



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KARAKTERISASI RESERVOAR MIGAS  
LAPANGAN BOONSVILLE MENGGUNAKAN  
KOMBINASI INVERSI SEISMİK DAN GEOSTATISTIK**

**SKRIPSI**

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

**SANDI WIBISONO**

**0304020663**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

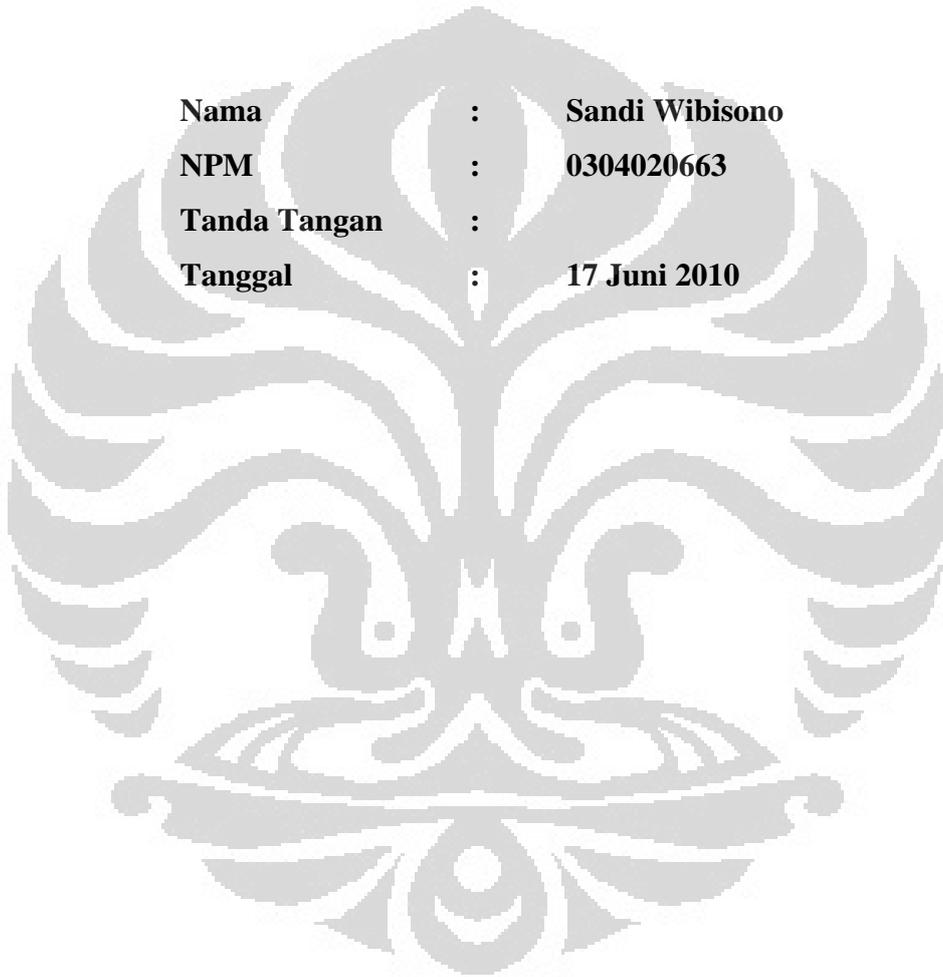
**DEPOK**

**JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Sandi Wibisono**  
**NPM : 0304020663**  
**Tanda Tangan :**  
**Tanggal : 17 Juni 2010**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : SANDI WIBISONO  
NPM : 0304020663  
Program Studi : GEOFISIKA  
Judul Skripsi : KARAKTERISASI RESERVOAR MIGAS LAPANGAN  
BOONSVILLE MENGGUNAKAN KOMBINASI  
INVERSI SEISMIK DAN GEOSTATISTIK

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

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

Penguji I : Dr. Yunus Daud, M.Sc. ( )

Penguji II : Dr. Supriyanto ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 17 Juni 2010

## KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT atas limpahan hidayah, taufik, dan keberkahan ilmu kepada penulis, sehingga penulis dapat merampungkan laporan tugas akhir yang berjudul: **“Karakterisasi Reservoir Migas Lapangan Boonsville Menggunakan Kombinasi Inversi Seismik dan Geostatistik”** dengan baik. Shalawat serta salam senantiasa terlimpah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta segenap keluarga, sahabat dan pengikut setia beliau hingga hari kemudian.

Laporan tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar kesarjanaan di Departemen Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sulitlah kiranya bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, dari hati yang paling dalam penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. rer. nat. Abdul Haris, M.Sc., selaku Pembimbing Tugas Akhir yang disela-sela kesibukannya telah rela mengorbankan banyak waktunya untuk memberikan pengarahan dan pengertian kepada penulis.
2. Pihak PT. Spectratama Nusantara yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data serta penggunaan fasilitas yang saya perlukan.
3. Bapak Dr. Santoso, selaku ketua Departemen Fisika FMIPA UI
4. Bapak Dr. Yunus Daud, M.Sc., selaku penguji I dan Ketua Program peminatan Geofisika FMIPA UI, yang telah memberikan arahan semenjak penulis menapakkan kaki di peminatan geofisika.
5. Bapak Dr. Supriyanto, selaku penguji II atas waktunya untuk berdiskusi dan segala masukan serta koreksinya dalam laporan tugas akhir ini
6. Bapak Dr. Azwar Manaf, selaku ketua sidang yang telah membantu dalam sidang skripsi penulis.
7. Kedua orang tua, Bapak dan Mamak, Lek Kamto dan Bulek Tami, serta saudara-saudara atas doa dan dukungannya selama penulis mengerjakan Tugas Akhir ini.

8. Ng Bei Berger, S.Si., serta Gayatri, S.Si. yang telah memberikan pengarahan teknis kepada penulis.
9. Rekan-rekan seperjuangan di Puri Sawangan Depok, Andy Sagita, Abdul, Aryo, Ipin, Rifki, Nabul, Arfi, Novi, dan teman-teman S1 reguler 2004 yang selalu memberikan dukungan serta banyak informasi berharga kepada penulis.
10. Jajaran Staf Departemen Fisika UI, mbak Ratna, mas Mardi, yang selalu memberikan petunjuk administrasi yang sangat membantu penulis.
11. Jajaran karyawan Departemen Fisika UI, atas bantuan teknis yang penulis peroleh selama menjadi mahasiswa Fisika UI.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih banyak atas dukungannya.

Semoga Allah membalas jasa semua pihak tersebut diatas dengan sebaik-baik balasan. Penulis juga menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu perlulah kiranya saran dan kritik yang membangun demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga laporan ini membawa manfaat baik bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

**Penulis**

2010

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Sandi Wibisono

NPM : 0304020663

Program Studi : Geofisika

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam

Jenis karya : Skripsi

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

### **Karakterisasi Reservoir Migas Lapangan Boonsville Menggunakan Kombinasi Inversi Seismik dan Geostatistik**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 17 Juni 2010

Yang menyatakan

( Sandi Wibisono )

## ABSTRAK

Nama : Sandi Wibisono  
Program studi : Geofisika  
Judul : Karakterisasi Reservoir Migas Lapangan Boonsville  
Menggunakan Kombinasi Inversi Seismik dan Geostatistik.

Karakterisasi Reservoir pada Lapangan Migas “Boonsville” telah dilakukan menggunakan metode inversi seismik dan metode geostatistik. Kedua teknik tersebut saling melengkapi dimana metode inversi seismik mengacu pada data seismik sedangkan metode geostatistik mengacu pada data sumur. Dengan mengintegrasikan konsep inversi seismik dan geostatistik dapat dipetakan distribusi reservoir secara lateral. Pada studi ini, teknik inversi seismik yang digunakan adalah teknik inversi “*Model Based*”, sedangkan teknik geostatistik yang digunakan adalah teknik “*Kriging*” dan “*Co-Kriging*”. Teknik integrasi ini diaplikasikan pada data seismik 3D yang memiliki cakupan 133 inline (74 – 206), dan 97 xline (105 – 201). Data sumur yang digunakan adalah tujuh sumur yang memiliki log densitas dan log sonic. Hasil integrasi kedua teknik tersebut memperlihatkan pola persebaran reservoir dengan trend berarah dari barat daya ke timur laut.

Kata Kunci : Inversi Seismik, Impedansi Akustik (IA), Geostatistik.  
xiii+59 halaman ; 41 gambar; 2 tabel  
Daftar Pustaka : 14 (1973 – 2007)

## ABSTRACT

Name : Sandi Wibisono  
Study Program: Geophysics  
Title : Characterization of Boonsville Oil and Gas Field Reservoir  
Using Combination of Seismic Inversion dan Geostatistic  
Method.

Reservoir characterization of “Boonsville” Oil and Gas field has been carried out using seismic inversion and geostatistic method. These methods are completing each other, in which seismic inversion method is referring to seismic data, while geostatistic method is referring to well data. By integrating both seismic inversion and geostatistic methods, lateral reservoir distribution map could be generated. In this study, the seismic inversion is performed by using “*Model Based*” inversion algorithm, while the geostatistic is carried out by using “*Kriging*” and “*Co-Kriging*” technique. This integrating technique is applied to 3D seismic data, which consists of 133 inline (74 – 206), and 97 xline (105 – 201). The well data set consists of seven wells, which is completed by sonic and density log. The result of both methods are showing reservoir distribution trend on south-west to north-east direction.

Key Words : Seismic Inversion, Acoustic Impedance (AI), Geostatistic.  
xiii+59 pages ; 41 pictures; 2 tables  
Bibliography : 14 (1973 – 2007)

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>BAB 1. 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 .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN UMUM KONDISI GEOLOGI</b>	
2.1. Geologi Regional .....	6
2.2. Susunan Reservoar .....	8
2.3. Karakteristik Reservoar .....	10
2.4. Struktur dan Stratigrafi .....	12
<b>BAB 3. TEORI DASAR</b>	
3.1. Konsep Dasar Seismik Refleksi .....	14
3.1.1. Impedansi Akustik .....	16
3.1.2. Koefisien Refleksi .....	16
3.1.3. Wavelet .....	17
3.1.4. Survei <i>Checkshot</i> .....	18
3.2. Konsep Dasar Metode Inversi Seismik .....	19
3.2.1. Sismogram Sintetik .....	21
3.2.2. Metode Inversi <i>Model Based</i> .....	22
3.3. Konsep Dasar Metode Geostatistik .....	25
3.3.1. Variogram .....	27
3.3.2. Metode Geostatistik <i>Kriging</i> .....	28
3.3.3. Metode Geostatistik <i>Cokriging</i> .....	30
3.3.4. Metode Geostatistik <i>Collocated Cokriging</i> .....	31
<b>BAB 4. DATA DAN PENGOLAHAN DATA</b>	
4.1. Persiapan Data .....	33
4.1.1. Data Seismik .....	33

4.1.2. Data Sumur .....	35
4.2. Pengolahan Data Sumur .....	36
4.2.1. Interpretasi <i>Log</i> .....	36
4.2.2. <i>Checkshot Correction</i> .....	37
4.3. Metode Inversi Seismik .....	39
4.3.1. Ekstraksi Wavelet .....	39
4.3.2. Korelasi Data Seismik dengan Data Sumur.....	40
4.3.3. Korelasi Antar Data Sumur .....	42
4.3.4. <i>Crossplot</i> antara <i>Acoustic Impedance</i> dengan <i>Gamma Ray</i> ....	43
4.3.5. <i>Picking Horizon</i> .....	45
4.3.6. Pembuatan Model Geologi dari Metode Inversi Seismik .....	46
4.3.7. Analisis Inversi .....	47
4.4. Metode Geostatistik .....	48
<b>BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1. Metode Inversi .....	53
5.1.1. Impedansi Akustik Hasil Metode Inversi ( <i>Model Based</i> ) .....	53
5.2. Metode Geostatistik .....	55
5.2.1. Impedansi Akustik Hasil Metode Geostatistik .....	55
5.3. Analisis Perbandingan Hasil Impedansi Akustik .....	57
<b>BAB 5. KESIMPULAN</b> .....	59
<b>DAFTAR ACUAN</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Skema Umum Metode Inversi Seismik.....	4
Gambar 1.2.	Skema Umum Metode Geostatistik.....	4
Gambar 2.1.	Lokasi lapangan migas Boonsville di Wilayah Jack dan Wise, Texas .....	6
Gambar 2.2.	Kolom stratigrafi untuk <i>Fort Worth Basin</i> pada gambaran umum <i>post-Mississippian</i> .....	7
Gambar 2.3.	Urutan Pelapisan <i>Bend Conglomerate</i> , menurut <i>Railroad Commision of Texas</i> .....	9
Gambar 2.4.	Interval <i>net-pay</i> antara Caddo dan Vineyard pada area Boonsville.....	10
Gambar 2.5.	Distribusi <i>net hydrocarbon feet</i> antara sekuen Caddo dan Vineyard.....	11
Gambar 2.6.	Peta struktur waktu seismik menunjukkan topografi dari permukaan Kronostratigrafi Caddo.....	12
Gambar 3.1.	Proses Seismik Refleksi .....	14
Gambar 3.2.	Penjalaran Gelombang Melalui Dua Batas Medium .....	15
Gambar 3.3.	Jenis-Jenis <i>Wavelet</i> .....	17
Gambar 3.4.	Survei Checkshot .....	18
Gambar 3.5.	Skema Metode Inversi Seismik .....	21
Gambar 3.6.	Seismogram Sintetik yang didapat dengan mengkonvolusi- kan koefisien refleksi dengan wavelet.....	22
Gambar 3.7.	Diagram Metode Inversi <i>Model Based</i> .....	23
Gambar 3.8.	Perhitungan Empirik pada Variogram .....	28
Gambar 3.9.	Kriging memberikan estimasi nilai dari suatu titik lokasi sehingga hasilnya sesuai dengan model variogram yang diberikan .....	29
Gambar 3.10.	<i>Cokriging</i> dengan Menggunakan Data Sumur dan Seismik .....	31
Gambar 4.1.	Peta lokasi Sumur dalam Koordinat xline dan inline .....	33
Gambar 4.2.	Skema data seismik 3D .....	35
Gambar 4.3.	Peta Dasar Sumur Penelitian .....	36

Gambar 4.4.	Tampilan <i>Checkshot</i> Beberapa Sumur .....	37
Gambar 4.5.	Wavelet <i>Time Response</i> .....	39
Gambar 4.6.	Wavelet <i>Frequency Response</i> .....	39
Gambar 4.7.	<i>Seismic – Well Tie</i> Pada Sumur BYATES 13 .....	42
Gambar 4.8.	Korelasi Sumur Penelitian .....	43
Gambar 4.9.	<i>Crossplot Acoustic Impedance</i> dengan <i>Gamma Ray</i> .....	44
Gambar 4.10.	<i>Cross Section</i> Zonasi Litologi .....	45
Gambar 4.11.	<i>Picking Horizon</i> .....	45
Gambar 4.12.	Model Awal Bumi pada Xline 152 .....	46
Gambar 4.13.	Korelasi Data Hasil Inversi dengan Data <i>Original</i> -nya .....	47
Gambar 4.14.	Impedansi Akustik pada Sumur dari horizon H1 .....	49
Gambar 4.15.	<i>Slicing Amplitudo</i> pada Horizon H1 .....	49
Gambar 4.16.	<i>Well-to-Well Variogram</i> .....	50
Gambar 4.17.	<i>Seismic-to-Seismic Variogram</i> .....	51
Gambar 4.18.	<i>Well-to-Seismic Variogram</i> .....	51
Gambar 5.1.	Hasil Inversi <i>Model Based</i> pada Xline 143 .....	53
Gambar 5.2.	<i>Slicing Inversi Model Based</i> .....	54
Gambar 5.3.	Peta <i>Time Structure</i> .....	55
Gambar 5.4.	<i>Slicing</i> Geostatistik dengan Teknik <i>Cokriging</i> .....	56
Gambar 5.5.	Perbandingan Impedansi Akustik Hasil Inversi Dan Geostatistik .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Koordinat Keempat Sudut dari Area Survei Seismik 3D .....	34
Tabel 4.2.	Daftar nilai korelasi 7 sumur yang dipakai dalam penelitian .....	41

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Metode seismik merupakan salah satu metode pengukuran geofisika yang sering dipakai dalam mencari reservoir dari minyak bumi dan gas alam. Karena metode seismik adalah metode yang paling efisien. Berbeda dengan metode-metode Geofisika lainnya yang hasil *output*-nya berupa kontur perbedaan indikator nilai pengukuran biasa, hasil dari sebuah penampang seismik merupakan bayangan gambaran struktur bawah permukaan batuan yang dilakukan survey. Pada awalnya, metode ini hanya digunakan untuk memetakan geometri struktur jebakan hidrokarbon. Namun kemudian teknologi seismik kini berkembang ke arah seismik litologi dan petrofisika. Data seismik digunakan untuk memperkirakan litologi atau jenis batuan bawah permukaan, kandungan fluida beserta sifat-sifat fisiknya.

Selain sebagai informasi struktural keadaan *subsurface*, data seismik dalam pengembangan reservoir hidrokarbon juga mampu memberikan informasi mengenai litologi maupun kandungan fluida reservoir. Salah satu teknik pengembangan reservoir tersebut adalah inversi seismik. Dengan inversi seismik ini, kita dapat menggali informasi sifat fisik batuan reservoir secara langsung dari data seismik. Pada prinsipnya teknik inversi adalah menggantikan sinyal seismik kedalam blok respon yang berkaitan dengan lapisan impedansi akustik dan atau impedansi elastik, sehingga dengan bantuan teknik ini kita dapat melakukan interpretasi geologi dan litologi serta batas lapisan petrofisika bawah permukaan.

Metode inversi seismik sudah sering dipakai untuk mengidentifikasi karakteristik reservoir migas dengan menganalisis nilai Impedansi Akustik (IA). Inversi seismik dapat memberikan sifat fisik batuan reservoir dan menggambarkan lapisan-lapisan batuan bawah permukaan melalui profil Impedansi Akustik (IA). Nilai Impedansi Akustik (IA) hasil inversi seismik kemudian dikorelasikan dengan data sumur untuk mendapatkan persamaan empirik. Persamaan empirik ini

digunakan untuk mencari hubungan antara nilai impedansi akustik (IA) dengan sifat petrofisika batuan yang meliputi porositas, permeabilitas dan saturasi batuan.

Nilai Impedansi Akustik yang didapatkan pada proses inversi adalah nilai pada satu titik-titik tertentu, sedangkan yang dibutuhkan merupakan nilai keseluruhan batuan objektif maka diperlukan teknik untuk mengestimasi nilai kearah vertikal dan lateral. Metode yang digunakan untuk estimasi ini adalah Teknik Geostatistik. Teknik ini mengukur hubungan keruangan antar-nilai titik, sehingga didapatkan gambaran keruangan yang lebih objektif. Geostatistik memanfaatkan korelasi spasial dari suatu data yang terdistribusi dalam ruang untuk mengestimasi nilai pada suatu titik yang mempunyai jarak tertentu terhadap masing-masing data sampel yang ada. Korelasi spasial tersebut dinyatakan dalam bentuk variogram, sedangkan parameter-parameter variogram akan langsung berpengaruh pada hasil estimasi.

## 1.2 Tujuan Studi

Penelitian ini bertujuan:

1. Mempelajari prinsip dasar inversi seismik.
2. Mempelajari prinsip dasar geostatistik.
3. Menganalisa dan membandingkan nilai impedansi akustik hasil dari metode inversi dengan nilai impedansi akustik yang diperoleh melalui metode geostatistik.
4. Mengkombinasikan konsep inversi seismik dan geostatistik untuk mendapatkan pola penyebaran reservoir migas dengan nilai impedansi akustik yang lebih akurat.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan kajian pada studi ini maka dilakukan pembatasan pada beberapa hal:

1. Pengolahan data pada studi ini adalah pengolahan data lanjutan, yaitu pengolahan data inversi *poststack migration 3D* dari data lapangan “Boonsville”.

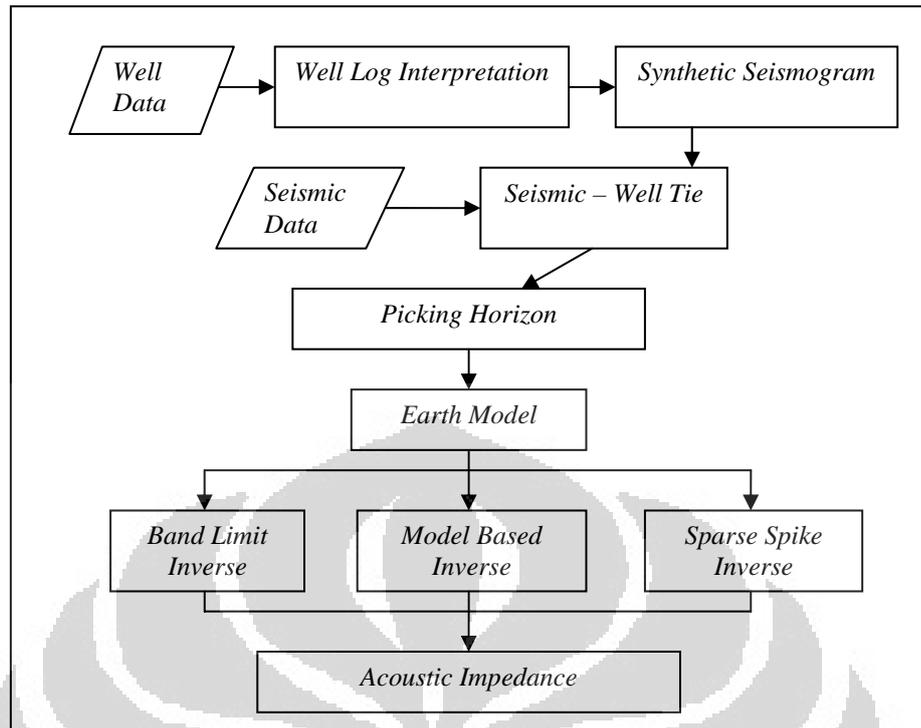
2. Metode yang digunakan adalah metode inversi menggunakan teknik inversi *model-based*, dengan membandingkan hasil dari metode geostatistik dengan teknik Kriging dan Co-Kriging.

#### 1.4 Metodologi Penelitian

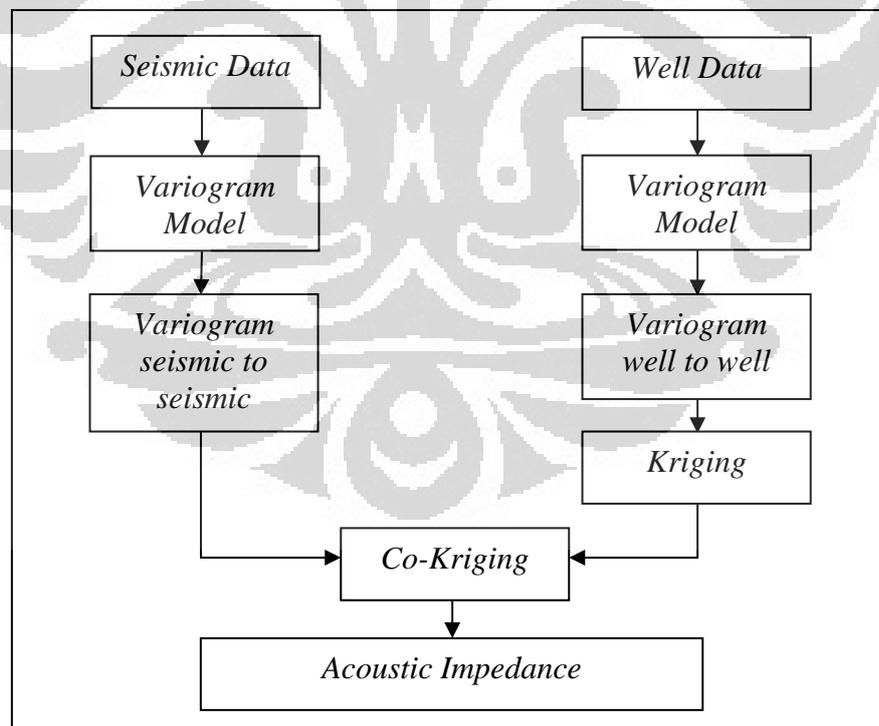
Untuk mendapatkan nilai impedansi akustik data seismik, maka harus dilakukan inversi seismik. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data volume *post stack* seismik 3D dan data sumur yang berupa data *log*. Impedansi akustik *trace* hasil inversi seismik ini kemudian di-*plot* dengan Impedansi Akustik sumur untuk mengetahui seberapa besar perbedaan nilai Impedansi Akustik antara kedua data tersebut. Secara teoritis, kedua data tersebut tidak akan pernah sama karena data asalnya, yaitu seismik dan data *log* (*sonic* dan *density*) diperoleh dengan cara dan sumber energi yang berbeda.

Berdasarkan nilai Impedansi Akustik hasil inversi dicari hubungan empiris dengan data-data petrofisika batuan seperti porositas, permeabilitas dan saturasi yang diperoleh dari data sumur. Hubungan empiris antara sifat petrofisika batuan dari sumur dengan nilai impedansi akustik seismik, didapatkan peta distribusi petrofisika batuan diluar titik sumur pengeboran. Untuk keperluan ini digunakan metode geostatistik.

Pada studi ini akan dilakukan analisis data Impedansi Akustik dari dua algoritma, yaitu: Inversi Seismik dan Geostatistik. Dalam proses Inversi Seismik data primer yang digunakan adalah data seismik itu sendiri, sedangkan pada proses Geostatistik data primer yang digunakan adalah data sumur. Dari kedua metode tersebut mampu memberikan nilai Impedansi Akustik yang saling memperkuat. Secara garis besar, metode yang dilakukan pada studi terlihat pada Gambar berikut.



**Gambar 1.1. Skema Umum Metode Inversi Seismik.**



**Gambar 1.2. Skema Umum Metode Geostatistik.**

## 1.5 Sistematika Penulisan

Bagian pertama dari 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.

Bagian kedua dari skripsi ini disebut sebagai **Bab II**, berisi tinjauan umum kondisi geologi daerah penelitian, yakni kondisi geologi pada lapangan migas “boonsville” yang ditinjau secara regional, susunan dan karakteristik reservoir, serta struktur dan stratigrafinya.

Dalam **Bab III**, berisi konsep dasar inversi seismik dan geostatistik yang meliputi konsep dasar seismik refleksi, komponen-komponen dari seismik refleksi, serta penjelasan mengenai inversi seismik yang digunakan. Dan juga konsep tentang geostatistik berikut penjelasan metode estimasi yang digunakan.

Data dan pengolahan data terdapat pada **Bab IV**, yang mencakup proses inversi *Model Based*, proses pembuatan analisis *kriging*, *cokriging* beserta variogram-variogramnya.

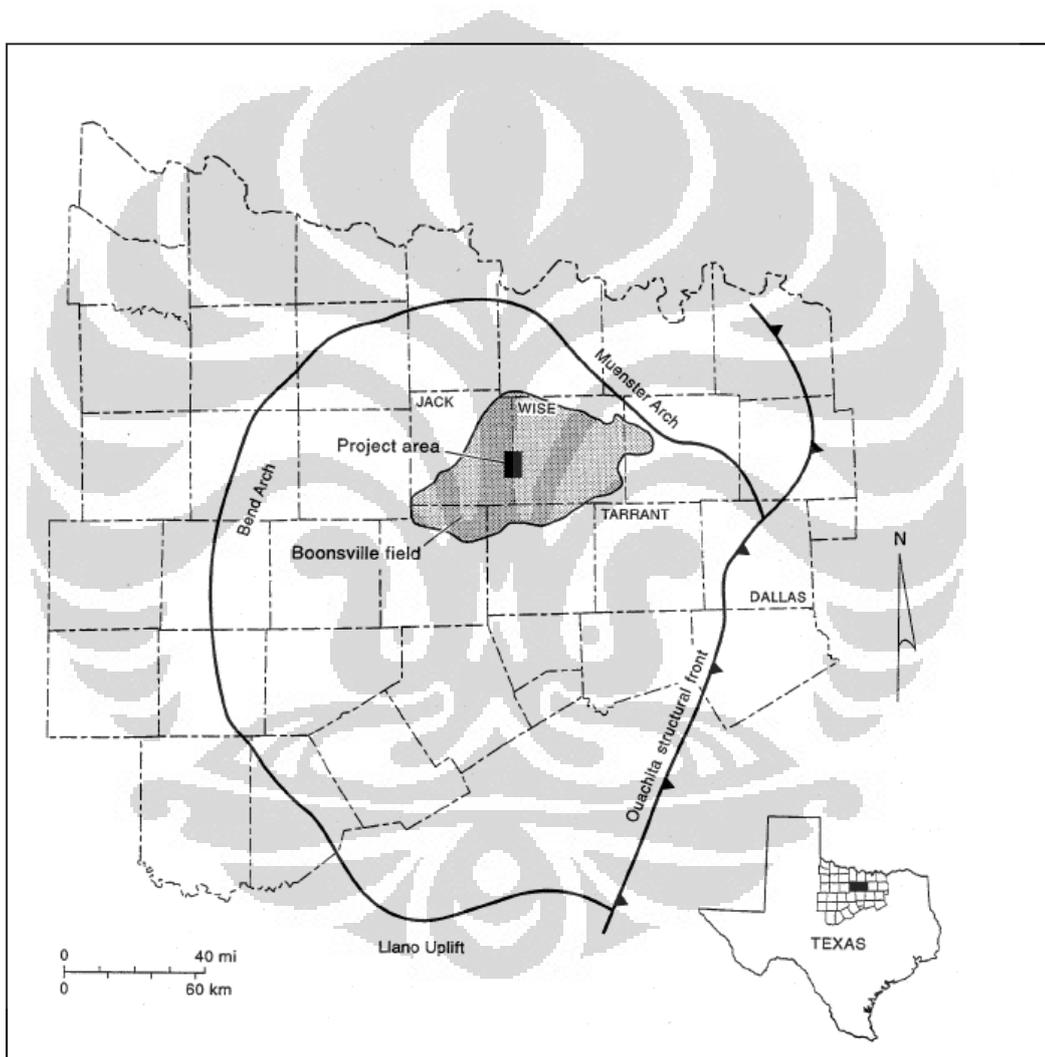
Hasil dan analisa data terdapat pada **Bab V**, dalam bab ini menganalisa hasil dari proses inversi seismik dan geostatistik.

Sebagai bagian akhir dari penulisan skripsi ini dituliskan beberapa kesimpulan yang diperoleh dari keseluruhan kajian skripsi ini, serta saran untuk penelitian selanjutnya, dimana keseluruhan hal tersebut terangkum dalam **Bab VI**.

## BAB 2 TINJAUAN UMUM KONDISI GEOLOGI

### 2.1 Geologi Regional

Lapangan migas Boonsville berlokasi di *Jack and Wise Counties* (Wilayah Jack dan Wise) pada Basin *Fort Worth* di Texas Tengah bagian Utara.



[Sumber: Thesis Mikhail Tanakov, 1997 dari B Hardage et al.]

**Gambar 2.1. Lokasi lapangan migas Boonsville di Wilayah Jack dan Wise, Texas.**

Lapangan migas ini adalah satu dari lapangan gas alam terbesar di Amerika Serikat. Lapangan produksinya sebagian besar adalah gas dan sebagian lainnya adalah minyak, yang dating dari pengendapan *conglomeratic sandstone* pada tingkatan Atoka (*Atoka Stage*) pada periode pertengahan formasi Pennsylvania.

Kolom stratigrafi pada gambar berikut menunjukkan keadaan umum dari gambaran perlapisan *Fort Worth Basin* dari *post-Mississippian*.

SYSTEM		SERIES	GROUP OR FORMATION
K		UNDIVIDED	
P		WOLFCAMPIAN	Cisco Group
IP	UPPER	VIRGILIAN	Canyon Group
		MISSOURIAN	
	MIDDLE	DES MOINESIAN	Strawn Group
		ATOKAN	Atoka Group
LOWER	MORROWAN	Marble Falls and Canyon Formation	
MISSISSIPPIAN			

} Gas from Bend Conglomerate

[Sumber: Thesis Mikhail Tanakov, 1997, dari B Hardage et al.]

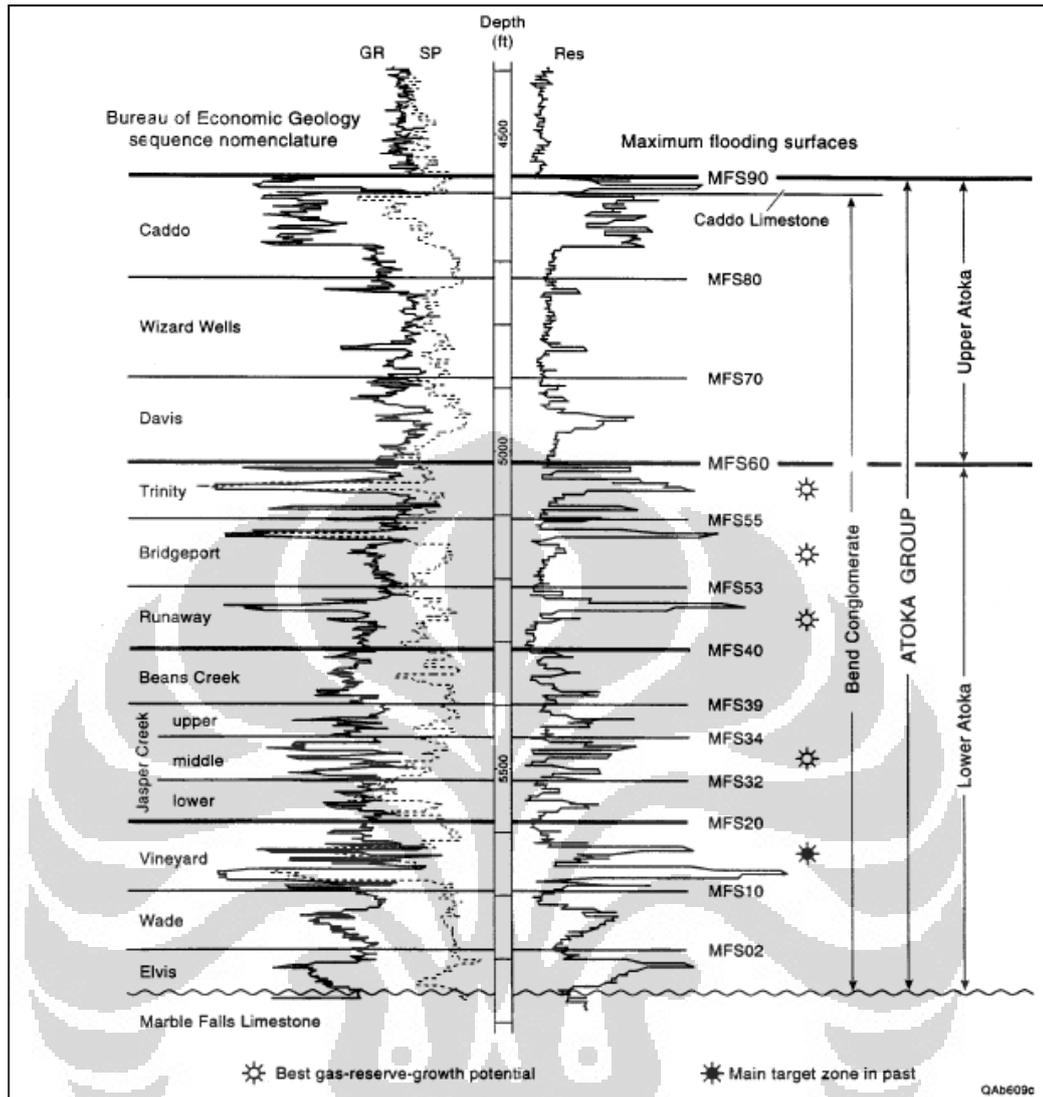
**Gambar 2.2.** Kolom stratigrafi untuk *Fort Worth Basin* pada gambaran umum *post-Mississippian*.

Komponen data geologi dan teknik dibatasi pada interval *Bend-Conglomerate*, dimana pada lapangan migas Boonsville ekuivalen dengan Grup Atoka sebagaimana digambarkan pada **Gambar 2.2**. Penyebaran, porositas, dan permeabilitas *sandstone* (batu pasir) pada lapangan migas Boonsville dan sebagian reservoir *sandstone* pada *Upper Paleozoic* di *Midcontinent Basins* berciri khas tak menentu serta sulit diprediksikan.

Karakterisasi secara efektif untuk lapangan migas ini sulit dilakukan karena reservoir *sandstone*-nya tipis dan tidak memiliki kemenerusan (*continuity*) yang baik. Beberapa formasi, terbentang dari Ellenburger (*Ordovician*) ke Strawn (*Middle Pennsylvanian*), menghasilkan hidrokarbon di area Boonsville, namun hanya sistem reservoir *Atokan Bend Conglomerate* lah yang memiliki gambaran geologi dan teknik dari komponen data set yang tersedia.

## 2.2 Susunan Reservoir

Menurut *Railroad Commission of Texas*, *Bend Conglomerate* didefinisikan sebagai interval dari dasar *Limestone Caddo* –Maximum Flooding Surface (MFS 90)– hingga puncak *Limestone Marble Falls* (menurut penamaan BEG).



[Sumber: Thesis Mikhail Tanakov, 1997, dari B Hardage et al.]

**Gambar 2.3. Urutan Pelapisan *Bend Conglomerate*, menurut *Railroad Commission of Texas*.**

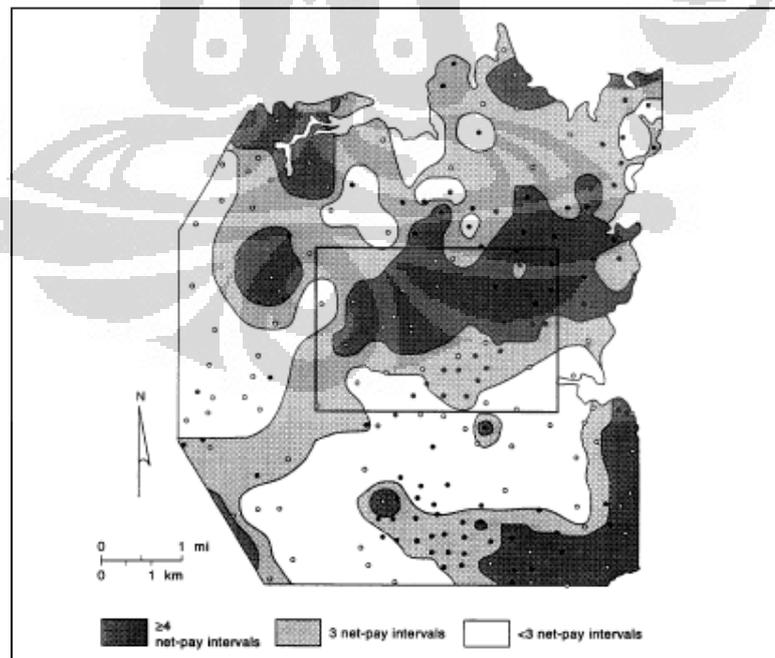
Satu atau lebih erosi permukaan terjadi pada urutan formasi Boonsville-Atokan, sebagian besar erosi permukaan tersebut meluas (*widespread*), dan pemotongan pada lapisan yang lebih tua dapat ditemukan pada penampang melintang (*cross section*) dari log sumur. Permukaan-permukaan tersebut memiliki kemungkinan *unconformities* yang menggambarkan *downcutting* selama periode pergantian permukaan laut. Mekanisme jebakan utamanya memiliki fasies dan permeabilitas *pinch-outs*, dan eksploitasi secara efektif pada lapangan-lapangan migas tersebut sulit dilakukan karena berciri khas tipis dan reservoir *sandstone*-nya tidak

kontinyu merepresentasikan variasi dari lingkungan pengendapan yang bercampur baur secara kompleks (*complexly intermingled depositional environment*)

### 2.3 Karakteristik Reservoar

Pada area yang dipelajari, ketebalan *Bend Conglomerate* berkisar antara 1.000 hingga 1.200 ft. **Gambar 2.3.** mengilustrasikan tiga belas urutan genetik utama pada interval ini. Urutan genetik tersebut terdiri atas suksesi fasies *upward-coarsening* yang terdefiniskan dan terikat oleh *marine shales marking key maximum flooding surfaces*.

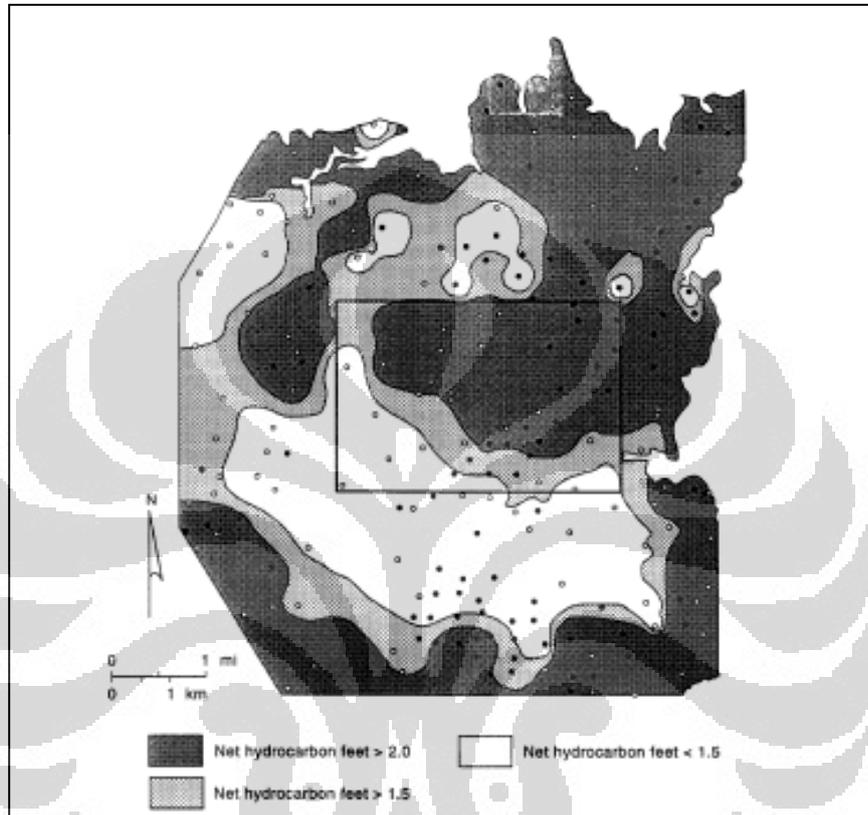
Urutan reservoar paling produktif yang digambarkan oleh data adalah Caddo dan Vineyard, yang berada pada puncak dan dekat dasar dari *Bend Conglomerate*, tetapi disana ada *completions* pada urutan-urutan besarnya. Sebagian besar dari interval tersebut adalah memproduksi gas, tetapi sebagian urutan lainnya juga memproduksi minyak di porsi timur laut (northeast) dan tenggara (southeast) dari area proyek. Urutan Caddo utamanya memproduksi minyak pada area proyeknya. Peta pada gambar berikut menunjukkan banyaknya *net-pay* *Bend Conglomerate* yang ada pada interval antara kedua reservoar utama dari area yang dipelajari.



[Sumber: Thesis Mikhail Tanakov, 1997, dari B Hardage et al.]

**Gambar 2.4. Interval *net-pay* antara Caddo dan Vineyard pada area Boonsville.**

Disana ada keberagaman secara lateral dan vertikal yang signifikan dalam potensi produktifitas pada pertengahan porsi dari *Bend Conglomerate*. Peta pada **Gambar 2.5.** mengilustrasikan jumlah dari *net hydrocarbon feet* diantara tingkatan Caddo dan Vineyard yang mengindikasikan variasi dari fasies reservoir.



[Sumber: Thesis Mikhail Tanakov, 1997, dari B Hardage et al.]

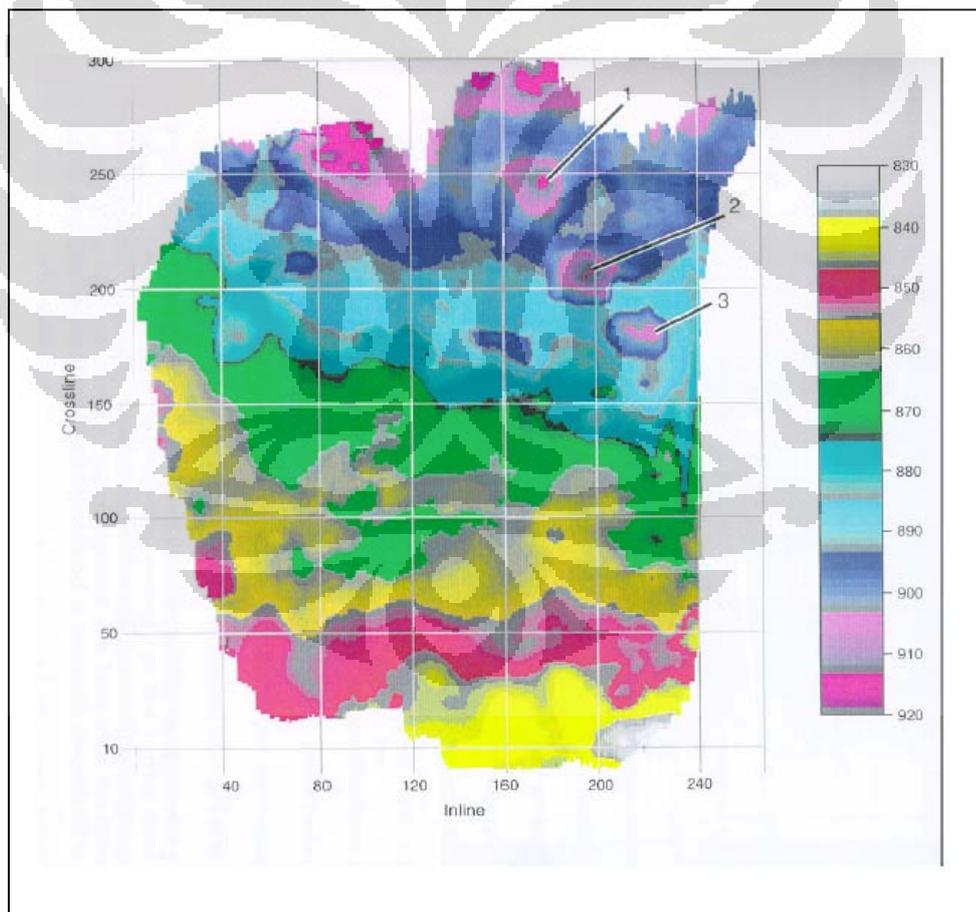
**Gambar 2.5. Distribusi *net hydrocarbon feet* antara sekuen Caddo dan Vineyard.**

*Bend Conglomerate* ditemukan pada kisaran kedalaman 4.500 hingga 6.000 ft. Berdasarkan pada interval dan kedalaman, estimasi untuk tekanan awal bervariasi antara 1.400 psi dan 2.200 psi. Temperatur reservoir sekitar 150 °F, dan tipikal gravitasi gasnya adalah 0.65 – 0.75. Ketebalan *net-pay* berkisar antara beberapa feet hingga 30 ft pada tiap sekuenya. Nilai permeabilitas reservoir relatif ketat dengan nilai permeabilitas bervariasi antara kurang dari 0.1 md hingga lebih dari 10 md.

## 2.4 Struktur dan Stratigrafi

Struktur pada area proyek lebih kompleks pada bagian dasar dari formasi Atoka dan menjari lebih simpel keatas dilihat dari penampangnya, dan *structure dip*-nya secara keseluruhan berotasi dari timur-timur laut hingga seksyen utara. Banyak skala kecil, dekat zona *fault* vertikal memiliki pola peta struktur waktu yang terlihat melalui penampang *Bend Conglomerate*. Kebanyakan dari segi besar tersebut, *fault* normal dan *reverse*-nya memiliki pergeseran yang lebih kecil dari 100 ft dan sebagian besarnya adalah pada 20 – 30 ft.

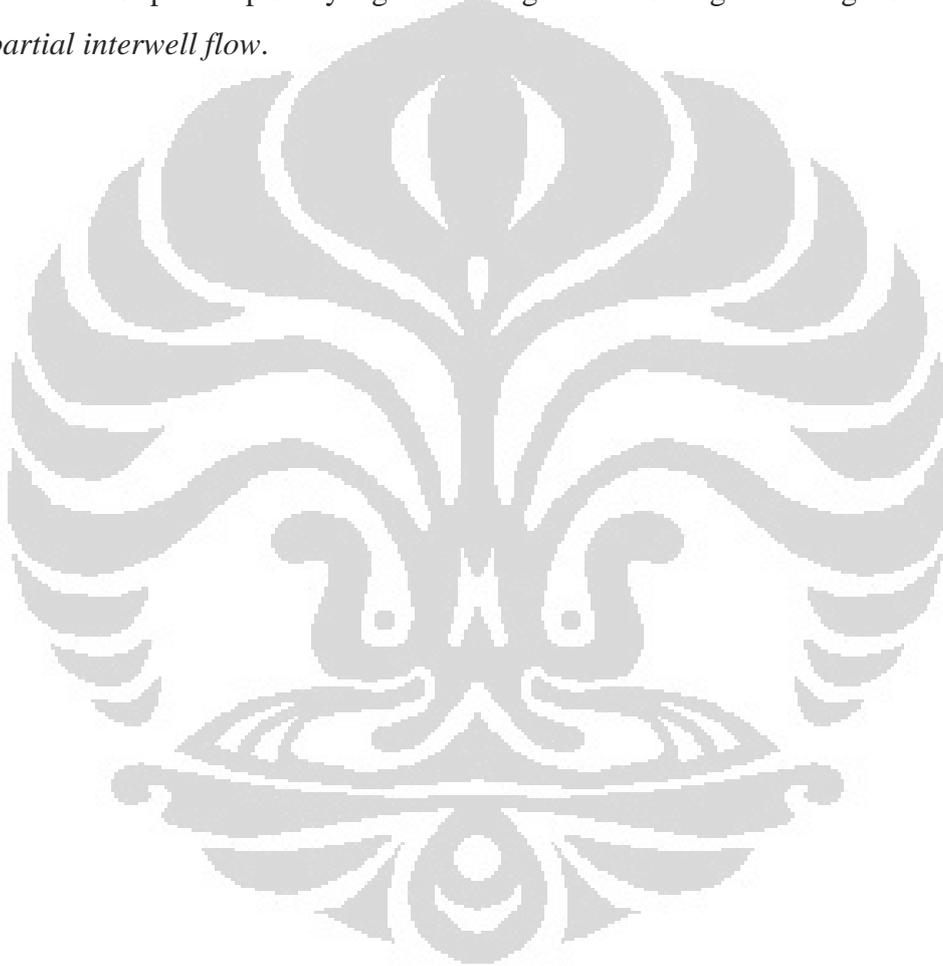
Dari inspeksi seismik yang diinterpretasi, peta struktur Caddo (**Gambar 2.6.**) menunjukkan beberapa *depression* melintang pada permukaan Caddo. Fitur yang diberi nomor mengidentifikasikan adanya *Three Karst collapse area*.



[Sumber: Thesis Mikhail Tanakov, 1997, dari B Hardage et al.]

**Gambar 2.6. Peta struktur waktu seismik menunjukkan topografi dari permukaan Kronostratigrafi**

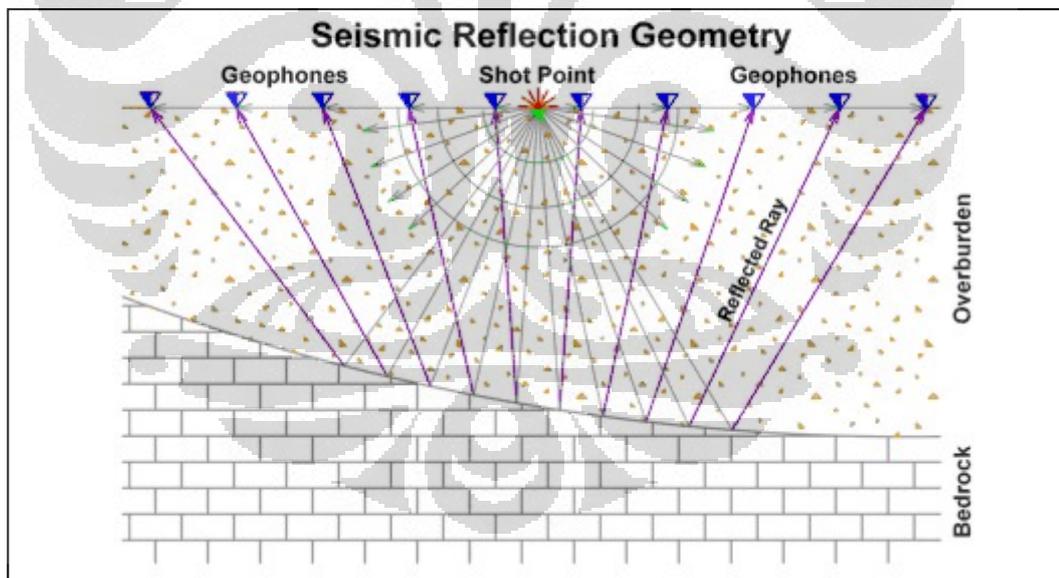
Hardage menginterpretasikan fitur tersebut untuk didapatkan hasil dari *dissolution* dan *subsequent*, peristiwa keruntuhan (collapse) dari lubang Karst pada platform karbonat Paleozoic. Keberadaan struktur keruntuhan tersebut mempengaruhi penyebaran fasies reservoir *sandstone* pada variasi sekuen Atokan. Ini adalah faktor penting yang perlu diperhitungkan saat mengevaluasi pembagian dalam bagian-bagian atau penggolongan reservoir-reservoir *Bend Conglomerate*. Karsting pada *Deep Paleozoic* secara signifikan mempengaruhi proses sedimentasi pada lapisan yang lebih dangkal dan seringkali menghasilkan barier *partial interwell flow*.



## BAB 3 TEORI DASAR

### 3.1 Konsep Dasar Seismik Refleksi

Metode inversi seismik yang digunakan pada penelitian ini metode seismik refleksi. Metode seismik refleksi adalah salah satu metode seismik eksplorasi yang didasarkan pada pengukuran respon gelombang elastik yang dikirimkan ke dalam tanah yang kemudian direfleksikan sepanjang perbedaan lapisan tanah atau batas-batas batuan. Sumber gelombang seismiknya adalah sumber gelombang seismik buatan, yang biasanya berupa dinamit, benda jatuh, *water gun*, *air gun*, *boomer*, *sladge hammer*, dan alat perekam gelombang (*receiver*) 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*).



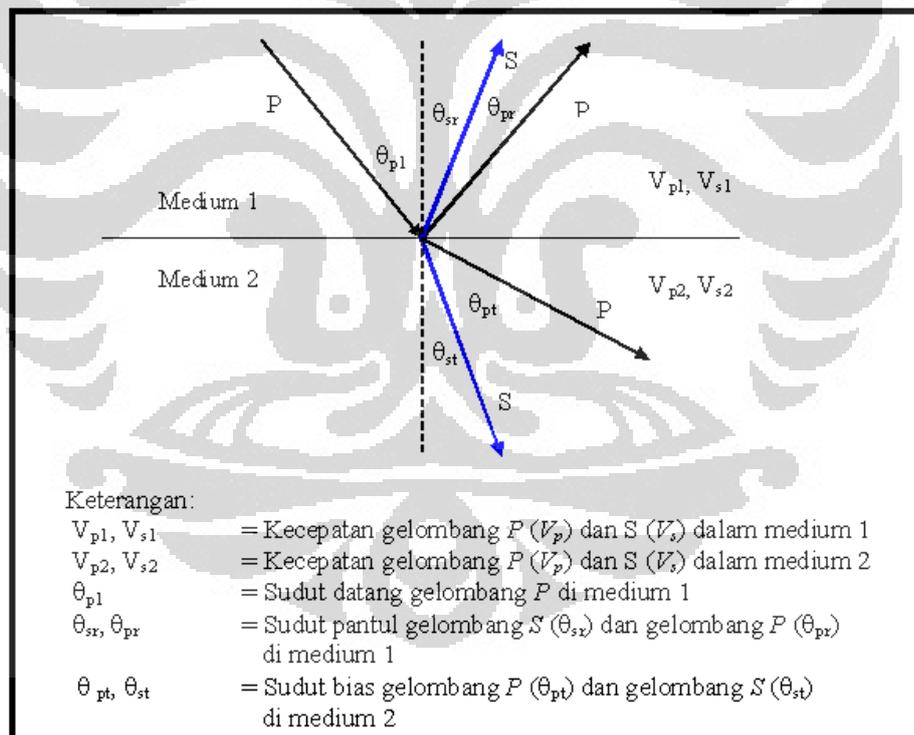
[Sumber: <http://www.aninnaim.community.undip.ac.id>]

**Gambar 3.1. Proses Seismik Refleksi.**

Parameter yang diterima oleh *receiver* pada metode seismik adalah waktu tempuh gelombang pantul, yang akan memberikan informasi kecepatan rambat gelombang pada lapisan batuan tersebut. Kemudian data ini diolah pada tahapan proses

selanjutnya sehingga dihasilkan penampang seismik. Kelebihan metode seismik dibanding dengan metode lainnya adalah karena resolusi horizontalnya yang lebih baik. Refleksi seismik akan terjadi jika ada perubahan impedansi akustik yang merupakan hasil dari kecepatan dan densitas batuan. Penjalaran gelombang seismik mengikuti hukum snellius dimana gelombang datang akan dipantulkan jika melewati suatu reflektor.

Gelombang seismik idealnya tegak lurus dengan bidang pantul, tetapi sulit untuk mendapatkan gelombang seismik yang tegak lurus dengan bidang karena bidang refleksi pada keadaan sesungguhnya tidak datar, sehingga sinyal yang diterima *receiver* tidak dapat langsung digunakan sebelum diproses hingga mendapatkan seismik yang mendekati *zero offset*.



[Sumber: Sukmono, 1999]

**Gambar 3.2. Penjalaran Gelombang Melalui Dua Batas Medium.**

### 3.1.1 Impedansi Akustik

Impedansi Akustik adalah karakteristik yang khas dari suatu batuan. Impedansi akustik memiliki definisi sebagai kemampuan suatu batuan untuk melewatkan gelombang seismik yang melaluinya. Impedansi Akustik didapatkan dari hasil perkalian antara kecepatan gelombang ( $v$ ) dengan densitas batuan ( $\rho$ ). Impedansi akustik ( $AI$ ) dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$AI = \rho \cdot v \quad (3.1)$$

Perubahan nilai dari impedansi akustik dapat dipakai sebagai indikator perubahan litologi, porositas, kekerasan, dan kandungan fluida. Impedansi akustik berbanding lurus dengan kekerasan batuan dan berbanding terbalik dengan porositas. Hal ini berarti bahwa semakin keras suatu batuan maka impedansi akustiknya semakin besar, sebagai contoh: batupasir yang sangat kompak memiliki Impedansi Akustik yang lebih tinggi dibandingkan dengan batu lempung.

### 3.1.2 Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi adalah suatu nilai yang mempresentasikan bidang batas antara dua medium yang memiliki impedansi akustik yang berbeda. Pada saat sudut datang gelombang seismik tegak lurus dengan bidang pantul, yaitu ketika garis gelombang mengenai bidang refleksi pada sudut yang tegak lurus, maka koefisien refleksi dapat dihitung menggunakan persamaan:

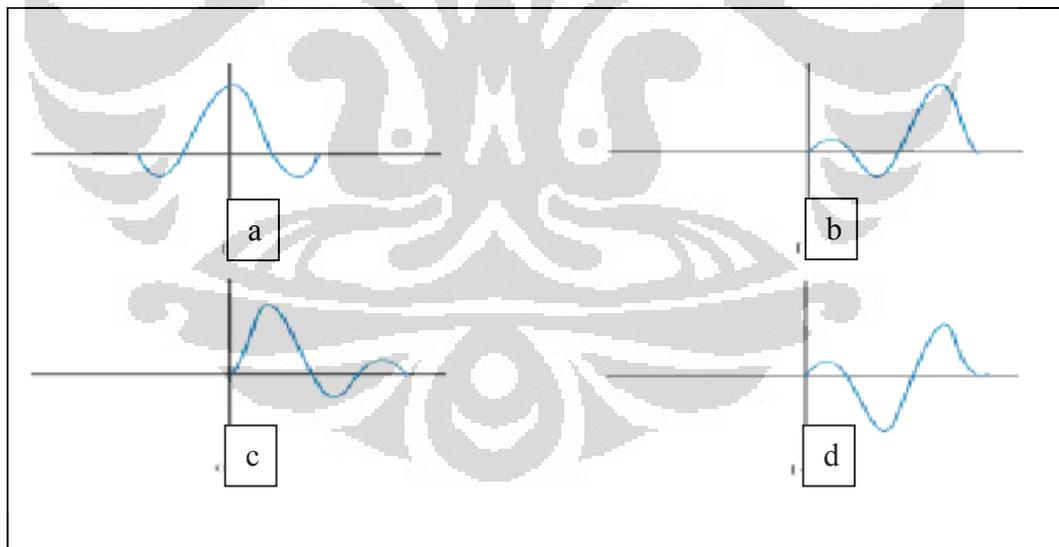
$$R_c = \frac{AI_{i+1} - AI_1}{AI_{i+1} + AI_1} \quad (3.2)$$

dimana  $AI_{i+1}$  impedansi medium kedua, dan  $AI_1$  adalah medium pertama.

Persamaan (3.2) memberikan gambaran mengenai tingkat kekerasan batuan yang dilalui gelombang. Besarnya  $R_c$  (*reflection coefficient*) mempunyai interval nilai mulai dari -1 sampai 1. Jika impedansi akustik  $i$  lebih rendah dari impedansi akustik  $i + 1$ , maka dapat dikatakan bahwa gelombang merambat dari lapisan berdensitas lebih rendah ke lapisan batuan dengan densitas lebih tinggi maka nilai koefisien refleksinya adalah negatif (-) dan sebaliknya, jika koefisien refleksi bernilai positif (+) dapat dikatakan bahwa gelombang merambat dari lapisan batuan berdensitas lebih rendah ke lapisan batuan berdensitas lebih tinggi.

### 3.1.3 Wavelet

*Wavelet* adalah gelombang mini atau 'pulsa' yang memiliki komponen amplitudo, panjang gelombang, frekuensi dan fasa. Dapat juga diartikan *wavelet* adalah gelombang yang merepresentasikan satu reflektor yang terekam oleh satu *geophone*.



Keterangan: 1). Zero Phase Wavelet, 2). Maximum Phase Wavelet, 3). Minimum Phase Wavelet, 4). Mixed Phase Wavelet.

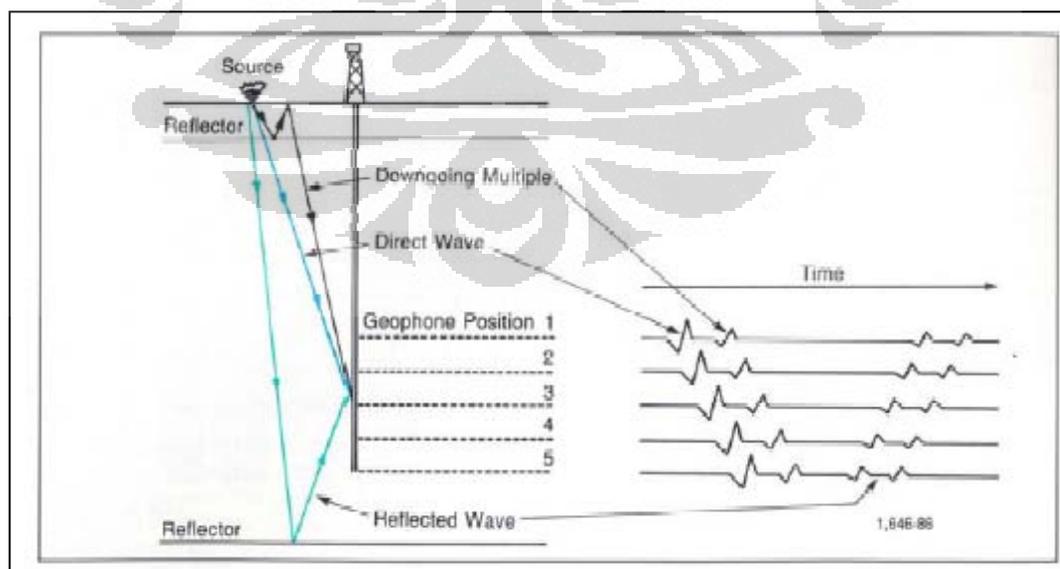
[Sumber: Sukmono, 1999]

**Gambar 3.3. Jenis-Jenis Wavelet.**

Pada seismik eksplorasi, *wavelet* yang diinginkan adalah *wavelet* yang ideal yaitu *wavelet* yang mempunyai *zero phase* dengan rentang frekuensi yang luas (*broadband frequency*). Tetapi dalam praktek pengukuran seismik di lapangan, sulit untuk mendapatkan *wavelet spike zero* dengan rentang frekuensi yang luas. Hal ini dikarenakan oleh sumber energi pemancar gelombang dimana tidak dihasilkan energi yang ideal (konstan) pada setiap *trace*, meskipun dapat memberikan rentang frekuensi yang luas dan menghasikan 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.

### 3.1.4 Survei *Checkshot*

Survei *checkshot* dilakukan untuk mendapatkan hubungan domain waktu yang dimiliki oleh data seismik dan kedalaman yang dimiliki oleh data sumur untuk melakukan proses pengikatan data sumur dengan data seismik. Akuisisi data *checkshot* di lapangan dapat dilihat pada gambar berikut,



[Sumber: Sukmono, 2007]

**Gambar 3.4. Survei *Checkshot*.**

Pada prinsipnya survey *checkshot* sama seperti survey pada seismik, akan tetapi letak geofon pada *checkshot* di letakkan pada sumur, berbeda dengan survey seismik yang diletakkan di permukaan tanah. Didapatkan waktu *one way time* yang direkam oleh geofon pada kedalaman tertentu, sehingga dapat diketahui hubungan waktu penjalaran gelombang seismik pada sumur tersebut.

### 3.2 Konsep Dasar Metode Inversi Seismik

Menke mengatakan bahwa inversi merupakan integrasi teknik matematika dan statistik untuk memperoleh informasi yang berguna mengenai sifat fisik berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut (Grandis dan Winardhi, 2000). Definisi lain 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). Secara umum inversi seismik adalah suatu teknik untuk mendapatkan model geologi bawah permukaan dari data seismik yang ada dengan data sumur sebagai pengontrolnya. Hasil yang diperoleh dari inversi seismik ini adalah distribusi impedansi akustik terhadap kedalaman untuk setiap *trace* seismik.

Dalam seismologi eksplorasi, dikenal ada 2 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 sintetis yang telah diubah menjadi deret koefisien refleksi dengan menggunakan persamaan (3.2) dan kemudian dikonvolusikan dengan wavelet tertentu untuk mendapatkan seismogram sintetis.

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

$$r_t = W_t * S_t \quad (3.3)$$

dimana :

$r_t$  = koefisien refleksifitas

$W_t$  = inversi *wavelet*

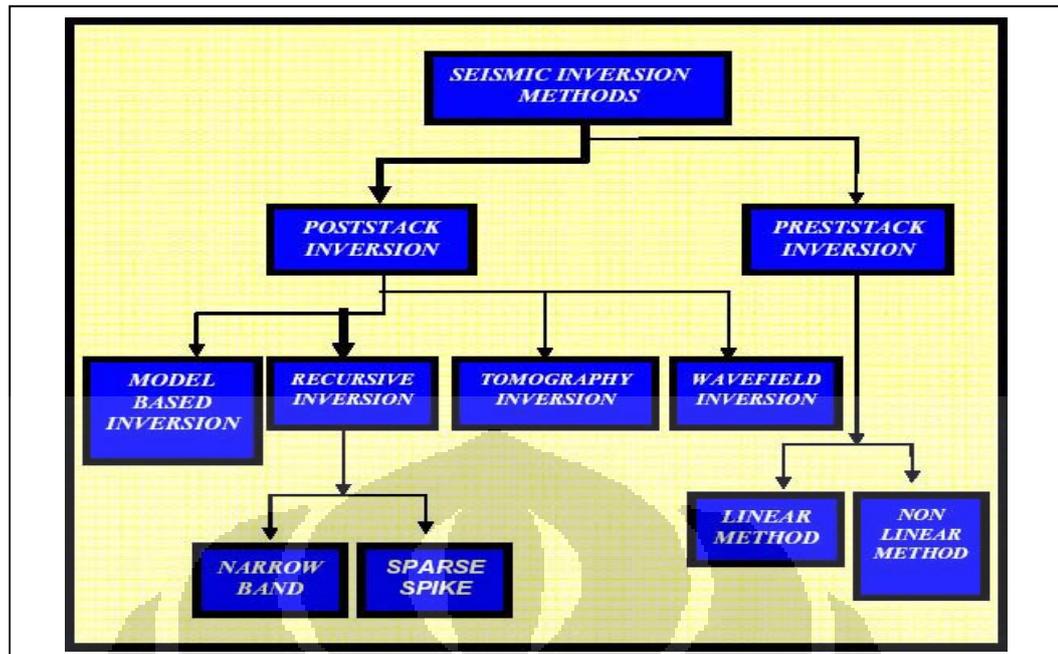
$S_t$  = *seismic trace*

Dari persamaan (3.3) terlihat bahwa seismik inversi bertujuan untuk mendapatkan kembali koefisien reflektivitas yang merupakan bidang batas antar lapisan batuan. 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.

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 *bandlimited* (rekursif), inversi berbasis model (*blocky*), serta inversi *sparse spike (maximum likelihood)*. Kemudian penulis membatasi pembahasan inversi *post-stack* penelitian ini pada inversi berbasis model (*model-based inversion*).

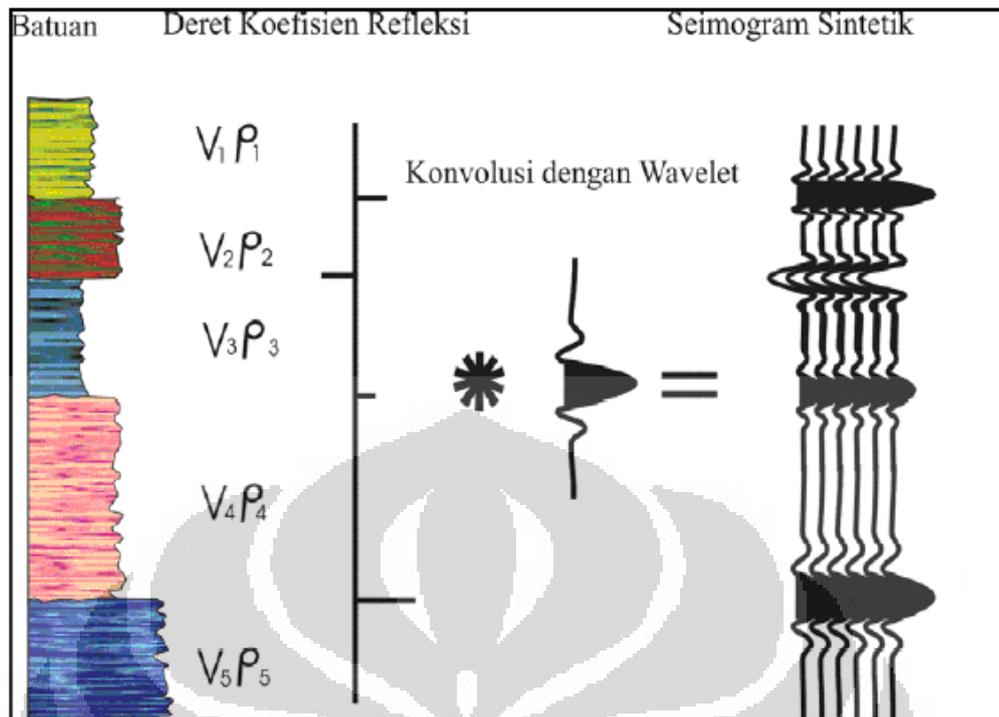


[Sumber: Russel, 1988]

**Gambar 3.5. Skema Metode Inversi Seismik.**

### 3.2.1 Seismogram Sintetik

Seismogram Sintetik adalah data seismik buatan yang dibuat dari data sumur, yaitu log kecepatan, densitas dan *wavelet* dari data seismik. Seismogram tersebut dibuat dengan mengalikan kecepatan dengan densitas sehingga didapatkan deret koefisien refleksi. Kemudian deret koefisien refleksi ini dikonvolusikan dengan *wavelet* yang diekstraksi dari data seismik sehingga didapatkan seismogram sintetik pada daerah sumur tersebut. Dengan seismogram sintetik inilah dapat dilakukan korelasi (*well-tie*) antara data seismik dengan data sumur dengan melihat kesamaan *trend* dari kedua data tersebut, dimana *peak* pada data sumur dikorelasikan juga dengan *peak* pada data seismik, dan *trough* pada data sumur dikorelasikan dengan *trough* data seismik. Skema mengenai pembuatan seismogram sintetik digambarkan melalui **Gambar 3.6.** berikut ini,

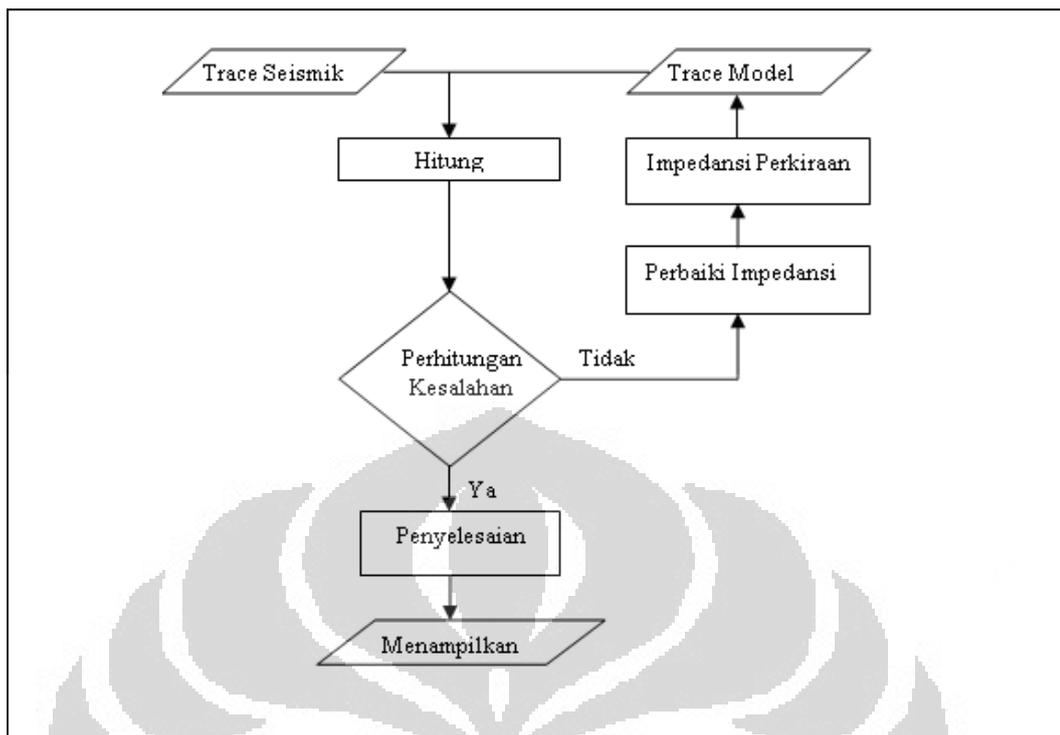


[Sumber: Sukmono, 1999]

**Gambar 3.6. Seismogram Sintetik yang didapat dengan mengkonvolusikan koefisien refleksi dengan *wavelet*.**

### 3.2.2 Metode Inversi *Model Based*

Salah satu teknik dalam Metode Inversi seismik adalah Inversi *Model Based*. Prinsip dari metode ini adalah membuat model geologi awal lalu membandingkannya dengan data riil seismik. Hasil perbandingan tersebut digunakan secara iteratif untuk memperbaharui model bertujuan untuk menyesuaikan dengan data seismik. Proses iterasi ini dilakukan hingga didapatkan nilai kesalahan terkecil pada perbandingan antara model yang dibuat dengan data seismik. Metode ini dikembangkan untuk mengatasi masalah yang tidak dapat dipecahkan menggunakan metode rekursif. Prosedur melakukan teknik inversi ini digambarkan melalui diagram berikut,



**Gambar 3.7. Diagram Metode Inversi *Model Based*.**

Metode inversi berbasis model memiliki kelebihan dibandingkan dengan teknik yang lain karena metode inversi berbasis model tidak menginversi langsung dari seismik melainkan menginversi model geologinya. Metode ini juga memiliki kekurangan yakni pada tingkat sensitivitasnya terhadap bentuk *wavelet* dimana hasil inversinya sangat sensitif terhadap bentuk *wavelet*.

Menurut Russel (1988), 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 :

$$\mathbf{M} = (\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \mathbf{m}_3, \dots, \mathbf{m}_k)^T \quad (3.6)$$

$$\mathbf{D} = (\mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \mathbf{d}_3, \dots, \mathbf{d}_n)^T \quad (3.7)$$

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 :

$$\mathbf{d}_i = \mathbf{F}(\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \mathbf{m}_3, \dots, \mathbf{m}_k), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.8)$$

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 :

$$\mathbf{F}(\mathbf{M}) = \mathbf{F}(\mathbf{M}_0) + \frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{M}_0)}{\partial \mathbf{M}} (\Delta \mathbf{M}) \quad (3.9)$$

dengan:

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

$\mathbf{M}_0$  = Model Inisial (model perkiraan)

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

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

$\mathbf{F}(\mathbf{M}_0)$  = *Synthetic seismic trace* hasil perhitungan dari model inisial.

$\frac{\partial \mathbf{F}(\mathbf{M}_0)}{\partial \mathbf{M}}$  = derivatif parsial dari model sebenarnya.

Kesalahan antara keluaran model dengan data pengukuran dinyatakan sebagai :

$$\Delta \mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{M}) - \mathbf{F}(\mathbf{M}_0) \quad (3.10)$$

dan dalam bentuk matriks dapat ditulis sebagai berikut :

$$\Delta \mathbf{F} = \mathbf{G} \Delta \mathbf{M} \quad (3.11)$$

dengan  $\mathbf{G}$  adalah matrik derivatif dengan jumlah baris  $n$  dan kolom  $k$ . Penyelesaian dari rumusan tersebut adalah :

$$\Delta \mathbf{M} = \mathbf{G}^{-1} \Delta \mathbf{F} \quad (3.12)$$

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 :

$$\Delta \mathbf{M} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \Delta \mathbf{D} \quad (3.13)$$

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,

$$\Delta \mathbf{M} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G} + \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{G}^T \Delta \mathbf{D} \quad (3.14)$$

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.

### 3.3 Konsep Dasar Metode Geostatistik

Metode geostatistik ini mulai diperkenalkan pada awal tahun 1950 oleh seorang ahli Geomatematik Perancis bernama R.G. Krige yang saat itu bekerja di daerah

pertambangan Afrika Selatan. R.G. Krige memperkenalkan suatu cara untuk menangani variabel-variabel tereregionalisasi yaitu dengan cara kriging (Davis *et al.*, 1973). Teknik tersebut dikembangkan pada industri perminyakan pada tahun 1970. Industri perminyakan telah aktif melakukan penelitian dan melaksanakan metode geostatistik pada beberapa studi kasus (Damsleth, 1997). Geostatistik adalah statistik ditambah dengan informasi spasial (Isaak dan Srivastava, 1989). Kemudian Deutsch dan Journel menyatakan bahwa geostatistik adalah statistik untuk menangani data yang berfluktuasi dalam ruang maupun waktu (Moenadi, 2005).

Secara umum konsep dasar geostatistik muncul dari pengertian yang sering dipakai untuk kajian keruangan yaitu bahwa segala sesuatunya relatif terhadap yang lain. Pendekatan keruangan adalah pendekatan dari sesuatu yang belum diketahui berdasarkan sesuatu yang telah diketahui. Pendekatan ini dicari tingkat kebenarannya berdasarkan perhitungan-perhitungan statistik, sehingga geostatistik adalah bagian dari ilmu statistik yang mempelajari secara khusus hubungan keruangan antara dua atau lebih titik yang ingin diobservasi.

Hubungan keruangan pada data seismik sifatnya ke segala arah (*volumetric*), tujuannya adalah memetakan sebuah ruang pada *subsurface* berdasarkan beberapa sampel data. Sesuai dengan prinsip ilmu statistik makin banyak sampel, maka gambaran keruangan yang akan dipetakan makin mendekati kondisi yang sebenarnya dan hal ini juga dipengaruhi oleh penyebaran data pada ruang yang akan dipetakan.

Data seismik mempunyai resolusi lateral yang bagus (*dense distribution*), tapi resolusi vertikalnya jelek, sedangkan data sumur mempunyai resolusi vertikal bagustapi resolusi lateralnya jelek, (*sparse distribution*). Metode geostatistik dapat digunakan secara kuantitatif untuk membuat peta petrofisika batuan, (*litologi, porositas, permeabilitas, saturasi*), yaitu yang menggabungkan data sumur dan data seismik menggunakan fungsi-fungsi geostatistik, sehingga penyebaran nilai petrofisika sumur kearah lateral diestimasi dengan menggunakan data seismik

berdasarkan fungsi hubungan keruangan (*space approach*) antara kedua data tersebut.

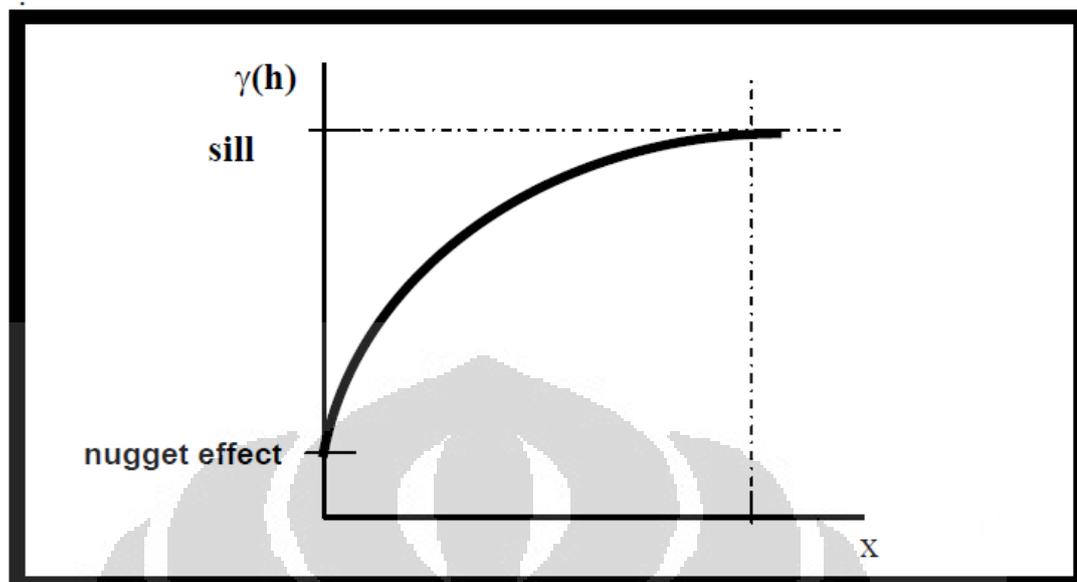
Ketika kita memutuskan teknik geostatistik untuk memetakan nilai-nilai petrofisika pada suatu bentuk *volumetric* batuan, maka yang perlu kita pertimbangkan adalah data yang kita pakai dalam pemetaan tersebut. Hal ini sangat perlu untuk estimasi seberapa tinggi ketelitian data hasil pemetaan tersebut menggambarkan kondisi yang sebenarnya. Ada dua hal yang menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan sampel statistik yaitu jumlah data dan penyebaran data. Tetapi dalam geostatistik (*space approach*) kedua hal tersebut tidaklah cukup, karena harus dipertimbangkan homogenitas atau heterogenitas geologis lingkungan setempat. Hal ini penting karena sifat geologis sering menyebabkan antara lokasi yang satu dengan lokasi yang lain sangat ekstrem, misalnya diakibatkan oleh patahan atau perlipatan.

Umumnya makin dekat jarak dengan variabel, akan menghasilkan kesamaan yang tinggi dan semakin jauh jarak antar variabel, kesamaan tersebut akan berkurang. Geostatistik mengambil keuntungan dari kesamaan ini dan dengan menggunakan metode yang berbeda-beda, data dari variabel yang berbeda dan berubah sesuai dengan fungsi jarak tersebut dihubungkan satu dengan yang lain dengan menggunakan fungsi-fungsi korelasi tertentu. Korelasi merupakan suatu studi yang menghubungkan dua atau lebih variabel acak (Jensen, et.al, 1997).

Fungsi-fungsi geostatistik yang sering digunakan untuk distribusi spasial dari variabel geologi adalah *variogram* dan *kriging*. Beberapa teknik *kriging* yang dipakai dalam geostatistik adalah *cokriging*, *collocated cokriging*.

### 3.3.1 Variogram

Variogram adalah grafik yang menunjukkan perubahan korelasi antar data sebagai fungsi dari perubahan data terhadap jarak. Karena nilai data cenderung menjadi tidak sama sejalan dengan bertambahnya jarak antar data, maka sebelum data digunakan, perlu terlebih dahulu dianalisa dengan menggunakan variogram.



[Sumber: Moenadi, 2005]

**Gambar 3.8. Perhitungan Empirik pada Variogram.**

Variogram sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3.8.** mempunyai bagian-bagian yang terdiri dari:

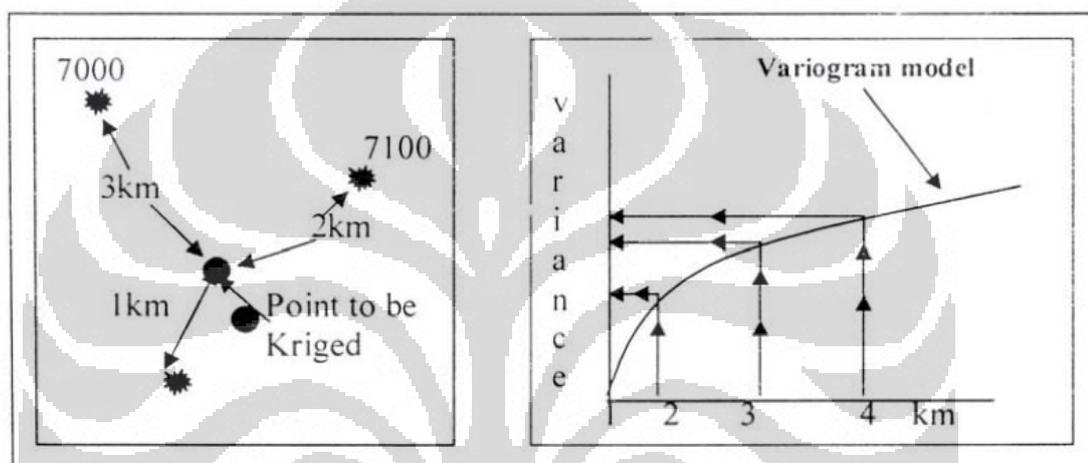
- Nugget* : ukuran ketidak konsistenan data sebagai fungsi dari perubahan jarak yang sangat dekat dengan titik pengukuran (perubahan nilai data pada titik pengukuran itu sendiri). *Nugget* merupakan nilai variogram pada  $h = 0$  dan mengukur nilai batas variogram untuk nilai  $h$  yang paling kecil.
- Sill* : nilai konstan variogram pada jarak yang terpanjang.
- Range* : jarak maksimum yang masih dipengaruhi oleh data, tetapi mencapai nilai yang konstan.

### 3.3.2 Metode Geostatistik *Kriging*

*Kriging* adalah teknik linier regresi yang digunakan untuk mengestimasi nilai di suatu titik yang terdistribusi secara spasial dengan memberikan faktor pembobot tertentu pada masing-masing titik data. Perubahan data sebagai fungsi terhadap perubahan jarak secara spasial dinyatakan dalam variogram. Jadi parameter yang

mendefinisikan variogram akan menentukan hasil estimasi dengan menggunakan teknik *kriging*.

*Kriging* secara matematis diperoleh dengan menghitung nilai *grid* sebagai pembobot rata-rata disekitar titik kontrol. *Kriging* menghitung jarak antara titik kontrol dengan *grid node*, berupa jauh jarak antar masing-masing data dan menjaga hubungan spasial antar data sebagaimana diberikan oleh model variogramnya.



[Sumber: Wolf et al, 1994]

**Gambar 3.9. Kriging memberikan estimasi nilai dari suatu titik lokasi sehingga hasilnya sesuai dengan model variogram yang diberikan.**

**Gambar 3.9** adalah contoh *kriging* di suatu titik yang dikelilingi oleh data kontrol dengan nilai dan jarak yang berbeda-beda terhadap titik yang akan di-*kriging*. Faktor pembobot yang diberikan pada masing-masing data kontrol ditentukan oleh variogram dari data kontrol tersebut.

Metode *kriging* sering disebut dengan singkatan BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*).

1. *Best* karena bertujuan meminimalkan  $Q^2_R$  ; Variance error.
2. *Linear* karena cara mengestimasi data adalah dengan memberikan kombinasi faktor pembobot linier pada data yang tersedia.

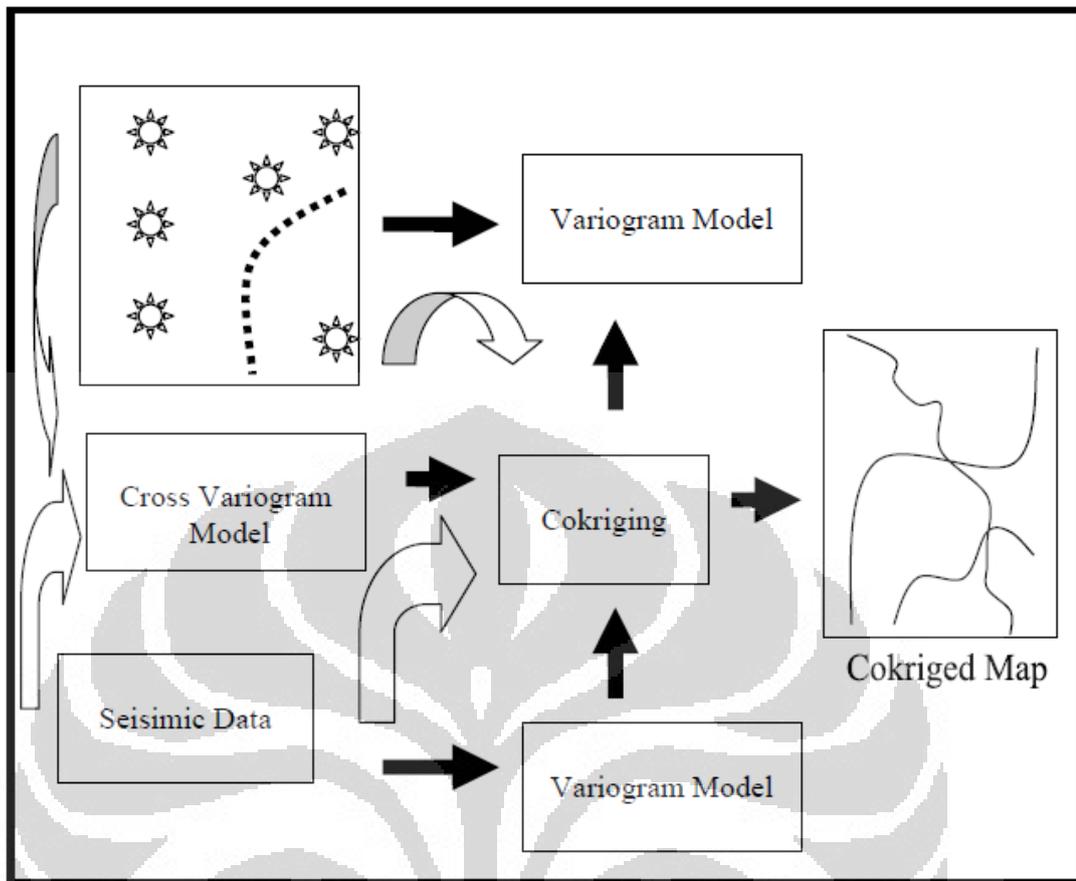
3. *Unbiased*, karena metode ini mencoba mendapatkan  $M_R$  . *mean* residual error sama dengan 0;
4. *Estimator*, metode ini hanyalah alat untuk mengestimasi, dan tidak akan menyediakan jawaban pasti.

Teknik *kriging* berkembang menjadi beberapa metode karena adanya ciri khusus dari masing-masing data. Berikut ini akan dibahas secara singkat beberapa teknik *kriging* dan hubungannya dengan kondisi data.

### 3.3.3 Metode Geostatistik *Cokriging*

*Cokriging* adalah salah satu teknik *kriging* yang menggunakan data sekunder (seismik) yang dikorelasikan dengan data primer (data sumur). Tujuan dari *cokriging* adalah mendapatkan variasi distribusi lateral dari data primer, yaitu data petrofisika sumur (*porositas*, *saturasi*, kedalaman , *permeabilitas*) dengan cara memberi titik ikat pada tiap-tiap titik data dengan data sekunder (seismik).

*Cokriging* tidak hanya melihat hubungan spasial di dalam data yang akan di *grid* (biasanya parameter data sumur seperti porositas atau kedalaman), tapi juga melihat hubungan spasial dengan data sekunder yang sifatnya lebih rapat (biasanya data seismik) dan mempunyai korelasi dengan data yang akan di *grid*. Data sekunder ini digunakan sebagai penuntun terhadap data primer.



[Sumber: Wolf et al, 1994]

**Gambar 3.10. Cokriging dengan Menggunakan Data Sumur dan Seismik.**

*Cokriging* menghitung *grid* nilai bobot rata-rata pada data kontrol dan data penuntun sekaligus menghitung berapa jauh data kontrol dan data dengan data penuntun; *cokriging* juga akan melihat hubungan spasial dari variogram data kontrol dan data penuntun serta *cross* variogram dari kedua data tersebut, sayangnya *cross* variogram antara kedua data tersebut sulit dibuat modelnya.

### 3.3.4 Metode Geostatistik *Collocated Cokriging*

Seperti halnya dengan *cokriging*, teknik *collocated cokriging* juga menggunakan data sumur sebagai data primer dan data seismik sebagai data sekunder.

Dasar filosofi dari teknik ini adalah pada saat memprediksi suatu nilai yang terletak jauh dari sumur, maka pengetahuan tentang variabel sekunder (seismik) pada lokasi sumur menjadi sangat penting sekali. Karena faktor kerincian dari data seismik, maka pengetahuan tentang nilai data seismik pada lokasi lain yang dekat dengan data yang telah diinterpolasi tidak akan memberikan banyak informasi tambahan apabila nilai data seismik pada lokasi yang diinterpolasi digunakan.

Teknik ini menggunakan korelasi spasial dan suatu *independent (collocated)* yang berhubungan dengan data sekunder (seismik atribut) yang digunakan untuk membimbing interpolasi parameter primer yang hanya diketahui pada sejumlah lokasi sumur.

Karena itu pemahaman tentang variogram dari variabel sekunder tidak diperlukan, kecuali untuk varian saja. Karena hanya variabel sekunder pada data sumur saja yang digunakan, nilai ini hanya perlu di korelasi silang dengan dirinya atau dengan nilai dari variabel primer. Dengan kata lain variogram dari variabel primer cenderung dibuat dengan menggunakan variogram dari variabel sekunder.

## BAB 4 DATA DAN PENGOLAHAN DATA

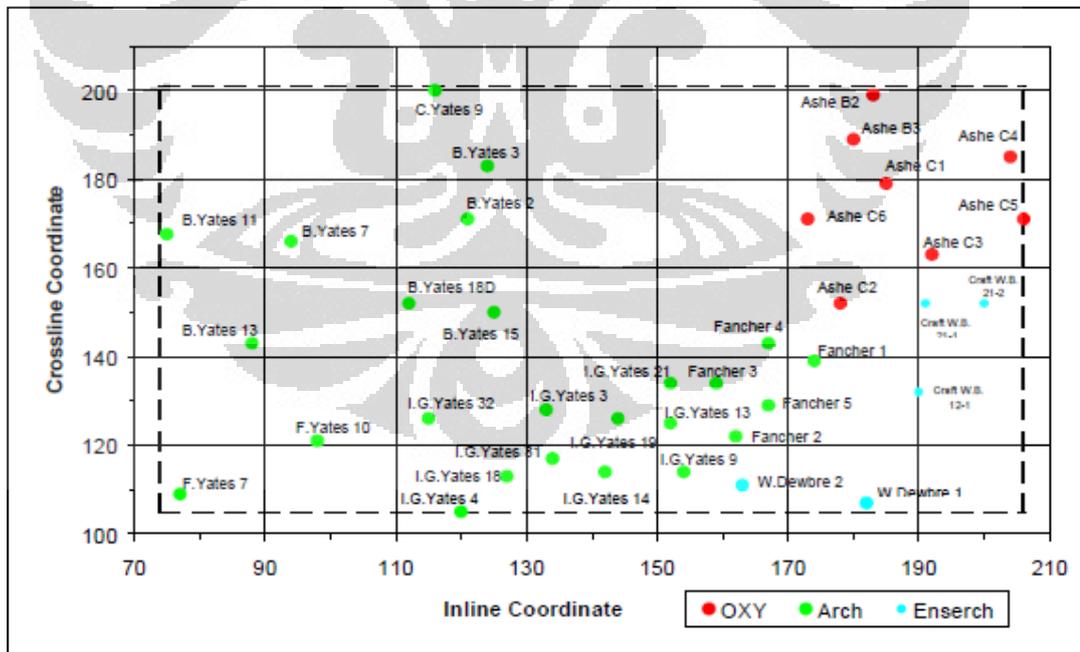
### 4.1 Persiapan Data

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data Seismik 3D *Post-stack Migration*, yang dikondisikan dengan di-filter menggunakan Bandpass Filter untuk mengurangi noise pada data.
2. Data Sumur dengan data *log*-nya masing-masing.

#### 4.1.1 Data Seismik

Data seismik yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah data seismik 3D *Post-stack Migration* yang diolah menggunakan modul “STRATA” pada software *Hampson-Russel (HRS)*. Data seismik 3D ini terdiri dari 74 – 206 inline (*trace*) dan 105 – 201 crossline (*line*).



[Sumber: Thesis Mikhail Tanakov, 1997 dari B Hardage et al.]

**Gambar 4.1.** Peta lokasi Sumur dalam Koordinat xline dan inline.

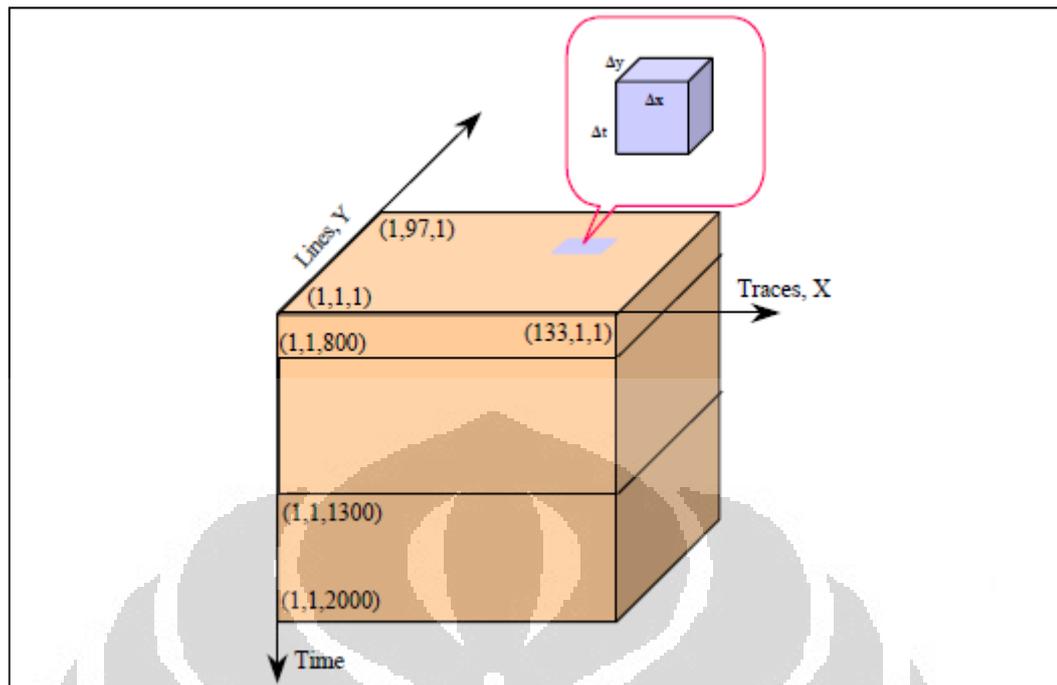
Nomor inline meningkat dari barat ke timur dan nomor crossline meningkat dari selatan ke utara. Sudut (corner) daerah survei timur laut (kanan atas) berlokasi pada inline (*trace*) 206 dan xline (*line*) 201 dan sudut (corner) daerah survei barat daya (kiri bawah) berlokasi pada inline (*trace*) 74 dan xline (*line*) 105. Nilai *longitude* dan *latitude* dari keempat sudut daerah survei dikonversi dalam koordinat X dan Y untuk *North Central Zone (4202)* dari *US. State Plane Coordinate System* dan *1927 North American Datum*. Pada tabel 4.1. dituliskan keempat sudut dari data seismik 3D yang dipergunakan dimulai dari sudut barat daya (kiri bawah) dan sudut-sudut selanjutnya searah jarum jam.

**Tabel 4.1. Koordinat Keempat Sudut dari Area Survei Seismik 3D.**

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	105	-97.89416	33.17863	1879406	550279

Pada arah vertikal terekam 2000 titik dengan *sample rate*,  $\Delta t$ , sama dengan satu milisekon. Data memiliki kisaran frekuensi 10 – 115 Hz. Datum statis yang dipergunakan untuk mengkoreksi variasi dari ketinggian permukaan adalah *seismic reference datum (SRD)* pada ketinggian 900 ft diatas permukaan laut.

Setelah mengalami migrasi waktu, setiap bin mewakili satu *trace*, dan untuk daerah proyek terdapat 133 *traces* pada arah-X dan 97 *traces* pada arah-Y dengan panjang setiap *trace* 2.000 sampel. Zona *interest* pada data seismik 3D ini terdapat pada 800 – 1300 ms (**Gambar 4.2.**), dipotong pada interval tersebut untuk kemudian diteliti lebih lanjut.



[Sumber: Thesis Mikhail Tanakov, 1997 dari B Hardage et al.]

**Gambar 4.2. Skema data seismik 3D, zona interest terdapat pada interval waktu 800 – 1300 ms yang terisi *Bend Conglomerate*.**

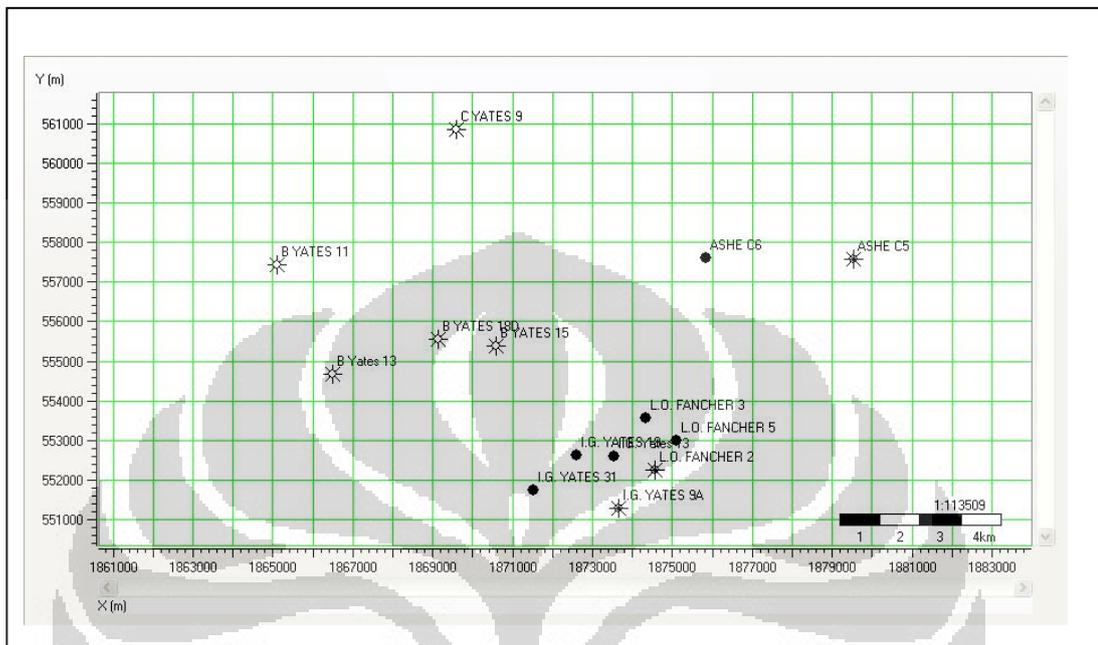
#### 4.1.2 Data Sumur

Pada daerah studi terdapat 39 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 4.3**.

Dari 39 buah sumur tersebut, hanya 7 (tujuh) buah sumur yang mengandung keterangan nilai Gamma Ray dan Resistivity, sehingga 7 (tujuh) sumur tersebut digunakan lebih lanjut untuk penelitian, dikarenakan ketersediaannya data-data yang diperlukan..

**Gambar 4.3** 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 4.3. Peta Dasar Sumur Penelitian.**

## 4.2 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*.

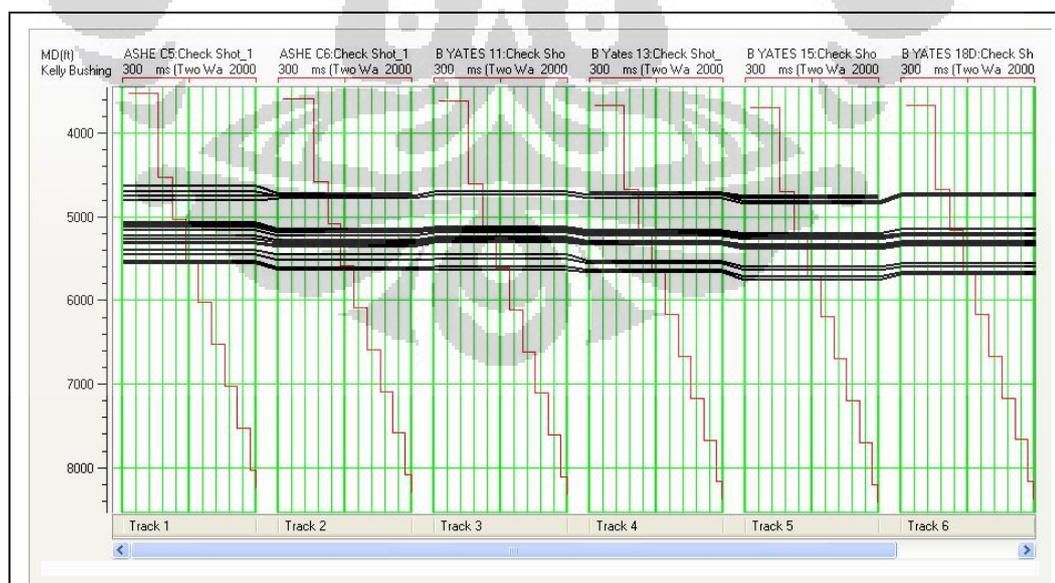
### 4.2.1 Interpretasi *Log*

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 rendah, 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.

#### 4.2.2 Checkshot 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.



**Gambar 4.4. Tampilan Checkshot beberapa sumur.**

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* :

$$P - Wave = (C1 \times resistivity)^{1/6} \quad (4.1)$$

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* :

$$P - Wave = \left[ \frac{density}{C1} \right]^{1/0,25} \quad (4.2)$$

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

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

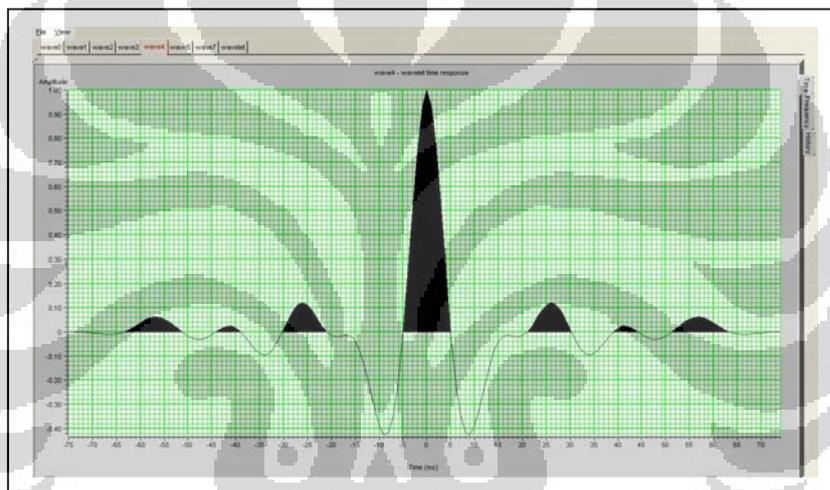
Pertama-tama terlebih dahulu masuk ke menu utama eLog. Lalu pilih menu *transform*. Disana ada 18 buah menu transformasi log yang tersedia. Kita hanya perlu memilih salah satu jenis transformasi yang kita inginkan. Setelah itu kita harus memasukkan sumur-sumur apa saja yang mengandung data log yang ingin 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 transformasi ini cukup baik, namun tetap saja mengandung nilai-nilai kesalahan. Sehingga nantinya data hasil dari transformasi ini akan sedikit mempengaruhi hasil akhir.

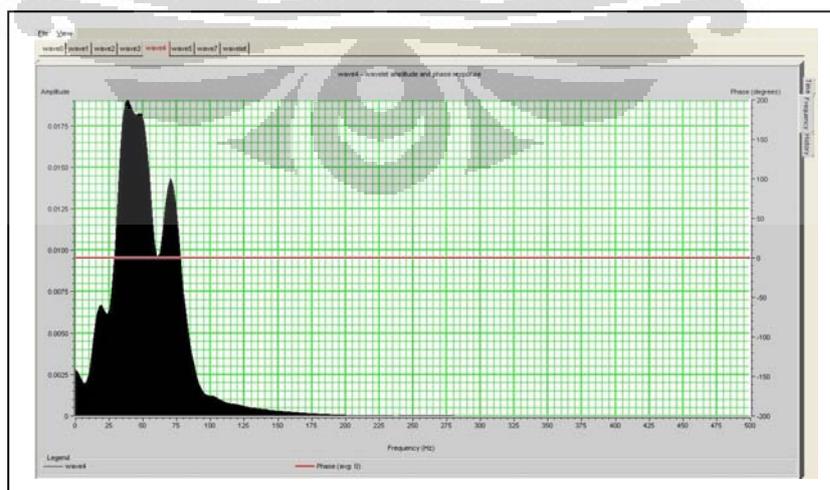
### 4.3 Metode Inversi Seismik

Hasil dari inversi seismik adalah impedansi akustik. 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 *model based*.

#### 4.3.1 Ekstraksi Wavelet



Gambar 4.5. Wavelet *time response*.



Gambar 4.6. Wavelet *frequency response*.

Ekstraksi *wavelet* dilakukan dengan menggunakan ekstraksi *statistical* dari data seismik, dihasilkan frekuensi dominan pada 40-45Hz dengan parameter pengekstrasian sebagai berikut:

Wavelet Length: 150 ms

Taper Length : 20 ms

Sample Rate : 1 ms

Phase Rotation : 0 degrees

#### 4.3.2. 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 kesesuaian dengan *log* sumur. Kesesuaian tersebut terlihat dari dihasilkannya nilai korelasi yang optimum.

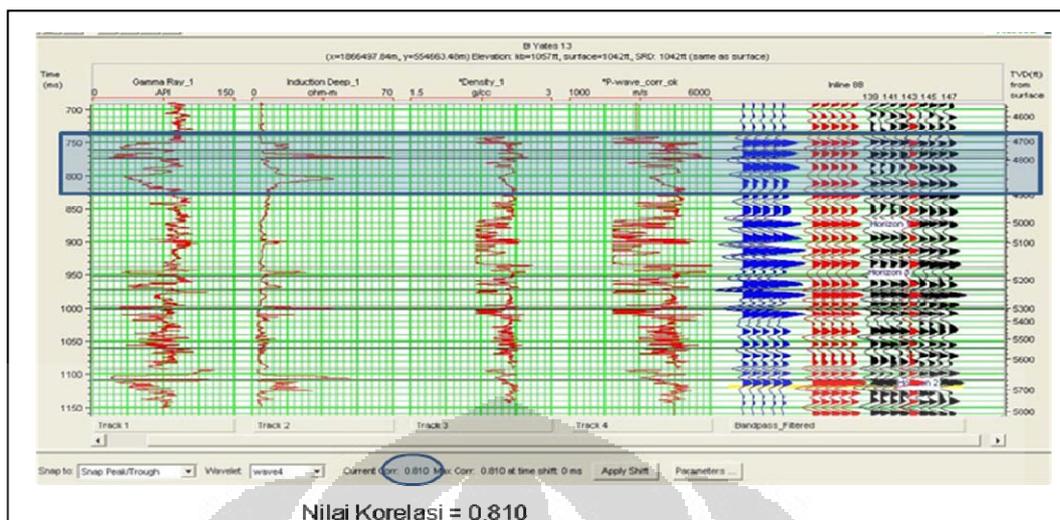
Makin besar nilai koefisien korelasi menandakan bahwa korelasi tersebut makin baik. Korelasi dilakukan terhadap 7 sumur, dengan nilai koefisien korelasi tersebut bervariasi antara 0,7 – 0,8.

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*.

**Tabel 4.2. Daftar nilai korelasi 7 sumur yang dipakai dalam penelitian.**

Nama Sumur	Nilai Korelasi
B Yates 13	0.810
C Yates 9	0.776
IG Yates 9A	0.757
IG Yates 13	0.708
IG Yates 19	0.732
IG Yates 31	0.807
LO Fancher 3	0.739

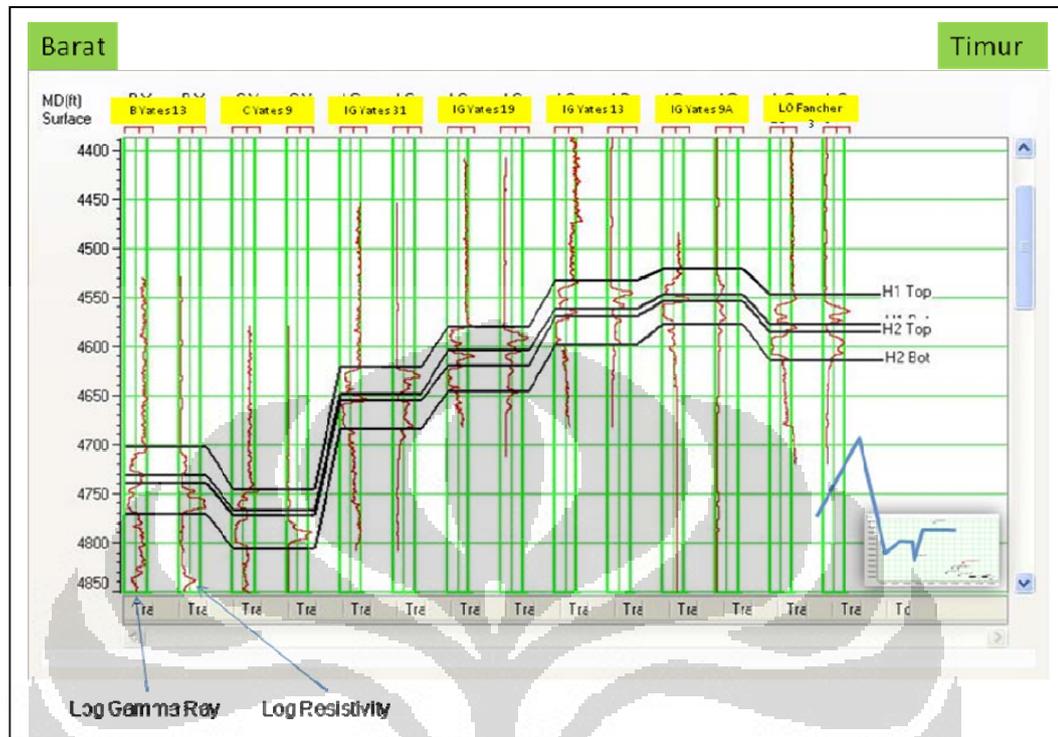
Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai korelasi tertinggi dari *well-tie* antara data sumur dengan data seismik adalah nilai korelasi pada sumur B Yates 13 dan IG Yates 31 dengan nilai korelasi sebesar 0.810 dan 0.807. Sedangkan nilai korelasi terendah terdapat pada sumur IG Yates 13 dengan nilai korelasi sebesar 0.708. Berikut gambar contoh proses *well-tie* pada sumur B Yates 13 (**Gambar 4.7**).



**Gambar 4.7. Seismic – Well Tie Pada Sumur BYATES 13.**

#### 4.3.3. Korelasi Antar Data Sumur

Korelasi data sumur dilakukan untuk melihat hubungan kemenerusan antar sumur, dimana sumur-sumur tersebut terhubung dengan *marker* yang sama. Dari hubungan *marker* terlihat bahwa sumur dari arah Barat ke Timur menunjukkan adanya peninggian. *Marker* menunjukkan adanya zona *interest* (reservoir) dimana biasanya reservoir memiliki nilai GR yang rendah dan nilai Resistivity yang tinggi. Nilai GR yang cukup rendah menandakan bahwa litologi reservoirnya adalah *sand* (batu pasir), sedangkan nilai resistivity yang mengalami penyimpangan ke kanan menandakan *content* dari reservoir tersebut. Nilai resistivity yang tinggi diduga merupakan indikasi adanya gas dan nilai resistivity yang lebih rendah menunjukkan adanya minyak.



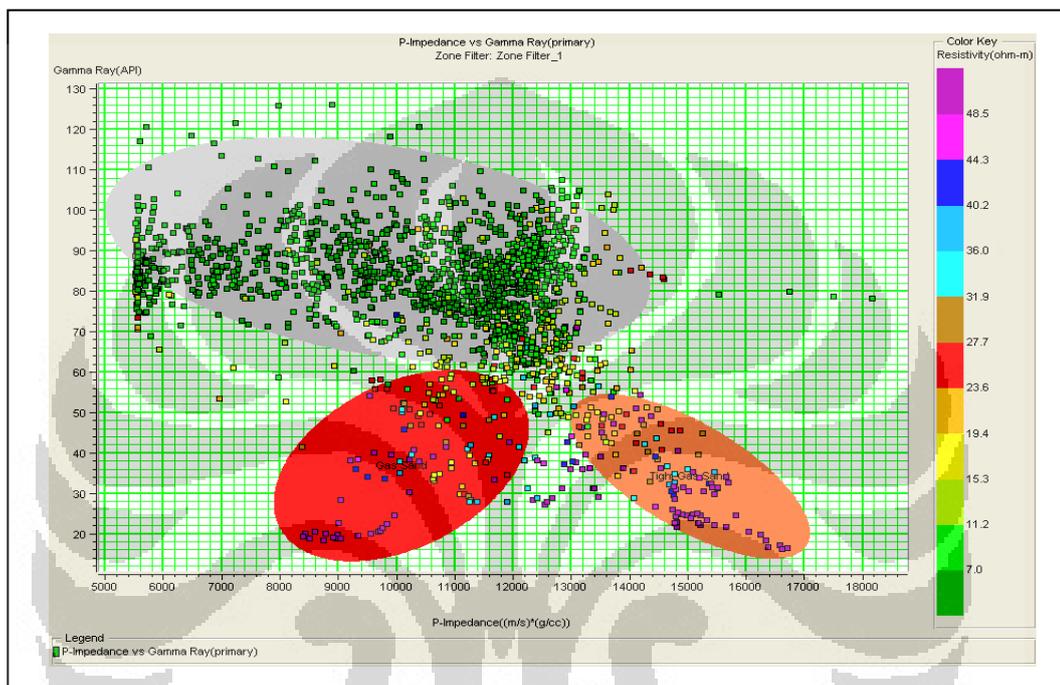
**Gambar 4.8. Korelasi Sumur Penelitian.**

#### 4.3.4. *Crossplot* antara *Acoustic Impedance* dengan *Gamma Ray*

*Crossplot* ditampilkan untuk melihat batuan penyusun reservoir dan di sekitar reservoir dari data salah satu sumur. Pada **Gambar 4.9.** *crossplot* yang ditampilkan adalah *crossplot* sumur B Yates 13. Dibuat *crossplot* antara nilai impedansi akustik dengan nilai sinar gamma, dengan nilai resistivity sebagai *color key*-nya. Dari **Gambar 4.9.**, pada zona yang diberi warna abu-abu merupakan litologi *shale* dimana *shale* ditandai dengan adanya nilai resistivity yang rendah serta, *gamma ray* tinggi serta nilai impedansi akustik yang rendah.

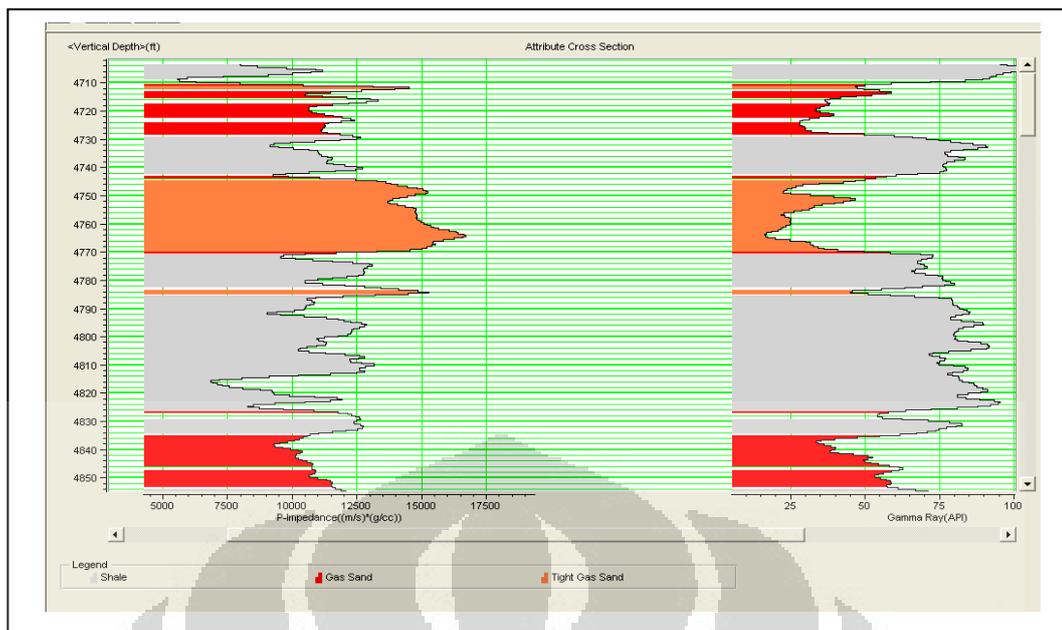
Pada zonasi yang berwarna merah dan oranye, menunjukkan litologi reservoir yang merupakan batuan *sand*, dimana *sand* memiliki nilai *gamma ray* yang rendah dan nilai resistivity yang tinggi. Sedangkan dari nilai impedansi akustik, zona berwarna merah menunjukkan nilai AI yang rendah dan zona berwarna

orange menunjukkan nilai AI yang tinggi. Reservoir dengan zonasi warna merah diindikasikan sebagai batuan *unconsolidated sand*, sedangkan zonasi warna orange diindikasikan sebagai batuan *consolidated sand*. *Consolidated sand* adalah batuan pasir yang lebih kompak dibanding *unconsolidated sand*, karena nilai AI yang lebih besar menandakan bahwa batuan tersebut semakin kompak.



**Gambar 4.9. Crossplot Acoustic Impedance dengan Gamma Ray.**

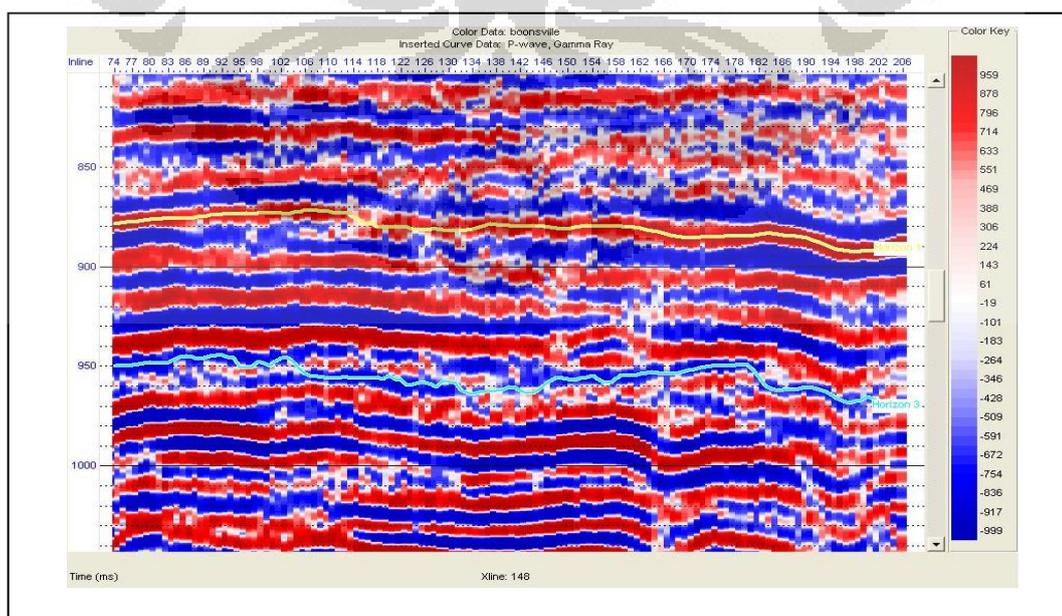
Bagaimana batuan tersebut tersusun pada sumur penelitian terlihat pada **Gambar 4.10.** yang merupakan gambar *cross section* ketiga batuan yang telah dikelompokkan berdasarkan zonasinya.



**Gambar 4.10. Cross Section Zonasi Litologi.**

#### 4.3.5. Picking Horizon

*Picking Horizon* dilakukan untuk menghubungkan lapisan yang diendapkan pada waktu yang sama, dengan kata lain, dilakukan untuk menghubungkan lapisan yang sama. Penarikan garis horizon dilakukan berdasarkan *marker* dari sumur. Dibuat dua buah horizon sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.11**.

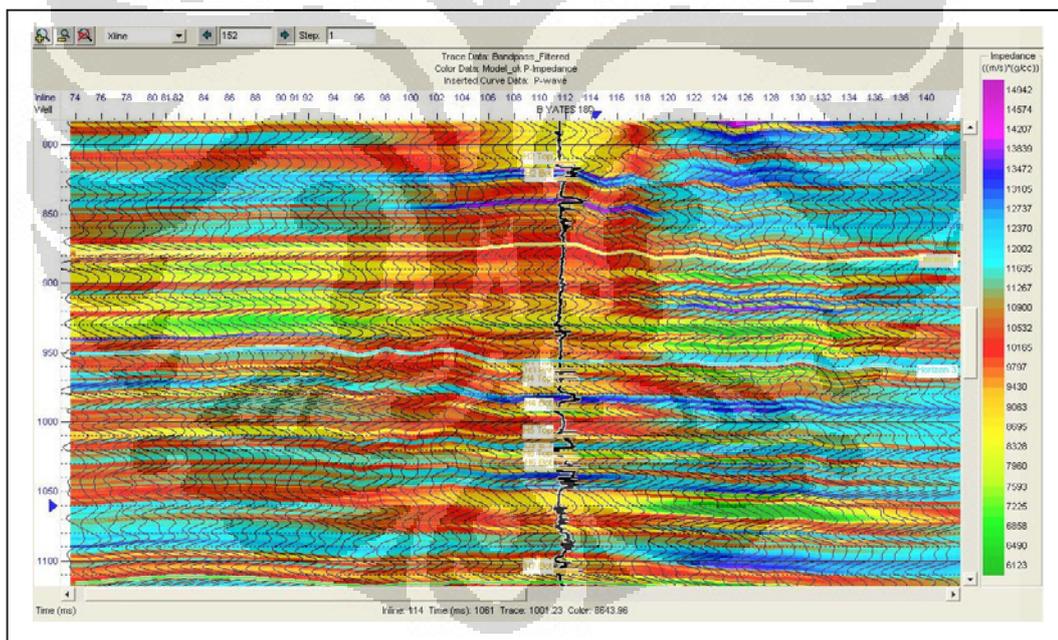


**Gambar 4.11. Picking Horizon**

#### 4.3.6. Pembuatan Model Geologi dari Metode Inversi Seismik

Model bumi 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*. Pembuatan model bumi ini juga bertujuan 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 diekstrapolasi secara lateral mengikuti batas *horizon*.

Pembuatan model bumi ini memerlukan data *log sonic* dan *wavelet* yang telah di ekstrak sebelumnya. Dari *sonic log* dan *wavelet* tersebut akan dihasilkan model geologi berupa penampang seperti terlihat pada **Gambar 4.12**.

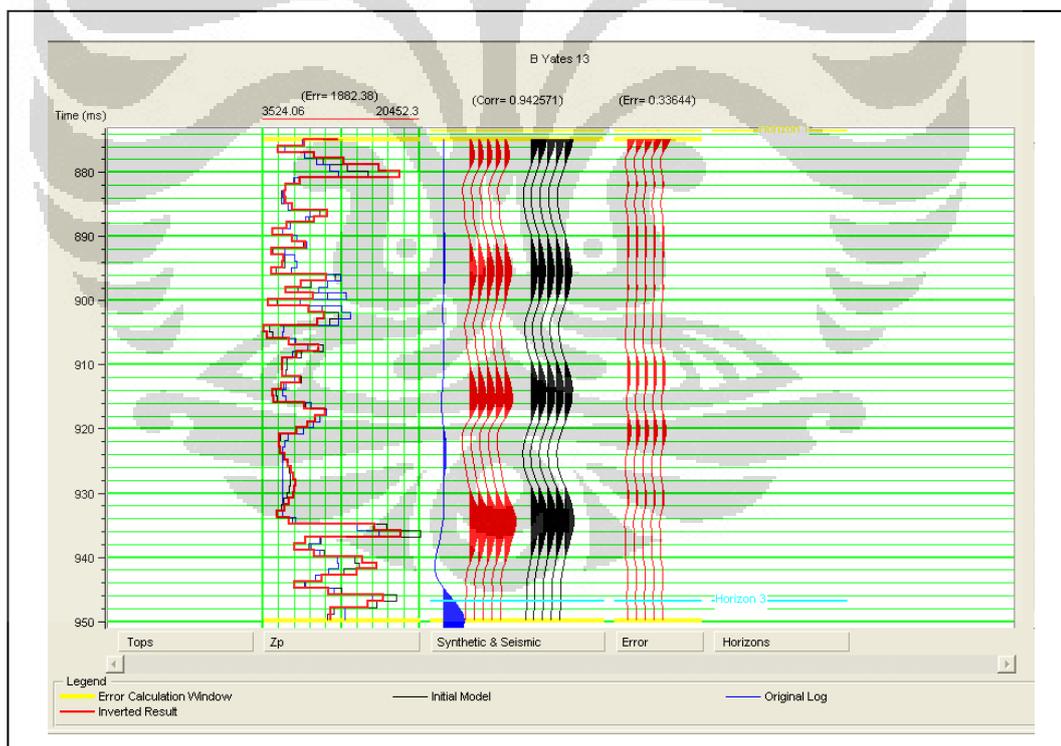


**Gambar 4.12. Model Awal Bumi pada Xline 152.**

### 4.3.7. Analisis Inversi

Analisis inversi dilakukan sebagai kontrol hasil inversi (*Quality Control*), ukuran baik tidaknya hasil inversi dilihat pada proses ini. Dilakukan analisis inversi pada sumur B Yates 13. Dari **Gambar 4.13**, dapat dilihat bahwa nilai *error* antara *log* inversi (warna biru) *log* aslinya (warna merah) menunjukkan nilai 1882.38, nilai *error* ini cukup besar. Namun melihat kecenderungan *trend* yang sama antara kedua *log* tersebut dapat meyakinkan bahwasannya hasil inversi yang telah dilakukan memiliki kualitas yang baik.

Kesamaan *trend* antara *log* inversi dengan *log* aslinya didukung oleh nilai korelasi yang besar antara *trace* seismik hasil inversi (warna merah) dengan *trace* seismik aslinya (warna hitam) dengan nilai korelasi sebesar 0.9426. Dari analisis inversi ini dapat dikatakan bahwa hasil inversi yang telah dilakukan memiliki kualitas yang baik.



**Gambar 4.13. Korelasi Data Hasil Inversi dengan Data *Original*-nya.**

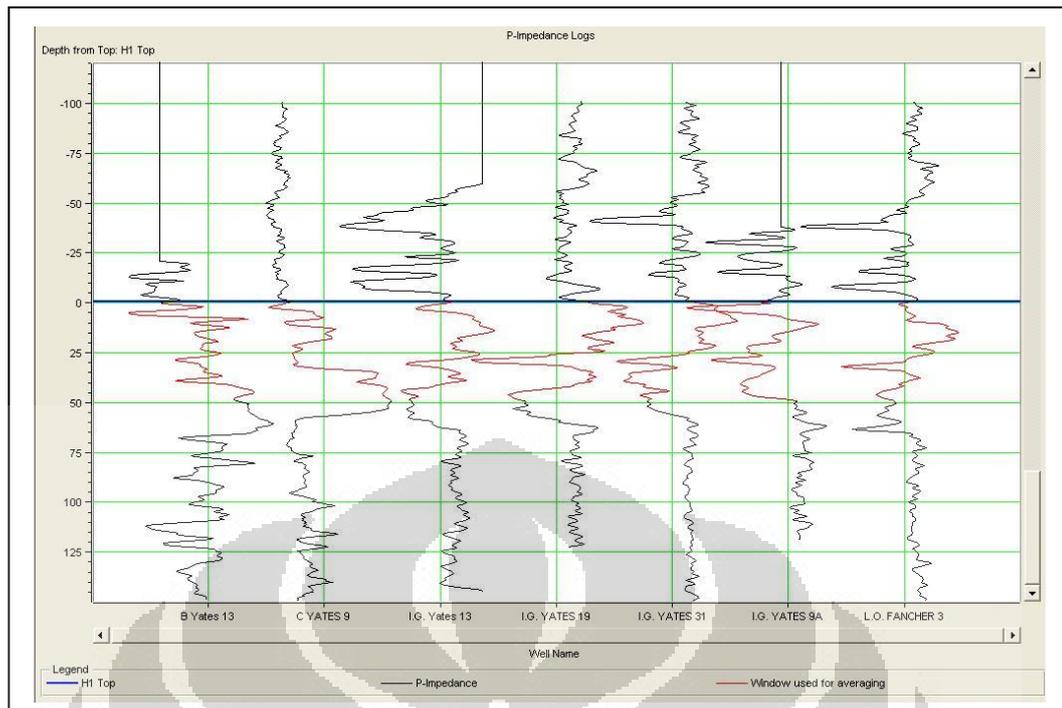
#### 4.4. Metode Geostatistik

Dalam proses geostatistik data primer yang digunakan adalah data sumur. Sedangkan data seismik digunakan sebagai data sekunder. Data yang di *input* pada proses geostatistik adalah data seismik sebelum diinversi dan data sumur yang ada *log* impedansinya (*P-impedance*). *Log* Impedansi Akustik ini merupakan hasil perkalian antara *log* densitas dan *log* sonik, dengan matematis sebagai berikut :

$$IA = ROB \times \frac{1.000.000}{DT} \quad (4.1)$$

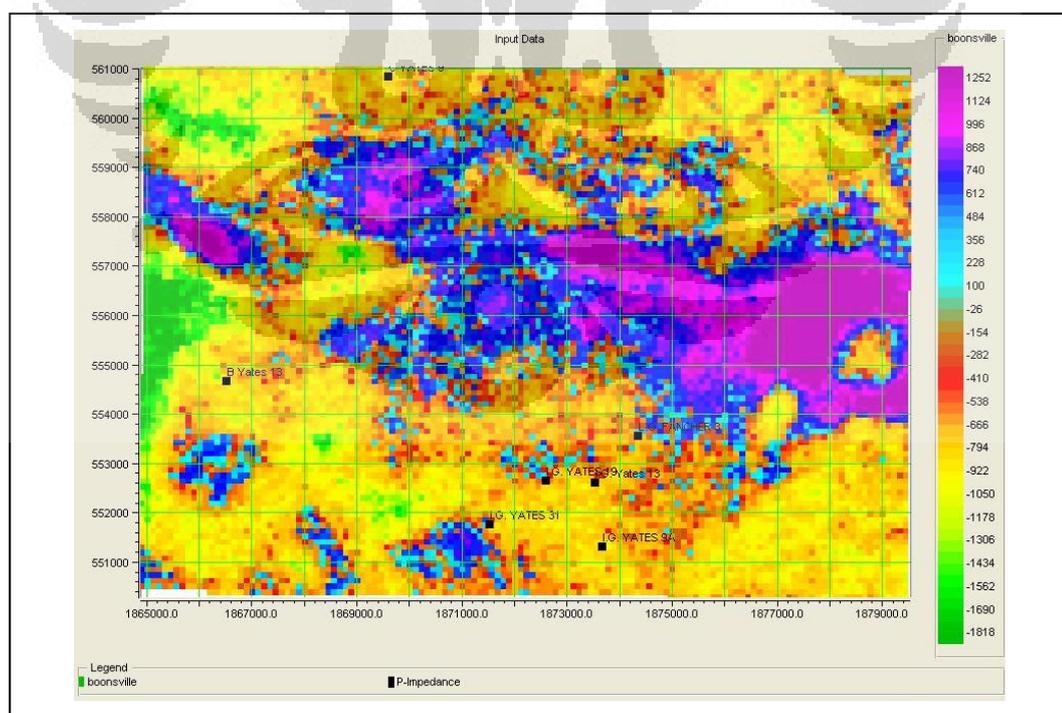
Dimana: IA = Impedansi Akustik (m/s\*g/cc)  
 ROB = *Log* densitas (g/cc)  
 DT = *Log* Sonik (ms/ft)

Fungsi geostatistik dalam studi ini adalah membuat Impedansi Akustik berdasarkan nilai Impedansi Akustik dari ketigabelas sumur. Tahap pertama adalah membuat *Log* Impedansi Akustik dari masing-masing sumur yaitu dengan persamaan (4.1), maka diperoleh hasil dari *log* Impedansi Akustik masing-masing sumur adalah seperti pada **Gambar 4.14.** berikut ini:



**Gambar 4.14. Impedansi Akustik pada Sumur dari horizon H1.**

Langkah selanjutnya dalam proses geostatistik dilakukan proses *slicing* data input seismik pada horizon H1 dengan sumur-sumur yang dipakai sebagaimana terlihat pada **Gambar 4.15.** berikut ini.



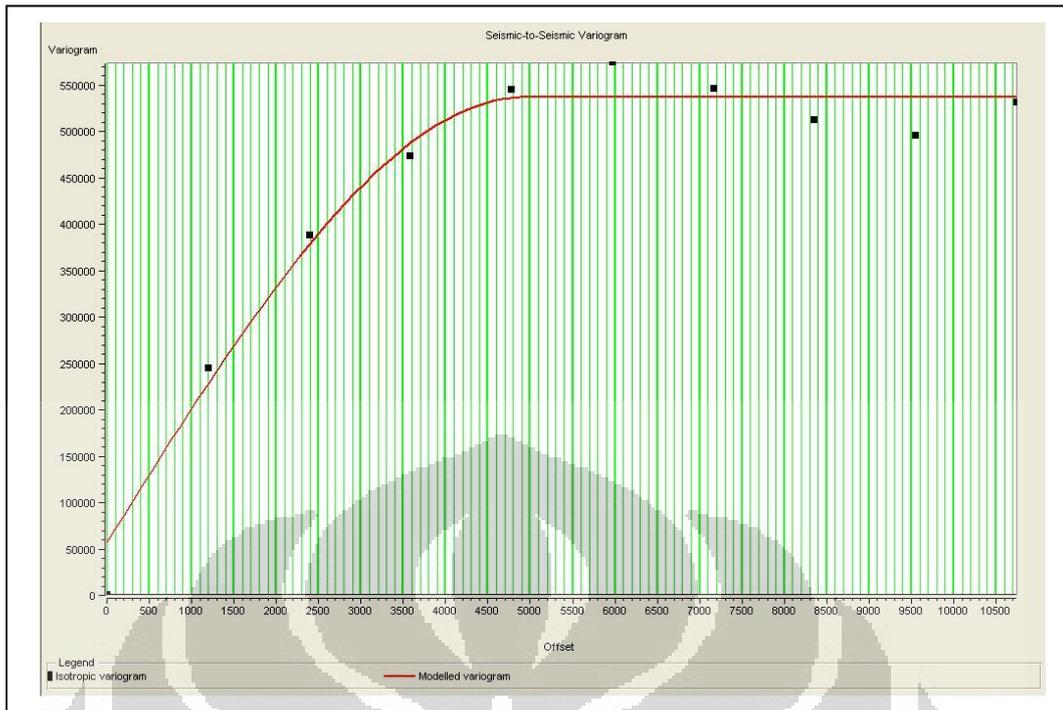
**Gambar 4.15. Slicing Amplitudo pada Horizon H1.**

Proses berikutnya adalah pembuatan variogram dan analisis variogram untuk mengetahui hubungan antara data seismik dengan data sumur sebagai salah satu langkah analisis untuk memahami data yang dipergunakan. Penerapan hubungan tersebut melalui *kriging* dan *cokriging* yang menghasilkan peta dan memperkirakan penyebaran Impedansi Akustik.

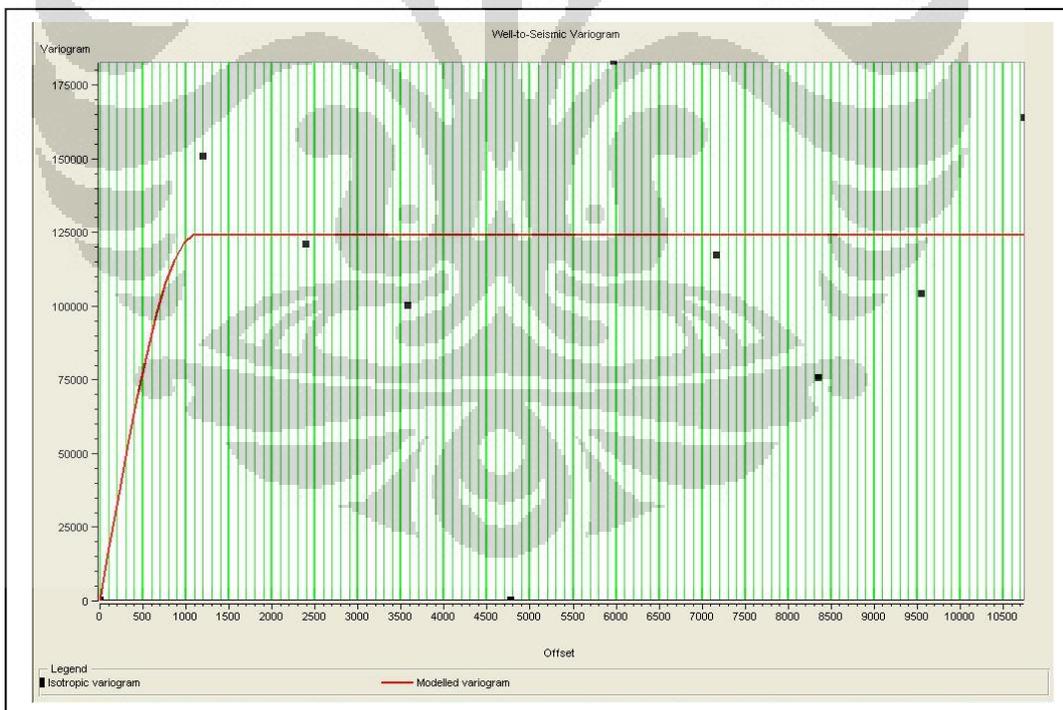
Variogram tersebut adalah variogram *well-to-well variogram* (**Gambar 4.16**), *seismic-to-seismic variogram* (**Gambar 4.17**), dan *well-to-seismic variogram* (**Gambar 4.18**), terlihat pada gambar berikut.



**Gambar 4.16. Well-to-Well Variogram.**

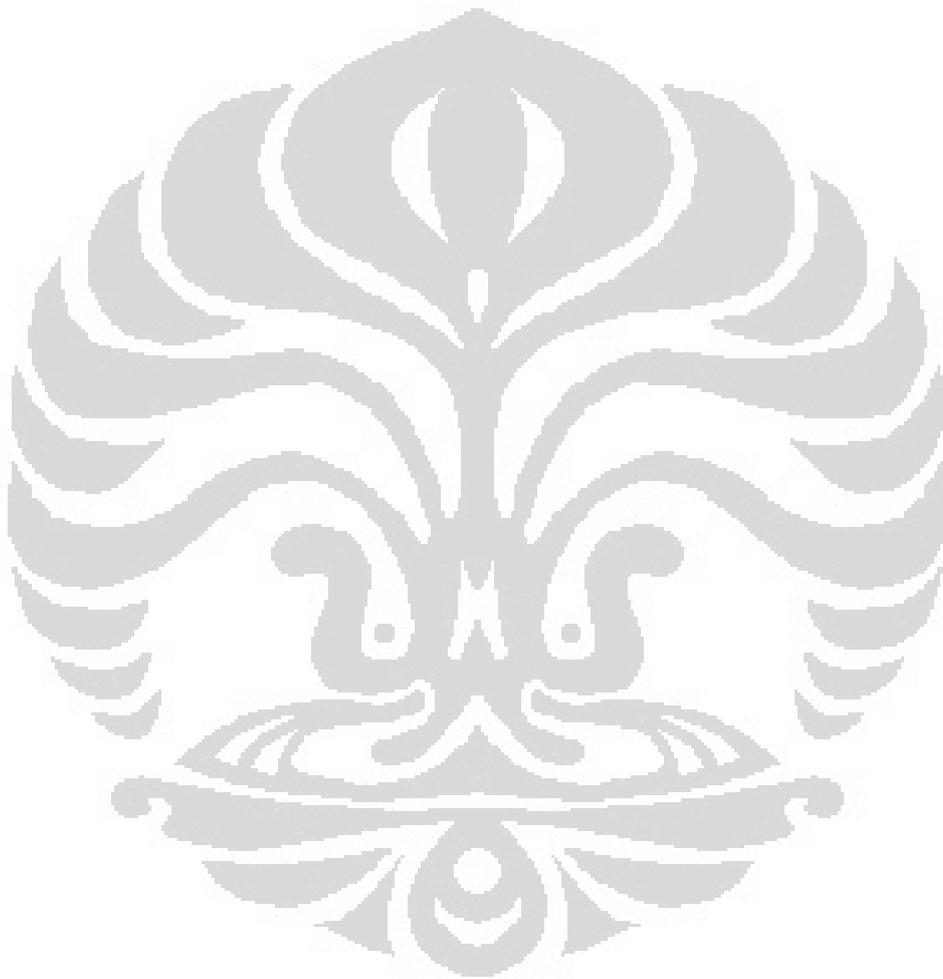


**Gambar 4.17. Seismic-to-Seismic Variogram.**



**Gambar 4.18. Well-to-Seismic Variogram.**

Keseluruhan variogram yang dihasilkan mempunyai *nugget* yang mendekati nol, variogram *seismic-to-seismic* memiliki *range* yang besar dibandingkan dengan variogram yang lain, hal ini dikarenakan data seismik memiliki keunggulan pada cakupan lateral jika dibandingkan dengan data sumur. Penggunaan variogram adalah untuk menentukan jarak dimana nilai-nilai data pengamatan menjadi saling tidak tergantung atau tidak ada korelasinya.



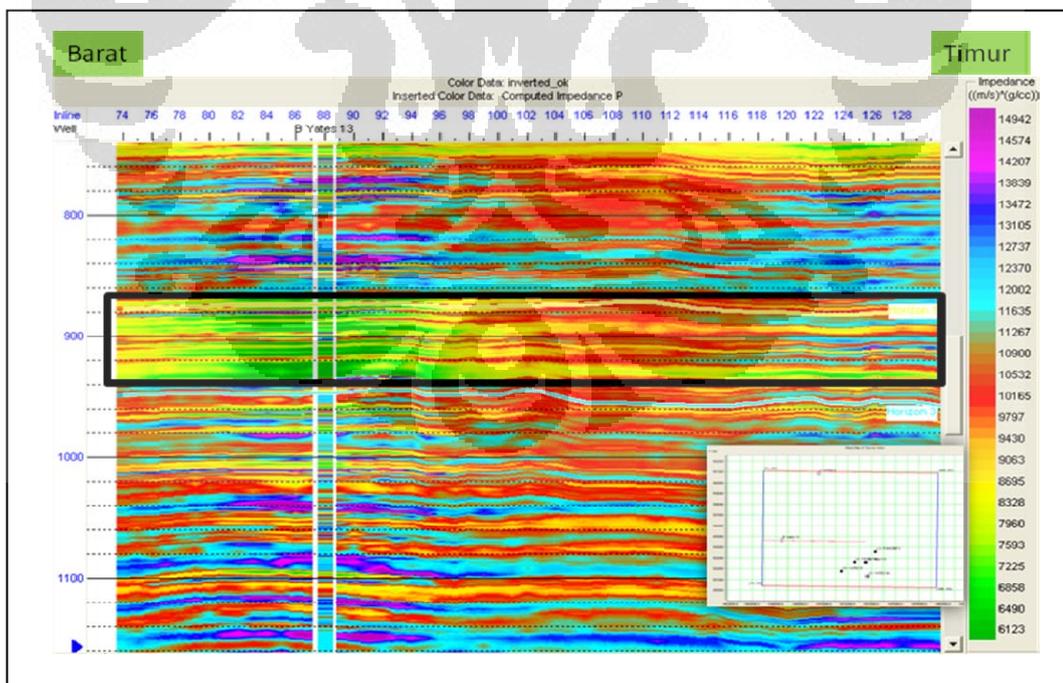
## BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Metode Inversi

#### 5.1.1. Impedansi Akustik Hasil Metode Inversi (*Model Based*)

Pada proses inverse *model based*, model bumi digunakan sebagai *constrain* dari hasil inversi. Inversi seismik dengan teknik *model based* menghasilkan model penampang inversi seperti terlihat pada **Gambar 5.1**. Pada gambar tersebut terdapat sumur B Yates 13. Daerah reservoir ditandai dengan warna hijau tua sampai hijau muda, yakni zona yang diberi kotak dengan garis berwarna hitam.

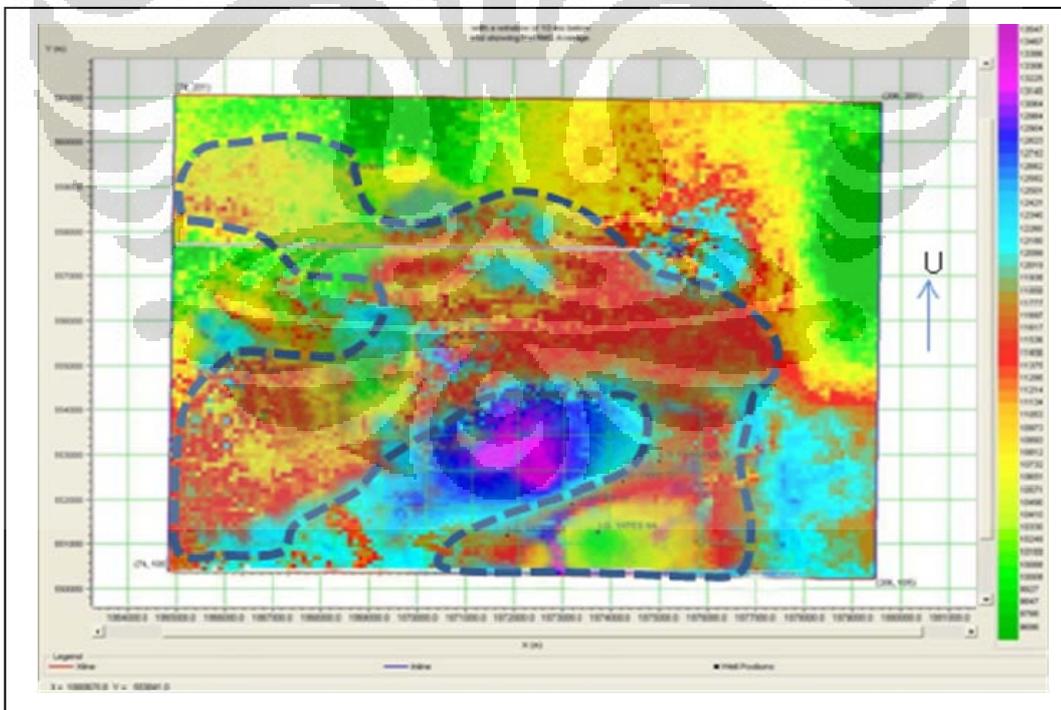
Kisaran nilai impedansi akustik yang menunjukkan zona reservoirnya adalah pada skala nilai antara  $6123 \text{ (m/s)} \cdot \text{(g/cc)}$  sampai dengan  $7593 \text{ (m/s)} \cdot \text{(g/cc)}$ , yang ditunjukkan pada penampang dengan warna hijau tua sampai hijau muda. Dapat terlihat pada penampang inversi zona reservoir pada sumur B Yates 13 berada pada kedalaman 860 ms - 940 ms.



**Gambar 5.1.** Hasil Inversi *Model Based* pada Xline 143.

Untuk melihat kecenderungan (*trend*) penyebaran nilai impedansi akustik dari semua sumur dilakukan proses *slicing* pada horizon target. *Slicing* sangat berguna untuk melihat distribusi penyebaran nilai impedansi akustik pada sumur dan sekitarnya. Distribusi penyebaran pada *slicing* inversi ini bergantung pada data seismik sebagai data primer dan data sumur sebagai pengontrolnya dalam mengestimasi nilai impedansi akustik. Hasil *slicing* dari penampang inversi *model based* dapat terlihat pada **Gambar 5.2**.

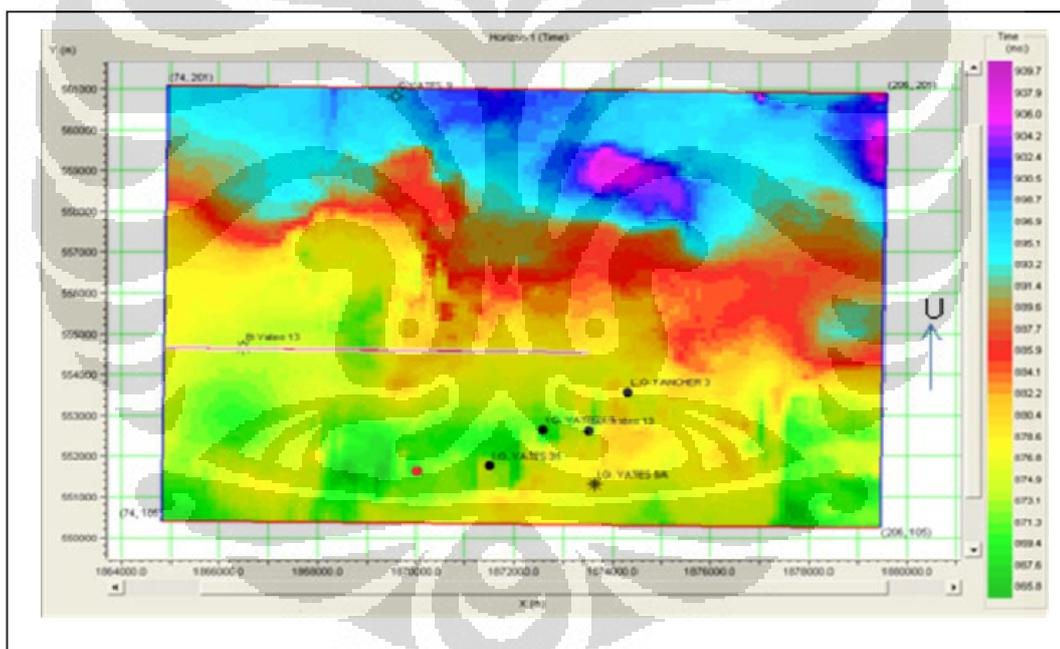
Dari hasil dapat dilihat pola penyebaran impedansi akustiknya beserta tujuh sumur yang ada pada *slicing* tersebut, Persebaran zona reservoarnya ditunjukkan dengan garis putus-putus, dimana keseluruhan sumur yang dimasukkan pada penelitian berada pada zonasi tersebut. Dilihat dari persebaran reservoarnya, dapat dianalisa lingkungan pengendapannya. Dari **Gambar 5.2**. terlihat bahwa lingkungan pengendapannya adalah *Fluvial-Deltaic* dengan arah pengendapan ke arah Timur Laut.



**Gambar 5.2. *Slicing* Inversi Model Based.**

Arah pengendapan tersebut dikonfirmasi dengan peta struktur waktu pada **Gambar 4.3.** dimana zona yang berwarna hijau memiliki nilai *time* yang rendah, nilai ini menunjukkan bahwa zona hijau memiliki ketinggian yang lebih besar, zona berwarna kuning memiliki ketinggian yang lebih rendah dibanding zona berwarna hijau, dan zona berwarna biru hingga ungu memiliki ketinggian yang terendah.

Dari peta struktur waktu ini dapat dilihat bahwa dari arah Barat Daya menuju arah Timur Laut strukturnya adalah menurun. Hal ini membuktikan bahwa pengendapannya menuju Timur Laut, dimana kecenderungan aliran air adalah berasal dari tinggian menuju rendahan. Gambaran lingkungan pengendapan ini juga ditunjukkan hasil *slicing* inversi pada **Gambar 5.2.**



**Gambar 5.3. Peta Time Structure.**

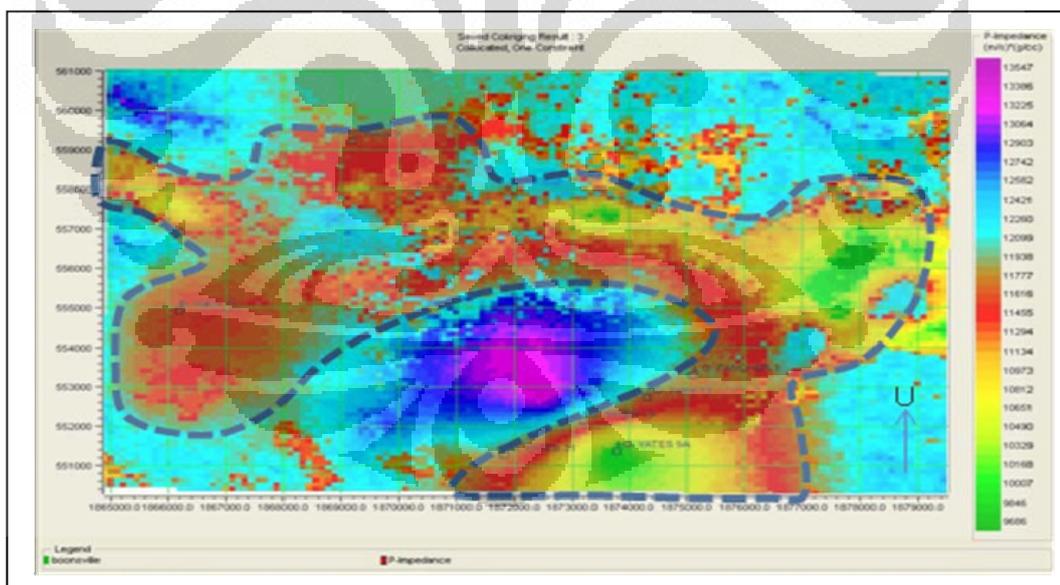
## 5.2. Metode Geostatistik

### 5.2.1. Impedansi Akustik Hasil Metode Geostatistik

Dalam metode Geostatistik, salah satu proses yang dilakukan adalah proses *Kriging*, dimana proses ini menggunakan data sumur sebagai estimasi penyebaran

nilai impedansi akustik. Pendekatan distribusi statistik yang dilakukan pada proses ini adalah pendekatan *Stokastik*, dalam memprediksi pola penyebaran berdasarkan data pengamatan yang terbatas untuk kemudian menerapkan kaidah-kaidah statistik di area tersebut. Dengan proses *Kriging* menggunakan pendekatan *Stokastik*, memungkinkan untuk menghitung nilai estimasi suatu titik yang tidak ada sampel data pengukurannya berdasarkan nilai-nilai disekitarnya yang diketahui.

Proses *Cokriging* dilakukan dengan dua data set dimana data sumur dikorelasikan dengan data seismik yang akan menghasilkan nilai impedansi akustik. Dalam proses *Cokriging* ini interpolasi menggunakan dua variabel yang berbeda akan tetapi secara spasial berhubungan, dengan memanfaatkan hubungan spasial ini dapat diestimasi nilai-nilai dari suatu variabel berdasarkan nilai-nilai dari variabel lain yang sampel datanya diketahui dari hasil pengukuran. Pola penyebaran impedansi akustik hasil dari proses *Cokriging* tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5.4.** berikut ini.



**Gambar 5.4. Slicing Geostatistik dengan Teknik Cokriging.**

Pada *slice* gambar *Cokriging* tersebut data sumur telah dipengaruhi oleh data seismik sebagai penguat data sumur sehingga kedua data tersebut dapat saling berkorelasi sehingga estimasi nilai impedansi akustik menjadi lebih obyektif pada

arah vertikal dan lateralnya. Persebaran litologi batu pasir yang diduga sebagai zona reservoarnya ditandai dengan garis putus-putus pada **Gambar 5.4.** tersebut.

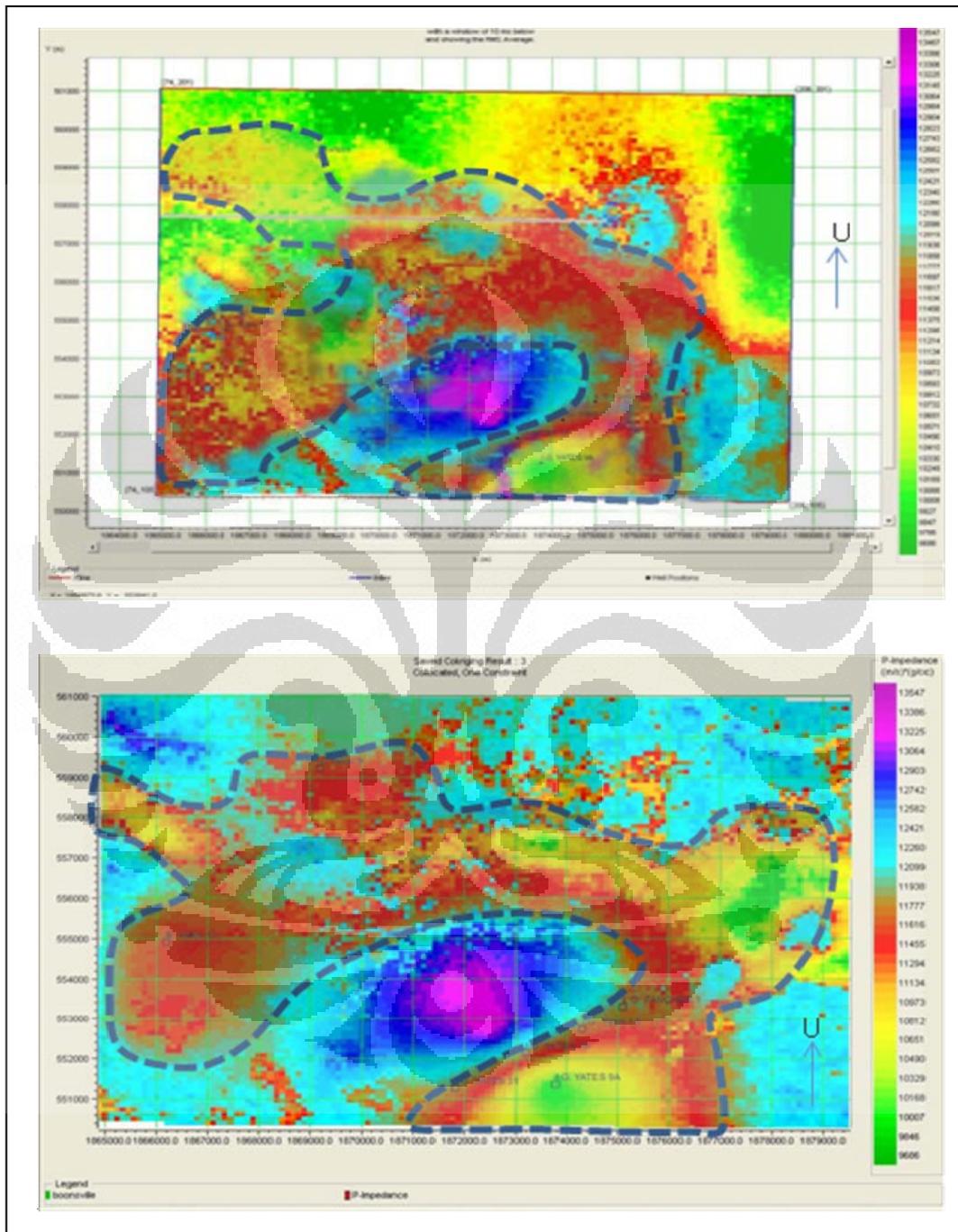
Pada zona persebaran tersebut terlihat adanya nilai AI yang lebih tinggi (warna merah) dengan AI yang lebih rendah (warna hijau) dimana nilai AI yang lebih tinggi diindikasikan memiliki litologi *consolidated sand* dan zona yang memiliki nilai AI yang lebih rendah diindikasikan memiliki litologi *consolidated sand (gas sand)* yang memiliki kekompakan batuan yang lebih besar dibandingkan dengan litologi *consolidated sand (tight gas sand)*. Kedua zonasi litologi ini dapat dipisahkan dengan cukup jelas oleh hasil *slicing* impedansi akustik hasil dari metode geostatistik.

### 5.3. Analisis Perbandingan Hasil Impedansi Akustik

Pola penyebaran impedansi akustik dari kedua metode tersebut memiliki persamaan *trend*. Setelah melakukan proses penggabungan pola pada kedua hasil metode tersebut dapat dianalisa dan diperbandingkan hasilnya yang mempunyai kemiripan pola. Namun pada zona-zona tertentu, hasil inversi dan geostatistik memiliki perbedaan yang cukup besar, yakni pada zona pada arah Utara dan Timur laut, dimana hasil inversi menunjukkan nilai AI yang rendah sedangkan hasil geostatistik menunjukkan nilai AI yang tinggi. Hal ini karena pada metode geostatistik lebih dikontrol oleh adanya data sumur, sehingga jika tidak di-*input* data sumur di dalamnya (sebenarnya ada sumur pada zona tersebut), maka tidak dapat memetakan persebaran reservoir secara keseluruhan dari data seismik yang diinterpolasikan olehnya, namun hasil geostatistik dapat memperlihatkan *boundary* antar litologi dengan baik.

Hasil inversi dapat memetakan reservoir secara keseluruhan, namun tidak dapat memetakan dengan baik batasan antar batuan yang ada pada zona tersebut. Dari *trend* pada kedua hasil dari metode tersebut dapat dilihat bahwa keduanya menunjukkan lingkungan pengendapan yang sama, yakni *Fluvial-Deltaic* dimana arah pengendapannya adalah ke arah Timur Laut. Hal ini dikonfirmasi dengan peta struktur waktu pada **Gambar 5.3.** dimana wilayah Timur Laut merupakan

daerah rendahan dan wilayah Barat Daya merupakan daerah tinggian, pengendapan ini diduga dilakukan oleh air yang mengarah ke laut dimana air memiliki kecenderungan untuk mengalir dari tinggian ke arah rendahan.



Keterangan: Atas: Hasil Metode Inversi; Bawah: Hasil Metode Geostatistik.

**Gambar 5.5. Perbandingan Impedansi Akustik Hasil Inversi Dan Geostatistik.**

## BAB 6 KESIMPULAN

Berdasarkan data serta hasil dari metode Inversi Seismik dan metode Geostatistik, beberapa kesimpulan yang diperoleh dari studi ini antara lain :

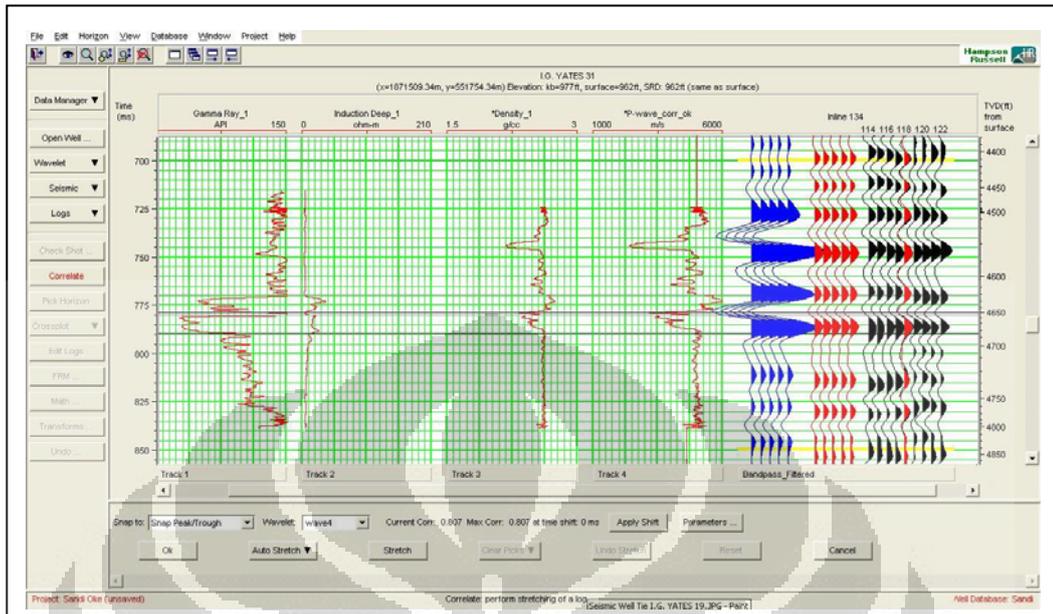
1. Karakteristik Reservoir:
  - Reservoir yang bernilai AI rendah 8000 – 11.000 (m/s)\*(gr/cc) diidentifikasi sebagai *Unconsolidated Sand / Gas Sand*,
  - Reservoir yang bernilai AI tinggi 13.000 – 17.000 (m/s)\*(gr/cc) diidentifikasi sebagai *Consolidated Sand / Tight Gas Sand* (dapat berupa batuan *Conglomerate*).
2. Pola penyebaran yang dihasilkan dari inversi seismik dan geostatistik saling memperkuat dalam mengidentifikasi reservoir migas dengan menganalisis nilai impedansi akustik.
3. Metode geostatistik lebih dikontrol oleh adanya data sumur, sehingga tidak dapat memetakan persebaran reservoir secara keseluruhan, namun hasil geostatistik dapat memperlihatkan *boundary* antar litologi dengan baik.
4. Hasil inversi dapat memetakan reservoir secara keseluruhan, namun tidak dapat memperlihatkan batasan antar batuan dengan baik.
5. Berdasarkan hasil dari kedua metode tersebut, dapat disimpulkan bahwa lingkungan pengendapan daerah penelitian ini adalah *Fluvial-Deltaic* dengan pengendapan dan *trend* berarah dari Barat Daya ke Timur Laut.

## DAFTAR ACUAN

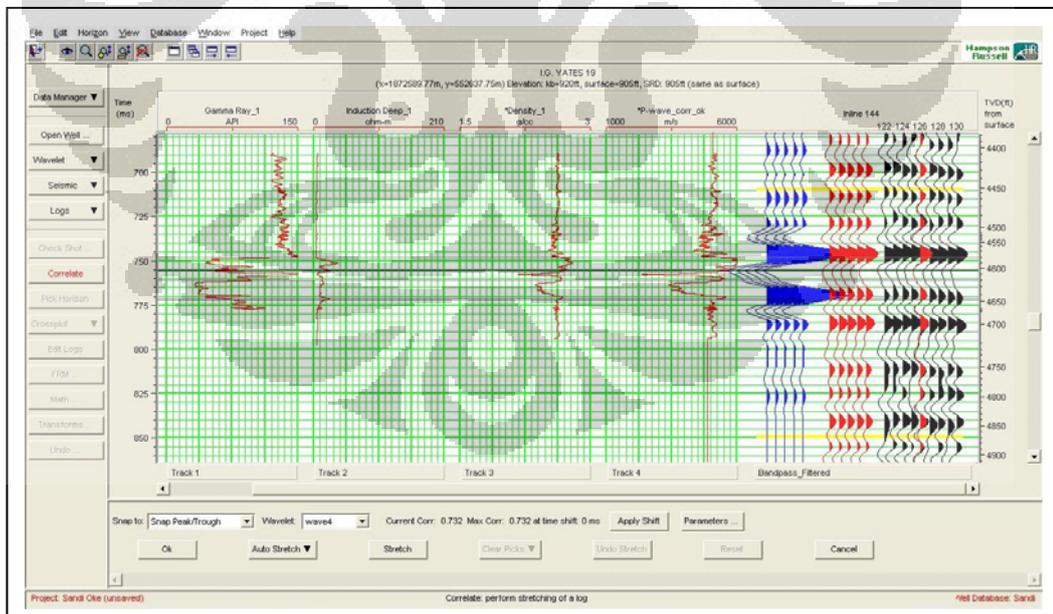
- Aninnaim. 2010. *Perbedaan Seismik Refleksi dan Refraksi*. <<http://www.aninnaim.community.undip.ac.id>>
- Damsleth, Elvind. 1997. *Geostatistical Approaches in Reservoir Evaluation*. Jurnal of Petroleum Technology.
- Davis, J.C. 1973. *Statistical and data analysis in Geology*. Toronto: John Wiley & Sons.
- Grandis, H. dan Winardhi, S. 2000. *Inversi Geofisika*. Program Studi Geofisika. FIKTM. ITB.
- Hampson-Russel Software Service, Ltd. 2000. *Strata Analysis Tutorial*. Hampson-Russel.
- Hardage, Bob. et al. *Collapse Effect Viewed, Geophysical Corner*. Regular Column in EXPLORER. AAPG.
- Isaaks, E.H dan R.M. Srivastava. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. London: Oxford University Press.
- Jensen, L. and Jerry. 1997. *Statistics for Petroleum Engineers and Geoscientists*. New Jersey: Prentice Hall.
- Moenadi, Suprajitno. 2005. *Pengantar Geofisika*. Program Pasca Sarjana Fisika Kekhususan Geofisika Reservoir. Universitas Indonesia, Depok.
- Russel, Brian. H. 1988. *Introduction to Seismic Inversion*. Tulsa: SEG.
- Sukmono, S. 1999. *Interpretasi Seismik Refleksi*. Geophysical Engineering, Bandung Institute of Technology. Bandung.
- Sukmono, S. 2000. *Seismik Inversi Untuk Karakteristik Reservoir*, Geophysical Engineering Bandung Institute of Technology. Bandung.
- Sukmono, S. 2007. *Fundamentals of Seismic Interpretation*. Geophysical Engineering Bandung Institute of Technology. Bandung.
- Tanakov, Mikhail Yuri. 1997. *Thesis Integrated Reservoir Description for Boonsville (Texas) Field Using 3-D Seismic, Well and Production Data*. The University of Tulsa.
- Wolf, D.J. et.al. 1994. *Stochastic Modelling and Geostatistics*. AAPG Computer Application in Geology No. 3. Tulsa.



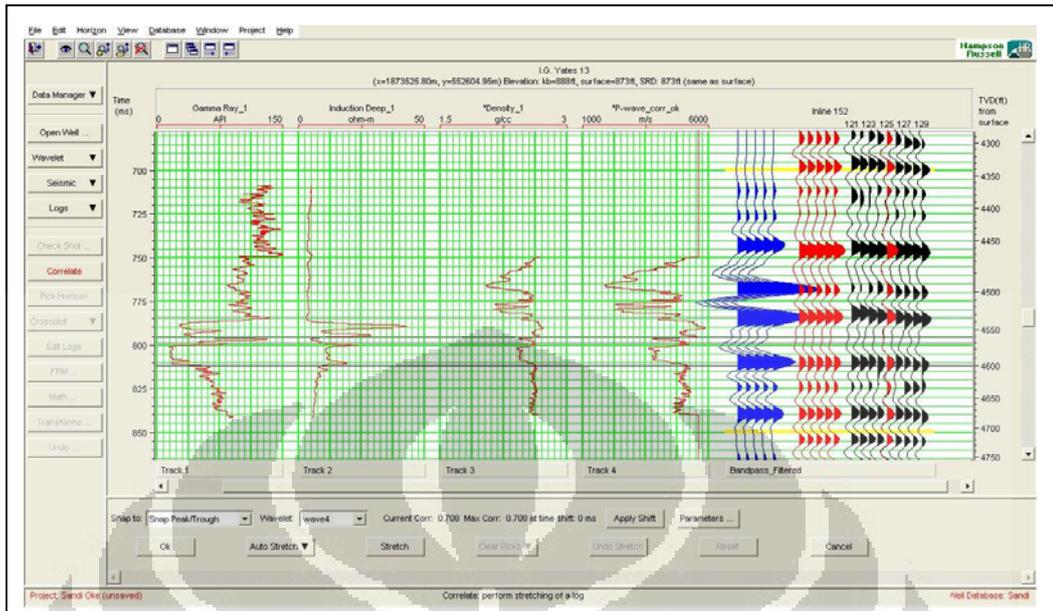
# LAMPIRAN



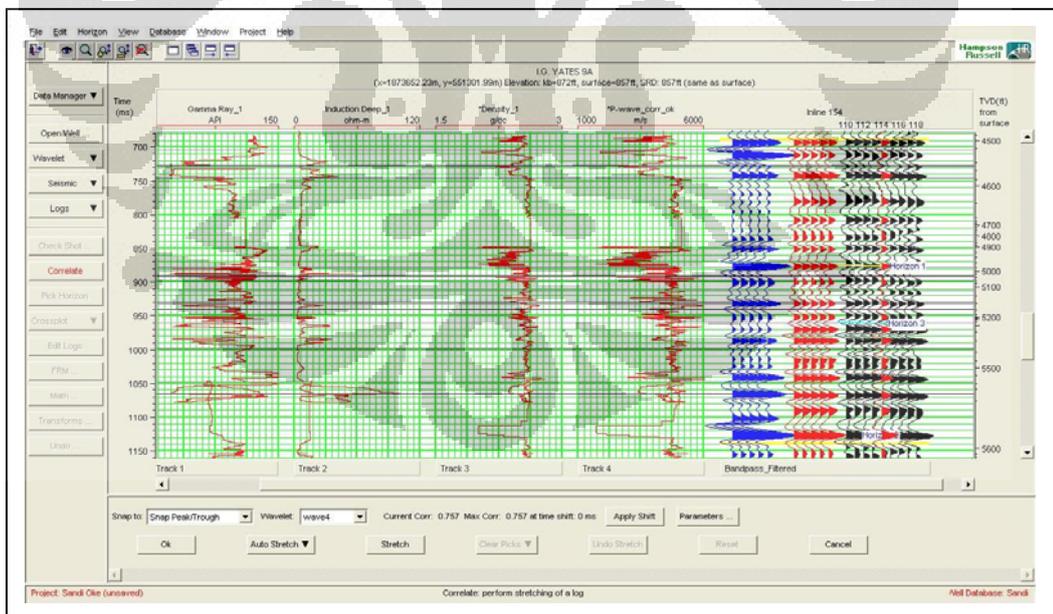
**Gambar 1. Seismic Well-Tie Sumur IG. Yates 31.**



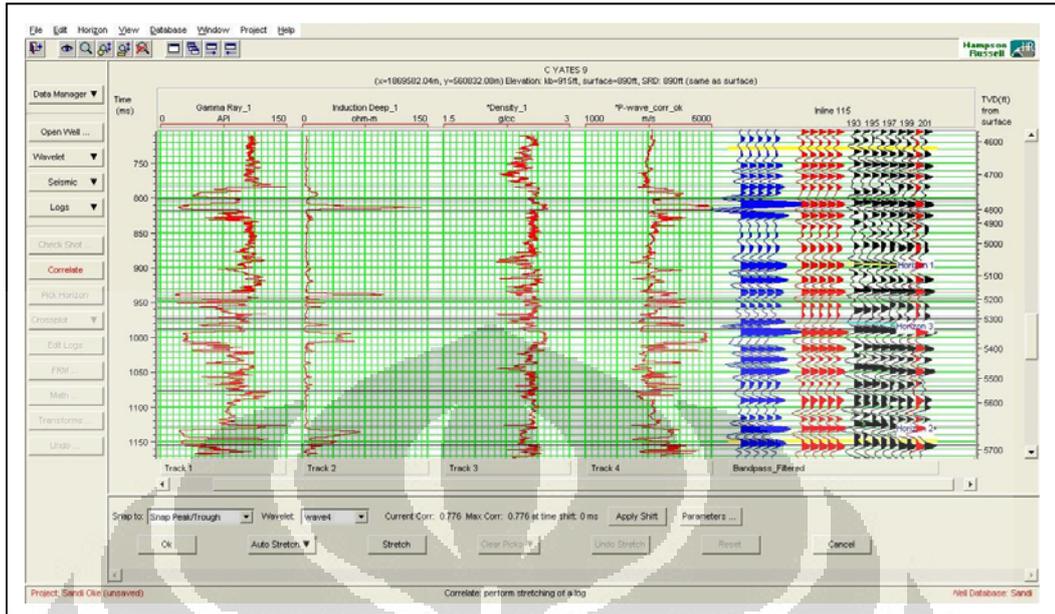
**Gambar 2. Seismic Well-Tie Sumur IG. Yates 19.**



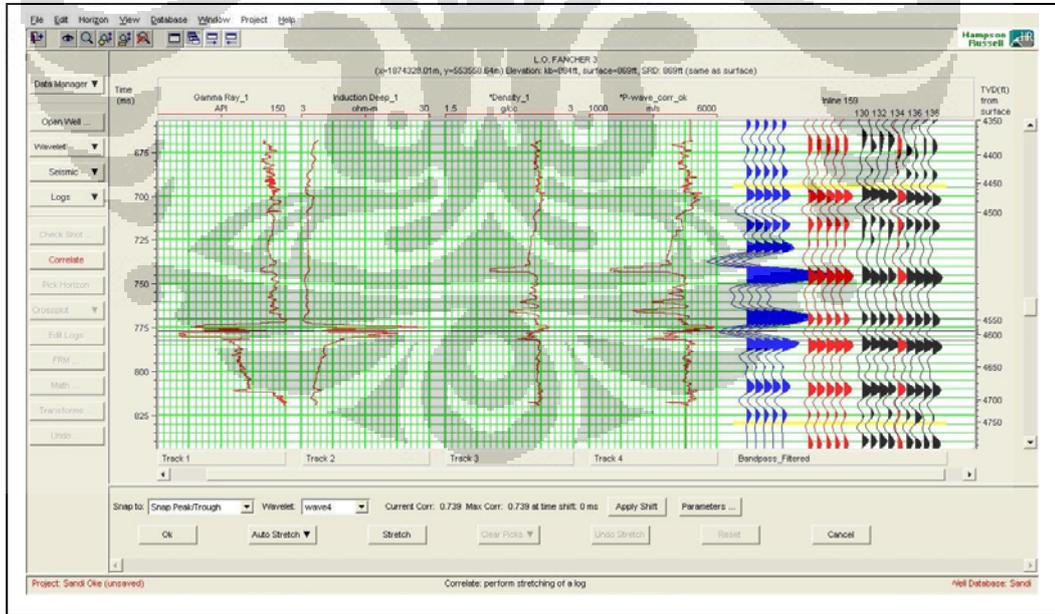
**Gambar 3. Seismic Well-Tie Sumur IG. Yates 13.**



**Gambar 4. Seismic Well-Tie Sumur IG. Yates 9A.**



**Gambar 5. Seismic Well-Tie Sumur C Yates 9.**



**Gambar 6. Seismic Well-Tie Sumur LO Fancher 3.**