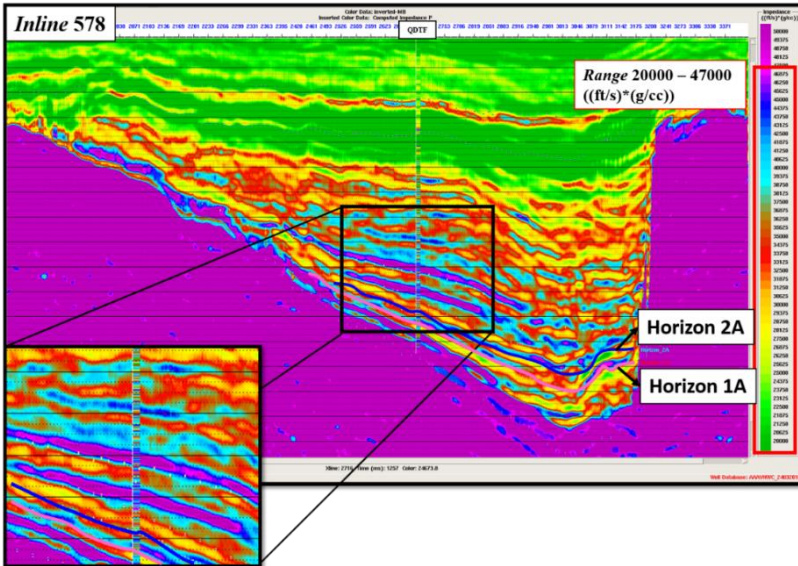
Selanjutnya pada Tabel 4.2 terlihat bahwa metode *sparse-spike linear programming* menunjukkan hasil yang paling baik. Pada umumnya, metode *sparse-spike* lebih sesuai digunakan pada data dengan kontras AI yang tajam. Pada metode *sparse-spike linear programming* tidak tergantung dengan penggunaan model, sehingga akan menghasilkan nilai *error* hasil inversi yang lebih kecil ketika data sumurnya relatif sedikit. Sedangkan untuk metode *model-based* akan dihasilkan nilai *error* hasil inversi yang lebih besar ketika data sumur yang digunakan sedikit karena metode inversi ini tergantung pada model.

Berikutnya, untuk mengetahui kesesuaian antara impedansi akustik hasil inversi dengan impedansi akustik data sumur perlu dilakukan analisis hasil inversi dengan melihat kesesuaian *trend* warna antara kedua impedansi akustik tersebut.

### 4.3 Analisis Hasil Inversi

Hasil inversi diperoleh dari proses *inverting volume* dengan memasukkan parameter-parameter input yang telah dilakukan pada saat proses analisis inversi. Hasil dari proses ini berupa penampang seismik yang terdiri dari *volume* impedansi akustik.

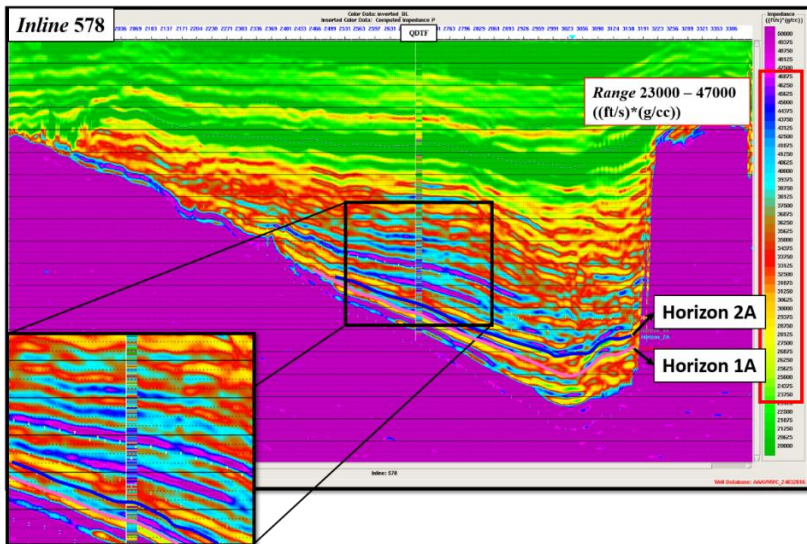
Pada hasil inversi *model-based* ditunjukkan pada Gambar 4.7, diperoleh informasi bahwa nilai impedansi akustik di daerah penelitian berada dalam *range* nilai antara 20000-47000 ((ft/s).(g/cc)). Impedansi akustik yang tinggi ditunjukkan oleh warna ungu dan impedansi akustik yang rendah ditunjukkan oleh warna hijau. Reservoir di area penelitian berada pada *range* nilai AI antara 20000-27500 ((ft/s).(g/cc)) yang ditunjukkan dengan warna hijau-kuning.



Gambar 4.7 Hasil inversi metode *model-based*

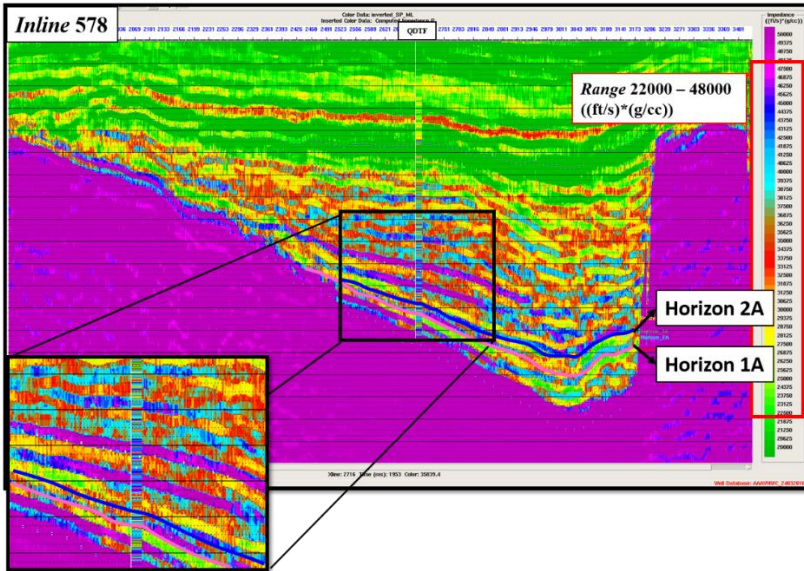
Berdasarkan *trend* warna antara impedansi akustik dari data sumur dengan impedansi akustik hasil inversi menunjukkan kesesuaian yang cukup baik. Hal ini ditunjukkan oleh adanya warna impedansi akustik dari data sumur yang sama dengan warna pada impedansi akustik hasil inversi meskipun secara tidak keseluruhan, melainkan hanya beberapa bagian.

Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, data seismik mempunyai tingkat resolusi horisontal yang baik dan resolusi vertikal yang buruk akibat adanya proses atenuasi frekuensi seiring bertambahnya kedalaman. Sedangkan data sumur mempunyai resolusi vertikal yang baik namun resolusi horisontal yang buruk. Berdasarkan hal tersebut maka dapat mempengaruhi kontras warna antara impedansi akustik data sumur dengan impedansi akustik hasil inversi. Pengaruh tersebut diantaranya berupa adanya perbedaan warna yang kontras antara impedansi akustik hasil inversi dengan impedansi akustik data sumur.



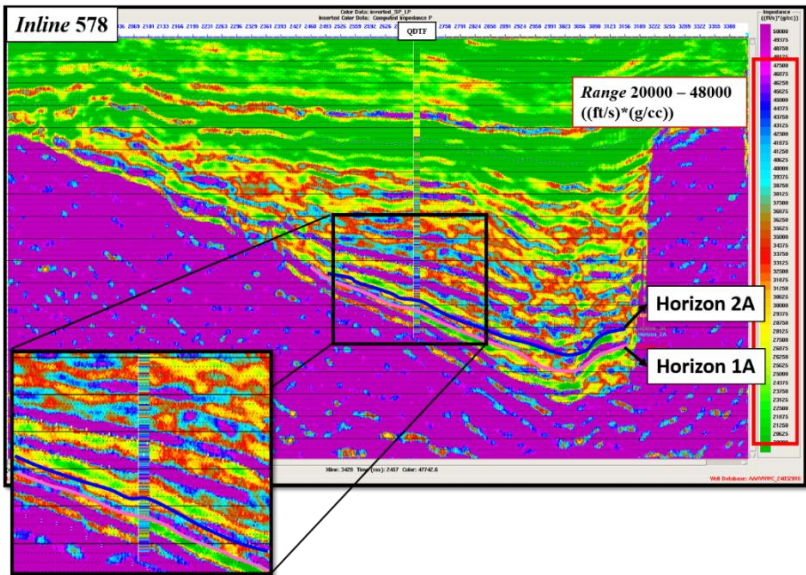
Gambar 4.8 Hasil inversi metode *bandlimited*

Selanjutnya hasil inversi metode *bandlimited* ditunjukkan pada Gambar 4.8. Metode *bandlimited* menginversi data seismik secara keseluruhan yang telah diberi komponen frekuensi rendah. Komponen frekuensi rendah diperoleh dari hasil *filtering* log impedansi data sumur. Daerah penelitian berada pada *range* nilai impedansi akustik antara 23000-47000 ((ft/s).(g/cc)) dengan reservoir berada pada *range* nilai 23000-27500 ((ft/s).(g/cc)). Nilai impedansi akustik rendah ditunjukkan oleh warna hijau dan nilai impedansi akustik tinggi ditunjukkan oleh warna ungu. Kesesuaian antara impedansi akustik hasil inversi dan impedansi akustik data sumur menunjukkan hasil yang baik, namun tidak secara keseluruhan.



Gambar 4.9 Hasil inversi metode *sparse-spike maximum likelihood*

Pada hasil inversi metode *sparse-spike maximum likelihood* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 diperoleh nilai *range* impedansi akustik total sebesar 22000-48000 ((ft/s).(g/cc)). Zona reservoir ditunjukkan dengan *range* nilai impedansi akustik berkisar antara 22000-27500 ((ft/s).(g/cc)). Apabila dibandingkan dengan kedua hasil inversi *model-based* dan *bandlimited*, *volume* impedansi akustik hasil inversi *sparse-spike maximum likelihood* terlihat lebih *spike*. Hal ini disebabkan karena penggunaan komponen *spike-spike* yang berukuran besar dalam pembuatan model untuk inversi, sehingga dihasilkan penampang impedansi akustik yang terlihat *spike*. Penyebab lain dari adanya *spike-spike* pada hasil inversi juga dipengaruhi oleh ada tidaknya penggunaan *bandpass filter* pada data sumur ketika proses analisis inversi. Apabila pada proses analisis inversi dilakukan *filtering* dengan menggunakan *bandpass filter*, maka *spike-spike* pada penampang impedansi akustik lebih berkurang. Pada hasil inversi terlihat bahwa kesesuaian antara impedansi akustik hasil inversi dan impedansi akustik data sumur sudah cukup baik. Terlihat kontras warna antara impedansi akustik hasil inversi dan data sumur yang hampir sama meskipun tidak secara keseluruhan.



Gambar 4.10 Hasil inversi metode *sparse-spike linear programming*

Gambar 4.10 menunjukkan penampang impedansi akustik hasil inversi *sparse-spike linear programming*. Pada zona penelitian diperoleh nilai impedansi akustik dengan *range* nilai 20000-48000 ((ft/s).(g/cc)). Sedangkan zona reservoir berada dalam *range* nilai impedansi akustik sebesar 20000-27500 ((ft/s).(g/cc)) yang ditunjukkan dengan warna hijau-kuning. Penampang impedansi akustik inversi *sparse-spike linear programming* memberikan hasil yang berbeda apabila dibandingkan dengan hasil penampang impedansi akustik ketiga metode yang telah dijelaskan sebelumnya. Pada penampang impedansi akustik hasil inversi *sparse-spike linear programming* menunjukkan variasi warna di daerah *basement*. Daerah *basement* ditunjukkan oleh bidang warna ungu yang terletak paling bawah. Hal ini disebabkan karena inversi *sparse-spike linear programming* bersifat memulihkan *range* frekuensi data seismik dari frekuensi rendah sampai frekuensi tinggi, sehingga dihasilkan penampang impedansi akustik yang lebih detail. Pada kontras warna penampang impedansi akustik hasil inversi terdapat kesamaan dengan kontras warna impedansi akustik data sumur.

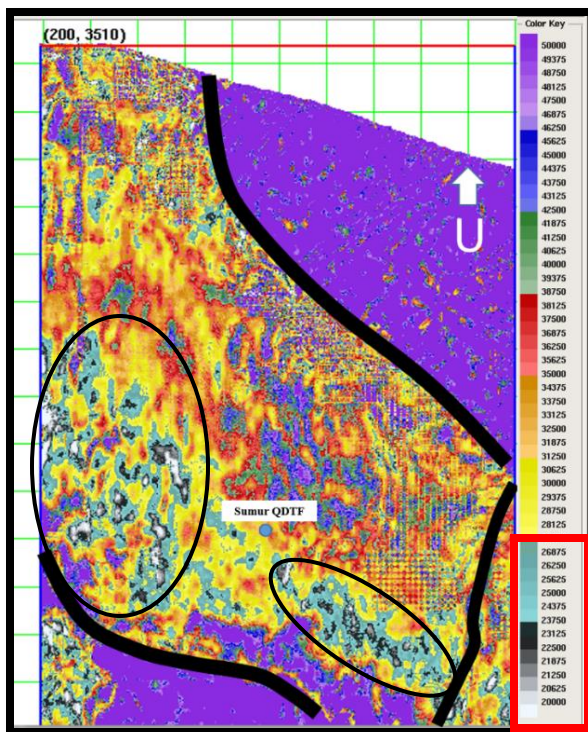
Berdasarkan hasil inversi keempat metode menunjukkan bahwa kesesuaian warna antara impedansi akustik hasil inversi dengan impedansi akustik data sumur sudah baik namun tidak secara keseluruhan. Pada bagian zona penelitian, kesesuaian warna antara impedansi akustik hasil inversi dan impedansi akustik data sumur terlihat kurang jelas, dikarenakan pengaruh lapisan zona target yang terlalu tipis dan efek perbedaan resolusi dari penampang hasil inversi dengan data sumur. Namun keempat hasil inversi tersebut sudah menunjukkan hasil inversi yang sudah baik.

#### **4.4 Peta Impedansi Akustik**

Berdasarkan hasil analisis inversi dan hasil inversi menunjukkan bahwa metode yang tepat digunakan untuk karakterisasi reservoir di daerah penelitian yaitu metode *sparse-spike linear programming*. Hal ini dapat dilihat dari hasil korelasi dan nilai *error* hasil inversi pada proses analisis inversi yang menunjukkan bahwa metode *sparse-spike linear programming* memperoleh nilai korelasi paling tinggi dan tingkat *error* hasil inversi yang paling rendah. Selanjutnya hasil tersebut di dukung dengan adanya kesesuaian antara impedansi akustik hasil inversi dengan impedansi akustik data sumur yang ditunjukkan dengan kesamaan *trend* warna. Oleh karena itu, untuk menentukan pola persebaran reservoir digunakan peta impedansi akustik hasil inversi *sparse-spike linear programming*.

Peta impedansi akustik dihasilkan dari proses *slicing volume* impedansi akustik. Pada proses *slicing* dilakukan *input* parameter *window* yang disesuaikan dengan ketebalan reservoir target daerah penelitian. Parameter *window* yang digunakan yaitu *average window centered* 20 ms yang dapat diartikan sebagai cakupan ketebalan zona target yang akan di *slice* yaitu horizon 2 ditambah 20 ms keatas dan 20 ms. Cakupan ketebalan zona target yang akan di *slice* berada ditepat bagian *peak trough peak* dari *trace* seismik (1 *wiggle*). Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan ketebalan zona target yang akan di *slicing* dengan besar resolusi seismik vertikal untuk menghindari terjadinya efek hasil pembacaan gelombang seismik yang merepresentasikan ketebalan dibawah *tuning thickness* seperti dalam bahasan bab sebelumnya. Peta impedansi akustik memberikan informasi mengenai sifat fisik reservoir berupa porositas dan persebaran litologi.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas dapat diketahui bahwa zona reservoir berada pada *range* nilai impedansi akustik berkisar 5000-27500 ((ft/s).(g/cc)) dengan nilai porositas yang berkisar 10%-56.5%. Seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya, litologi yang mempunyai karakteristik impedansi akustik rendah dan porositas yang tinggi yaitu *low sand AI*. Pada peta impedansi akustik digunakan skala warna 20000-50000 karena kontras warna dengan *range* tersebut dapat menampilkan anomali reservoir yang lebih jelas. Skala warna pada peta impedansi akustik merepresentasikan persebaran nilai impedansi akustik.



Gambar 4.11 Peta impedansi akustik inversi *sparse-spike linear programming*

Gambar 4.11 menunjukkan peta impedansi akustik hasil inversi *sparse-spike linear programming*. Zona reservoir pada peta impedansi akustik ditunjukkan dengan *range* warna putih-hijau

kebiruan (20000-27500 ((ft/s).(g/cc))). Pada peta terlihat bahwa pola persebaran reservoir mempunyai orientasi dari arah selatan ke utara berlawanan dengan arah struktur. Berdasarkan hasil interpretasi struktur yang ditunjukkan pada Lampiran 5, dapat diketahui bahwa struktur yang mendominasi di daerah penelitian yaitu struktur sesar dengan orientasi dari arah utara ke selatan.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. *Range* nilai impedansi akustik reservoir daerah penelitian berkisar antara 20000-27500 ((ft/s).(g/cc)) yang diinterpretasikan sebagai *low sand* AI.
2. Metode seismik inversi *post-stack* yang paling tepat digunakan untuk karakterisasi reservoir di daerah penelitian yaitu metode seismik inversi *sparse-spike linear programming*. Hal ini disebabkan karena nilai korelasi yang diperoleh paling tinggi 0.998 dan nilai *error* hasil inversi yang diperoleh paling rendah 5.17% apabila dibandingkan dengan ketiga metode seismik inversi *post-stack* lainnya. Nilai *error* RMS yang dihasilkan pada metode ini sebesar 14.85%. Selanjutnya metode *sparse-spike linear programming* lebih tepat digunakan pada area dengan reflektor tajam dan mempunyai data sumur yang sedikit.
3. Pola persebaran reservoir berorientasi dari arah selatan ke utara.

#### **5.2 Saran**

Untuk penelitian selanjutnya saran yang dapat diberikan diantaranya yaitu :

1. Supaya diperoleh hasil seismik inversi yang lebih akurat, perlu dilakukan penambahan data sumur.
2. Perlu dilakukan proses *filtering* data sumur saat melakukan analisis inversi supaya dihasilkan nilai *error* RMS yang lebih kecil.
3. Seismik inversi *post-stack* sudah baik dalam menggambarkan persebaran reservoir zona target, namun masih belum bisa menentukan substansi dari reservoir, sehingga perlu dilakukan karakterisasi reservoir lebih lanjut dengan menggunakan metode inversi EI, AVO, atau EEI.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., 2014. *Ensiklopediaseismik*. [Online] Available at: <http://ensiklopediaseismik.blogspot.com> [Accessed 9 Maret 2015].
- Agus, W., Wu, C., K., A. & Noble, R., 1996. *Structural Analysis of Northwestern and North Central ONWJ*, Jakarta: not published.
- Arpandi, D. & Patmosukismo, S., 1975. *The Cibulakan Formation as One of the Most Prospective Stratigraphic Units in the Northwest Java Basinal Area*. Jakarta, IPA, pp. 181-210.
- Bhatia, A. B. & N., S. R., 1986. *Mechanics of Deformable Media*. England: University of Sussex Press.
- Brown, A. R., 2001. Understanding Seismic Attribute. *Geophysics*, 66(1), pp. 47-48.
- Brown, A. R., 2004. *Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data*. 6th ed. USA: AAPG & SEG.
- Budiyani, S., Priambodo, D., Haksana, B. W. & Sugianto, P., 1991. Konsep Eksplorasi untuk Formasi Parigi di Cekungan Jawa Barat Utara. *Makalah IAGI*, Volume 20, pp. 45-67.
- Elnashai, S. A. & Sarno, D. L., 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.
- Fainstein, R. & Pramono, H., 1986. *Structure and Stratigraphy of AVS Field, Java Sea*. Jakarta, IPA, pp. 19-45.
- Gresko, Mark, Suria, C. & Sinclair, S., 1995. *Basin Evolution of the Arjuna Rift System and its Implications for Hydrocarbon Exploration, Offshore Northwest Java, Indonesia*. Jakarta, IPA, pp. 147-161.
- Hampson, D. & Russel, B., 2004. *Hampson Russel Software CE8R441 Version*. USA: Veritas Exploration Services.
- Hidayati, S., 2010. Mekanisme Fokus dan Parameter Sumber Gempa Vulkanik-Tektonik di Gunung Guntur Jawa Barat. *Jurnal geologi Indonesia*.
- Kaharuddin, F., L., Massinai, M. A. & Aswad, S., 2015. Aplikasi Inversi Seismik dan Atribut Seismik Untuk Karakterisasi Reservoir lapangan X Formasi Telisa Cekungan Sumatera Tengah.

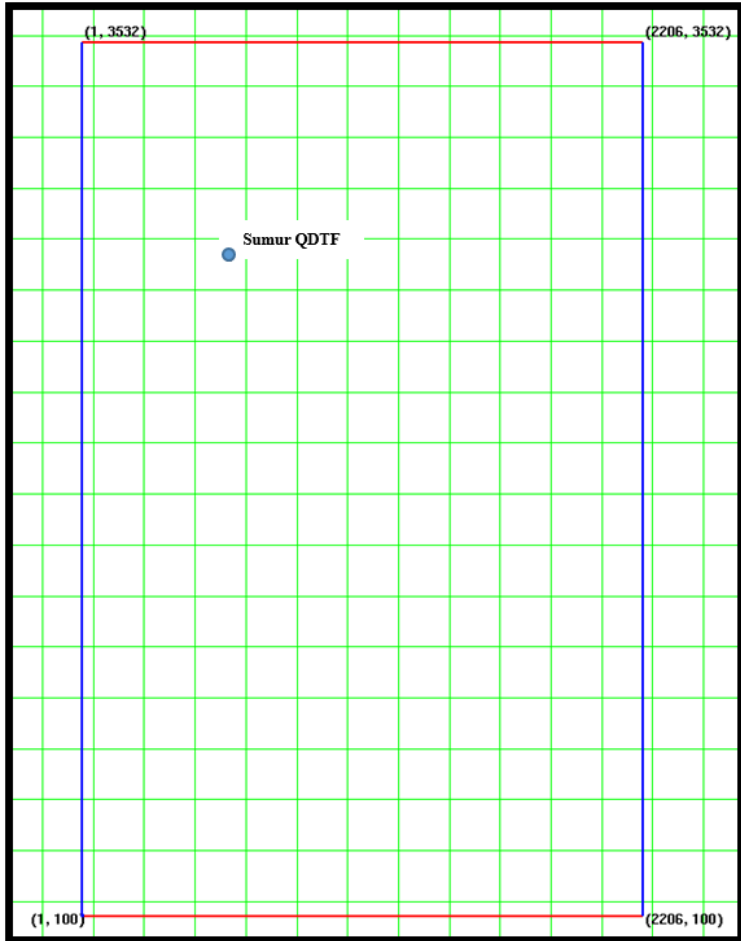
- Koesoemadinata, R. P., 1980. *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. 2nd ed. Bandung: ITB Bandung .
- Lines, L. R. & Tritel, S., 1984. A Review of Least-squares Inversion and Its Application to Geophysical Problems. *Geophysical Prospecting*, Volume 32, pp. 159-186.
- Noble, R. A. et al., 1997. *Petroleum System of Onshore and Offshore Northwest Java, Indonesia*, Jakarta: Not published.
- Noble, R. A. et al., 1997. *Petroleum Systems of Northwest Java, Indonesia*. Jakarta, IPA, pp. 585-600.
- Oldenburg, D. et al., 2016. *geosci.* [Online] Available at: [http://gpg.geosci.xyz/en/latest/content/seismic/refraction/seismic\\_ray\\_paths.html](http://gpg.geosci.xyz/en/latest/content/seismic/refraction/seismic_ray_paths.html)
- R., T. F. & Danusaputro, H., 2010. Inversi Model Based untuk Gambaran Litologi Bawah Permukaan. *Sains & Matematika (JSM)*, Juli, 18(3), pp. 99-93.
- Rawlings, J. O., Pantula, S. G. & Dickey, D. A., 1998. *Applied Regression Analysis : A Research Tool, Second Edition*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag New York, Inc..
- Russell, B. H., 1988. *Introduction to Seismic Inversion Methods*. USA: SEG.
- Sismanto, 2006. *Akuisisi Data Seismik*. Yogyakarta: Laboratorium Geofisika, FMIPA, UGM.
- Siswowardjojo, S. S., 1996. *Pengantar Seismologi Gunungapi dan Hubungannya dengan Kegiatan Gunungapi*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.
- Slatt, R. M., 2006. *Stratigraphic Reservoir Characterization for Petroleum Geologists, Geophysicist and Engineers*. 1st ed. Oklahoma: Elsevier B. V..
- S., T., S. & Eza, B., 1997. *Paleogene Basin Development in Sundaland and It's Role to The Petroleum Systems in Western Indonesia*. Jakarta, IPA, pp. 545-560.
- Sukmono, S., 1999. *Interpretasi Seismik Refleksi*. Bandung: Teknik Geofisika, ITB.
- Sukmono, S. & Abdullah, A., 2001. *Karakterisasi Reservoir Seismik*, Bandung: Laboratorium Geofisika Reservoir, Teknik Geofisika, ITB.

- Taufiqurrachman, H. & Tanjung, E., 2013. *Casing While Drilling (CwD) : Surface Hole Optimization in Mature Field North West Java*. s.l., EAGE.
- Veeken, P. C. H., 2007. *Seismic Stratigraphy, Basin Analysis and Reservoir Characterisation*. Netherland: Elsevier Ltd..
- Wight, Andy, S. & A., I., 1986. *Stratigraphic response to Structural Evolution in a Tensional Back-Arc Setting and its Exploratory Significance: Sunda Basin, West Java Sea*. Jakarta, IPA, pp. 77-100.
- Zou, K. H., Tuncali, K. & Silverman, S. G., 2003. Correlation and Simple Linear Regression. *Radiology*, 227(3), pp. 617-628.

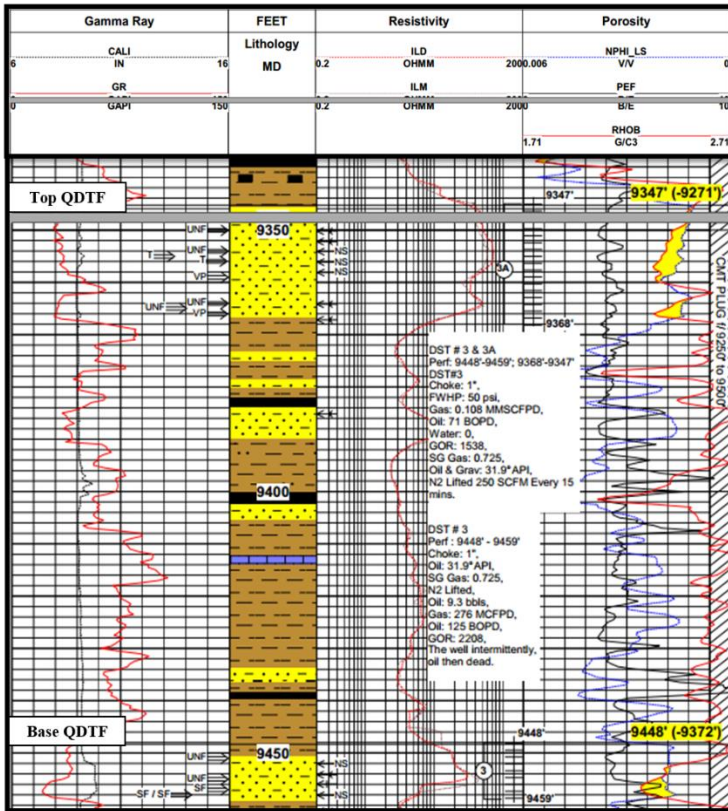
**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# LAMPIRAN

## Lampiran 1 Penggunaan Data



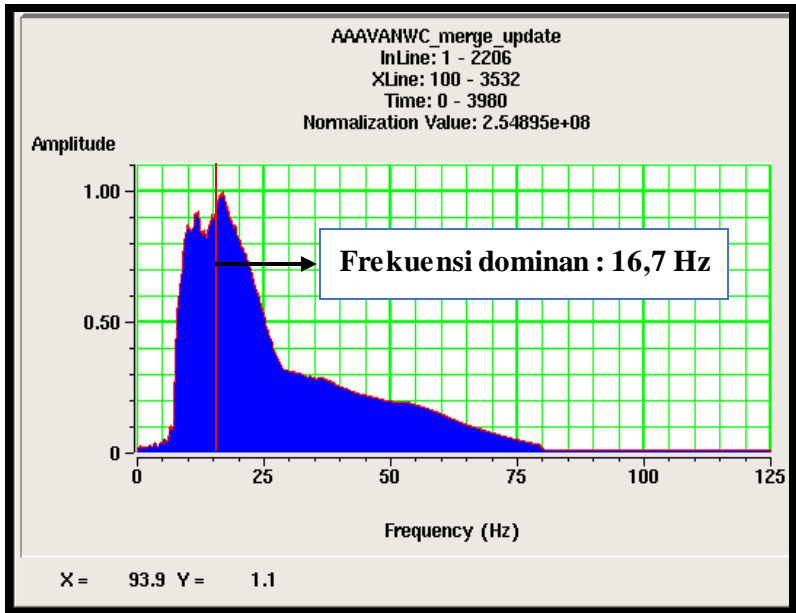
Gambar L1.1 Data Basemap



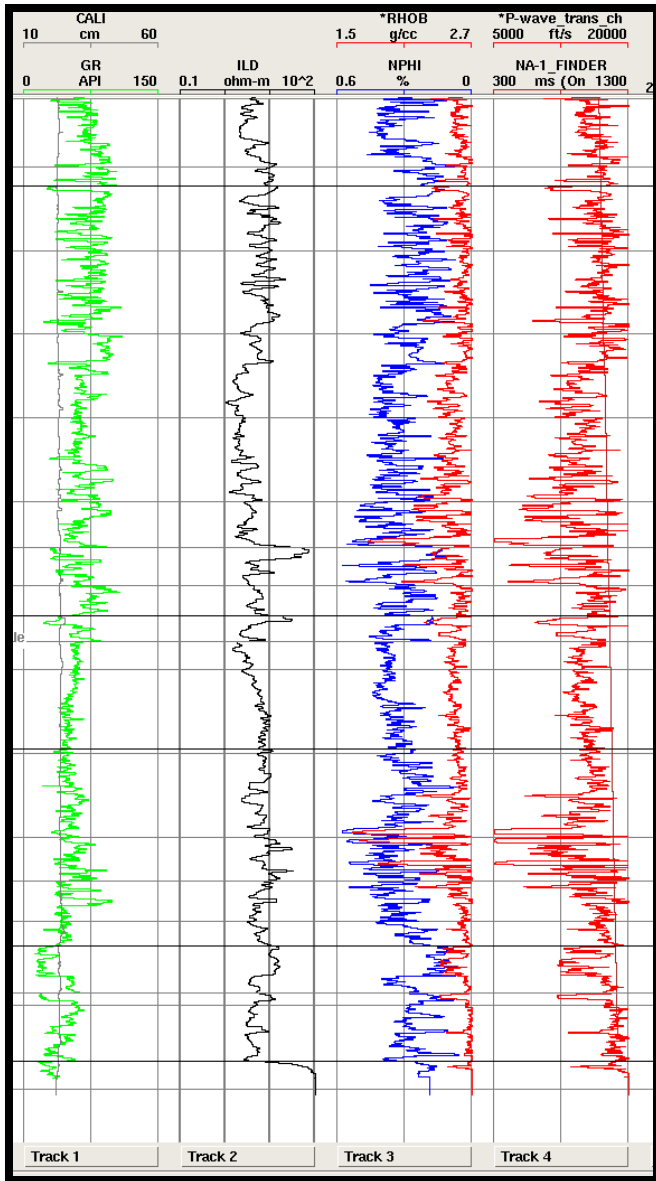
Gambar L1.2 Data log kompleksi di area penelitian



## Lampiran 2 *Quality Control* Data Seismik dan Data Sumur

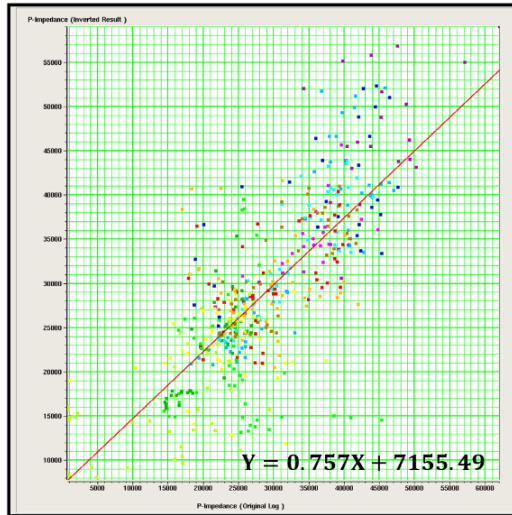


Gambar L2.1 *Spectrum amplitude* untuk perhitungan resolusi vertikal dan horisontal

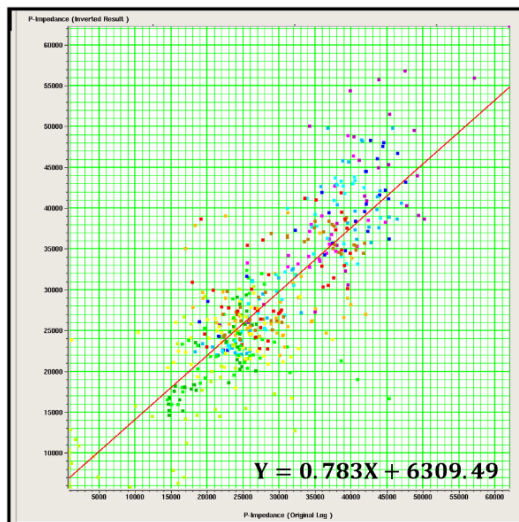


Gambar L2.2 *Quality control* data sumur dengan log caliper yang ditunjukkan pada kurva berwarna abu-abu

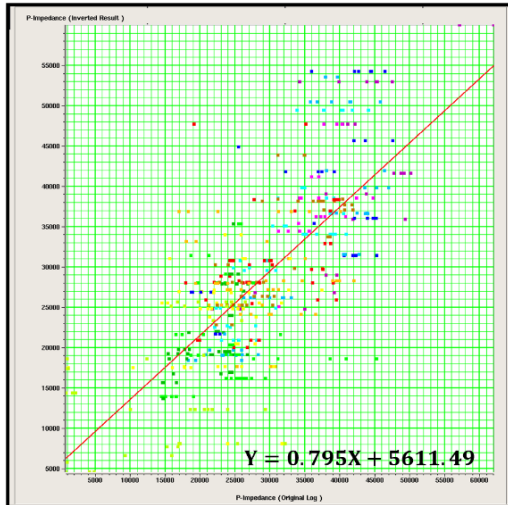
### Lampiran 3 *Crossplot Quality Control Analisis Inversi*



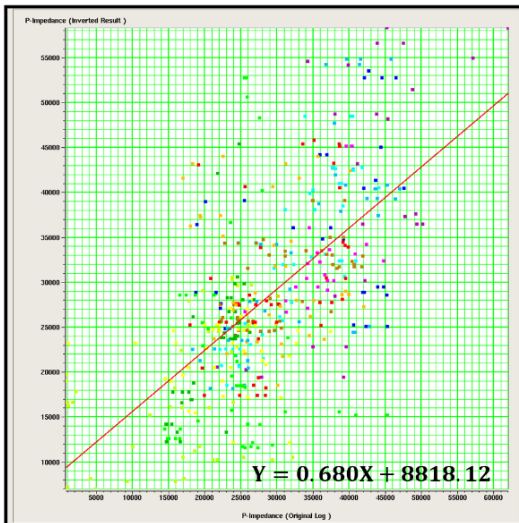
Gambar L3.1 *Crossplot quality control analisis inversi model-based*



Gambar L3.2 *Crossplot quality control analisis inversi bandlimited*

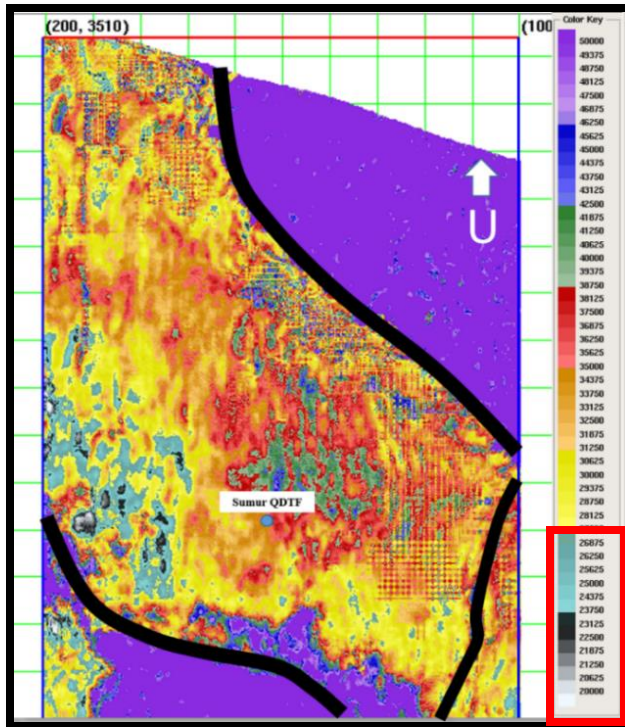


Gambar L3.3 *Crossplot quality control analisis inversi sparse-spike maximum likelihood*

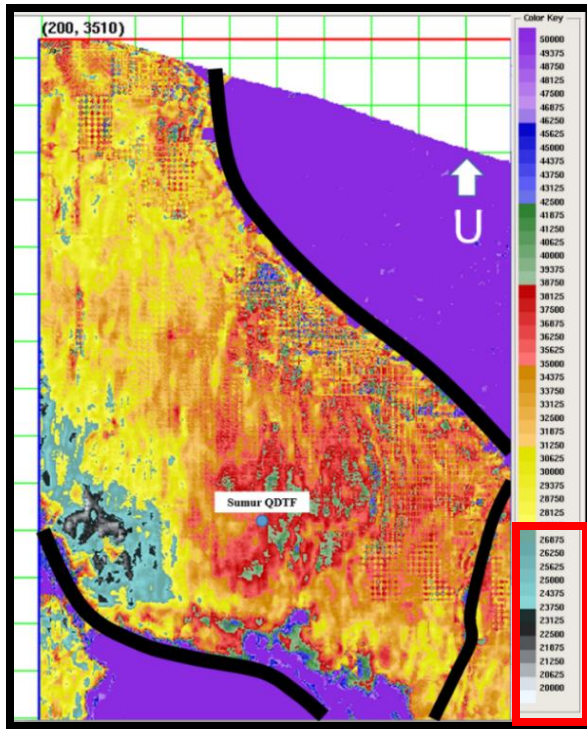


Gambar L3.4 *Crossplot quality control analisis inversi sparse-spike linear programming*

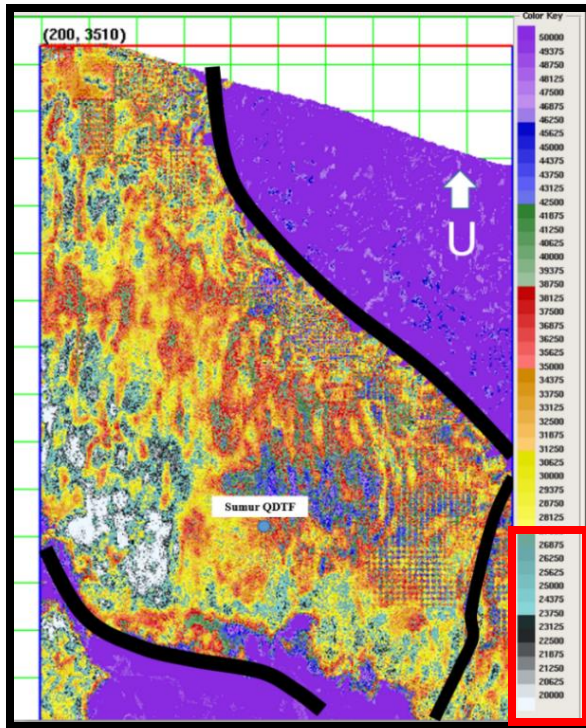
## Lampiran 4 Peta impedansi akustik



Gambar L4.1 Peta impedansi akustik metode *model based*

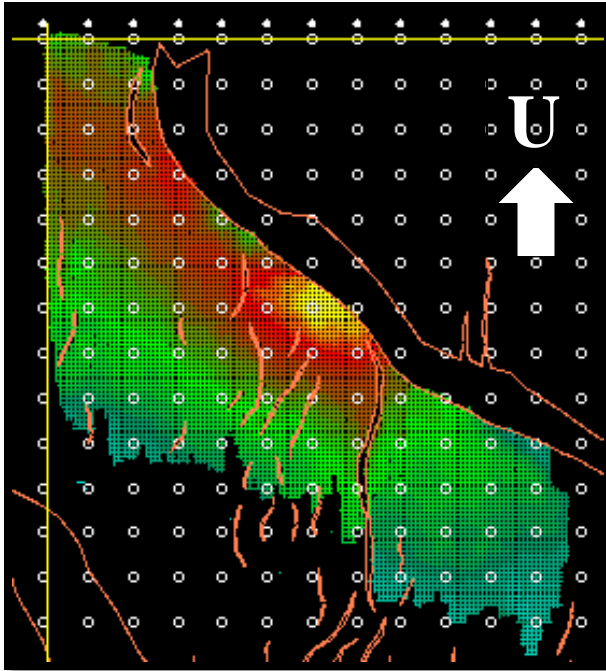


Gambar L4.2 Peta impedansi akustik metode *bandlimited*



Gambar L4.3 Peta impedansi akustik metode *sparse-spike maximum likelihood*

## Lampiran 5 Peta *Time Surface*



Gambar L5.1 Peta *time surface* dari area penelitian yang menunjukkan adanya struktur sesar