

**EFEK MODEL FREKUENSI RENDAH  
TERHADAP HASIL INVERSI SEISMIK**

**SKRIPSI**

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Memperoleh  
Gelar Sarjana Fisika**

Oleh :

**RD. LASMADITYA ID.**

**030402059Y**



**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS INDONESIA**

**2009**

## LEMBAR PENGESAHAN

**Nama Mahasiswa** : Rd. Lasmaditya ID.  
**NPM** : 030402059Y  
**Jurusan** : Fisika  
**Peminatan** : Geofisika  
**Tanggal Sidang** : 3 Desember 2009  
**Judul Skripsi** : Efek Model Frekuensi Rendah  
Terhadap Hasil Inversi Seismik

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dr. rer. nat. Abdul Haris**

Pembimbing

**Dr. Supriyanto, M.Sc**  
Penguji I

**Ir. Anggoro, MT**  
Penguji II

**Dr. Santoso Soekirno**  
Ketua Departemen Fisika

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena hanya berkat rahmat dan karunia-Nya yang dilimpahkan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **"EFEK MODEL FREKUENSI RENDAH TERHADAP HASIL INVERSI SEISMIK"**.

Selama proses studi dan penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini, penulis merasa mendapat banyak sekali manfaat dan pelajaran. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan memberikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. rer. nat. Abdul Haris, selaku pembimbing Tugas akhir yang ditengah kesibukannya masih dapat meluangkan waktu untuk mengarahkan dan mengajarkan banyak hal yang sangat berharga..
2. Bapak Dr. Supriyanto, M.Sc, selaku penguji I dan Bapak Ir. Anggoro, MT, selaku penguji II atas waktunya untuk berdiskudi.
3. Bapak Dr. Yunus Daud, selaku Ketua Program peminatan Geofisika FMIPA UI, yang telah memberikan masukkan yang berharga.
4. Kedua orang tua ku, Ir. Rd. Imawan Dradjatkusuma dan Dra. Rt. Lia Yuliani, serta adik-adikku Rd. Ladia Inizianti dan Rd. Ladityarsa Ilyankusuma atas doa dan motivasinya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat waktu.
5. PT. SPECTRATAMA NUSANTARA, atas sarana dan tempat yang diberikan kepada penulis.
6. Selvia Anggraeni, atas kesabaran dan kegigihannya memberikan semangat dan dukungan moril kepada penulis.
7. Tresia Dhamaianti, atas dukungan dan suport yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis.
8. Ng Bei Berger S.Si, selaku pembimbing teknis yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tulisan ini.
9. Geng Bucheri, Dewi, Andrias, dan Suhadiyatno, akhirnya kita lulus juga.

10. Mbak Ratna, Mas Mardi, Mbak Evi, dan seluruh jajaran staf Departemen Fisika yang telah banyak membantu penulis.
11. Gerry, Subhan, Abdul, dan Asrim, teman-teman satu bimbingan selama penulis melakukan Tugas Akhir di PT. Spectratama Nusantara.
12. Teman-teman S1 reguler Fisika 2004.
13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih banyak atas dukungannya.

Penulis sadar bahwa tulisan ini masih sangat jauh dari kata sempurna. Maka dengan segenap kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak.

Akhir kata, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis pribadi dan pembaca pada umumnya.



Jakarta, 7 November 2009

Penulis

## ABSTRAK

Nama : Rd. Lasmaditya ID.  
Program Studi : Geofisika  
Judul : Efek Model Frekuensi Rendah Terhadap Hasil Inversi Seismik

Inversi seismik bertujuan untuk mengkarakterisasi reservoir migas. Dengan menggunakan data seismik sebagai data utama dan data sumur sebagai data kontrol, karakterisasi reservoir yang dilakukan oleh inversi seismik bertujuan untuk mendapatkan nilai impedansi akustik pada batuan. Beberapa variasi dari *low frequency model* diaplikasikan pada beberapa metode inversi seismik. Variasi model itu dibuat dengan berbagai algoritma yaitu *band limit*, *model based*, dan *sparse spike*. Pada skripsi ini pengaruh model tersebut dianalisa sejauh mana model dapat memberikan pengaruh terhadap hasil inversi seismik.

Kata kunci :  
Impedansi akustik, reservoir, frekuensi rendah

## ABSTRACT

Name : Rd. Lasmaditya ID.

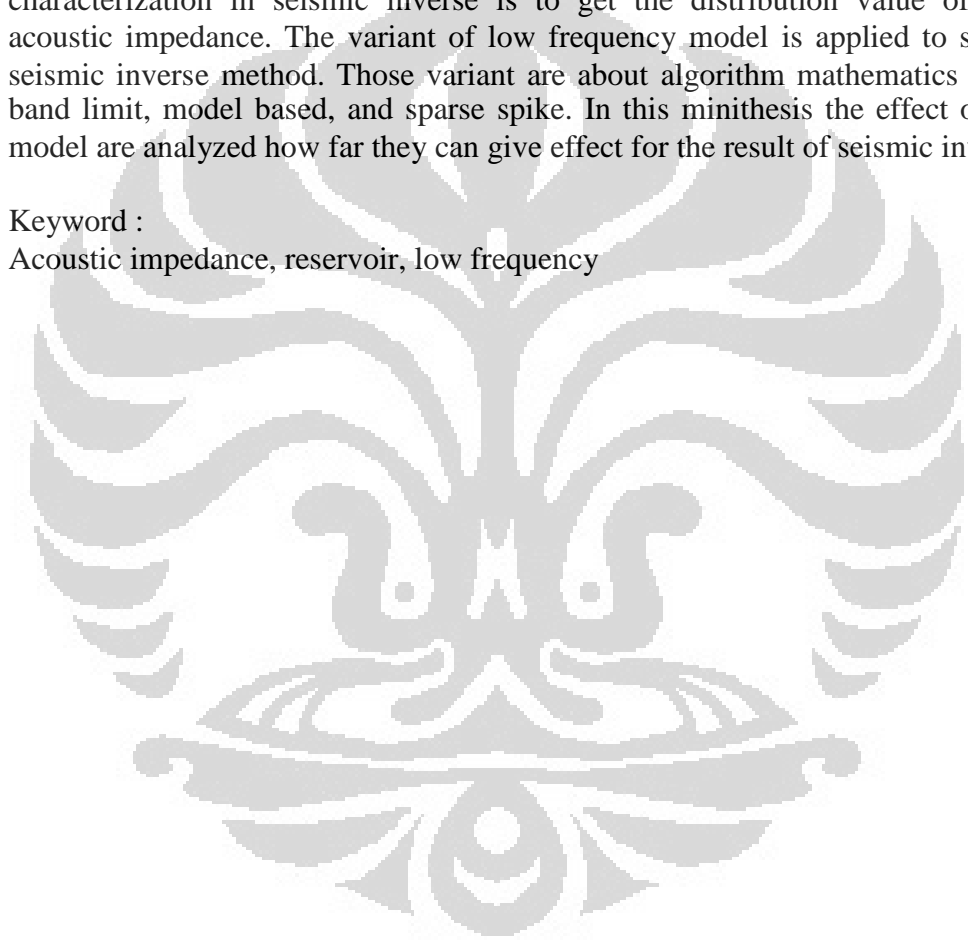
Study Program : Geofisika

Title : The Effect of Low Frequency Model For Seismic Inverse

The goal of seismic inverse is oil and gas reservoir characterization. Using seismic data as a main data and log data as a controlling data, reservoir characterization in seismic inverse is to get the distribution value of rock's acoustic impedance. The variant of low frequency model is applied to some of seismic inverse method. Those variant are about algorithm mathematics such as band limit, model based, and sparse spike. In this minithesis the effect of those model are analyzed how far they can give effect for the result of seismic inverse.

Keyword :

Acoustic impedance, reservoir, low frequency



## DAFTAR ISI

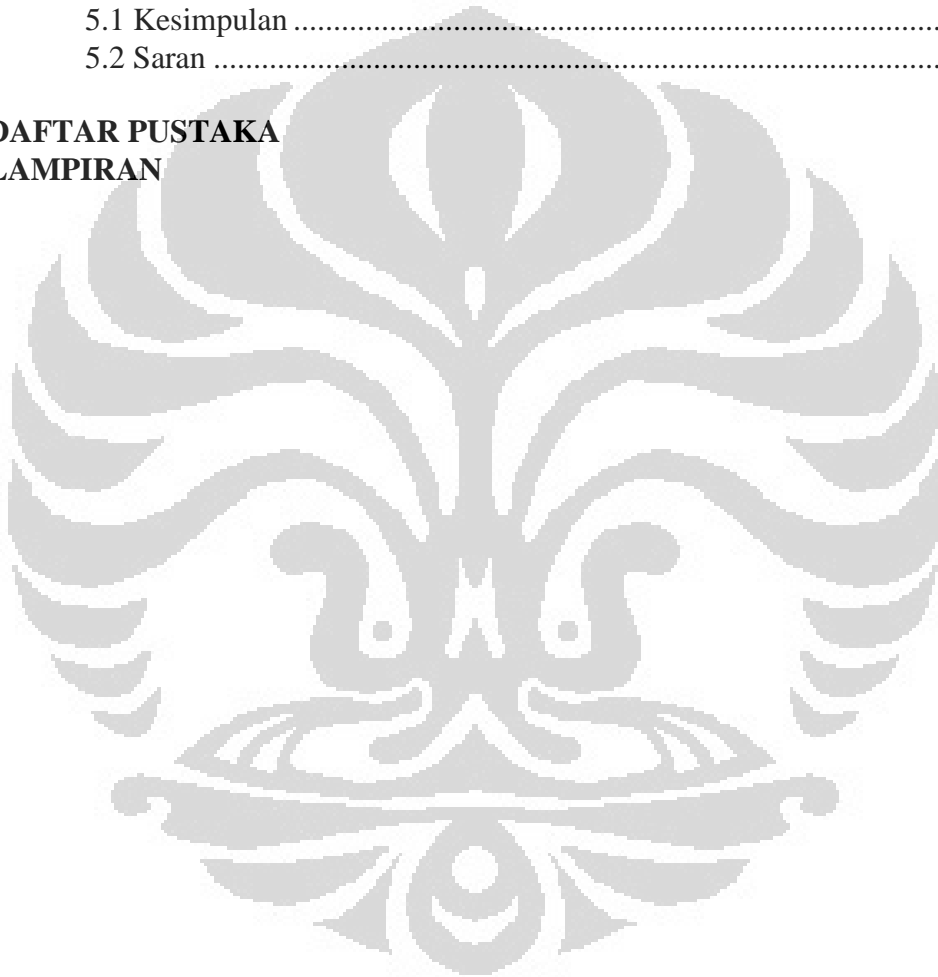
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Pembatasan Masalah .....	2
1.4 Metodologi Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II. TEORI DASAR</b>	
2.1 Prinsip Dasar Metode Seismik .....	6
2.2 Metode Seismik Inversi .....	8
2.2.1 Inversi Seismik <i>Band Limit</i> .....	12
2.2.2 Inversi Seismik <i>Model Based</i> .....	12
2.2.3 Inversi Seismik <i>Sparse Spike</i> .....	15
<b>BAB III. PENGOLAHAN DATA</b>	
3.1 Persiapan Data .....	17
3.1.1 Data Seismik .....	17
3.1.2 Data Sumur .....	18
3.2 Pengolahan Data Sumur .....	19
3.2.1 Interpretasi log .....	19
3.2.2 <i>Check Shot Correction</i> .....	20
3.3 Inversi Seismik .....	22
3.3.1 Ekstraksi <i>Wavelet</i> .....	22
3.3.2 Korelasi Data Seismik Dengan Data Sumur .....	24
3.4 Pembuatan Model Geologi .....	31
3.4.1 Satu Buah Sumur ASHE C5 .....	32
3.4.2 Satu Buah Sumur B YATES 15 .....	33
3.4.3 Lima Buah Sumur .....	34
3.4.4 Sebelas Buah Sumur .....	35
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Metode Inversi <i>Band Limit</i> .....	37
4.1.1 Analisa .....	37

4.1.2 Hasil .....	38
4.2 Metode Inversi <i>Model Based</i> .....	40
4.2.1 Analisa .....	40
4.2.2 Hasil .....	41
4.3 Metode Inversi <i>Sparse Spike</i> .....	42
4.3.1 Analisa .....	42
4.3.2 Hasil .....	44

**BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	46
5.2 Saran .....	46

**DAFTAR PUSTAKA  
LAMPIRAN**





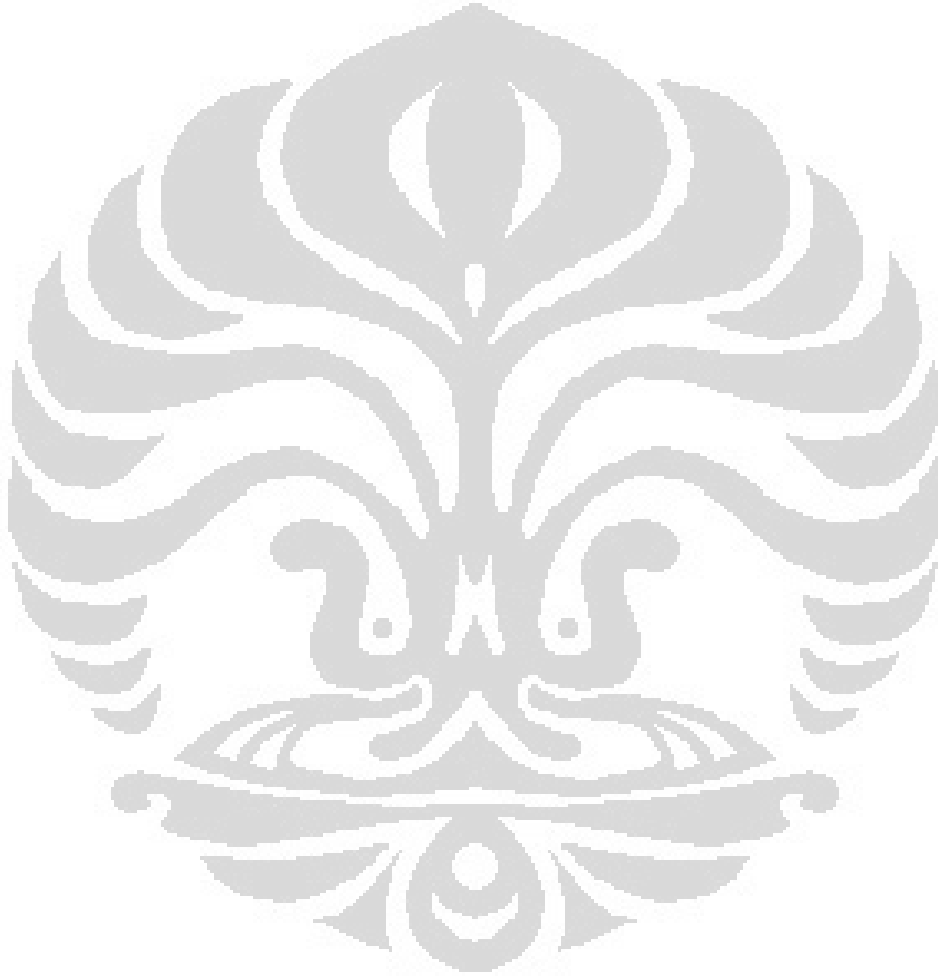
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Skema Secara Umum Kegiatan Studi .....	4
Gambar 2.1	Penjalaran Gelombang Melalui Dua Batas Medium.....	7
Gambar 2.2	Ilustrasi Seismogram Sintetik .....	9
Gambar 2.3	Pemodelan Data Seismik (Russel, 1988) .....	10
Gambar 2.4	Skema Metode Inversi Seismik (Russel, 1988) .....	11
Gambar 2.5	Diagram Metode Inversi <i>Model Based</i> .....	13
Gambar 2.6	Iterasi Dalam Inversi <i>Spare Spike</i> .....	16
Gambar 3.1	Penampang Seismik Pada Inline 160 .....	18
Gambar 3.2	Peta Dasar Sumur Penelitian .....	19
Gambar 3.3	Tampilan Depan Aplikasi eLog .....	20
Gambar 3.4	Contoh Hasil Transformasi .....	22
Gambar 3.5	<i>Wavelet</i> Fungsi Waktu .....	23
Gambar 3.6	<i>Wavelet</i> Fungsi Frekuensi .....	23
Gambar 3.7	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur ASHE C1 .....	25
Gambar 3.8	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur ASHE C4 .....	25
Gambar 3.9	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur ASHE C4 .....	26
Gambar 3.10	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur B YATES 11 .....	26
Gambar 3.11	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur B YATES 13 .....	27
Gambar 3.12	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur B YATES 15 .....	27
Gambar 3.13	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur B YATES 18D .....	28
Gambar 3.14	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur C YATES 9 .....	28
Gambar 3.15	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur F YATES 7 .....	29
Gambar 3.16	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur I.G YATES 4 .....	29
Gambar 3.17	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur W DEWBRE 1 .....	30
Gambar 3.18	<i>Picking Horizon</i> Pada Sumur ASHE C5 di Inline 109 .....	31
Gambar 3.19	<i>Base Map</i> Sumur ASHE C5 .....	32
Gambar 3.20	Model Sumur ASHE C5 Dengan <i>Running Average</i> .....	33
Gambar 3.21	<i>Base Map</i> Sumur B YATES 15 .....	33
Gambar 3.22	Model Sumur B YATES 15 Dengan <i>Running Average</i> .....	34

Gambar 3.23	<i>Base Map</i> Lima Buah Sumur .....	34
Gambar 3.24	Model Lima Buah Sumur Dengan <i>Running Average</i> .....	35
Gambar 3.25	<i>Base Map</i> Sebelas Buah Sumur .....	35
Gambar 3.26	Model Sebelas Buah Sumur Dengan <i>Running Average</i> .....	36
Gambar 4.1	Analisa Metode <i>Band Limit</i> 11 Buah Sumur Pada Sumur ASHE C4 .....	37
Gambar 4.2	Hasil Inversi Metode <i>Band Limit</i> 11 Buah Sumur Model <i>Running Average</i> .....	38
Gambar 4.3	Analisa Metode <i>Model Based</i> 11 Buah Sumur Pada Sumur ASHE C5 .....	40
Gambar 4.4	Hasil Inversi Metode <i>Model Based</i> 11 Buah Sumur Model <i>Running Average</i> .....	41
Gambar 4.5	Analisa Metode <i>Sparse Spike</i> 11 Buah Sumur Pada Sumur ASHE C5 .....	43
Gambar 4.6	Hasil Inversi Metode <i>Sparse Spike</i> 11 Buah Sumur Model <i>Running Average</i> .....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Nilai Korelasi Tiap-tiap Sumur.....	30
Tabel 4.1	Analisa 11 Buah Sumur Metode <i>Band Limit</i> .....	38
Tabel 4.2	Analisa 11 Buah Sumur Metode <i>Model Based</i> .....	41
Tabel 4.3	Analisa 11 Buah Sumur Metode <i>Spare Spike</i> .....	43



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini eksplorasi hidrokarbon terus ditingkatkan karena kebutuhan bahan bakar yang semakin besar. Bahan bakar minyak bumi adalah merupakan salah satu energi fosil yang sangat dibutuhkan diseluruh pelosok bumi. Untuk mencari lokasi keberadaan minyak bumi tersebut sangat efektif menggunakan metode Geofisika terkait.

Dalam kegiatan eksplorasi hidrokarbon khususnya minyak dan gas alam, metode seismik adalah metode yang paling efisien. Berbeda dengan metode-metode Geofisika lainnya yang hasil keluarannya berupa kontur perbedaan indikator nilai pengukuran biasa, hasil dari sebuah penampang seismik merupakan bayangan gambaran struktur bawah permukaan batuan yang dilakukan survey.

Dalam metode seismik dikenal dua buah metode, yaitu *forward modeling* dan *inverse modeling*. *Forward modeling* adalah pemodelan kedepan, dimana kita mengatur nilai-nilai dari *Acoustic Impedance* dan Koefisien Refleksi dari model kecepatan yang kita buat, lalu dilakukan shot untuk melihat respon seismik dari model yang kita buat. *Inverse modeling* adalah pemodelan kebelakang, dimana dari lapangan yang telah ditembak kita mendapatkan data lapangan yang berupa data seismik, lalu kita proses dan lakukan interpretasi untuk mendapatkan nilai-nilai dari *Acoustic Impedance* dan Koefisien Refleksi sehingga akhirnya kita mendapatkan gambaran struktur bawah permukaan yang mendekati keadaan yang sebenarnya.

Pada eksplorasi hidrokarbon yang menggunakan seismik inversi, erat kaitannya dengan *Acoustic Impedance* (AI). AI adalah karakteristik atau sifat dasar dari suatu batuan, atau dengan kata lain ketahanan batuan untuk menahan gelombang seismik. Dari data sumur dilapangan kita mendapat nilai-nilai AI lapisan batuan tersebut. AI juga berarti adalah litologi dari batuan. Setelah kita

mendapatkan nilai-nilai koefisien refleksi, kemudian kita konvolusikan dengan ricker wavelet guna mendapatkan seismik sintetik.

Pada sebuah petroleum system sebuah hidrokarbon, kita tertarik dengan daerah reservoir. Daerah reservoir adalah daerah yang banyak mengandung minyak yang termigrasi kemudian terjebak. Dalam sebuah penampang seismik, letak dari reservoir biasanya sulit untuk diprediksi. Mengkarakterisasi reservoir sendiri sudah menjadi keahlian tersendiri dari seorang Reservoir Engineer. Untuk itu kita harus mengubah-ubah tampilan penampang seismik tersebut dengan bekerja di frekuensi rendah.

Tujuan dasar dari seismik inversi sendiri adalah untuk mengkarakterisasi reservoir. Hasil dari penampang seismik yang kita dapat dari lapangan akan kita aplikasikan di software Hampson – Russel dengan menggunakan tiga buah metode yaitu metode *Band Limited*, *Model Based*, dan *Sparse Spike*. Dari ketiga metode tersebut, dengan mengubah-ubah parameter menjadi menggunakan frekuensi rendah, kita akan membandingkan metode mana yang lebih halus dalam mengkarakterisasi reservoir hidrokarbon.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan Penelitian ini adalah :

1. Mempelajari prinsip dasar seismik inversi.
2. Menganalisis efek dari berbagai algoritma untuk pembuatan model bumi.
3. Mempelajari pengaruh jumlah sumur yang digunakan.
4. Analisis terhadap hasil inversi.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Penelitian ini menggunakan data sumur dan data seismik yang masih mentah. Dari data tersebut dilakukan konvolusi antara koefisien refleksi dengan ricker wavelet guna mendistribusikan nilai Acoustic Impedance secara seismik.

Data tersebut dilakukan seismik inversi yang meliputi tiga buah metode terdiri dari inversi *Band Limit*, inversi *Model Based*, dan inversi *Sparse Spike*,

untuk dilakukan analisa karakteristik reservoir. Aplikasi tersebut dilakukan didalam software *Hampson – Russel*.

#### **1.4 Metodologi Penelitian**

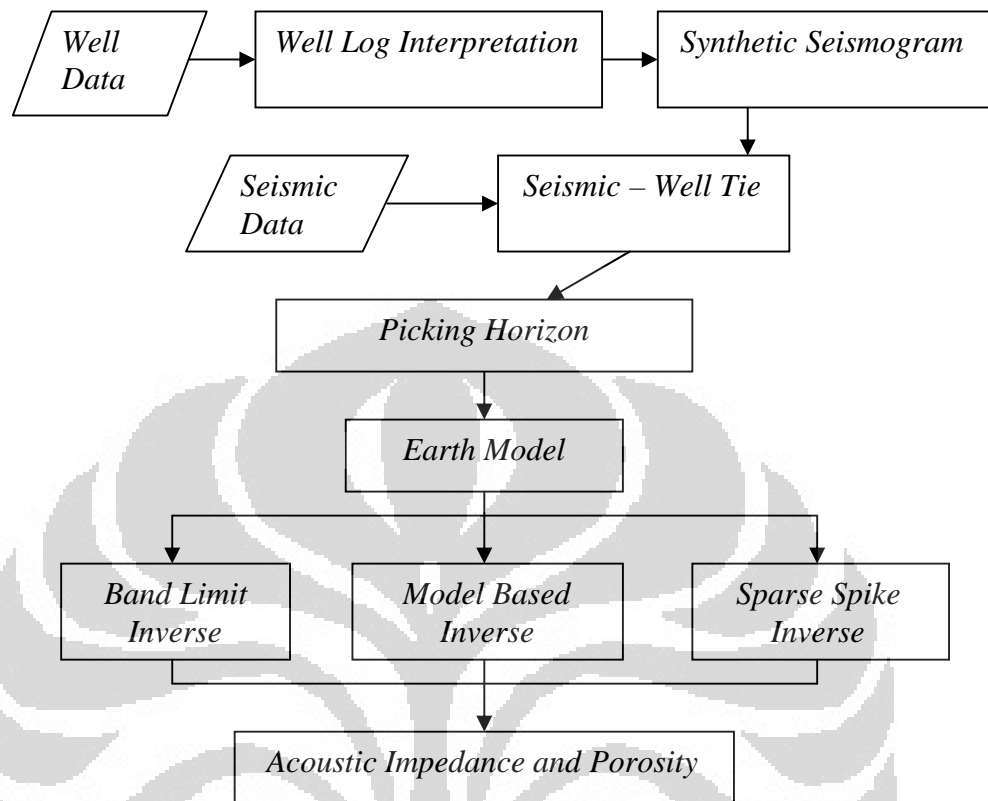
Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data sumur dan data seismik. Dari data sumur kita mendapat litologi batuan yang meliputi nilai-nilai *Acoustic Impedance* yang selanjutnya akan didapat nilai-nilai koefisien refleksi perlapisan. Nilai dari koefisien refleksi tersebut dikonvolusikan dengan ricker wavelet sehingga akan mendapat sebuah seismik sintetik.

Data sumur tersebut diikat dengan data seismik menggunakan tehnik *seismic – well tie*. Pengikatan data sumur dengan data seismik ini bertujuan untuk melihat adanya korelasi antara data sumur dengan data seismik. Setelah match dengan data seismik dari lapangan, selanjutnya nilai *Acoustic Impedance* dari data sumur tersebut didistribusikan kedalam penampang seismik yang didapat dari lapangan, agar mendapat nilai *Acoustic Impedance* secara seismik.

Langkah berikutnya adalah melakukan picking horizon untuk pembuatan peta horizon. Dengan berpatokan pada data sumur yang terletak pada inline dan xline seismik, diharapkan dapat menarik horizon yang sesuai dengan litologi batuan.

Penampang seismik tersebut kemudian diaplikasikan kedalam seismik inversi dengan tiga buah metode yaitu metode *Band Limit*, metode *Based Model*, dan metode *Sparse Spike*. Sebelum dilakukan inversi, data seismik tersebut dianalisa terlebih dahulu, untuk mengetahui tingkat error-nya.

Setelah hasil analisisnya keluar, kemudian seismik tersebut dilakukan inversi. Dengan mengatur parameter-parameter yang kita inginkan, khususnya frekuensi rendah, selanjutnya kita membandingkan hasil dari ketiga metode tersebut untuk mendapatkan hasil karakteristik reservoir yang paling halus.



Gambar 1.1 Skema Secara Umum Kegiatan Studi

### 1.5 Sistematika Penulisan

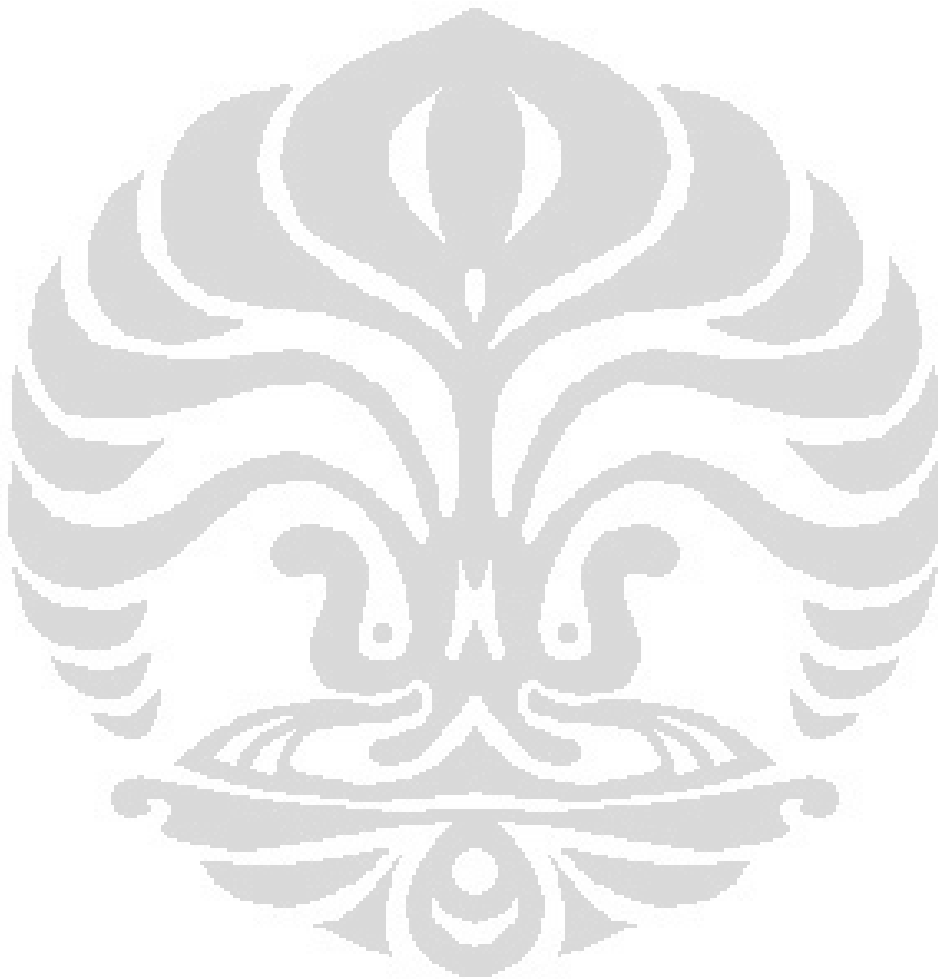
Bagian pertama dalam skripsi ini terangkum dalam **Bab I**, dalam bab ini membahas hal-hal yang melatarbelakangi dilakukannya studi ini, tujuan studi analisis, pembatasan masalah, metode yang telah dilakukan pada studi serta sistematika penulisan.

Pembahasan berikutnya akan dijelaskan pada **Bab II**, berisi konsep dasar inversi seismik dan *low frequency model* yang meliputi konsep dasar eksplorasi seismik dan seismik inversi, serta penjelasan mengenai metode-metode seismik inversi yang digunakan untuk membuat model dengan frekuensi rendah.

Proses pengolahan data inversi seismik dan pemodelan frekuensi rendah akan dijabarkan dalam **Bab III**, yang akan mencakup proses inversi band limit, model based, dan sparse spike, serta proses pembuatan model frekuensi rendah.

Hasil dan pembahasan data terdapat pada **Bab IV**, dalam bab ini menganalisa hasil dari proses inversi seismik.

Sebagai bagian akhir dari penulisan skripsi ini diberikan beberapa kesimpulan yang diperoleh dari keseluruhan kajian skripsi ini, dimana keseluruhan hal tersebut terangkum dalam **Bab V**.





## BAB II

### TEORI DASAR

#### 2.1 Prinsip Dasar Metode Seismik

Pada penelitian ini metode seismik yang digunakan adalah metode seismik refleksi. Konsep seismik refleksi adalah mengirimkan sinyal pendek gelombang seismik kedalam bumi dan merekam gelombang yang terpantul kembali ke permukaan bumi oleh batas antara dua unit lapisan yang biasa disebut reflektor. Sumber gelombang seismik buatan adalah dinamit, benda jatuh, *air gun*, *water gun*, *boomer*, *sladge hammer*, dan alat perekam gelombang yang kembali ke bumi berupa *geophone* untuk survei di darat, atau *hydrophone* untuk survei di laut. Sumber gelombang seismik buatan tersebut membangkitkan gangguan sesaat dan lokal yang disebut sebagai gradien tegangan (*stress*).

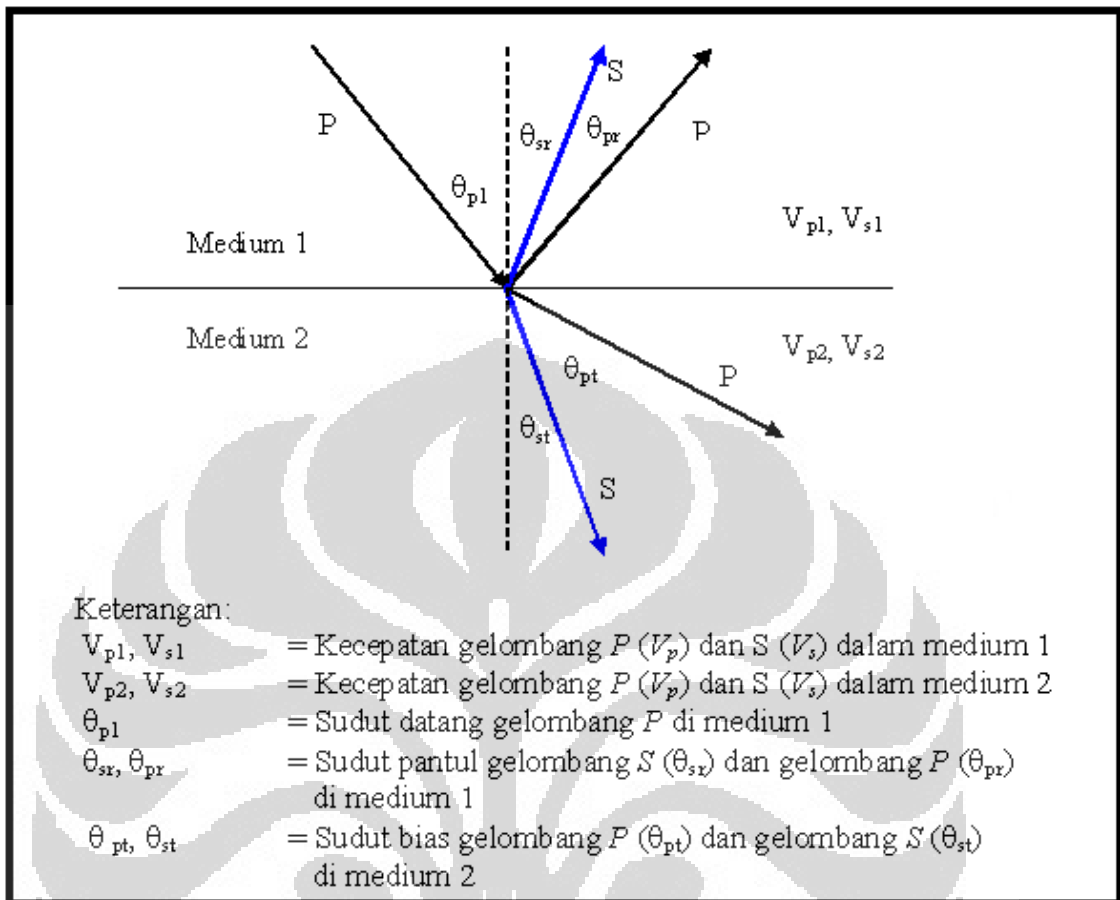
Gelombang seismik merambat ke dalam bumi disebut juga gelombang elastik. Kemampuan batuan untuk melewatkan gelombang elastik ini disebut sebagai impedansi akustik. Kelebihan metode seismik dibanding dengan metode lainnya adalah resolusi horizontalnya yang lebih baik. Refleksi seismik akan terjadi jika ada perubahan impedansi akustik yang merupakan produk dari kecepatan dan densitas batuan (Badley, 1985).

Penjalaran gelombang seismik mengikuti hukum snellius dimana gelombang datang akan dipantulkan dan ditransmisikan jika melewati suatu reflektor.

Impedansi akustik merupakan suatu karakteristik yang khas dari suatu batuan, dimana dapat dirumuskan :

$$AI = \rho \cdot V \quad (2.1)$$

Perubahan nilai dari impedansi akustik dapat digunakan sebagai indikator perubahan litologi suatu batuan, porositas, kekerasan, dan kandungan fluida. AI berbanding lurus dengan kekerasan batuan dan berbanding terbalik dengan porositas.



Gambar 2.1 Penjalaran Gelombang Melalui Dua Batas Medium

Konsepnya gelombang seismik tegak lurus dengan bidang pantul, tetapi sulit didapatkan gelombang seismik yang tegak lurus dengan bidang pantul atau antara sudut datang dan sudut pantul berimpit karena faktor bidang refleksi yang tidak datar, sehingga sinyal yang diterima *receiver* tidak dapat langsung digunakan sebelum mengalami proses sampai mendapatkan seismik yang mendekati *zero offset*.

Pada saat gelombang seismik membentuk sudut datang tegak lurus dengan bidang pantul, yaitu ketika garis sinar mengenai bidang refleksi pada sudut yang tegak lurus, maka koefisien refleksi dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$R_C = \frac{AI_{i+1} - AI_1}{AI_{i+1} + AI_1} \quad (2.2)$$

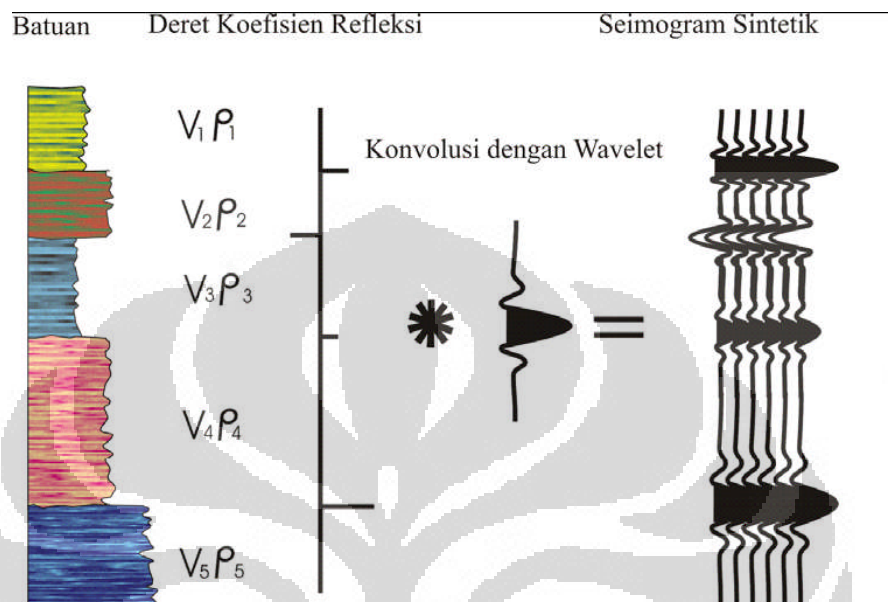
Persamaan (2.2) memberikan gambaran mengenai kekompakan batuan yang dilalui gelombang. Besarnya  $R_c$  (koefisien refleksi) mempunyai nilai mulai dari -1 sampai 1. Jika impedansi akustik  $i$  lebih rendah dari impedansi akustik  $i + 1$ , maka dikatakan gelombang merambat dari lapisan dengan densitas lebih rendah ke lapisan batuan dengan densitas lebih tinggi maka nilai adalah negatif (-) dan sebaliknya, jika koefisien positif (+) disimpulkan bahwa gelombang merambat dari lapisan batuan densitas lebih rendah ke lapisan batuan dengan densitas lebih tinggi. Nilai koefisien refleksi semakin berkurang terhadap kedalaman karena persentase variasi impedansi akustik semakin kecil terhadap kedalaman.

Pada seismik eksplorasi, wavelet yang diinginkan adalah wavelet yang ideal yaitu wavelet yang mempunyai zero phase dengan rentang frekuensi yang luas (broad band frequency). Tetapi dalam prakteknya ketika pengukuran seismik langsung di lapangan, sulit untuk mendapatkan wavelet spike zero dengan rentang frekuensi yang luas. Hal ini diakibatkan oleh sumber energi pemancar gelombang misalnya dinamit tidak menghasilkan energi yang ideal (konstan) pada setiap trace, meskipun dapat memberikan rentang frekuensi yang luas dan menghasilkan bentuk muka gelombang yang dihasilkan oleh ledakan dinamit adalah minimum phase, sehingga data dari lapangan yang biasanya dalam bentuk minimum phase harus dirotasi dibuat menjadi bentuk muka gelombang zero phase. Tujuannya adalah untuk mendekati kondisi yang ideal yaitu wavelet spike zero phase dengan rentang frekuensi yang luas.

## 2.2 Metode Seismik Inversi

Definisi dari seismik inversi adalah suatu teknik pembuatan model struktur lapisan bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono, 2000). Dalam seismologi eksplorasi, dikenal ada dua pemodelan data seismik, yaitu pemodelan kedepan (*forward modeling*) dan pemodelan kebelakang (*inverse modeling*). *Forward modeling* adalah pembuatan jejak seismik (*synthetic seismic trace*) dari data impedansi akustik sintetik yang telah diubah menjadi deret koefisien refleksi dengan menggunakan persamaan (2.2). Deret koefisien tersebut kemudian dikonvolusikan

dengan *wavelet* tertentu untuk mendapatkan seismogram sintetik seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi Seismogram Sintetik

Sedangkan yang dimaksud dengan *inverse modeling* adalah proses dekonvolusi, yaitu mengembalikan jejak seismik sintetik menjadi deretan koefisien refleksi berdasarkan persamaan :

$$r_t = W_t * S_t \quad (2.3)$$

dimana :

$r_t$  = koefisien refleksifitas

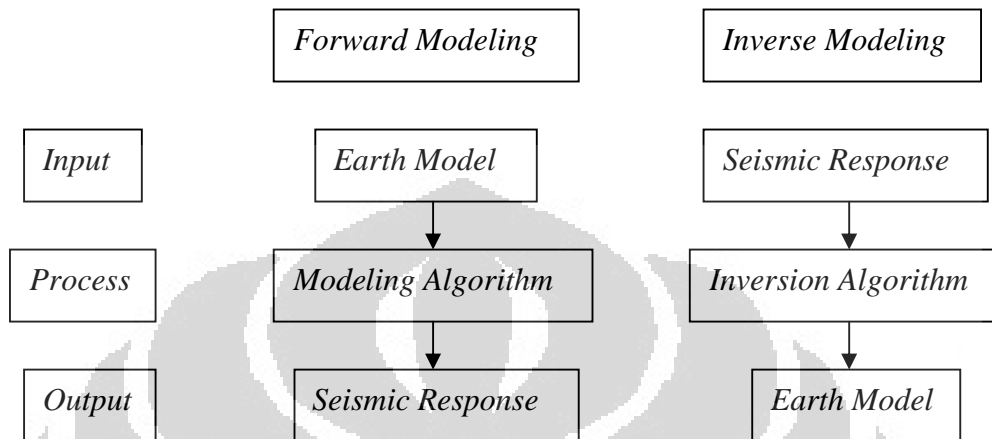
$W_t$  = inversi *wavelet*

$S_t$  = *seismic trace*

Inversi seismik dapat ditunjukkan melalui tahapan :

1. Membuat sintetik seismogram menggunakan data log
2. Mengikat data sumur dengan data seismik
3. Ekstrak wavelet dari rekaman seismik
4. Mengaplikasikan wavelet ke sintetik seismogram
5. Pick horizon dari sumur

6. Membuat model inisial
7. Inversi



Gambar 2.3 Pemodelan Data Seismik (Russel, 1988)

Dari gambar 2.3 dapat dilihat hasil dari *forward modeling* adalah *seismic response*, sedangkan hasil dari *inverse modeling* adalah *earth model* yang mencerminkan perlapisan batuan.

Dari persamaan (2.3) terlihat jelas bahwa tujuan dari seismik inversi adalah untuk mendapatkan kembali koefisien reflektivitas yang tak lain adalah bidang batas antar lapisan batuan. Dalam proses seismik inversi ini, data seismik yang bersifat *bandlimited frequency* karena kehilangan kandungan frekuensi yang rendah dan tinggi akibat konvolusi dengan *wavelet* yang bersifat *bandlimited*, mendapatkan kembali kandungan frekuensi yang hilang tersebut dengan cara mengambil kandungan frekuensi rendah dan tinggi dari data log sumur, sehingga data seismik tersebut kembali menjadi *broadband frequency*. Hasil akhir dari inversi seismik adalah *broadband impedance* (Yilmaz, 2001).

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa seismik inversi merupakan suatu usaha untuk merubah data seismik yang semula merupakan amplitudo sebagai fungsi waktu menjadi impedansi akustik sebagai fungsi waktu.

Karena impedansi akustik adalah sifat batuan yang dipengaruhi oleh jenis litologi, porositas, kandungan fluida, kedalaman, tekanan dan temperatur, maka

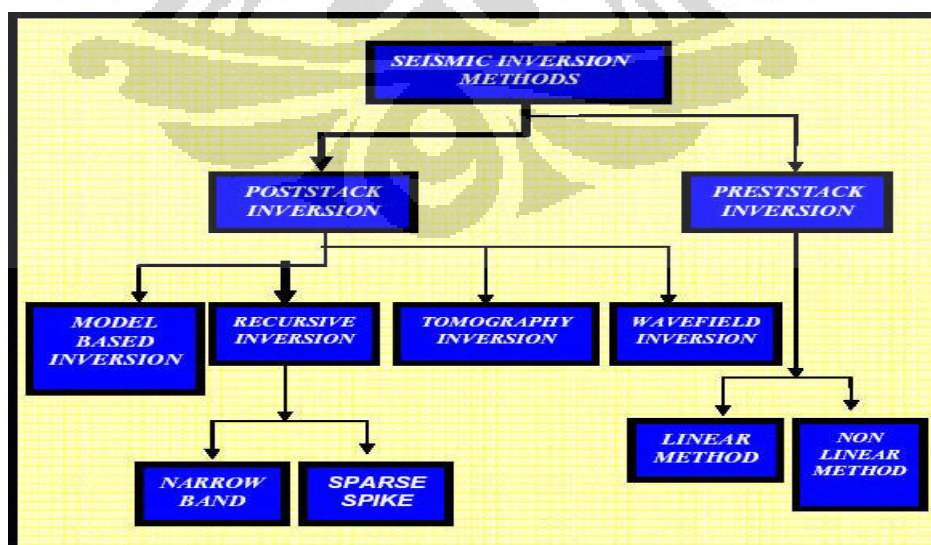
impedansi akustik dapat digunakan sebagai indikator litologi, hidrokarbon, pemetaan litologi, pemetaan satuan aliran sampai dengan analisa kuantitatif (Sukmono, 2000).

Data seismik konvensional melihat objek bawah permukaan dalam bentuk bidang batas antar lapisan-lapisan batuan, sedangkan impedansi akustik sebagai hasil inversi melihatnya sebagai lapisan batuan.

Keuntungan menggunakan penampang inversi seismik dibandingkan dengan penampang seismik amplitudo adalah kemampuannya memberikan gambaran yang lebih mendekati gambaran bentuk penampang bumi yang sesungguhnya. Penampang ini mampu memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai penyebaran batuan baik secara vertikal maupun secara lateral.

Lapisan batuan yang berpori dan yang tidak berpori akan lebih mudah dibedakan dalam penampang impedansi akustik daripada dalam penampang seismik amplitudo.

Russel (1988) membagi metode seismik inversi dalam dua kelompok, yaitu inversi *pre-stack* dan inversi *post-stack*. Pada penelitian ini akan dibahas inversi *post-stack* yang berhubungan dengan inversi amplitudo, dimana dalam inversi ini terdiri dari beberapa algoritma, yaitu inversi *band limit* (rekursif), inversi berbasis model (*blocky*), serta inversi *sparse spike* (*maximum likelihood*).



Gambar 2.4 Skema Metode Inversi Seismik (Russel, 1988)

### 2.2.1 Inversi Seismik Band Limit

Inversi Band Limit (rekursif) adalah algoritma inversi yang mengabaikan efek wavelet seismik dan memperlakukan seolah-olah trace seismik merupakan kumpulan koefisien refleksi yang telah difilter oleh wavelet fase nol. Metode ini paling awal digunakan untuk menginversi data seismik dengan persamaan dasar (Russel, 1988) :

$$r_i = \frac{\rho_{i+1}V_{i+1} - \rho_i V_i}{\rho_{i+1}V_{i+1} + \rho_i V_i} = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (2.4)$$

dengan  $r$  = koefisien refleksi,  $\rho$  = densitas,  $V$  = kecepatan gelombang P dan,  $Z$  = Impedansi Akustik. Dimulai dari lapisan pertama, impedansi lapisan berikutnya ditentukan dengan secara rekursif dan tergantung nilai impedansi akustik lapisan di atasnya dengan perumusan sebagai berikut :

$$Z_{i+1} = Z_i * \prod \left[ \frac{1+r_i}{1-r_i} \right] \quad (2.5)$$

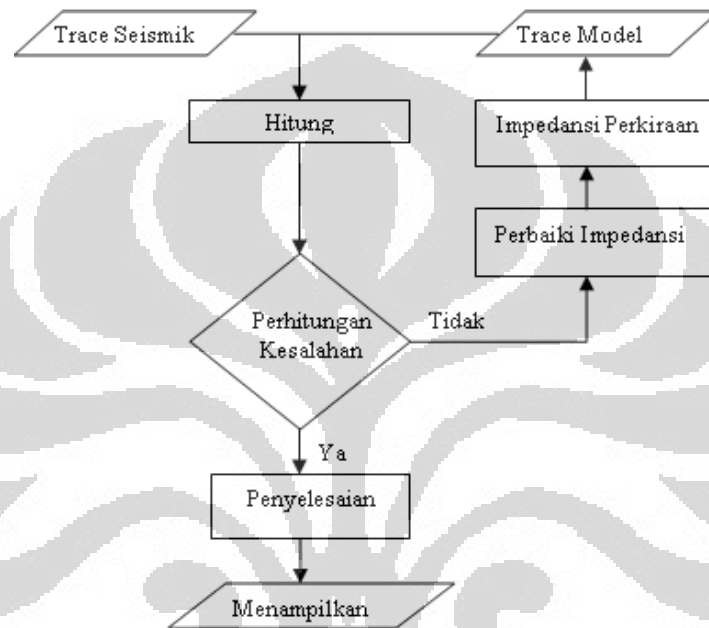
Permasalahan yang muncul jika metode inversi rekursif diterapkan pada data riil adalah :

1. Frequency bandlimiting, yaitu hilangnya kandungan frekuensi rendah dan tinggi.
2. Noise. Masuknya coherent atau random noise ke dalam seismk trace akan mengakibatkan estimasi refleksifitas menyimpang dari reflektifitas yang sebenarnya. Jika pada lapisan teratas telah terjadi sedikit penyimpangan reflektifitas, maka semakin dalam, nilai penyimpangan reflektifitas tersebut akan semakin besar.

### 2.2.2 Inversi Seismik Model Based

Prinsip metode ini adalah membuat model geologi dan membandingkannya dengan data riil seismik. Hasil perbandingan tersebut

digunakan secara iteratif memperbaharui model untuk menyesuaikan dengan data seismik. Metode ini dikembangkan untuk mengatasi masalah yang tidak dapat dipecahkan menggunakan metode rekursif. Teknik ini dapat dijelaskan melalui diagram alur berikut,



Gambar 2.5 Diagram Metode Inversi *Model Based*

Keuntungan penggunaan metode inversi berbasis model adalah metode ini tidak menginversi langsung dari seismik melainkan menginversi model geologinya. Sedangkan permasalahan potensial menggunakan metode inversi berbasis model adalah sifat sensitif terhadap bentuk *wavelet* dan sifat ketidak-unikatan (*non-uniqueness*) untuk *wavelet* tertentu.

Menurut Russel (1991), proses inversi linear umum (*Generalized Linear Inversion/ GLI*) merupakan proses untuk menghasilkan model impedansi akustik yang paling cocok dengan data hasil pengukuran berdasarkan nilai rata-rata kesalahan terkecil (*least square*). Secara matematis, model dan data pengukuran dapat dirumuskan sebagai vektor :

$$\mathbf{M} = (\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \mathbf{m}_3, \dots, \dots, \mathbf{m}_k)^T \quad (2.6)$$



$$\mathbf{D} = (\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \mathbf{d}_3, \dots, \dots, \mathbf{d}_n)^T \quad (2.7)$$

dengan  $\mathbf{M}$  adalah vektor model dengan parameter  $k$  dan  $\mathbf{D}$  adalah vektor data pengukuran dengan parameter  $n$ . Hubungan antara model dan data pengukuran dinyatakan dengan persamaan :

$$\mathbf{d}_i = \mathbf{F}(\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \mathbf{m}_3, \dots, \dots, \mathbf{m}_k), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.8)$$

dengan  $\mathbf{F}$  adalah suatu fungsi hubungan antara model dan data pengukuran.

Proses ini akan membentuk model dengan metode *trial and error* dengan cara menganalisis perbandingan antara keluaran model dengan data hasil pengukuran yang pasti memiliki tingkat kesalahan tertentu. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang dengan jumlah iterasi tertentu sehingga diperoleh hasil dengan tingkat kesalahan terkecil. Secara matematis  $\mathbf{F}$  dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\mathbf{F}(\mathbf{M}) = \mathbf{F}(\mathbf{M}_o) + \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{M}_o)}{\partial \mathbf{M}} (\Delta \mathbf{M}) \quad (2.9)$$

dengan:

$\mathbf{F}(\mathbf{M})$  = seismic trace observasi

$\mathbf{M}_o$  = Model Inisial (model perkiraan)

$\mathbf{M}$  = model sebenarnya (koefisien refleksi yang dicari)

$\Delta \mathbf{M}$  = selisih antara model inisial dengan model sebenarnya

$\mathbf{F}(\mathbf{M}_o)$  = Synthetic seismic trace hasil perhitungan dari model inisial.

$\frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{M}_o)}{\partial \mathbf{M}}$  = derivatif parsial dari model sebenarnya.

Kesalahan antara keluaran model dengan data pengukuran dinyatakan sebagai :

$$\Delta \mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{M}) - \mathbf{F}(\mathbf{M}_o) \quad (2.10)$$

dan dalam bentuk matriks dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Delta \mathbf{F} = \mathbf{G} \Delta \mathbf{M} \quad (2.11)$$

dengan  $\mathbf{G}$  adalah matrik derivatif dengan jumlah baris  $n$  dan kolom  $k$ .

Penyelesaian dari rumusan tersebut adalah :

$$\Delta \mathbf{M} = \mathbf{G}^{-1} \Delta \mathbf{F} \quad (2.12)$$

Dengan  $\mathbf{G}^{-1}$  adalah invers dari matriks  $\mathbf{G}$ .

Matriks  $G$  umumnya tidak berupa matriks segi empat, karena pada umumnya jumlah data pengukuran lebih banyak daripada parameter model. Hal ini menyebabkan matriks  $G$  tidak memiliki invers yang dikenal sebagai kasus overdeterminasi.

Untuk mengatasi hal ini maka dipakai metode least square yang dikenal sebagai metode Marquart-Levenburg. Solusi yang didapatkan adalah :

$$\Delta \mathbf{M} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \Delta \mathbf{D} \quad (2.13)$$

dengan  $\mathbf{G}^T$  adalah matriks transpose dari matriks  $\mathbf{G}$ .

Penyelesaian menjadi sulit jika invers  $(\mathbf{G}^T \mathbf{G})$  tidak ada (*singular*) atau hampir tidak ada, sehingga teknik *least square* dilakukan dengan metode Marquart-Levenburg yang memberikan nilai pembobotan (*damping*) dengan menambah konstanta  $\lambda$  Pada diagonal matrik  $\mathbf{G}^T \mathbf{G}$  sehingga invers  $(\mathbf{G}^T \mathbf{G})$  akan mempunyai penyelesaian,

$$\Delta \mathbf{M} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G} + \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{G}^T \Delta \mathbf{D} \quad (2.14)$$

Dengan :  $\lambda$  = faktor pembobotan (*damping factor*), dan

$\mathbf{I}$  = matrik identitas

Keunggulan metode inversi berbasis model adalah inversi yang didapatkan memiliki informasi yang lebih akurat karena memasukkan komponen frekuensi rendah (dari data log), kurang sensitif terhadap noise, dan nilai impedansi akustiknya didapat berbentuk blocky yang memiliki nilai impedansi yang kontras sehingga mempermudah dalam penentuan batas atas dan batas bawah suatu lapisan reservoir.

### 2.2.3 Inversi Seismik Sparse Spike

Metode sparse-spike ini mengasumsikan bahwa reflektifitas yang sebenarnya dapat diasumsikan sebagai seri dari spike-spike besar yang bertumpukan dengan spike-spike yang lebih kecil sebagai *background*. Kemudian dilakukan estimasi wavelet berdasarkan asumsi model tersebut. Sparse-spike mengasumsikan bahwa hanya spike yang besar yang penting. Inversi ini mencari lokasi spike yang besar dari tras seismik. Spike-spike tersebut terus ditambahkan sampai tras dimodelkan secara cukup akurat. Amplitudo dari blok impedansi

ditentukan dengan menggunakan algoritma inversi Model Based. Input parameter tambahan pada metode ini adalah menentukan jumlah maksimum spike yang akan dideteksi pada tiap tras seismik dan treshhold pendeteksian seismik.

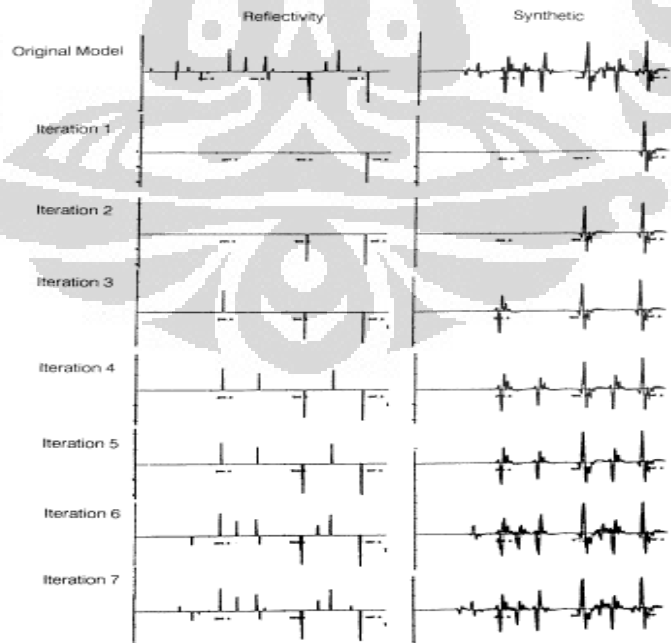
Model dasar dari tras seismik didefinisikan oleh :

$$s(t) = w(t) * r(t) + n(t) \quad (2.6)$$

Persamaan mengandung tiga variabel yang tidak diketahui sehingga sulit untuk menyelesaikan persamaan tersebut, namun dengan menggunakan asumsi tertentu permasalahan dekonvolusi dapat diselesaikan dengan beberapa teknik dekonvolusi yang dikelompokkan dalam metode sparse-spike. Teknik-teknik tersebut meliputi :

1. Inversi dan dekonvolusi maximum-likelihood
2. Inversi dan dekonvolusi norm-L1
3. Dekonvolusi entropi minimum (MED)

Inversi *sparse spike* menggunakan parameter yang sama dengan inversi *model based*. Parameter yang harus ditambahkan adalah parameter untuk menghitung berapa banyak spike yang akan dipisahkan dalam setiap *trace*.



**Gambar 2.6** Iterasi Dalam Inversi *Sparse Spike*

## BAB III

### DATA DAN PENGOLAHAN DATA

#### 3.1 Persiapan Data

Dalam penulisan ini dilakukan beberapa langkah yaitu pengumpulan data, pengolahan data yang meliputi : pengolahan data sumur, pengolahan data seismik, pembuatan model frekuensi rendah, dan inversi seismik.

Volume data yang digunakan :

1. Data seismik 3D *Poststack Migration*
2. Data sumur dengan *log*-nya masing-masing

Secara berurutan proses inversi seismik adalah sebagai berikut :

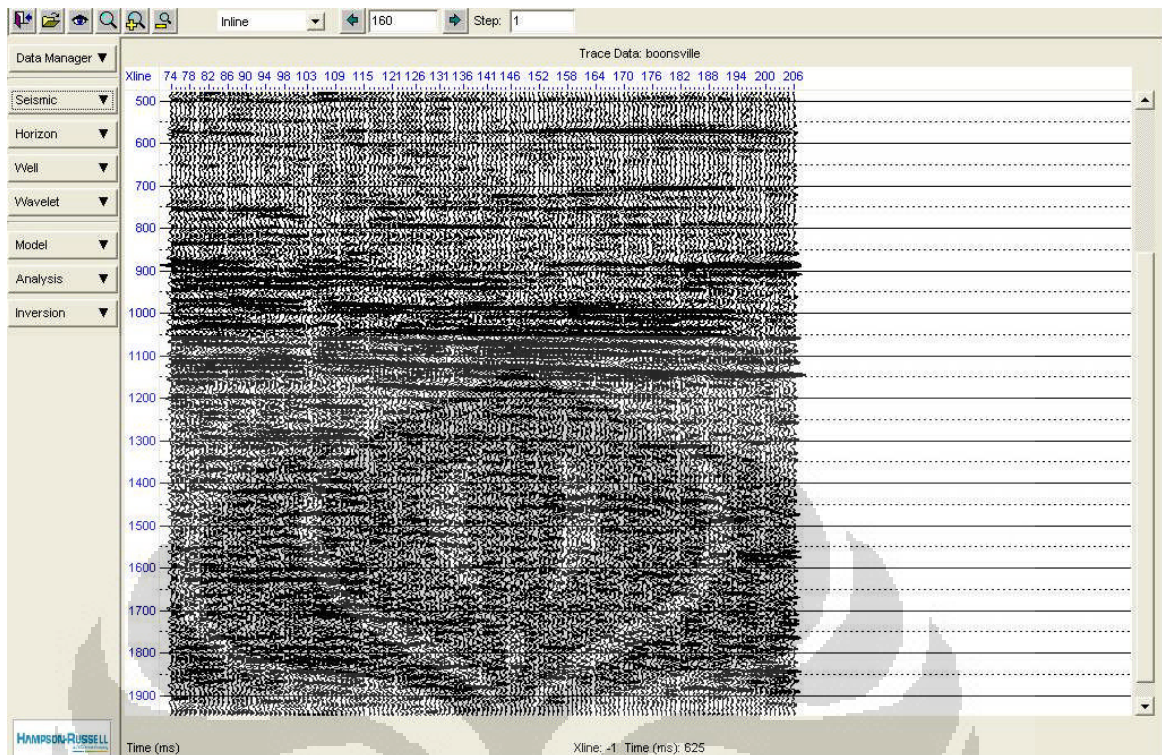
1. Persiapan data
2. Pengolahan data sumur
3. Pengolahan data seismik
4. Korelasi data sumur dengan data seismik
5. Pembuatan model frekuensi rendah
5. Inversi

##### 3.1.1 Data Seismik

Data seismik yang digunakan pada penelitian ini adalah data 3D *Post-Stack Migration* yang terdapat pada data base Strata. Lokasi yang menjadi objek penelitian ini adalah lapangan Boonsville yang berlokasi di daerah Texas, Amerika Serikat. Data seismik tersebut mempunyai kedalaman hingga 200 ms.

Berikut adalah keterangan dari data seismik :

Trace	Line	Longitude	Latitude	X Location	Y Location
74	105	-97.94162	33.17897	1864886	550461
74	201	-97.94123	33.20800	1865021	561020
206	201	-97.89394	33.20766	1879540	560838
206	195	-97.89416	33.17863	1879406	550279



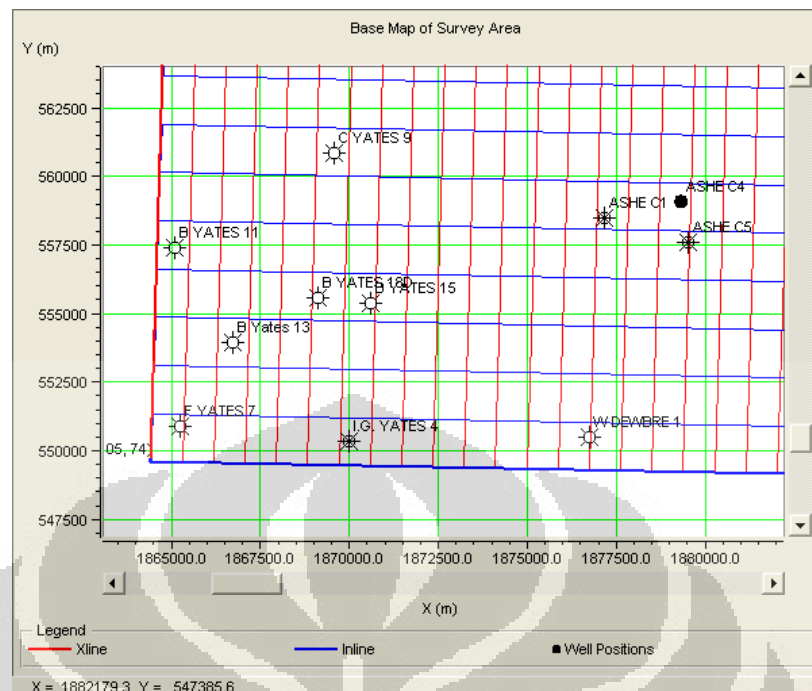
Gambar 3.1 Penampang Seismik Pada Inline 160

### 3.1.2 Data Sumur

Pada daerah studi terdapat 37 buah sumur untuk menganalisa impedansi akustik dengan menggunakan *Log Density* dan *Log Sonic* yang akan dikoreksi. Peta dasar daerah penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.2.

Dari 37 buah sumur tersebut, hanya 16 buah sumur yang mengandung keterangan nilai Gamma Ray dan Resistivity. Dan dari 16 sumur tersebut hanya 11 buah sumur yang akan digunakan lebih lanjut untuk penelitian, dikarenakan ketersediaannya data-data yang diperlukan..

Gambar 3.2 merupakan peta dasar sumur yang dikombinasikan dengan data inline dan xline seismik. Berdasarkan peta penyebaran sumur dan keterangan lokasi dari survey seismik, maka dapat disimpulkan bahwa keseluruhan dari sumur-sumur tersebut berada di dalam daerah survey seismik, sehingga harus dioptimalkan data-data yang ada, dan yang terkandung dalam sumur-sumur yang minim informasi.



Gambar 3.2 Peta Dasar Sumur Penelitian

### 3.2 Pengolahan Data Sumur

Data log dari sumur-sumur yang terdapat di lapangan survey terlebih dahulu harus kita olah. Data log sumur merupakan data yang sangat penting dalam menunjang hasil yang akan diperoleh dari proses inversi. Pengolahan terhadap data log sumur pada penelitian ini adalah melakukan interpretasi log dan koreksi *Check Shot Correction*.

#### 3.2.1 Interpretasi Log

Data log tidak lagi diedit karena data yang digunakan sudah merupakan log hasil *editing*. Pertama-tama data log dari sumur-sumur tersebut kita korelasikan. Korelasi dilakukan dengan mencari kesamaan pola penyebaran nilai-nilai hasil pengukuran dari log sumur tersebut.

Pada daerah reservoir biasanya mempunyai nilai porositas tinggi, berdensitas rendah, kecepatan rendah, *gamma ray* rendah, SP tinggi, dan nilai impedansi akustik yang rendah. Dari data-data yang direkam oleh log kita mencari kesamaan nilai-nilai dari *gamma ray* yang kecil, resistivity yang besar, SP yang kecil, dan *induction deep* yang besar. Kesamaan trend dari kesemua log tersebut

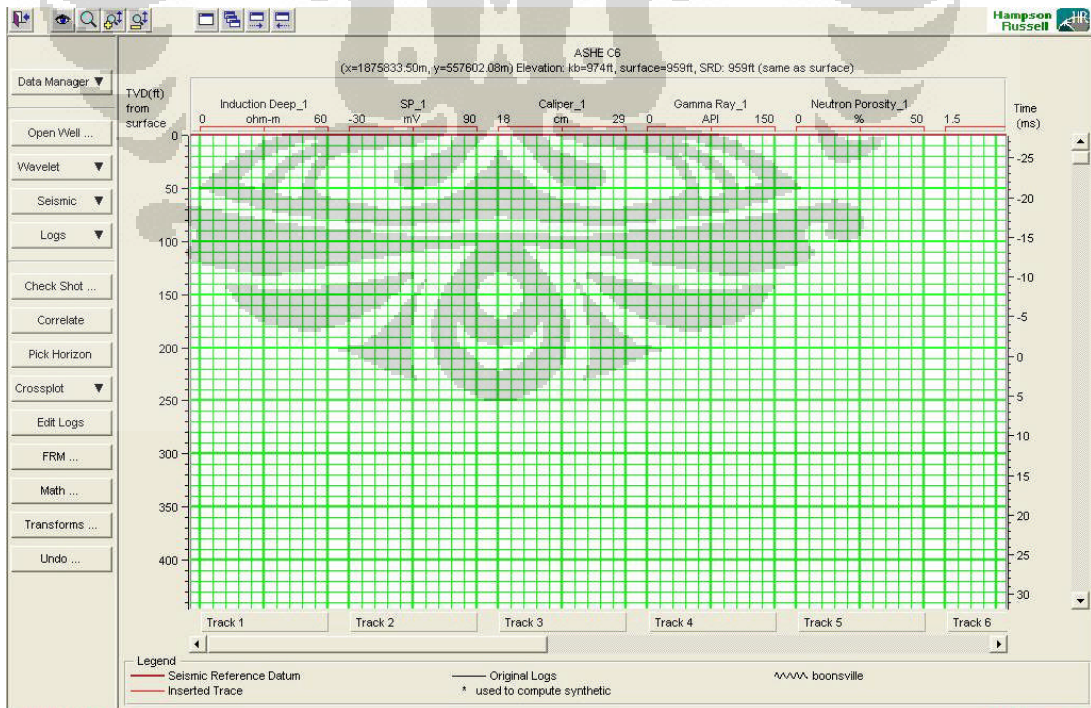
kita interpretasikan dengan menarik horizon, yang kita kenal dengan istilah marker.

Keseluruhan sumur harus kita interpretasikan. Kadang ada beberapa sumur yang minim informasi. Namun hal tersebut bukan merupakan penghalang untuk diinterpretasikan.

### 3.2.2 Check Shot Correction

*Check Shot Correction* dilakukan untuk menyesuaikan perbedaan domain pada sumur dan seismik, dimana domain pada sumur adalah depth sedangkan domain untuk seismik adalah time. *Check Shot Correction* dilakukan dengan menyesuaikan antara *depth* dan *time* sehingga data log sumur akan memiliki kesesuaian dengan data seismik walaupun keduanya memiliki domain yang berbeda, dimana nilai *time* yang ada pada sumur akan sebanding dengan nilai *depth* yang ada pada data seismik.

*Check shot correction* dilakukan di software eLog yang merupakan salah satu program di aplikasi Hampson – Russel.



Gambar 3.3 Tampilan Depan Aplikasi eLog

Untuk dapat melakukan koreksi *check shot* dibutuhkan data log *sonic* yang tak lain adalah *P-Wave*, dan data log *density*. Namun pada semua sumur tersebut tidak mempunyai data log *sonic*.

Data log Sonic bisa didapatkan dari transformasi menggunakan dua buah persamaan yaitu, *Faust's Equation* :

$$P - Wave = (C1 \times resistivity)^{1/6} \quad (3.1)$$

dimana C1 adalah konstanta. Dari persamaan diatas jelas bahwa data sumur tersebut setidaknya harus mempunyai data resistivity, yang berupa *induction deep*.

Cara yang kedua adalah dengan menggunakan *reversed Gardner's Equation* :

$$P - Wave = \left[ \frac{density}{C1} \right]^{1/0,25} \quad (3.2)$$

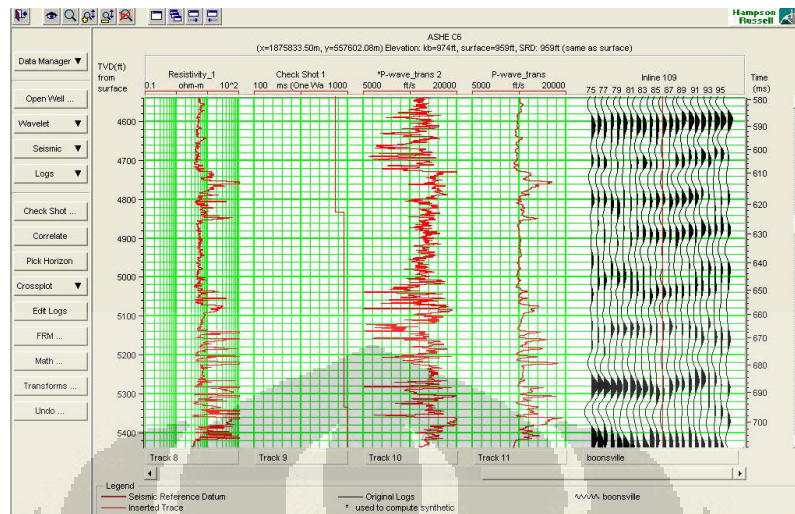
dimana C1 juga merupakan konstanta. Setelah kesemua data telah didapatkan maka kita dapat melakukan *check shot correction*.

Persamaan matematika diatas dapat dikerjakan dalam menu eLog. Sehingga kita hanya butuh memasukkan parameter-parameter yang dibutuhkan, input dan output data, pada akhirnya keluaran log akan ditampilkan di menu awal eLog.

Pertama-tama terlebih dahulu masuk ke menu utama eLog. Lalu pilih menu *transform*. Disana ada 18 buah menu transformasi log yang tersedia. Kita hanya perlu memilih salah satu jenis transformasi yang kita inginkan. Setelah itu kita harus memasukkan sumur-sumur apa saja yang mengandung data log yang ingin kita transform.

Data log *sonic* pada penelitian ini adalah data hasil dari transformasi dengan menggunakan *Faust's equation* atau *reversed Gardner's equation*. Walaupun hasil tranformasi ini cukup baik, namun tetap saja mengandung nilai-nilai kesalahan. Sehingga nantinya data hasil dari transformasi ini akan sedikit mempengaruhi hasil akhir.





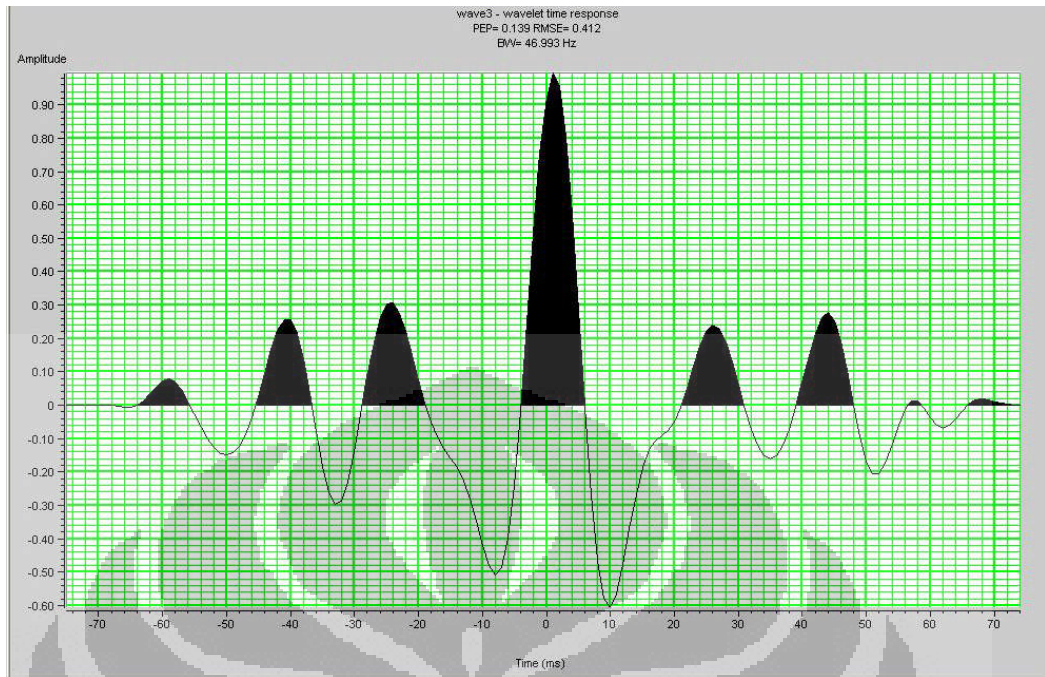
Gambar 3.4 Contoh Hasil Transformasi

### 3.3 Inversi Seismik

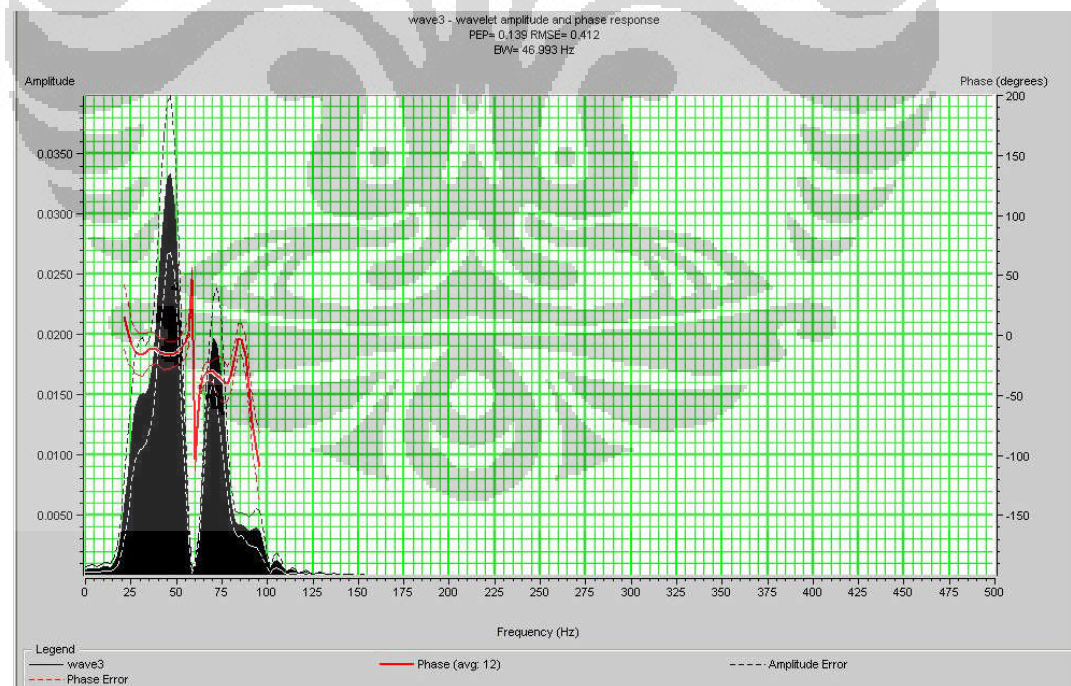
Hasil dari inversi seismik adalah impedansi akustik (Yilmaz, 2001). Dalam studi ini yang menjadi target utama adalah mengetahui karakterisasi reservoir pada formasi *boonsville*. Sehingga data *output* adalah impedansi akustik antara *horizon boonsville* dengan *lower boonsville*. Impedansi akustik pada horizon ini akan dibandingkan dengan impedansi akustik model dengan frekuensi rendah hasil dari inversi ketiga buah metode. Inversi seismik yang diterapkan adalah *bandlimited*, *model based*, dan *sparse spike*.

#### 3.3.1 Ekstraksi *Wavelet*

Ekstraksi *wavelet* dilakukan untuk mendapatkan suatu *wavelet* yang diharapkan sesuai dengan *trace* data seismik. Pada penelitian ini digunakan data sumur untuk mengekstrak *wavelet* yang akan digunakan untuk mengkorelasi data sumur dengan data seismik. Ekstraksi *wavelet* dari data sumur dapat dilakukan dengan menganalisa semua sumur, atau bisa juga dengan mengubah-ubah parameter yang kita inginkan. Parameter-parameter tersebut antara lain adalah *ekstraction time*, frekuensi, dll. Namun dalam penelitian ini digunakan *default wavelet*.



Gambar 3.5 Wavelet fungsi waktu



Gambar 3.6 Wavelet Fungsi Frekuensi

### 3.3.2 Korelasi Data Seismik Dengan Data Sumur

Korelasi data seismik dengan data sumur merupakan kegiatan untuk mengikat data sumur dengan data seismik, yang dikenal dengan istilah *seismic – well tie*. Pada penelitian ini, data utama yang digunakan adalah data seismik 3D *post-stack migration*, dan data tambahan sebagai data kontrol adalah data sumur. Untuk mengontrol data seismik agar dalam dilakukan proses inversi, maka dibutuhkan data tambahan sebagai data kontrol, dalam hal ini adalah data sumur.

*Seismic – well tie* bertujuan untuk mengkorelasi antara data sumur, seismogram sintetik, dan data seismik hasil survey. Kegiatan *seismic – well tie* ini dilakukan kepada semua sumur.

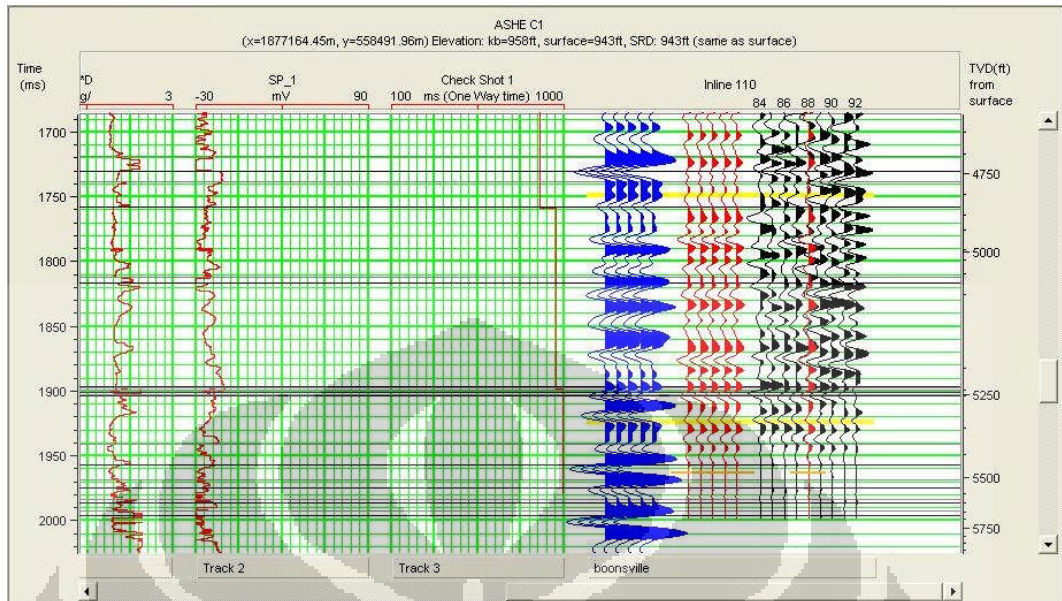
Hal pertama yang dilakukan sebelum korelasi adalah membentuk *trace* seismik sintetik, yang diperoleh dengan mengalikan reflektifitas sumur dengan *wavelet* hasil ekstrasi.

Setelah terbentuk *trace* seismik sintetik kemudian dilakukan proses *stretching* dan *squeezing*, yang merupakan proses penyesuaian event pada *trace* sintetik terhadap log sumur. Pada proses ini *trace* sintetik akan diregangkan atau dirapatkan, sehingga *trace* sintetik akan memiliki kessesuaian dengan log sumur. Kessesuaian tersebut terlihat dari dihasilkannya nilai korelasi yang optimum.

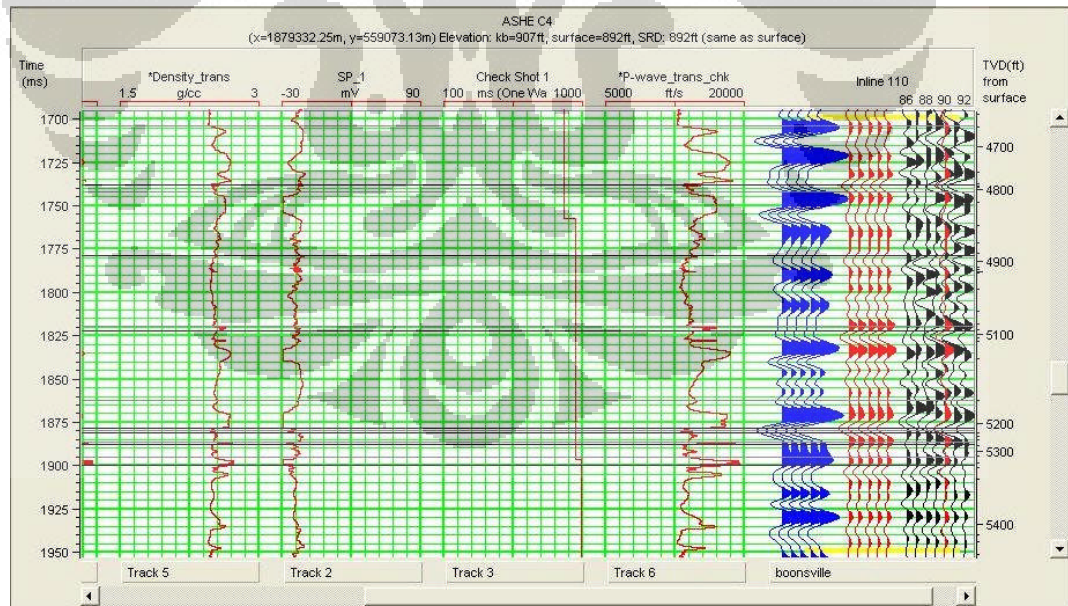
Makin besar nilai koefisien korelasi menandakan bahwa korelasi tersebut makin baik. Korelasi dilakukan terhadap 11 sumur, dengan nilai koefisien korelasi tersebut bervariasi antara 0,5 – 0,8.

Pada penelitian ini nilai koefisien korelasi yang paling bagus adalah bernilai 0,818 pada sumur ASHE C5. Seharusnya nilai dari koefisien korelasi bisa mencapai kisaran 0,9. Namun dikarenakan informasi mengenai log *sonic* pada sumur-sumur penelitian ini adalah hasil dari transformasi, bukan merupakan nilai murni dari pengukuran, maka bisa dimengerti mengapa nilai koefisien korelasi tidak bisa optimum.

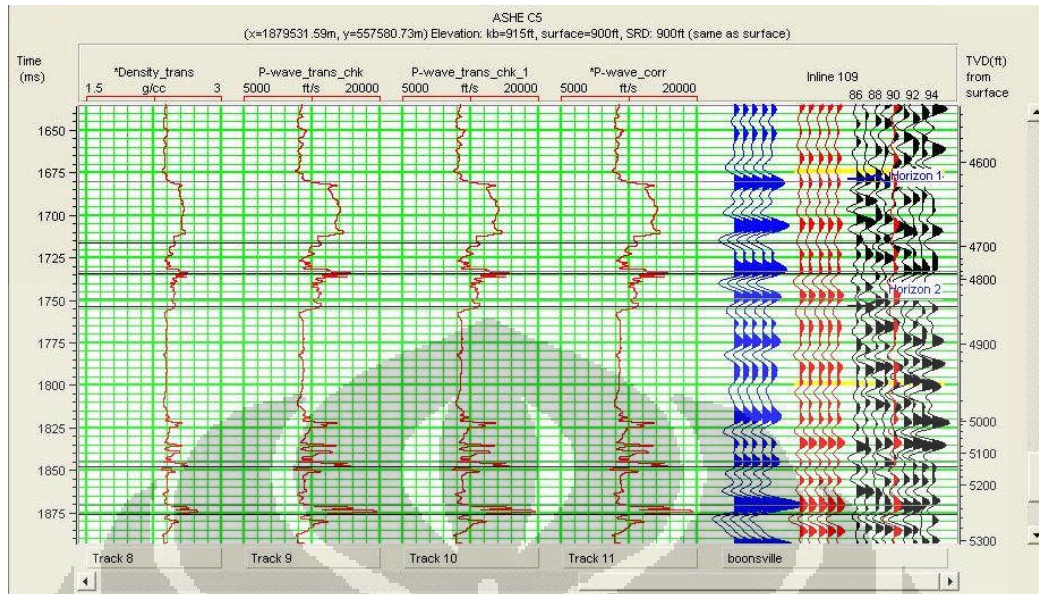
Selanjutnya data log sumur tersebut digunakan dalam proses pembuatan model inisial impedansi perkiraan. Gambar-gambar dibawah merupakan proses *seismic – well tie* dan *cross correlation wavelet*.



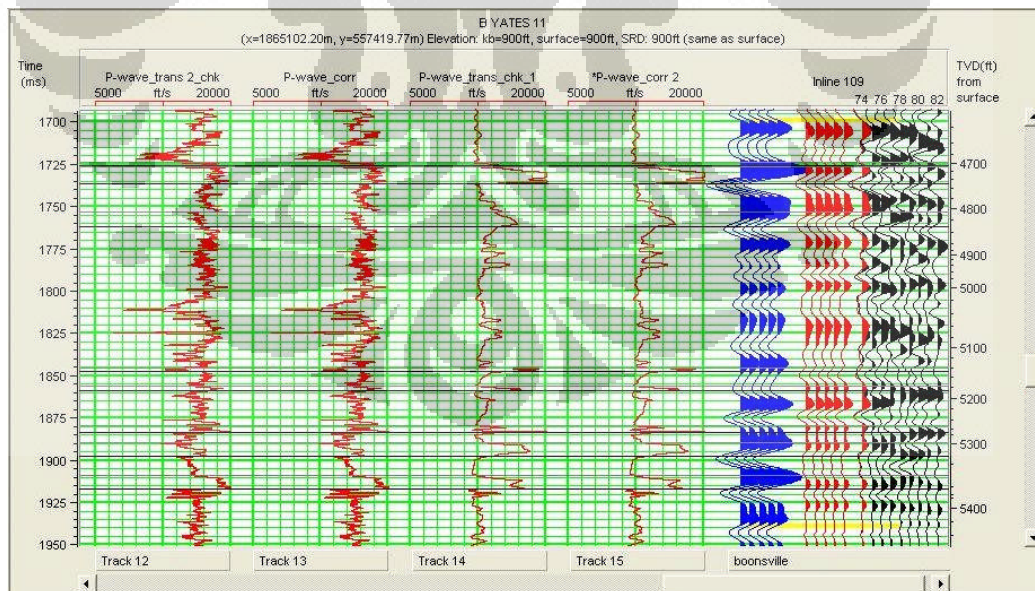
Gambar 3.7 Seismic – Well Tie Pada Sumur ASHE C1



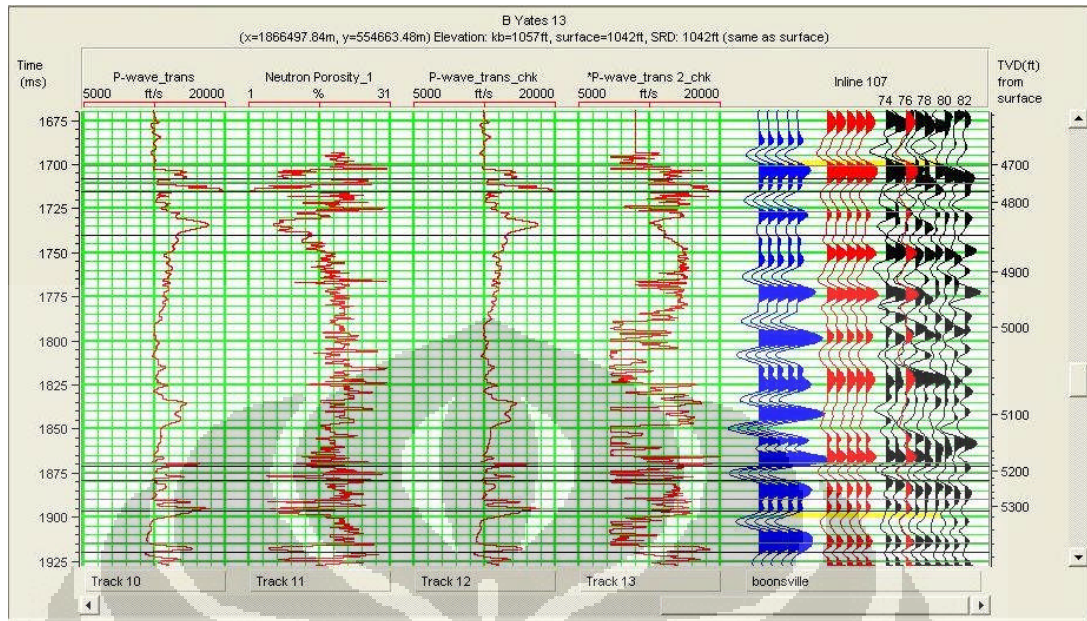
Gambar 3.8 Seismic – Well Tie Pada Sumur ASHE C4



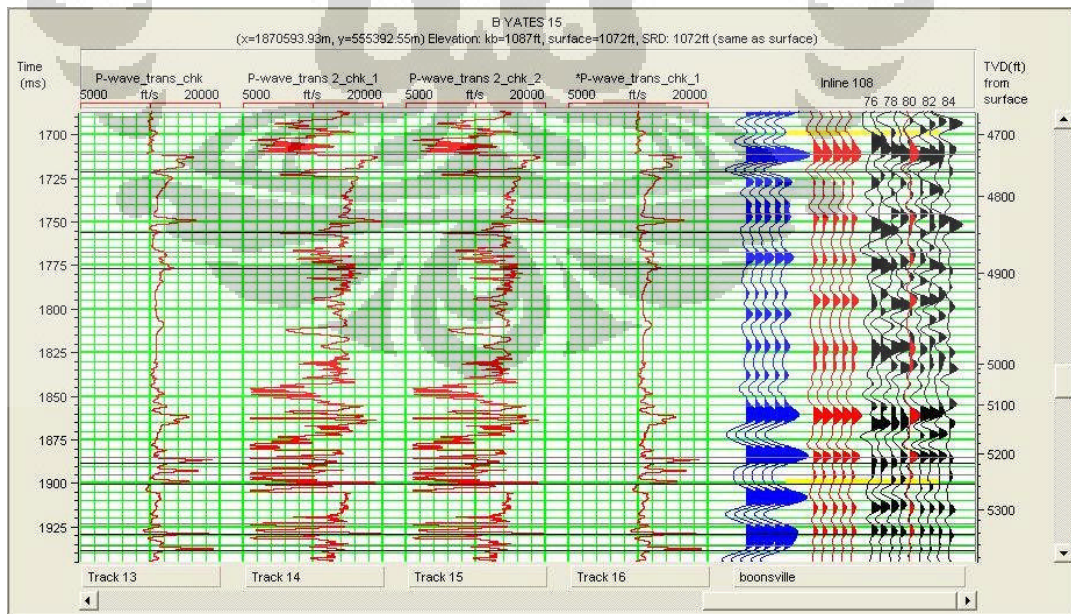
Gambar 3.9 Seismic – Well Tie Pada Sumur ASHE C5



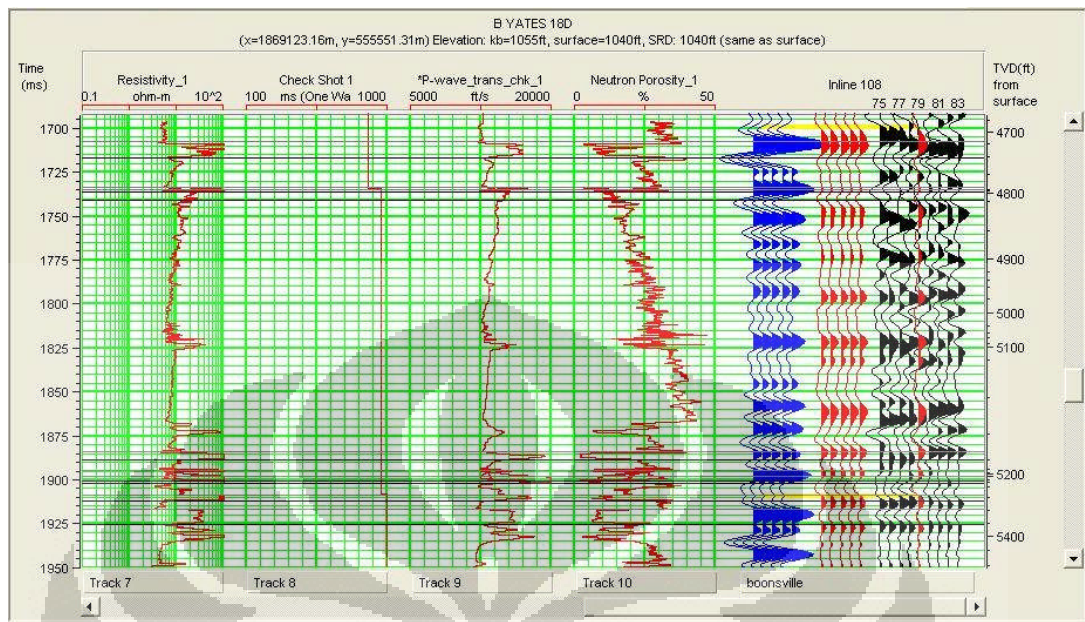
Gambar 3.10 Seismic – Well Tie Pada Sumur B Yates 11



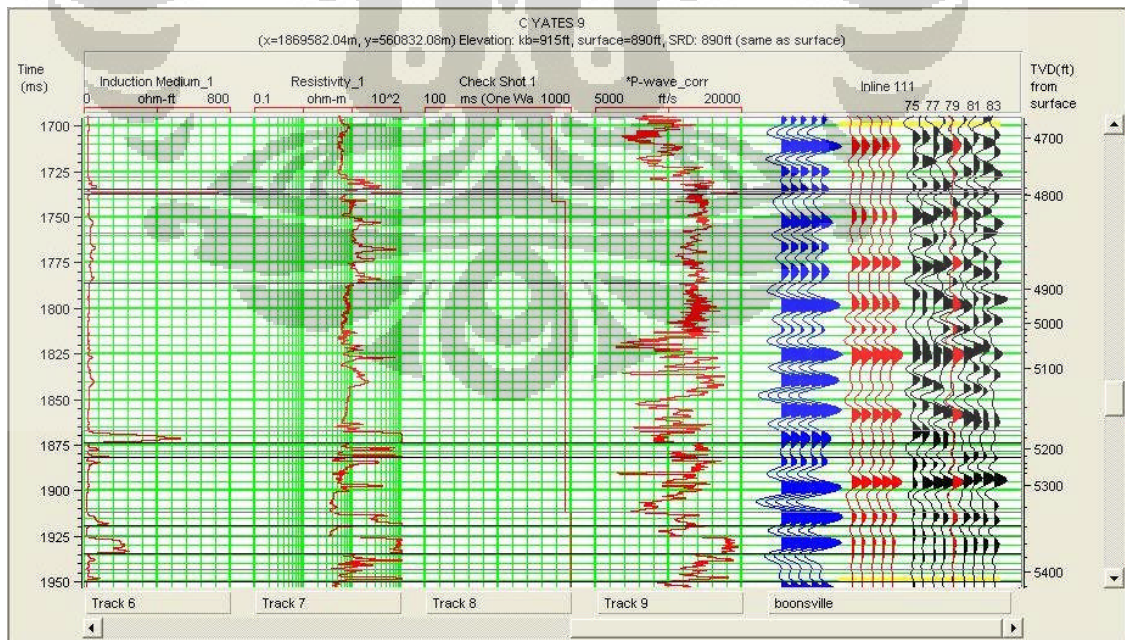
Gambar 3.11 Seismic – Well Tie Pada Sumur B Yates 13



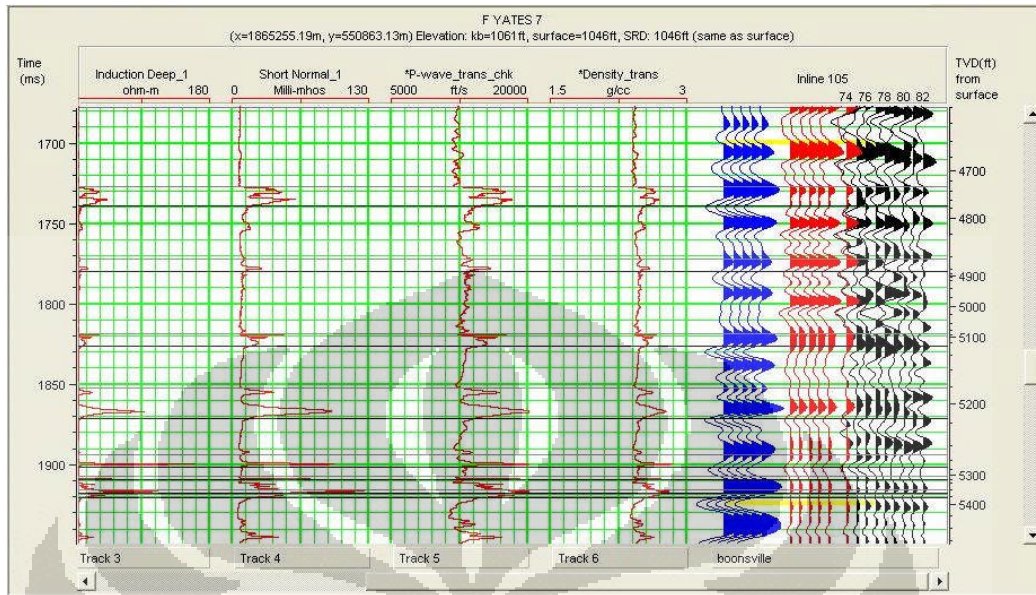
Gambar 3.12 Seismic – Well Tie Pada Sumur B Yates 15



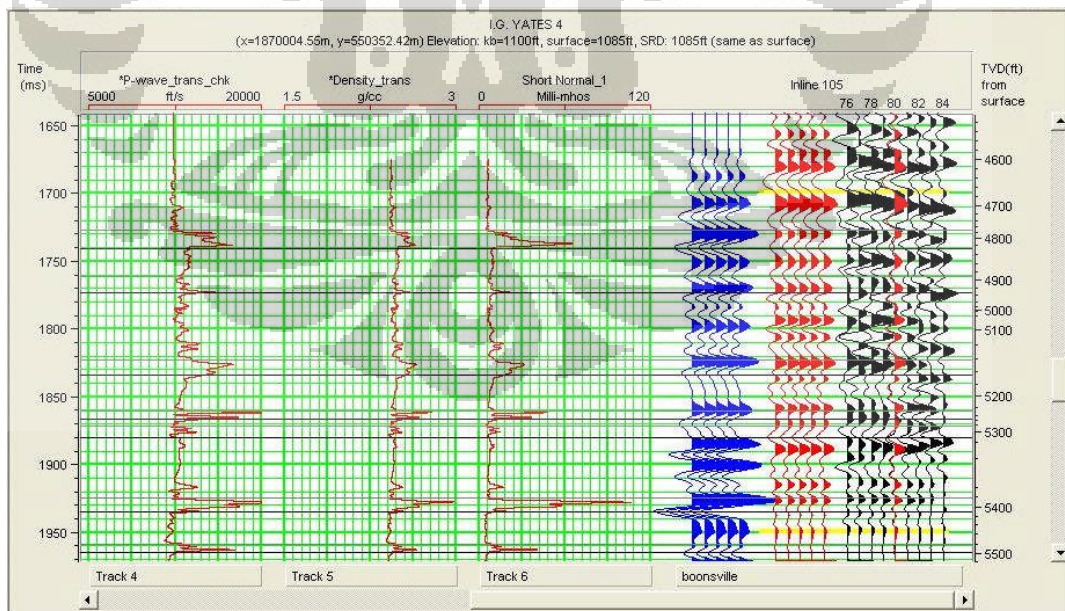
Gambar 3.13 Seismic – Well Tie Pada Sumur B Yates 18D



Gambar 3.14 Seismic – Well Tie Pada Sumur C Yates 9

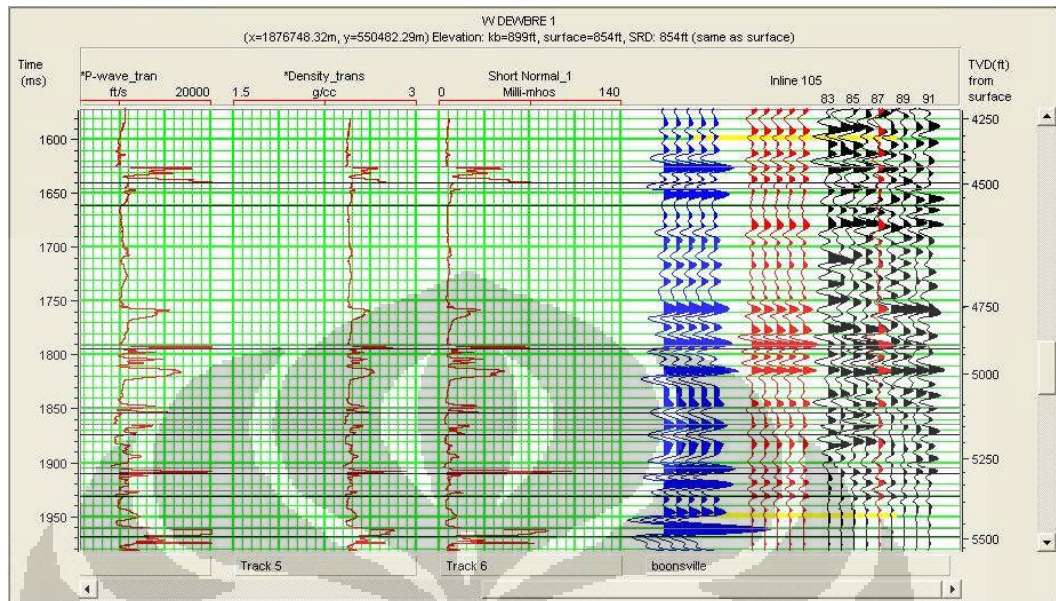


Gambar 3.15 Seismic – Well Tie Pada Sumur F Yates 7



Gambar 3.16 Seismic – Well Tie Pada Sumur I.G. Yates 4





Gambar 3.17 Seismic – Well Tie Pada Sumur W Dewbre 1

Sumur	Nilai Korelasi
ASHE C1	0,509
ASHE C4	0,613
ASHE C5	0,818
B YATES 11	0,563
B YATES 13	0,650
B YATES 15	0,579
B YATES 18D	0,520
C YATES 9	0,571
F YATES 7	0,518
I.G. YATES 4	0,509
W DEWBRE 1	0,582

Tabel 3.1 Nilai Korelasi Tiap-tiap Sumur

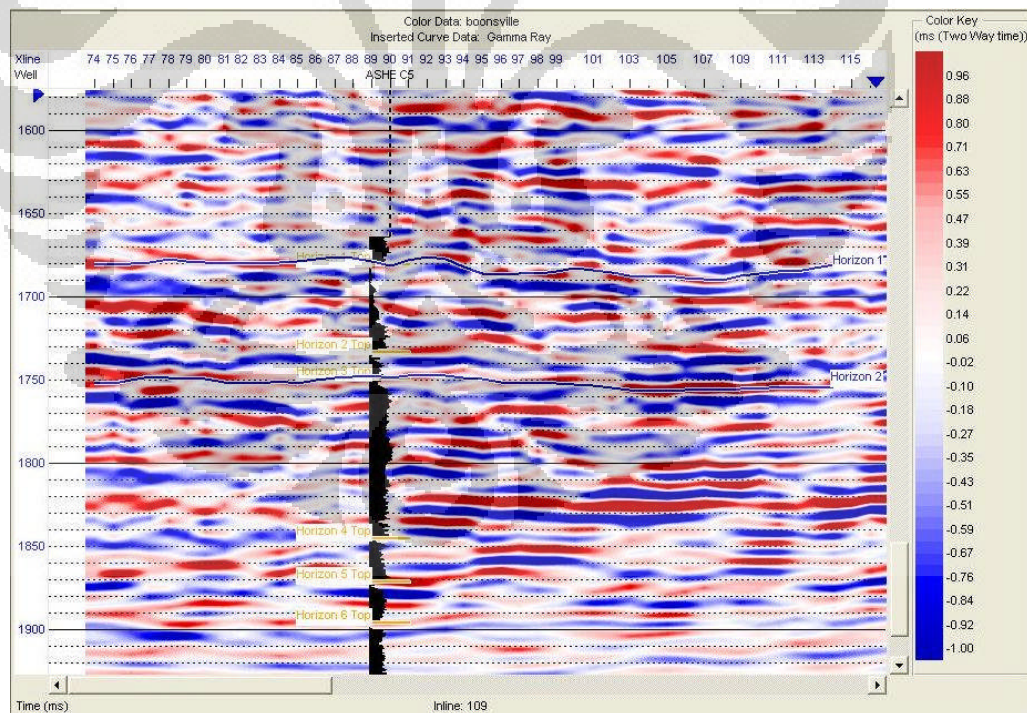
### 3.4 Pembuatan Model Geologi

Model geologi merupakan suatu model geologi yang dibentuk berdasarkan informasi *horizon* dan data sumur. Dari data sumur akan diperoleh deskripsi geologi dari setiap *horizon* yang telah dibuat dimana kemudian pola penyebaran geologi tersebut akan diteruskan dari sumur mengikuti batas *horizon*.

*Picking horizon* tersebut menggunakan sumur dengan koefisien korelasi yang paling baik. Pada penelitian ini dipilih sumur ASHE C5.

Dari *marker horizon* yang telah dilakukan pada sumur tersebut pada saat kegiatan interpretasi log, ditarik garis *horizon* yang sesuai dengan *horizon* hasil *marker*. Kemudian beranjak ke semua *inline* dan *xline* dengan berjarak 5 *inline/xline* per *picking*.

Dalam melakukan *picking horizon*, disediakan data *base map survey* sebagai data *quality control*.



Gambar 3.18 *Picking Horizon* Pada Sumur ASHE C5 di Inline 109

Pembuatan model bumi ini bertujuan untuk memberikan informasi dari komponen frekuensi rendah yang hilang pada data seismik. Frekuensi rendah yang terdapat pada model bumi diperoleh dengan menepis frekuensi tinggi dari data sumur, yang kemudian diekstrapolasikan secara lateral mengikuti bahan *horizon*.

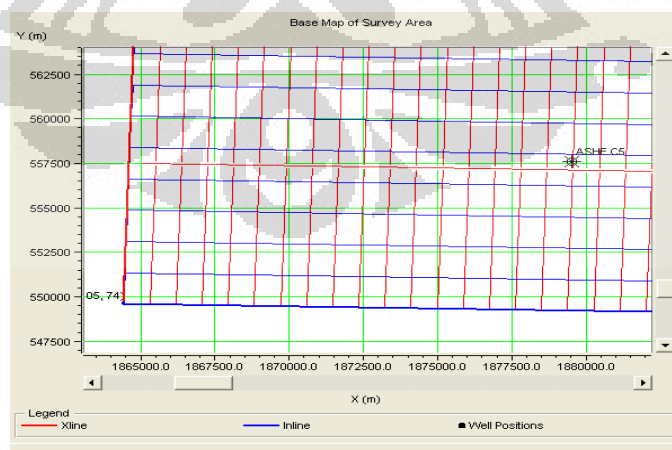
Pembuatan model bumi ini memerlukan data log *sonic* dan data wavelet yang telah di ekstrak sebelumnya dan memiliki nilai korelasi yang paling optimum. Dari log *sonic* dan *wavelet* tersebut akan dihasilkan model geologi berupa penampang seimik impedansi akustik.

Pembuatan model geologi ini dilakukan berkali-kali dengan mengubah beberapa parameter, yaitu :

1. Jumlah sumur yang diinput
2. Algoritma yang digunakan
3. Metode Inversi yang digunakan

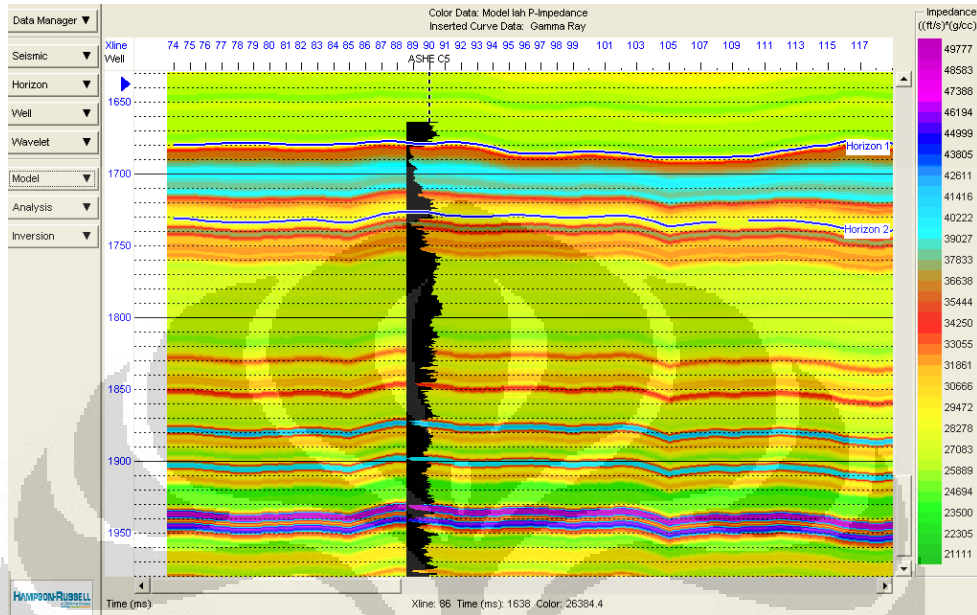
### 3.4.1 Satu Buah Sumur ASHE C5

Pembuatan model geologi dilakukan dengan menginput satu buah sumur, yaitu sumur ASHE C5. Sumur ini merupakan sumur dengan nilai korelasi yang paling baik. Gambar dibawah adalah peta dari letak sumur tersebut.



Gambar 3.19 *Base Map* Sumur ASHE C5

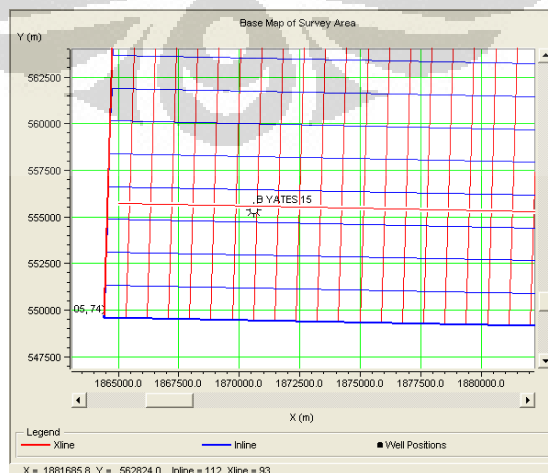
Berikut adalah pembuatan model geologi dengan menggunakan algoritma Running Average :



Gambar 3.20 Model Sumur ASHE C5 Dengan *Running Average*

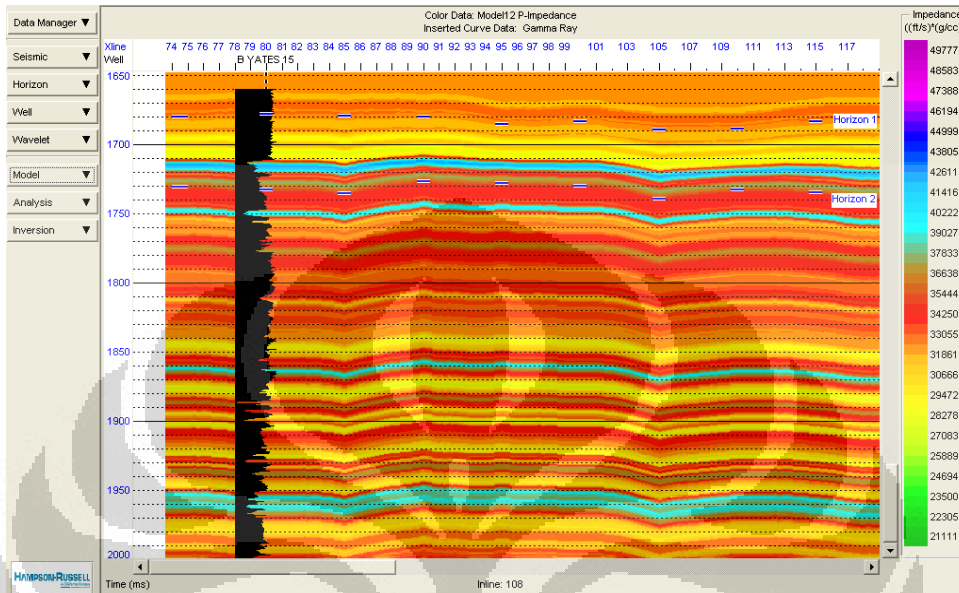
### 3.4.2 Satu Buah Sumur B YATES 15

Pembuatan model geologi dilakukan dengan menginput satu buah sumur, yaitu sumur B YATES 15. Sumur ini merupakan sumur yang terletak ditengah-tengah daerah studi. Gambar dibawah adalah peta dari letak sumur tersebut.



Gambar 3.21 *Base Map* Sumur B Yates 15

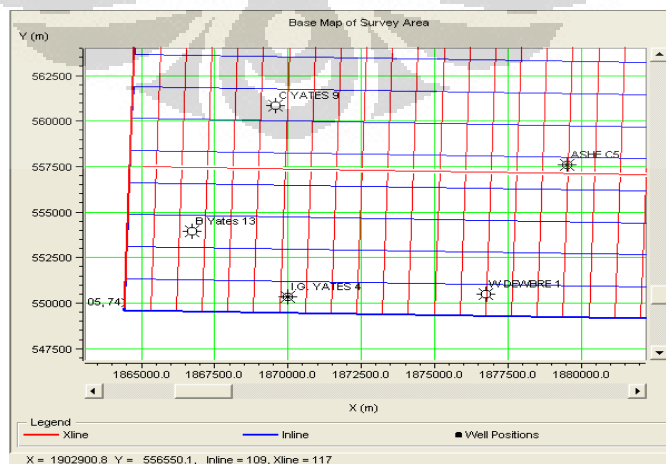
Berikut adalah pembuatan model geologi dengan menggunakan algoritma Running Average :



Gambar 3.22 Model Sumur B YATES 15 Dengan Running Average

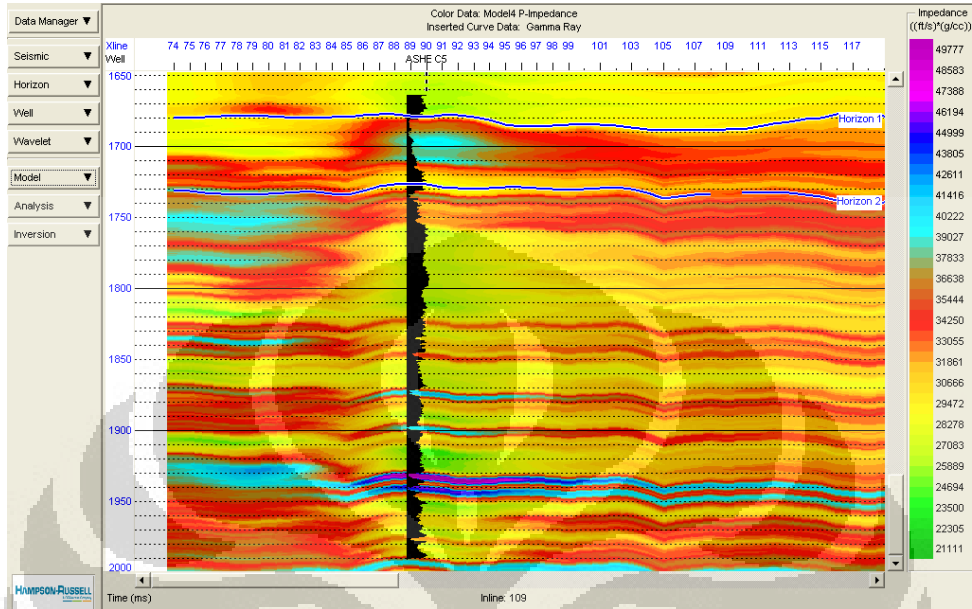
### 3.4.3 Lima Buah Sumur

Pembuatan model geologi dilakukan dengan menginput lima buah sumur, yaitu sumur ASHE C5, B YATES 13, C YATES 9, I.G. YATES 4, dan W DEWBRE 1. Gambar dibawah adalah peta dari letak sumur tersebut.



Gambar 3.23 Base Map Lima Buah Sumur

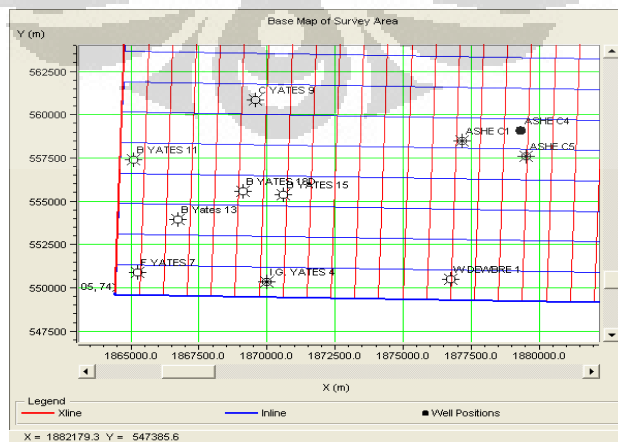
Berikut adalah pembuatan model geologi dengan menggunakan algoritma Running Average :



Gambar 3.24 Model Lima Buah Sumur Dengan Running Average

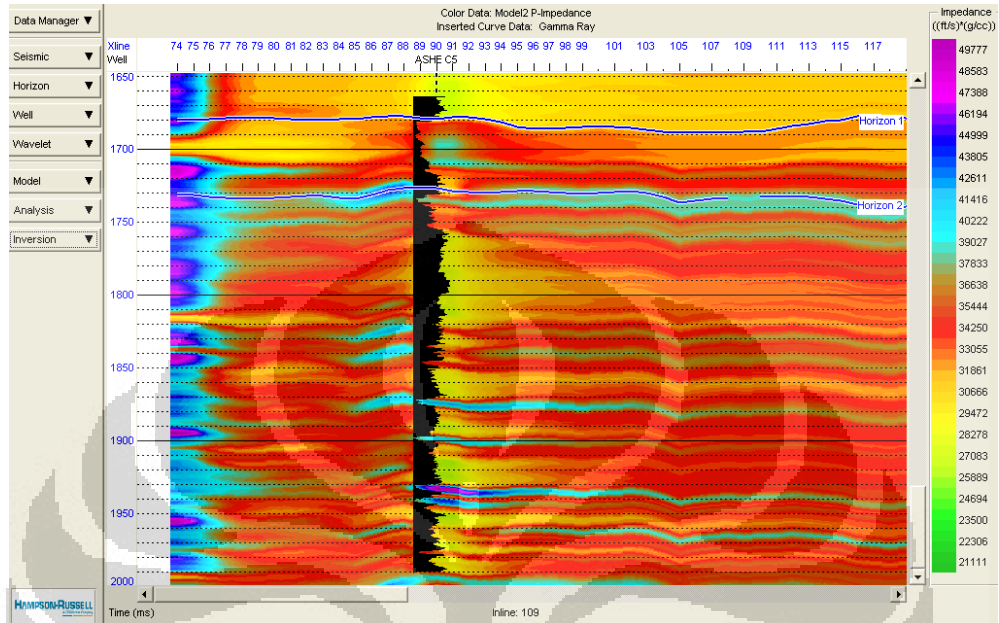
### 3.4.4 Sebelas Buah Sumur

Pembuatan model geologi dilakukan dengan menginput lima buah sumur, yaitu sumur ASHE C1, ASHE C4, ASHE C5, B YATES 11, B YATES 13, B YATES 15, B YATES 18D, C YATES 9, F YATES 7, I.G. YATES 4, dan W DEWBRE 1. Gambar dibawah adalah peta dari letak sumur tersebut.



Gambar 3.25 Base Map Sebelas Buah Sumur

Berikut adalah pembuatan model geologi dengan menggunakan algoritma Running Average :



Gambar 3.26 Model Sebelas Buah Sumur Dengan Running Average

## BAB IV

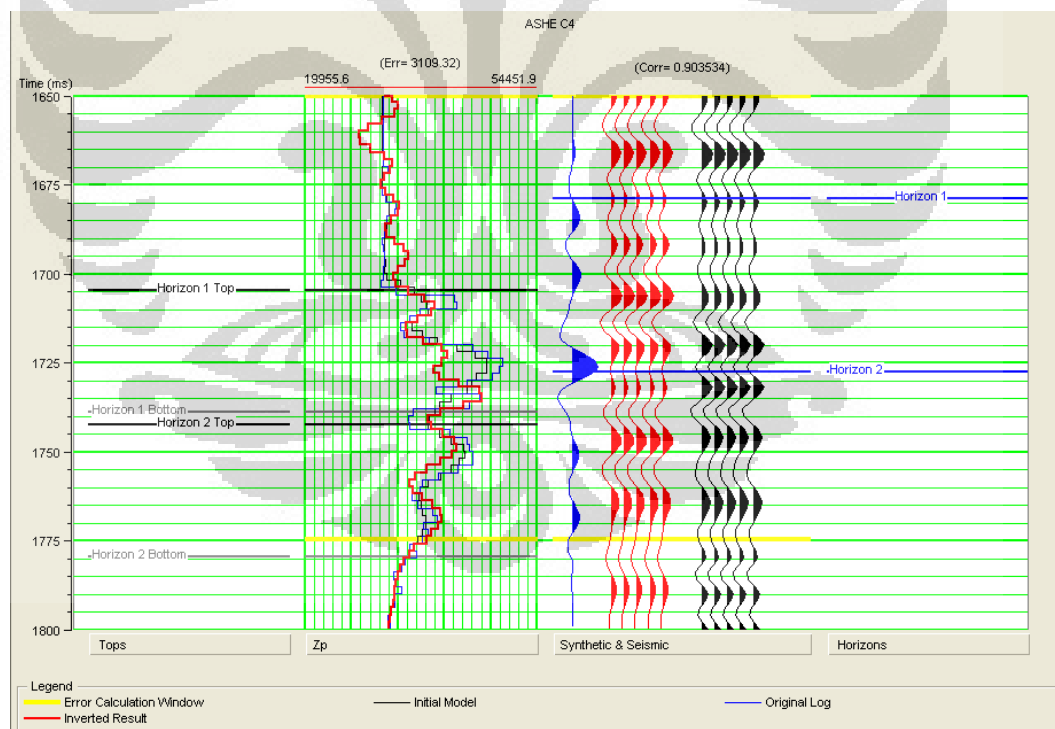
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Metode Inversi *Band Limit*

Sebelum dilakukan proses inversi, model geologi tersebut terlebih dahulu harus dianalisa. Pada software Hampson – Russel terdapat aplikasi analisa model bumi. Aplikasi ini bertujuan untuk mengkorelasi antara hasil inversi yang berupa log impedansi akustik dengan log data sumur, beserta sintetik seismik dan penampang seismik hasil survey.

##### 4.1.1 Analisa

Analisa dilakukan dari model geologi yang dibuat dari 11 buah sumur. Pertama-tama dilakukan analisa dari metode inversi band limit.



Gambar 4.1 Analisa Metode *Band Limit* 11 Buah Sumur Pada Sumur ASHE C4



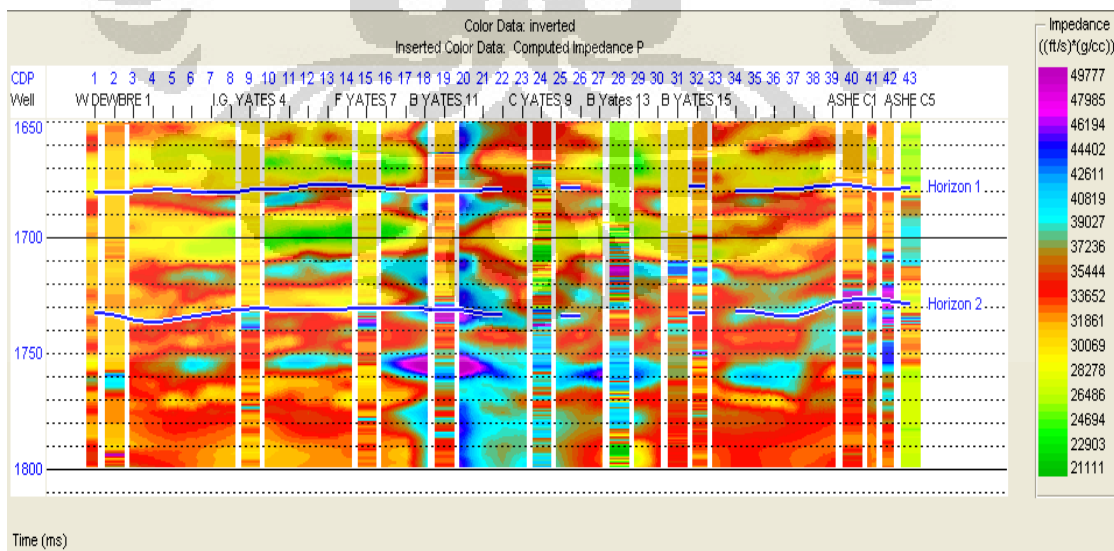
Dari hasil tersebut, terlihat bahwa nilai error masih cukup besar. Walaupun trend dari grafik inversi dan nilai log yang sebenarnya cukup match, nilai error masih relatif besar.

Sumur	Error Calculation	Koefisien Korelasi
ASHE C1	3808.65	0.76062
ASHE C4	3109.32	0.903534
ASHE C5	3487.39	0.862694
B YATES 11	4242.02	0.888796
B YATES 13	3858.82	0.873359
B YATES 15	2849.15	0.791688
B YATES 18D	3641.39	0.803002
C YATES 9	4014.65	0.610417
F YATES 7	5239.15	0.860498
I.G. YATES 4	3747.87	0.936625
W DEWBRE 1	1997.84	0.874509

Tabel 4.1 Analisa 11 Buah Sumur Metode *Band Limit*

#### 4.1.2 Hasil

Berikut adalah hasil dari inversi metode *band limit* dari model yang dibuat dari sebelas buah sumur.



Gambar 4.2 Hasil Inversi Metode *Band Limit* 11 Buah Sumur Model *Running Average*

Dari hasil inversi diatas terlihat bahwa inversi model *band limit* kurang begitu bagus dalam menginversi hasil seismik. Inversi ini merupakan inversi yang paling dasar, dan hanya ada sedikit perbedaan dengan dekonvolusi klasik. Inversi ini langsung menginversi dari *trace* seismik, secara rekursif dari lapisan yang paling atas berlanjut ke lapisan dibawahnya.

Data seismik yang terekam di lapangan merupakan data yang sudah hilang kandungan frekuensi rendah dan tingginya. Frekuensi data seismik berkisar antara 10 – 60 Hz. Maka dalam data seismik tidak terdapat kandungan data yang mempunyai frekuensi kurang dari 10 Hz dan lebih dari 60 Hz. Sehingga data seismik yang didapat dari lapangan merupakan data yang bersifat *band limit*.

Istilah inversi *band limit* sendiri berasal dari sifat data seismik itu sendiri, dimana jika data seismik tersebut ditransformasikan dari spektrum *wavelet* fungsi waktu menjadi spektrum *wavelet* fungsi frekuensi, maka *band* yang berarti panjang ikat kurva frekuensi tersebut menjadi terbatas, karena tidak adanya kandungan frekuensi rendah dan tinggi.

Minimnya informasi frekuensi dalam data seismik menjadi penyebab utama kelemahan dalam metode inversi ini. Selain itu data seismik yang terekam dari lapangan juga mengandung *random noise*. Hal ini juga mempengaruhi hasil inversi yang kurang begitu bagus. Sebab dalam metode ini kegiatan inversi dilakukan secara rekursif. Sehingga jika terjadi penyimpangan di lapisan atas, maka penyimpangan itu akan semakin besar ke lapisan dibawahnya.

Dalam gambar hasil inversi ini terlihat bahwa di beberapa spot tidak terlihat kemenerusan. Pada horizon 1 terlihat adanya indikasi nilai impedansi yang cukup tinggi, yang ditunjukkan dengan warna biru muda. Namun indikasi ini tidak terlihat pada penampang impedansi sumur. Warna biru muda tersebut justru bertabrakan dengan warna kuning.

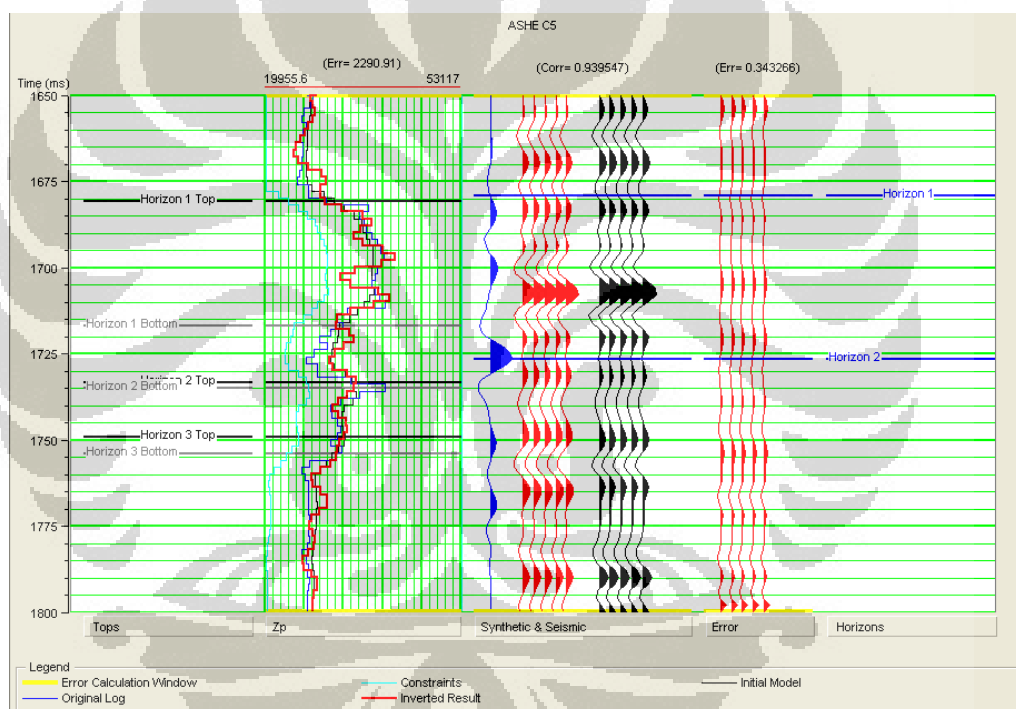
Selain itu inversi ini juga menghasilkan nilai *error calculation* yang cukup besar dan nilai koefisien korelasi yang relatif kecil. Tingginya nilai *error calculation* kemungkinan besar disebabkan oleh minimnya data frekuensi yang terkandung dalam rekaman seismik di lapangan.

## 4.2 Metode Inversi *Model Based*

Selanjutnya digunakan metode inversi seismik yang kedua, yaitu metode *model based*. Metode ini merupakan algoritma kedua yang digunakan untuk melakukan kegiatan inversi seismik. Metode ini menginversi langsung dari model geologi yang dibuat.

### 4.2.1 Analisa

Analisa dilakukan dengan model geologi yang dibuat dengan menggunakan 11 buah sumur.



Gambar 4.3 Analisa Metode *Model Based* 11 Buah Sumur Pada Sumur ASHE C5

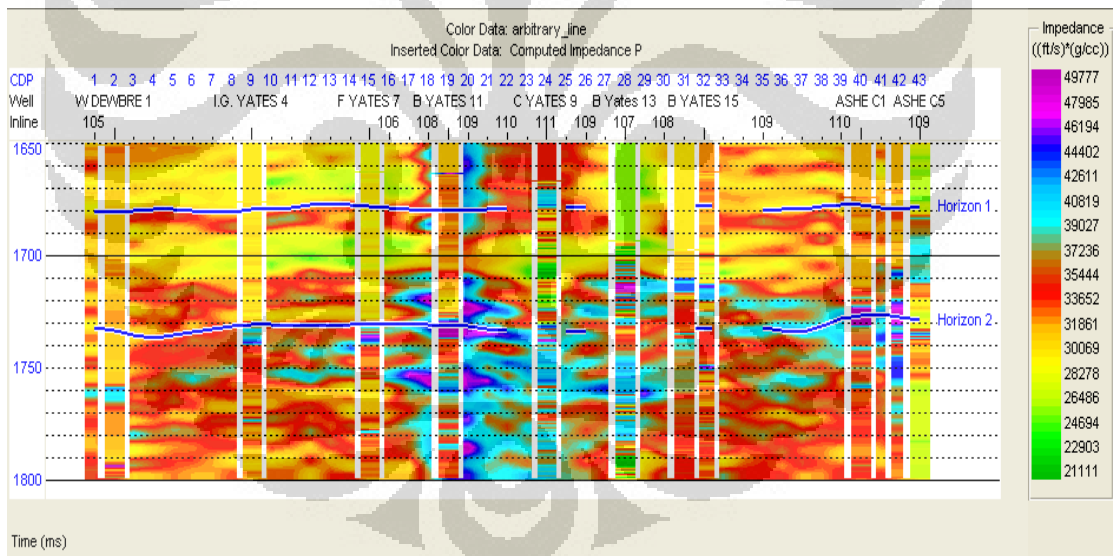
Dengan tersedia banyak data, yaitu 11 buah sumur, menjadikan analisa yang dilakukan menjadi begitu bagus, dengan nilai *error calculation* berkisar 2000 dan koefisien korelasi mencapai nilai 0,9. Sejauh ini nilai koefisien korelasi tersebut merupakan nilai yang paling besar.

Sumur	Error Calculation	Koefisien Korelasi
ASHE C1	3190.77	0.91366
ASHE C4	2170.78	0.951348
ASHE C5	2290.91	0.939547
B YATES 11	3373.21	0.951792
B YATES 13	3761.57	0.952409
B YATES 15	2707.08	0.904185
B YATES 18D	2675.16	0.878424
C YATES 9	3041.38	0.754166
F YATES 7	3941.66	0.95509
I.G. YATES 4	2374.97	0.94897
W DEWBRE 1	2112.4	0.936683

Tabel 4.2 Analisa 11 Buah Sumur Metode *Model Based*

#### 4.2.2 Hasil

Berikut adalah hasil dari inversi metode *band limit* dari model yang dibuat dari satu buah sumur, lima buah sumur dan sebelas buah sumur.



Gambar 4.4 Hasil Inversi Metode *Model Based* 11 Buah Sumur Model *Running Average*

Hasil Inversi dari metode *model based* bisa dikatakan paling baik dari ketiga buah metode yang digunakan. Inversi *model based* dilakukan dengan menginversi langsung dari model geologi yang dibuat, bukan menginversi dari data seismik. Hal ini memungkinkan proses inversi menjadi lebih baik.

Model geologi yang dibuat sudah memasukkan unsur model frekuensi rendah. Model geologi tersebut diharapkan merupakan gambaran struktur bawah permukaan bumi yang sebenarnya. Karena metode ini langsung menginversi dari model geologi tersebut, maka hasil yang didapat merupakan hasil inversi dari model struktur bawah permukaan bumi yang sebenarnya.

Pada prinsipnya metode ini membandingkan hasil inversi dari *trace* sebenarnya dengan *trace* model sintetik. Hasil perbandingan tersebut merupakan nilai matematis hubungan antara data dan model secara matriks. Metode ini mengukur tingkat kesalahan antara model dan data. Perhitungan tingkat kesalahan tersebut dilakukan terus-menerus secara iterasi sampai mendapatkan tingkat kesalahan yang terkecil. Pada akhirnya didapatkan hasil inversi yang mempunyai tingkat kesalahan antara *trace* seismik sebenarnya dengan *trace* seismik model sintetik yang paling kecil.

Metode *model based* ini juga memberikan pengaruh yang cukup positif. Terlihat dari distribusi nilai impedansi yang cukup berkorelasi antara data sumur dengan hasil inversi. Pada sumur B YATES 11, C YATES 9, dan B YATES 13, kemenerusan pada nilai impedansi tinggi cukup terlihat pada kedalaman dibawah 1700 ms. Kemenerusan nilai impedansi tinggi tersebut ditunjukkan dengan warna biru muda.

Namun masih ada beberapa lokasi yang terlihat kurang berkorelasi. Ini jelas terlihat pada sumur W DEWBRE 1, I.G. Yates 4, dan F YATES 7 pada kedalaman 1650 – 1700 ms. Kemenerusan lapisan impedansi yang ditunjukkan oleh warna orange tidak terlihat. Sumur-sumur yang ada tidak berkorelasi dengan lapisan yang berwarna orange tersebut.

Untuk keperluan interpretasi lebih lanjut, inversi dengan menggunakan metode *model based* sangat dianjurkan. Dalam mengkarakterisasi reservoir, metode inversi model based merupakan pilihan yang sangat tepat.

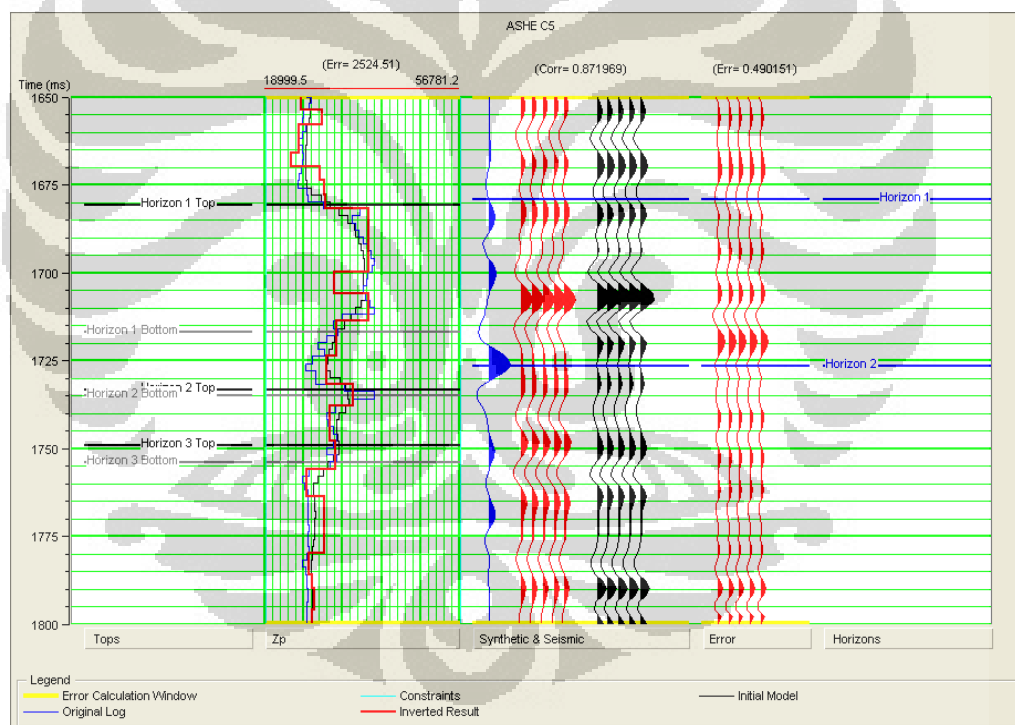
Efek model frekuensi rendah memberikan gambaran yang nyata terhadap hasil inversi. Dengan memasukkan unsur frekuensi rendah yang didapat dari data sumur, maka hasil inversi *model based* merupakan metode yang dapat memberikan hasil inversi yang paling baik.

### 4.3 Metode Inversi *Sparse Spike*

Metode inversi yang terakhir merupakan metode *sparse spike*. Seperti yang telah dilakukan sebelumnya, dalam metode ini pun dilakukan analisa dari seluruh model dengan menggunakan seluruh algoritma, kemudian dianalisa kembali hasil inversi tiap-tiap model.

#### 4.3.1 Analisa

Analisa dilakukan dengan model geologi yang dibuat dari 11 buah sumur. Setelah analisa dilakukan maka didapatkan model dengan algoritma running average yang paling baik.



Gambar 4.5 Analisa Metode *Sparse Spike* 11 Buah Sumur Model *Running Average*

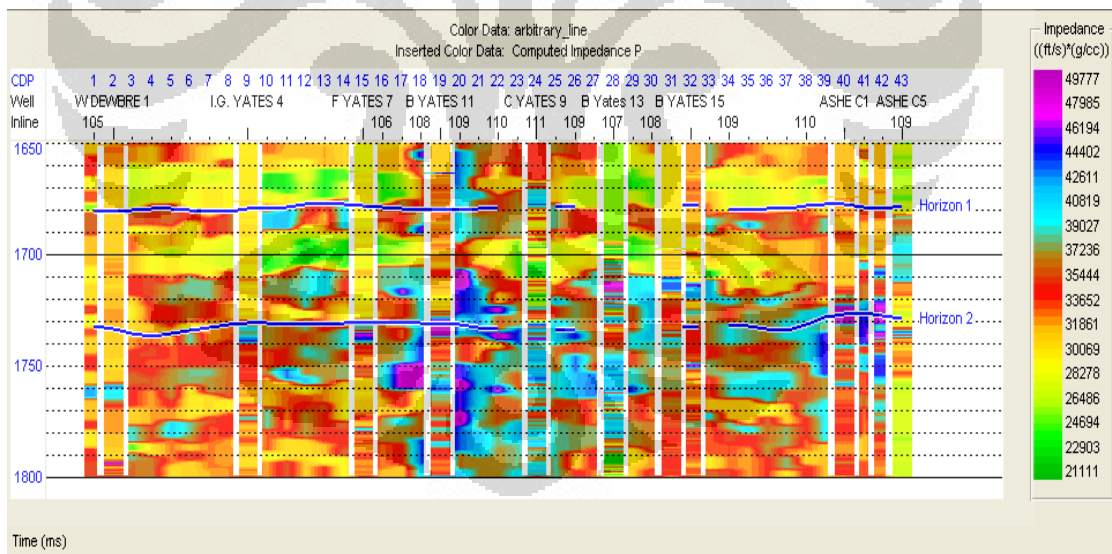
Model *running average* memberikan hasil yang cukup baik pada analisa. Banyaknya data sumur sangat mempengaruhi besarnya nilai analisa yang didapat.

Sumur	Error Calculation	Koefisien Korelasi
ASHE C1	3753.65	0.779027
ASHE C4	2887.89	0.860871
ASHE C5	2524.51	0.871969
B YATES 11	4420.66	0.88444
B YATES 13	4724.9	0.887363
B YATES 15	3452.7	0.791564
B YATES 18D	4891.92	0.826871
C YATES 9	4331.17	0.604975
F YATES 7	5595.25	0.857221
I.G. YATES 4	4478.24	0.938344
W DEWBRE 1	2761.3	0.820231

Gambar 4.3 Analisa 11 Buah Sumur Metode *Spare Spike*

#### 4.3.2 Hasil

Berikut adalah hasil dari inversi metode *sparse spike* dari model yang dibuat dari sebelas buah sumur.



Gambar 4.6 Hasil Inversi Metode *Sparse Spike* 11 Buah Sumur Model *Running Average*

Metode inversi *sparse spike* merupakan metode yang menginversi trace seismik yang terlebih dahulu dirubah menjadi spike-spike. Nilai dari koefisien refleksi merupakan bentuk umum dari spike. Sehingga metode ini langsung

menginversi dari nilai koefisien refleksi yang didapat dari data seismik. Nilai-nilai dari koefisien refleksi tersebut pada dasarnya adalah sifat karakter asli dari suatu batuan, karena koefisien refleksi erat kaitannya dengan impedansi akustik.

Metode ini cukup memberikan hasil yang memuaskan, namun tidak semaksimal dengan hasil yang diberikan oleh metode *model based*. Seperti kedua buah metode inversi sebelumnya, metode ini juga tidak mampu memberikan kemenerusan nilai impedansi pada kedalaman 1650 – 1700 ms, yang ditunjukkan dengan warna orange.

Ketidak menerusan itu jelas terlihat pada sumur I.G. YATES 4 dan F YATES 7. Pada kedua buah sumur tersebut sangat jelas warna kuning dan biru muda saling bertabrakan.

Namun pada kedalaman dibawah 1700 ms, sama dengan kedua metode inversi sebelumnya, metode ini mampu memberikan gambaran yang cukup baik. Kemenerusan nilai impedansi yang ditunjukkan dengan warna biru muda cukup terlihat.

Metode ini juga menginversi terlalu detail. Nilai distribusi impedansi akustik hasil inversinya sangat detail. Hal ini kemungkinan disebabkan karena metode ini menginversi dari koefisien refleksi yang dirubah kedalam bentuk spike. Detail dari metode ini terlihat dari munculnya warna-warna biru muda yang tidak dapat ditunjukkan oleh hasil inversi dari kedua buah metode sebelumnya.

Hasil yang terlalu detail yang ditampilkan oleh metode ini justru menyulitkan para interpreter untuk melakukan interpretasi seismik. Kesulitan-kesulitan tersebut antara lain, sulit untuk melakukan *picking horizon* dengan *smooth*. Lalu untuk menganalisa kemenerusan sebuah lapisan batuan.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Algoritma *running average* merupakan algoritma yang paling baik dalam melakukan proses pemodelan model geologi, lalu diikuti oleh algoritma *frequency cut off*. Kedua algoritma tersebut dapat memberikan gambaran geologi yang cukup akurat.
2. Metode *model based* merupakan metode yang paling baik digunakan dalam melakukan proses inversi, dengan nilai *error corelationnya* sangat rendah hanya berkisar 1000 dan nilai koefisien korelasinya yang cukup besar mencapai kisaran 0,9. Sebaliknya metode *band limit* merupakan metode yang paling buruk digunakan dalam melakukan poses inversi, dengan nilai *error corelationnya* sangat tinggi berkisar 3000 dan nilai koefisien korelasinya yang sangat rendah hanya berkisar 0,7.
3. Untuk mencapai hasil yang maksimal diperlukan data penunjang, dalam hal ini data sumur, yang relatif banyak.

#### 5.2 Saran

1. Sebelum melakukan proses inversi, sebaiknya diketahui terlebih dahulu apakah informasi mengenai log yang terdapat pada sumur sudah lengkap atau belum.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan data sumur yang lebih banyak, dan menggunakan data *sonic log* yang bukan merupakan hasil tranrformasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Russel, Brian H, 1998. *Introduction to Seismic Inversion*. SEG. Tulsa.
- Sukmono, Sigit, 2000. *Seismik Inversi Untuk Karakterisasi Reservoir*. Jurusan Teknik Geofisika. Itb. Bandung.
- Haris, Abd., 2004. *Panduan Kuliah Seismik Eksplorasi*. Universitas Indonesia, Depok
- Sheriff, R.E., and Geidart, L.P., 1995. *Exploration Seismology 2<sup>nd</sup> Edition*. Cambridge University Press. Tulsa.
- Munadi, Suprajitno., 2005. *Pengantar Geofisika*. Program Pasca Sarjana Fisika Kekhususan Geofisika Reservoir. Universitas Indonesia, Depok.
- Hampson – Russel Software Service, Ltd., 2000. *Strata Tutorial*.

## LAMPIRAN A

### TRANSFORMASI FOURIER

Transformasi Fourier untuk fungsi  $x(t)$  didefinisikan dengan persamaan integral :

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp(-i\omega t) dt \quad \text{A.1}$$

Dimana  $\omega$  adalah transformasi Fourier ganda untuk variabel  $t$ . Jika  $t$  adalah waktu, maka  $\omega$  adalah frekuensi sudut. Frekuensi sesaat  $f$  berhubungan dengan  $\omega$  melalui persamaan  $\omega = 2\pi f$ . Transformasi Fourier dapat berkebalikan, sehingga

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) \exp(i\omega t) d\omega \quad \text{A.2}$$

Untuk transformasi maju, tanda pada eksponen adalah negative jika variabelnya waktu ( $t$ ) dan positif jika variabelnya adalah ruang ( $x$ ). Dan tentu saja, transformasi inversi kebalikan daripada transformasi maju. Untuk memudahkan, faktor skala pada pers. B.1 dan B.2 diabaikan.

Secara umum,  $X(\omega)$  adalah fungsi kompleks. Dengan menggunakan kelengkapan dari fungsi kompleks,  $X(\omega)$  dapat diekspresikan dengan dua fungsi frekuensi yang berbeda :

$$X(\omega) = A(\omega) \exp[i\phi(\omega)] \quad \text{(A.3)}$$

dimana  $A(\omega)$  dan  $\phi(\omega)$  adalah spektra amplitudo dan fase. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan :

$$A(\omega) = [X_r^2(\omega) + X_i^2(\omega)]^{1/2} \quad \text{(A.4.a)}$$

$$\phi(\omega) = \arctan [X_i(\omega) / X_r(\omega)] \quad \text{(A.4.b)}$$

dimana  $X_r(\omega)$  dan  $X_i(\omega)$  adalah bagian riil dan imajiner dari transformasi Fourier  $X(\omega)$ . Dimana  $X(\omega)$  dapat dituliskan dengan komponen riil dan imajiner :

$$X(\omega) = X_r(\omega) + i X_i(\omega) \quad \text{(A.5)}$$

dan bandingkan dengan pers. B.3, dengan catatan :

$$X_r(\omega) = A(\omega) \cos \phi(\omega) \quad \text{(A.6.a)}$$

dan

$$X_i(\omega) = A(\omega) \sin \phi(\omega) \quad (\text{A.6.b})$$

Transformasi Fourier 2-D untuk medan gelombang  $P(x, t)$  adalah

$$P(k_x, \omega) = \iint P(x, t) \exp(ik_x x - i\omega t) dx dt \quad (\text{A.7})$$

Fungsi  $P(x, t)$  dapat direkonstruksi dari  $P(k_x, t)$  dengan transformasi Fourier inversi 2-D yaitu :

$$P(x, t) = \iint P(k_x, \omega) \exp(-ik_x x + i\omega t) dk_x dt \quad (\text{A.8})$$

Integral pada pers. B.7 dapat ditulis dengan dua langkah. Pertama, dengan transformasi Fourier pada  $t$  :

$$P(x, \omega) = \int P(x, t) \exp(-i\omega t) dt \quad (\text{A.9})$$

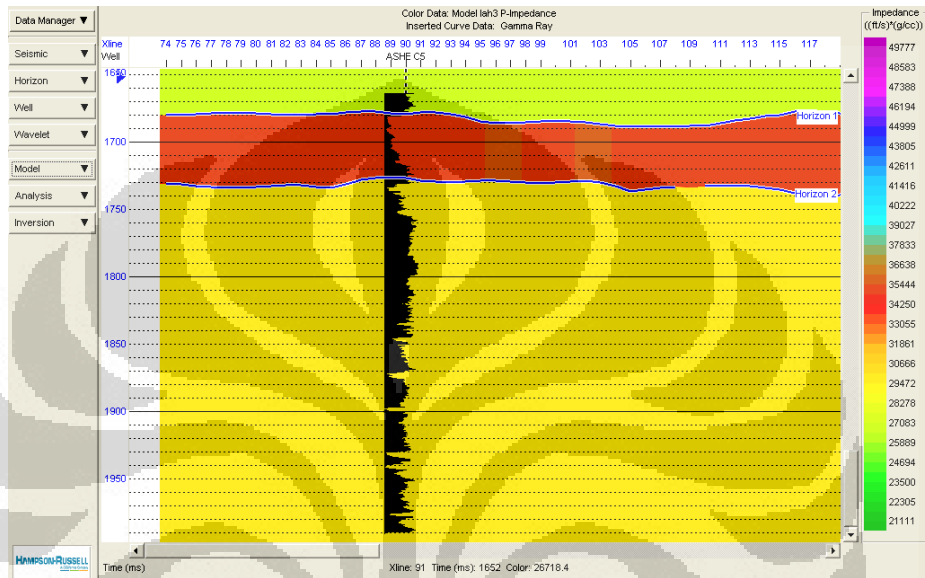
kemudian transformasi Fourier pada  $x$ , didapatkan transformasi 2-D :

$$P(k_x, \omega) = \int P(x, \omega) \exp(ik_x x) dx \quad (\text{A.10})$$

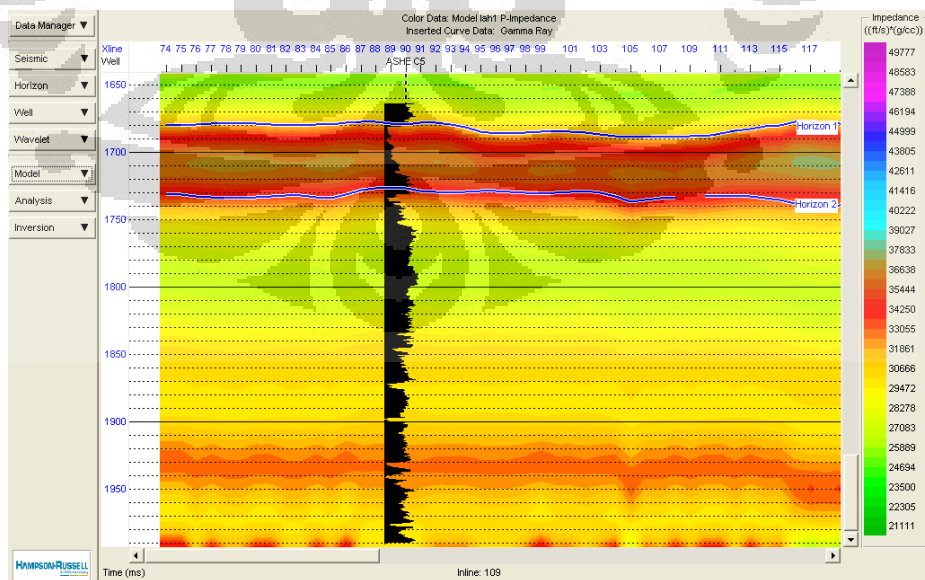
# LAMPIRAN B

## MODEL BUMI BERBAGAI ALGORITMA

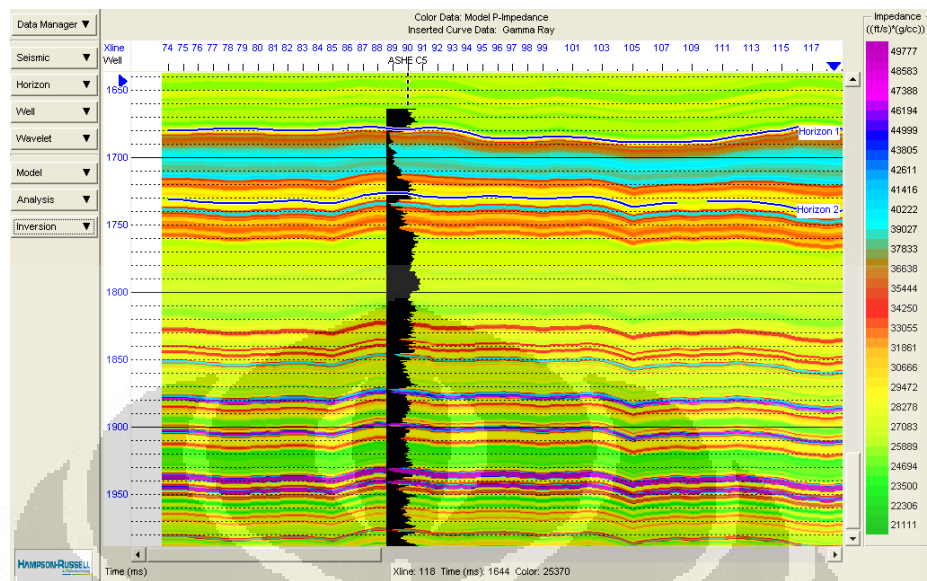
### B.1 Sumur Ashe C5



Gambar B.1 Model Sumur Ashe C5 Dengan *Blocked Model Average*

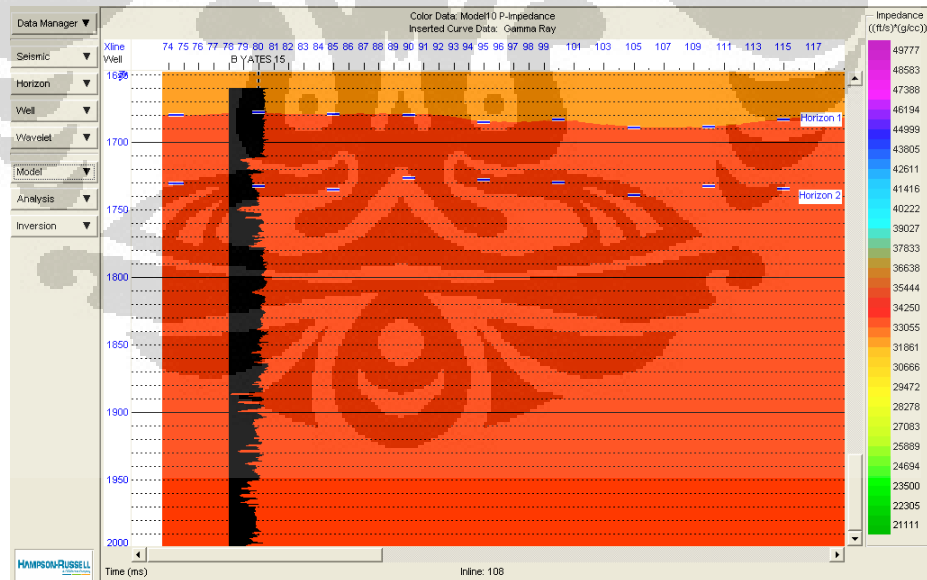


Gambar B.2 Model Sumur Ashe C5 Dengan *Frequency Cut Off*

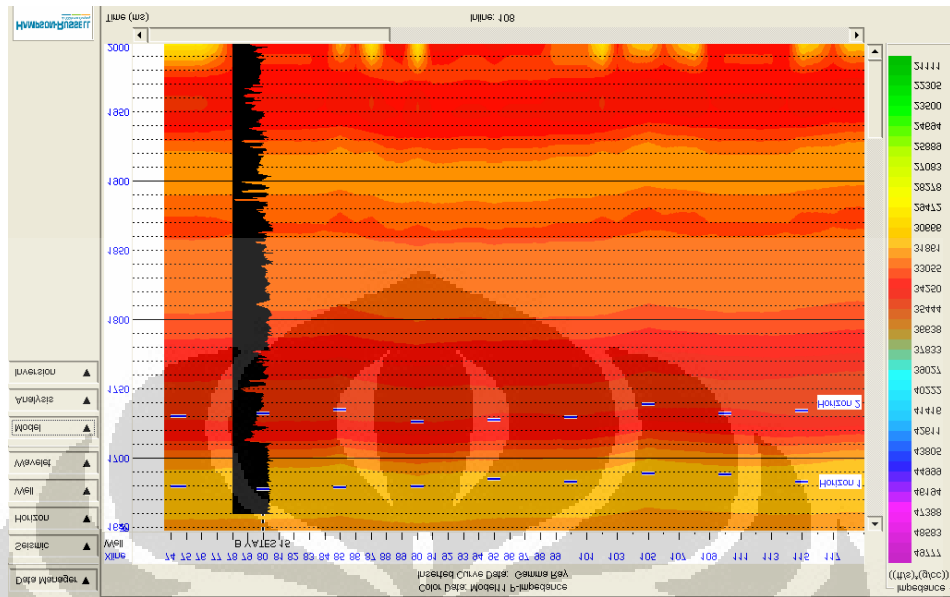


Gambar B.3 Model Sumur Ashe C5 Dengan *No Filter*

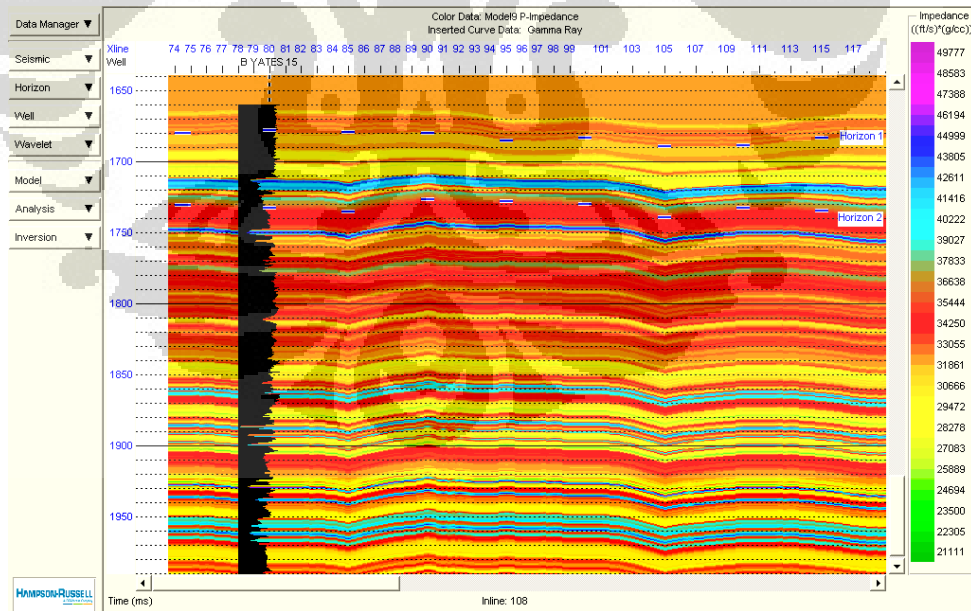
## B.2 Sumur B Yates 15



Gambar B.4 Model Sumur B Yates 15 Dengan *Blocked Model Average*

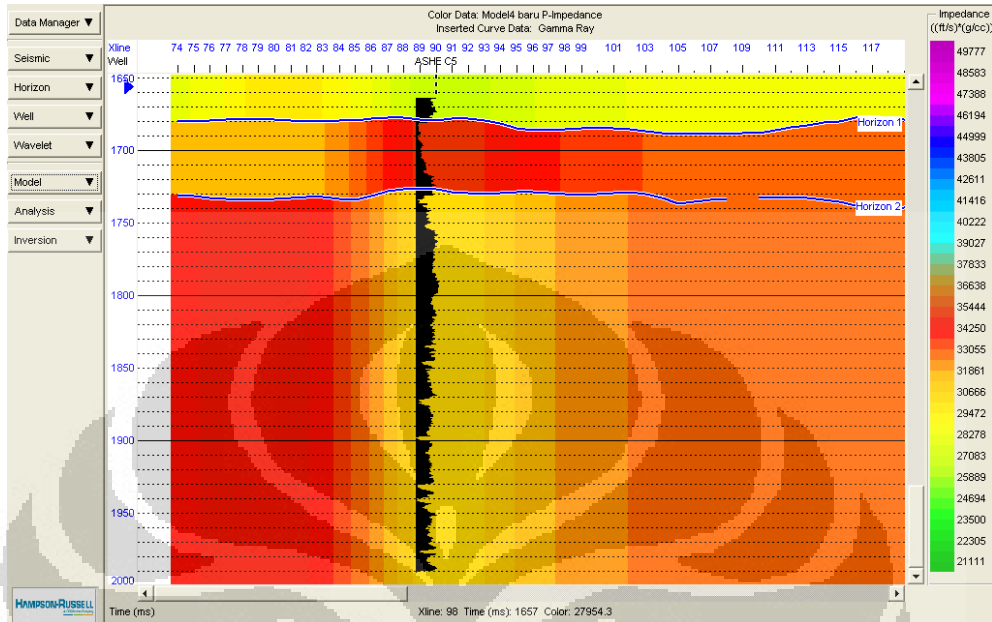


Gambar B.5 Model Sumur B Yates 15 Dengan *Frequency Cut Off*

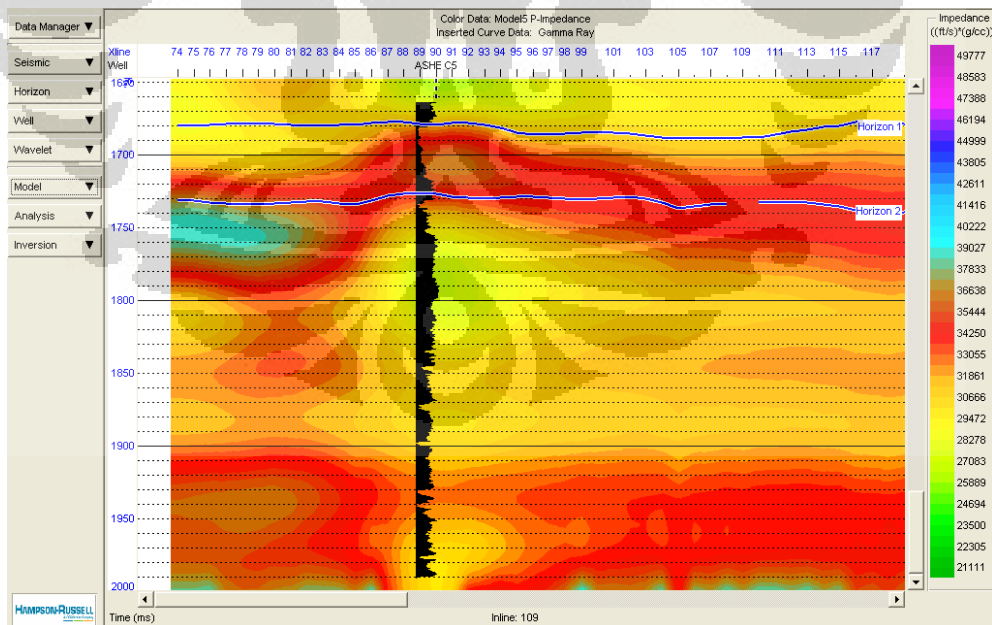


Gambar B.6 Model Sumur B Yates 15 Dengan *No Filter*

### B.3 Lima Buah Sumur

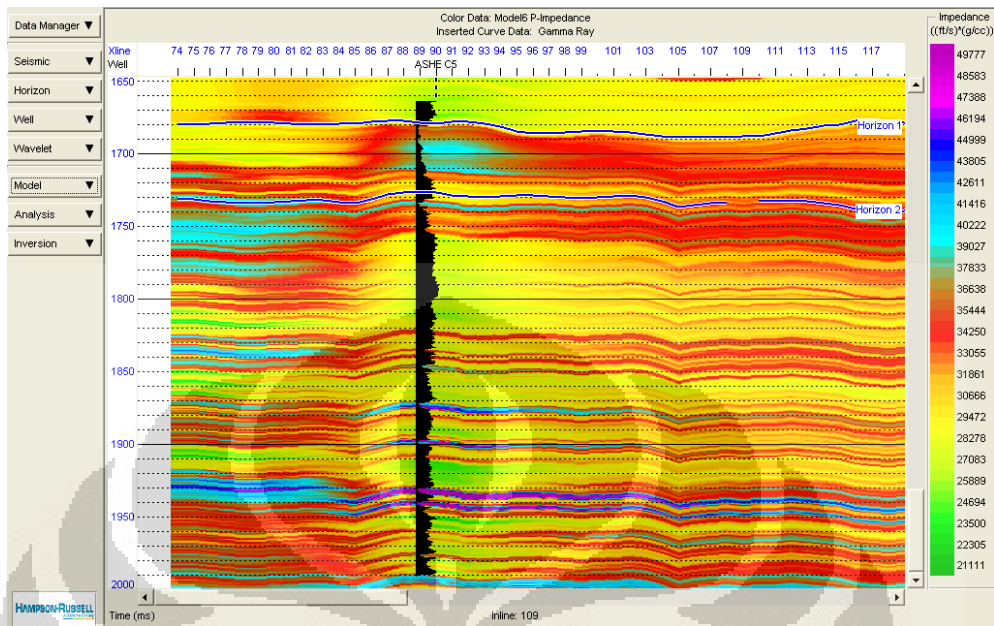


Gambar B.7 Model Lima Buah Sumur Dengan *Blocked Model Average*



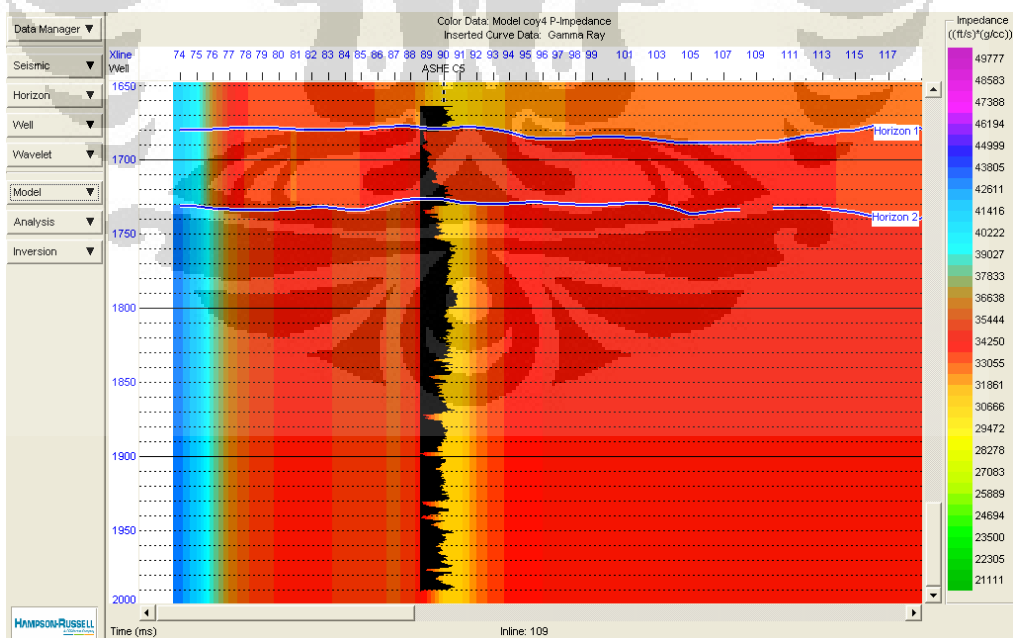
Gambar B.8 Model Lima Buah Sumur Dengan *Frequency Cut Off*



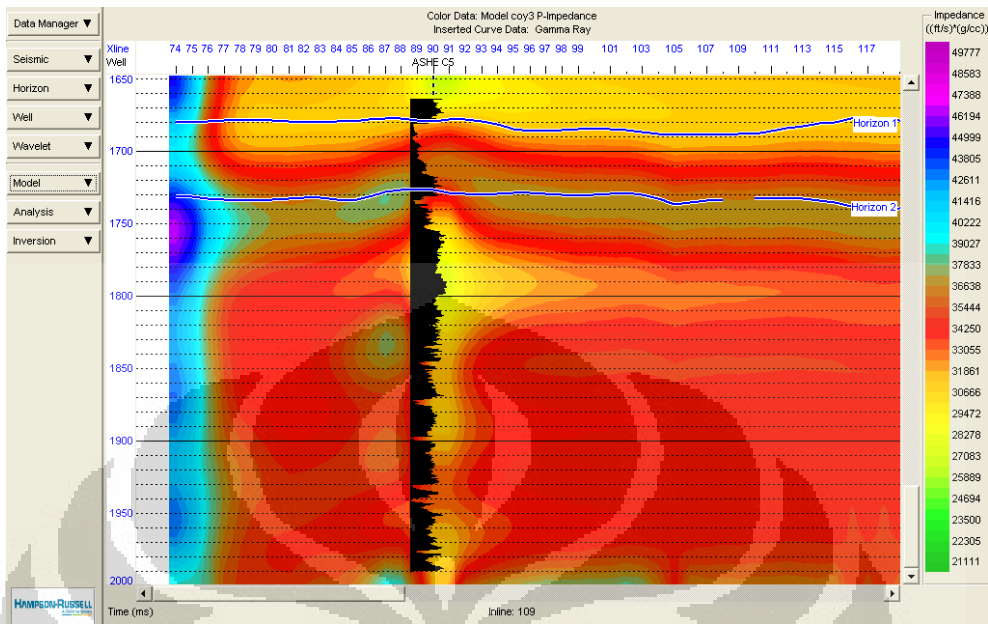


Gambar B.9 Model Lima Buah Sumur Dengan *No Filter*

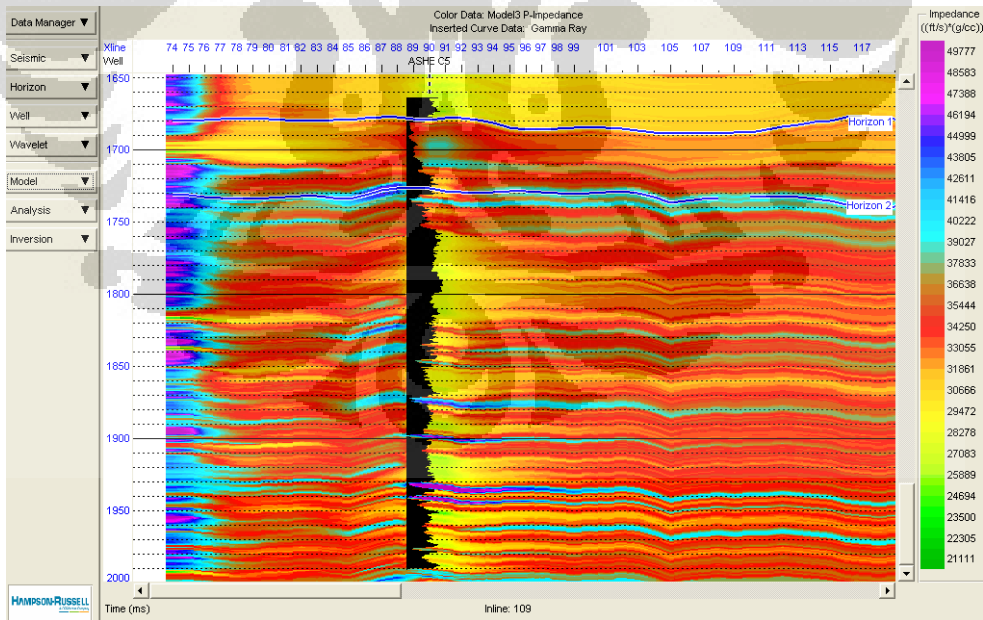
#### B.4 Sebelas Buah Sumur



Gambar B.10 Model Sebelas Buah Sumur Dengan *Blocked Model Average*



Gambar B.11 Model Sebelas Buah Sumur Dengan *Frequency Cut Off*



Gambar B.12 Model Sebelas Buah Sumur Dengan *No Filter*