



UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI PENERAPAN MULTIATRIBUT SEISMIK DAN
INVERSI IMPEDANSI AKUSTIK UNTUK MEMETAKAN
GAMMA RAY : STUDI KASUS LAPANGAN “X”

SKRIPSI

KHAIRUL ILMU

0606039915

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI PENERAPAN MULTIATRIBUT SEISMIK DAN
INVERSI IMPEDANSI AKUSTIK UNTUK MEMETAKAN
GAMMA RAY : STUDI KASUS LAPANGAN “X”

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

KHAIRUL ILMU

0606039915

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

KEKHUSUSAN GEOFISIKA

DEPOK

JUNI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Khairul Ilmi

NPM : 0606039915

Tanda Tangan :

Tanggal : 4 Juni 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Khairul Ilmi

NPM : 0606039915

Program Studi : Fisika

Judul Skripsi : Studi Penerapan Multiatribut Seismik dan Inversi Impedansi Akustik
Untuk Memetakan Gamma Ray : Studi Kasus Lapangan “X”

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. rer. nat ABD Haris ()

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

Penguji II : Ir. Anggoro, MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, dengan ini penulis panjatkan puji dan syukur atas Rahmat dan Karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Skripsi yang berjudul “Studi Penerapan Multiatribut Seismik dan Inversi Impedansi Akustik Untuk Memetakan Gamma Ray : Studi Kasus Lapangan “X”, disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Scient Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Alhamdulillahrabbi'l'alamin penulis ucapkan atas semua kebahagiaan dan pengalaman yang telah diberikan oleh-Nya. Pada kesempatan ini, Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu Penulis, baik langsung maupun tidak langsung, dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

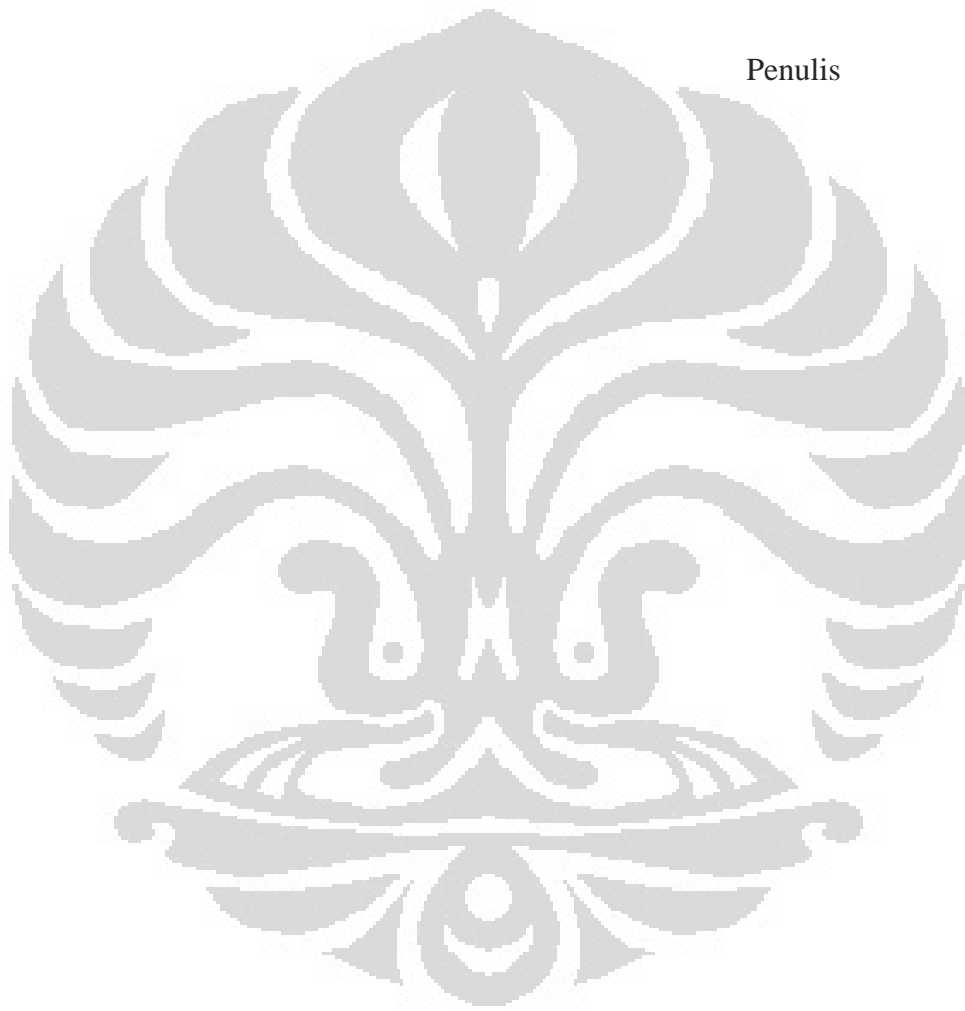
1. Dr. rer. nat. ABD Haris, selaku dosen pembimbing yang ditengah kesibukannya masih dapat meluangkan waktu dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Yunus Daud, M.Sc, selaku penguji I dan ketua peminatan Geofisika FMIPA UI, yang telah banyak mewariskan ilmu yang sangat bermanfaat bagi penulis, dan Ir. Anggoro, MT, selaku penguji II atas waktu dan segala masukan serta pemaklumannya.
3. Dr. Santoso, selaku ketua Departemen Fisika.
4. Kedua orang tuaku, kakak-kakak dan adik serta keponakan-keponakanku dan juga Ellis, atas doa dan motivasinya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Teman satu bimbingan, Mamen dan Mr, Rohadi, serta teman-teman ekstensi geofisika 06, Iie, Chandra, mba Susan, Aziz, teh Fitri, Asrim, Haecal, Indra dan kiwong, terimakasih untuk waktu bersama yang menyenangkan.
6. Mas Rizki, mba Lastri, Bei, Mas Ammar dan Majid, maaf telah banyak merepotkan.

7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas dukungan dan doanya.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu.

Depok, Juni 2009

Penulis



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Khairul Ilmi

NPM : 06060399915

Program Studi : Fisika

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis Karya : Skripsi

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

“Studi Penerapan Multiatribut Seismik dan Inversi Impedansi Akustik untuk Memetakan Gamma Ray : Studi Kasus Lapangan “X””

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 tanpa meminta izin dari 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 : 4 Juni 2009

Yang menyatakan

Khairul Ilmi

ABSTRAK

Nama : Khairul Ilmi

Program Studi : Fisika

Judul : Studi Penerapan Multiatribut Seismik dan Inversi Impedansi Akustik untuk Memetakan Gamma Ray : Studi Kasus Lapangan X

Kombinasi studi multiatribut dan inversi seismik digunakan untuk menentukan log gamma ray pada seluruh volume data seismik. Pada studi ini digunakan 10 sumur dengan log gamma ray sebagai target analisa data multiatribut, atribut utama yang digunakan adalah atribut impedansi akustik yang dihasilkan dari inversi seismik. Adapun inversi seismik dilakukan berdasarkan 14 sumur yang tersedia log densitas dan velocity. Algoritma inversi yang digunakan adalah Model based, Bandlimited dan Sparse spike. Hasil dari analisa multiatribut digunakan untuk menentukan distribusi gamma ray sehingga dapat ditelusuri sebaran reservoirnya.

Kata kunci :

Multiatribut Seismik, Gamma Ray, Inversi Impedansi Akustik

ABSTRACT

Name : Khairul Ilmi

Study Program : Fisika

Title : Study of Multiattribute and Acoustic Impedance Inversion for
Gamma Ray Mapping : Case Study on Field X

Combined multiattribute and seismic inversion is applied to estimate gamma ray log throughout seismic cube. In this study 10 well are used to guide multiattribute analysis with the gamma ray log as the target. Main attribute is acoustic impedance which made from seismic inversion. Seismic inversion had been done with at least 14 wells from the density log and sonic log. Model based, Bandlimited, and Sparse Spike was the inversion algorithm. The result from multiattribute analysis used to generate gamma ray distribution in delineating the reservoir.

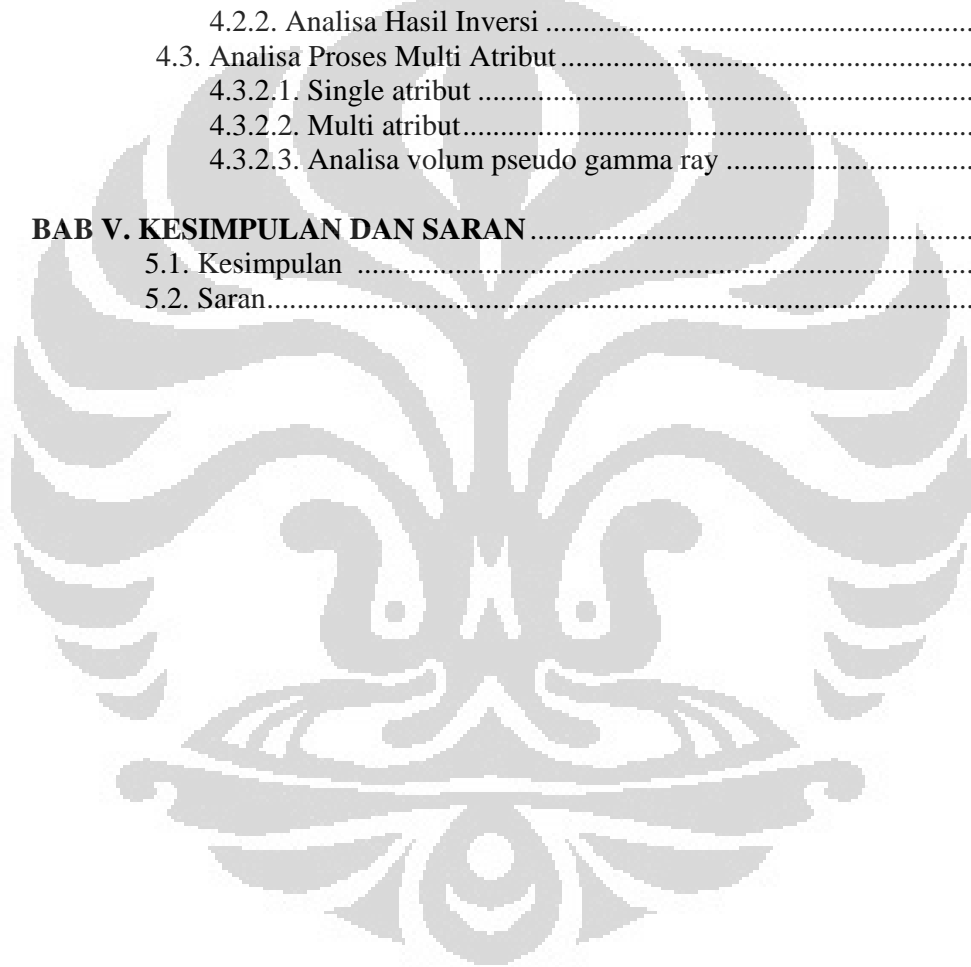
Key words :

Multiattribute Seismic, Gamma Ray, Acoustic Impedance Inversion

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PESETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK DALAM BAHASA INDONESIA	vii
ABSTRAK DALAM BAHSA INGGRIS	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR ACUAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penulisan.....	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Metode Penelitian	2
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II. TEORI DASAR	5
2.1. Metode Seismik Inversi	5
2.1.1. Impedansi Akustik	6
2.1.2. Inversi seismik rekursif / <i>Bandlimited</i>	7
2.1.3. Inversi seismik <i>model based</i>	7
2.1.4. Inversi seismik <i>sparse spike</i>	8
2.2. Metoda Multiatribut	9
2.2.1. Atribut input dalam analisa multiatribut.....	11
2.2.2. <i>Cross Plot</i>	14
2.2.3. Regresi linear multiatribut.....	16
2.2.4. Validasi.....	18
2.2.5. Convolution Multiatribut.....	20
2.3. Tinjauan Umum Well Logging	22
2.3.1. Log Sinar Gamma (Gamma Ray)	22
2.3.2. Log Densitas	22
2.3.3. Log Sonic	22
BAB III. DATA DAN PENGOLAHAN DATA	24
3.1. Data	24
3.1.1. Data Seismik.....	24
3.1.2. Data Sumur	25
3.1.3. Data Checkshot	25
3.2. Base Map	25
3.3. Pengolahan Data	26
3.3.1. Picking Horizon	26
3.3.2. Well Seismic Tie.....	26
3.3.3. Seismic Inversi	28
3.3.3.1. Inversi <i>Bandlimited</i>	28

3.3.3.2. Inversi Model Based	29
3.3.3.3. Inversi Sparse Spike.....	29
3.4. Analisa atribut	30
3.4.1. Single Atribut	31
3.4.2. Multiatribut	31
3.4.3. Volum Pseudo Gamma ray.....	33
BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Analisa Well-Seismic Tie	36
4.2. Analisa Inversi	36
4.2.1. Analisa Model Inisial	36
4.2.2. Analisa Hasil Inversi	37
4.3. Analisa Proses Multi Atribut.....	39
4.3.2.1. Single atribut	39
4.3.2.2. Multi atribut.....	40
4.3.2.3. Analisa volum pseudo gamma ray	42
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan	46
5.2. Saran.....	47



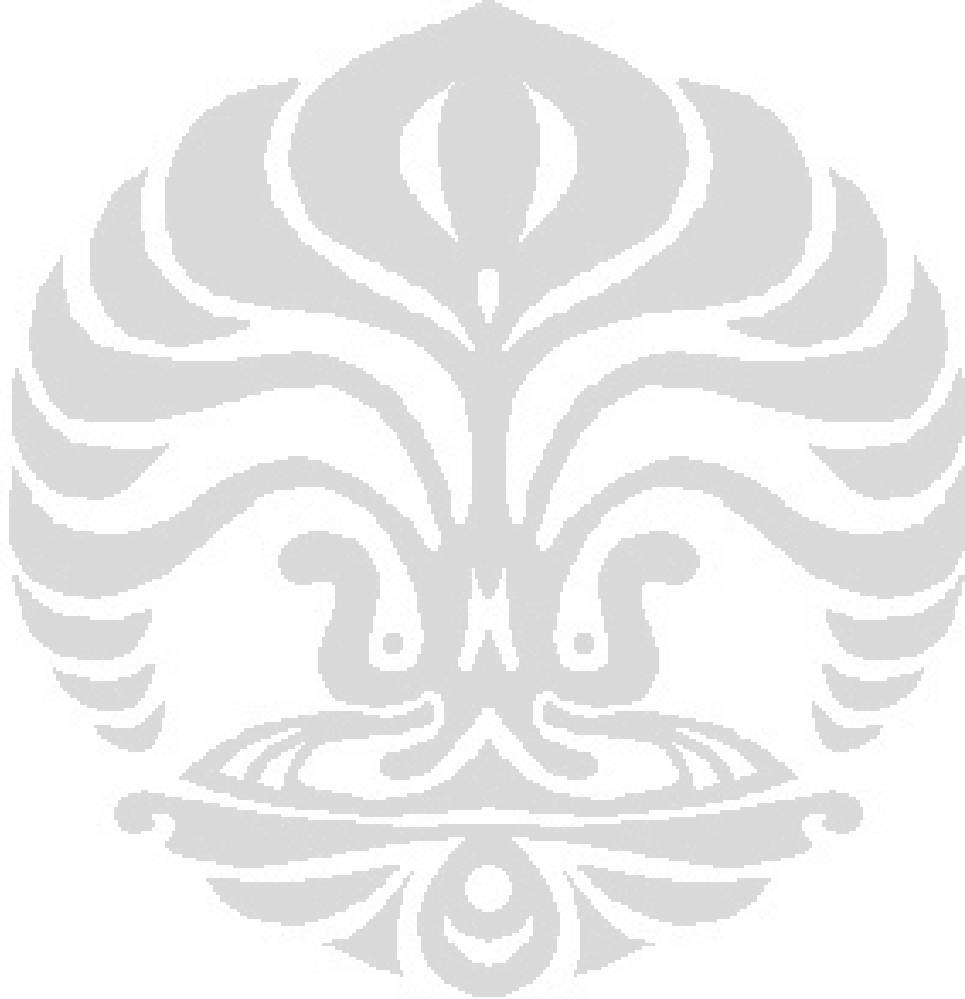
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Diagram alir penelitian inversi impedansi akustik dan analisa atribut seismik.....	3
Gambar 2.1. Seismik inversi	5
Gambar 2.2. Impedansi akustik dan karakterisasi reservoir	8
Gambar 2.3. Diagram alir proses inversi <i>model based</i>	9
Gambar 2.4. Metode inversi sparse spike untuk mendapatkan reflektivitas dan wavelet (Russell, 1998 hal. 6-8) dilakukan iterasi berulang-ulang sampai didapat reflektivitas dan wavelet yang sesuai.	9
Gambar 2.5. Penulisan tras kompleks dalam bentuk polar.	10
Gambar 2.6. Display target log, tras seismik, dan eksternal atribut	11
Gambar 2.7. Conventional Cross-plot Antara Log Target dan Atribut Seismik.....	13
Gambar 2.8. Ilustrasi Cross-plot dengan menggunakan (a) satu atribut dan (b) dua atribut.....	13
Gambar 2.9. Contoh kasus tiga atribut seismik, tiap sampel log target dimodelkan sebagai kombinasi linier dari sampel atribut pada interval waktu yang sama.	15
Gambar 2.10. Ilustrasi cross-validasi.	19
Gambar 2.11. Plot Validation Error dan Prediction Error	19
Gambar 2.12. Perbedaan frekuensi antara data seismik dan data log	22
Gambar 2.13. Penggunaan 5 titik operator konvolusi untuk menghubungkan atribut seismic dengan log target.....	23
Gambar 3.1. Data Seismik pada inline 670, sumur I	23
Gambar 3.2. Peta dasar daerah Penelitian.....	23
Gambar 3.3. Wavelet ststistical	26
Gambar 3.4. Proses Well to Seismic Tie Pada Sumur O	27
Gambar 3.5. Error plot daftar multiatribut vs nomor atribut.....	33

Gambar 3.6. Cross plot antara Gamma Ray vs (<i>LP Sparse Spike</i>)**2	34
Gambar 3.7. Tes Operator Length menunjukkan nilai operator yang paling baik adalah tiga	35
Gambar 3.8. Cross plot antara Actual Gamma Ray vs Predicted Gamma Ray dengan menggunakan 8 atribut	35
Gambar 4.1. Penampang Model Inisial yang melewati sumur M.....	37
Gambar 4.2. Penampang hasil inversi bandlimited yang melewati sumur M.....	38
Gambar 4.3. Penampang hasil inversi modelbased yang melewati sumur M.....	38
Gambar 4.4. Penampang hasil inversi LP-Sparse Spike yang melewati sumur M...	39
Gambar 4.5. Penampang hasil inversi ML-Sparse Spike yang melewati sumur M..	39
Gambar 4.6 Plot hasil training single atribut	40
Gambar 4.7 Plot hasil training multiatribut	41
Gambar 4.8 Volum pseudo gamma ray menggunakan single atribut	42
Gambar 4.9 Volum pseudo gamma ray menggunakan multiatribut	43
Gambar 4.11 Hasil <i>slice pseudo</i> gamma ray menggunakan multiatribut (Horizon Base + 50 ms)	43
Gambar 4.11 Hasil <i>slice pseudo</i> gamma ray menggunakan multiatribut (Horizon BotZ - 10 ms)	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Nilai koefisien korelasi sintetik-seismik pada tiap sumur	27
Tabel 3.2 Daftar single atribut	32
Tabel 3.3 Daftar multi-atribut	32



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi dari tahun ketahun semakin meningkat dan minyak bumi sampai saat ini masih merupakan energi utama sebagai penggerak perekonomian dunia, kebutuhan yang meningkat tersebut tidak diimbangi dengan ketersediannya yang semakin hari semakin menipis itu menjadikan minyak bumi sebagai barang langka yang semakin dicari dan sangat mahal harganya.

Kemajuan teknologi saat ini memungkinkan kita dapat memprediksi keberadaan struktur, perangkap, reservoir, bahkan bisa mendeteksi langsung keberadaan minyak bumi disuatu daerah. Ini semua bertujuan untuk dapat memaksimalkan pengangkatan minyak bumi kepermukaan, yang itu semua bermuara pada faktor keekonomian diatas. Salah satu teknik untuk dapat memprediksi keberadaan minyak bumi yang sedang berkembang saat ini adalah inversi seismik.

Penggabungan antara data log dan data seismik telah menjadi penelitian para *geophysicist* dan *geologist* dari waktu kewaktu, Data seismik memiliki resolusi horizontal yang baik dengan resolusi vertikal yang kurang baik, sementara data log memiliki resolusi vertikal yang sangat baik namun resolusi horizontalnya buruk. Mengintegrasikan keduanya akan menghasilkan interpretasi yang lebih akurat. Analisa seismik inversi dan multi-atribut terlahir dari keinginan untuk menggabungkan kedua data utama bawah permukaan tersebut, dengan seismik inversi maka kita dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan dengan lebih jelas, khususnya dalam hal ini gamma ray, data gamma ray yang kita dapatkan dari log bisa kita manfaatkan untuk dapat menggambarkan litologi bawah permukaan, yaitu berupa penggambaran terhadap lapisan *shale* dan *sand*, ataupun lapisan yang *permeable* dan *impermeable* pada sepanjang data seismik yang kita miliki.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana membuat peta penyebaran impedansi akustik dan memprediksi gamma ray dengan melakukan analisa multi atribut serta menggunakan data sumur sebagai data acuan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan gamma ray dari lapangan "X" dengan menggunakan model hasil inversi impedansi akustik sebagai eksternal atribut dan melakukan analisa multi atribut seismik.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Daerah penelitian dibatasi pada lapangan "X"
2. Data log yang digunakan adalah data gamma ray, densitas dan sonic, sedangkan data seismic yang digunakan adalah data seismic 3D yang sudah melalui tahap processing yang dianggap benar.
3. Studi terfokus pada inversi impedansi akustik, prediksi gamma ray dengan menganalisis single dan multi atribut, serta analisa keduanya.

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penentuan masalah dan tujuan
2. Studi literatur tentang metode yang akan digunakan
3. Pengumpulan data dan pengolahan data

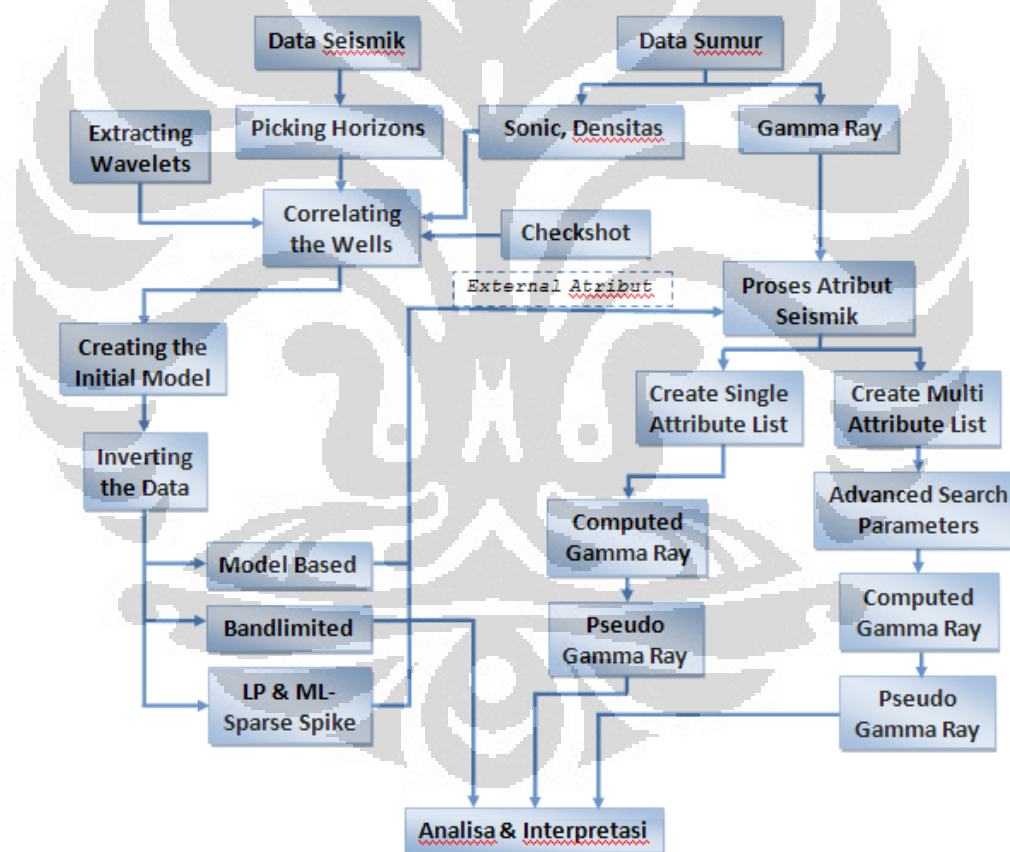
Pengolahan data yang dilakukan terdiri dari picking horizon, well seismic tie, dilanjutkan dengan melakukan inversi seismik, menganalisa atribut sehingga dapat membuat volum pseudo gamma ray.

Dalam pengolahan data digunakan software Hampson-Russel yang terdiri dari:

- a. eLog, digunakan untuk proses ekstraksi wavelet dan well-seismic tie
- b. STRATA, digunakan untuk pembuatan model inisial dan melakukan proses inversi
- c. EMERGE, digunakan untuk pembuatan volum pseudo gamma ray yang diawali dengan menganalisa atribut seismik yang akan digunakan.

4. Analisa terhadap hasil pengolahan data.

5. Menarik kesimpulan hasil penelitian dan saran.



Gambar 1.1 Diagram alir penelitian inversi impedansi akustik dan analisa atribut seismik

1.6 Sismatika Penulisan

Penyusunan tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa urutan materi pembahasan yang saling berkaitan, Pada BAB I akan dibahas mengenai latar belakang masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan penelitian, metode yang digunakan, alur kerja, serta sistematika pembahasan. Kemudian pada BAB II akan dijelaskan mengenai tinjauan dari sisi well logging, inversi seismik, metode multiatribut seismik yang mencakup atribut input pada analisa multiatribut, penggunaan operator konvolusi dan proses validasi. Sedangkan BAB III membahas tentang data yang digunakan, picking horizon, ekstraksi wavelet, well seismic tie, inverse bandlimited, modelbased, sparse spike dan analisa multiatribut. Dan adapun BAB IV membahas mengenai analisa dari hasil well seismic tie, inversi seismic, multiatribut seismik, baik itu mengenai penyebaran serta sebaran gamma ray. Selanjutnya BAB V atau bab yang terakhir berisi mengenai kesimpulan dan saran-saran yang diperoleh dari analisa yang telah dilakukan.

BAB II

TEORI DASAR

2.1 Metode Seismic Inversi

Seismik inversi merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk membuat model geologi bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai constrain (S. Sigit, 1999). Definisi tersebut menjelaskan bahwa metoda inversi merupakan kebalikan dari pemodelan dengan metoda ke depan (forward modelling) yang berhubungan dengan pembuatan seismogram sintetik berdasarkan model bumi. Russel (1988) membagi metoda seismik inversi dalam dua kelompok, yaitu inversi pre-stack dan inversi post-stack. Pada penelitian ini yang digunakan adalah inversi post-stack yang berhubungan dengan inversi amplitudo, di mana dalam inversi ini terdiri dari beberapa algoritma, yaitu inversi bandlimited (rekursif), inversi berbasis model (blocky) dan inversi sparse spike (linear progression dan maximum likelihood).

Seismik inversi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengkarakterisasi reservoir (deliniasi reservoir, korelasi, klasifikasi dan diskripsi reservoir). Seismik inversi secara sederhana di jelaskan dalam gambar berikut :



Gambar 2.1 Inversi impedansi akustik

2.1.1 Impedansi Akustik

Impedansi Akustik merupakan model kecepatan bumi yang di turunkan dari nilai reflektifitas pada setiap sampel waktu. Reflektifitas dapat dikatakan sebagai nilai batas – batas reflektor bawah permukaan hasil dari proses konvolusi antara *trace seismik* dengan *wavelet* (gelombang dari sumber seismik). Hubungan matematis trace seismik dengan koefisien refleksi dalam domain waktu :

$$S_t = W_t * RC_t \quad (2.1)$$

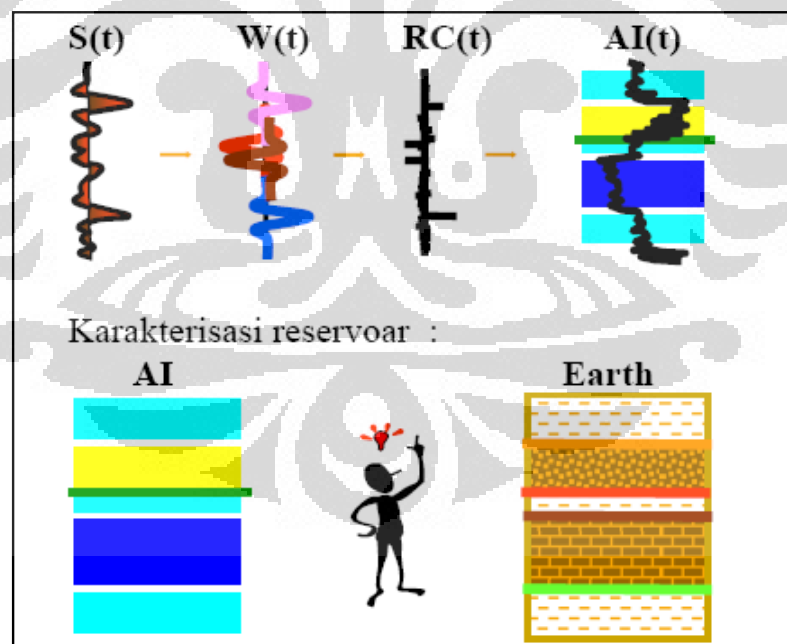
dimana :

S_t = Trace Seismik

W_t = Wavelet Seismik

RC_t = Koefisien Refleksi

Contoh sederhana Impedansi Akustik dan gambaran analisisnya pada Gambar 2.2 :



Gambar 2.2 impedansi akustik dan karakterisasi reservoir

Hubungan matematis trace seismik dengan koefisien refleksi dalam domain frekuensi:

$$S_f = W_f * RC_f \quad (2.2)$$

dimana :

S_f = Transformasi fourier dari S_t

W_f = Transformasi fourier dari W_t

RC_f = Transformasi fourier dari RC_t

f = frekuensi

2.1.2 Inversi Seismik Rekursif/Bandlimited

Inversi rekursif (*bandlimited*) adalah algoritma inversi yang mengabaikan efek wavelet seismik dan memperlakukan seolah-olah trace seismik merupakan kumpulan koefisien refleksi yang telah difilter oleh wavelet fasa nol. Metoda ini

paling awal digunakan untuk menginversi data seismik dengan persamaan dasar (Russel, 1988) :

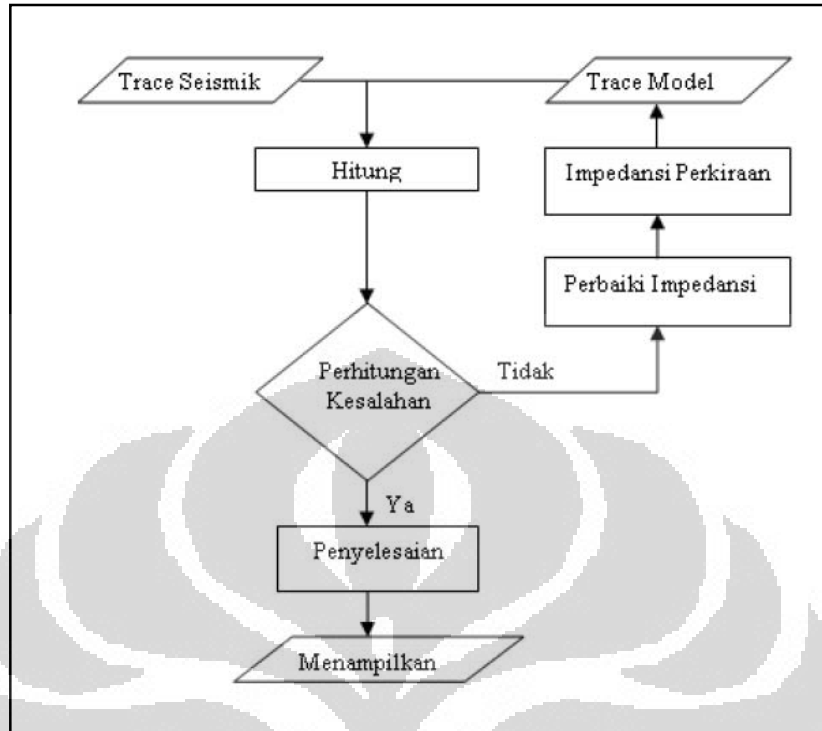
$$r_i = \frac{\rho_{i+1} V_{I+1} - \rho_i V_i}{\rho_{i+1} V_{I+1} + \rho_i V_i} = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (2.3)$$

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

$$Z_{i+1} = Z_i * \prod \left[\frac{1+r_i}{1-r_i} \right] \quad (2.4)$$

2.1.3 Inversi Seismik Model Based

Prinsip metoda ini adalah membuat model geologi dan membandingkannya dengan data rill seismik. Hasil perbandingan tersebut digunakan secara iterative memperbaharui model untuk menyesuaikan dengan data seismik. Metode ini dikembangkan untuk mengatasi masalah yang tidak dapat dipecahkan menggunakan metode rekursif. Teknik ini dapat dijelaskan melalui diagram alur berikut :



Gambar 2.3 diagram alir proses inversi *model based*

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

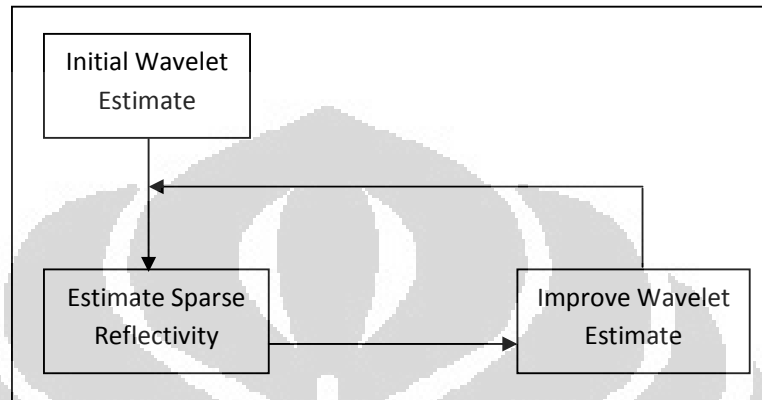
2.1.4 Inversi Seismik *Sparse Spike*

Inversi *sparse spike* mengasumsikan bahwa reflektivitas sebenarnya merupakan sebuah deretan reflektivitas kecil yang tersimpan dalam deretan reflektivitas yang lebih besar. Secara geologi reflektivitas ini berhubungan dengan ketidak selarasan atau batas litologi utama.

$$\text{Actual Reflectivity} = \text{Poisson-Gaussian Series of Large Event} + \text{Gaussian Background of Small Event}$$

Reflektivitas sebenarnya dapat dicari dengan cara menambahkan *spikes* yang lebih kecil diantara *spikes* yang besar dengan nilai ambang tertentu (λ)

yang nilainya lebih kecil dari 1. Pencarian *spikes* yang paling kecil akan berhenti setelah didapat jumlah koefisien refleksi yang paling minimum. Setelah didapatkan model akhir reflektivitas, kemudian dilakukan estimasi wavelet untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan *seismic trace* nya.



Gambar 2.4. Metode inversi *sparse spike* untuk mendapatkan reflektivitas dan *wavelet* (Russell, 1998) dilakukan iterasi berulang-ulang sampai didapat reflektivitas dan *wavelet* yang sesuai.

Metode ini memberikan dua estimasi sekaligus yaitu deretan reflektivitas dan *wavelet* sebagaimana yang ditunjukkan dalam gambar 2.4, iterasi dilakukan secara berulang-ulang sampai didapat deretan reflektivitas dan *wavelet* yang sesuai dengan *seismic trace*.

Dari sudut pandang inversi seismik, metode *sparse spike* mempunyai keunggulan dibandingkan dengan metode dekonvolusi klasik lainnya, karena metode ini menggunakan control ekstra, dapat digunakan sebagai *full bandwidth* pada saat mengestimasi reflektivitas (Russell, 1998).

2.2 Metoda Multiatribut

Atribut seismik didefinisikan sebagai ukuran–ukuran geometri, kinematik, dinamik atau ciri statistik yang diturunkan dari data seismik (Chen and Sidney, 1997). Atribut seismik bertujuan untuk menampilkan beberapa informasi yang tidak dapat dilihat langsung dari data seismik konvensional.

Analisis seismik multiatribut adalah salah satu metode statistik menggunakan lebih dari satu atribut untuk memprediksi beberapa properti fisik

dari bumi. Pada analisa ini dicari hubungan antara log dengan data seismik pada lokasi sumur dan menggunakan hubungan tersebut untuk memprediksi atau mengestimasi volum dari properti log pada semua lokasi pada volum seismik. Statistik dalam karakteristik reservoir digunakan untuk mengestimasi dan mensimulasikan hubungan spasial variabel pada nilai yang diinginkan pada lokasi yang tidak mempunyai data sampel terukur. Hal ini didasarkan pada kenyataan yang sering terjadi di alam bahwa pengukuran suatu variabel di suatu area yang berdekatan adalah sama. Kesamaan antara dua pengukuran tersebut akan menurun seiring dengan bertambahnya jarak pengukuran.

Schultz dkk (1994) mengidentifikasi tiga sub-kategori utama pada teknik analisa multi-atribut geostatistik, yaitu:

1. Perluasan dari co-kriging untuk melibatkan lebih dari satu atribut sekunder untuk memprediksi parameter utama.
2. Metode yang menggunakan matriks kovariansi untuk memprediksi suatu parameter dari atribut input yang telah diberi bobot secara linear.
3. Metode yang menggunakan Artificial Neural Networks (AANs) atau teknik optimisasi non-linear untuk mengkombinasikan atribut-atribut menjadi perkiraan dari parameter yang diinginkan.

Analisa multi-atribut pada penelitian ini menggunakan kategori yang kedua. Prosesnya sendiri melibatkan pembuatan dari volum pseudo log yang nantinya akan digunakan untuk memetakan gamma ray. Dalam kasus yang paling umum, kita mencari sebuah fungsi yang akan mengkonversi m atribut yang berbeda ke dalam properti yang diinginkan, ini dapat ditulis sebagai :

$$P(x,y,z) = F[A_1(x,y,z), \dots, A_m(x,y,z)] \quad (2.5)$$

dimana :

P = properti log, sebagai fungsi dari koordinat x,y,z

F = fungsi yang menyatakan hubungan antara atribut seismik dan properti log

A_i = atribut m, dimana i = 1,...,m.

Untuk kasus yang paling sederhana, hubungan antara log properti dan atribut seismik dapat ditunjukkan oleh persamaan jumlah pembobotan linier.

$$P = w_0 + w_1 A_1 + \dots + w_m A_m \quad (2.6)$$

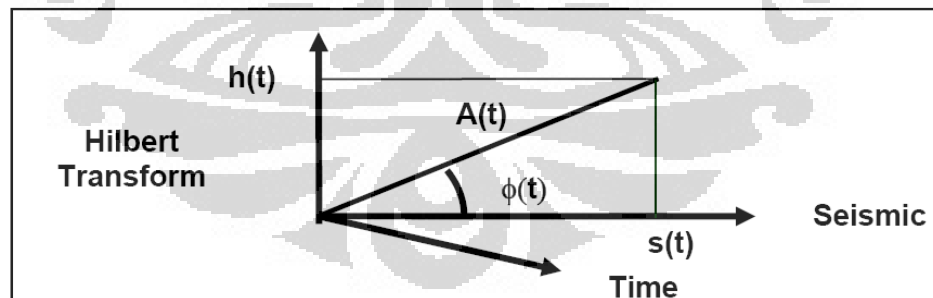
dimana : w_i : Nilai bobot dari $m+1$, dimana $i = 0, \dots, m$

2.2.1 Atribut input dalam Analisa Multi-attribute (Internal Attribute)

Atribut-seismik dapat dibagi kedalam dua kategori yaitu *Horizon-based attributes* dimana atribut dihitung sebagai nilai rata-rata antara dua horizon dan *Sample-based attributes* dimana atribut merupakan transformasi dari tras input untuk menghasilkan tras output lainnya dengan jumlah yang sama dengan tras input (nilainya dihitung sampel per sampel). Atribut yang digunakan dalam analisa multiatribut dengan menggunakan perangkat lunak EMERGE harus dalam bentuk *sample-based attributes*. Atribut-atribut ini dapat dikelompokkan kedalam 5 kategori, yaitu :

1. Atribut Sesaat (Instantaneous Attribute)/Atribut Kompleks

Atribut ini dihitung dari tras kompleks $C(t)$, yang terdiri dari tras seismik $s(t)$, dan transformasi Hilbertnya $h(t)$, yang merupakan pergeseran fasa sebesar 90° dari tras seismik.



Gambar 2.5 Penulisan tras kompleks dalam bentuk polar (Russell, 2006)

Penulisan tras kompleks dalam bentuk polar, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7, memberikan kita dua atribut dasar, yaitu : kuat refleksi $A(t)$ dan fasa sesaat $\Phi(t)$.

$$\begin{aligned}
 C(t) &= s(t) + ih(t) & (2.7) \\
 &= A(t)e^{i\phi(t)} \\
 &= A(t)\cos\phi(t) + A(t)\sin\phi(t)
 \end{aligned}$$

dimana : $i = \sqrt{-1}$

Atribut dasar yang ketiga adalah frekuensi sesaat, yang merupakan turunan waktu dari fasa sesaat. Persamaan frekuensi sesaat ini dapat ditulis sebagai :

$$w(t) = \frac{d\Phi(t)}{dt} = \text{frekwensi sesaat} \quad (2.8)$$

Atribut-atribut lainnya merupakan kombinasi dari tiga atribut dasar tersebut, seperti yang terlihat berikut ini :

$\cos\phi(t)$ = kosinus fasa sesaat

$A(t)\cos\phi(t)$ = amplitude weighted cos phase

$A(t)\phi(t)$ = amplitude weighted phase

$A(t)\omega(t)$ = amplitude weighted frequency

Sedangkan atribut polaritas semu merupakan kuat refleksi dikalikan tanda pada sampel seismik pada nilai puncaknya. Perhitungan ini memberikan tanda positif saat koefisien refleksi positif dan tanda negatif saat koefisien refleksi negatif.

2. Atribut Jendela Frekuensi (Windowed Frequency Attributes)

Set atribut yang kedua didasarkan pada windowed frequency analysis atau analisa frekuensi menggunakan window. Pada proses ini, fourier transform dari setiap tras seismic diambil sebanyak 64 sampel (default)

Dari window ini, baik amplitudo frekuensi rata-rata maupun amplitudo frekuensi dominan digunakan dan nilainya lalu ditempatkan pada tengah-tengah

window. Window baru lalu dipilih 32 sampel kemudian, dan atribut frekuensi yang baru lalu dihitung dan demikian seterusnya.

3. Atribut Filter Slice

Set ketiga dari atribut terdiri dari narrow band filter slices dari tras seismik. Enam slices yang digunakan adalah sebagai berikut: 5/10 – 15/20 Hz, 15/20 – 25/30 Hz, 25/30 – 35/40 Hz, 35/40 – 45/50 Hz, 45/50 – 55/60 Hz, 55/60 – 65/70 Hz

4. Derivative Attributes

Set keempat dari atribut didasarkan pada turunan pertama atau kedua dari tras seismic ataupun amplitudo envelopnya (atau amplitudo sesaat). Turunan tersebut dihitung melalui cara berikut, dimana s_i = sampel tras seismic atau amplitudo envelope ke i , $d1_i$ = turunan pertama dari i , $d2_i$ = turunan kedua dari i dan Δt = interval sampling:

$$d1_i = \frac{s_i - s_{i-1}}{\Delta t} \quad (2.9)$$

$$d2_i = \frac{d1_i - d1_{i-1}}{\Delta t} = \frac{s_i - 2s_{i-1} - s_{i-2}}{\Delta t^2} \quad (2.10)$$

5. Integrated Attributes

Jenis kelima dari atribut yang terdapat pada EMERGE didasarkan pada integrasi dari tras seismic atau kuat refleksi. Nilai integrasi dihitung dengan cara berikut :

$$I_i = s_i + I_{i-1} \quad (2.11)$$

s_i = sampel ke- i dari tras seismic atau nilai kuat refleksinya, I_i = nilai integrasi. Perlu dicatat bahwa ini merupakan penjumlahan berjalan (running sum).

Pada akhir dari penjumlahan berjalan, integrasi dari seismic difilter dengan menggunakan 50 titik, sehingga dihasilkan tras seismic dengan frekuensi rendah.

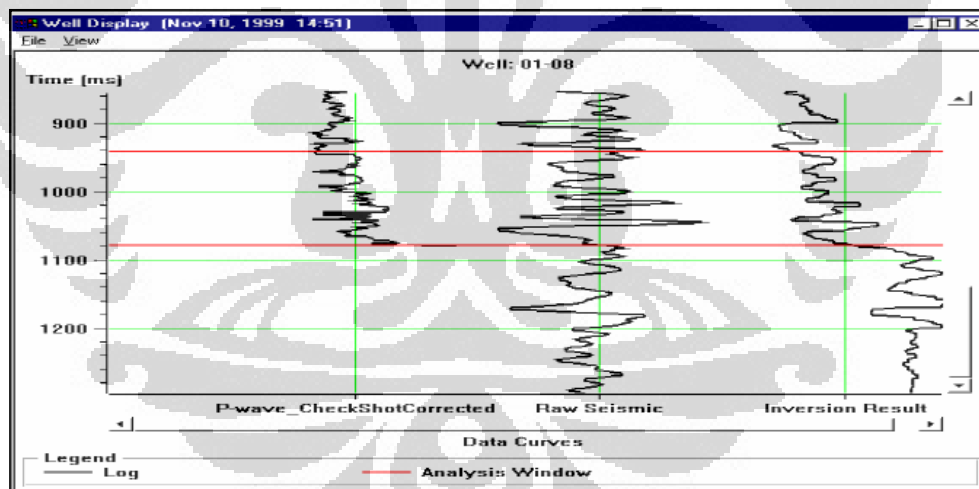
Integrasi dari kuat refleksi dinormalisasi dengan membagi hasil integrasinya dengan perbedaan antara sampel minimum dan maksimum dari keseluruhan sampel.

6. Atribut Waktu (Time Attributes)

Atribut terakhir dari EMERGE adalah atribut waktu. Atribut ini sangat sederhana, ia merupakan nilai waktu dari tras seismik, sehingga membentuk sebuah fungsi “ramp” yang dapat menambah sebuah trend dalam menghitung parameter reservoir Perangkat lunak EMERGE lalu mencari hubungan antara properti log dan kombinasi atribut dari tras seismik pada interval target.

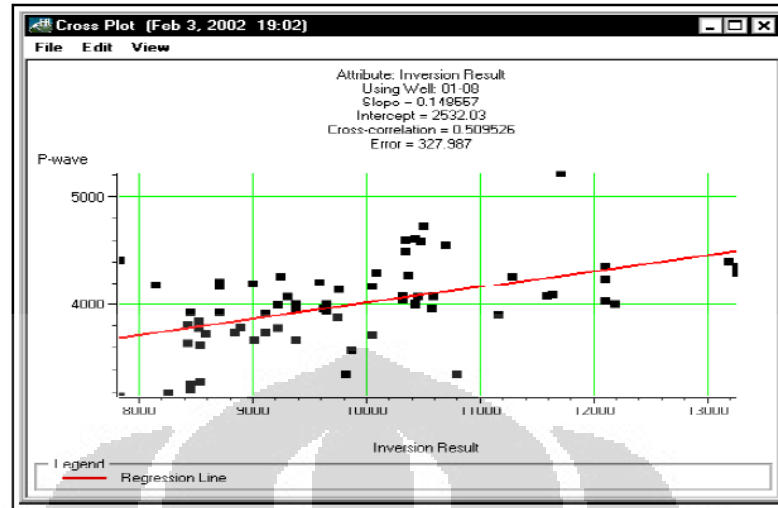
2.2.2 Cross-Plot

Salah satu cara untuk mengukur korelasi antara data target dan atribut adalah dengan melakukan kros plot antara keduanya.



Gambar 2.6 Display target log, tras seismik, dan eksternal atribut (Russell,2006)

Gambar berikut menunjukkan target (P-wave) sebagai sumbu vertikal yang di kros plotkan dengan suatu atribut tertentu. Dalam hal ini hasil inversi.



Gambar 2.7 Conventional Cross-plot Antara Log Target dan Atribut Seismik (Russell,2006)

Hubungan linier antara log target dan atribut ditunjukkan oleh sebuah garis lurus yang memenuhi persamaan:

$$y = a + b * x \quad (2.12)$$

Koefisien a dan b pada persamaan ini diperoleh dengan meminimalisasikan mean-square prediction error :

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - a - b * x_i)^2 \quad (2.13)$$

dimana penjumlahan dilakukan pada setiap titik di cross-plot. Dengan mengaplikasikan garis regresi tersebut kita dapat memberikan prediksi untuk atribut target.

Lalu dihitung kovariansi yang didefinisikan dalam persamaan:

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)(y_i - m_y) \quad (2.14)$$

Dimana mean nya adalah:

$$m_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.15)$$

$$m_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (2.16)$$

Nilai Kovariansi yang sudah dinormalisasi adalah:

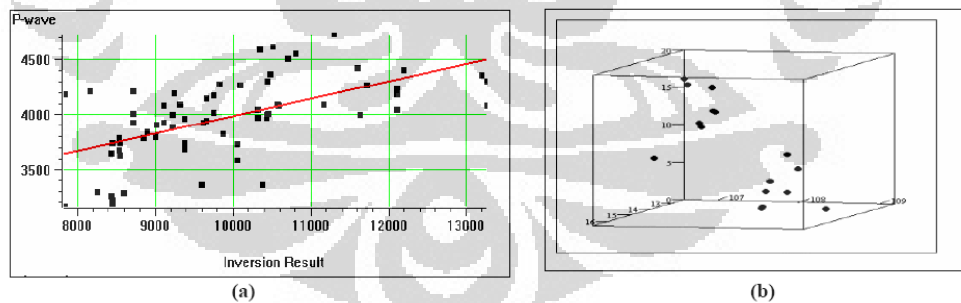
$$\rho = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \quad (2.17)$$

Nilai ini merupakan prediksi error, yaitu hasil pengukuran kecocokan untuk garis regresi. Prediksi error ini merupakan perbedaan RMS antara target log sebenarnya dan target log prediksi.

Nilai korelasi terkadang dapat diperbaiki dengan mengaplikasikan transform non-linear untuk variabel target, variabel atribut, ataupun keduanya.

2.2.3 Regresi Linear Multi-Atribut

Pengembangan dari Cross-plot konvensional adalah dengan menggunakan *multiple-attribute*

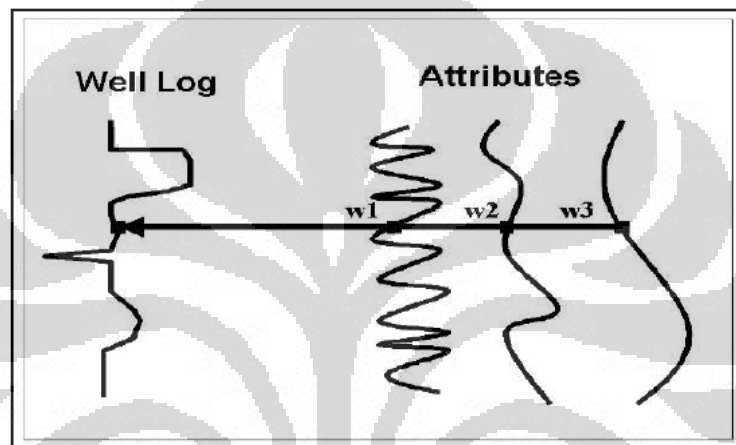


Gambar 2.8 Ilustrasi Cross-plot dengan menggunakan (a) satu atribut dan (b) dua atribut (Russell, 2006)

Dalam metoda ini, tujuan kita adalah untuk mencari sebuah operator, yang dapat memprediksi log sumur dari data seismik didekatnya. Pada kenyataannya, kita menganalisa data atributseismik dan bukan data seismik itu sendiri. Salah satu

alasan kenapa kita melakukan hal ini karena menggunakan data atribut seismik lebih menguntungkan dari pada data seismik itu sendiri, banyak dari atribut ini bersifat non linier, sehingga mampu meningkatkan kemampuan prediksi.

Pengembangan (extension) analisa linier konvensional terhadap multiple atribut (regresi linier multivariat) dilakukan secara langsung. Sebagai penyederhanaan, kita mempunyai tiga atribut seperti yang terlihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.9 Contoh kasus tiga atribut seismik, tiap sampel log target dimodelkan sebagai kombinasi linier dari sampel atribut pada interval waktu yang sama (Russell, 2006)

Pada tiap sampel waktu, log target dimodelkan oleh persamaan linier :

$$L(t) = w_0 + w_1 A_1(t) + w_2 A_2(t) + w_3 A_3(t) \quad (2.18)$$

Pembobotan (weights) pada persamaan ini dihasilkan dengan meminimalisasi mean-squared prediction error

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (L_i - w_0 - w_1 A_{1i} - w_2 A_{2i} - w_3 A_{3i})^2 \quad (2.19)$$

Solusi untuk empat pembobotan menghasilkan persamaan normal standar

$$\begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \sum A_{1i} & \sum A_{2i} & \sum A_{3i} \\ \sum A_{1i} & \sum A_{1i}^2 & \sum A_{1i} A_{2i} & \sum A_{1i} A_{3i} \\ \sum A_{2i} & \sum A_{1i} A_{2i} & \sum A_{2i}^2 & \sum A_{2i} A_{3i} \\ \sum A_{3i} & \sum A_{1i} A_{3i} & \sum A_{2i} A_{3i} & \sum A_{3i}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum L_i \\ \sum A_{1i} L_i \\ \sum A_{2i} L_i \\ \sum A_{3i} L_i \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Seperti pada kasus atribut tunggal, mean-squared error (2.13) yang dihitung menggunakan pembobotan, merupakan pengukuran kesesuaian untuk transformasi tersebut, dimana sekarang koordinat x merupakan nilai log yang diprediksi dan koordinat y merupakan nilai real dari data log.

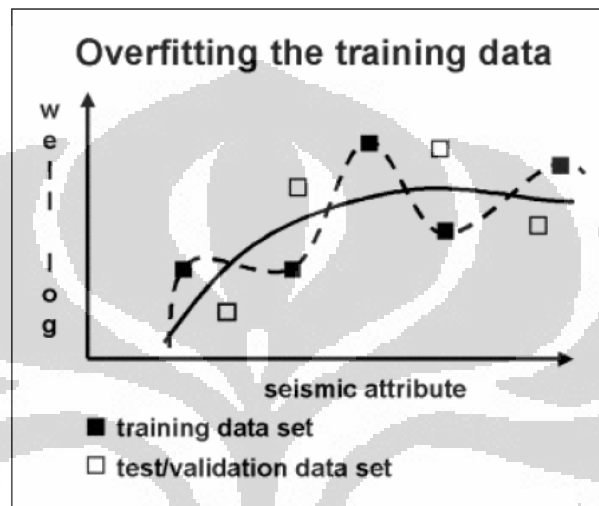
Lalu bagaimana caranya memilih kombinasi atribut yang paling baik untuk memprediksi log target? Dilakukan sebuah proses yang dinamakan *step-wise regression*:

1. Dicari atribut tunggal pertama yang paling baik dengan menggunakan *trial and error*. Untuk setiap atribut yang terdapat pada software dihitung error prediksinya. Atribut terbaik adalah atribut yang memberikan error prediksi terendah. Atribut ini selanjutnya akan disebut atribut-a.
2. Dicari pasangan atribut yang paling baik dengan mengasumsikan anggota pasangan yang pertama adalah atribut-a. Pasangan yang paling baik adalah pasangan yang memberikan error paling kecil. Atribut ini selanjutnya akan disebut atribut-b.
3. Dicari tiga buah atribut yang berpasangan paling baik, dengan mengasumsikan dua buah anggota yang pertama atribut-a dan atribut-b. Tiga buah atribut yang paling baik adalah yang memberikan error prediksi paling kecil. Prediksi ini berlangsung terus sebanyak yang diinginkan. Error prediksi, E_n , untuk n atribut selalu lebih kecil atau sama dengan E_{n-1} untuk $n-1$ atribut, tidak peduli atribut mana yang digunakan.

2.2.4 Validasi

Pertanyaan selanjutnya yang harus dijawab adalah kapan kita harus berhenti menambahkan jumlah atribut. Bagaimanapun juga transformasi multi-atribut dengan jumlah atribut $N+1$ selalu mempunyai prediksi error lebih kecil atau sama dengan transformasi dengan N atribut. Menambah jumlah atribut, serupa dengan mencari kurva regresi yang cocok untuk sebuah plot data, dengan menggunakan polinomial yang ordenya semakin besar.

Apabila jumlah atribut yang digunakan semakin banyak, maka error prediksi akan semakin berkurang. Masalah yang kemudian timbul adalah, biasanya data yang dihasilkan akan buruk bila diterapkan pada data baru (yang tidak termasuk dalam data training), karena atribut tersebut terlalu dicocokkan dengan data training. Hal ini biasa disebut dengan over-training.



Gambar 2.10 Ilustrasi cross-validasi(Russell, 2006)

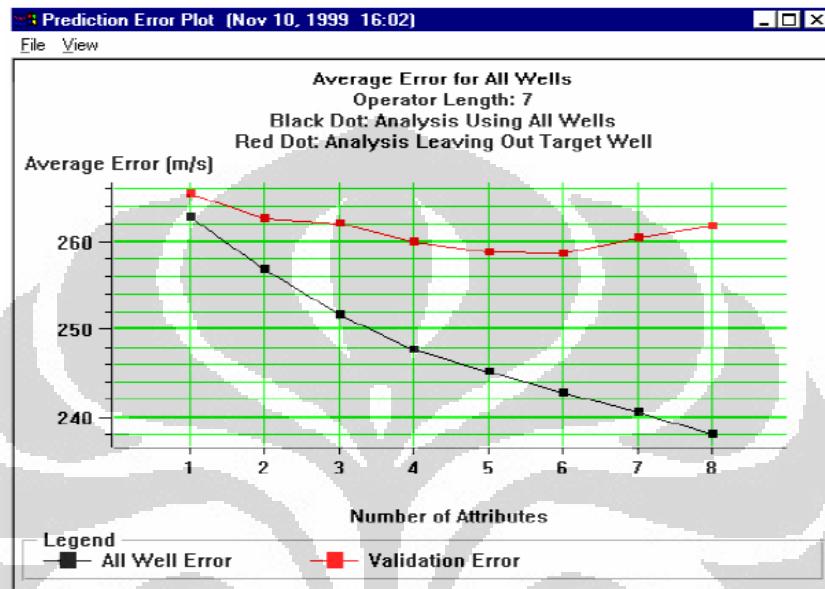
Kedua kurva digunakan untuk mencocokkan data. Kurva putus-putus menunjukkan korelasi yang baik dengan data training. Namun buruk jika kemudian digunakan set data validasi.

Untuk mengukur validitas dari jumlah atribut yang digunakan, dilakukan prosedur sebagai berikut. Misalnya, terdapat tiga buah atribut dan lima buah well. Untuk perhitungan pertama, sumur pertama tidak diikuti. Lalu dihitung koefisien regresinya, tanpa menggunakan data dari sumur pertama. Dengan nilai koefisien yang dihasilkan, lalu dihitung prediksi error dari sumur satu dengan rumus:

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\varphi_i - w_0 - w_1 * I_i - w_2 * E_i - w_3 * F_i)^2 \quad (2.21)$$

Ini adalah error validasi untuk sumur satu. Proses ini kemudian diulang untuk sumur 2, sumur 3, dan sumur 4. Error rata-ratanya dihitung dengan:

$$E_A = \frac{(E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5)}{5} \quad (2.22)$$

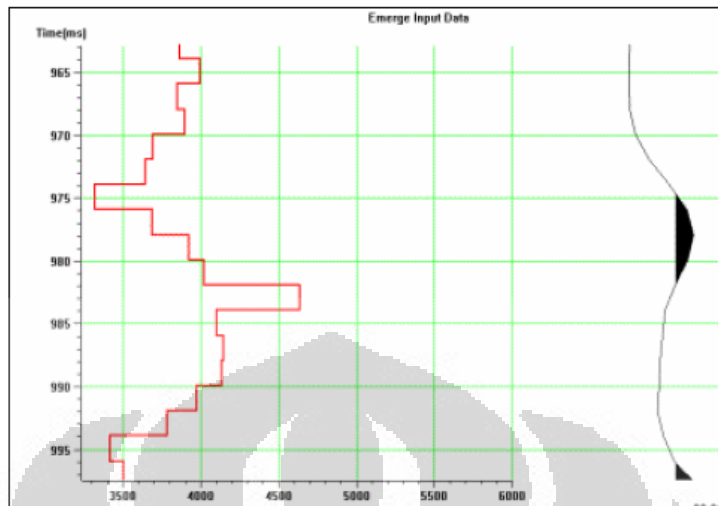


Gambar 2.11 Plot Validation Error dan Prediction Error (Russell, 2006)

Pada gambar di atas, kurva yang berwarna hitam menunjukkan error prediksi yang dihitung dengan menggunakan data training, sedangkan kurva yang merah menunjukkan error validasi dengan tidak mengikutkan satu sumur dalam perhitungannya (data validasi). Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa digunakan lebih dari enam atribut, eror validasinya bertambah besar, yang artinya terjadi “*over-training*”

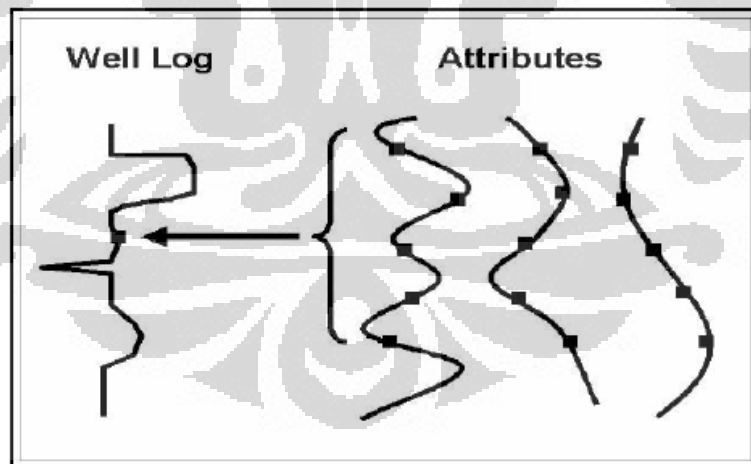
2.2.5 Convolutional Multi-Attribute

Analisa multi-atribut yang telah dijelaskan di atas melakukan korelasi dari setiap sampel target dengan sampel seismik atribut pada titik yang sama. Pendekatan ini sangat terbatas karena tidak mengindahkan kenyataan bahwa terdapat perbedaan kandungan frekuensi antara data seismik dengan data log.



Gambar 2.12 Perbedaan frekuensi antara data seismik dan data log (Russell, 2006)

Alternatif lain untuk menyelesaikan masalah ini yaitu dengan mengasumsikan tiap sampel pada log target berhubungan dengan sejumlah sampel yang berdekatan pada atribut seismik.



Gambar 2.13 Penggunaan 5 titik operator konvolusi untuk menghubungkan atribut seismic dengan log target (Russell, 2006)

Pengembangan persamaan (2.14) dengan melibatkan operator konvolusi adalah :

$$L = w_0 + w_1 * A_1 + w_2 * A_2 + w_3 * A_3 \quad (2.23)$$

dimana * operator konvolusi, dan w_1 adalah operator jarak tertentu. Perlu dicatat jumlah koefisien bertambah menjadi : (jumlah waktu atribut panjang operator) + 1

Koefisien operator dihasilkan dengan meminimalisaskan *mean-squared prediction error* :

$$E^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=j}^N (Li - w_o - w_1 * A_{1i} - w_2 * A_{2i} - w_3 * A_{3i})^2 \quad (2.24)$$

2.3 Tinjauan Umum Well-logging

2.3.1 Log Sinar Gamma (Gamma Ray)

Nilai kurva Log Gamma Ray tergantung dari banyaknya nilai radioaktif yang terkandung dalam suatu formasi batuan. Pada batuan sedimen, batuan yang banyak mengandung unsur radioaktif (K, Th, U) adalah serpih dan lempung. Oleh karena itu, besarnya nilai kurva tergantung dari banyaknya kandungan serpih atau lempung pada batuan.

2.3.2 Log Densitas

Prinsip kerja log ini adalah memancarkan sinar gamma energi menengah ke dalam suatu formasi sehingga akan bertumbukan dengan elektron-elektron yang ada. Tumbukan tersebut akan menyebabkan hilangnya energi sinar gamma yang kemudian dipantulkan dan diterima oleh detektor yang akan diteruskan untuk direkan ke permukaan. Hal ini mencerminkan fungsi dari harga rata-rata kerapatan batuan.

Kegunaan dari Log Densitas yang lain adalah menentukan harga porositas batuan, mendeteksi adanya gas, menentukan densitas batuan dan hidrokarbon serta bersama-sama log neutron dapat digunakan untuk menentukan kandungan lempung dan jenis fluida batuan.

2.3.3 Log Sonik

Log Sonik adalah log yang bekerja berdasarkan kecepatan rambat gelombang suara. Gelombang suara yang dipancarkan ke dalam suatu formasi

kemudian akan dipantulkan kembali dan diterima oleh penerima. Waktu yang dibutuhkan gelombang suara untuk sampai ke penerima disebut *interval transit time*. Besarnya selisih waktu tersebut tergantung pada jenis batuan dan besarnya porositas batuan sehingga log ini bertujuan untuk mengetahui porositas suatu batuan dan selain itu juga dapat digunakan untuk membantu interpretasi data seismik, terutama untuk mengkalibrasi kedalaman formasi. Log ini bertujuan untuk menentukan jenis batuan terutama evaporit. Pada batuan yang sarang maka kerapatannya lebih kecil sehingga kurva log sonik akan mempunyai harga besar seperti pada serpih organik atau lignit. Apabila batuan mempunyai kerapatan yang besar, maka kurva log sonik akan berharga kecil seperti pada batu gamping.



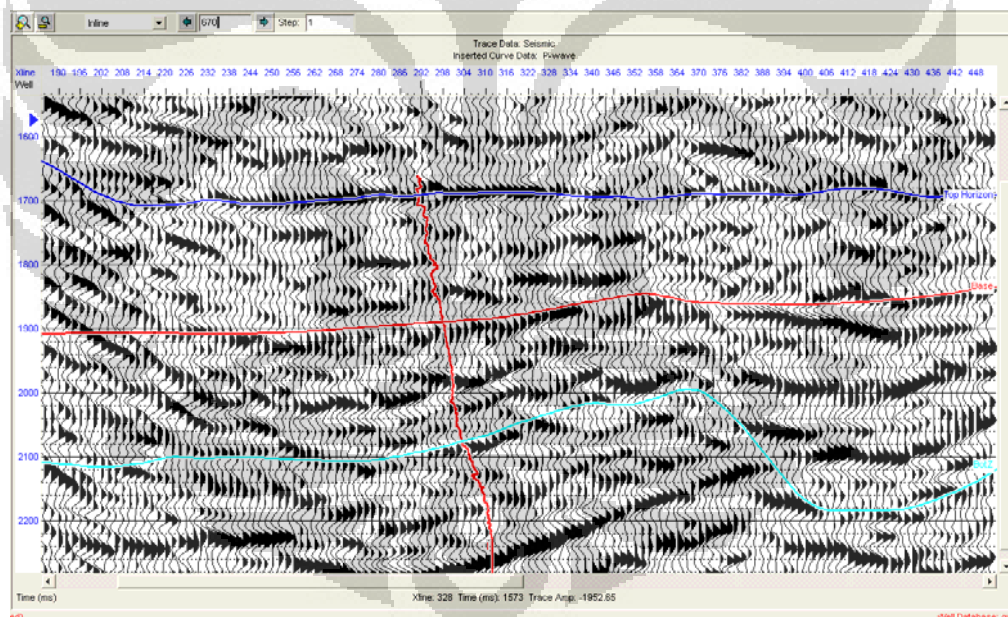
BAB III

DATA DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Data

3.1.1 Data Seismic

Pada penelitian ini data seismik yang digunakan adalah data migrasi poststack 3D (*seismic cube*) yang terdiri dari 374 inline dan 300 xline sebagai input untuk proses multiatribut. Data seismik ini mempunyai interval pencuplikan sampel (*sample rate*) sebesar 4 milidetik, dengan fasa nol dan polaritas normal dalam format SEG-Y. Hal ini ditentukan berdasarkan koefisien refleksi pada batas antara lapisan dalam data sumur, dimana kenaikan pada impedansi akustik ditunjukkan sebagai puncak (*peak*) pada seismik.



Gambar 3.1 Data Seismik pada inline 670, sumur I

3.1.2 Data Sumur

Pada daerah penelitian terdapat 16 buah sumur yaitu A sampai dengan O yang digunakan dalam proses pengikatan antara data sumur dan data seismik. Masing-masing sumur dilengkapi data log sonic, log densitas, log gamma ray dan log lainnya. Log sonic dan densitas digunakan untuk pengikatan sumur dengan

seismik menghasilkan trace seismik sintetik, sedangkan log gamma ray digunakan pada proses analisa multiatribut untuk mendapatkan pseudo gamma ray, beberapa data log gamma ray merupakan data yang cukup bagus dan beberapa yang lainnya kurang begitu baik.

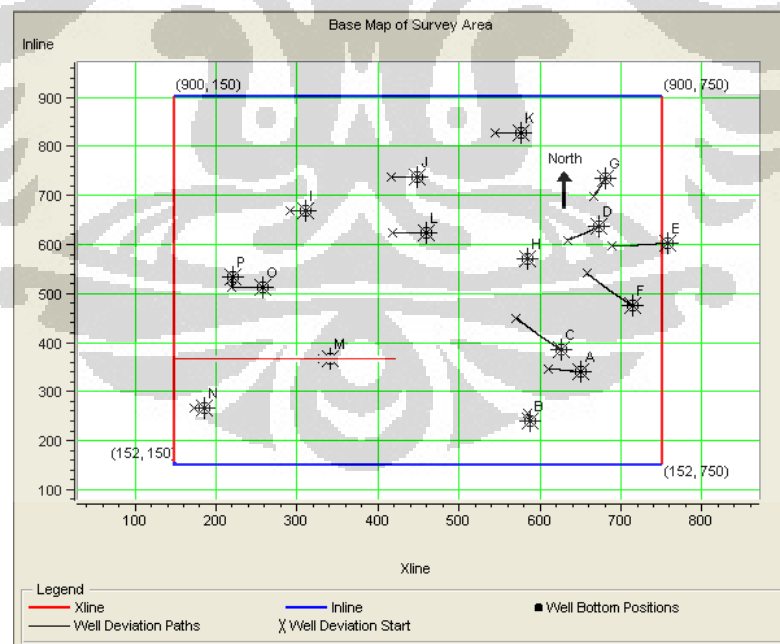
3.1.3 Data checkshot

Kegunaan utama data checkshot adalah untuk mendapatkan *Time-Depth Curve* yang kemudian dimanfaatkan lebih lanjut untuk pengikatan data seismik dan sumur, perhitungan kecepatan interval dan kecepatan rata-rata.

Dari 16 buah sumur yang digunakan, semua sumur memiliki data checkshot yang cukup baik.

3.1.4 Base Map

Base map atau peta dasar merupakan suatu penampang x,y yang menunjukkan kerangka survei seismik daerah penelitian. Pada peta dasar ini juga ditunjukkan skala peta dan posisi sumur-sumur pada lintasan seismik.



Gambar 3.2 Peta dasar daerah Penelitian

3.2 Pengolahan data

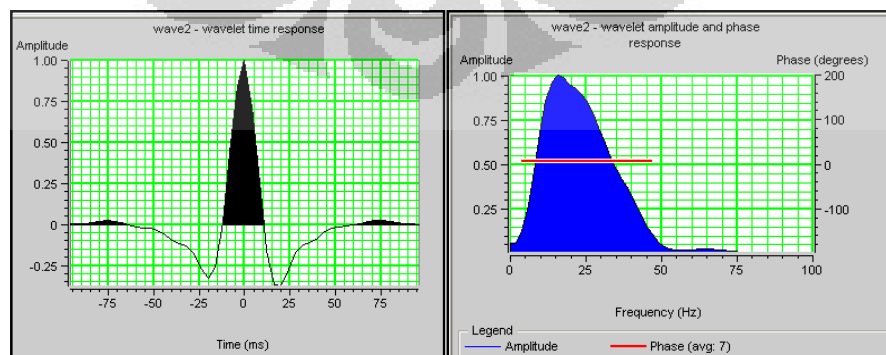
Tahapan yang disusun untuk pengolahan data pada penelitian ini tergambar pada diagram alur metodologi penelitian pada BAB I.

3.2.1 Picking Horizon

Terdapat 3 horizon yang digunakan (Gambar 3.1), yaitu Top Horizon, Base dan BotZ, horizon merupakan batas antar perlapisan yang ditunjukkan biasanya dengan kemenerusan atau kontinuitas (puncak/lembah) pada data seismic. Diantara ketiga horizon ini terdapat beberapa horizon lainnya, penulis sengaja tidak menggunakannya agar bisa menjadi bahan analisis pada hasil akhir.

3.2.2 Well-seismic Tie

Proses ekstraksi *wavelet* dapat dilakukan dengan beberapa metoda. Pertama, dengan menggunakan cara statistik, yaitu dengan mengekstraksi *wavelet* dari *cube* data seismic disekitar zona target. Kedua, menggunakan data sumur, dimana *wavelet* diekstraksi disekitar lokasi sumur. Ketiga, dengan membuat *wavelet* Ricker. Sumur dikonversi dari kedalaman menjadi fungsi waktu dengan menggunakan data checkshot. Pada penelitian ini dipilih *wavelet statistical*. *Wavelet* ini dipilih karena menghasilkan korelasi yang paling tinggi pada saat melakukan *well seismic tie*. *wavelet statistical* yang digunakan mempunyai frekuensi dominan sekitar 20 Hz dan fasanya nol dengan panjang gelombang 200 ms.



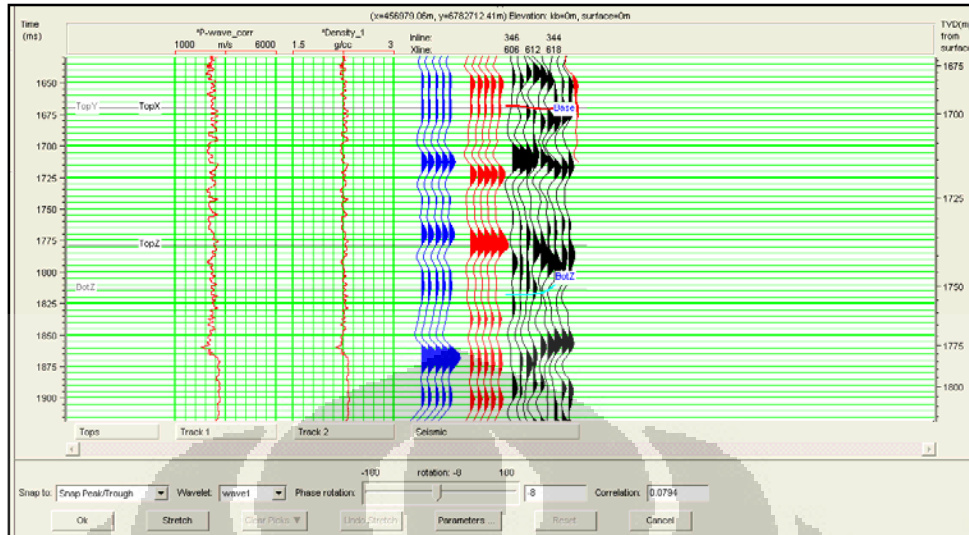
Gambar 3.3 Wavelet ststistical

Tabel 3.1 Nilai koefisien korelasi sintetik-seismik pada tiap sumur

	A	B	C	D	E	F	G
Well	0.6321	0.4434	0.4531	0.4231	0.5428	0.4576	0.5412
Ricker	0.7521	0.4341	0.8129	0.6621	0.6217	0.5429	0.5287
Statistik	0.8392	0.6863	0.8861	0.7972	0.8842	0.7216	0.6715

H	I	J	K	L	M	N	O	P
0.3267	0.6321	0.4434	0.4531	0.4231	0.5428	0.5576	0.5412	0.5362
0.4121	0.7521	0.5341	0.8129	0.6621	0.6217	0.7429	0.5287	0.6556
0.6978	0.8392	0.7163	0.8861	0.7972	0.7842	0.9216	0.9863	0.8362

Wavelet kemudian dikonvolusikan dengan koefisien refleksi untuk membuat seismogram sintetik yang akan digunakan dalam proses *well seismic tie* (Gambar 3.5). Sebelum melakukan proses *well seismic tie* ini, data sumur (sonik) terlebih dahulu dikonversi dari domain kedalaman menjadi domain waktu dengan menggunakan data checkshot. Proses *well seismic tie* pada dasarnya banya dipengaruhi oleh proses *bulkshifting* ataupun *stretch/squeeze* dengan toleransi pergeseran sekitar 10 ms. Batas pergeseran tersebut perlu diperhatikan karena jika melebihi 10 ms akan menyebabkan data sumur mengalami *shifting*. Hal ini akan berpengaruh pada saat penentuan nilai fasa dari data sumur tersebut, dimana nilai fasanya akan mengalami pergeseran dari nilai fasa sebenarnya.



Gambar 3.4 Proses *Well to Seismic Tie* Pada Sumur O

3.2.3 Seismik Inversi

Inversi seismik juga disebutkan sebagai proses ekstraksi sifat fisika geologi bawah permukaan dari data seismik (Hampson & Russell, 2005). Tujuan dasar dari inversi seismik adalah melakukan transformasi data seismik refleksi menjadi nilai kuantitatif sifat fisik serta deskripsi reservoir. Sebelum melakukan proses inversi terlebih dahulu dibuat model inisial dengan menggunakan data sumur, *wavelet*, dan horizon yang ada.

Adapun parameter yang menjadi masukan pada penelitian ini adalah sumur sejumlah 16 sumur (A-P) dan sedangkan horizon yang digunakan berjumlah sebanyak 3 horizon, yaitu : Top Horizon, Base dan BotZ.

3.2.3.1 Inversi *Bandlimited*

Pada inversi ini, yang menjadi parameter masukan yang cukup penting adalah *high-cut constraint*. Parameter ini digunakan untuk mengganti frekuensi yang rendah yang hilang pada seismik. Semua frekuensi yang bernilai di atas nilai frekuensi masukan akan dihilangkan dari model inisial dan semua frekuensi yang berada di bawah nilai frekuensi akan dihilangkan dari tras seismik yang telah diinversi secara rekursif. Kemudian kedua data ini digabungkan untuk memperoleh hasil akhir. Parameter masukan secara lengkap untuk metode inversi

bandlimited yang digunakan pada penelitian ini adalah *window* yaitu dari 1397 ms sampai dengan 2301 ms, dan menggunakan *maximum constraint frequency* sebesar 10 Hz.

3.2.3.2 Inversi Model Based

Metode inversi *modelbased* ini terbagi menjadi dua metode yaitu metode *constrained* dan *stochastic*. Pada metode *constrained*, ditentukan sejauh apa impedansi dari hasil inversi dapat berubah dari model inisialnya (ditentukan batas atau constrain-nya). Sedangkan pada metode *stochastic* tidak ditentukan sejauh apa impedansi dari hasil inversi dapat berubah dari model inisialnya. Pada penelitian ini, yang dilakukan adalah metode *model based constrained* dengan parameter yaitu *window* yang dibatasi mulai dari 1397 ms sampai dengan 2301 ms, dengan *constrained* sebesar : *lower 25%* dan *upper 25%*, menggunakan *average block size* sebesar 4 ms serta melakukan iterasi sebanyak 20 kali.

Constrained dipilih 25 % yang artinya batas bawah dan batas atas dari model inisial bisa berubah sebesar 25% dalam mendapatkan model hasil inversinya. *Average block size* yang dipilih adalah 4 ms sesuai dengan *sampling* dari seismiknya. Iterasi yang dipilih adalah 20 kali iterasi untuk mendapatkan model final.

3.2.3.3 Inversi Sparse spike

Metode inversi *sparse-spike* juga dibagi menjadi dua teknik, yaitu *sparse-spike linear programming* dan *sparse-spike maximum likelihood*. Inversi *sparse-spike* yang pertama didasarkan pada algoritma *linear programming* yang bertujuan untuk memperbaiki model impedansi akustik dengan reflektivitas "jarang" dengan meminimalkan error antara tras model dengan tras seismik. Sedangkan inversi *sparse-spike maximum likelihood* berdasarkan pada algoritma dekonvolusi *maximum likelihood*. Untuk setiap tras, sekuen reflektivitas diestimasi dengan cara menambahkan koefisien refleksi satu per satu hingga hasil yang optimal diperoleh. Reflektivitas broadband kemudian diperbaiki secara gradual hingga hasil tras sintetik sesuai dengan *trace riil*. Untuk kedua metode ini

diasumsikan bahwa *wavelet* pada data seismik diketahui yaitu *current wavelet*. Pada penelitian ini dilakukan inversi *sparse-spike linear programming* dan inversi *sparse-spike maximum likelihood* dengan parameter sebagai berikut:

- **inversi sparse-spike linear programming**

Detail Analisis Window	: Top Horizon - BotZ+50ms
Sparseness	: 100%
Constraint Frequency	: 10 Hz
Window Length	: 128
Output Impedance	: full spectrum impedance

- **inversi sparse-spike maximum likelihood**

Detail Analisis Window	: Top Horizon – BotZ+50ms
Maximum impedance change	: lower 25% dan upper 25%
Iterasi	: 20
Maximum number of spike	: 227
Spike detection treshold	: 15%

Parameter *maximum number of spike* membatasi jumlah *spike* maksimum pada setiap tras seismik, sedangkan parameter *spike detection threshold* merupakan pengontrol amplitudo *spike* tersebut. Pada saat setiap *spike* ditambahkan, amplitudo *spike* tersebut dibandingkan dengan nilai rata-rata *amplitude spike* yang ada. Jika nilai *amplitude spike* yang baru kurang dari nilai rata-rata *amplitude* yang telah ditentukan, maka penambahan *spike* dihentikan. Pada inversi *sparse-spike maximum likelihood* dipilih *maximum impedance change* sebesar 25%. Iterasi yang dilakukan 20 kali.

3.3 Analisa single dan multi-atribut

Dalam melakukan analisa atribut seismik, sumur yang digunakan dikurangi atau tidak menggunakan semua sumur yang ada, pemilihan sumur-sumur tertentu ini dikarenakan kombinasi dari sumur-sumur terpilih tersebut menghasilkan nilai error terendah, dan jika dipaksakan untuk menggunakan semua sumur maka akan memperbesar kesalahan atau error. Adapun sumur-sumur

yang digunakan adalah sebanyak 10 sumur, yaitu sumur A, C, E, F, I, K, N, M, O dan P.

3.3.1 Single-Atribut

Setelah dilakukan pengikatan data sumur dengan data seismik (*well-seismic tie*) dan pembuatan initial model serta model-model lainnya yang merupakan gambaran penyebaran impedansi akustik (*P-impedance*) yang akan digunakan sebagai eksternal atribut, maka langkah selanjutnya adalah membuat daftar atribut yang akan digunakan (*Create Single Attribute List*), lalu bisa diambil atribut terbaik yang bisa digunakan menjadi atribut dalam proses pembuatan pseudo gamma ray, dalam hal ini atribut yang terbaik adalah (*LP-Sparse Spike*)**2 yang memiliki persentase error terkecil diantara atribut lainnya yaitu sebesar 20.05API dan tingkat korelasi sebesar 0.33.

Tabel 3.2 Daftar single atribut

Single Attribute Correlation Results			
Target	Attribute	Error	Correlation
Gamma Ray	(LP-Sparse_Spike)**2	20.058683	0.328911
Sqrt(Gamma Ray)	(LP-Sparse_Spike)**2	20.068174	0.285733
Log(Gamma Ray)	(LP-Sparse_Spike)**2	20.226812	0.237352
Gamma Ray	LP-Sparse_Spike	20.316572	0.291725
Sqrt(Gamma Ray)	LP-Sparse_Spike	20.341839	0.250653
Gamma Ray	Sqrt(LP-Sparse_Spike)	20.427376	0.274038
Sqrt(Gamma Ray)	Sqrt(LP-Sparse_Spike)	20.459414	0.234090
(Gamma Ray)**2	(LP-Sparse_Spike)**2	20.473413	0.396208
Log(Gamma Ray)	LP-Sparse_Spike	20.509985	0.204737
Gamma Ray	Log(LP-Sparse_Spike)	20.525339	0.257302
Sqrt(Gamma Ray)	Log(LP-Sparse_Spike)	20.562683	0.218503
Log(Gamma Ray)	Sqrt(LP-Sparse_Spike)	20.628641	0.189472
Gamma Ray	(Bandlimited)**2	20.664890	0.231262

There are 225 samples.

3.3.2 Multi-Atribut

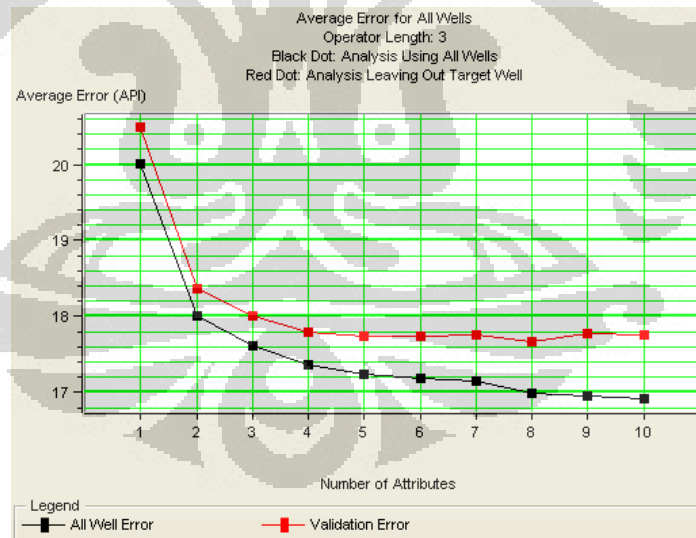
Langkah-langkah awal yang sama dengan proses single atribut diatas harus dilakukan terlebih dahulu, hanya saja pada proses multi-atribut analisis ini ada proses yang berbeda yang harus dilakukan, yaitu mencari beberapa jumlah atribut

yang terbaik yang akan digunakan, tentu saja yang menjadi acuan dalam hal ini adalah yang memiliki tingkat error terkecil dan nilai korelasi yang cukup baik.

Tabel 3.3 Daftar multi-atribut

Target	Final Attribute	Training Error	Validation Error
Gamma Ray	(LP-Sparse_Spike)**2	20.012060	20.492625
Gamma Ray	Log(Bandlimited)	18.015562	18.364312
Gamma Ray	Filter 5/10-15/20	17.610031	18.005836
Gamma Ray	Sqrt(ML-Sparse_Spike_Inversion)	17.370774	17.790555
Gamma Ray	Amplitude Envelope	17.243603	17.738596
Gamma Ray	Average Frequency	17.190100	17.743319
Gamma Ray	Quadrature Trace	17.150121	17.749536
Gamma Ray	Integrate	16.993728	17.663121
Gamma Ray	Sqrt(Model_Based)	16.953350	17.771616
Gamma Ray	Filter 15/20-25/30	16.917150	17.759699

There are 10 transforms.



Gambar 3.5 Error plot daftar multiatribut vs nomor atribut

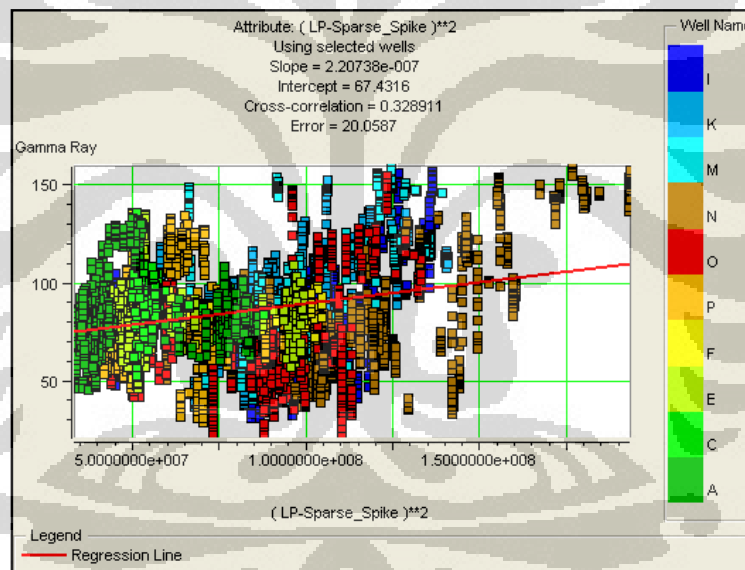
Dari perbandingan pada gambar diatas, dapat terlihat bahwa jumlah atribut yang terbaik yang akan digunakan adalah berjumlah 8 atribut, hal itu terlihat dengan tingkat *validation error* terendah. Dengan menggunakan 8 atribut maka didapat hasil error yaitu sebesar 16.99% dan tingkat korelasi sebesar 0.60. untuk

penentuan pemilihan *operator length* dibahas pada sub judul *volum pseudo gamma ray* dibawah.

3.3.3 *Volum pseudo-gamma ray*

- **Single Atribut**

Pada penelitian ini, didapat dua hasil *pseudo gamma ray*, ini dilakukan untuk melihat perbandingan antara *pseudo gamma ray* yang dibuat dengan menggunakan single atribut dan *pseudo gamma ray* yang dibuat dengan multi atribut. Pada *pseudo gamma ray* hasil dari single atribut, atribut yang digunakan merupakan atribut yang sudah dipilih langsung seperti penjelasan pada analisa single atribut diatas.



Gambar 3.6 Cross plot antara Gamma Ray vs $(LP_Sparse_Spike)**2$

- **Multi-atribut**

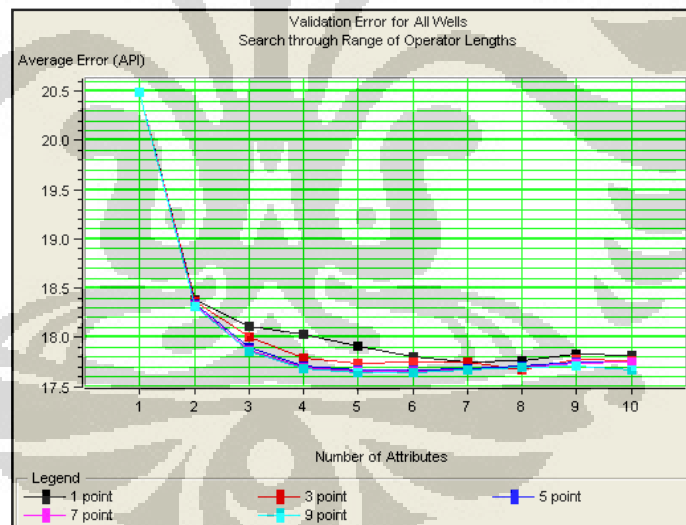
Pada multi atribut, proses untuk mendapatkan *pseudo gamma ray* sedikit lebih rumit dibandingkan dengan single atribut, karena kita harus melakukan beberapa langkah tahapan sebelumnya.

Untuk menentukan kelompok atribut yang akan digunakan untuk membuat gamma ray volum dilakukan training terhadap kelompok multi atribut tersebut. Yang pertama dilakukan adalah memilih *operator length* terbaik. Dengan memilih

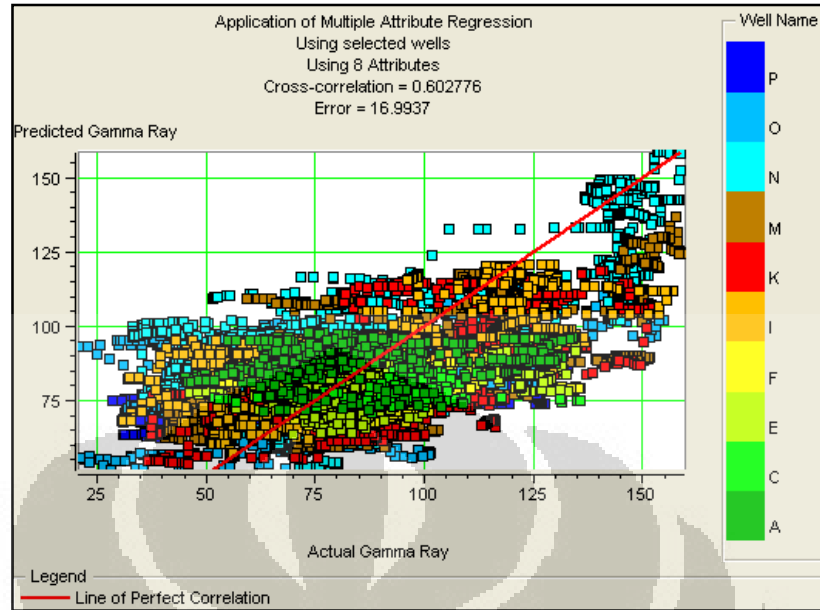
operator length lebih dari satu, maka data sampel yang diikuti sertakan dalam proses multiatribut melibatkan data tetangga sejauh besar *operator length* yang kita pilih tersebut. Besar *operator length* yang digunakan ditentukan dengan melakukan tes *operator length*.

Selanjutnya dilihat berapa banyak atribut yang dapat digunakan sebelum data mengalami *over-training*. Untuk itu, digunakan prediksi error dan validasi error. Prediksi error selalu akan berkurang seiring dengan bertambah banyaknya jumlah atribut yang digunakan. Maka dari itu, digunakan juga validasi error, yaitu error prediksi yang akan didapatkan bila salah satu sumur tidak diikuti sertakan pada proses analisa multi atribut tersebut. Nilai validasi ini menunjukkan tingkat kepercayaan bila hasil analisa diberlakukan ke seluruh volum seismik.

Berikut adalah parameter yang digunakan pada proses pembuatan volum pseudo-gamma ray dengan *3 point operator length* yang merupakan *operator length* terbaik yang digunakan karena memiliki *validation error* terkecil.



Gambar 3.7 Tes Operator Length menunjukkan nilai operator yang paling baik adalah tiga



Gambar 3.8 Cross plot antara *Actual Gamma Ray* vs *Predicted Gamma Ray* dengan menggunakan 8 atribut.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Well-Seismic Tie

Seismogram sintetik untuk ke 16 sumur menunjukkan hasil yang baik. Dapat terlihat terdapat kesesuaian bentuk dan ukuran antara seismogram sintetik dengan *trace seismic riil*. Hal ini diperlihatkan oleh nilai korelasi antara sintetik dengan riil yang cukup tinggi, yaitu memiliki rata-rata sebesar 0.8094

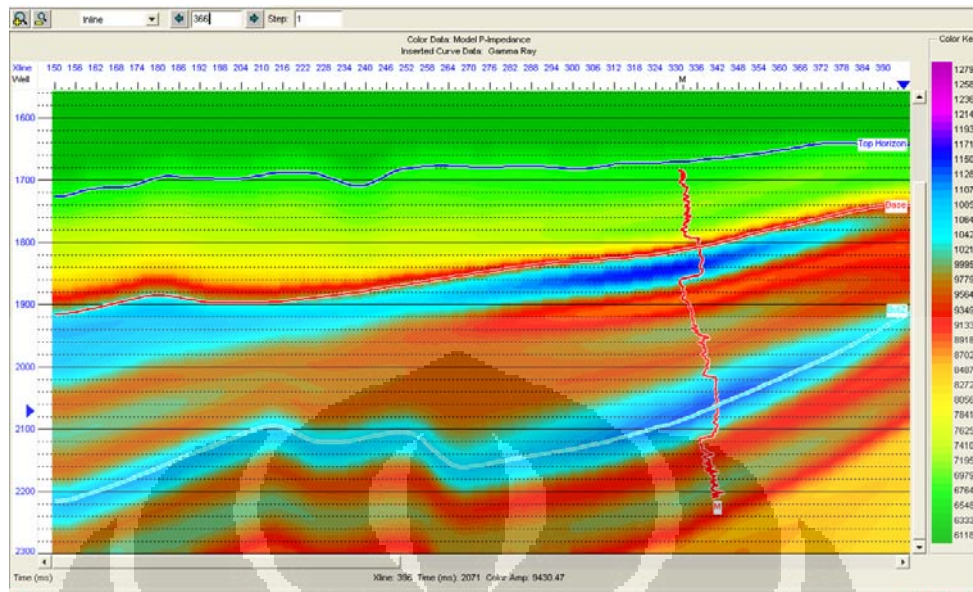
Setelah dilakukan trial and error, *Wavelet* terbaik yang digunakan adalah wavelet statistik dengan *low cut* 5 Hz, *low pass* 20 Hz, *high pass* 40 Hz, dan *high cut* 80 Hz.

Nilai korelasi ini juga dipengaruhi oleh besarnya window yang digunakan untuk proses korelasi tersebut. Adapun window yang digunakan mencakup keseluruhan zona data seismic yaitu sebesar 1397 ms – 2301 ms. Maka sebaiknya window yang digunakan mencakup zona interest agar didapatkan hasil yang baik.

4.2 Analisa Inversi

4.2.1 Analisa Model Inisial

Model inisial dibuat dengan menggunakan penampang seismic 3D, wavelet hasil analisis, dan 16 data sumur sebagai kontrol. Model inisial ini sudah menunjukkan hasil yang cukup baik, karena terlihat dari beberapa horizon yang tidak ditampilkan tetapi cukup dapat menggambarkan perbedaan lithologi perlapisan yang terlihat dari kontras impedansi akustik yang cukup jelas. Dan dengan ekstrapolasi nilai impedansi akustik mengikuti kontrol dari 16 sumur ini. Berikut adalah penampang model inisial pada sumur M.

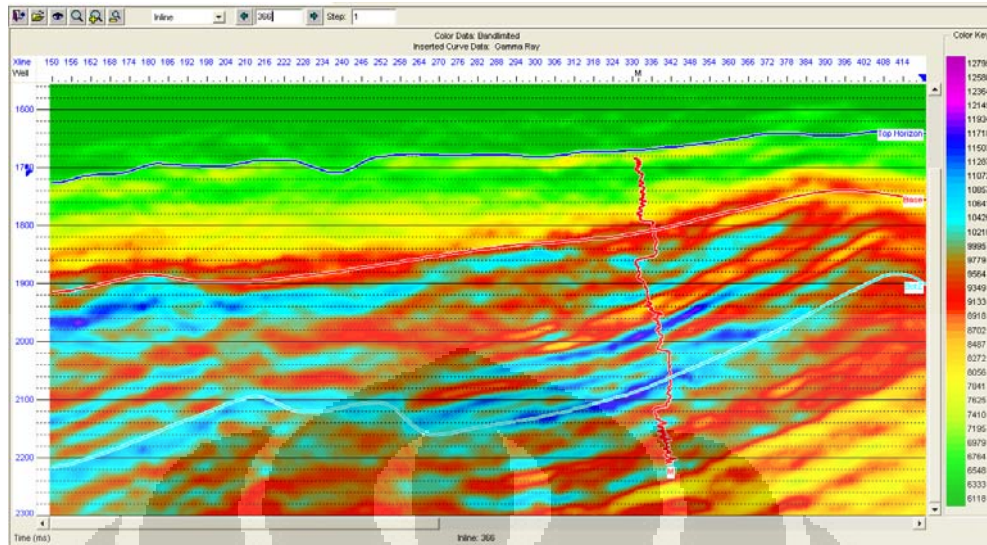


Gambar 4.1 Penampang Model Inisial yang melewati sumur M

4.2.2 Analisa Hasil Inversi

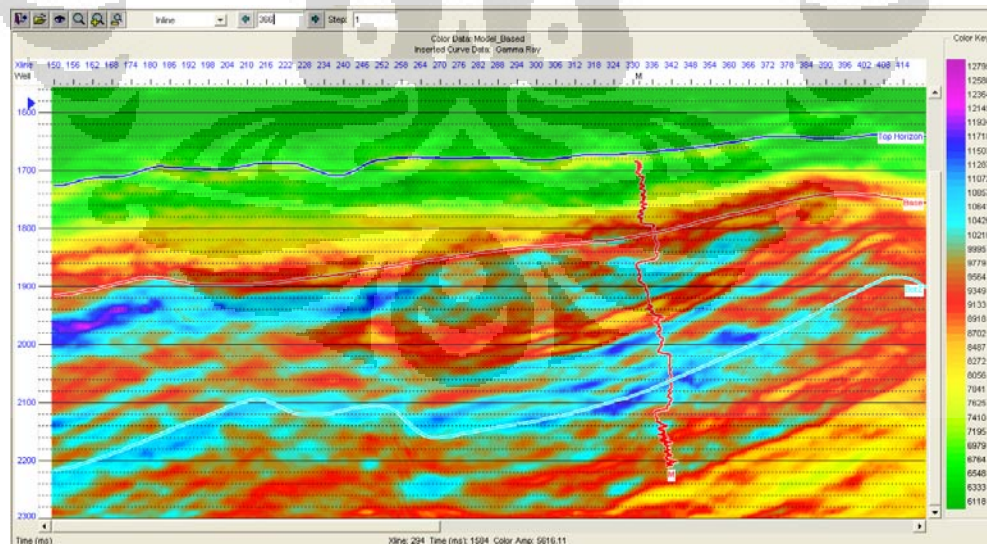
Dari hasil inversi dengan metode *Bandlimited* dan *LP-Sparse Spike*, Secara umum, metode *Bandlimited* dan *LP-Sparse Spike* memberikan kontras impedansi akustik yang lebih baik dibandingkan dengan initial model. Model ini pun cukup baik dalam penggambaran secara lateral, karena kemenerusan perlapisan yang lebih terlihat jelas apabila dibandingkan dengan model dari *Modelbased* maupun *ML-Sparse Spike*.

Gambar di bawah ini menunjukkan penampang inversi hasil *Bandlimited*, *Modelbased* dan *LP* serta *ML-Sparse Spike*.

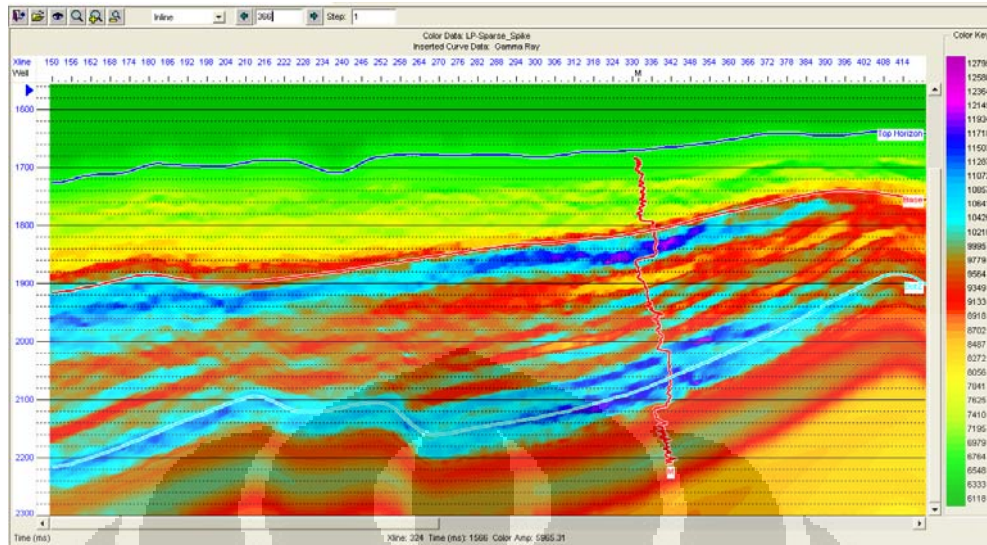


Gambar 4.2 Penampang hasil inversi *bandlimited* yang melewati sumur M

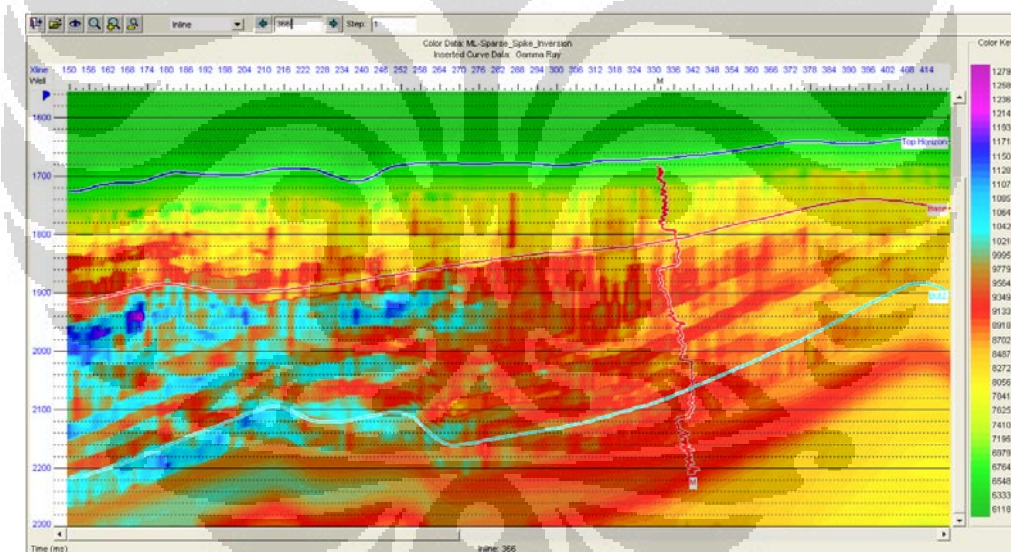
Display yang ditunjukkan *modelbased* dan *ML-Sparse Spike* cukup baik, hanya saja belum bisa menunjukkan display akhir yang lebih baik secara lateral maupun vertikal. Walaupun secara garis besar, hasil inversi ini sudah dapat memisahkan antara zona interest di sekitar data sumur, namun kemenerusan lateralnya kurang baik.



Gambar 4.3 Penampang hasil inversi *modelbased* yang melewati sumur M



Gambar 4.4 Penampang hasil inversi *LP-Sparse Spike* yang melewati sumur M



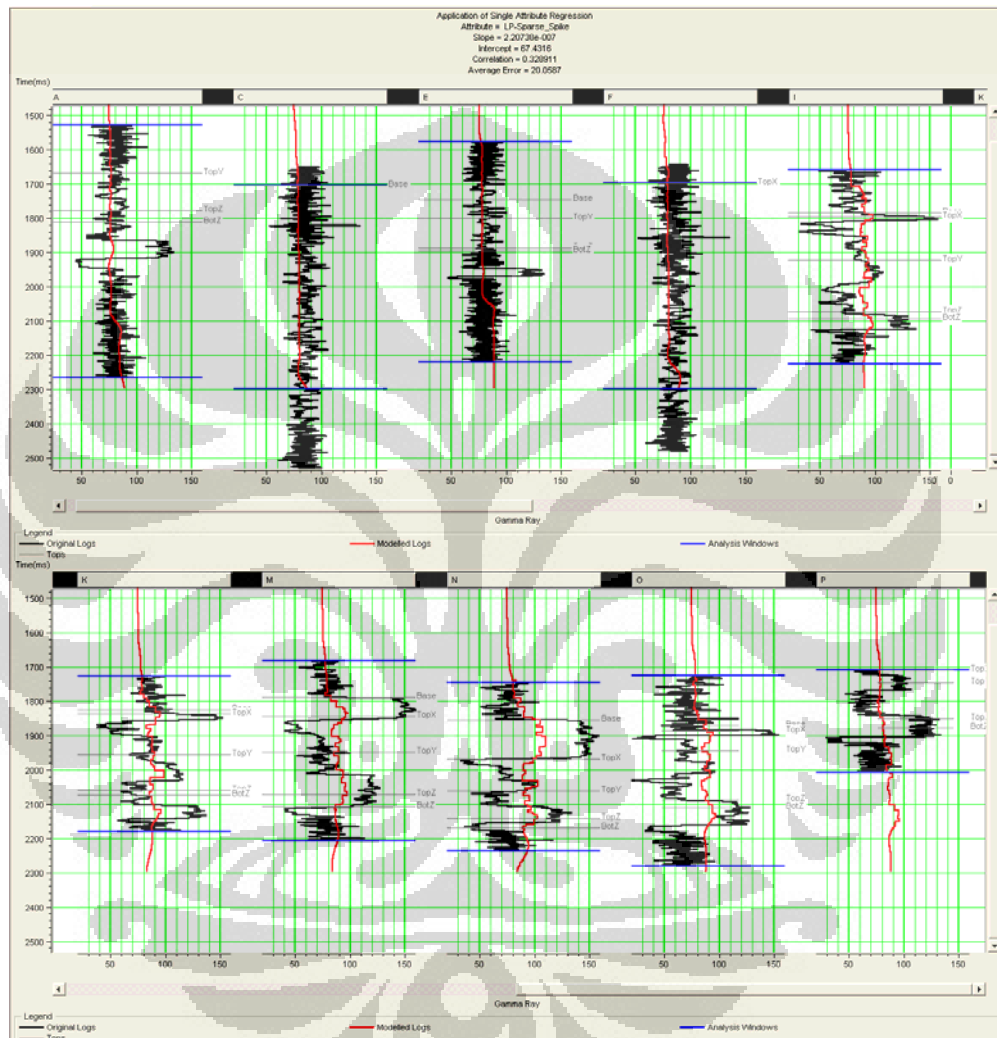
Gambar 4.5 Penampang hasil inversi *ML-Sparse Spike* yang melewati sumur M

4.3.2 Analisa Proses Single dan Multi-Atribut

4.3.2.1 Single Atribut

Dengan korelasi sebesar 0.33 dan tingkat error lebih dari 20%, hasil dari proses single atribut tidak cukup baik, hal itu lebih diperjelas lagi dari hasil training dibawah, terlihat pada sumur A, C, E, F dan P memberikan gambaran

modelled log yang tidak cukup baik karena sangat berbeda dari *original log*, adapun untuk sumur lainnya, walaupun terlihat dari *modelled log* yang memiliki kecenderungan yang sedikit mengikuti *original log*, tetapi tetap saja menggambarkan hasil yang kurang dapat dipercaya.

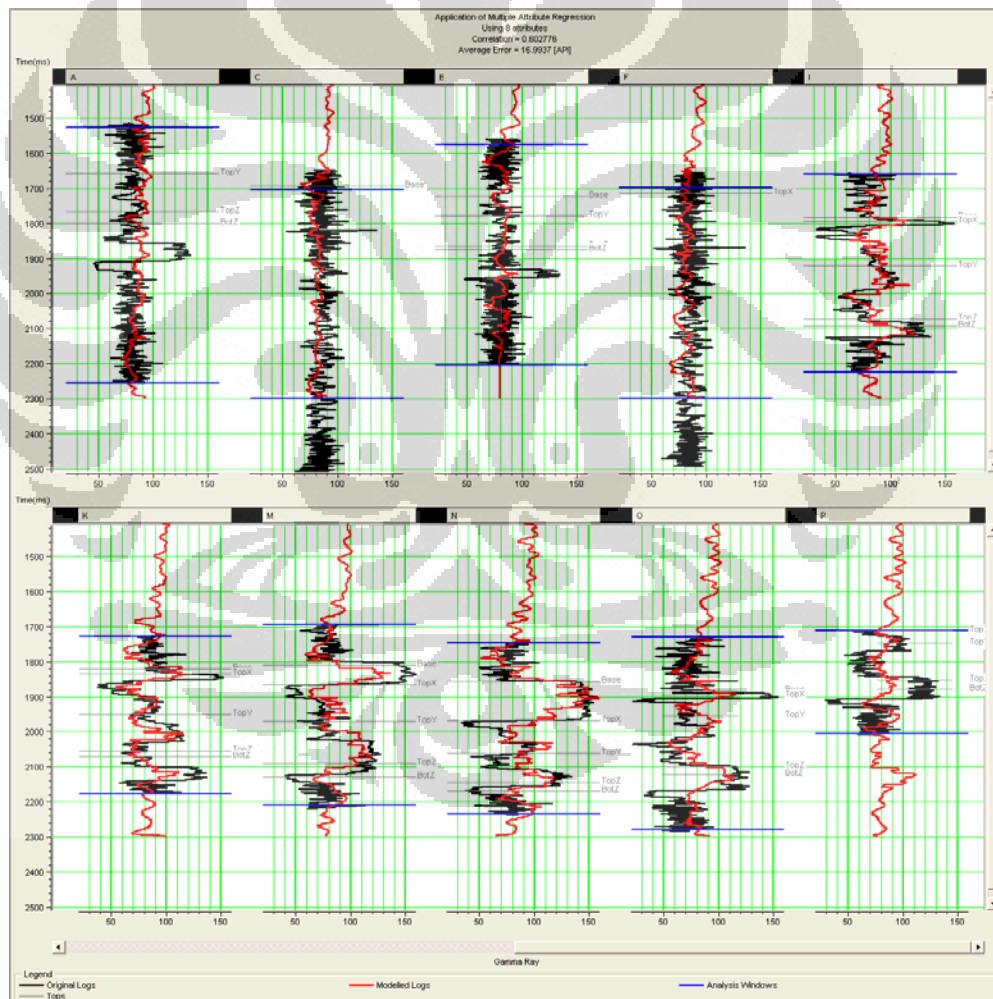


Gambar 4.6 Plot hasil training single atribut

4.3.2.2 Multi-atribut

Hasil dari plot training multi atribut dibawah menunjukkan hasil yang sangat bervariasi dari setiap sumur yang digunakan, pada sumur A dan E terdapat hasil yang kurang baik, karena terlihat pada gambar dibawah (dilingkari) *modelled log* yang dihasilkan kurang mengikuti kecenderungan dari *original log*, sedangkan

pada sumur C dan F data gamma ray yang dimiliki kurang memberikan kecenderungan yang bervariasi, jadi analisa yang dapat diberikan pun terbatas. Berbeda dari itu semua, hasil yang ditunjukkan sumur lainnya (I, K, M, N, O dan P) cukup baik, karena kecenderungan antara *modelled log* dan *original log* relatif sama. Adapun nilai korelasi yang didapat yaitu sebesar 0.60 dan tingkat error sebesar 16.99%, hasil ini merupakan hasil terbaik dan maksimal yang didapat, mengingat hubungan antara gamma ray dan impedansi akustik yang tidak memiliki keterkaitan secara langsung, tidak seperti hubungan antara porositas dengan impedansi akustik.

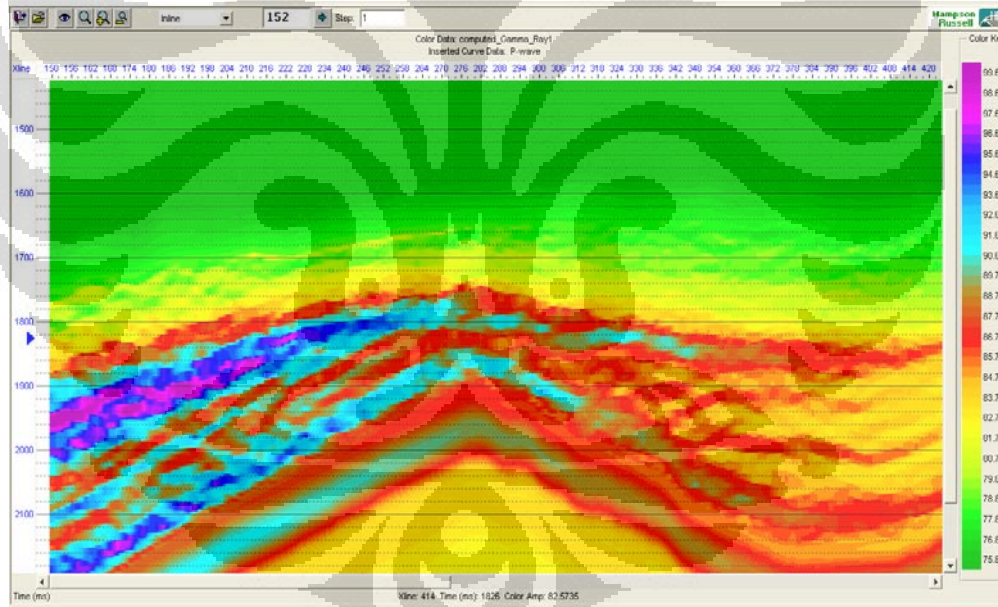


Gambar 4.7 Plot hasil training multiatribut

4.3.2.3. Analisa *volum pseudo gamma ray*

- **Single atribut**

Dengan menggunakan single atribut seismik pilihan terbaik (*LP-Sparse Spike*)*2), maka bisa dilakukan *computed gamma ray* yang hasilnya berupa volum pseudo gamma ray (Gambar 4.8), volum yang dihasilkan memiliki range gamma ray antara 75.0 - 99.6 API, volum hasil penggunaan single atribut ini memiliki kemenerusan lateral yang kurang baik, karena seperti terputus di beberapa bagian, tetapi masih bisa memisahkan bagian yang memiliki nilai gamma ray yang tinggi dalam hal ini bisa diidentifikasi dengan lapisan *shale* yang merupakan lapisan yang tidak permabel, dan juga gamma ray yang relatif rendah atau lapisan *sand* yang permeable, dengan kajian yang lebih jauh mungkin bisa diidentifikasi sebagai reservoir migas.

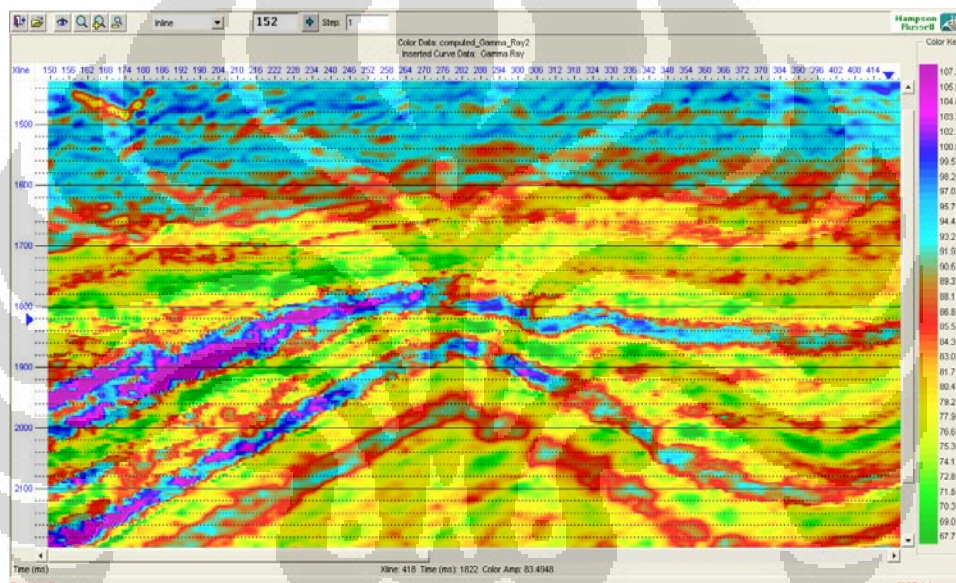


Gambar 4.8 *volum pseudo gamma ray* menggunakan single atribut

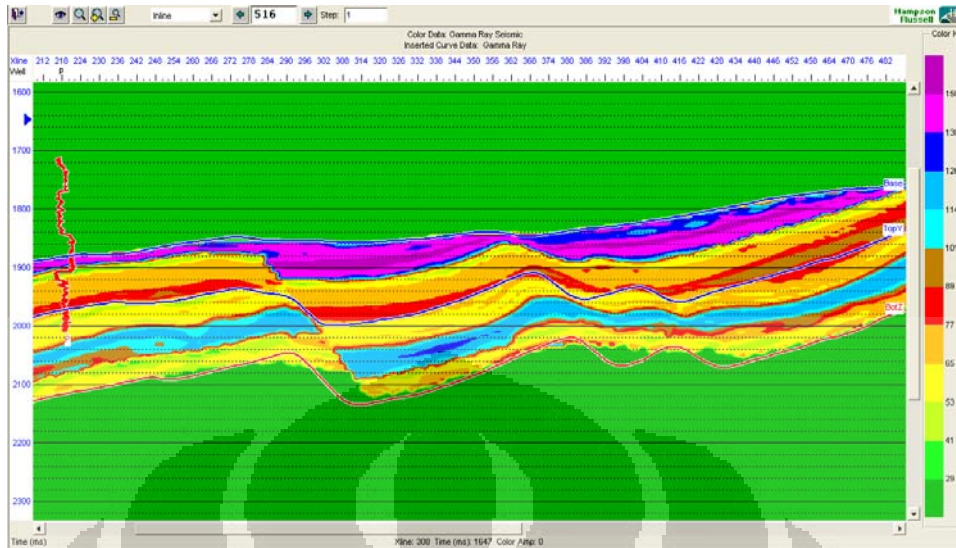
- **Multi atribut**

Jumlah atribut yang digunakan adalah 8 atribut, hasil yang ditampilkan volum gamma ray sangat baik karena apabila dibandingkan dengan volum yang dihasilkan dengan menggunakan single atribut (Gambar 4.8) memberikan

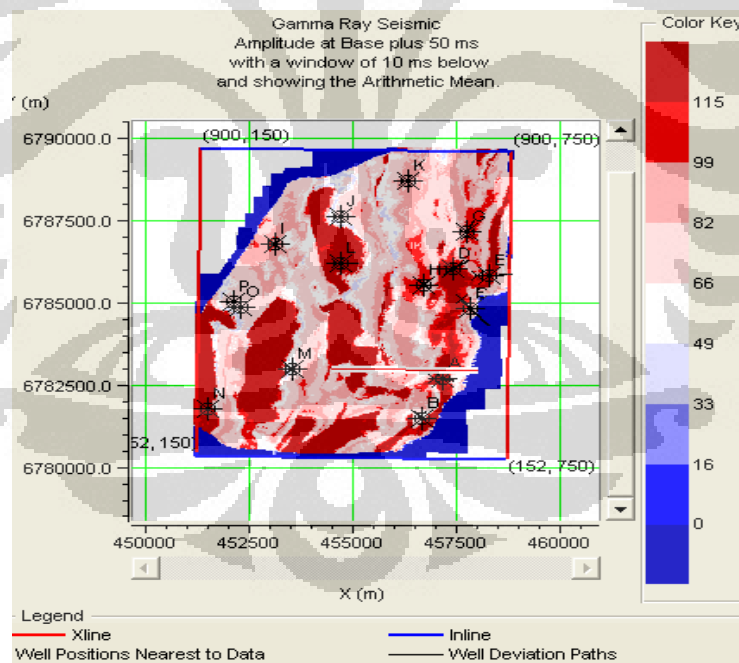
gambaran yang lebih jelas, karena kemenerusan secara lateral yang bisa ditunjukkan dengan kemenerusan nilai gamma ray ditampilkan dengan lebih baik, informasi ini cukup penting karena merupakan representasi dari litologi bawah permukaan, litologi yang dimaksud adalah lapisan *shale* dan *sand*, *shale* ditunjukkan dengan nilai gamma ray yang relative lebih tinggi sedangkan *sand* sebaliknya, interpretasi lebih lanjutnya adalah informasi yang menunjukkan lapisan yang *permeable* atau lapisan yang merupakan reservoir (*sand*) dan lapisan yang *impermeable* (*shale*).



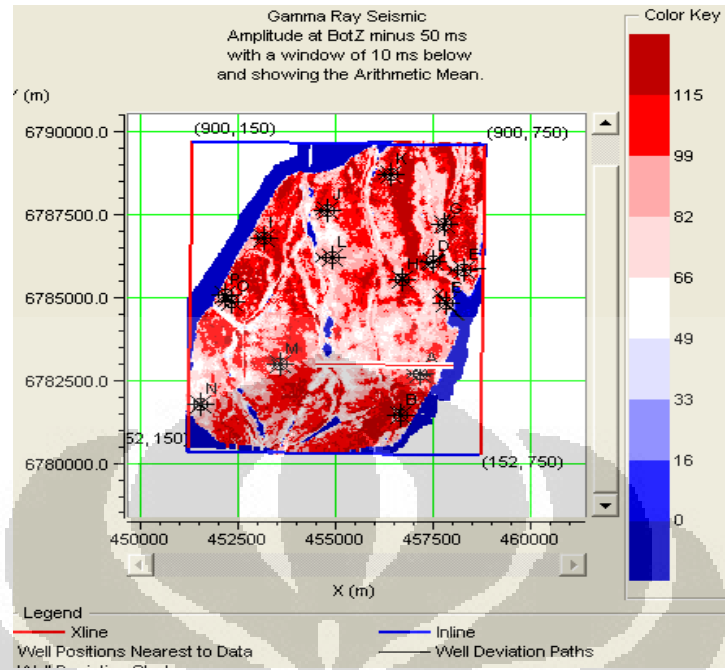
Gambar 4.9 *volum pseudo gamma ray* menggunakan multiatribut



Gambar 4.10 *volum pseudo gamma ray* menggunakan multiatribut pada Horizon Base – BotZ (sumur P)



Gambar 4.11 Hasil *slice pseudo gamma ray* menggunakan multiatribut (Horizon Base + 50 ms)



Gambar 4.11 Hasil *slice pseudo* gamma ray menggunakan multiatribut (Horizon BotZ - 10 ms)

BAB V

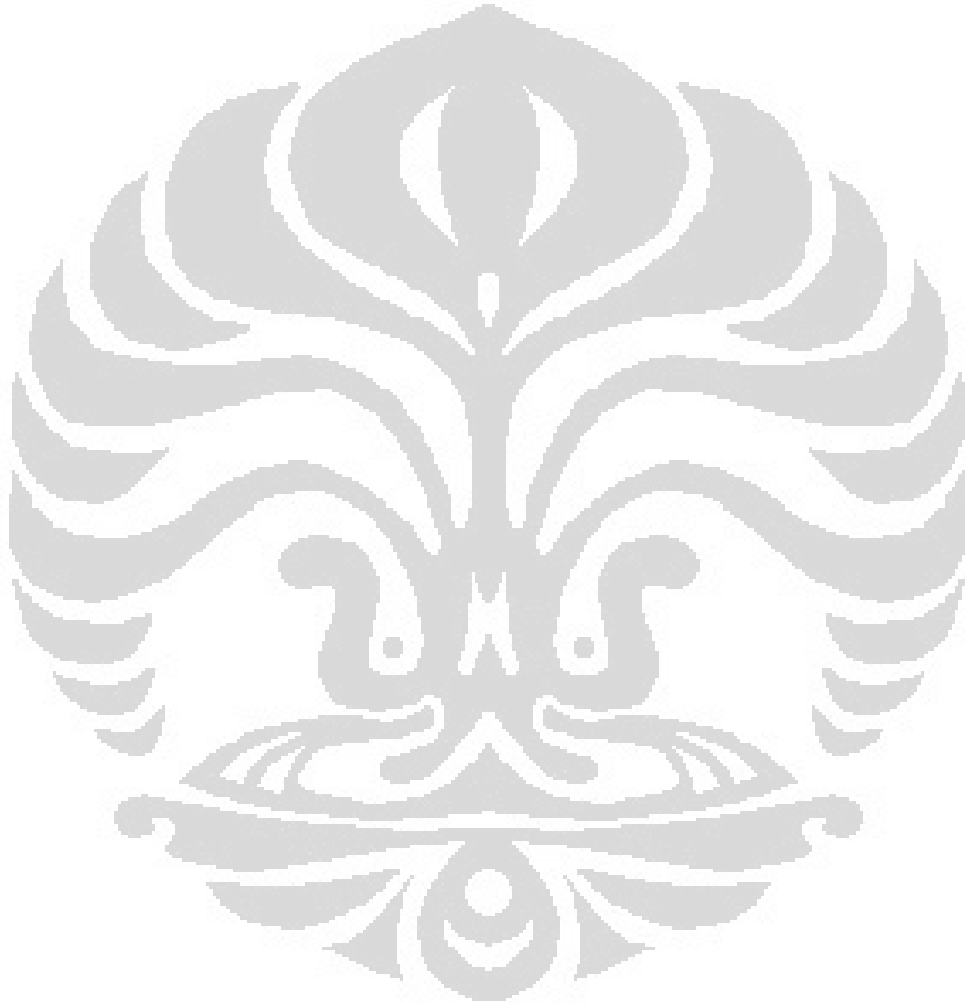
KESIMPULAN DAN SARAN

1.1 Kesimpulan

1. Dari 16 sumur yang ada (A sampai P), hanya digunakan 10 sumur (A, C, E, F, I, K, M, N, O dan P) pada proses single dan multi atribut, karena kombinasi dari kesepuluh sumur ini menghasilkan tingkat error terendah diantara yang lainnya.
2. Inversi impedansi akustik bisa menggambarkan pola penyebaran AI yang menunjukkan adanya kontras densitas dan kecepatan dibawah permukaan, dan hasil inversi bisa digunakan sebagai eksternal atribut pada proses pembuatan volum pseudo gamma ray agar didapat hasil dengan tingkat keakuratan yang lebih baik.
3. Volum pseudo gamma ray yang dihasilkan dengan menggunakan metode multi atribut lebih baik dibandingkan dengan single atribut, hal ini menunjukkan penggunaan atribut yang lebih banyak menghasilkan hasil yang lebih baik dan lebih akurat.
4. Nilai korelasi antara *modelled log* dengan *original log* cukup baik dan maksimal yaitu sebesar 0.6, walaupun gamma ray tidak memiliki keterkaitan langsung dengan impedansi akustik, dan nilai gamma ray yang dihasilkan bervariasi antara 60 – 110 API dan ini tidak berbeda jauh dengan gamma ray yang dimiliki sumur (50 – 150 API).
5. Gabungan antara seismik multiatribut dan inversi impedansi akustik dapat membuat volum pseudo gamma ray yang lebih baik dengan kemenerusan secara lateral yang tergambar dengan jelas, dan itu berujung pada pemberian informasi mengenai sebaran litologi *sand – shale* pada daerah penelitian, *shale* ditunjukkan dengan nilai gamma ray yang relative lebih tinggi sedangkan *sand* sebaliknya, dan *sand* umumnya merupakan representasi dari reservoir karena merupakan lapisan yang permeable.

1.2 **Saran**

1. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan baik, maka sangat diperlukan pengalaman dan “jam terbang” yang cukup dalam hal inversi seismik dan analisa multi atribut.



DAFTAR ACUAN

- Badley, M.E., 1985. Practical Seismic Interpretation, Prentice Hall.
- Branches, R. E., 2002. Seismic Attributes to Pseudo-well-log Volume Using Neural Networks : Practical Considerations, The Leading Edge, Vol. 21, No. 10, p. 996-1001.
- Ensiklopedi Seismik Online, 2008, Multiattribute Analysis.
<http://ensiklopediseismik.blogspot.com/2008/multiattribute-analysis.html>
- Ensiklopedi Seismik Online, 2008, Multi Linear Regression.
<http://ensiklopediseismik.blogspot.com/2008/multi-linear-regression-mlr.html>
- Hampson, D., Schuelke, J., and Qurein, J. A., 2001. Use of Multiattribute Transforms to Predict Log Properties from Seismic Data, Geophysics, 66, p. 220-236.
- Haris. A., 2006. Seismik Eksplorasi: Modul Mata Kuliah Metode Seismik.
- Haris. A., 2006. Interpretasi Seismik: Modul Mata Kuliah Interpretasi Seismik.
- Herawan, F., 2007. Analisa Multiatribut Seismik untuk Memetakan Litologi dan Porositas Reservoir "X" Lapangan "FY" PT CHEVRON PACIFIC INDONESIA : skripsi, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Harsono, A., 1997. Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log, Schlumberger Oilfield Service, Edisi ke-8, Jakarta.
- Huwell, J.R., B.F., 1959, Introduction to Exploration Geophysics, McGraw Hill.
- Russel, B., Hampson, D., Schuelke, J., and Qurein, J., 1997. Multiattribute Seismic Analysis, The Leading Edge, Vol. 16, p. 1439-1443.
- Russel, B., and Hampson, D., 2006, Emerge Theory, Software Hampson Russell.
- Russel, B., and Hampson, D., 2006, Strata Theory, Software Hampson Russell.

Schultz, P. S., Ronen, S., Hattori, M., and Corbett, C., 1994. Seismic Guided Estimation of Log Properties, *The Leading Edge*, Vol. 13, p. 305-315.

Sherif, R.B., and Geldart, P.L., *Exploration Seismology*, Cambridge.

Sukmono, S., 2002. *Seismic Inversion for Reservoir Characterization*

