



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PREDIKSI PENYEBARAN BATU PASIR PADA LAPANGAN  
BOONSVILLE DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
INVERSI GEOSTATISTIK BAYESIAN**



**SKRIPSI**

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

**ASTRID AISSA  
0304020124**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
DEPARTEMEN FISIKA  
PROGRAM STUDI GEOFISIKA  
DEPOK  
2008**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Astrid Aissa**

**NPM : 0304020124**

**Tanda tangan :**

**Tanggal : 3 Desember 2008**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Astrid Aissa  
NPM : 0304020124  
Program Studi : Fisika/Geofisika  
Judul Skripsi :  
Prediksi Penyebaran Batu Pasir pada Lapangan Boonsville dengan Menggunakan  
Metode Inversi Geostatistik Bayesian

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Leonard Lisapaly JIL ( )

Pembimbing : Dr. Supriyanto ( )

Penguji : Dr. Abdul Harris ( )

Penguji : Dr. Waluyo ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 3 Desember 2008

## LEMBAR PERSEMBAHAN



*Teruntuk:*

*Papa dan Mama Tercinta serta*

*Keluarga Tersayang*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah swt, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nyalah skripsi ini dapat diselesaikan. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Dalam proses penulisan skripsi ini saya banyak dibantu oleh berbagai pihak baik dari segi bimbingan, ilmu, semangat dan doa. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Eng Supriyanto, MSc selaku pembimbing departemen yang telah banyak memberikan semangat, bantuan, perhatian dan membuka jalan dalam mendapatkan tema Tugas Akhir,
2. Dr. Leonard Lisapaly JIL selaku pembimbing yang telah memberikan project serta tema dalam Tugas Akhir ini serta telah banyak direpotkan selama proses pengerjaan skripsi ini,
3. Orang tua, Hermanto dan Taty Sumipiarti yang telah banyak berharap, memberikan doa, dorongan, nasihat dan dukungan agar anak terakhirnya dapat menyelesaikan kuliah,
4. Andriarsanto, kakak yang telah memberikan dukungan, semangat dan selalu mau mengalah dalam pemakaian internet,
5. Gustriyansyah atas doa dan semangatnya,

6. *Cewe-cewe Fisika 2004*: Elly, Nidya, Saad, Ira, Neni, Dewi, Tere dan Ratu atas kebersamaannya,
7. Teman-teman Fisika angkatan 2004 khususnya tim 4,5 tahun yang telah mengalami senang dan susah bersama-sama agar bisa cepat lulus,
8. Bapak Arif dari Cisco yang telah membantu menangani laptop dengan “Linux *inside*”,
9. Mba Ratna dari Kesekretariatan Departemen Fisika yang selalu ramah selama berurusan masalah administrasi Tugas Akhir dan selalu memberikan informasi-informasi penting,
10. Seluruh Keluarga Besar Fisika UI,
11. Dan seluruh pihak yang tidak dapat disebut satu persatu.

Akhir kata tidak ada ciptaan manusia yang sempurna seperti ketidaksempurnaan manusia, begitu pula skripsi ini. Oleh sebab itu saran dan kritik yang membangun akan sangat saya terima dengan harapan perbaikan pribadi dikemudian hari dan kemajuan ilmu pengetahuan.

Depok, 13 November 2008

Astrid Aissa

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

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

Nama : Astrid Aissa  
NPM : 0304020124  
Program Studi : Geofisika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Skripsi

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

**Prediksi Penyebaran Batu Pasir pada Lapangan Boonsville dengan  
Menggunakan Metode Inversi Geostatistik Bayesian**

berserta 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 : 3 Desember 2008

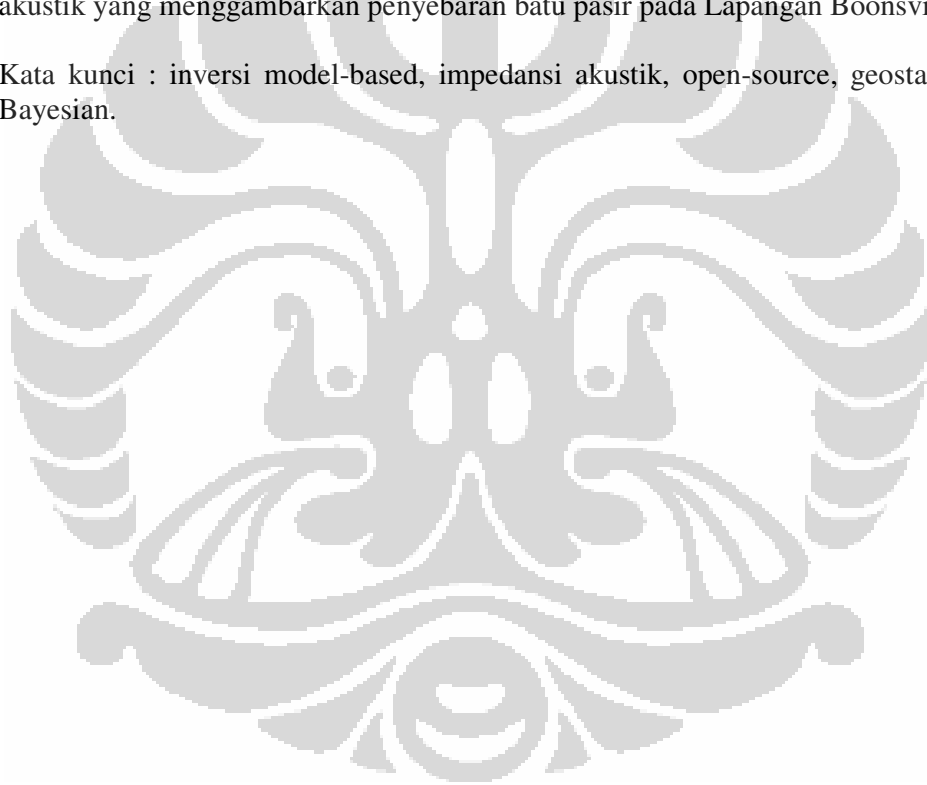
Yang Menyatakan

(Astrid Aissa)

## ABSTRAK

Inversi seismik digunakan untuk menggambarkan model geologi bawah permukaan dalam bentuk impedansi akustik. Inversi seismik dilakukan dengan menggabungkan data seismik dengan data sumur. Kedua data tersebut memiliki skala yang berbeda sehingga untuk melakukan integrasi keduanya digunakan geostatistik agar dihasilkan model geologi yang konsisten. Target area pada proses inversi seismik yaitu Lapangan Boonsville yang terletak di Negara Bagian Texas, AS. Proses inversi dilakukan dengan menggunakan software open-source Delivery. Delivery melakukan inversi seismik *model-based* dengan pendekatan Bayesian. Hasil akhir yang didapatkan adalah penampang melintang impedansi akustik yang menggambarkan penyebaran batu pasir pada Lapangan Boonsville.

Kata kunci : inversi model-based, impedansi akustik, open-source, geostatistik, Bayesian.

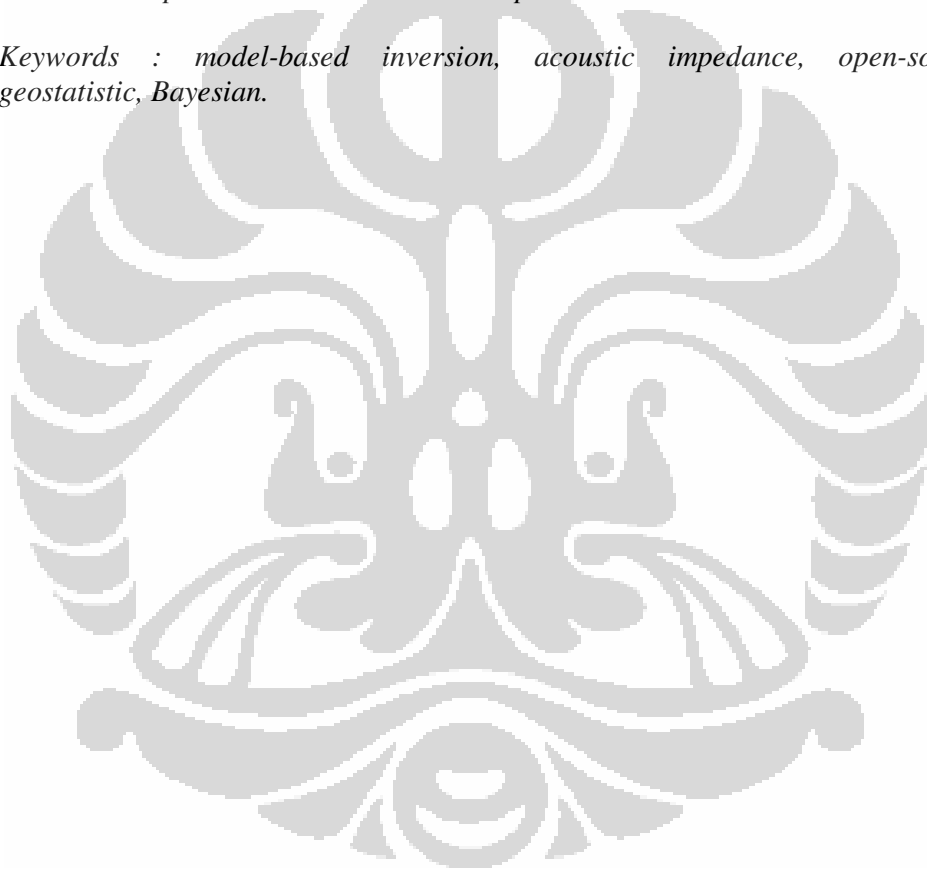




## ABSTRACT

*Seismic inversion is used to make geological subsurface model in terms acoustic impedance. Seismic and well data is used as input on inversion process. Having both the data need to be integrated with geostatistic because they have different scale so more consistent geological model is made. The project area is Boonsville Field in Texas, US. This process is made with open-source software called Delivery which does model-based inversion with Bayesian approach. The result is acoustic impedance cross section which presented sand at Boonsville Filed.*

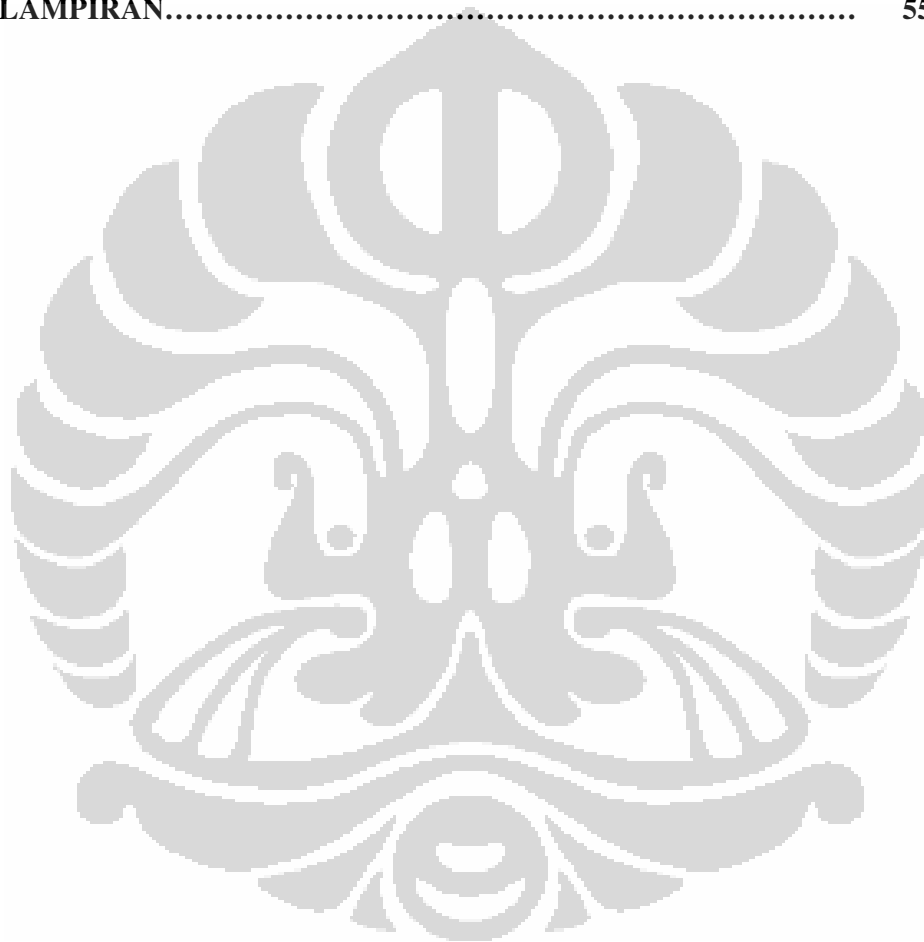
*Keywords : model-based inversion, acoustic impedance, open-source, geostatistic, Bayesian.*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> ....	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</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.....	3
<b>2. TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Pendahuluan Metode Seismik Refleksi.....	5
2.1.1 Impedansi Akustik dan Koefisien Refleksi.....	6
2.1.2 Gelombang Seismik.....	7
2.1.3 Pengikatan Data Seismik dan Data Sumur ( <i>Well-Seismic Tie</i> ).....	10
2.1.4 <i>Survey Check-shot</i> .....	11
2.2 Metode Inversi Seismik.....	12
2.2.1 Inversi <i>Recursive</i> .....	14
2.2.2 Inversi <i>Sparse Spike</i> .....	16
2.2.3 Inversi <i>Model-Based</i> .....	17
2.3 Pendahuluan Geostatistika.....	19
2.3.1 Variogram.....	20
2.3.2 Kriging.....	21
2.3.3 Cokriging.....	22
2.4 Inversi Geostatistik Bayesian.....	22
2.4.1 Teorema Bayesian.....	23
2.4.2 Informasi Prior Properti Batuan.....	25
<b>3. GEOLOGI REGIONAL</b> .....	<b>26</b>
3.1 Geologi Regional Lapangan Boonsville, Texas.....	26
3.2 Stratigrafi Daerah Boonsville.....	31
3.3 Karakteristik Reservoir.....	33
3.4 Sejarah Produktivitas.....	33
<b>4. PENGOLAHAN DATA</b> .....	<b>35</b>
4.1 Persiapan Data.....	35
4.1.1 Deskripsi Data Seismik.....	37
4.1.2 Data Sumur.....	37
4.1.3 Data Checkshot.....	37
4.2 Pengolahan Data.....	37
4.2.1 Ekstraksi Wavelet dan Korelasi Sumur.....	38

4.2.2 Inversi <i>Model-Based</i> pada Data Seismik 3D.....	42
<b>5. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>45</b>
5.1 Ekstraksi Wavelet.....	45
5.2 Inversi Seismik.....	46
<b>6. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>51</b>
6.1 Kesimpulan.....	51
6.2 Saran.....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>55</b>



## DAFTAR GAMBAR

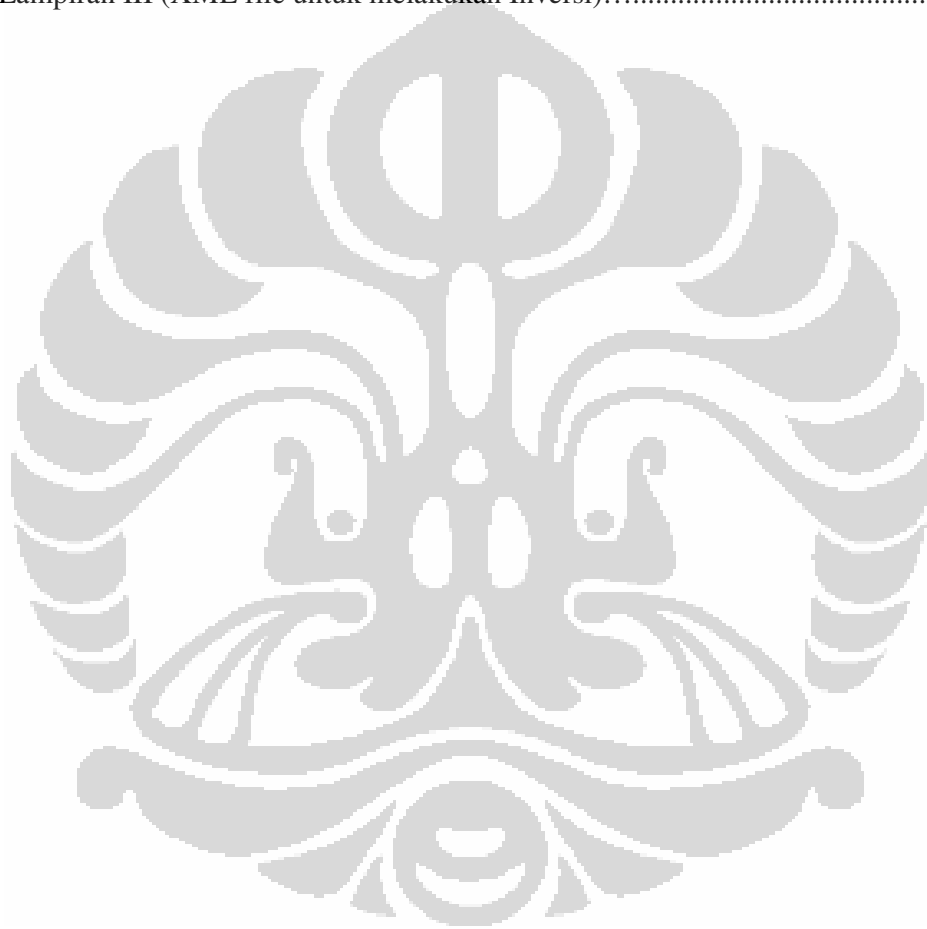
Gambar 1.1 Skema tahapan yang dilakukan dalam penelitian.....	3
Gambar 2.1 Skema perambatan gelombang seismik pada lapisan bumi....	6
Gambar 2.2 Komponen-komponen gelombang.....	8
Gambar 2.3 Gelombang P.....	9
Gambar 2.4 Gelombang S.....	10
Gambar 2.5 Seismogram Sintetik yang didapat dari konvolusi antara koefisien refleksi dengan wavelet.....	11
Gambar 2.6 Konfigurasi Survey <i>Checkshot</i> .....	12
Gambar 2.7 Skema Metode Inversi Seismik (Sukmono,2007).....	14
Gambar 2.8. Alur Inversi Recursive (Sukmono, 2007).....	15
Gambar 2.9 Bagan alur pengerjaan Inversi Sparse-spike (Sukmono, 2007).....	16
Gambar 2.10 Filosofi Inversi <i>Sparse-spike</i> dengan <i>update reflectivity</i> sampai didapatkan eror kecil antara data seismic dengan model yang dihasilkan.....	17
Gambar 2.11 Efek stretch dan squeeze pada wavelet.....	18
Gambar 2.12 Tingkah Laku Variogram.....	21
Gambar 3.1 Lokasi Lapangan Boonsville, Texas (Tanakov, 1997).....	27
Gambar 3.2 Pembentukan Basin pada Ouachita Foldbelt (Thomas,1995).....	28
Gambar 3.3 Peta yang menunjukkan elemen struktur (garis hitam), produksi minyak (daerah hijau) dan gas (daerah merah) pada Propinsi Forth Worth Basin. (Pollastro, 2003).....	29
Gambar 3.4 Stratigrafi pada daerah Fort Worth Basin dari Barnett –Paleozoic Total Petroleum System. (Pollastro, 2003).....	32
Gambar 3.5 Data produktivitas beberapa sumur pada Fort Worth Basin (Wikipedia, 2008).....	34
Gambar 4.1 Publik data set Lapangan Boonsville disertai dengan 38 sumur. (Tanakov, 1997).....	35
Gambar 4.2 Alur proses inversi dengan menggunakan software Delivery.	38
Gambar 4.3 Contoh XML file untuk melakuka ekstraksi wavelet dan well-seismic tie.....	40
Gambar 4.4 Wavelet yang terbentuk setelah melakukan ekstraksi wavelet.....	41
Gambar 4.5 Wavelet Maximum Likelihood.....	41
Gambar 4.6 XML file untuk melakuka inversi.....	41
Gambar 4.7 Data seismik yang dijadikan input. Lapisan yang ingin diamati berada pada range 800 – 1300 ms.....	44
Gambar 5.1 Hasil ekstraksi wavelet berupa Sintetik Seismogram.....	46
Gambar 5.2. Skema data seismik 3D. Time window pada Bend Conglomerat Grup berada pada range 800 – 1300 ms (Tanakov,1997). ....	47
Gambar 5.3. Posisi sumur BY18D dan lingkungan pengendapan	

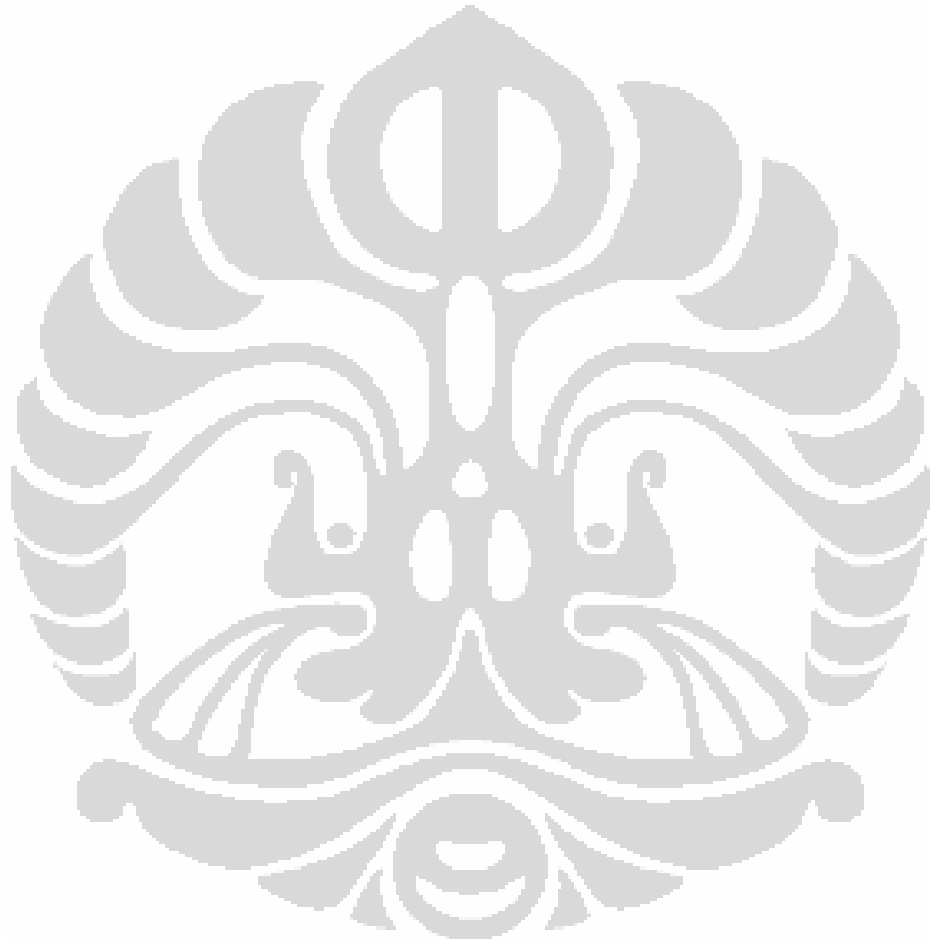
Lapangan Boonsville (Pennington, 2001).....	48
Gambar 5.4 Hasil inversi berupa penampang melintang IA.....	49
Gambar 5.5 Data gamma ray yang memperlihatkan batu pasir pada formasi Caddo yang diperlihatkan oleh warna kuning. Kisaran waktu batu pasir ini adalah 870 – 880 ms.....	50



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I (XML file untuk melakukan ekstraksi wavelet).....	55
Lampiran II (Script Perl untuk membuat model awal).....	57
Lampiran III (XML file untuk melakukan Inversi).....	58





# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia akan energi terutama yang berasal dari minyak bumi saat ini semakin meningkat. Berdasarkan data dari Kementerian dan Sumber Daya Mineral, setengah kebutuhan energi Indonesia dipenuhi dari minyak bumi. Dari seluruh konsumsi energi di Indonesia yang mencapai 700 juta SBM (setara barel minyak) pertahun, minyak bumi menyumbangkan 57% atau 400 juta barel (Rovicky, 2007). Konsumsi minyak bumi dunia pun semakin hari semakin meningkat, dari data CIA World Factbook 2007 kebutuhan minyak bumi dunia perhari mencapai 82 juta barel. Sedangkan produksi minyak dunia saat ini perharinya hanya sekitar 80 juta barel. Produksi tersebut tentunya tidak akan cukup memenuhi seluruh kebutuhan energi minyak bumi bagi manusia jika tidak dilakukan ekspansi eksplorasi minyak bumi untuk peningkatan produksi.

Untuk mencapai tujuan tersebut maka digunakanlah metode geofisika salah satunya metode seismik. Tujuan utama dari survey seismik dalam eksplorasi minyak merupakan pengambilan informasi dari lokasi, ukuran dan keberadaan hidrokarbon di *subsurface*. Analisa inversi digunakan untuk memenuhi kebutuhan informasi tersebut dengan memanfaatkan parameter Impedansi Akustik hasil proses inversi.

Inversi seismik memungkinkan terjadinya *non-uniqueness* karena dijalankan berdasarkan model yang mungkin ada pada *subsurface*. Cara mengatasinya dengan menggabungkan data seismik dengan data penunjang yaitu data sumur sehingga dihasilkan model *subsurface* yang lebih *reliable*. Kelebihan



data seismik yaitu memiliki cakupan yang luas namun terdapat keterbatasan akibat pengaruh *lower vertical resolution* dibandingkan data sumur. Data sumur memiliki *vertical resolution* yang lebih baik namun tidak memungkinkan terdapat di setiap titik daerah penelitian karena ongkos pengeboran yang mahal untuk satu sumur.

Disisi lain, data seismik dan data sumur memiliki skala yang berbeda dan berasal dari sumber yang berbeda. Geostatistik digunakan untuk mengintegrasikan kedua data tersebut karena dapat menggabungkan kedua informasi yang berbeda menjadi model subsurface yang konsisten.

Dalam penelitian ini, pengintegrasian data secara geostatistik dilakukan dengan menggunakan software open-source Delivery. Software ini dapat melakukan inversi geostatistik dengan memakai pendekatan Bayesian. Dimana dengan pendekatan ini memungkinkan digunakan pengetahuan geologi daerah yang ingin diteliti untuk melakukan inversi sehingga diharapkan hasil yang akan didapatkan lebih baik dibandingkan metode inversi konvensional.

## 1.2 Tujuan Penelitian

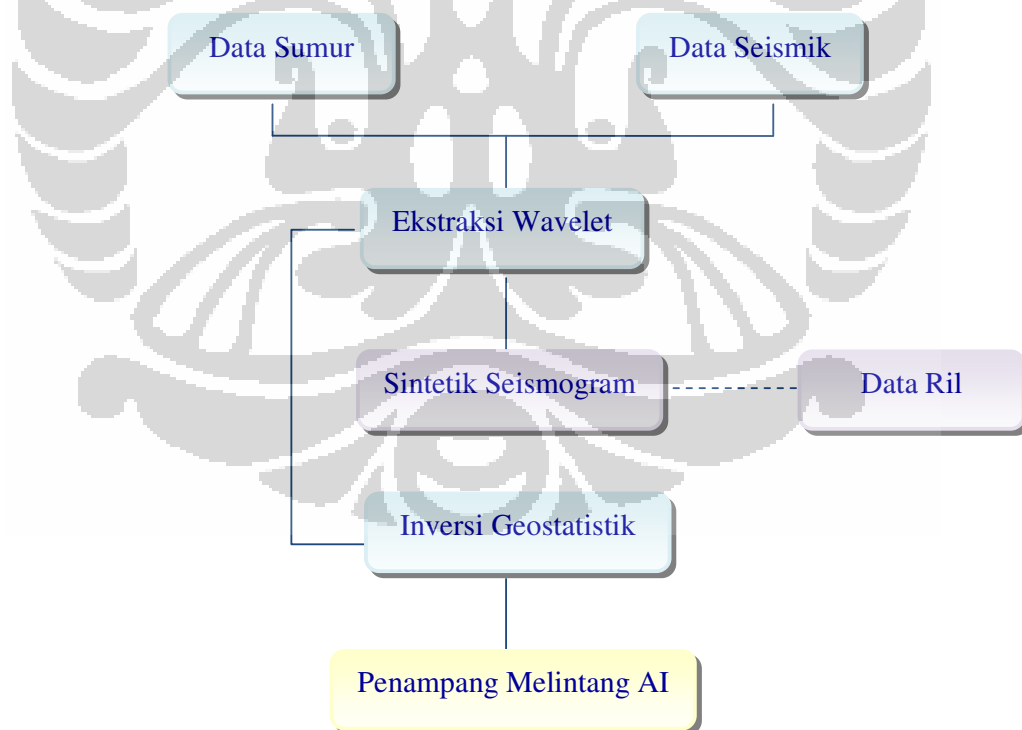
Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari metode inversi dengan menggunakan software *open-source Delivery* yang diterapkan pada Lapangan Boonsville, Texas. Hasil akhir yang ingin didapatkan yaitu prediksi penyebaran *sand* dan *shale* berupa penampang melintang Impedansi Akustik.

### 1.3 Pembatasan Masalah

1. Data seismik yang digunakan merupakan *public domain* 3D pada Lapangan Boonsville, North – Central Texas beserta satu sumur BY18D.
2. Inversi yang digunakan yaitu inversi model-based.
3. Software yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sebuah software *open-source Delivery*. Software ini menjalankan program inversi model based dengan menggunakan metode Bayesian.

### 1.4 Metodologi Penelitian

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan tahapan-tahapan sebagai berikut:



Gambar 1.1 Skema tahapan yang dilakukan dalam penelitian.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

### **BAB I        PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan

### **BAB II        TEORI DASAR**

Bab ini membahas tentang teori dasar seismik, metode inversi serta metode geostatistika yang mencakup pendekatan Bayesian.

### **BAB III       GEOLOGI REGIONAL**

Bab ini membahas geologi regional daerah yang diteliti termasuk karakteristik reservoir, stratigrafi dan produktivitas lapangan penelitian.

### **BAB IV       PENGOLAHAN DATA**

Bab ini membahas tentang data yang akan dipakai dalam penelitian serta prosedur pengolahan data

### **BAB V        HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang hasil yang telah didapat dari penelitian yang dilakukan.

### **BAB VI       KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran.

## 2. TEORI DASAR

### 2.1 Pendahuluan Metode Seismik Refleksi

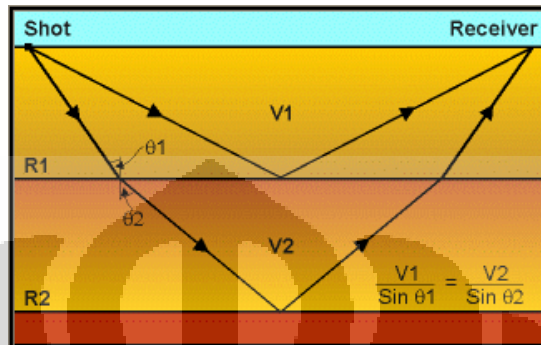
Metode seismik refleksi merupakan salah satu metode geofisika untuk mengobservasi objek bawah permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat pemantulan gelombang elastik yang dihasilkan dari sumber seismik. Sumber gelombang seismik dapat berupa dinamit, dan vibroseis untuk survey yang dilakukan di darat dan air gun jika survey seismik dilakukan di laut. Gelombang seismik yang dihasilkan kemudian akan direkam oleh alat perekam berupa *geophone* untuk survey darat dan *hydrophone* untuk survey yang dilakukan di air.

Komponen gelombang seismik yang direkam oleh alat perekam berupa waktu datang gelombang seismik. Dengan diukurnya waktu datang maka akan didapatkan waktu tempuh gelombang seismik yang berguna untuk memberi informasi mengenai kecepatan seismik dalam suatu lapisan.

Gelombang seismik merambat dari sumber ke penerima melalui lapisan bumi dan mentransfer energi sehingga dapat menggerakkan partikel batuan. Kemampuan partikel batuan untuk bergerak jika dilewati gelombang seismik menentukan kecepatan gelombang seismik pada lapisan batuan tersebut.

Pada perbatasan antar dua lapisan yang memiliki impedansi akustik yang berbeda, gelombang seismik akan mengalami dua fenomena yaitu *refleksi* dan *refraksi*. Refleksi terjadi jika gelombang yang dirambatkan dipantulkan kembali oleh lapisan bumi sedangkan refraksi terjadi jika gelombang tersebut diteruskan ke lapisan berikutnya dan memungkinkan untuk kembali terjadi dua fenomena

tersebut. Skema mengenai perambatan gelombang seismik didalam permukaan bumi dari sumber ke penerima diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Skema perambatan gelombang seismik pada lapisan bumi.

(www.searchanddiscovery.net)

Dimana  $V_1$  dan  $V_2$  adalah kecepatan gelombang seismik pada lapisan pertama dan kedua. Sedangkan  $\theta_1$  dan  $\theta_2$  adalah sudut datang dan sudut pantul yang dibentuk oleh satu pulsa gelombang. Persamaan yang terdapat pada gambar merupakan Persamaan Snellius yang menggambarkan prinsip penjaran gelombang seismik didalam lapisan bumi, sebagai berikut:

$$\frac{V_1}{\sin \theta_1} = \frac{V_2}{\sin \theta_2} \quad (1)$$

### 2.1.1 Impedansi Akustik dan Koefisien Refleksi

Salah satu sifat akustik yang khas pada batuan yaitu Impedansi Akustik ( $Z$ ) yang merupakan hubungan antara densitas suatu batuan ( $\rho$ ) dan kecepatan gelombang seismik saat melewati batuan tersebut ( $V$ ).

$$Z = \rho V \quad (2)$$

Dalam mengontrol harga Impedansi Akustik, kecepatan memiliki arti yang lebih penting dibandingkan dengan densitas (Sukmono, 2002). Hal ini karena densitas suatu batuan memiliki range dimana pada nilai tertentu densitas batuan yang satu akan mengalami suatu overlap dengan densitas batuan lainnya. Batuan yang lebih keras dan kompak (porositas kecil) memiliki  $Z$  yang lebih tinggi dibandingkan batuan yang tidak kompak (porositas besar) karena gelombang sesimik akan lebih mudah merambat melewati batuan dengan porositas lebih kecil.

Ada dua jenis Impedansi Akustik, yaitu:

1. Impedansi Akustik Absolut.

yaitu impedansi akustik yang berhubungan langsung dengan impedansi akustik pada sumur.

2. Impedansi Akustik Relatif.

yaitu impedansi akustik di sekitar daerah sumur.

Kontras impedansi akustik batuan yang satu dengan batuan yang lainnya disebut sebagai Koefisien Refleksi yang dirumuskan sebagai berikut:

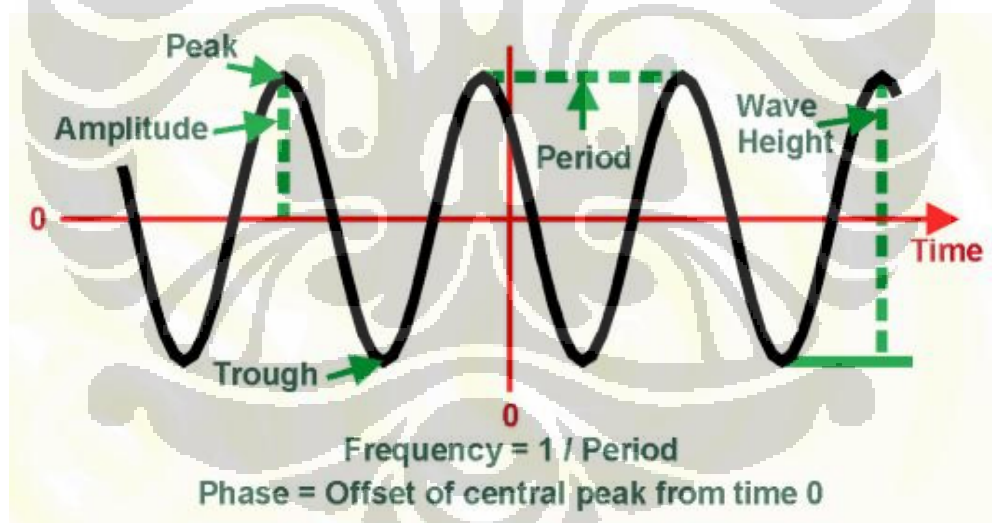
$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (3)$$

Koefisien refleksi mempunyai nilai antara -1 sampai 1. Jika impedansi akustik pada  $Z_2$  lebih besar dari impedansi akustik  $Z_1$  dan gelombang merambat dari batuan dengan nilai densitas rendah ke batuan dengan harga densitas yang lebih tinggi maka koefisien refleksi akan bernilai positif.

### 2.1.2 Gelombang Seismik

Gelombang sesimik yang dihasilkan sumber dapat merambat sampai menembus lapisan bumi sebagai *body waves* (gelombang tubuh) ataupun hanya merambat dipermukaan saja yang dikenal sebagai *surface waves* (gelombang permukaan). Dalam metode sesimik, gelombang yang dipakai dan menjadi perhatian hanya berupa gelombang badan saja sedangkan gelombang permukaan biasanya dianggap sebagai suatu *noise* (bising).

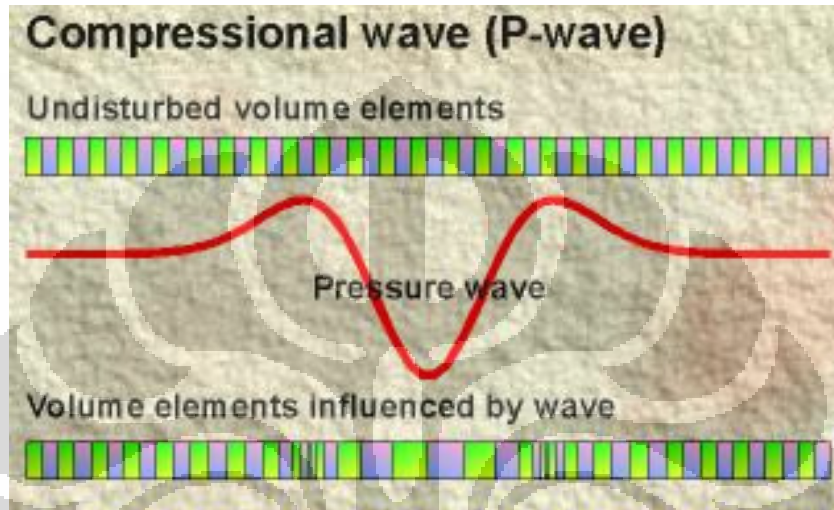
Sebelum membahas gelombang tubuh lebih lanjut dibawah ini merupakan gambar sebuah gelombang lengkap dengan komponen-komponen gelombang tersebut.



Gambar 2.2 Komponen-komponen gelombang (www.searchanddiscovery.net)

Gelombang tubuh dikelompokkan menjadi dua macam yaitu gelombang Primer (P) dan gelombang sekunder (S). Gelombang P atau gelombang longitudinal selalu muncul lebih dulu dalam rekaman seismogram gempa bumi karena memiliki kecepatan yang lebih besar dibandingkan gelombang S. pergerakan gelombang ini menyebabkan partikel bergerak kedepan dan

mengompres partikel yang dilaluinya. Penerapan metode sesimik sangat bergantung dengan gelombang ini. Pergerakan gelombang P ini digambarkan sebagai berikut.

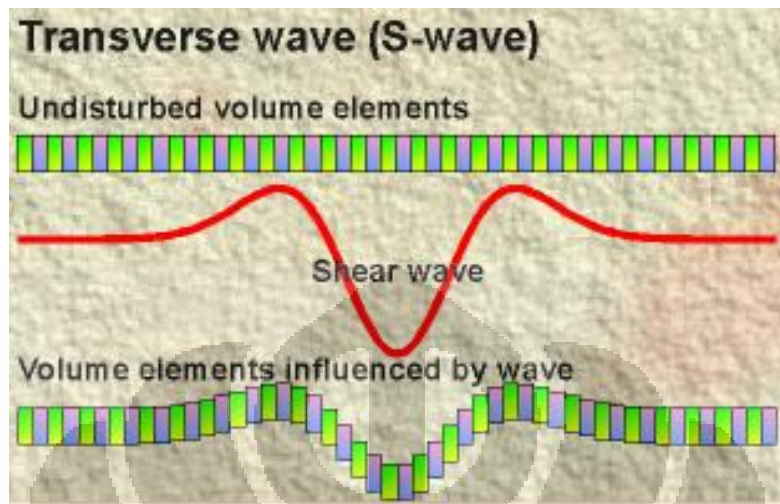


Gambar 2.3 Gelombang P ([www.searchanddiscovery.net](http://www.searchanddiscovery.net))

Bagian bawah elemen yang dipengaruhi oleh gelombang P mengalami kompresi dan partikel elemen tersebut bergerak kesebelah kanan sedangkan bagian atas elemen yang tidak dipengaruhi gelombang P tidak mengalami perubahan.

Gelombang S atau gelombang transversal memiliki arah rambat yang tegak lurus dengan arah geraknya sehingga kecepatan gelombang S lebih lama dari gelombang P. Gelombang S tidak banyak digunakan dalam eksplorasi seismik walaupun penelitian mengenai gelombang ini sudah berlangsung sejak abad ke-20.





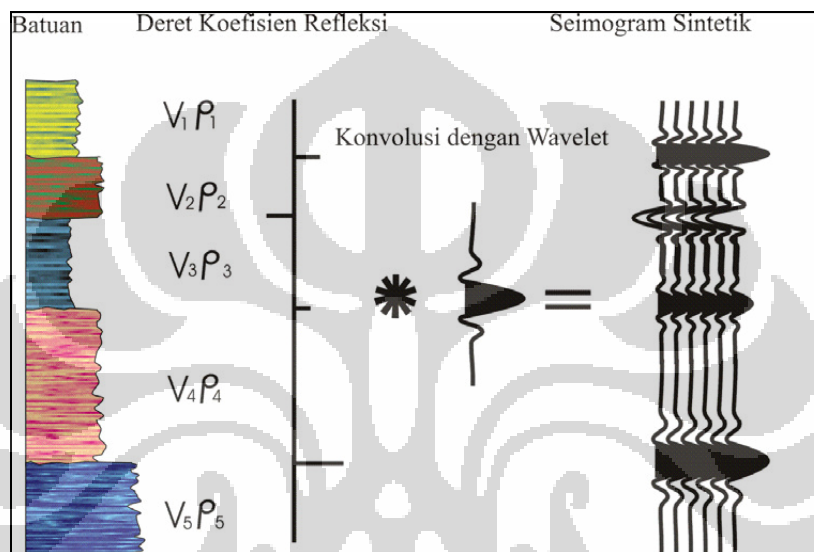
Gambar 2.4 Gelombang S ([www.searchanddiscovery.net](http://www.searchanddiscovery.net))

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

Data seismik yang dihasilkan dari survey lapangan memiliki domain waktu, sehingga agar data seismik dapat diubah menjadi domain kedalaman dan nantinya dapat dikorelasikan dengan data geologi lainnya dilakukan pengikatan data seismik dan data sumur (*well-seismic tie*). Teknik pengikatan yang dapat digunakan yaitu dengan memanfaatkan seismogram sintetik.

Seismogram sintetik diperoleh dengan cara mengkonvolusikan koefisien refleksi (dari data sumur) dengan suatu wavelet tertentu yang dihasilkan dari ekstraksi data sumur ataupun statistik. Setiap wavelet akan mempunyai koefisien refleksi yang memiliki kemiripan dengan seismogram sintetik yang dihasilkan oleh data ril seismik. Agar mendapat seismogram sintetik yang mirip dengan data seismik ril sebaiknya wavelet yang digunakan mempunyai frekuensi yang sama dengan penampang seismik. Koefisien refleksi yang dipakai berasal dari data log sonik dan densitas (karena koefisien refleksi merupakan perkalian keduanya).

Seismogram sintetik memiliki kelemahan yaitu dapat terjadinya suatu miss tie. Hal ini terjadi karena pada umumnya seismogram sintetik dibuat dengan menggunakan frekuensi yang sama untuk seluruh penampang. Contoh seismogram sintetik diperlihatkan pada gambar berikut.

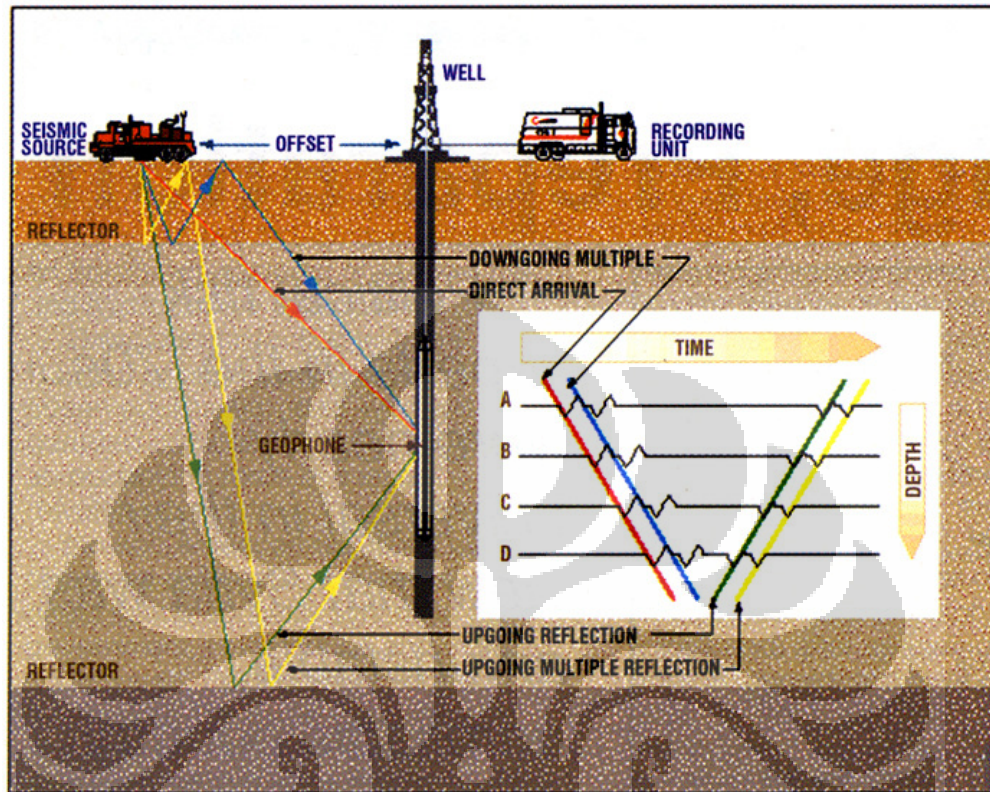


Gambar 2.5 Seismogram Sintetik yang didapat dari konvolusi antara koefisien refleksi dengan wavelet. ([www.searchanddiscovery.net](http://www.searchanddiscovery.net))

#### 2.1.4 Survey *Check-shot*

Survey *check-shot* bertujuan untuk mendapatkan *Time-depth Curve* yang kemudian dimanfaatkan dalam pengikatan data seismik dan sumur, penghitungan kecepatan interval dan koreksi data sonik pada pembuatan seismogram sintetik.

Pada survey *check-shot* kecepatan diukur dalam lubang bor dengan sumber gelombang diatas permukaan.



Gambar 2.6 Konfigurasi Survey *Checkshot*. ([www.searchanddiscovery.net](http://www.searchanddiscovery.net))

Keuntungan dilakukan survey checkshot diantaranya yaitu:

- Menginvestigasi formasi batuan secara lebih dekat.
- Meminimalkan fenomena atenuasi
- Mengukur kedalaman lebih akurat.

## 2.2 Metode Inversi Seismik

Seismik inversi merupakan suatu teknik untuk membuat model *sub-surface* geologi menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono,2007).

Tujuan dilakukannya inversi seismik adalah untuk mendapatkan nilai kuantitatif parameter batuan yang berupa Impedansi Akustik (IA) sehingga dapat digunakan untuk mendeskripsikan reservoir.

Impedansi Akustik melihat batuan bawah permukaan secara berbeda dari data seismik konvensional dimana IA melihatnya sebagai susunan lapisan batuan sedangkan seismik konvensional melihatnya sebagai perlapisan atau *interfacing* antar batuan. Sehingga IA akan memberikan gambaran bawah permukaan yang lebih detail dibandingkan seismik konvensional.

Kontras IA dapat diperkirakan secara kualitatif dari amplitudo refleksi. Nilai amplitudo yang besar menandakan refleksi yang besar dan menimbulkan kontras IA yang besar pula.

Impedansi Akustik didapatkan dengan membagi tras seismik dengan wavelet. Tras seismik merupakan suatu hasil konvolusi dari reflektivitas bumi dengan wavelet tertentu. Persamaannya sebagai berikut:

$$S_t = W_t * RC_t \quad (4)$$

Dimana :  $S_t$  merupakan tras seismik

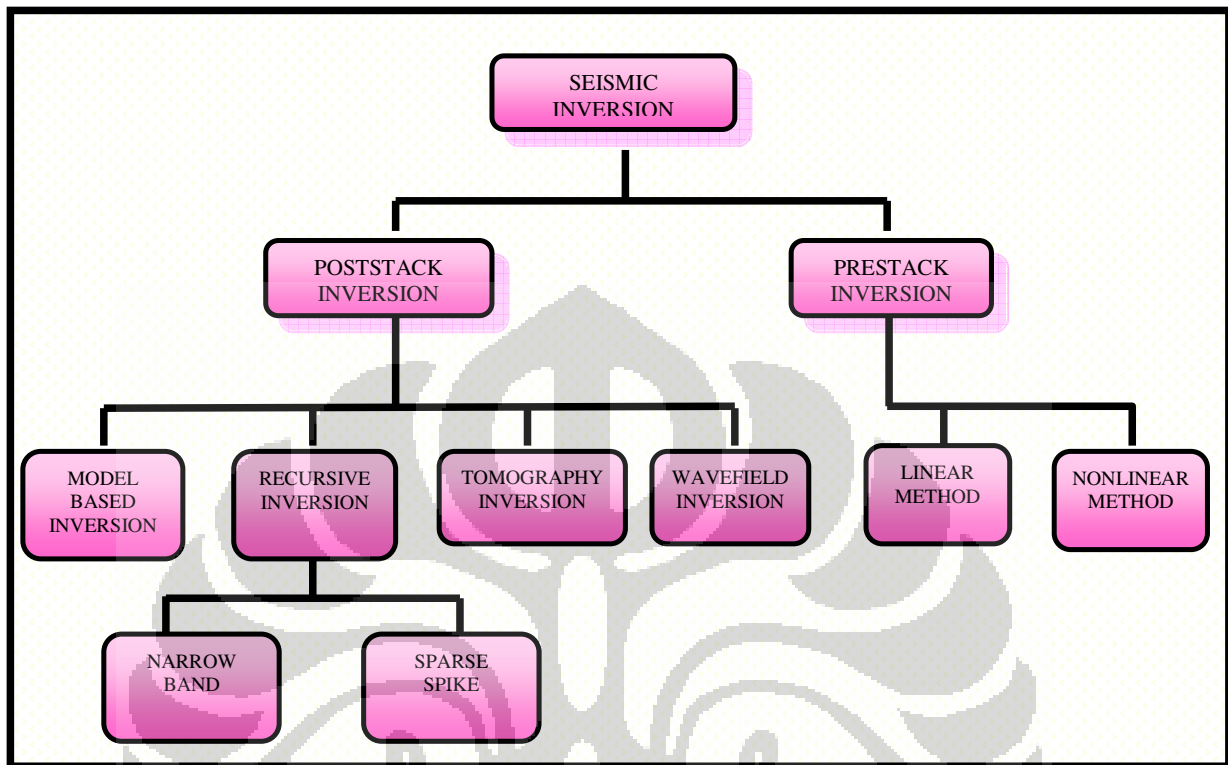
$W_t$  merupakan wavelet dan

$RC_t$  merupakan nilai reflektivitas

Sehingga dari persamaan tersebut bisa didapatkan IA:

$$IA = \frac{S_t}{W_t} \quad (5)$$

Seismik inversi dapat dikelompokkan menjadi beberapa metode yang terangkum dalam skema berikut:



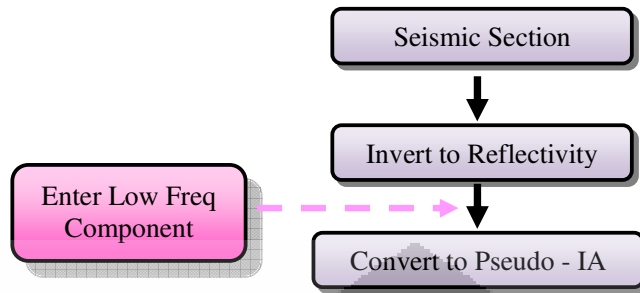
Gambar 2.7 Skema Metode Inversi Seismik (Sukmono,2007)

### 2.2.1 Inversi *Recursive*

Inversi *Recursive* atau nama lainnya *band limited inversion* merupakan metode inversi yang paling sederhana dimana mengabaikan efek dari wavelet seismik dan memperlakukan tras seismik sebagai refleksi set koefisien yang telah difilter oleh *zero phase wavelet*.

$$Z_n = Z_1 * \prod_{i=1}^{n-1} \left[ \frac{1+RC_i}{1-RC_i} \right] \quad (6)$$

Alur pengerjaan inversi *recursive* dituangkan dalam diagram berikut



Gambar 2.8. Alur Inversi Recursive (Sukmono, 2007)

*Reflectivity* dapat dihasilkan dari konvolusi data seismik dengan wavelet. Jika tidak melibatkan komponen berfrekuensi rendah maka disebut inversi “*bandlimited*”. Hasilnya tras IA memiliki range frekuensi yang sama dengan frekuensi seismik.

Permasalahan yang muncul jika metode inversi *recursive* diterapkan pada data rill adalah: (Haris, 2006)

1. *Frekuensi bandlimiting*, yaitu hilangnya kandungan frekuensi rendah dan tinggi pada saat dikonvolusikan dengan wavelet seismik.
2. *Noise*. Masuknya *coherent* atau *random noise* ke dalam *seismic trace* akan mengakibatkan estimasi reflektifitas menyimpang dari reflektivitas yang sebenarnya. Sesuai dengan persamaan 6, jika pada lapisan teratas telah terjadi sedikit penyimpangan reflektivitas, maka semakin dalam, nilai penyimpangan reflektivitas tersebut akan semakin bertambah besar.

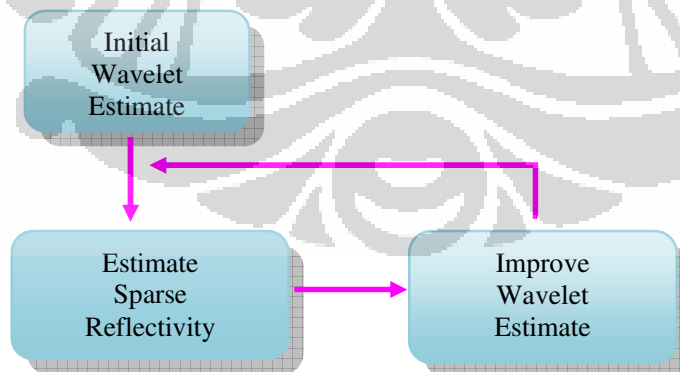
### 2.2.2 Inversi *Sparse Spike*

Sebelumnya telah dibahas mengenai inversi recursive yang didasarkan pada teknik dekonvolusi. Lebih jauh, teknik dekonvolusi dapat dikategorikan menjadi metode sparse-spike dimana mengasumsikan model reflectivity dan membuat perkiraan wavelet berdasarkan asumsi model reflectivity.

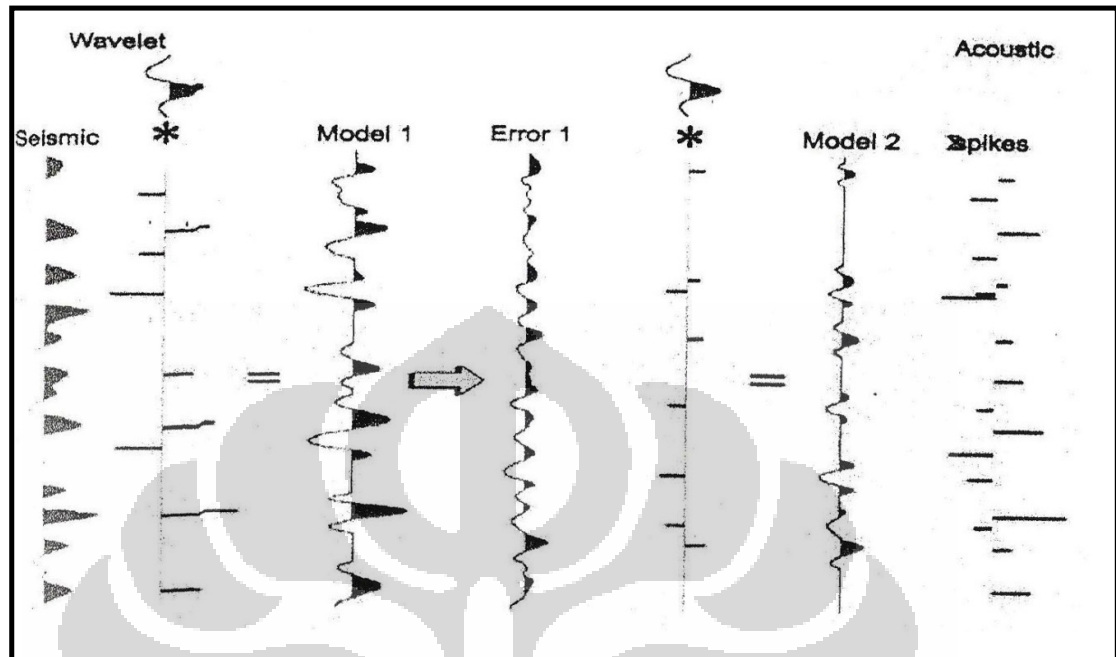
Beberapa contoh teknik metode inverse sparse spike:

1. Inversi *Maximum-likelihood* dan dekonvolusi
2. Inversi *Norm L1* dan dekonvolusi
3. *Minimum entropy deconvolution*

Inversi *sparse-spike* mengasumsikan bahwa reflektivitas sebenarnya merupakan sebuah deretan reflektivitas kecil yang tersimpan dalam deretan reflektivitas yang lebih besar (Haris, 2006). Inversi *sparse-spike* memiliki kelebihan dibandingkan dengan inversi *recursive* karena dapat digunakan pada *full bandwidth reflectivity* sehingga tidak ada komponen *reflectivity* yang hilang.



Gambar 2.9 Bagan alur pengerjaan Inversi Sparse-spike (Sukmono, 2007)



Gambar 2.10 Filosofi Inversi *Sparse-spike* dengan *update reflectivity* sampai didapatkan eror kecil antara data seismik dengan model yang dihasilkan.

(Sukmono, 2007).

### 2.2.3 Inversi *Model-based*

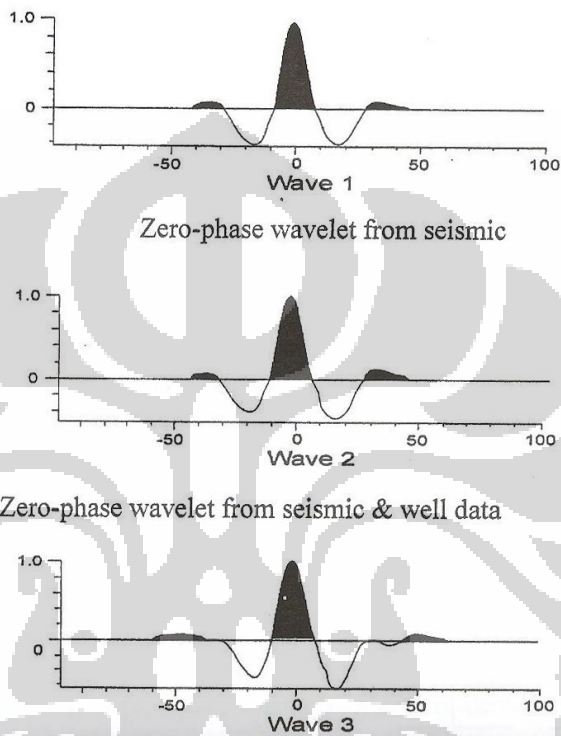
Pada metode inversi recursive, hasil inversi dipengaruhi oleh *noise*, *amplitude recovery* yang buruk dan *band-limited* data seismik. Untuk mengatasi masalah tersebut inversi *model-based* dikembangkan dengan menggunakan model dugaan awal dan kemudian diperbaiki secara iterative.

Aplikasi teknik inversi diawali dengan pembuatan model geologi awal lalu diperbaharui. Model geologi dibuat berdasarkan tiga tahap berikut:

1. Menambahkan kontrol kecepatan pada line seismik dari data sumur atau  $T-V_{RMS}$ .
2. *Stretch* dan *squeeze* log data untuk mengikat data seismik dengan menggunakan reflectivity yang dihasilkan dari konvolusi wavelet dengan data seismik.



3. Menambahkan kontrol lateral pada reflector seismik dengan melakukan picking horizon.



Gambar 2.11 Efek stretch dan squeeze pada wavelet. (Sukmono, 2007)

Setelah model awal terbentuk, maka dapat dilanjutkan melakukan inversi sesuai kebutuhan. Prosedur untuk melakukan inversi model-based terangkum dalam tahap-tahap berikut:

1. Membuat model awal dan kemudian membuat versi impedansinya dengan merata-ratakan nilai impedansi model awal.
2. Membuat tras sintetik dengan mengkonvolusikan impedansi awal dengan wavelet.
3. Membandingkan tras sintetik dengan tras seismik riil.

4. Memperbaharui model impedansi secara iteratif dengan menggunakan Generalized Linear Inversion sampai ditemukan hasil yang bagus.

Dua masalah utama pada teknik inversi *model-based* adalah:

1. Dua wavelet yang berbeda dapat menghasilkan tras seismik yang sama.
2. Solusi yang dihasilkan tidak unik.

### 2.3 Pendahuluan Geostatistik

Pada awalnya geostatistik dikembangkan pada industri mineral untuk mendapatkan perkiraan keberadaan mineral. Sekitar tahun 1950 seorang insinyur pertambangan Afrika Utara yang juga ahli geometematik D. G. Krige menggunakan teori probabilitas untuk meningkatkan perkiraan keberadaan emas. Kesuksesan penggunaan geostatistik pada eksplorasi mineral membuka jalan untuk diterapkan pada eksplorasi hidrokarbon.

Analisis geostatistik merupakan statistik yang dituangkan dalam bentuk variogram dan histogram. Dimana histogram mengukur frekuensi relatif keberadaan parameter batuan yang ditampilkan dalam *Probability Density Function* (PDF) sedangkan variogram mendeskripsikan variasi spasial. Namun geostatistik tidak sekedar memanfaatkan statistik untuk merangkul data geologi. Isaak dan Srivastava menyebut bahwa geostatistik adalah statistik ditambah dengan informasi spasial (Suprajitno, 2005).

Daya tarik statistik yaitu bagaimana memprediksi tingkah laku populasi dari tingkah laku sampel (Suprajitno, 2005). Dalam hal ini yang dimaksud populasi adalah reservoir dan tingkah laku sampel merupakan data sumur. Untuk

memprediksi hal tersebut digunakan konsep distribusi probabilitas yaitu tingkah laku peluang bila nilai variabel berubah yang digambarkan dalam bentuk kurva.

Variabel berubah atau disebut sebagai variabel random didefinisikan sebagai variabel yang mengikuti distribusi peluang tertentu. Artinya nilainya bisa berapa saja tergantung hasil pengukuran yang dilakukan dan tentu saja secara acak. Variabel random memiliki distribusi statistik tertentu yaitu pdf (*probability density function*), cdf (*cumulative distribution function*) dan semivariogram. Kurva pdf bisa didapatkan dengan cara menghitung frekuensi relatif. Sedangkan kurva cdf bisa didapatkan dengan cara menghitung frekuensi kumulatif.

### 2.3.1 Variogram

Variogram merupakan alat dalam geostatistik yang berguna untuk menunjukkan korelasi spatial antara data yang diukur. Jika kita memetakan hasil pengukuran nilai densitas suatu batuan, maka dapat terlihat bahwa nilai yang rendah akan berada dekat dengan nilai rendah lainnya begitu pula dengan nilai yang besar cenderung berada di dekat nilai yang besar lainnya. Perbedaan data tersebut dapat dituangkan dalam suatu grafik variogram sebagai fungsi dari jarak. Nilai variogram dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (7)$$

dimana:

$Z(x_i)$  adalah nilai data di titik  $x_i$

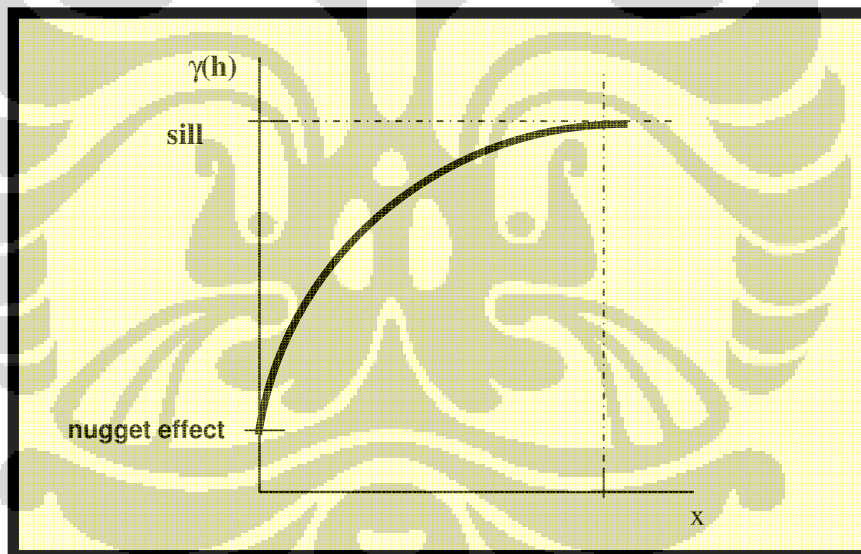
$Z(x_i+h)$  adalah nilai data di titik  $x_i+h$

$N(h)$  adalah banyaknya pasangan titik yang memiliki jarak  $h$

Variogram memiliki tingkah laku yang penting untuk diamati (Suprajitno, 2005) sebagai berikut:

1. Nilai variogram disekitar titik awal mencerminkan kontinuitas lokal dan variabilitas dari data random yang dimiliki.
2. Nilai variogram untuk jarak ( $h$ ) yang besar memiliki sifat yang konstan. Bila mencapai nilai konstan dinamakan sill.
3. Jarak ( $h$ ) pada nilai variogram mencapai nilai sill disebut range.

Tingkah laku variogram dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.12 Tingkah Laku Variogram (Munadi, 2007)

### 2.3.2 Kriging

Kriging merupakan suatu interpolasi spatial yang menonjolkan suatu metode *weight moving average* yang akan mereduksi nilai varians hasil. Kriging sering diasosiasikan dengan *Best Linear Unbiased Estimator* atau disingkat BLUE (Isaaks dan Srivastava, 1989). Disebut *linear* karena estimasi yang dihasilkan berdasar kepada kombinasi linear dari data yang dipakai, *unbiased* karena hasil

yang didapat diharapkan memiliki error sama dengan nol dan disebut *best* karena bertujuan untuk meminimalkan varians.

Aplikasinya pada ilmu geofisika berguna saat melakukan pemetaan terhadap sampel data yang didapat. Sampel suatu data biasanya didapatkan pada tempat yang acak sehingga saat ingin dipetakan secara digital dengan komputer terdapat masalah karena komputer tidak dapat memetakan data yang tidak teratur, maka untuk memudahkan penghitungan dipakai grid yang kemudian data yang terdapat pada grid dilakukan interpolasi memakai kriging.

### 2.3.3 Cokriging

Co – kriging atau collocated kriging merupakan suatu teknik kriging yang menggunakan variasi sampel sekunder untuk melakukan interpolasi. Sampel yang dipakai memiliki variabel yang berbeda namun berhubungan secara spasial. Tujuan co-kriging adalah mendapat variasi distribusi lateral dari data primer dengan mengikatnya pada data sekunder.

## 2.4 Inversi Geostatistik Bayesian

Inversi geostatistik pernah diterapkan pada Lapangan Amberjack, lepas pantai Teluk Meksiko untuk meningkatkan karakterisasi reservoir dan menentukan posisi pengeboran. Kemenerusan reservoir pada lapangan ini sulit diprediksi karena reservoir-reservoir utamanya merupakan *Pliocene shelf edge* sedimen delta, yang terlihat sebagai geometri *clinoform* pada data seismik, sehingga penyebaran hidrokarbon terhalangi oleh *clinoform*. Namun pada kasus ini inversi geostatistik menghasilkan hasil yang lebih baik dalam hal karakterisasi

reservoir dibandingkan dengan hasil seismik digabungkan dengan input geologi (log dan tren regional).

Permodelan geostatistik didasarkan pada data di lokasi yang diketahui dan mensimulasikan nilai pada daerah yang tidak diketahui. Pada proses simulasi ini, histogram, variogram dan data sekitar digunakan untuk memperkirakan pdf di grid point. Nilai yang tidak diketahui diperkirakan dengan pemilihan multipel random dari pdf.

Inversi bayesian dibangun berdasarkan asumsi bahwa objek sebenarnya memberikan sinyal yang dapat diobservasi untuk menentukan dan mengoptimalkan parameter-parameter model.

Filosofi inversi bayesian dapat dijelaskan seperti berikut. Kasus pertama seseorang mengetahui sesuatu mengenai model sebelum menggunakan data, maka pengetahuan ini disebut informasi priori. Priori berarti keadaan sebelum data diketahui dan informasi tersebut independent dari data. Kasus kedua seseorang memiliki satu set data dan mengetahui properti statistik data (variance dan covariance). Inversi bayesian menyediakan suatu framework untuk mengkombinasikan informasi priori dengan informasi statistik pada data untuk mendapatkan model distribusi secara statistik dan hal ini disebut model distribusi posteriori. Hal utama dari penggunaan data yaitu agar informasi posteriori menghasilkan model yang lebih akurat dibandingkan dengan informasi priori.

#### **2.4.1 Teorema Bayesian**

Teorema Bayes merupakan hasil perpaduan antara teori probabilitas dengan probabilitas kondisional. Teori probabilitas menyatakan kemungkinan

terjadinya suatu kejadian dengan bilangan riil 0 sampai 1. Sedangkan probabilitas kondisional yaitu probabilitas suatu kejadian A yang terjadi pada saat sudah diketahui bahwa kejadian B sudah terjadi (Walploe,2000). Probabilitas kondisional dituliskan dalam bentuk  $P(A|B)$ , biasanya dibaca “probabilitas A karena B”.

Jika probabilitas A muncul adalah  $P(A)$  dan probabilitas B muncul adalah  $P(B)$ . Probabilitas A dan B muncul bersama-sama dinotasikan sebagai  $P(A,B)$  dengan:

$$P(A, B) = P(A|B) \cdot P(B) = P(B|A) \cdot P(A) \quad (8)$$

Artinya probabilitas kemunculan A dan B bersama-sama merupakan perkalian probabilitas kondisional A karena B,  $P(A|B)$  dengan probabilitas seluruh kejadian B atau sebaliknya. Dengan mengatur persamaan 8 maka akan didapat

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (9)$$

dimana :

$P(A|B)$  → *pdf* yang diinginkan yang merupakan distribusi parameter model posterior dari data.

$P(B|A)$  → fungsi kemungkinan (*likelihood-function*) yang menyatakan *pdf* yang bersesuaian dengan realisasi yang mungkin terjadi untuk suatu parameter tertentu.

$P(A)$  → probabilitas kejadian A (*prior probability A*)

$P(B)$  → probabilitas kejadian B (*prior probability B*)

Pada teorema Bayes terdapat semacam aturan untuk menangani nilai suatu peluang yang dapat direvisi bila informasi baru tersedia. Jadi bila ada suatu

kejadian dengan peluang  $P(y)$  maka peluang ini akan berubah bila ada data baru  $z$  yang datang, sehingga  $P(y)$  dapat diperbaharui menjadi  $P(y|z)$

#### 2.4.2 Informasi Prior Properti Batuan

Hidrokarbon terdapat pada reservoir di bawah permukaan bumi yang terdiri dari berlapis-lapisan batuan. Lapisan batuan ini harus memiliki nilai informasi prior yang tepat agar hidrokarbon dapat bersarang. Informasi prior tersebut dapat dikategorikan sebagai berikut; *oil* (o), *gas* (g), *brine* (b), dan *low-saturation gas* (l) yang tertuang dalam lapisan-lapisan batuan.

Saat melakukan permodelan, masalah densitas informasi prior harus diperhatikan. Misalnya saja *oil* tidak diijikan berada di atas gas pada lapisan permeable yang saling berbatasan. Terdapat sedikitnya tiga kemungkinan perlapisan densitas yang dapat dipertimbangkan:

1. Setiap fluida diperbolehkan terdapat pada setiap lapisan permeable.
2. Fluida diperbolehkan terdapat pada perbatasan lapisan permeable yang tidak dibatasi oleh lapisan impermeable.
3. Fluida diperbolehkan berada disetiap model reservoir tanpa menghiraukan lapisan impermeable yang berbatasan dengan lapisan permeable.

Biasanya perlapisan densitas memiliki urutan {b, l, o, g} dengan low-saturation gas ditempatkan diantara *brine* dan *oil* karena biasanya muncul sebagai residual dari adanya migrasi hidrokarbon.



### 3. GEOLOGI REGIONAL

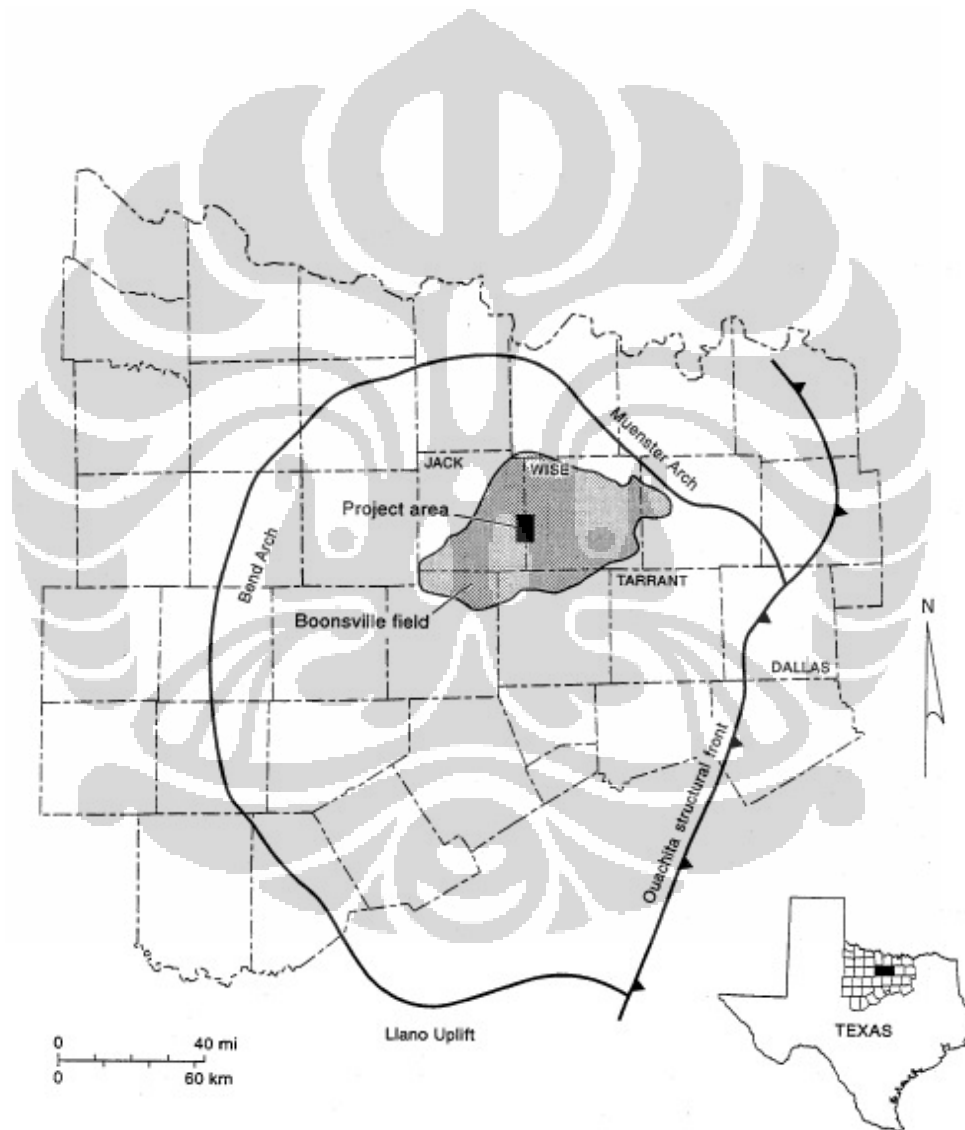
#### 3.1 Geologi Regional Lapangan Boonsville, Texas

Lapangan Boonsville terletak di Kabupaten Wise-Jack, Propinsi Fort Worth Basin, Negara Bagian Texas Utara, AS. Propinsi Fort Worth Basin berbatasan langsung dengan Oklahoma pada arah tenggara dan memiliki luas 140,000 km<sup>2</sup>. Sebelah selatan dan timur masing-masing dibatasi oleh Negara Bagian Ouachita dan Dallas.

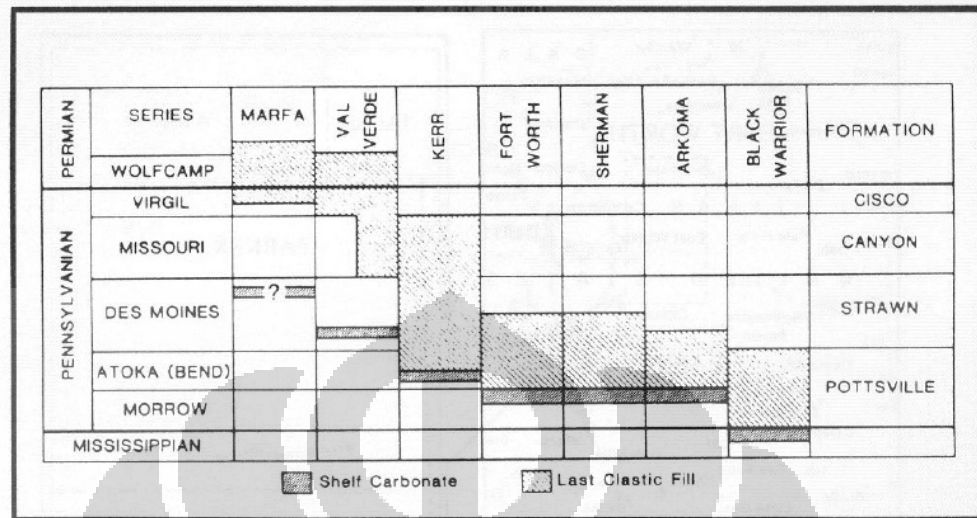
Lokasi lapangan Boonsville dapat dilihat pada gambar 3.1 Lapangan ini merupakan salah satu penghasil gas terbesar di AS. Gasnya dihasilkan dari reservoir konglomerat Bend yang terbentuk selama periode Middle Pennsylvanian, tepatnya pada tingkat Atoka. Distribusi porositas dan permeabilitas batu pasir Boonsville dan sekitarnya tidak dapat diprediksi karena pengaruh sistem *highstand* (HST) dan *lowstand* (LST) menyebabkan erosi pada masa pembentukannya. Terdapat beberapa formasi batuan pada Lapangan Boonsville, namun hanya formasi Konglomerat Bend Atoka saja yang datanya diketahui.

Forth Worth Basin pada daerah Texas merupakan jenis basin dewasa. Minyak dan gas yang ditemukan pada daerah tersebut diproduksi pada Formasi sedimen Ellenburger, Barnett Shale, Marble Falls, Atoka dan Strawn. Pembentukan basin terjadi pada sepanjang masa Awal dan Tengah Pennsylvanian akibat Ouachita Foldbelt karena adanya tumbukan antara lempeng tektonik Amerika Selatan – Afrika dengan lempeng Amerika Utara. Tumbukan tersebut juga mempengaruhi lingkungan pengendapan pada Forth Worth Basin dari mulai

*shelf carbonate* menuju *shallow marine* lalu *deep marine* diakhiri dengan *shallow marine* selama pembentukan basin. Basin-basin yang terbentuk akibat Ouachita Foldbelt dapat ditunjukkan pada gambar 3.2. Berdasarkan gambar tersebut dapat terlihat bahwa batuan pada Forth Worth Basin merupakan batuan klastik.



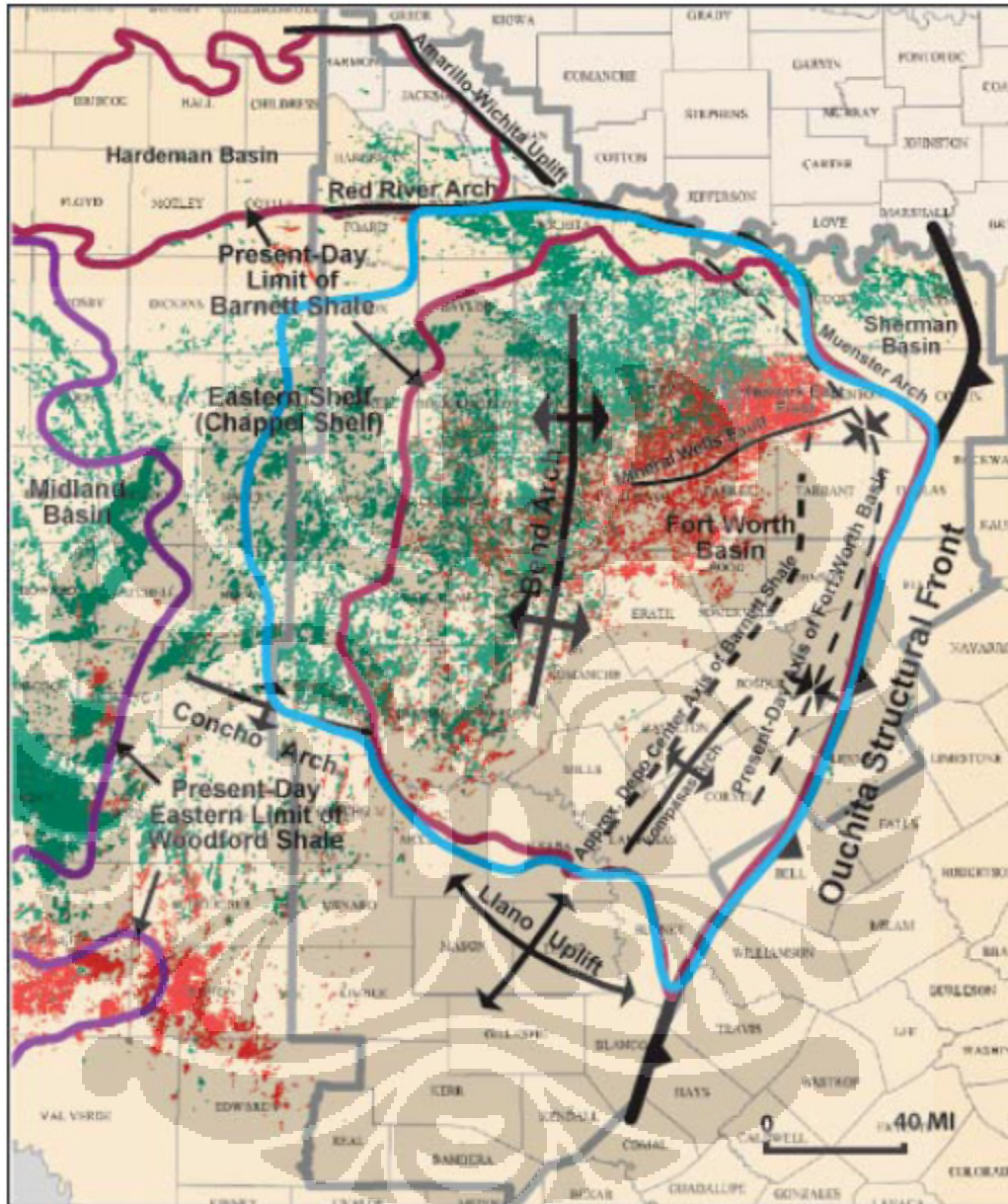
Gambar 3.1 Lokasi Lapangan Boonsville, Texas (Tanakov, 1997)



Gambar 3.2 Pembentukan Basin pada Ouachita Foldbelt (Thomas,1995)

Struktur utama pada Fort Worth Basin meliputi Muenster dan Red River Arches sampai ke utara, dan Bend Arches sepanjang bagian tengah propinsi. Suatu patahan Mineral Wells terbentang sepanjang utara selatan melalui Kabupaten Palo, Pinto, Wise, Denton. Sistem patahan ini menciptakan zona produksi rendah pada reservoir gas Barnett Shale (gambar 3.3). Beberapa patahan yang memotong basement batuan Paleozoic pada arah utara diidentifikasi sebagai Formasi Ordovician Ellenburger.

Pembentukan Fort Worth Basin dapat dipahami dengan menggunakan Barnett-Paleozoic *Total Petroleum System* (TPS) yang dikembangkan oleh USGS (United States Geological Survey).



Gambar 3.3 Peta yang menunjukkan elemen struktur (garis hitam), produksi minyak (daerah hijau) dan gas (daerah merah) pada Propinsi Forth Worth Basin.

(Pollastro, 2003)

### **Efek Tektonik pada Formasi-formasi dibawah ini:**

#### Elenburger

Sedimen pada masa Ordovician Ellenburger merupakan sedimen tertua yang diproduksi oleh Basin. Tektonik pada tingkat Atoka membentuk patahan dan rekahan pada Formasi Ellenburger sehingga memungkinkan terbentuk struktur jebakan hidrokarbon. The Bureau of Economic Geology meneliti daerah Boonsville dan menemukan adanya karst collapsing pada formasi Elenburger (Thomas, 1995).

#### Barnet Shale

Formasi Barnet Shale pada masa Mississipian merupakan target eksplorasi yang menjanjikan. Ketebalan Barnet Shale sekitar 200 feet pada bagian barat dan menebal menjadi 300 feet pada daerah timur. Dua buah patahan pada masa Mississipian dan karst collapsing pada Formasi Ellenburger membuat Barnet Shale potensial sebagai daerah eksplorasi.

#### Marble Falls

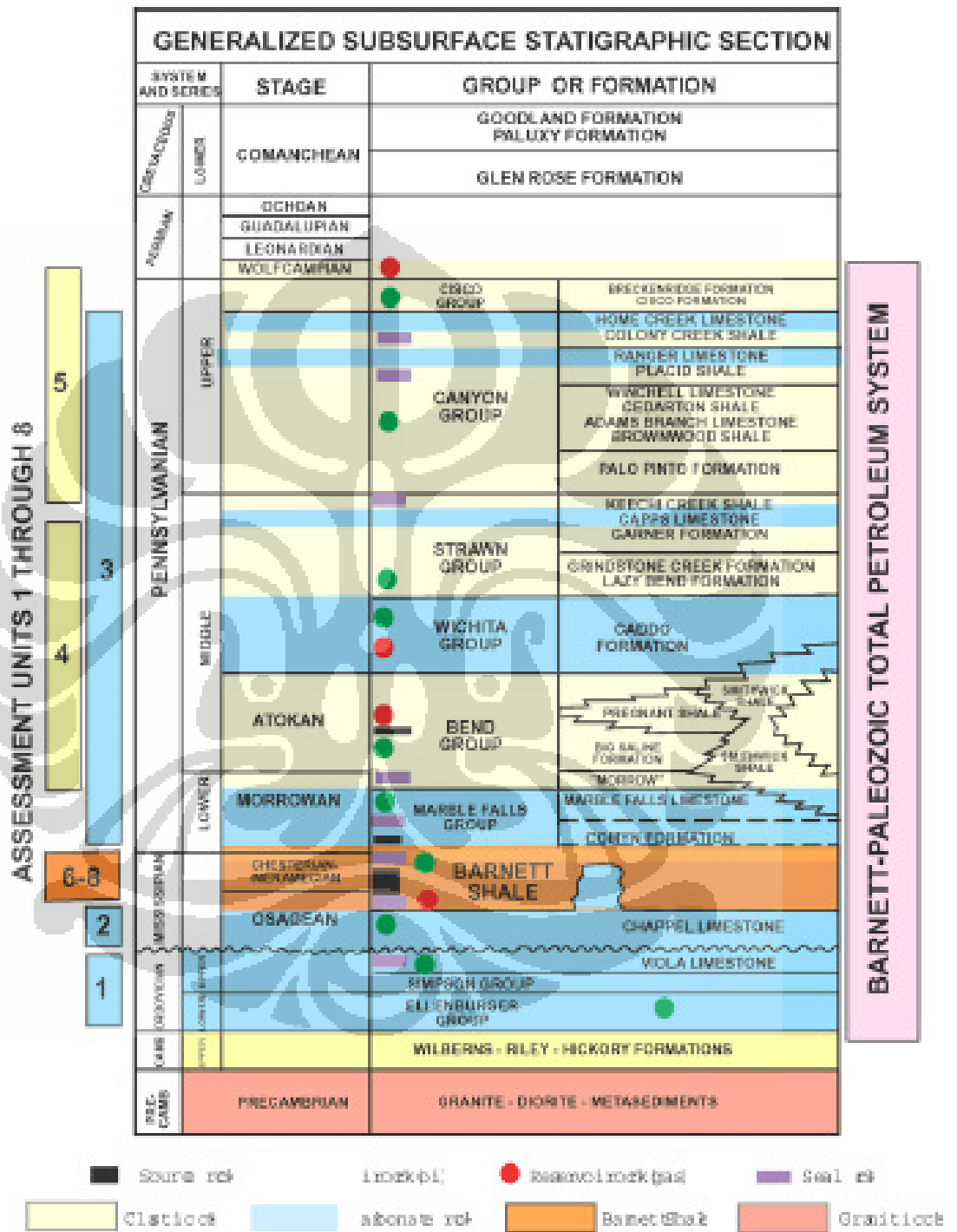
Selama akhir massa Mississipian dan awal Pennsylvanian sedimen yang terbentuk didominasi oleh shelf carbonate dan teridentifikasi pada formasi Marble Falls. Formasi ini telah dibuktikan sebagai formasi yang aktif memproduksi gas alami pada basin. Formasi Marble Falls terdiri dari berbagai lingkungan pengendapan dan

### 3.2 Stratigrafi Daerah Boonsville

Stratigrafi daerah Fort Worth Basin dapat dilihat pada gambar 3.4. Minyak dan gas yang dihasilkan pada masa Ordovician, Mississippian dan Early Pennsylvanian berasal dari karbonat reservoir. Sedangkan minyak dan gas pada masa Middle Pennsylvanian sampai Lower Permian dihasilkan dari klastik reservoir.

Pada masa Cambrian sampai Mississippian Fort Worth Basin merupakan daerah *cratonic shelf* yang terendapkan oleh karbonat. Penurunan level air laut pada akhir Ellenburger menghasilkan karst pada sequence batuan karbonat.

Barnett Shale terbentuk karena ketidakselarasan pada masa Mississippian akibat Ouachita thrust. Batuan klastik pada masa Pennsylvanian juga dihasilkan karena pengaruh Ouachita thrust. Batuan hasil masa Pennsylvanian inilah yang kaya akan batu pasir dan konglomerat dengan limestone yang tipis.



Gambar 3.4 Stratigrafi pada daerah Fort Worth Basin dari Barnett – Paleozoic Total Petroleum System. (Pollastro, 2003)

### 3.3 Karakteristik Reservoir

Konglomerat Bend berada pada interval Caddo limestone. Beberapa kali erosi sempit terjadi pada masa Atokan sehingga menghasilkan ketidakselarasan. Mekanisme jebakan utamanya adalah permeability pinch-outs. Pada daerah yang diteliti, ketebalan Konglomerat Bend bervariasi antara 1000 sampai 1200 feet dan ditemukan pada kedalaman 4500 feet sampai 6000 feet. Reservoir yang paling produktif yaitu pada interval Caddo dan Vineyard.

Produksi minyak pada Lapangan Boonsville berasal dari Formasi Pennsylvanian Konglomerat Bend. Reservoir ini paling banyak produksinya dibandingkan reservoir lain di Fort Worth Basin. Pada tahun 2001 produksi reservoir ini mencapai 3 TCFG (Trillion Cubic Feet of Gas).

### 3.4 Sejarah Produktivitas

Hidrokarbon pertama kali ditemukan di daerah Fort Worth Basin pada pertengahan abad 19 saat dilakukan pengeboran sumur air. Minyak komersial pertama dihasilkan pada awal tahun 1900. Pada tahun 1917 ditemukan Lapangan Ranger yang menjadi sasaran eksplorasi besar-besaran di Texas.

Lapangan Boonsville ditemukan pada tahun 1945, tetapi pada tahun 1940 – 1950 tidak terlalu banyak permintaan akan gas. Pada masa itu Lapangan minyak terlantar karena tidak diproduksi. Setelah tahun 1957, bertepatan dengan dibangunnya jalur pipa gas besar menuju Chicago, dikembangkanlah produksi pada Lapangan Boonsville. Dari tahun tersebut lapangan ini telah menghasilkan 2.6 TSCF (Trillion Standard Cubic Feet) gas. Sumur yang masih aktif pada Lapangan ini mencapai 2000 sumur.



Berikut merupakan data produktivitas beberapa sumur pada Fort Worth Basin.

Field	County	Cummulative oil production		Cummulative gas production		Reserves	Discovery
		million barrels	million cubic meters	billion cubic feet	million cubic meters		
Newark East	Wise, Denton			200	5,700	2.5 trillion cubic feet ( $71 \times 10^9 \text{ m}^3$ ) of gas	1981
Boonsville	Wise, Jack	245	39.0	5,500	160,000	GOF	1950
Ranger	Wichita	78	12.4			Abandoned	1917
Fry	Brown						1926
TOGA	Lampasas						2006
Shackelford	Shackelford					10 million barrels ( $1.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) of oil	1954
Lee Ray	Eastland			19	540		1978
Breckeridge	Stephens	147	23.4			GOF	1919
KMA	Wichita	184	29.3			GOF	1931
Fargo	Wilbarger	34	5.4				1940
Branch South	NA			16	450		1983
Lake Abilene	Taylor						
Cayuga	Henderson	65	10.3				1934

Note: GOF = giant oil fields (>500 million barrels of oil equivalent)

Gambar 3.5 Data produktivitas beberapa sumur pada Fort Worth Basin

(Wikipedia, 2008)

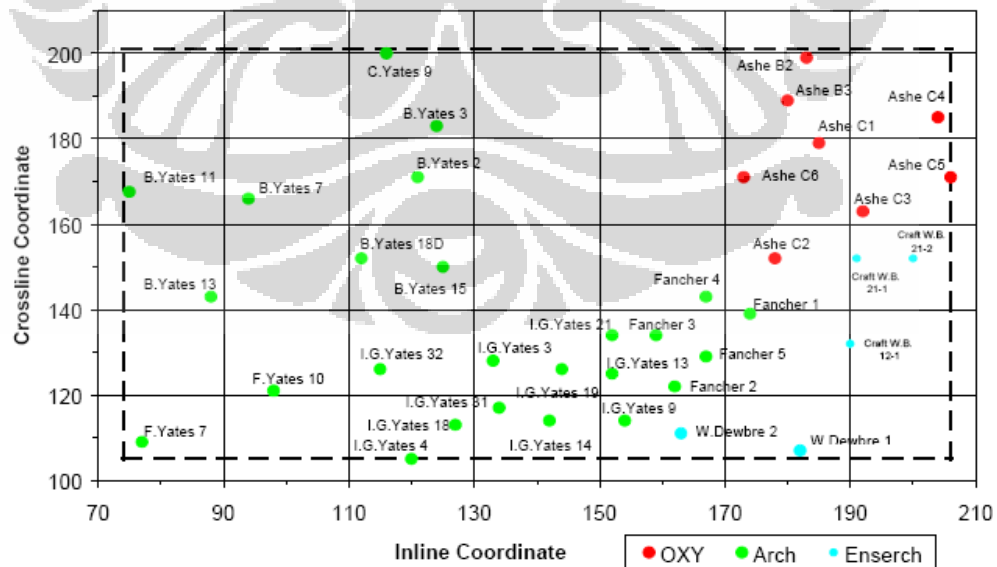
## 4. PENGOLAHAN DATA

### 4.1 Persiapan Data

#### 4.1.1 Deskripsi Data Seismik

Data publik pada Lapangan Boonsville memiliki cakupan areal sebesar 5.5 mill<sup>3</sup>. Data seismik 3D terdiri dari 110 x 110 feet stacking bins dengan tras (crossline, X) pada arah timur-barat dan line (inline, Y) pada arah utara-selatan. Nilai longitude dan latitude telah dikonversi menjadi nilai X dan Y (dalam meter).

Data set Lapangan Boonsville dibuat menjadi data publik oleh tiga perusahaan yang mengambil alih lapangan tersebut yaitu OXY USA, Arc Petroleum dan Enserch. Lapangan ini terdiri dari 38 sumur namun yang dipakai dalam penelitian ini hanya satu sumur B Yates 18 D.



Gambar 4.1 Publik data set Lapangan Boonsville disertai dengan 38 sumur.

(Tanakov, 1997)

Range pada data seismik adalah sebagai berikut:

<b>X Location</b>	<b>Y Location</b>	<b>Line</b>	<b>Trace</b>
568418	167725	105	74
572883	167725	201	74
572883	570998	201	206
568418	570998	105	206

Tabel 1. Range data seismik.

Prosesing sequence yang dilakukan pada data seismik 3D Boonsville adalah sebagai berikut: (Murdianto, 2007)

1. Surface dan Subsurface maps
2. Definisi geometri
3. Pre-filter 17 – 250 Hz
4. Dekonvolusi surface-consisten
5. Refraction statik; datum=900 ft, velocity=8000ft/s
6. Analisa kecepatan
7. Refraction statik; datum=900 ft, velocity=8000ft/s
8. CDP stack
9. Automatic residual statik
10. Analisa kecepatan
11. Normal moveout
12. Spectral balance
13. CDP residual statik
14. CDP stack
15. Interpolate missing CDP pada pinggir data
16. 3D migrasi

#### **4.1.2 Data Sumur**

Seperti sudah disebutkan sebelumnya, sumur yang terdapat dalam cakupan areal data seismik berjumlah 38 sumur. Sumur yang dipakai dalam penelitian ini hanya satu sumur vertikal BY18D yang memiliki koordinat 569708.739, 169332.039.

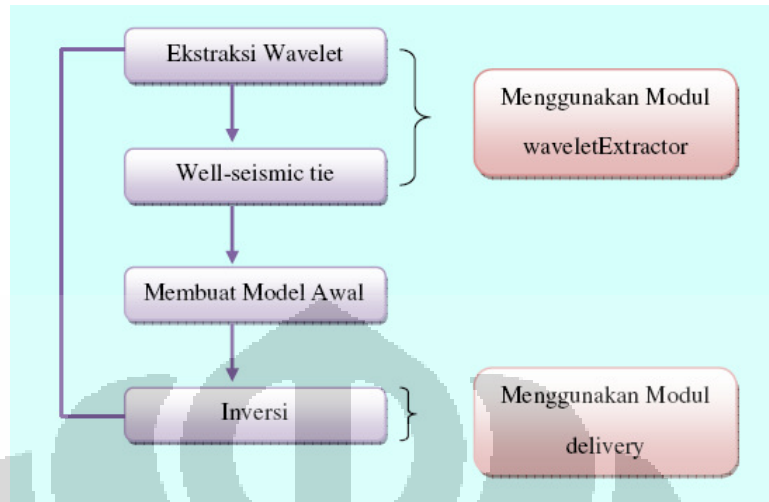
Log yang terdapat pada data sumur BY18D yaitu log densitas, log sonic dan log gamma ray. Log densitas dan log sonic digunakan untuk melakukan pengikatan data sumur dengan data seismik. Data log lainnya digunakan untuk mendukung interpretasi dan permodelan.

#### **4.1.3 Data Checkshot**

Data Checkshot digunakan untuk mendapatkan hubungan kedalaman data sumur dengan waktu pada data seismik. Data checkshot berisi Two Way Travel Time (TWT) dan kedalaman. Pada sumur BY18D terdapat dua data checkshot berupa hasil survey vibroseis dan dinamit. Namun data checkshot yang dipakai dalam penelitian ini merupakan data survey checkshot dinamit.

#### **4.2 Pengolahan Data**

Pengolahan data yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan software Delivery. Alur pengerjaannya dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 4.2 Alur proses inversi dengan menggunakan software Delivery

#### 4.2.1 Ekstraksi Wavelet dan Korelasi Sumur

Proses awal yang dilakukan yaitu ekstraksi wavelet. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan model wavelet yang sesuai dari data sumur. Wavelet hasil ekstraksi nantinya akan dipakai untuk pengikatan data sumur dengan data seismik guna memperoleh hubungan antara waktu dan kedalaman.

Pengikatan data sumur dilakukan dengan menggunakan sintetik seismogram. Sintetik seismogram didapatkan dengan mengkonvolusikan wavelet dengan log koefisien refleksi (perkalian antara log densitas dan log sonic).

Pemilihan wavelet yang tepat dilakukan dengan membandingkan sintetik seismogram yang sudah terbentuk dengan data seismik. Mendapatkan wavelet yang tepat sangat penting karena nantinya akan digunakan sebagai input pada proses inversi. Proses ekstraksi wavelet dan *well-seismic tie* yang dilakukan dalam tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan modul “waveletExtractor”.

Data-data yang diperlukan untuk melakukan *well-seismic tie* adalah sebagai berikut:

- File konfigurasi berupa XML File
- Data seismik *mini cube*
- Data log dalam bentuk LAS.
- Data *checkshot*.

Sedangkan output dalam proses ekstraksi wavelet ini adalah :

- *Maximum likelihood wavelet* dalam bentuk \*.su
- Grafik *well-seismic tie* dalam bentuk ASCII

Awalnya yaitu membuat XML file dimana termuat parameter yang diperlukan untuk melakukan ekstraksi wavelet. XML file memiliki peran yang sangat vital karena keberhasilan ekstraksi wavelet dikontrol oleh file ini.

XML file dibagi menjadi beberapa bagian meliputi info sumur, info checkshot, info seismik, info ekstraksi, dan output yang diinginkan. Info sumur berupa data sumur berbentuk LAS, data log densitas serta log sonic, koordinat sumur dan data kedalaman vertikal. Info checkshot berupa *checkshot time*, dan *measured depth*. Info seismik berupa data seismik 3D, minimum dan maximum offset masing-masing bernilai 0 dan 2000, reflector time bernilai 2000 ms, dan stack velocity. Info ekstraksi berupa window start dan end time masing-masing pada 0.86 dan 1.03 s. Contoh XML file yang dipakai dapat dilihat pada gambar 4.3, sedangkan XML yang dipakai untuk melakukan proses well-seismic tie dapat dilihat pada Lampiran I.

Ekstraksi kemudian dijalankan dengan perintah berikut:

```
% waveletExtractor Newboonsvillernm.xml --dump-ML-parameters
--dump-ML-synthetics --dump-ML-wavelets -v 4 -l -c -N 40 -
NLR --constrain-phase 0 1 | tee junk.txt
```

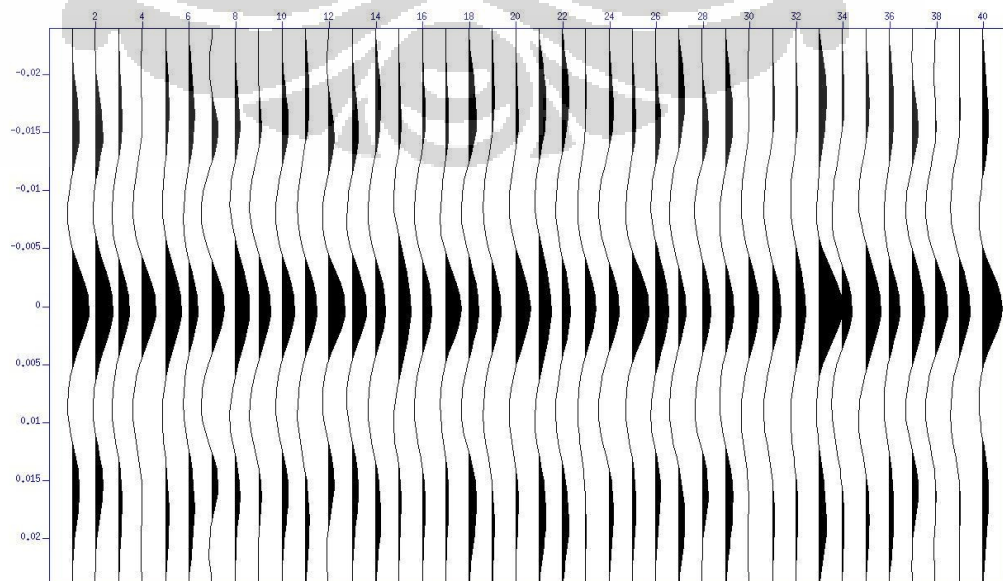
```

astrid@localhost: /home/astrid/Ekstraksi/Ekstraksi3 - Shell - Konsole
Session Edit View Bookmarks Settings Help
GNU nano 2.0.7 File: Newboonsvillernm.xml
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<wavelet_extraction>
  <wavelet_extraction_info>
    <name>boonsville</name>
    <project>boonsvillernm</project>
    <author>astrid</author>
  </wavelet_extraction_info>
  <well_info>
    <well>
      <name>boonsville</name>
      <well_log_info>
        <well_log_filename>BY-1802.las</well_log_filename>
        <measured_depth_keyword>DEPTH</measured_depth_keyword>
        <sonic_DT_keyword>DT</sonic_DT_keyword>
        <shear_sonic_DT_keyword>DT</shear_sonic_DT_keyword>
        <density_keyword>RHOB</density_keyword>
        <gamma_keyword>GR</gamma_keyword>
      </well_log_info>
      <well_survey_info>
        <well_survey_filename>boonsville_survey3.txt</well_survey_filename>
        <total_vertical_depth_keywords>TVD</total_vertical_depth_keywords>
        <measured_depth_keyword>MD</measured_depth_keyword>
        <x_position_keyword>XCRD</x_position_keyword>
        <y_position_keyword>YCRD</y_position_keyword>
      </well_survey_info>
      <checkshot_info>
        <checkshot_filename>checkshot.txt</checkshot_filename>
        <checkshot_time_keywords>T</checkshot_time_keywords>
        <sigma_checkshot_time_keywords>sigma</sigma_checkshot_time_keywords>
        <measured_depth_keyword>SRD</measured_depth_keyword>
      </checkshot_info>
      <seismic_stack_info>
        <seismic_minicube_filename>Boonsvillernm.su.swapped</seismic_minicube_filename>
        <min_offset>0</min_offset>
        <max_offset>1000</max_offset>
      </seismic_stack_info>
    </well>
  </well_info>
</wavelet_extraction>

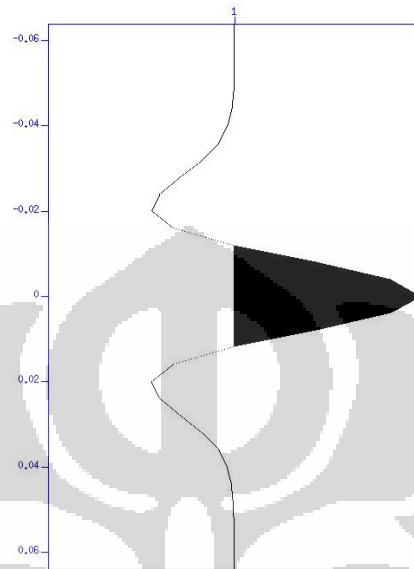
```

Gambar 4.3 Contoh XML file untuk melakukan ekstraksi wavelet dan *well-seismic tie*.

Wavelet yang terbentuk berjumlah 40 dan dari hasil wavelet tersebut dipilih Maximum Likelihood wavelet untuk digunakan pada proses inversi. Gambar wavelet yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 4.2. Hasil *Maximum Likelihood wavelet* adalah wavelet pada gambar 4.5 dengan frekuensi 25 Hz.

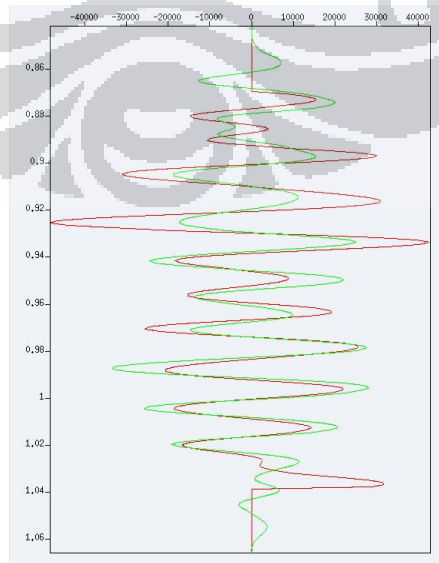


Gambar 4.4 Wavelet yang terbentuk setelah melakukan ekstraksi wavelet.



Gambar 4.5 Wavelet Maximum Likelihood.

Superposisi antara wavelet seismik dengan sintetik seismik dapat dilihat pada gambar 4.4. Warna hijau merupakan sintetik seismik sedangkan warna merah adalah wavelet seismik.



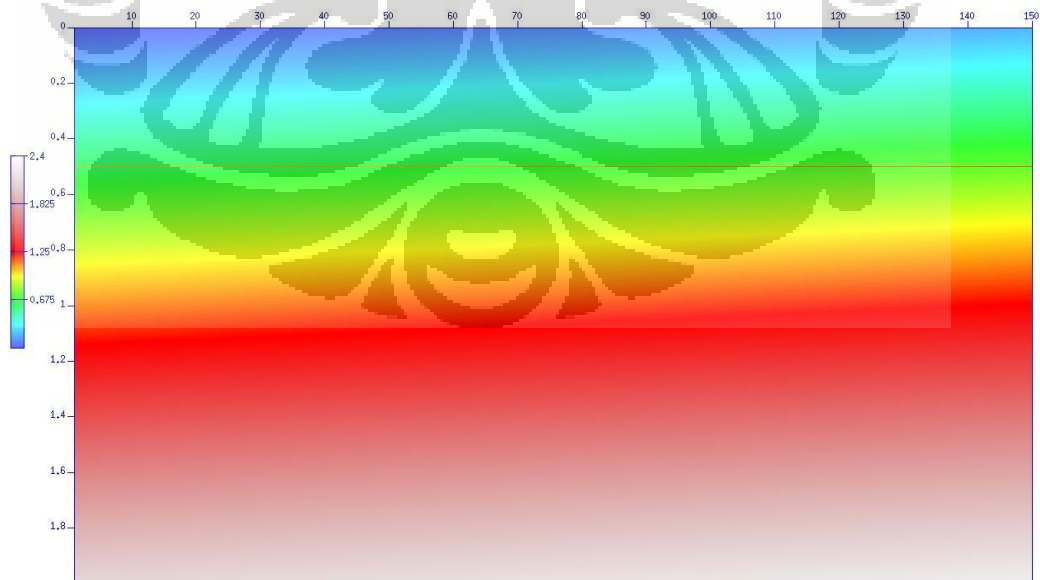
Gambar 4.4 Superposisi antara wavelet seismik dengan sintetik seismik.



#### 4.2.2 Inversi Model-Based pada Data Seismik 3D

Inversi yang dilakukan pada penelitian ini merupakan inversi model-based dengan menggunakan software Delivery. Namun cara kerja Delivery dalam melakukan inversi menggunakan algoritma trace-based dimana diasumsikan setiap trace yang ada adalah independen. Input dalam proses inversi ini berupa data seismik dan wavelet hasil ekstraksi seismik dengan data sumur.

Langkah pertama yang dilakukan dalam setiap inversi model-based yaitu membuat model awal. Model awal ini nantinya akan berkembang setelah dilakukan proses inversi secara iterative. Software Delivery memungkinkan untuk membuat model awal atau dinamakan prior model. Pembuatan prior model ini dilakukan dengan script perl. Prior model seperti pada gambar 4.5 dibuat dengan mempertimbangkan kemungkinan perlapisan ataupun lapisan yang ingin dianalisis dari data sumur. Script untuk membuat prior model terlampir pada Lampiran II.



Gambar 4.5 Prior model

Setelah prior model terbentuk kemudian dilakukan persiapan untuk melakukan inversi. Inversi dilakukan dengan menggunakan XML file seperti halnya dalam melakukan ekstraksi wavelet (XML file terlampir). XML file terbagi menjadi tiga bagian, yang pertama bagian input berupa kondisi dan parameter awal lapisan yang ingin diteliti. Bagian kedua berisi parameter-parameter yang digunakan untuk melakukan inversi serta ekstraploasi satu sumur sehingga menghasilkan prediksi penyebaran batu pasir pada cakupan data seismik. Dan bagian terakhir berupa output yang diinginkan.



```

GNU nano 2.9.7 File: ModelDescription16.xml
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<-inversion>
  <-inversion_info>
    <name>boonsvilles</name>
    <project>boons</project>
    <author>james</author>
  </inversion_info>
  <-seismic_data>
    <stack>
      <name>boons</name>
      <filename>BoonsvilleTerm.su.swapped</filename>
      <min_offset>0</min_offset>
      <max_offset varies_areally="true">1000</max_offset>
      <reflector_time varies_areally="true">2000</reflector_time>
      <stack_velocity varies_areally="true">8000</stack_velocity>
    <wavelet>
      <filename>MLwavelet.MOST_LIKELY.su</filename>
      <noise_rms>0.05</noise_rms>
    </wavelet>
  </stack>
  <-AVO_terms>
    <A>1.0</A>
    <B>1.0</B>
  </AVO_terms>
</seismic_data>
<-model_description>
  <top_layer>
    <name>top (1,0)</name>
    <reservoir_endmember>
      <name>reference sand</name>
      <brine>
      <name>brine</name>
      </brine>
    </reservoir_endmember>
  </top_layer>

```

Gambar 4.6 XML file untuk melakukan inversi.

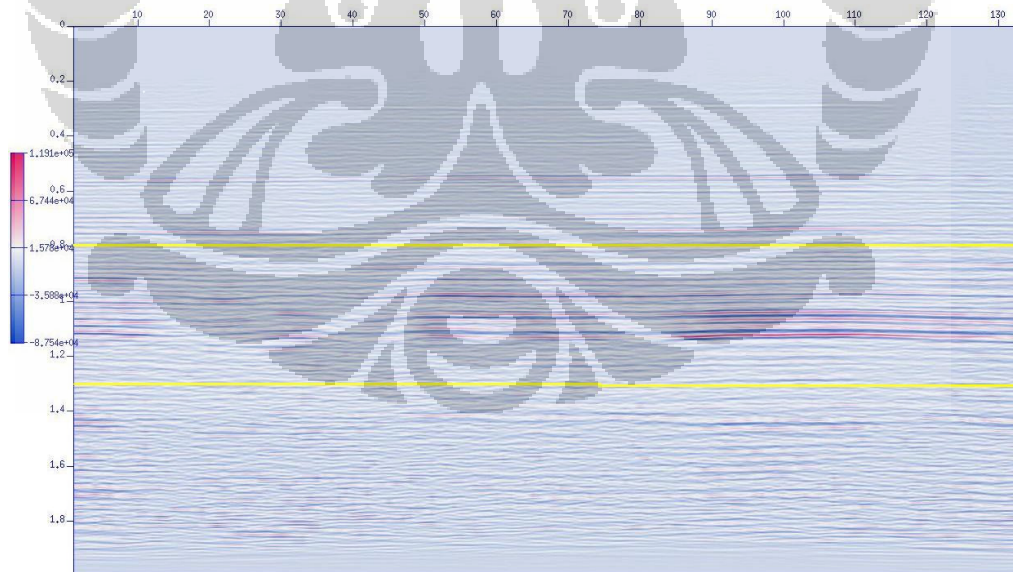
Lapisan yang ingin diamati merupakan formasi Caddo yang berada pada range waktu 850 - 1000 ms. Lapisan ini dipilih karena formasi Caddo banyak menghasilkan minyak dan gas pada Lapangan Boonsville. Penampang sesimik yang dijadikan data input dapat dilihat pada gambar 4.7

Inversi kemudian dijalankan pada file XML dengan menggunakan modul “delivery”. Perintah yang digunakan untuk melakukan proses inversi sebagai berikut:

```
%Delivery -v 4 -p -m prior_traces.su Modeldescription.xml -
make synthetic 25 4 0.6 1.4
```

Pada perintah inversi tersebut dimasukan frekuensi wavelet yang dihasilkan sebelumnya yaitu sebesar 25 Hz. Tujuannya yaitu agar hasil akhir inversi memiliki frekuensi yang sama dengan input seismik serta wavelet hasil ekstraksi.

Prior traces yang digunakan merupakan model awal yang telah dibuat. Parameter-parameter yang diperlukan untuk melakukan inversi terdapat pada file XML bernama Modeldescription.



Gambar 4.7 Data seismik yang dijadikan input. Lapisan yang ingin diamati berada pada range 800 – 1300 ms