

**KOMBINASI INVERSI AVO DAN GEOSTATISTIK UNTUK
MEMETAKAN PROPERTI FISIK $\lambda\mu\rho$: STUDI KASUS LAPANGAN
"WGR", SUMATERA TENGGARA**



TESIS

WAH ADI SUSENO

6305210283

**Universitas Indonesia
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program Pascasarjana Fisika
Kekhususan Geofisika Reservoir
Jakarta
2008**



**KOMBINASI INVERSI AVO DAN GEOSTATISTIK UNTUK
MEMETAKAN PROPERTI FISIK $\lambda\mu\rho$: STUDI KASUS
LAPANGAN "WGR", SUMATERA TENGGARA**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk
Memperoleh gelar Magister Sains

WAH ADI SUSENO

6305210283

**Universitas Indonesia
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program Pascasarjana Fisika
Kekhususan Geofisika Reservoir
Jakarta, 2008**

Judul : **KOMBINASI INVERSI AVO DAN GEOSTATISTIK UNTUK MEMETAKAN PROPERTI FISIK $\lambda\mu\rho$: STUDI KASUS LAPANGAN "WGR", SUMATERA TENGGARA**

Nama : **Wah Adi Suseno**

NPM : **6305210283**

MENYETUJUI

Pembimbing

Dr. Abdul Haris
Pembimbing

Penguji

Prof. Dr. Suprajitno M
Penguji I

Dr. Waluyo
Penguji II

Dr. Ricky Adi Wibowo
Penguji III

**Program Pascasarjana FMIPA-UI
Program Studi Ilmu Fisika**

Ketua,

Dr. Dedi Suyanto
NIP 130 935 271

Tanggal lulus:.....2008

LEMBAR PENGESAHAN

NAMA : Wah Adi Suseno
NPM : 6305210283
JUDUL TESIS : KOMBINASI INVERSI AVO DAN GEOSTATISTIK
UNTUK MEMETAKAN PROPERTI FISIK $\lambda_{\mu\rho}$: STUDI
KASUS LAPANGAN "WGR", SUMATERA TENGGARA

Jakarta,

Pembimbing,

Dr. Abdul Haris
NIP. 132 090 909

Mengetahui,

Program Pascasarjana FMIPA-UI
Program Studi Ilmu Fisika

Ketua,

Dr. Dedi Suyanto
NIP 130 935 271

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Illaihi Robbi karena atas kebesarannya, akhirnya penulis dapat merampungkan Tesis sebagai bagian dari rangkaian perkuliahan di Jurusan Fisika, Universitas Indonesia. Penulisan panjang Tesis ini hanyalah sebagian kecil dari proses pembelajaran penulis yang telah dan akan terus berkesinambungan seiring dengan perkembangan keilmuan yang ada. Tentunya peran serta dari semua pihak dalam penulisan tesis khususnya dan perkuliahan pada umumnya sangatlah memberi peranan penting. Oleh karena ini pada kesempatan ini perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada:

1. Dr. Abdul Haris, selaku pembimbing Tesis
2. Prof. Dr. Suprajitno Munadi, Dr. Waluyo dan Dr. Ricky Adi Wibowo selaku para penguji.
3. Dr. Dedi Suyanto selaku ketua Sidang
4. Pimpinan dan segenap staf pengajar/dosen program studi ilmu Fisika, Bidang Sains dan Matematika, Program Pasca Sarjana, Universitas Indonesia yang telah memberikan bekal pada penulis hingga selesai studi.
5. Seluruh teman-teman program studi Geofisika Reservoir angkatan 2005, yang dengan penuh suka dan duka telah bersama-sama menuntut ilmu di program studi ini.
6. Ayu, istriku tercinta yang senantiasa dengan tulus berdoa dan memberikan dukungan
7. Kedua orangtua dan keluarga besar di Banjaran dan Sanggar Hurip Bandung atas doa dan dukungannya
8. Dicky K., adikku atas dukungannya
9. Bpk. Susandhi Ridwan, selaku Manager Eksplorasi CNOOC SES Ltd. yang telah memberikan izin dalam penggunaan data pada penelitian ini.
10. Bintoro Wibowo, Reno Faisal, Baskara Yudha dan seluruh rekan-rekan GGR di lingkungan Departemen Eksplorasi/TC dan Eksploitasi CNOOC SES Ltd.

11. Seluruh staf di lingkungan Departement Eksplorasi/TC dan Eksploitasi CNOOC SES Ltd.
12. Seluruh teman-teman di Gg. Abah Bawah Cilandak Jakarta Selatan atas pertemanannya selama ini.
13. Semua pihak yang baik langsung maupun tidak langsung terlibat dalam penyusunan Tesis ini.

Sebagai manusia biasa, penulis tak pernah luput dari kesalahan dan kekurangan baik dalam penulisan Tesis ini maupun selama perkuliahan sehingga kritik dan saran membangun senantiasa terbuka untuk sesuatu yang jauh lebih baik.

Akhir kata semoga tulisan ini dapat memberikan wawasan dan cara pandang baru yang berguna bagi penulis pribadi dan bagi para pembaca semua, juga menambah khasanah ilmu pengetahuan dan bermanfaat terutama bagi industri migas di Indonesia

Jakarta, Mei 2008

Penulis

SARI

KOMBINASI INVERSI AVO DAN GEOSTATISTIK UNTUK MEMETAKAN PROPERTI FISIK $\lambda\mu\rho$: STUDI KASUS LAPANGAN "WGR", SUMATERA TENGGARA

Oleh:
Wah Adi Suseno

Program Pasca Sarjana Geofisika Reservoir
Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Indonesia
2008

Dalam suatu eksplorasi minyak dan gas bumi, pengetahuan dan pembelajaran suatu kerangka regional dari suatu lapangan minyak sangat mutlak diperlukan. Hal ini diperlukan untuk mengetahui struktur dan geometri dari suatu tubuh reservoir agar dapat diketahui daerah-daerah prospek eksplorasi minyak dan gas bumi. Semakin menipisnya cadangan minyak bumi, semakin sempitnya daerah eksplorasi dan semakin meningkatnya harga minyak dunia akhir-akhir ini merupakan tantangan bagi para eksplorasionis untuk terus mencari dan mengembangkan metoda-metoda pencarian minyak dan gas bumi.

Metoda gabungan seismik inversi data *pre-stack* AVO dan geostatistik mencoba memberikan pendekatan lain untuk memetakan properti fisik $\lambda\mu\rho$ pada suatu interval reservoir batupasir formasi Talang Akar di lapangan minyak WGR yang terdapat di cekungan Sunda, Sumatra Tenggara. Hasil akhir pemetaan properti $\lambda\mu\rho$ dengan gabungan kedua metoda tersebut di atas mampu memberikan informasi yang cukup baik dan berguna dalam penentuan daerah prospektif minyak dan gas bumi di daerah ini. Namun masih ada beberapa kekurangan dan kelemahan sehingga saran dan kritik masih terbuka untuk penyempurnaan selanjutnya.

ABSTRACT

In hydrocarbon exploration, knowledge and study of regional framework is completely required to get an understanding the structure and geometry of reservoir, which will lead into hydrocarbon prospective zone. The decrease of hydrocarbon reserve, the narrower exploration area and the rising of oil price have made challenges for explorationist to discover and to develop methods of finding hydrocarbon.

Joint methods of pre-stack seismic AVO inversion and geostatistic attempt to give another approach to map physical properties of $\lambda\mu\rho$ at reservoir interval of sandstones Talang Akar formation at WGR oil field at Sunda basinal area, Southeast Sumatra. The map of physical property of $\lambda\mu\rho$ using combination approach of AVO inversion and geostatistic shows good result and usefull for determining prospect area of hydrocarbon accumulation in this area. There are still liabilities and weaknesses, thus critics and sugestions are all wide opened for future work.

Keywords: Lambda, Mu, Rho, AVO, Geostatistic

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
SARI	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Maksud dan Tujuan	2
1.3. Permasalahan	3
1.4. Ketersediaan Data	3
1.5. Metodologi.....	4
1.6. Sistematika Penulisan	7
1.7. Geologi dan Petroleum System Daerah Studi.....	7
BAB II DASAR TEORI	14
2.1 Amplitude Versus Offset (AVO)	14
2.1.1 Persamaan Zoeppritz	15
2.1.2 Persamaan Aki-Richard.....	16
2.1.3 Persamaan Shuey	17
2.2 Transformasi Offset terhadap Sudut	19
2.3 Persamaan Biot-Gassman	20
2.4 Respon AVO	23
2.5 Klasifikasi AVO	24
2.6 Atribut AVO	25
2.7 Lambda-Mu-Rho ($\lambda\mu\rho$)	25
2.8 Inversi Seismik	27
2.9 Teori Geostatistik	28
2.9.1 Variogram	28
2.9.2 Tipe Variogram	30
2.9.3 Model Variogram.....	31
2.10 Multi Atribut Seismik	32

BAB III PENGOLAHAN DATA AVO DAN GEOSTATISTIK..... 35

3.1.	Persiapan Data	35
3.2.	Pengolahan Data.....	36
	3.2.1. Data Loading	37
	3.2.2. Data Quality Control	37
	3.2.3. Pseudo Log Sumur	37
	3.2.4. Pengikatan Data Sumur dan Data Seismik	41
	3.2.5. CrossPlot Data Sumur	42
3.3.	Inversi AVO.....	44
	3.3.1 Super Gather.....	44
	3.3.2 Refleksifitas P (Rp) dan Reflektifitas S (Rs).....	45
	3.3.3 Pembuatan Model Inversi.....	46
	3.3.4 Inversi Model Based.....	48
	3.3.5 Transformasi LMR.....	49
	3.3.6 Crossplot LMR.....	52
3.4.	Geostatistik.....	53
	3.4.1 Geostatistik Data sumur.....	53
	3.4.2 Geostatistik Data sumur dan Data Seismik.....	55
	3.4.3 Multi Atribut Seismik.....	58

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 62

4.1.	Struktur Waktu Daerah Studi.....	62
4.2.	Analisa Crossplot data sumur.....	63
4.3.	Analisa inversi AVO.....	64
4.4.	Analisa Geostatistik.....	67
4.5.	Analisa Multi Atribut Seismik.....	69

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 72

5.1.	Kesimpulan	72
5.2.	Saran	73

DAFTAR PUSTAKA

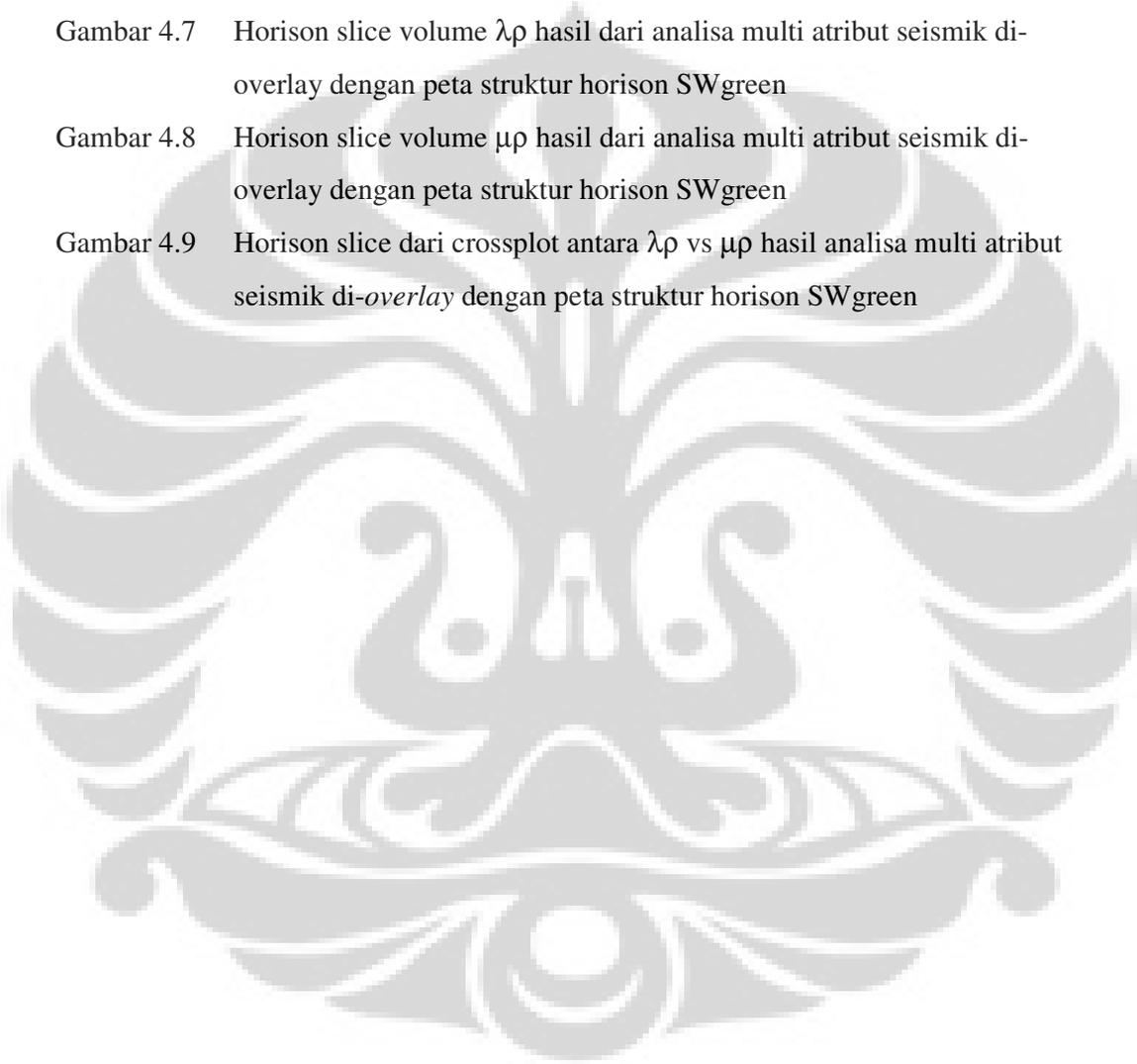
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 Diagram alur penelitian
- Gambar 1.2 Peta Tektonik Regional cekungan Sunda dan Asri
- Gambar 1.3 Stratigrafi Cekungan Sunda
- Gambar 1.4 Penampang regional barat –timur menunjukkan Petroleum System di Cekungan Sunda
- Gambar 2.1 Mode konversi gelombang pada bidang batas lapisan
- Gambar 2.2 Perbandingan penentuan amplitudo refleksi dari persamaan Zoeppritz dan pendekatannya (Russel,1998)
- Gambar 2.3 (a) Respon AVO, (b) Respon AVA
- Gambar 2.4 Analisa Biot-Gassman terhadap impedansi P dan S serta konstanta Lamé (Goodway, 1997-simplified)
- Gambar 2.5 Klasifikasi anomali amplitudo yang dibuat oleh Rutherford and Williams dan dimodifikasi oleh Ross and Kinman (1995) dan Castagna
- Gambar 2.6 Plot impedansi P dan impedansi S Konstanta Lamé untuk membedakan batupasir berisi gas dengan batulempung. (Goodway 1997)
- Gambar 2.7 Komponen variogram (Petrel 2004)
- Gambar 2.8 Model Variogram (Petrel, 2004)
- Gambar 3.1 Target batu pasir formasi TAF
- Gambar 3.2 Lintasan Seismik pre-stack (*super gather*) yang melalui sumur W-10
- Gambar 3.3 Grafik error Analisa multi atribut seismik
- Gambar 3.4 Analisa multi atribut untuk membuat pseudo log gelombang-P
- Gambar 3.5 Analisa multi atribut untuk membuat pseudo log gelombang -S
- Gambar 3.6 Wavelet bandpass yang digunakan dalam penelitian dan spektrum frekuensinya
- Gambar 3.7 Korelasi maksimum di sumur
- Gambar 3.8 Crossplot Data sumur
- Gambar 3.9 Penampang reflektivitas P (R_p)
- Gambar 3.10 Penampang reflektivitas S (R_s)

- Gambar 3.11 Model Impedansi akustik
- Gambar 3.12 Model Impedansi akustik S
- Gambar 3.13 Inversi impedansi P
- Gambar 3.14 Inversi impedansi S
- Gambar 3.15 Penampang seismik dari volume $\lambda\rho$
- Gambar 3.16 Penampang seismik dari volume $\mu\rho$
- Gambar 3.17 Horizon slice 13ms centered window pada horison SWgreen untuk volume $\lambda\rho$
- Gambar 3.18 Horizon slice 13ms centered window pada horison SWgreen untuk volume $\mu\rho$
- Gambar 3.19 Crossplot $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ dari data seismik pada daerah sekitar sumur
- Gambar 3.20 Penampang crossplot seismik pada daerah sekitar sumur
- Gambar 3.21 Slice crossplot dengan window 13 ms terhadap horison SWgreen
- Gambar 3.22 Analisa variogram data sumur
- Gambar 3.23 Ordinary kriging data sumur untuk parameter $\lambda\rho$
- Gambar 3.24 Ordinary kriging data sumur untuk parameter $\mu\rho$
- Gambar 3.25 Garis regresi antara data sumur dan data seismik untuk volume $\lambda\rho$
- Gambar 3.26 Garis regresi antara data sumur dan data seismik untuk volume $\mu\rho$
- Gambar 3.27 Collocated kriging antara data sumur dan data seismik volume $\lambda\rho$
- Gambar 3.28 Collocated kriging antara data sumur dan data seismik volume $\mu\rho$
- Gambar 3.29 Analisa multi atribut seismik
- Gambar 3.30 Validasi atribut seismik
- Gambar 3.31 Penampang $\lambda\rho$ hasil analisa multi atribut seismik
- Gambar 3.32 Penampang $\mu\rho$ hasil analisa multi attribute seismik
- Gambar 3.33 Horison slice $\lambda\rho$ hasil analisa multi attribute seismik
- Gambar 3.34 Horison slice $\mu\rho$ hasil analisa multi atribut seismic
-
- Gambar 4.1 Peta struktur waktu horison SWgreen ekuivalen dengan Top batupasir C)
- Gambar 4.2 Horison slice volume $\lambda\rho$ hasil inversi di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen

- Gambar 4.3 Horison slice volume $\mu\rho$ hasil inversi di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen
- Gambar 4.4 Horison slice dari crossplot antara $\lambda\rho$ vs $\mu\rho$ hasil inversi seismik di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen
- Gambar 4.5 Collocated kriging $\lambda\rho$ dari data seismik dan data sumur
- Gambar 4.6 Collocated kriging $\mu\rho$ dari data seismik dan data sumur
- Gambar 4.7 Horison slice volume $\lambda\rho$ hasil dari analisa multi atribut seismik di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen
- Gambar 4.8 Horison slice volume $\mu\rho$ hasil dari analisa multi atribut seismik di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen
- Gambar 4.9 Horison slice dari crossplot antara $\lambda\rho$ vs $\mu\rho$ hasil analisa multi atribut seismik di-*overlay* dengan peta struktur horison SWgreen



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Respon AVO berdasarkan Impedansi Akustik dan Perubahan Poisson's Ratio (Russel, 1998. Modified by Furniss, 2000)

Tabel 3.1 Data sumur yang digunakan dalam penelitian



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Dalam suatu eksplorasi minyak dan gas bumi, pengetahuan dan pembelajaran suatu kerangka regional dari suatu lapangan minyak sangat mutlak diperlukan. Hal ini diperlukan untuk dapat mengetahui struktur dan geometri dari suatu tubuh reservoir, karena dengan mengetahui struktur dan geometri suatu reservoir dapat diketahui daerah-daerah prospek eksplorasi minyak dan gas bumi. Dengan mengetahui daerah prospek ini tentunya akan lebih memberikan peluang keberhasilan eksplorasi minyak dan gas bumi. Hal ini menjadi sangat penting mengingat minyak dan gas bumi masih merupakan sumber energi yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini tentunya menjadi tantangan bagi para eksplorasionis untuk terus mencari dan mengembangkan metoda-metoda pencarian minyak dan gas bumi yang semakin hari cadangannya di bumi semakin menipis. Tantangan ini juga ditambah dengan semakin sempitnya daerah-daerah eksplorasi dan semakin meningkatnya harga minyak dunia akhir-akhir ini.

Metoda seismik sampai saat ini merupakan metoda yang paling dipercaya untuk memenuhi penggambaran kerangka secara regional. Namun dalam suatu proses eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi, selain pemahaman tentang kerangka regional, diperlukan juga pemahaman secara detail dari sifat-sifat fisik batuan yang berkembang di daerah prospek. Adanya data log dari sumur memudahkan pendeskripsian dari parameter-parameter petrofisika batuan. Semakin banyak data sumur maka pemodelan geologi yang dilakukan akan semakin akurat, namun tentunya juga akan menambah kompleksitas dan batasan pemodelan. Begitu pula dengan adanya data sumur, maka interpretasi data seismik secara lateral ke arah kerangka regional akan menjadi semakin mudah. Sehingga diharapkan penyebaran parameter-parameter petrofisika batuan yang berlaku di suatu titik sumur dapat kita estimasi di daerah-daerah yang tidak memiliki data sumur, dengan data seismik sebagai panduan.

Analisa AVO (*Amplitude versus Offset*) dari data seismik *pre-stack* telah banyak memberikan keuntungan dalam karakterisasi suatu reservoir. Dengan mengkombinasikan atribut AVO dengan geologi, properti petrofisik batuan dan fluida reservoir sangat membantu dalam karakterisasi reservoir bila dibandingkan hanya menggunakan analisa AVO saja. Metoda Lambda-Mu-Rho ($\lambda\mu\rho$) adalah salah satu analisa AVO lanjutan yang sangat membantu dalam proses identifikasi lithologi dan kandungan fluida reservoir. Dengan mengkombinasikan petrofisika untuk menskalakan volume Lambda-Rho ($\lambda\rho$) and Mu-Rho ($\mu\rho$), akan dihasilkan suatu volume lithologi berbasis properti batuan dan AVO.

Selain analisa AVO yang dilakukan pada data seismik, akan dilakukan juga analisa $\lambda\mu\rho$ pada data log sumur dengan melakukan transformasi data-data log original untuk kemudian akan dilihat sebarannya secara lateral dengan menggunakan metoda geostatistik. Metoda geostatistik yang digunakan dalam analisa ini meliputi *ordinary kriging*, *collocated kriging* dan analisa multi atribut seismik dengan algoritma Regresi Linier Umum (*Generalized Linier Regression*). Masing-masing hasil dari penggunaan kedua metoda geostatistik ini akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pengolahan data hasil inversi AVO.

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penulisan tesis ini adalah untuk memenuhi syarat kelulusan di Program Pasca Sarjana Fisika Universitas Indonesia.

Tujuan dari penulisan ini adalah:

1. Menentukan properti reservoir, dalam hal ini adalah penentuan λ, μ, ρ dari data seismik dan data sumur dengan pendekatan analisa inversi AVO dan metoda geostatistik
2. Mengetahui nilai λ, μ, ρ pada batuan reservoir sehingga dapat diketahui jenis lithologi dan kandungan fluida serta sebarannya.
3. Mengetahui batas fluida reservoir ke arah lateralnya untuk menentukan batas reservoir dan batas cadangan dari suatu prospek lapangan minyak.

4. Menentukan lokasi titik pemboran baru dari data sebaran parameter λ, μ, ρ yang telah diestimasi.
5. Membandingkan properti fisik yang dihasilkan dari data seismik dengan yang dihasilkan dari data sumur.
6. Membandingkan metoda inversi AVO dengan metoda geostatistik dalam hal penentuan properti $\lambda\mu\rho$

1.3. Permasalahan

Permasalahan yang dijumpai pada tahapan eksplorasi salah satunya adalah dalam penentuan titik sumur eksplorasi dan sumur *appraisal* yang berkaitan dengan perhitungan cadangan minyak dan gas bumi di daerah prospek yang juga berkaitan dengan kelayakan pengembangan suatu lapangan minyak dan gas bumi untuk dikembangkan atau tidak. Seberapa jauh kemenerusan reservoir yang telah kita dapatkan, ke arah mana kemenerusannya, bagaimana jenis lithologi dan kandungan hidrokarbon di dalamnya, merupakan beberapa permasalahan yang akan dijumpai. Keterbatasan data, baik itu data geologi atau pun data geofisika, seperti keterbatasan data log sumur atau data seismik dengan kualitas yang rendah juga merupakan faktor yang harus dipertimbangkan dalam studi ini. Berkaitan dengan masalah diatas maka dalam studi ini akan dicoba metoda-metoda untuk menentukan sebaran reservoir batupasir dan kandungan fluida di dalamnya, dengan memanfaatkan data-data geologi dan geofisika yang ada.

1.4. Ketersediaan Data

Dalam suatu penelitian langkah awal yang harus dilakukan adalah mengumpulkan materi penelitian yang diperlukan. Proses pengumpulan data ini berkaitan dengan proses seleksi terhadap kualitas data dan ketersediannya. Hal ini tentunya akan sangat berpengaruh terhadap proses pengolahan data dan hasil akhir penelitian sehingga perolehan data sedikit banyak akan membantu seluruh proses dalam penelitian.

Adapun materi penelitian meliputi data-data geofisika dan data-data geologi baik berupa *hardcopy* seperti laporan, tulisan, *well report*, peta, ataupun data digital meliputi data seismik 3D, data interpretasi horison dan sesar, data log sumur dan *marker* geologi yang melingkupi daerah penelitian di lapangan WGR di cekungan Sunda. Semua data-data ini merupakan data kepemilikan CNOOC SES Ltd. yang telah tersedia dalam suatu database di lingkungan CNOOC SES Ltd.

1.5. Metodologi

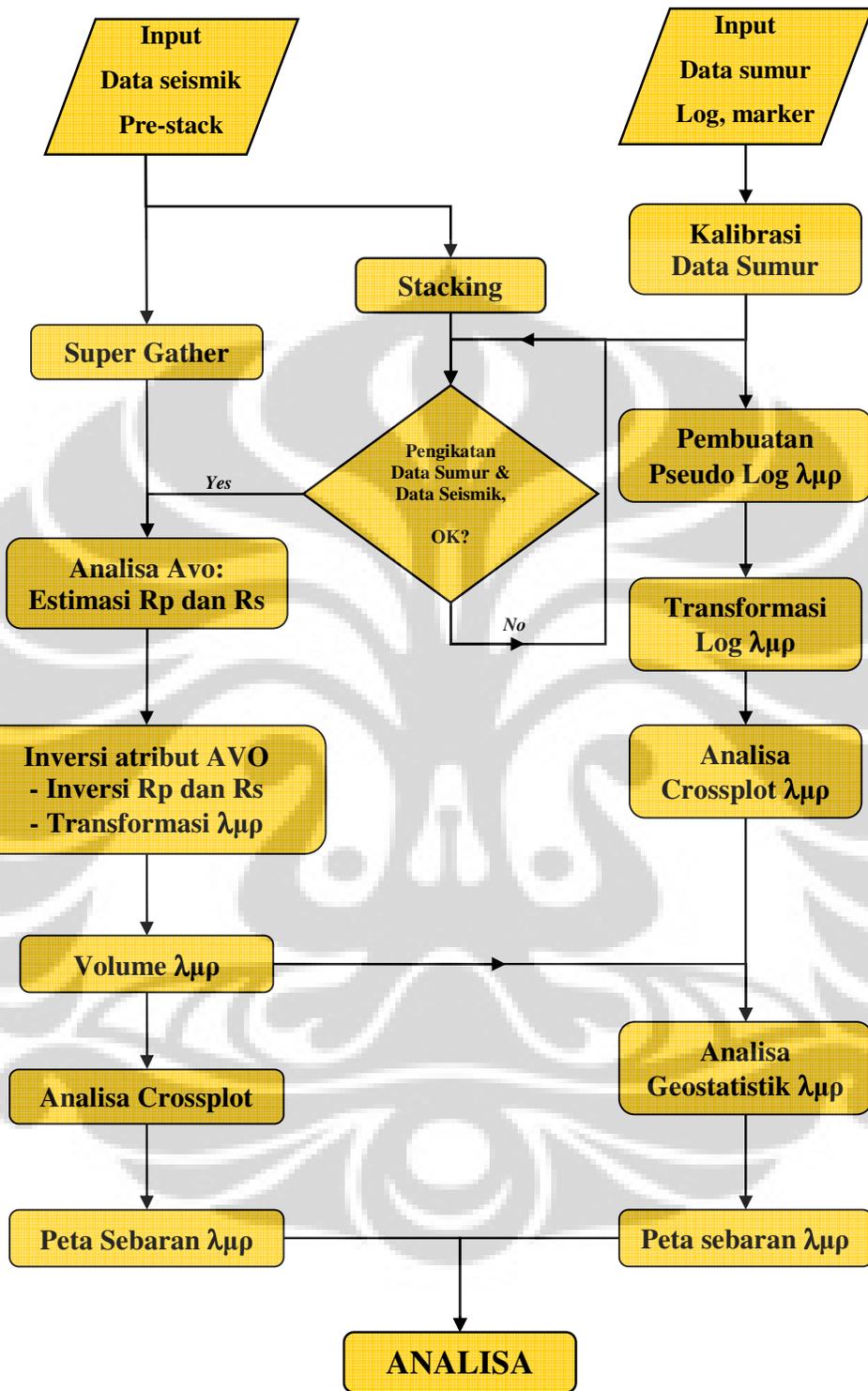
Setelah proses pengumpulan data, langkah selanjutnya adalah menyusun tahapan-tahapan atau langkah-langkah dalam pengolahan data. Hal ini berkaitan dengan metoda-metoda, asumsi-asumsi dan pendekatan-pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini penulis tidak melakukan penurunan metoda baru, akan tetapi menggunakan metoda-metoda yang sudah pernah digunakan sebelumnya dari beberapa referensi, tulisan dan hasil penelitian lain, yang kemudian diterapkan secara lokal pada daerah penelitian untuk mendapatkan objektif penelitian, juga membandingkan hasil dari metoda-metoda yang digunakan untuk melihat seberapa sensitifnya dan seberapa saling menguatkan atau melemahkan satu metoda dengan metoda lainnya.

Metoda yang digunakan dalam penentuan lithologi reservoir dan kandungan fluidanya adalah dengan analisa pemodelan kebelakang (*inverse modelling*) data AVO dari data seismik *pre-stack*. Hasil analisa data AVO ini kemudian digunakan sebagai masukan dalam penentuan impedansi akustik dan impedansi elastik untuk kemudian dihitung parameter λ , μ , ρ melalui transformasi Lambda, Mu, Rho. Sebagai pembanding, akan dilakukan penentuan nilai λ , μ , ρ dari data-data sumur yang ada dengan menggunakan metoda geostatistik. Nilai λ , μ , ρ dari hasil inversi AVO data seismik dan hasil geostatistik data sumur kemudian akan dianalisa dan disimpulkan.

Metode penelitian yang dilakukan dalam penentuan parameter λ , μ , ρ adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan pseudo log data sumur untuk sumur yang tidak memiliki data yang lengkap dengan memanfaatkan data log sumur yang ada,

2. Melakukan *crossplot* data-data log sumur untuk melihat *tren* dan *feasibility* dari data-data sumur yang bersangkutan,
3. Melakukan analisa AVO untuk mendapatkan reflektivitas P (R_p) dan reflektivitas S (R_s)
4. Melakukan inversi reflektivitas P dan reflektivitas S (R_s) untuk mendapatkan volume impedansi P (Z_p) dan impedansi S (Z_s),
5. Melakukan transformasi volume impedansi P (Z_p) dan impedansi S (Z_s) ke dalam volume Lambda-Mu-Rho ($\lambda\mu\rho$),
6. Melakukan analisa geostatistik untuk masing parameter λ, μ, ρ dari hasil transformasi data-data log sumur, kemudian mengkombinasikan dengan data seismik hasil inversi,
7. Membandingkan dan menganalisa hasil yang didapat dari proses inversi data seismik dengan hasil yang diperoleh dari analisa dengan metoda geostatistik



Gambar 1.1 Diagram alur penelitian

1.6. Sistematika Penulisan

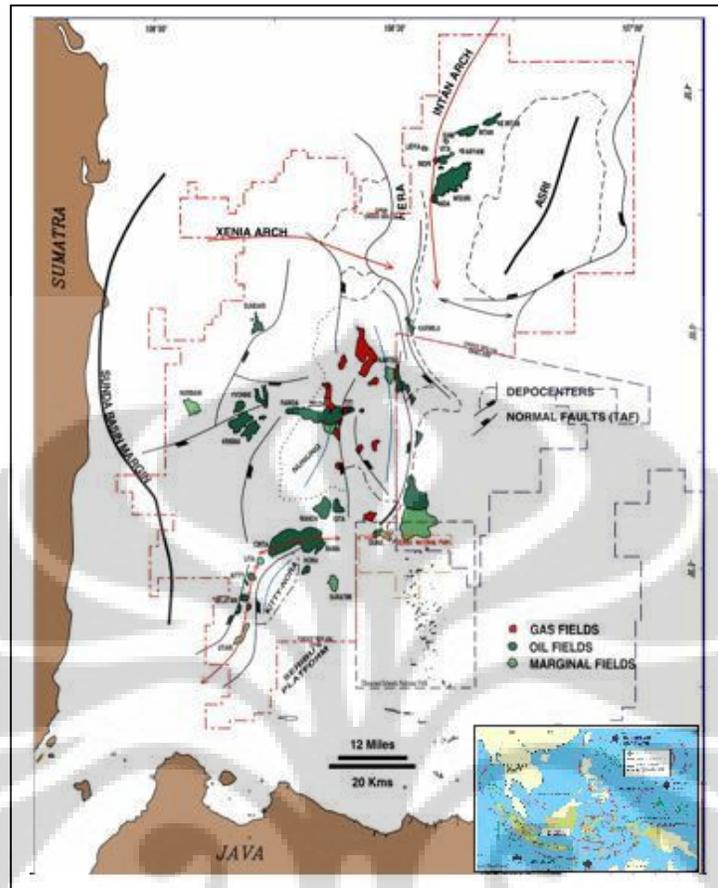
Penulisan tesis dibagi kedalam beberapa bab dan sub-bab. Bab pertama membahas secara singkat latar belakang, ruang lingkup pembahasan, maksud dan tujuan, metoda penelitian yang digunakan, sistematika penulisan tesis sesuai dengan topik yang diambil, dan gambaran keadaan geologi meliputi tektonik dan stratigrafi serta petroleum system pada daerah studi. Selain itu, pada bab ini dijelaskan tentang metoda, pendekatan, asumsi dan diagram alur yang digunakan pada studi ini.

Dasar-dasar teori yang menjadi landasan dalam penulisan tesis ini berdasarkan studi pustaka dijabarkan secara detail pada bab dua. Kemudian dilanjutkan dengan bab tiga yang berisi langkah-langkah dan prosedur pengolahan data menggunakan metoda AVO dan Geostatistik.

Analisa dan pembahasan hasil secara detail dibahas pada bab empat, kemudian ditutup dengan kesimpulan dan saran untuk pengembangan di waktu yang akan datang pada bab lima.

1.7. Geologi dan Petroleum system daerah studi

Latar belakang geologi dan stratigrafi cekungan sunda telah diulas secara komprehensif oleh *Wight, dkk. (1986)*. Secara regional, bagian tengah dari cekungan Sunda terletak lebih dari 100 mil ke arah utara dari keberadaan busur vulkanik yang ada sekarang, memanjang Timur-Barat sepanjang pulau Jawa. Cekungan Sunda dipisahkan dengan sub-cekungan Arjuna oleh Seribu *platform* yang merupakan blok sesar yang miring ke arah Timur Laut. Kemudian dipisahkan oleh tinggian Lampung di arah barat dari cekungan Sumatra Selatan. Sistem sesar regional pada cekungan Sunda, dari barat ke Timur meliputi sesar sumatera, Sesar-sesar berarah NNE di selat Sunda, Sesar Kepayang yang melewati tinggian Lampung, Sesar berarah utara selatan sepanjang pantai tenggara Sumatra dan sesar jawa barat berorientasi N70°E.



Gambar 1.2 Peta Tektonik Regional cekungan Sunda dan Asri

Urutan stratigrafi Cekungan Sunda dan Asri secara umum dari tua ke muda adalah sebagai berikut :

1. **Formasi Banuwati**

Formasi Banuwati merupakan unit sedimen tertua di Cekungan Sunda yang terletak tidak selaras di atas *basement*. Batuan ini diperkirakan diendapkan pada Oligosen Awal, yang terdiri dari pengendapan kontinental, termasuk didalamnya adalah sedimen lempung *lacustrine*, *aluvial fan*, dan *fluviatil*.

2. **Formasi Talang Akar**

Formasi Talang Akar diendapkan secara tidak selaras di atas *basement* dan selaras di atas Formasi Banuwati. Formasi ini terbentuk mulai Oligosen Akhir sampai Miosen Awal, pada fase transgresi marine. Lithologi penyusun Formasi ini dihasilkan dari proses fluvial dan terbagi menjadi dua anggota yaitu anggota Gita di bagian atas dan anggota Zelda di bagian bawah.

3. **Formasi Baturaja**

Formasi Baturaja diendapkan secara selaras diatas Formasi Talang Akar pada kala Miosen Awal. Lithologi penyusun dari Formasi ini terdiri atas karbonat terumbu, *bank limestone*, *lime mud*, dan batulempung pada bagian bawah. Formasi Baturaja dibagi menjadi dua bagian yaitu *Shale* Baturaja (lebih tua) di bagian bawah dan Baturaja Atas (*Upper Baturaja*).

4. **Formasi Gumai**

Formasi Gumai terendapkan secara selaras di atas Formasi Baturaja yang dicirikan oleh serpih berwarna abu-abu, terbentuk dalam fase transgresi *marine* maksimum. Formasi ini tersusun oleh batulempung, serpih, batugamping, dan selang-seling batulempung, lanau dan batupasir. Batulempung Formasi Gumai, secara regional, merupakan batuan perangkap (*seal*) yang mengontrol migrasi hidrokarbon dalam Cekungan Sunda.

5. **Formasi Air Benakat**

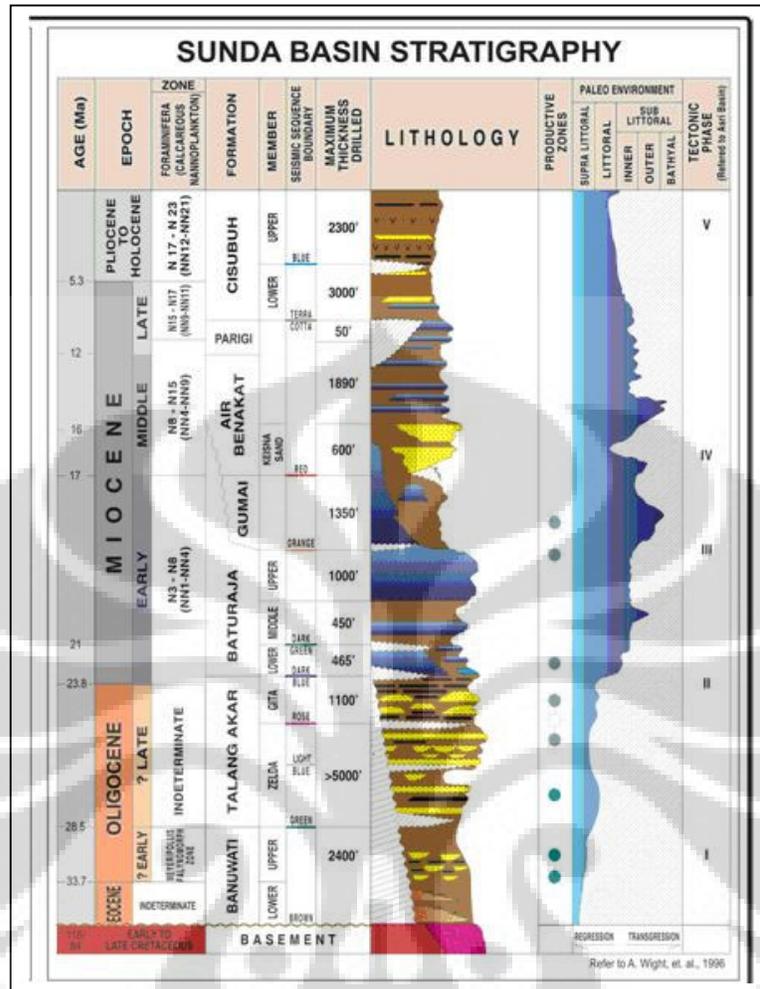
Formasi Air Benakat diendapkan selaras diatas Formasi Gumai, dan merupakan seri pengendapan regresi. Formasi ini memiliki ketebalan hingga mencapai 1704 *feet* di Cekungan Sunda, dengan penyusun batuanya berupa batulempung, batupasir glaukonitan yang berselang-seling dengan serpih, dan batugamping. Formasi ini diendapkan pada Miosen Awal – Miosen Tengah dengan lingkungan pengendapan adalah *inner – middle shelf*.

6. **Formasi Parigi**

Formasi Parigi diendapkan secara selaras di atas Formasi Air Benakat dengan ketebalan mencapai 132 *feet* di Cekungan Sunda. Penyusun utama dari Formasi Parigi adalah berupa batulempung, dengan lapisan tipis batulempung karbonatan, batugamping, serta batugamping pasiran laut dangkal yang tidak menerus diseluruh cekungan.

7. **Formasi Cisubuh**

Formasi Cisubuh merupakan formasi yang paling muda yang diendapkan secara selaras diatas diatas Formasi Parigi. Formasi ini terbagi menjadi dua anggota, yaitu anggota *non marine* dan anggota *marine*. Ketebalan batuan dari formasi ini mencapai sekitar 5300 *feet* di Cekungan Sunda, dan mulai terbentuk pada kala Miosen Atas – Pleistosen.



Gambar 1.3 Stratigrafi Cekungan Sunda

Petroleum system di cekungan Sunda terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:

1. Batuan Induk (Source Rock)

Batuan induk di cekungan Sunda berasal dari formasi Banuwati yaitu berupa batuan serpih *lacustrine* yang merupakan batuan induk tertua yang paling matang yang berasal dari bagian terdalam dari depositemnya. Batuan induk ini diperkirakan berumur Oligosen bawah. Selain batuan induk dari formasi Banuwati, batuan induk lainnya adalah batuan lempung fluviatil dan paludal berasal dari anggota Zelda yang cukup matang, kaya organik dan tersebar luas, juga batuan lempung yang berasal dari anggota Gita.

2. Jalur Migrasi

Jalur migrasi yang penting berasal dari sesar-sesar besar yang terjadi pada cekungan ini. Sesar ini membelah batuan penutup yang menghubungkan reservoir dangkal dengan batuan sumbernya yang lebih dalam. Analisis geokimia menunjukkan lapangan Karmila dan Bima dihubungkan dengan batuan sumber formasi Banuwati yang berada 5000 ft di bawahnya oleh suatu sesar yang besar.

3. Batuan Reservoir

Cekungan Sunda memiliki potensi reservoir yang diantaranya merupakan reservoir yang sangat penting dalam kaitannya dengan eksplorasi hidrokarbon. Reservoir ditemukan mulai dari Basement berupa basemen lapuk di bagian terdalam cekungan, kemudian reservoir dari formasi Banuwati, dimana Banuwati klastik kasar merupakan reservoir kipas *alluvial* yang juga berkembang di cekungan ini, sampai ke reservoir yang sangat dominan di daerah ini yaitu reservoir yang berasal dari batu pasir formasi Talang Akar dari anggota Zelda dan Gita. Selain itu di formasi Batu Raja, sistem reservoir berupa karbonat transgresif merupakan reservoir terdangkal.

4. Batuan Penutup (*Seal*)

Sistem batuan penutup pada cekungan Sunda dapat berasal dari formasi batuan di bawah ini :

- *Basement*

Komplek basemen di cekungan ini diasumsikan impermiabel dan merupakan batuan penutup, terkecuali zone *fracture* atau lapuk basemen di bagian atasnya.

- *Lempung Lacustrine Banuwati*

Merupakan batuan penutup vertikal yang secara efektif menahan migrasi di bagian atas basemen dan merupakan *seal* stratigrafi regional

- *Lempung Zelda*

Diendapkan diatas formasi Banuwati dan merupakan sumber lempung paludal dan *lacustrine*. Pada deposenter Yani, lempung ini menutup system migrasi dan reservoir kipas Janti-Yani. Lempung dari formasi ini merupakan *seal* lokal yang sangat efektif sebagai penutup hidrokarbon. Namun akibat dari efek distribusi batupasir *erratic* dan adanya sesar minor, unit ini tidak berfungsi efektif sebagai *seal* regional.

- *Serpit Gumai*

Serpit *marine* pada formasi Gumai dengan ketebalan 500-900 ft merupakan seal regional di cekungan Sunda yang secara ekstensif menutup formasi batupasir fluviatil

Talang Akar dan karbonat transgresif Batu Raja. Keberadaan serpih Gumai sebagai regional seal ini di buktikan dengan hampir tidak ditemukannya oil shows di lapisan terdangkal di cekungan ini.

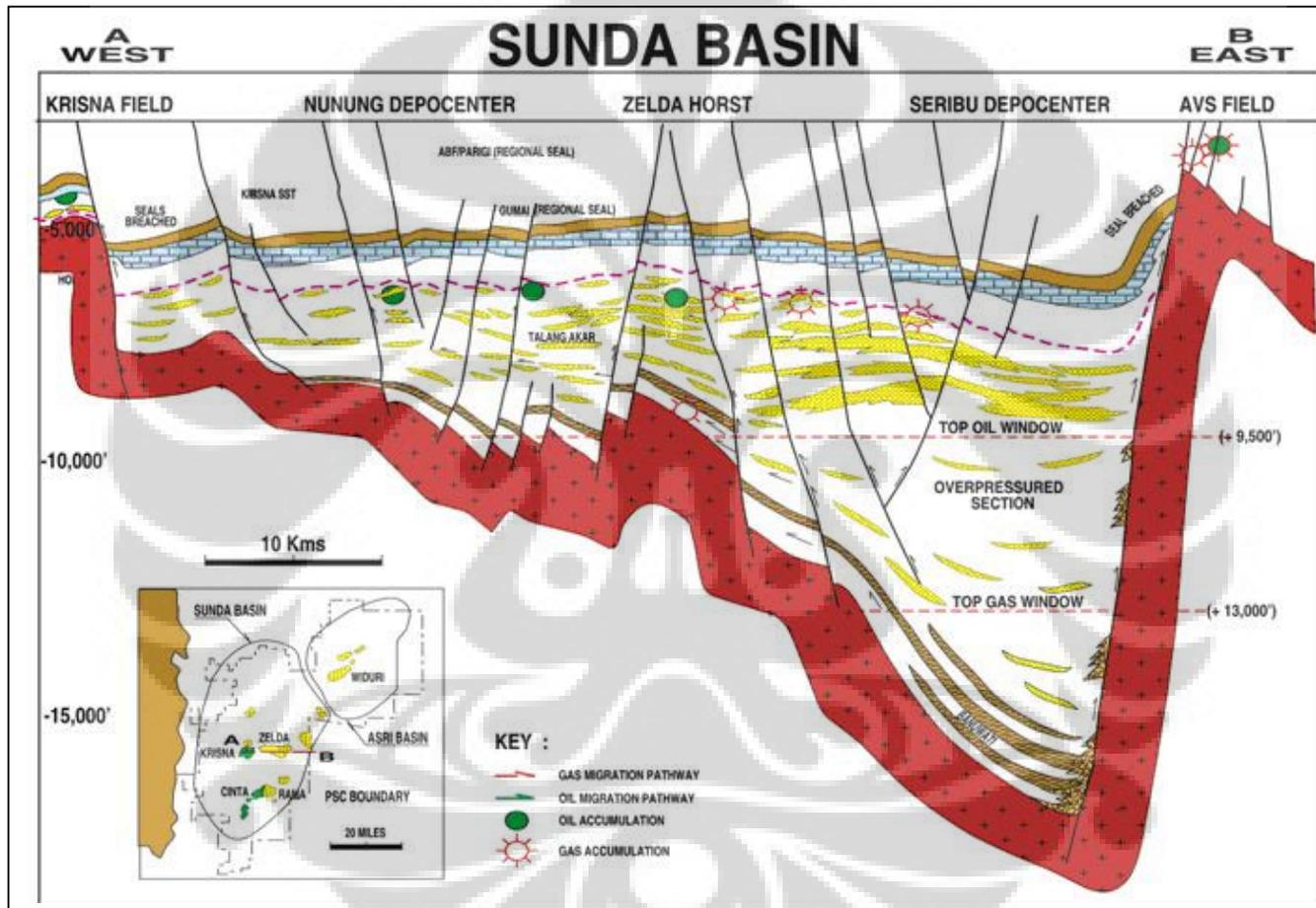
- ***Formasi Air Benakat dan Cisubuh***

Pada formasi ini terdapat *claystone* dan *mudstone* yang diendapkan di atas formasi Gumai yang juga merupakan bagian dari *seal* regional pada daerah dimana Seal Gumai tererosi.

- ***Sesar***

Sesar-sesar yang terdapat pada cekungan Sunda dapat berpotensi baik sebagai seal ataupun juga sebagai penyalur migrasi hidrokarbon pada kondisi yang memungkinkan. Namun hal ini masih belum dapat dipastikan secara jelas, kapan dan bagaimana kondisi di atas terjadi.

Secara umum sistem jebakan yang ada di cekungan Sunda berupa jebakan stratigrafi, struktur dan kombinasi keduanya. Jebakan-jebakan ini dibedakan satu dengan lainnya berdasarkan asosiasinya dengan struktur yang ada. Jebakan stratigrafi penting yang ditemukan di cekungan ini antara lain jebakan batupasir *fluvial point bar* dan *build-up* karbonat transgresif. Sedangkan jebakan-jebakan yang berasosiasi dengan struktur diantaranya adalah jebakan yang berasosiasi dengan *horst* dan busur pada bagian tengah dari cekungan. *Horst* selatan dan busur Cinta-Rama merupakan salah satu contohnya, dimana hidrokarbon terjebak di bagian bawah dan atas dari anggota gamping karbonat transgresif Batu Raja dan batu pasir fluvial Talang Akar. Jebakan juga berasosiasi dengan tinggian *Basement* dan basement *up-lift*, sehingga batuan reservoir Talang Akar atau karbonat *build-up* Batu Raja di atasnya akan sangat berpotensi mengandung hidrokarbon. Selain hal diatas, jebakan juga berpotensi di bagian dalam cekungan. Reservoir dan asosiasi jebakan terdalam di cekungan Sunda adalah akumulasi kipas *alluvial* dari deposenter Yani.



Gambar 1.4 Penampang regional barat-timur menunjukkan Petroleum System di Cekungan Sunda

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Amplitude Versus Offset (AVO)

Konsep AVO timbul tatkala terjadi suatu keadaan dimana amplitudo gelombang refleksi bertambah besar sejalan dengan membesarnya jarak (*offset*) dari sumber gelombang terhadap penerima, ketika gelombang seismik dipantulkan oleh suatu bidang batas atau reflektor pada suatu keadaan tertentu. Pada hakekatnya AVO merupakan suatu anomali amplitudo, yaitu perubahan amplitudo seiring dengan bertambahnya jarak. Dalam implementasi secara matematis, membesarnya *offset* merupakan membesarnya sudut datang (*angle of incidence*), sehingga AVO disebut juga sebagai AVA (*Amplitude Variation with Angle*). Batas maksimum jarak adalah jarak yang bersesuaian dengan sudut datang kritis yaitu sudut datang dimana amplitudo tepat tidak akan membesar dengan bertambahnya jarak.

Apabila gelombang seismik P yang datang pada keadaan normal (vertikal) mengenai batas antara dua litologi batuan yang memiliki perbedaan nilai impedansi akustik ($AI = \text{densitas} \times \text{kecepatan gelombang seismik}$), maka gelombang tersebut akan terpantulkan dan memiliki nilai koefisien refleksi sebagai berikut:

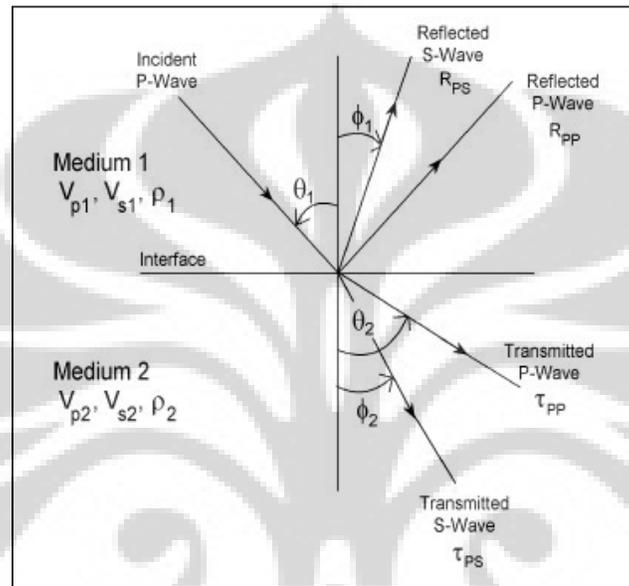
$$KR_i = \frac{AI_{(i+1)} - AI_i}{AI_{(i+1)} + AI_i} \quad (3.1)$$

dimana,

- KR_i : koefisien refleksi lapisan ke-i,
- AI_i : impedansi akustik lapisan ke-i,
- $AI_{(i+1)}$: impedansi akustik lapisan ke-i+1.

Pada saat gelombang P yang datang mengenai batas antara dua lapisan tidak pada keadaan vertikal, maka akan terjadi konversi dari gelombang datang P menjadi empat mode konversi yaitu refleksi gelombang P (R_{pp}), refleksi gelombang S (R_{ps}),

transmisi gelombang P (T_{pp}), dan transmisi gelombang S (T_{ps}). Dengan demikian, besarnya koefisien refleksi bergantung dari kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang S (V_s), dan densitas (ρ) dari setiap lapisan. Variasi dari koefisien refleksi dan koefisien transmisi yang berhubungan dengan peningkatan *offset* atau sudut datang inilah yang selanjutnya akan menjadi dasar untuk analisa AVO.



Gambar 2.1 Mode konversi gelombang pada bidang batas lapisan

Berdasarkan dari mode konversi tersebut, telah diturunkan beberapa perumusan untuk menentukan koefisien refleksi yang berhubungan dengan refleksi gelombang P saja (R_{pp}) pada sudut tertentu, diantaranya adalah :

2.1.1 Persamaan Zoeppritz

Knott (1899) dan *Zoeppritz* (1919) menurunkan nilai koefisien refleksi dan transmisi dengan mengamati *stress* dan *displacement* yang terjadi disepanjang batas lapisan antara dua media baik pada arah normal maupun tangensial. Hasilnya adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} Rp \\ Rs \\ Tp \\ Ts \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta_1 & -\cos\theta_1 & \sin\theta_2 & \cos\theta_2 \\ \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 \\ \sin 2\theta_1 & \frac{V_{p1}}{V_{s1}} \cos 2\theta_1 & \frac{\rho_2 V_{s2}^2 V_{p1}}{\rho_2 V_{s1}^2 V_{p2}} \cos 2\theta_1 & \frac{\rho_2 V_{s2} V_{p1}}{\rho_1 V_{s1}^2} \cos 2\theta_2 \\ -\cos 2\theta_1 & \frac{V_{s1}}{V_{p1}} \sin 2\theta_1 & \frac{\rho_2 V_{p2}}{\rho_1 V_{p1}} \cos 2\theta_2 & -\frac{\rho_2 V_{s2}}{\rho_1 V_{p1}} \sin 2\theta_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sin\theta_1 \\ \cos\theta_1 \\ \sin 2\theta_1 \\ \cos 2\theta_1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

2.1.2 Persamaan Aki-Richard

Persamaan *Zoeppritz* di atas dapat secara baik menurunkan nilai amplitudo refleksi gelombang P sebagai fungsi sudut datang, namun tidak memberikan hubungan secara intuitif dari amplitudo yang berhubungan dengan berbagai parameter fisis. Maka *Aki-Richard* melakukan penyederhanaan dengan melakukan linearisasi dan menuliskannya kembali dalam tiga bentuk utama yaitu bentuk pertama terkait dengan V_p , bentuk kedua terkait dengan densitas dan bentuk ketiga terkait dengan V_s .

$$R(\theta) = a \frac{\Delta V_p}{V_p} + b \frac{\Delta \rho}{\rho} + c \frac{\Delta V_s}{V_s} \quad (3.3)$$

dimana:

$$\begin{aligned} a &= 1 / (2 \cos^2 \theta), \\ b &= 0.5 - [2(V_s^2/V_p^2) \sin^2 \theta], \\ c &= -4(V_s^2/V_p^2) \sin^2 \theta, \\ V_p &= (V_{p1} + V_{p2})/2, \\ V_s &= (V_{s1} + V_{s2})/2, \\ \rho &= (\rho_1 + \rho_2)/2, \\ \theta &= (\theta_1 + \theta_2)/2, \\ \Delta V_p &= V_{p2} - V_{p1}, \\ \Delta V_s &= V_{s2} - V_{s1}, \\ \Delta \rho &= \rho_2 - \rho_1 \end{aligned}$$

Wiggins melakukan penyederhanaan kembali dari persamaan *Aki-Richard* dengan menuliskannya kedalam tiga parameter yaitu A, B, dan C. Persamaan ini secara intuitif masih sama dengan persamaan *Aki-Richard* hanya saja memiliki kelebihan untuk menganalisa AVO lebih mudah.

$$R(\theta) = A + B \sin^2 \theta + C \sin^2 \theta \tan^2 \theta \quad (3.4)$$

dengan,

$$A = R_p = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta V_p}{V_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right]$$

$$B = \text{Gradien} = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} - 4 \left[\frac{V_s^2}{V_p^2} \right] \frac{\Delta V_s}{V_s} - 2 \left[\frac{V_s^2}{V_p^2} \right] \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$C = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p}$$

Suku pertama, A, merupakan nilai koefisien refleksi gelombang P pada sudut normal, besarnya A ini dipengaruhi oleh kecepatan gelombang P (V_p) dan densitas (ρ). A ini sering pula disebut sebagai *intercept*. Suku yang kedua, B, merupakan gradien yang dikalikan dengan faktor $\sin^2\theta$, memperlihatkan perubahan nilai koefisien refleksi untuk setiap sample waktu sebagai fungsi dari *offset*. Nilai gradien inilah yang akan memperlihatkan keberadaan dari anomali AVO. Besarnya gradien ini sangat dipengaruhi oleh kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang S (V_s), dan densitas (ρ) dari masing-masing lapisan. Sedangkan suku yang ketiga, C, adalah kurvatur, besarnya nilai dari kurvatur hanya dipengaruhi oleh kecepatan gelombang P (V_p) saja. Kurvatur ini dikalikan dengan faktor $\sin^2\theta \tan^2\theta$ dan tidak memiliki kontribusi yang cukup signifikan untuk analisa AVO pada sudut datang yang kurang dari 30° .

2.1.3 Persamaan Shuey

Shuey (1985) menuliskan persamaan Aki-Richard kedalam tiga parameter utama yaitu kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang S (V_s), dan poisson's ratio (σ). Nilai poisson's ratio inilah yang akan menjadi gradien dari respon amplitudo terhadap jarak. Poisson's ratio dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini,

$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 2}{2 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 2} \quad (3.5)$$

Bentuk dari persamaan *Shuey* itu sendiri adalah sebagai berikut:

$$R(\theta) = R_p + \left(R_p A_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma)^2} \right) \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} (\tan^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (3.6)$$

dimana,

$$\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 \text{ dan } \Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$$

$$A_0 = B_0 - 2(1 + B_0) \frac{1 - 2\sigma}{1 - \sigma}$$

$$B_0 = \frac{\Delta V_p / V_p}{\Delta V_p / V_p + \Delta\rho / \rho}$$

persamaan ini sebenarnya sama dengan persamaan yang ditulis oleh *Wiggins*, hanya saja berbeda dalam penulisan bentuk gradiennya. *Shuey* menuliskan gradien AVO sebagai:

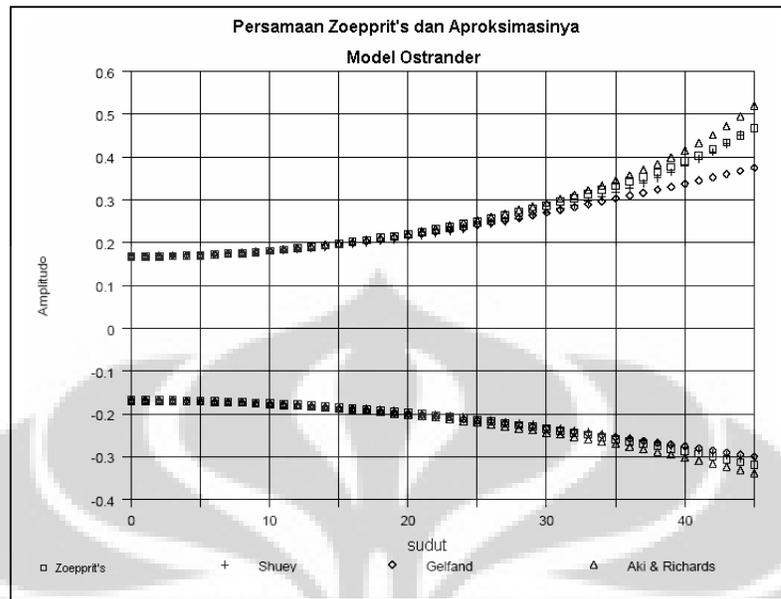
$$B = R_p A_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma)^2} \quad (3.7)$$

dimana gradien AVO lebih dikontrol oleh poisson's ratio (σ), penurunan nilai poisson's ratio berarti nilai gradiennya negatif sedangkan untuk peningkatan poisson's ratio akan memiliki gradien positif. Pada saat $\tan^2\theta = \sin^2\theta$, maka persamaan 3.6 akan linier pada $\sin^2\theta$ sehingga persamaannya akan berbentuk,

$$R(\theta) = R_p + B \sin^2\theta \quad (3.8)$$

Wiggins memperlihatkan jika $V_p/V_s = 2$ ($\sigma = 1/3$), maka gradiennya adalah sebagai berikut:

$$B = R_p - 2R_s \quad (3.9)$$



Gambar 2.2 Perbandingan penentuan amplitudo refleksi dari persamaan Zoeppritz dan pendekatannya (Russel, 1998)

2.2 Transformasi Offset Terhadap Sudut

Persamaan *Zoeppritz* dan *Shuey* keduanya sangat bergantung terhadap sudut datang dari gelombang seismik, sedangkan data seismik terekam dalam domain *offset*, sehingga harus dilakukan transformasi dari domain *offset* menjadi domain sudut datang. Transformasi dari *offset* terhadap sudut dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\tan \theta = \frac{X}{2Z} \quad (3.10)$$

dengan,

θ : Sudut kritis

X : Jarak

Z : Kedalaman

Jika kecepatan pada zona target diketahui maka persamaan 3.10 dapat ditulis sebagai berikut:

$$Z = \frac{V \cdot t_0}{2} \quad (3.11)$$

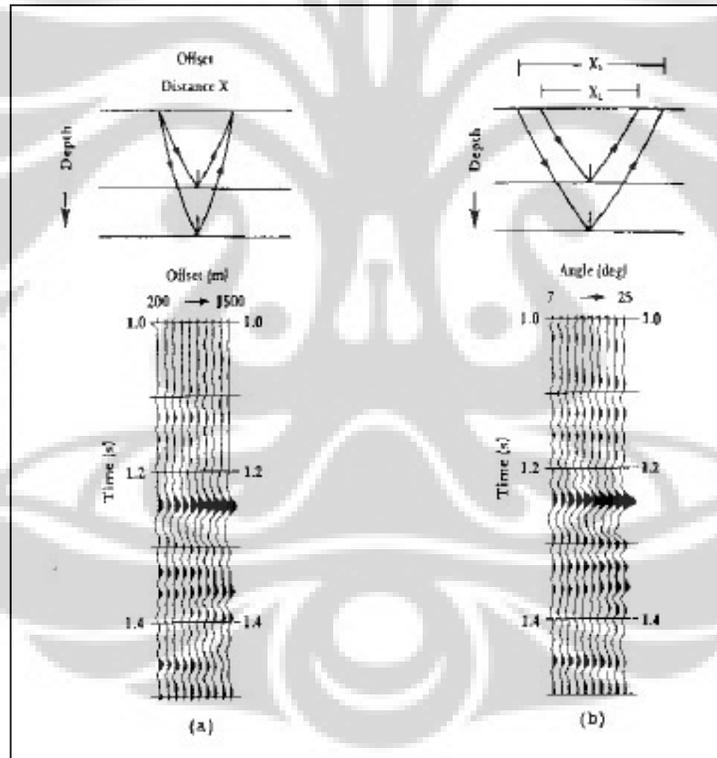
dengan,

V = Kecepatan (RMS atau rata-rata)

t_0 = Waktu tempuh total pada *zero offset*

dengan melakukan substitusi dari persamaan 3.11 ke persamaan 3.10, maka :

$$\tan \theta = \frac{X}{Vt_0} \text{ atau } \theta = \arctan\left(\frac{X}{Vt_0}\right) \quad (3.12)$$



Gambar 2.3 (a) Respon AVO, (b) Respon AVA

2.3 Persamaan Biot-Gassman

Biot (1956) dan *Gassman* (1951) secara terpisah mengembangkan teori penjalaran gelombang dalam batuan tersaturasi yang bergantung kepada modulus

bulk, modulus geser, dan densitas, sebagai berikut:

$$Vp^2 = \frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho_b} \quad (3.13)$$

$$Vs^2 = \frac{\mu}{\rho_b} \quad (3.14)$$

dimana :

ρ_b = Densitas batuan

K = Modulus bulk solid

μ = Shear modulus

Persamaan 3.13 adalah persamaan untuk benda padat sempurna. Sedangkan untuk medim berpori berisi fluida persamaan 3.13 akan berubah dengan menguraikan modulus bulk yang terdiri dari modulus bulk saat kering (k_d) ditambah modulus bulk dari bagian yang terisi fluida (k_f) persamaan 3.13 berubah menjadi sebagai berikut:

$$Vp = \left[\left\{ \left(k_d + \frac{4}{3}\mu \right) + \frac{k_f \left(1 - \frac{k_d}{k_m} \right)^2}{\left(1 - \frac{k_f}{k_m} \right) \phi + (k_m - k_d) \frac{k_f}{k_m}} \right\} \frac{1}{\rho_b} \right]^{1/2} \quad (3.13a)$$

$$Vs = \left[\frac{\mu}{\phi \rho_f + (1 - \phi) \rho_m} \right]^{1/2} \quad (3.14a)$$

terlihat bahwa,

$$\rho_b = \phi \rho_f + (1 - \phi) \rho_m \quad (3.15)$$

dengan ϕ adalah porositas, ρ_f dan ρ_m adalah densitas fluida dan matriks dan k_m adalah modulus bulk matriks

Persamaan 3.15 ini merupakan bentuk dasar untuk evaluasi porositas bagi persamaan 3.13 dan 3.14. Jika persamaan 3.13 dibagi dengan persamaan 3.14 maka akan didapat hubungan sederhana antara pori-pori modulus Kp dan $(Vp/Vs)^2$ sebagai

berikut:

$$\frac{Vp^2}{Vs^2} = \frac{Kp}{\mu} + \frac{Kb}{\mu} + \frac{4}{3} \quad (3.16)$$

Murphy (1993) menunjukkan pada batupasir yang bersih dimana porinya terisi gas terdapat adanya hubungan ketergantungan antara bulk modulus dan shear modulus, dimana rasio antara Kb/μ didapat nilai yang konstan yaitu 0.9, Sedangkan rasio $Kp/\mu=0$. Dengan demikian nilai Vp/Vs untuk batuan yang terisi gas adalah 1.5. Hubungan Kb dan μ ini dapat digunakan untuk merubah modulus fluida pengisi pori Kf . Pada persamaan 3.16, jika $Kb = 0.9\mu$ harga Kp akan berhubungan dengan ρb , Vp , dan Vs yang dituliskan sebagai berikut:

$$Kp = \rho b (Vp^2 - 2.2333Vs^2) \quad (3.17)$$

Berdasarkan persamaan *Biot-Gassman* harga Kp adalah :

$$Kp = \frac{\alpha^2}{\frac{(\alpha - \Phi)}{Km} + \frac{\Phi}{Kf}} \quad (3.18)$$

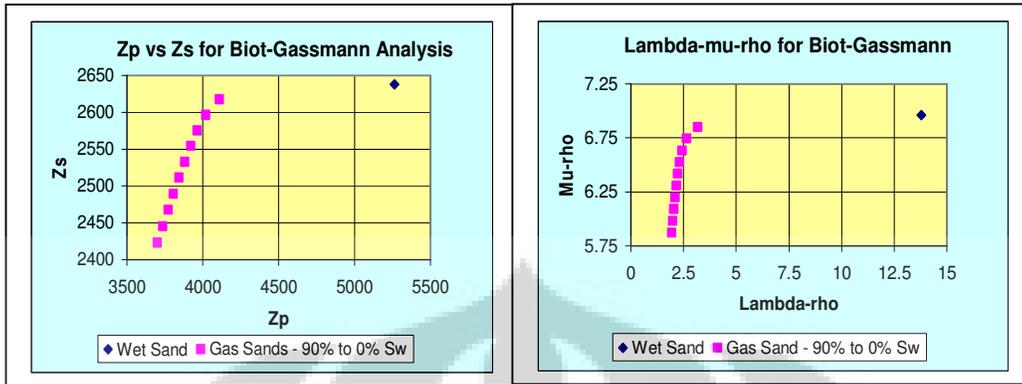
Dengan $\alpha = 1 - Kb/Km$ yang menunjukkan hubungan relatif antara kerangka dengan solid. Km adalah modulus dari matriks atau butir batuan yang harganya 36 MPa untuk pasir kwarsa, sedangkan harga Kp terukur dari persamaan 3.17. Dengan demikian harga Kf dari persamaan 3.18 adalah :

$$Kf = \frac{\Phi \cdot Km \cdot Kp}{\alpha^2 Km - (\alpha - \Phi) Kp} \quad (3.19)$$

$$\frac{Ksat}{Km - Ksat} = \frac{Kdry}{Km - Ksat} + \frac{Kfl}{\Phi(Km - Kfl)} \quad (3.20)$$

$$\mu sat = \mu dry$$

Persamaan *Biot-Gassman* ini digunakan pada saat substitusi fluida untuk memperkirakan harga Vp dan Vs batuan yang tersaturasi oleh fluida baru, persamaan *Biot-Gassman* ini mengasumsikan bahwa bulk modulus konstan.



Gambar 2.4 Analisa Biot-Gassman terhadap impedansi P dan S serta konstanta Lamé
(Goodway, 1997-simplified)

2.4 Respon AVO

Prediksi respon AVO dapat diketahui dengan melakukan *crossplot* antara reflektivitas terhadap *offset* atau sudut datang, nilai dari *intercept* direpresentasikan dari perubahan nilai impedansi akustiknya, sedangkan nilai dari gradiennya direpresentasikan dalam perubahan dari nilai poisson's ratio-nya. Dengan melihat beberapa kondisi perubahan impedansi akustik dan poisson's ratio, maka prediksi dari respon AVO dapat dilihat pada tabel 2.1.

ACOUSTIC IMPEDANCE	POISSON'S RATIO	RELATIVE AMPLITUDE	ABSOLUTE AMPLITUDE	AI	σ	AVO
↑	↑	↑	↑	↙	↙	
↑	↓	↓	↓	↙	↘	
↓	↓	↓	↑	↘	↘	
↓	↑	↓	↑	↘	↙	

Tabel 2.1 Respon AVO berdasarkan Impedansi Akustik dan Perubahan Poisson's Ratio
(Russel, 1998. Modified by Furniss, 2000)

2.5 Klasifikasi AVO

Rutherford dan *Williams* (1989) membagi anomali AVO menjadi beberapa kelas, yang selanjutnya dimodifikasi oleh *Ross* dan *Kinmann* (1995), dan *Castagna* (1997). Klasifikasi ini dilakukan pada reservoir batupasir berdasarkan nilai kontras impedansi akustik adalah sebagai berikut :

1. Kelas 1 : batupasir gas dengan kontras AI tinggi

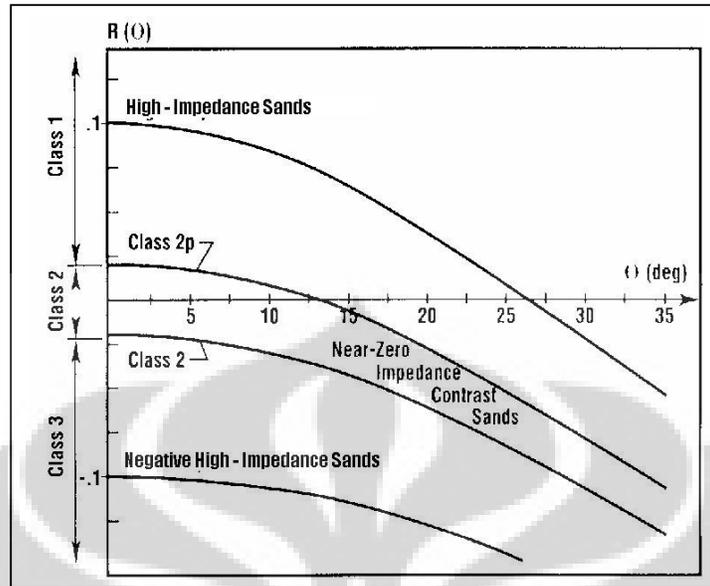
Batupasir kelas ini ditandai dengan impedansi akustik yang relatif tinggi dibandingkan dengan penutupnya. Batas antara batulempung dengan batupasir akan memiliki koefisien refleksi positif dan tinggi. Pada *zero offset* ditandai dengan amplitudo positif dan mengalami penurunan nilai amplitudo terhadap peningkatan *offset*. Batupasir kelas ini terkompaksi dan terkonsolidasi sedang hingga tinggi.

2. Kelas 2 : batupasir gas dengan kontras AI mendekati nol

Batupasir pada kelas ini ditandai dengan perbedaan AI yang hampir sama dengan batuan penutupnya. Pada *zero offset* akan ditandai dengan nilai amplitudo positif yang lemah dan pada *offset* tertentu akan terjadi polarisasi menjadi negatif dan semakin negatif dengan peningkatan *offset* (kelas 2p). Untuk batupasir yang memiliki nilai AI yang lebih negatif, pada *zero offset* akan memiliki nilai amplitudo yang negatif dan semakin negatif dengan peningkatan *offset* (kelas 2). Batupasir kelas ini merupakan batupasir yang terkompaksi dan terkonsolidasi sedang.

3. Kelas 3 : batupasir gas dengan kontras AI rendah

Batupasir pada kelas ini memiliki nilai AI lebih rendah dari penutupnya. Pada *zero offset* ditandai dengan amplitudo negatif besar dan semakin negatif dengan peningkatan *offset*. Batupasir ini merupakan batupasir yang tidak terkompaksi dengan baik.



Gambar 2.5 Klasifikasi anomali amplitudo yang dibuat oleh Rutherford a Williams dan dimodifikasi oleh Ross and Kinman (1995) dan Castagna

2.6 Atribut AVO

Atribut-atribut AVO sangat berguna dalam peningkatan interpretasi, evaluasi reservoir, dan delineasi dari keberadaan hidrokarbon. Ada beberapa atribut AVO yang diturunkan dari AVO *prosesing* diantaranya adalah:

- *Intercept* dan *gradient*
- *Offset* atau *Angle Limited Stack*
- Inversi Impedansi Elastik
- Ekstraksi reflektifitas R_p dan R_s
- Inversi R_p dan R_s untuk memperoleh Z_p dan Z_s
- Kombinasi dari Z_p dan Z_s (contoh, $\lambda\mu\rho$)

2.7 Lambda-Mu-Rho ($\lambda\mu\rho$)

Atribut AVO R_p dan R_s diturunkan dari hubungan antara V_p dan V_s , untuk kasus gas R_p dan R_s dapat diestimasi dari V_p , V_s , dan ρ dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_p = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta V_p}{V_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right] \quad (3.21)$$

$$R_s = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta V_s}{V_s} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right] \quad (3.22)$$

dimana R_p merupakan reflektivitas pada *zero offset* atau dengan kata lain R_p adalah intercept. Apabila diasumsikan $V_p/V_s=2$, maka gradien $(G)=R_p-2R_s$. Dengan demikian dapat diketahui bahwa $R_s=(R_p-G)/2$. Reflektivitas R_p dan R_s ini selanjutnya dapat diinversikan untuk mendapatkan impedansi P (I_p) dan juga impedansi S (I_s). Kombinasi antara I_p dan I_s dapat digunakan untuk menurunkan parameter elastik *Lame*, λ - μ - ρ ($\lambda\mu\rho$).

λ (λ) merupakan parameter elastik yang berkaitan erat dengan inkompresibilitas atau modulus bulk. Nilai λ sangat sensitif terhadap tipe fluida pori pada batuan. Sedangkan μ (μ) atau modulus geser, adalah parameter elastik yang sangat berkaitan dengan rigiditas. μ mengukur resistensi deformasi geser dan sangat sensitif terhadap tipe matriks suatu batuan. Kaitannya dengan analisa AVO, *Goodway et. al (SEG expanded abstract, 1997)*, memberikan suatu pendekatan terhadap inversi AVO berdasarkan konstanta $\lambda\mu$ dan densitas (ρ) yang dikenal dengan pendekatan $\lambda\mu\rho$, dengan teori sebagai berikut:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (3.23)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (3.24)$$

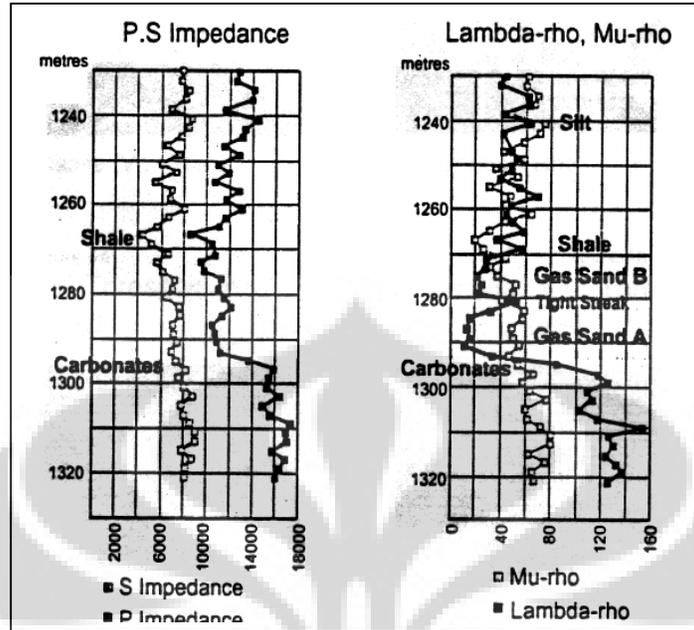
sehingga,

$$Z_s^2 = (\rho V_s)^2 = \mu\rho$$

$$Z_p^2 = (\rho V_p)^2 = (\lambda + 2\mu)\rho$$

$$\lambda\rho = Z_p^2 - Z_s^2$$

Sebagai ilustrasi plot konstanta $\lambda\mu$ yang dilakukan *Goodway* terlihat pada gambar (Gambar 2.6)



Gambar 2.6 Plot Impedansi P dan impedansi S Konstanta Lamé untuk membedakan batupasir berisi gas dengan batulempung. (Goodway 1997)

2.8 Inversi Seismik

Seismik inversi adalah suatu teknik untuk membuat model geologi bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono, 2000). Rekaman seismik pada dasarnya merupakan hasil konvolusi antara koefisien refleksi dengan wavelet yang sering disebut sebagai pemodelan kedepan (*forward modelling*). Sedangkan pemodelan ke belakang (*inverse modelling*) merupakan proses dekonvolusi antara seismik dengan wavelet yang menghasilkan koefisien refleksi. Penampang impedansi akustik akan memberikan gambaran bawah permukaan secara lebih detail bila dibandingkan dengan penampang seismik konvensional, koefisien refleksi pada penampang konvensional menggambarkan batas lapisan sedangkan impedansi akustik akan menggambarkan lapisan itu sendiri. Tras seismik merupakan konvolusi antara koefisien refleksi dengan *wavelet* seperti ditunjukkan pada persamaan berikut ini:

$$s(t) = KR(t) * w(t) \quad (3.25)$$

dengan,

- $s(t)$ = Tras seismik,
- $KR(t)$ = Koefisien refleksi,
- $w(t)$ = Wavelet seismik.
- $*$ = Proses konvolusi

Koefisien refleksi yang didapat dari bumi ini bersifat *unlimited*, sedangkan wavelet seismik *bandlimited*, dengan demikian pada saat kedua besaran tersebut dikonvolusikan maka akan menghasilkan tras seismik yang *bandlimited* pula. Dengan demikian ada kisaran frekuensi rendah dan tinggi yang hilang. Pada saat akan melakukan inversi sangatlah harus melakukan *recovery* terhadap frekuensi yang hilang tadi, karena apabila tidak dilakukan akan mengakibatkan nilai impedansi akustik yang dihasilkan tidaklah benar, selain itu resolusi dan model yang dihasilkan juga menjadi tidak benar. Metoda inversi ini akan digunakan pada saat menginversikan R_p dan R_s menjadi I_p dan I_s yang akan dijadikan input untuk menurunkan parameter elastik lame Lambda-Mu-Rho ($\lambda\mu\rho$)

2.9 Teori Geostatistik

Geostatistik adalah suatu studi atas suatu fenomena yang beragam dalam ruang dan atau waktu. Geostatistik dapat dianggap sebagai suatu kumpulan teknik numerik yang berkaitan dengan karakterisasi atribut spasial, yang menggunakan model random yang serupa dengan penggunaan deret waktu dalam mengkarakterisasi data temporal. Geostatistik juga berkaitan dengan data yang ter-autokorelasi secara spasial, seperti fasies, ketebalan reservoir, porositas dan permeabilitas. Komponen geostatistik dasar meliputi: analisa *Variogram* dan *Semi-variogram*, Kriging, dan Simulasi *stochastic*.

2.9.1 Variogram

Variogram adalah metoda untuk mendeskripsikan variasi spasial dari suatu properti reservoir berdasarkan prinsip bahwa sample yang terpisah secara dekat memiliki nilai korelasi yang lebih besar dibanding dengan data yang jauh dari data lainnya atau dari data yang telah mencapai nilai korelasi minimum. Variogram juga

merupakan suatu plot keragaman dalam konteks semi-varian terhadap jarak separasi. Dengan melakukan analisa variogram pada data input, hasilnya dapat digunakan untuk memodelkan properti data dan mempertahankan variasi spasial pada model yang telah ada. Pada analisa variogram diperlukan data yang stasioner, atau dengan kata lain, rata-rata lokal sama dengan rata-rata umum dimana semua tren semu yang didapat harus dihilangkan sebelum analisa variogram dilakukan.

Komponen-komponen variogram adalah sebagai berikut:

- *Sample Variogram*

Variogram yang dihitung untuk suatu sample data set menggunakan suatu arah dan jarak separasi.

- *Model Variogram*

Suatu ekspresi matematika yang berkelanjutan yang digunakan untuk mendeskripsikan sample variogram.

- *Range*

Suatu batas dimana model variogram telah mencapai garis konstan

- *Sill*

Semi-varian dimana jarak separasi lebih besar dibandingkan dengan range. Menunjukkan variasi antara dua sample yang tidak berhubungan.

- *Nugget*

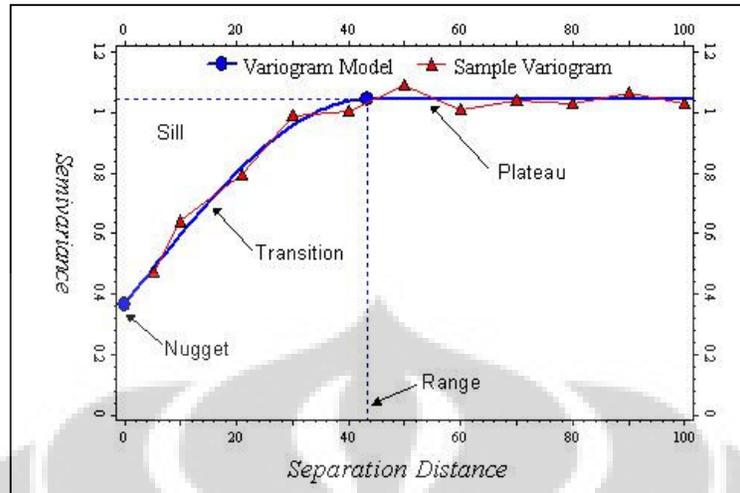
Semi variance dimana jarak separasi berharga nol. Menunjukkan variasi dalam skala yang pendek pada data.

- *Plateau*

Bagian dari model variogram dimana nilai penambahan pada jarak separasi tidak lagi mempengaruhi nilai variogram.

- *Transition*

Suatu model variogram yang mencapai *plateau* dapat disebut sebagai *model transition*.



Gambar 2.7 Komponen variogram (Petrel 2004)

2.9.2 Tipe Variogram

Beberapa tipe variogram yang dapat digunakan dalam mengkonstruksi variogram sample atau peta variogram diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Tipe Klasik

Tipe pengukurannya didefinisikan sebagai setengah rata-rata kuadrat dari selisih dua nilai data yang berbeda.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (x_i - y_i)^2 \quad (3.26)$$

dimana,

$\gamma(h)$: Nilai variogram

$N(h)$: Jumlah pasangan

x_i dan y_i : Nilai awal dan nilai akhir pasangan i

2. Tipe Relatif Pairwise

Pada tipe ini setiap pasangan dinormalisasi dengan nilai rata-rata kuadrat nilai data yang berpasangan. Metoda ini biasanya memberikan gambaran struktur spasial dan anisotropi yang tidak dapat diperoleh melalui metoda lainnya. Metoda ini hanya terbatas pada variabel positif.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \frac{(x_i - y_i)^2}{\left(\frac{x_i - y_i}{2}\right)^2} \quad (3.27)$$

3. Tipe Logaritmik

Pada tipe ini variogram dihitung dengan sifat logaritmik dari variabel-variabel aslinya.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [\ln(x_i) - \ln(y_i)]^2 \quad (3.28)$$

4. Tipe Semimadogram

Menggunakan metoda selisih absolut sebagai pengganti kuadrat selisih antara nilai pasangan data. Sangat membantu dalam struktur skala besar namun sebaiknya tidak digunakan untuk estimasi *nugget* variogram.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [\ln(x_i) - \ln(y_i)]^2 \quad (3.29)$$

2.9.3 Model Variogram

Beberapa model variogram antara lain:

1. Exponensial

Model ini sill (c) dicapai secara asyptotik dan range (a) ditentukan sebagai jarak dimana $\gamma(h) = 0.95c$

$$\gamma(h) = c \left[1 - \exp\left(-\frac{3h}{a}\right) \right] \quad (3.30)$$

dimana,

$$c = \text{Sill} - \text{Nugget}$$

2. Spherical

Model ini menghasilkan sifat linier pada jarak (h) yang sempit dan mencapai sill pada range (a) efektif. Range efektif sama dengan range aktualnya.

Jika $h \leq a$:

$$\gamma(h) = c \left[1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad (3.31)$$

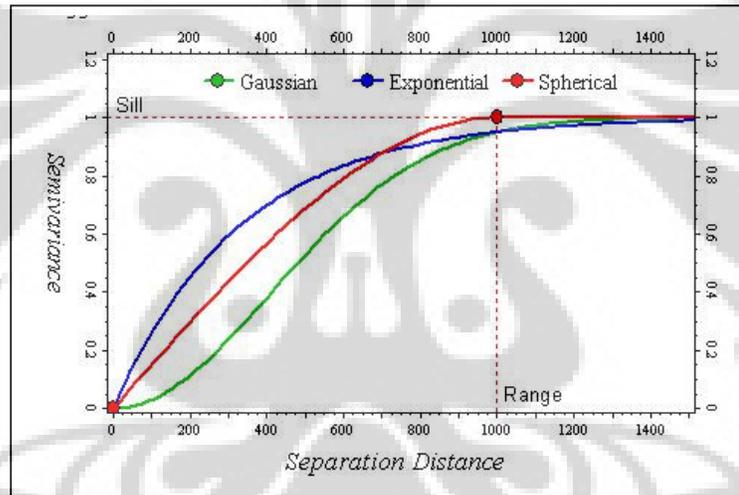
atau,

$$\gamma(h) = c$$

3. Gaussian

Model ini hampir sama dengan model ekponensial dengan sifat parabolik di dekat daerah asal dan model yang memiliki titik infleksi

$$\gamma(h) = c \left[1 - \exp\left(-\frac{3h^2}{a^2}\right) \right] \quad (3.32)$$



Gambar 2.8 Model Variogram (Petrel, 2004)

2.10 Multi Atribut Seismik

Atribut seismik didefinisikan sebagai ukuran spesifik geometri, kinematik, dinamik atau ciri statistik yang diturunkan dari data seismik (Q. Chen, S. Sidney, 1997). Terdapat banyak sekali atribut yang dapat diturunkan dari data seismik, seperti *instantaneous* amplitudo, *instantaneous* phase, dan *instantaneous* frekuensi, yang masing-masing memiliki atribut turunannya masing.

Dalam analisa menggunakan atribut seismik ini, dasar algoritma yang digunakan adalah algoritma regresi linier umum (*Generalized Linier Regression*) dengan menggunakan bobot konvolusi, dimana penentuan parameter tidak hanya menggunakan satu input sebagai mana yang terjadi pada regresi linier biasa, tetapi dapat digunakan lebih dari satu input dengan pembobotan.

Persamaan umum dari regresi linier umum dengan bobot konvolusi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = w_0 + w_1 * A_1 + w_2 * A_2 + \dots + w_n * A_n \quad (3.33)$$

dimana,

P = Properti log sumur

w_0 = Suatu konstanta

w_i = Filter konvolusi dengan panjang m , $i > 0$

A_i = Atribut seismik

Untuk satu *point* operator persamaan (3.33) dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = w_0 + w_1 \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

Jika digunakan tiga point operator, yaitu,

$$w_i = (w_i(-1)), w_i(0), w_i(1),$$

Maka persamaan (3.34) dapat dituliskan,

$$\begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = w_0 + w_{1(-1)} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ 0 \end{bmatrix} + w_{1(0)} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} + w_{1(1)} \begin{bmatrix} 0 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

dalam bentuk lain,

$$\begin{bmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \\ P4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I2 & I1 & 0 \\ I3 & I2 & I1 \\ I4 & I3 & I2 \\ 0 & I4 & I3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w1(-1) \\ w1(0) \\ w1(1) \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

dimana solusinya adalah,

$$\begin{bmatrix} w(-1) \\ w(0) \\ w(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=2}^4 I_i^2 & \sum_{i=2}^4 I_{i-1} & \sum_{i=2}^3 I_{i-2}^2 \\ \sum_{i=2}^3 I_{i+1}^2 & \sum_{i=1}^4 I_i^2 & \sum_{i=2}^4 I_{i-1} \\ \sum_{i=2}^2 I_{i+2} & \sum_{i=1}^3 I_{i+1} & \sum_{i=1}^3 I_i^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{i=2}^4 I P_{i-1} \\ \sum_{i=1}^4 I P_i^2 \\ \sum_{i=1}^3 I P_{i+1} \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

BAB III

PENGOLAHAN DATA AVO DAN GEOSTATISTIK

3.1. Persiapan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data riil yang terdapat di lapangan minyak “WGR” di cekungan Sunda. Data-data ini terdiri dari data seismik, data sumur dan peta-peta yang terdapat di cekungan Sunda serta data berupa laporan, *paper* penelitian sebelumnya yang penulis gunakan sebagai acuan. Data-data ini merupakan data kepemilikan CNOOC SES Ltd., salah satu perusahaan minyak bagi hasil dengan Bpmitas di Indonesia.

Data seismik yang digunakan berupa data seismik dalam format SEG-Y NMO (*Normal Move Out*) gather 3D seluas 26 km² yang telah diproses oleh processing center di Jakarta pada tahun 1991. Data ini memiliki total 211 *inline* dan 557 *crossline* dengan interval *inline* 25 m sebesar dan interval *crossline* sebesar 9 m. Selain data *gather*, data seismik ini juga dilengkapi data seismik *post-stack migration* untuk kepentingan interpretasi seismik yang meliputi interpretasi horizon dan interpretasi sesar (struktur). Untuk kepentingan penelitian ini, proses interpretasi seismik tidak dilakukan, karena horizon yang digunakan pada zona atau interval yang dijadikan penelitian telah dilakukan pada tahap sebelumnya.

Sedangkan data sumur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 12 data sumur lengkap dengan data logging yang telah diproses di *logging processing center* dilengkapi dengan *marker* geologi. Beberapa sumur dilengkapi dengan data *checkshot* yang digunakan untuk proses pengikatan sumur terhadap seismik. Adapun data sumur yang digunakan adalah:

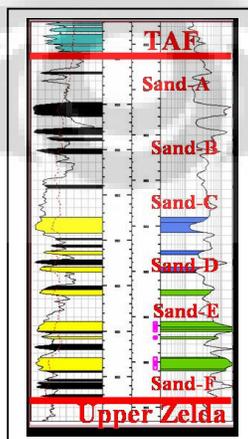
No	Sumur	Geometri
1	NW_A-02st	Deviated
2	NW_A-03	Deviated
3	NW_A-04st	Deviated
4	NW_A-05	Deviated
5	NW_B-01	Deviated
6	NW_B-02	Deviated
7	NW_B-04st3	Deviated
8	SW_W_A-03	Deviated
9	SW_W_A-05	Deviated
10	SW_W_A-06	Deviated
11	W_08	Vertical
12	W_10	Vertical

Tabel 3.1 Data sumur yang digunakan dalam penelitian

3.2. Pengolahan Data

Sebelum membahas pada tahap-tahap pengolahan data, perlu dijelaskan mengenai objektif dari pengolahan data yang dilakukan, disamping maksud dan tujuan yang ditelaah diuraikan pada bab sebelumnya.

Objektif dari penelitian dengan menggunakan metoda Join Inversi AVO dan Geostatistik ini adalah untuk memetakan properti fisik ($\lambda\rho$) dari suatu zona reservoir batupasir yang berkembang pada formasi Talang Akar (TAF) sehingga dapat diketahui penyebaran batupasir serta asosiasinya dengan hidrokarbon, terutamayang ada di daerah penelitian. Sebaran properti fisik pada formasi batupasir Talang Akar yang dihasilkan dari perhitungan inversi AVO akan dibandingkan dengan hasil yang sama yang diperoleh dari perhitungan metoda geostatistik.



Gambar 3.1 Target batu pasir formasi TAF

Secara umum lapisan batu pasir yang coba dipetakan propertinya adalah batupasir yang tipis dengan ketebalan maksimum 30 *feet*, perselingan antara batubara, batupasir, batu lempung pasiran dan batu lempung itu sendiri. Ketebalan reservoir batupasir ini pada umumnya berada di bawah resolusi seismik. Selain itu keterbatasan data log gelombang-S riil yang ada di sumur menyarankan dilakukannya tahap pembuatan pseudo log gelombang-S.

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Geofisika *Geoframe* versi 4.3 dari *Schlumberger* dan modul *Strata* dan *Ismap* versi 4.1 dari *Hampson-Russell Ltd.* Sedangkan untuk penulisan laporan digunakan perangkat lunak dari *Microsoft*.

Langkah-langkah pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.2.1. Data Loading

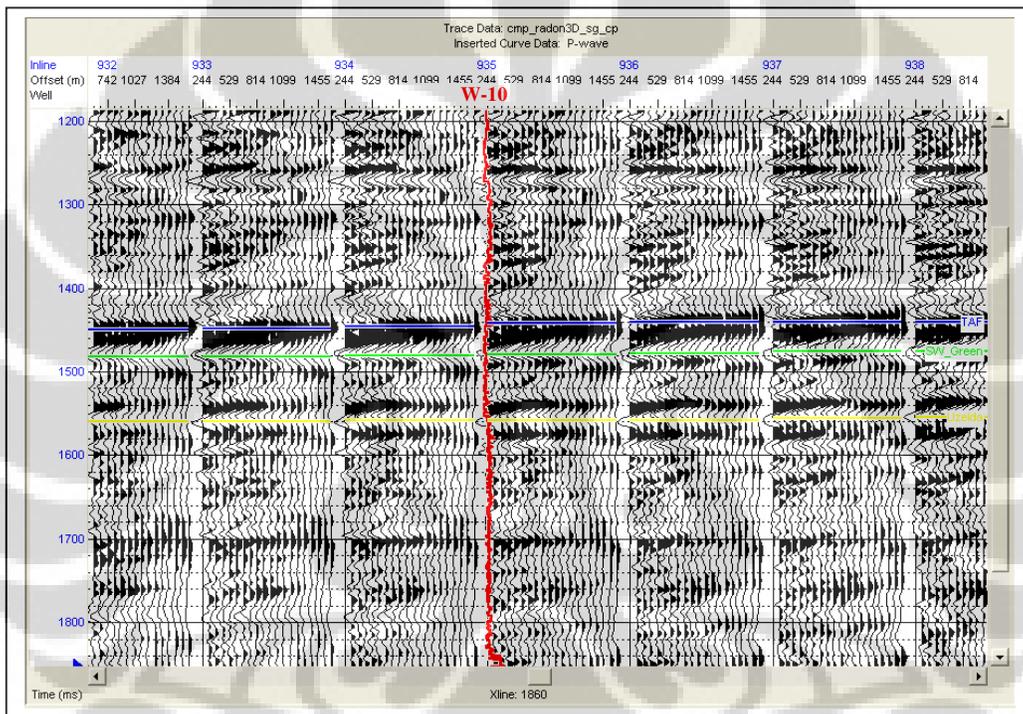
Pengolahan data dimulai dengan tahap loading data ke dalam perangkat lunak. Tahap ini meliputi loading data seismik dan data horison hasil interpretasi. Data seismik berupa data SEG-Y 32 Byte, sedangkan data horison dalam bentuk *ascii*. Untuk data log sumur tidak dilakukan loading secara manual, tetapi digunakan *project link* yang memungkinkan suatu database sumur dapat diakses, diduplikat, dan dibuat suatu *database* baru, untuk kemudian dibuat suatu proyek baru dimana semua data akan diintegrasikan dalam project tersebut, termasuk data seismik dan data log sumur.

3.2.2. Data Quality Control

Pada tahap ini dilakukan cek terhadap data yang telah di-*load* pada tahap sebelumnya, untuk memastikan apakah data telah diinput dengan benar dan siap untuk dilakukan proses selanjutnya. Pada tahap ini dilakukan *QC* terhadap data log sumur dan data seismik. Pengecekan data sumur meliputi data-data log yang diperlukan untuk proses analisa $\lambda\mu\rho$, yaitu data log sinar Gamma, log SP, log densitas, log kecepatan gelombang-P, log kecepatan gelombang-S dan data *checkshot*. Untuk analisa $\lambda\mu\rho$, data log kecepatan gelombang-S sangat diperlukan. Pada penelitian ini

terdapat satu sumur yang memiliki data log gelombang S yaitu sumur NW_B-04st3. Untuk kepentingan penelitian, maka log kecepatan gelombang-S untuk sumur-sumur lain akan dibuat dengan menggunakan teknik analisa multi atribut, yang nanti akan dijelaskan proses pengerjaannya pada sub-bab selanjutnya.

Untuk data seismik, hal yang di-*qc* meliputi orientasi survey seismik, nomor *inline* dan *crossline*, dan XY koordinat yang sangat berpengaruh dalam pengikatan dengan data sumur, serta *start-end time* data seismik.



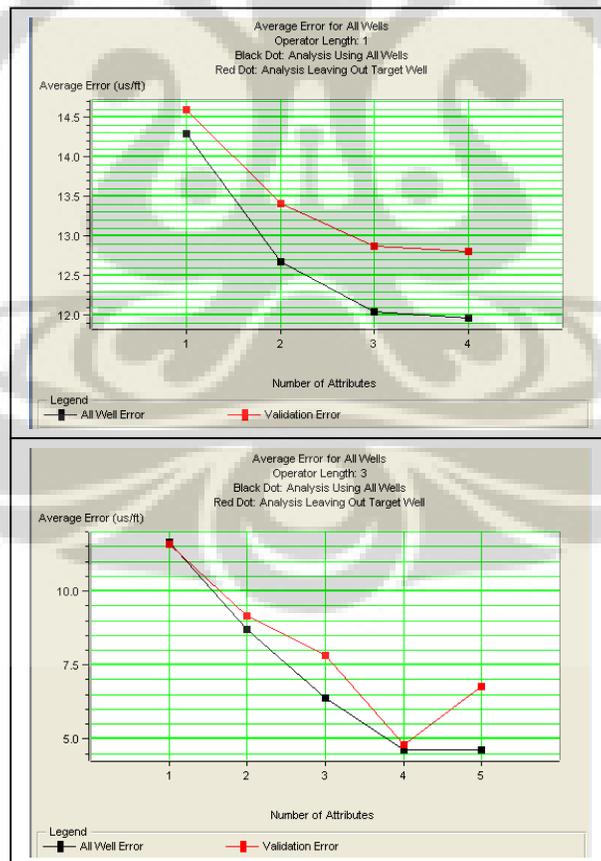
Gambar 3.2 Lintasan Seismik pre-stack (super gather) yang melau sumur W-10

3.2.3. Pseudo Log Sumur

Keterbatasan data log kecepatan gelombang-P dan log kecepatan gelombang-S mengharuskan dibuat suatu data *pseudo* data-data log tersebut. Dalam analisa inversi AVO $\lambda\mu\rho$ data-data kecepatan gelombang-S sangat mutlak diperlukan. Beberapa cara untuk menentukan kecepatan gelombang-S ini antara lain dengan menggunakan persamaan ARCO *mudline* yang memberikan hubungan antara kecepatan gelombang-P dan gelombang S, atau dengan menggunakan persamaan yang dibuat oleh Castagna.

Pada penelitian ini digunakan metoda analisa multi atribut untuk merekonstruksi *pseudo* log kecepatan gelombang S dari log-log lain yang ada di sumur. Dari analisa ini akan dipilih suatu atribut log yang memiliki nilai korelasi yang paling tinggi dengan nilai validasi eror terkecil. Atribut dengan kriteria tersebut kemudian diaplikasikan untuk semua sumur yang akan dibuatkan *pseudo* lognya.

Untuk analisa *pseudo* log kecepatan gelombang P diperoleh nilai korelasi atribut sebesar 0.84479 (Gambar 3.4). Sedangkan untuk *pseudo* log gelombang S diperoleh nilai korelasi sebesar 0.994587 (Gambar 3.5). Jumlah atribut dalam hal ini jumlah log lain yang digunakan adalah sebanyak empat atribut dimana pemilihan jumlah atribut ini dilakukan berdasarkan grafik validasi eror (Gambar 3.3) pada titik dimana grafik eror mulai menunjukkan nilai yang berubah dari eror mengecil ke eror yang perlahan berubah membesar. Titik perubahan nilai validasi ini menunjukkan jumlah atribut yang paling optimal untuk digunakan ke seluruh sumur.

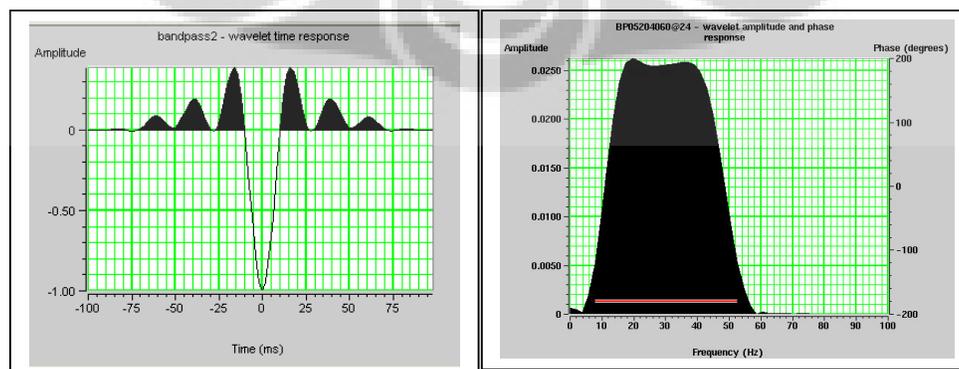


Gambar 3.3 Grafik error Analisa multi atribut seismik

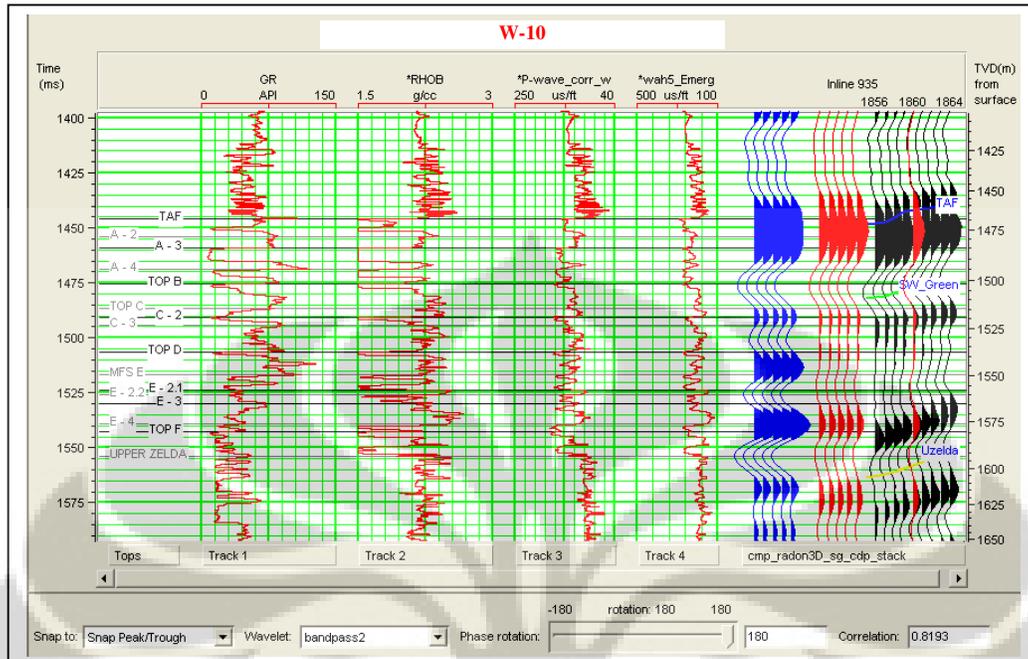
3.2.4. Pengikatan Data Sumur dan Data Seismik

Pada tahapan ini dilakukan pengikatan antara masing-masing data sumur dengan data seismiknya. Hal ini perlu dilakukan sebagai proses yang paling awal mengingat adanya perbedaan domain antara data sumur dan data seismik yang digunakan. Data sumur diakuisisi dan diproses dalam domain kedalaman (ft atau meter) sedangkan data seismik diakuisisi dan diproses dalam domain waktu (*second* atau *millisecond*). Untuk kepentingan ini, digunakan data *checkshot* yang berupa data/tabel hubungan antara waktu-kedalaman dari suatu titik koordinat sepanjang lubang bor. Pengikatan data sumur dengan data seismik ini bertujuan untuk memperoleh posisi yang tepat antara marker geologi dari suatu lapisan batuan dengan event seismik-nya, sehingga interval atau zona interest yang menjadi object penelitian dapat diproses dengan baik. Untuk kepentingan ini marker geologi yang digunakan adalah marker TAF, Top A, Top B, Top C, Top D, MFS E, Top F dan Upper Zelda, dimana zona interest dalam penelitian ini adalah dari top formasi Talang Akar (TAF) sampai Top formasi Upper Zelda.

Pengikatan data sumur dilakukan melalui suatu prosedur yang dinamakan “korelasi” yaitu proses pengikatan data sumur dengan data seismik dengan bantuan sintetik seismogram yang dihasilkan dari konvolusi antara wavelet dengan koefisien refleksi yang diturunkan dari data log kecepatan dan log densitas. Wavelet yang digunakan adalah wavelet bandpass yang diasumsikan sama dengan wavelet dari data seismik riil-nya. Sebagai contoh dalam ilustrasi gambar, korelasi yang dilakukan pada sumur W-10 dengan menggunakan wavelet bandpass adalah sebesar 0.8193



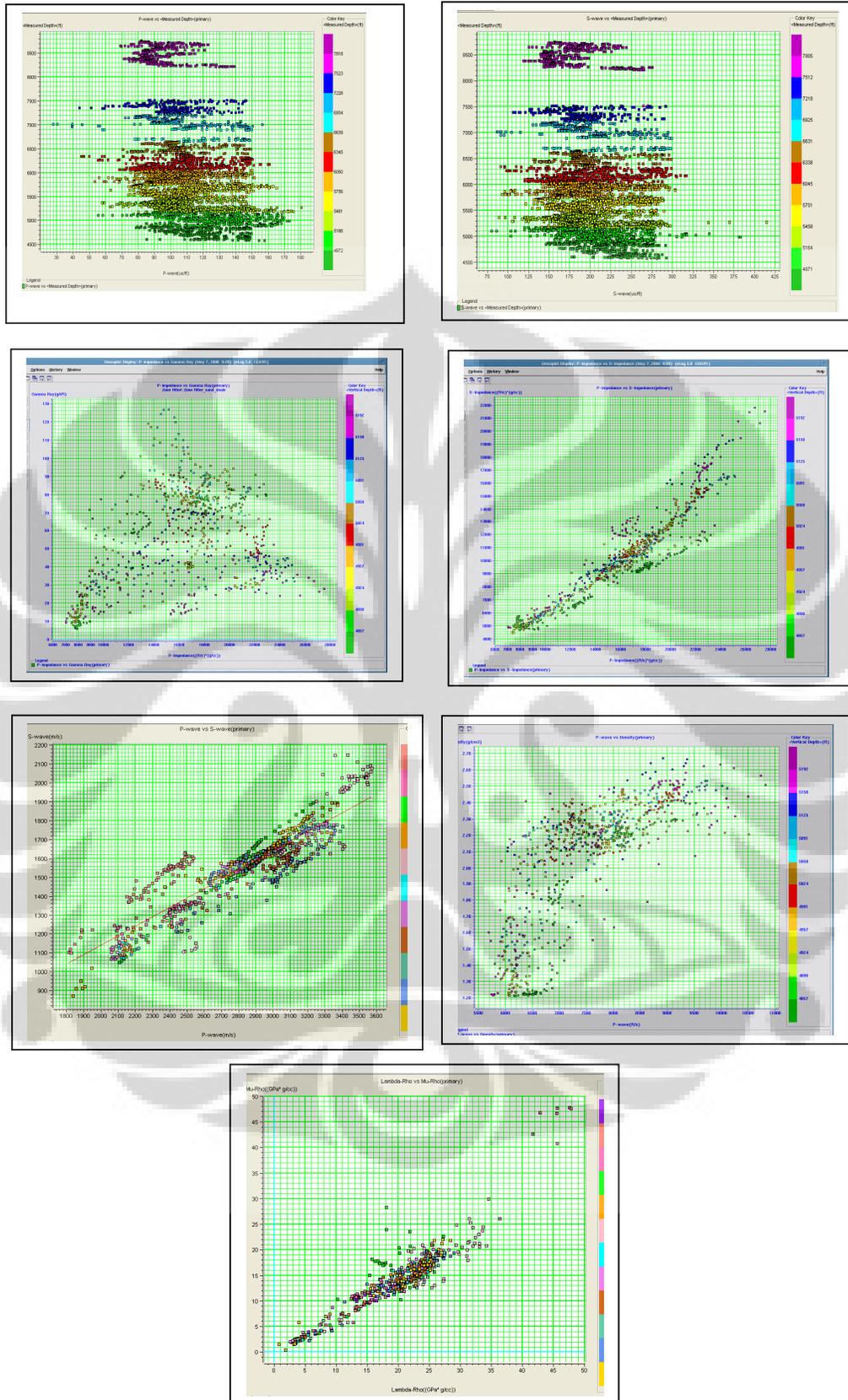
Gambar 3.6 Wavelet bandpass yang digunakan dalam penelitian dan spectrum frekuensinya



Gambar 3.7 Korelasi maksimum di sumur

3.2.5. CrossPlot Data Sumur

Sebelum melakukan analisa terhadap data seismik, tahap awal yang dilakukan adalah melakukan *crossplotting* data log sumur. Hal ini bertujuan sebagai studi kelayakan (*feasibility*) data, terutama data log kecepatan gelombang-P dan pseudo gelombang-S hasil dari analisa multi atribut. Pada tahap ini juga dilakukan *crossplotting* log hasil transformasi yaitu crossplot antara log $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$, yang bertujuan untuk melihat zona-zona masa saja yang memiliki anomali. Juga dilakukan *crossplotting* antara log kecepatan gelombang-P dan kecepatan gelombang-S pseudo pada interval reservoir untuk mengetahui hubungan antara kecepatan gelombang P dan kecepatan gelombang S. Persamaan yang dihasilkan dari crosplot log kecepatan gelombang-P dan log kecepatan gelombang-S ini kemudian digunakan dalam perhitungan untuk menghasilkan volume seismik Rp dan Rs dari data seismik gatternya.



Gambar 3.8 Crossplot data sumur

3.3 Inversi AVO

Analisa data seismik gather bertujuan untuk mencari anomali amplitude seiring bertambahnya jarak (AVO). Anomali amplitudo ini umumnya berkorelasi dengan keberadaan hidrokarbon (biasanya gas). Hasil Analisa data gather selanjutnya digunakan sebagai data input untuk dilakukan inversi data *pre-stack*, yang kemudian akan diturunkan parameter $\lambda\mu\rho$ -nya.

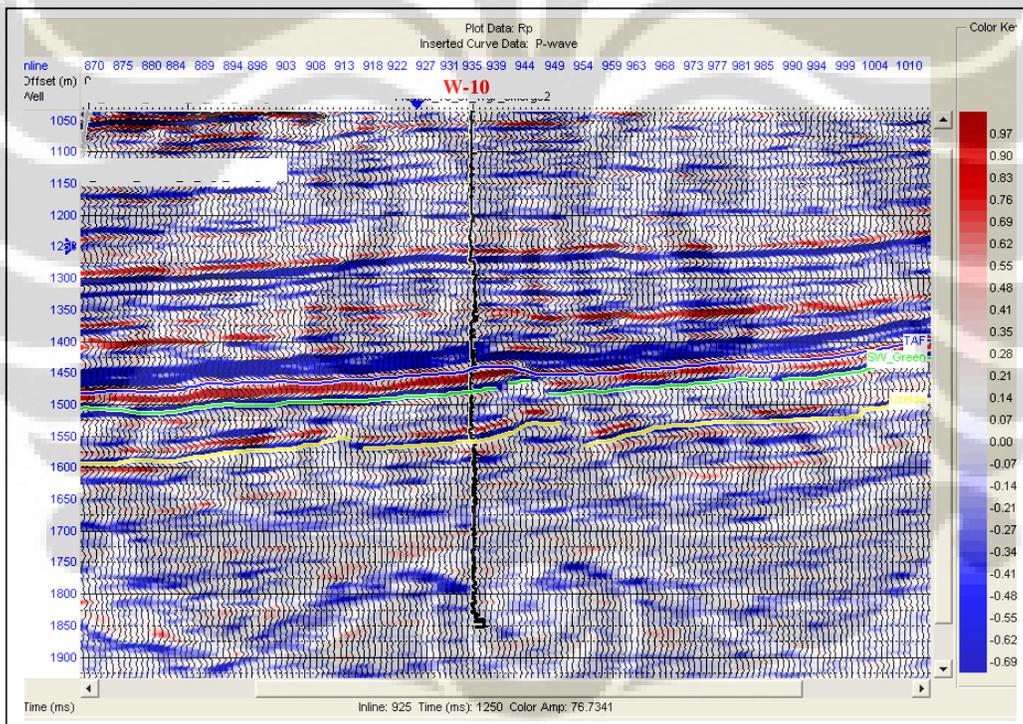
Pada penelitian ini, inversi AVO yang dilakukan bertujuan untuk menganalisa parameter $\lambda\mu\rho$ dengan memanfaatkan atribut AVO R_p dan R_s . Analisa $\lambda\mu\rho$ juga dilakukan pada data sumur dengan metoda geostatistik yang dilakukan secara terpisah. Hasil analisa masing-masing dari data seismik dan data sumur kemudian dibandingkan dan dianalisa.

3.3.1 Super Gather

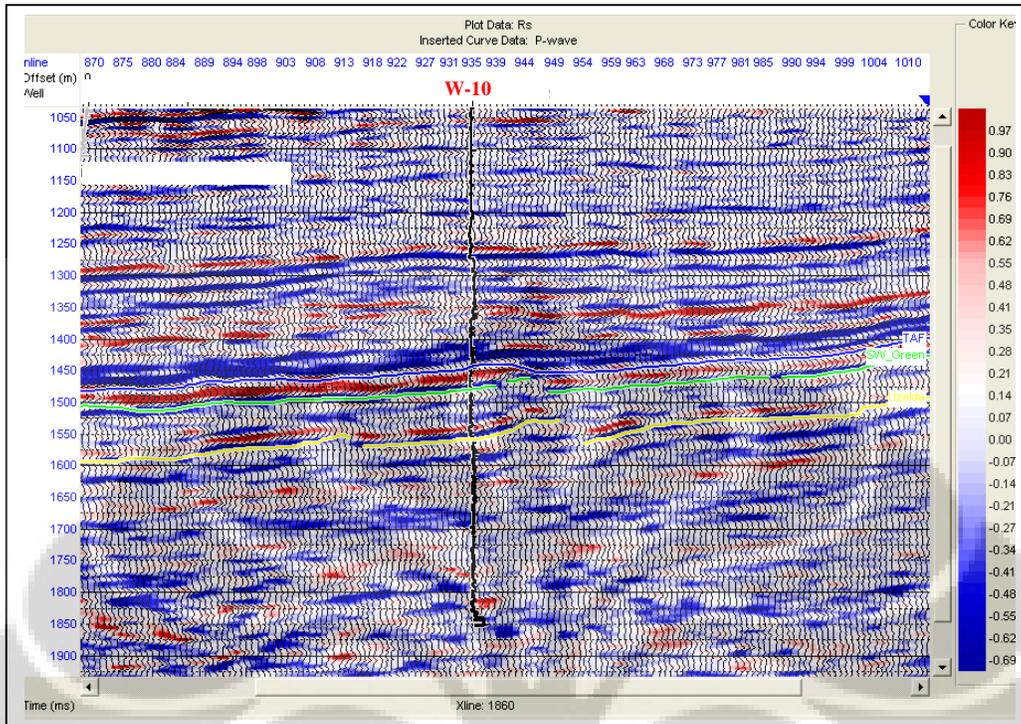
Analisa AVO pada data seismik *pre-stack* ini diawali dengan pembuatan supergather untuk meningkatkan S/N rasio dari data seismik itu sendiri sehingga dapat memperlihatkan refleksi yang lebih tajam. Super gather itu sendiri merupakan perata-rataan dari beberapa CDP dimana *offset* yang sama dari beberapa CDP tersebut akan di-*stack* dan menghasilkan satu tras yang lebih tajam. *Supergather* ini tidak akan mengganggu anomali AVO yang ada. *Supergather* yang dibuat pada pengolahan data ini adalah dengan merata-ratakan dari setiap 10 CDP dengan tras sebanyak 15 dari time 0-2500 ms. Parameter ini dipilih karena dianggap yang terbaik dan dapat tetap memperlihatkan anomali amplitudo yang ada. Pemilihan tras yang terlalu sedikit akan mengakibatkan amplitudo menjadi sangat besar dan bertumpuk sehingga sulit untuk dilihat anomalinnya.

3.3.2 Refleksifitas P (Rp) dan Reflektifitas S (Rs)

Dalam membuat atribut Rp dan Rs maka ada tiga parameter yang diperlukan yaitu kecepatan gelombang P (Vp), kecepatan gelombang S (Vs), dan densitas (ρ). Ketidakadaan informasi dari log kecepatan gelombang S (Vs) dapat diatasi dengan menggunakan ARCO *mudrock* line yaitu hubungan antara Vp dan Vs yang didapat dari Fluid Replacement Modeling. Dalam penelitian ini hubungan Vp dan Vs didapat dari hasil crossplot data Vp dan Vs real dan pseudo pada masing-masing data sumur yang didapat dari analisa multi atribut yang telah di jelaskan pada sub-bab sebelumnya. Hubungan Vp-Vs yang menjadi background trend dapat dilihat pada gambar 3.8, dengan hubungan $V_s = 0.501891V_p - 136.192$. Gambar Penampang Rp dan Rs dapat dilihat pada gambar 3.9 dan 3.10



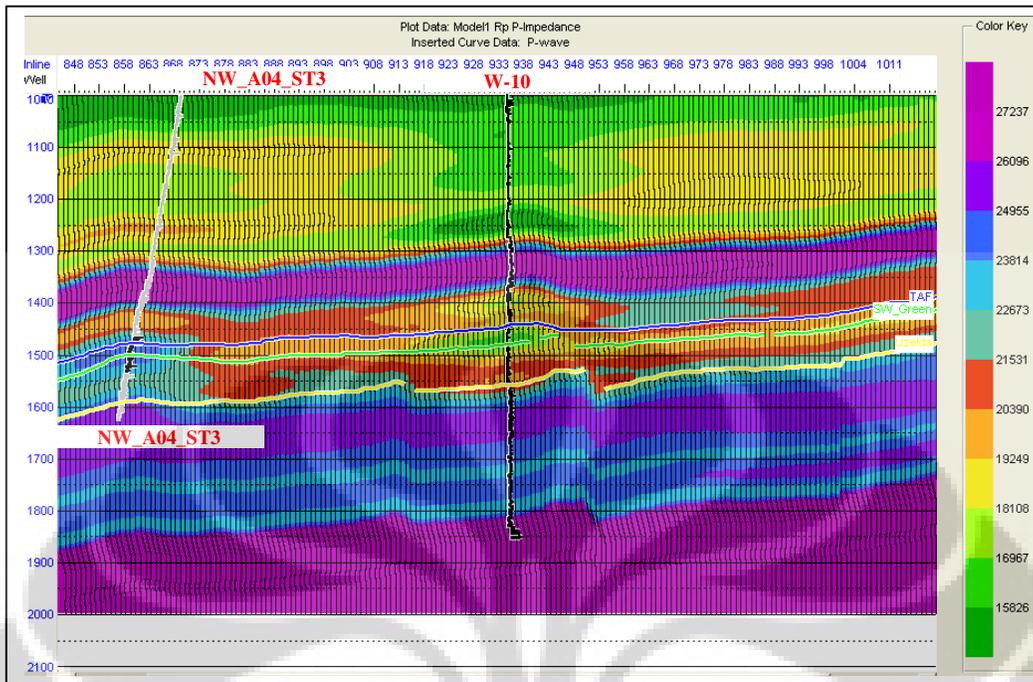
Gambar 3.9 Penampang reflektivitas P (Rp)



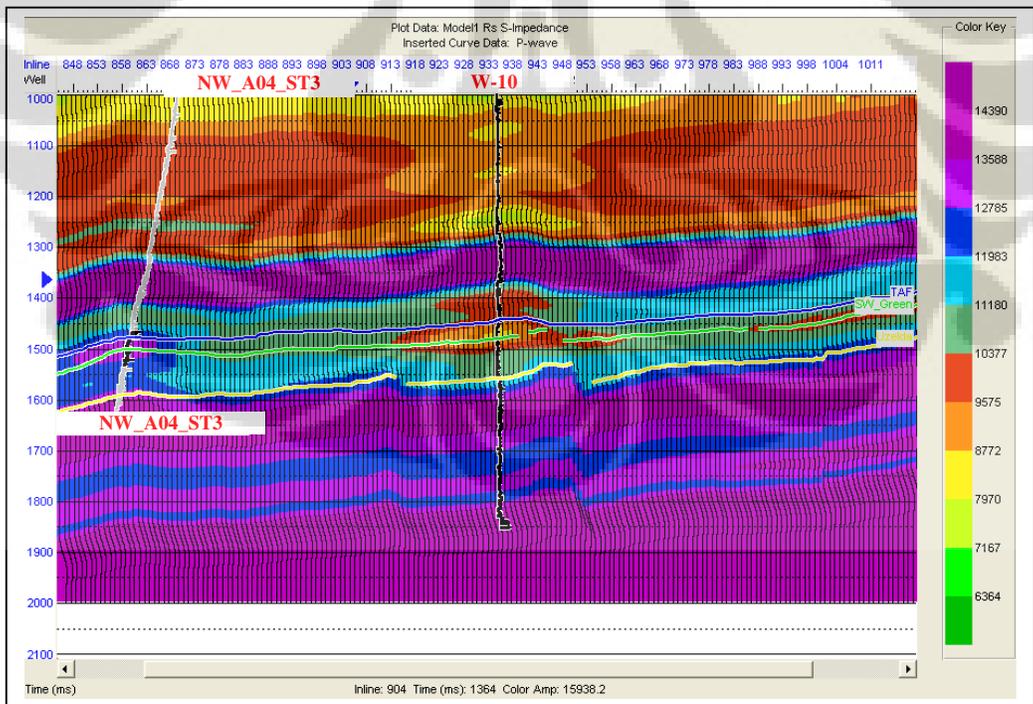
Gambar 3.10 Penampang reflektivitas S (Rs)

3.3.3 Pembuatan Model Inversi

Pembuatan model dilakukan pada tahap awal proses inversi yang bertujuan untuk membangun tebakan awal dari suatu proses inversi. Model yang dibuat meliputi model Impedansi akustik P dan model impedansi akustik S. Masing-masing dibuat menggunakan data log kecepatan gelombang-P, log kecepatan gelombang-S dan log densitas pada masing-masing sumur, serta data horison seismik yaitu horison TAF, SWGreen, dan horison Uzelda. Model impedansi P dan model impedansi S dibuat dengan menggunakan filter frekuensi tinggi sebesar 10/15 Hz dengan sample rate 2 ms. Model terlihat pada gambar 3.11 dan gambar 3.12



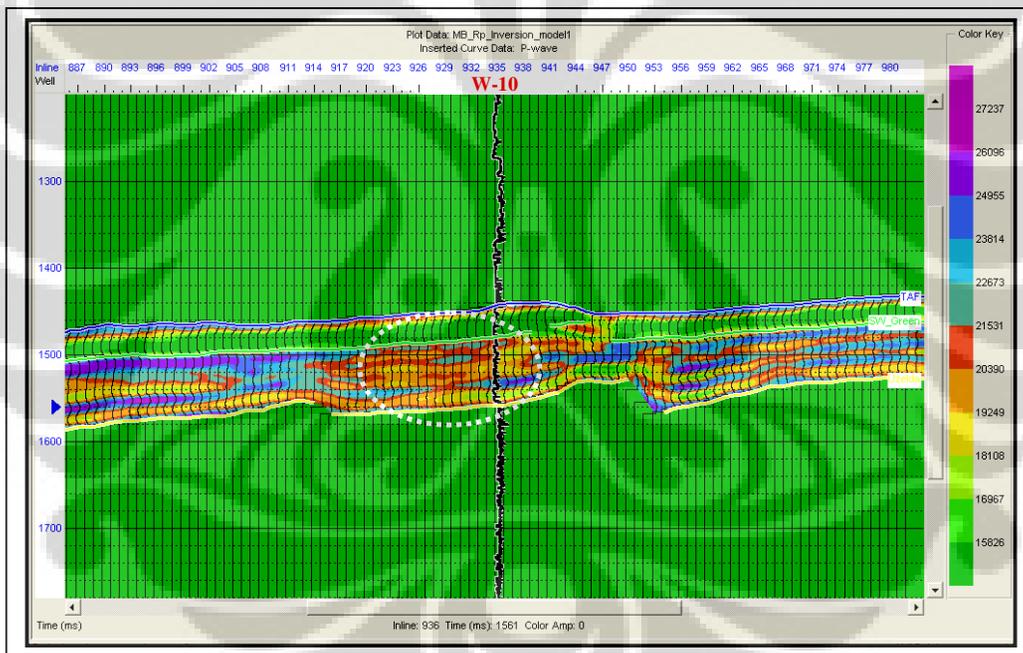
Gambar 3.11 Model Impedansi akustik P



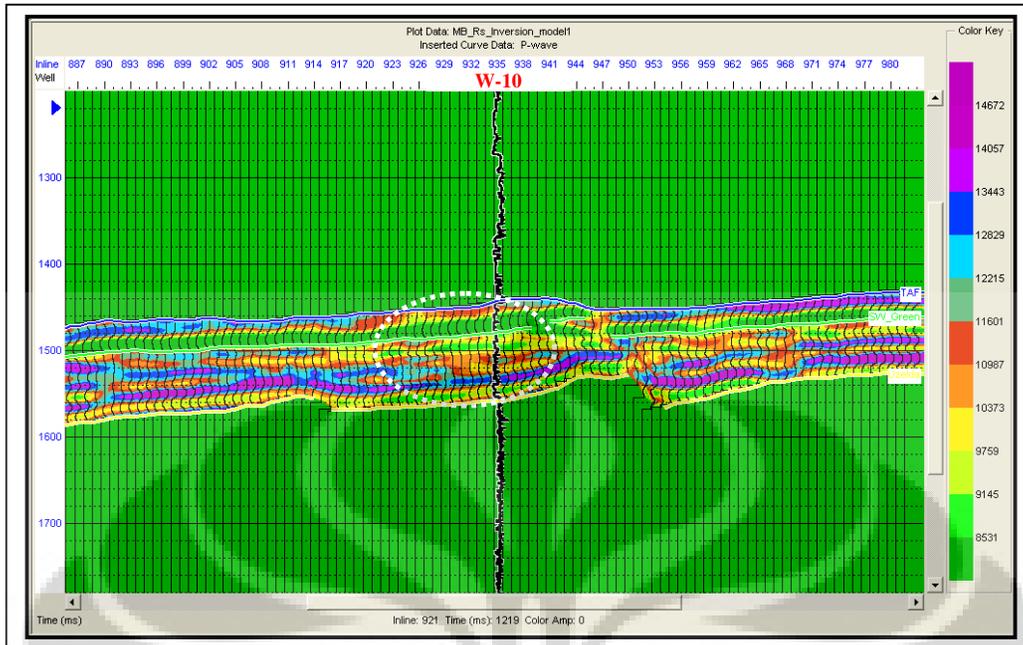
Gambar 3.12 Model Impedansi akustik S

3.3.4 Inversi Model Based

Pada tahap ini dilakukan proses inversi terhadap model impedansi P dan model impedansi S dengan menggunakan metoda inversi berbasis model (*model based inversion*). Pada inversi ini digunakan ukuran rata-rata blok model sebesar 2 ms dengan iterasi sebanyak 15. Hasil inversi baik impedansi P maupun impedansi S seperti terlihat pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14, menunjukkan adanya daerah dengan impedansi yang rendah berkisar 19000 – 20000 (ft/s)*(gr/cc). Hal ini berkaitan dengan lapisan batupasir yang berada di bawah horizon SWgreen yang kemungkinan *stacking* satu dengan lainnya. Kemenerusan batupasir ini cukup terlihat ke arah kiri dan kanan dari sumur W10.



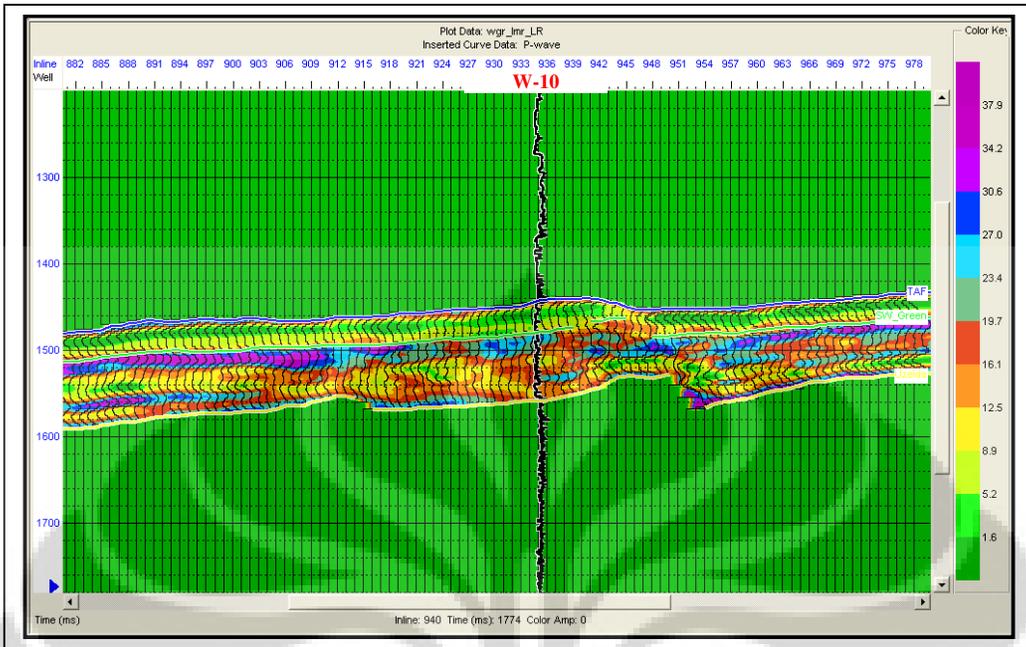
Gambar 3.13 Inversi impedansi P



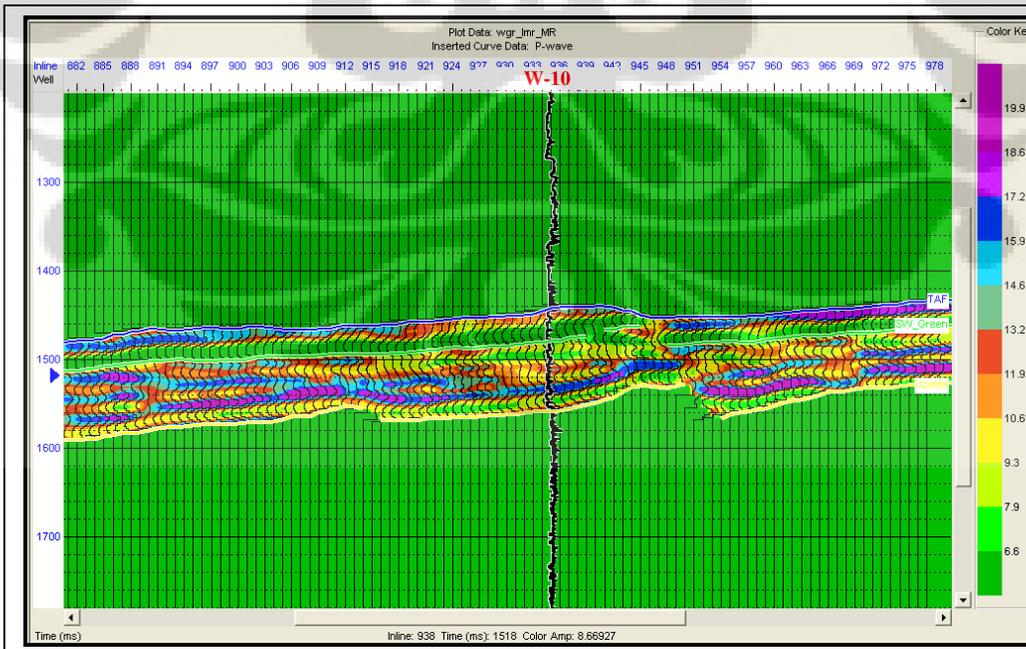
Gambar 3.14 Inversi impedansi S

3.3.5 Transformasi LMR

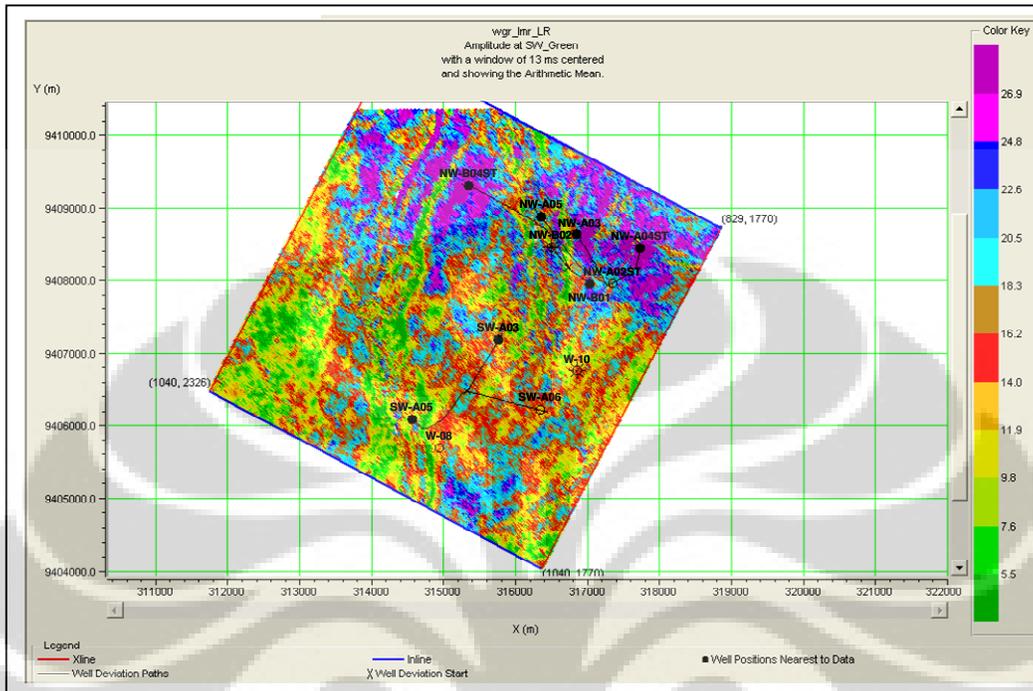
Pada tahap ini dilakukan transformasi volume R_p dan R_s yang diperoleh dari hasil inversi pada sub-bab 3.3.4 ke dalam bentuk volume $\lambda\rho$ dan volume $\mu\rho$. Proses transformasi dilakukan dengan menggunakan nilai konstanta sama dengan 2. Dari hasil transformasi terhadap kedua volume $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ dengan mengeliminasi faktor densitas, terlihat daerah dengan $\lambda\rho$ rendah dan $\mu\rho$ tinggi beberapa *milisecond* di bawah horizon SWgreen. Hal ini kemungkinan berkorelasi dengan keberadaan batupasir dengan densitas rendah (Gambar 3.15 dan 3.16). Untuk analisa lebih lanjut, dibuat sayatan waktu (*time slice*) dengan menggunakan *window centered* 13 ms dari horison target, yaitu SWgreen (Gambar 3.17 dan 3.18). Terlihat sebaran daerah dengan $\lambda\rho$ rendah (warna kuning) dan $\mu\rho$ tinggi (warna biru-ungu) yang kemungkina adalah hidrokarbon yang mengisi reservoir batupasir yang ada.



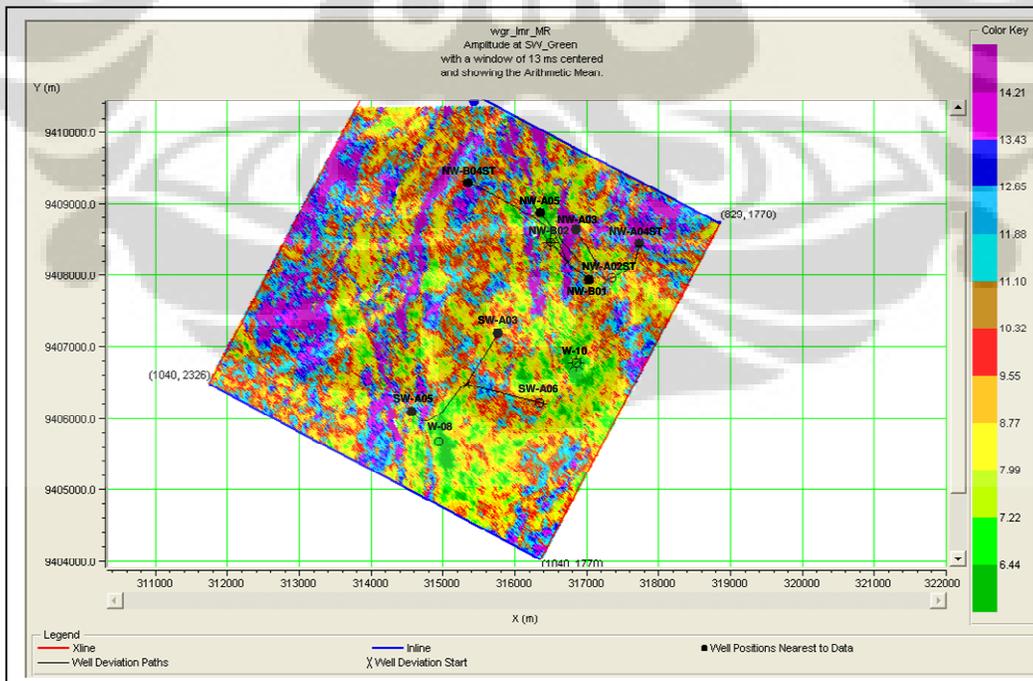
Gambar 3.15 Penampang seismik dari volume $\lambda\rho$



Gambar 3.16 Penampang seismik dari volume $\mu\rho$



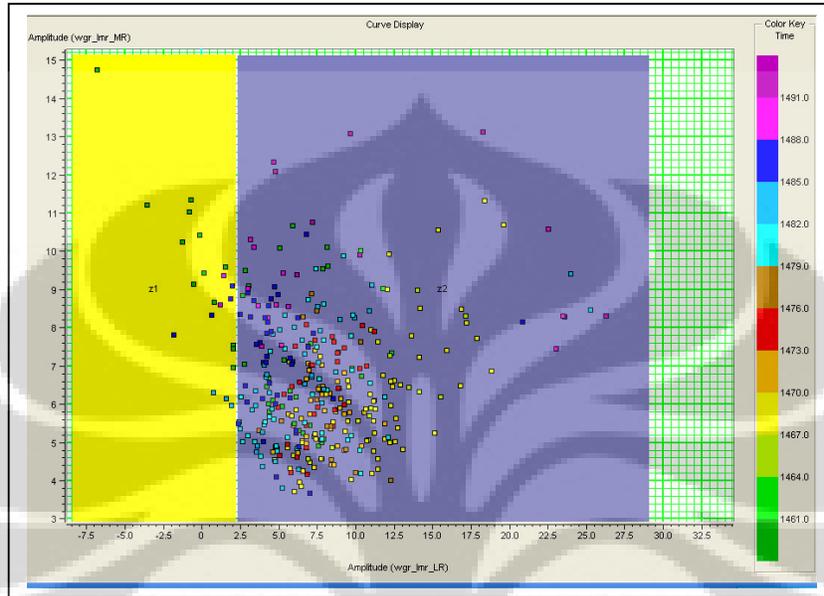
Gambar 3.17 Horizon slice 13ms centered window pada horizon SWgreen untuk volume $\lambda\rho$



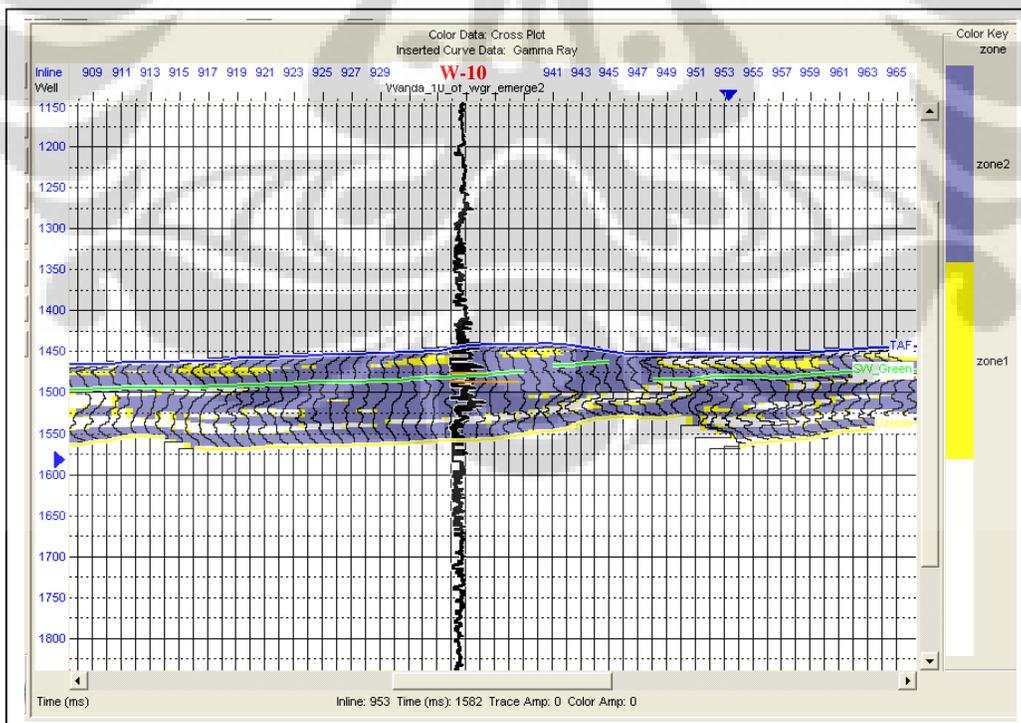
Gambar 3.18 Horizon slice 13ms centered window pada horizon SWgreen untuk volume $\mu\rho$

3.3.6 Crossplot LMR

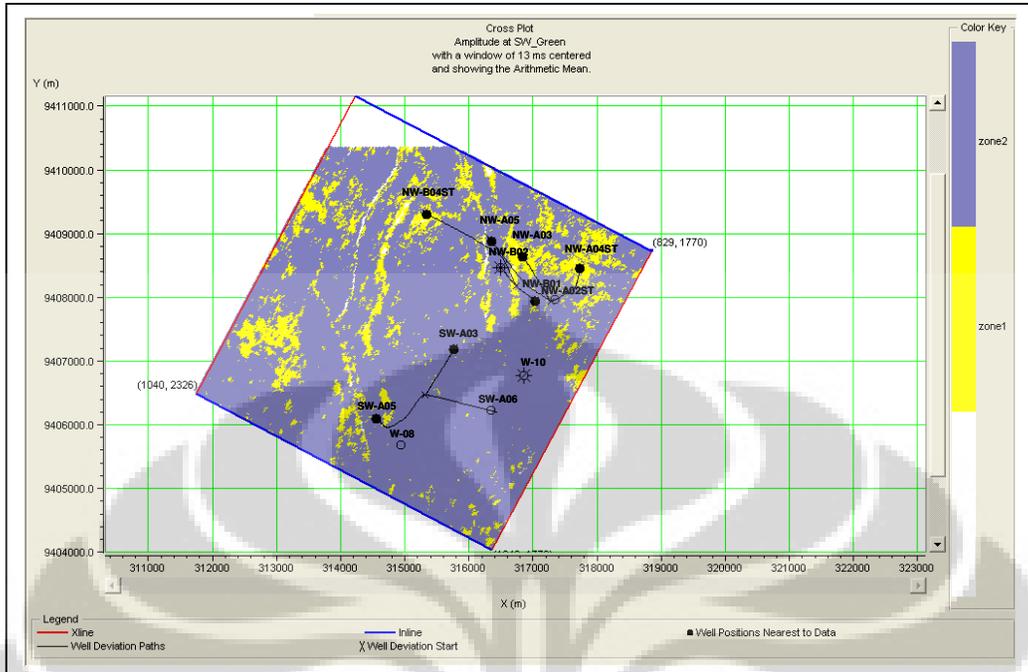
Analisa terhadap volume $\lambda\mu\rho$ juga dilakukan dengan melakukan crossplot dari kedua volume $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$. (Gambar 3.19, 3.20 dan 3.21).



Gambar 3.19 Crossplot $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ dari data seismik pada daerah sekitar sumur



Gambar 3.20 Penampang crossplot seismik pada daerah sekitar sumur



Gambar 3.21 Slice crossplot dengan window 13 ms terhadap horizon SWgreen

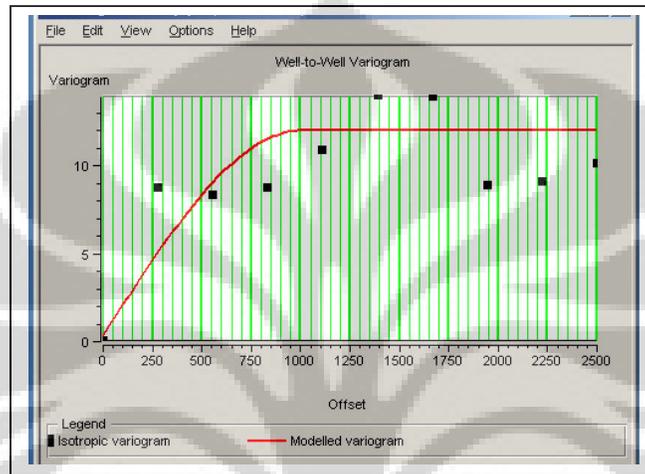
3.4 Geostatistik

3.4.1 Geostatistik Data Sumur

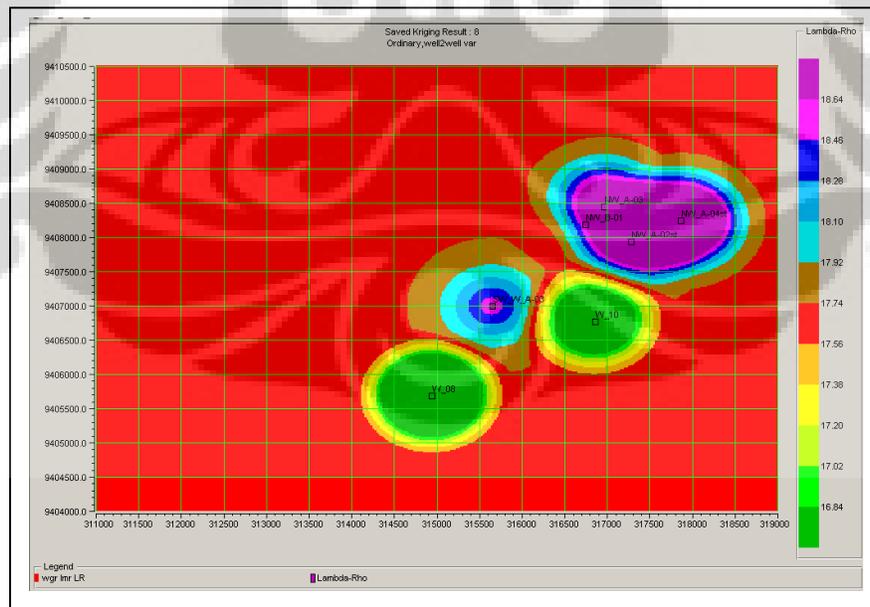
Analisa geostatistik pada data sumur dan data seismik dilakukan sebagai perbandingan hasil yang telah diperoleh sebelumnya dari hasil analisa inversi. Metoda geostatistik yang digunakan meliputi analisa *kriging*, *cokriging* dan analisa multi atribut seismik.

Pada tahapan ini input analisa geostatistik adalah berupa log sumur $\lambda\mu\rho$ hasil transformasi yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya. Analisa variogram dilakukan pada tahapan ini dan dilakukan dengan menggunakan analisa window berupa perata-rataan nilai masing $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ dari top Sand-C ke Top Sand-D yang berkorelasi dengan window ± 13 ms dari horizon SWgreen. Tipe analisa variogram yang digunakan adalah *spherical*. (gambar 3.22).dimana titik-titik hitam pada grafik merupakan sebaran nilai $\lambda\rho$ atau $\mu\rho$, dan kurva merah merupakan hasil pemodelan variogramnya. Hasil pemodelan variogram ini kemudian digunakan sebagai input untuk analisa *ordinary kriging* data sumur. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 3.23 dan 3.24

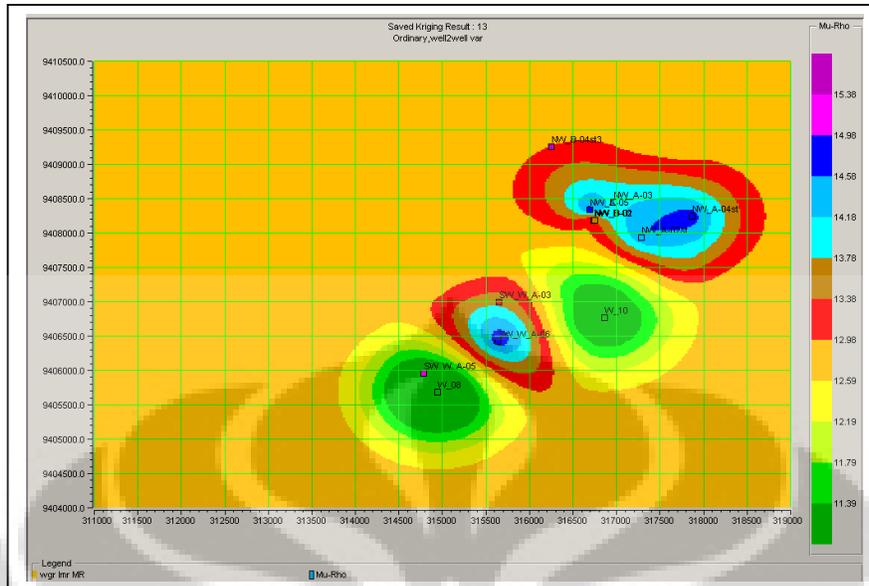
Analisa menggunakan *ordinary kriging* menunjukkan pola-pola sebaran properti $\lambda\mu\rho$ yang sangat terpengaruh oleh properti sumur yang ada, hal ini dimungkinkan karena penggunaan variogram yang dihitung hanya dengan melibatkan data properti sumur saja, sehingga tren sebaran tentunya akan terbatas pada daerah dekat sumur.



Gambar 3.22 Analisa variogram data sumur



Gambar 3.23 Ordinary kriging data sumur untuk parameter $\lambda\mu\rho$

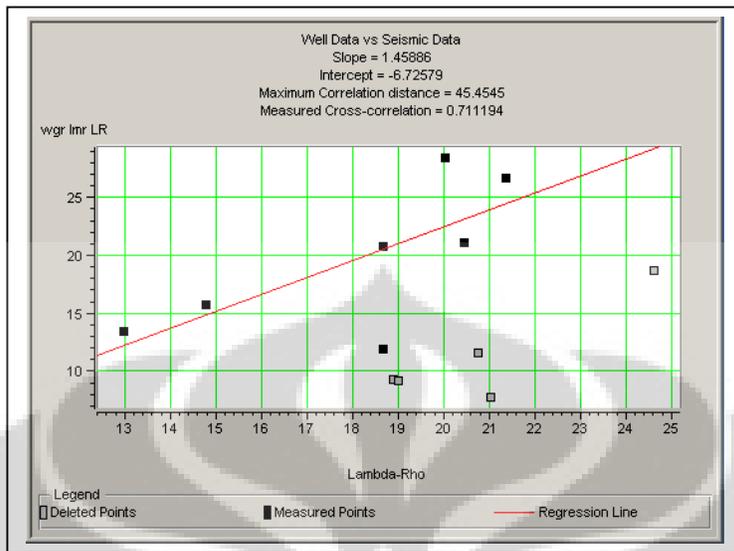


Gambar 3.24 Ordinary kriging data sumur untuk parameter $\mu\rho$

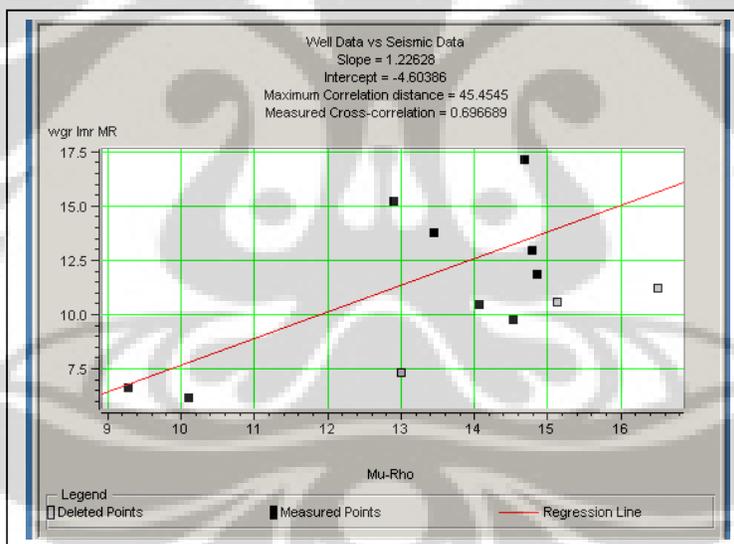
3.4.2 Geostatistik Data Sumur dan Data Seismik

Pada tahapan ini analisa geostatistik dilakukan pada data sumur dikontrol dengan data seismiknya dengan tujuan agar tren umum yang diperoleh dari analisa geostatistik data log sumur dapat lebih didetailkan dengan tren yang diperoleh dari data seismik. Untuk hal ini diperlukan suatu nilai korelasi yang besar antara parameter data sumur dengan parameter dari data seismik dengan terbihi dahulu melakukan crossplot antara data log sumur dengan data seismik. Data seismik berupa data sayatan dari volume seismik yang merepresentasikan *zona of interest*. Masing-masing crossplot dilakukan untuk data log $\lambda\rho$ dengan seismik slice $\lambda\rho$ dan data log $\mu\rho$ dengan seismik slice $\mu\rho$. Data dengan korelasi terbesar selanjutnya digunakan untuk analisa variogram “*well to seismic*”. Hasil variogram in kemudian digunakan sebagai input analisa *collocated kriging*, yang merupakan proses *kriging* dengan melibatkan data sumur dan data seismik secara bersamaan.

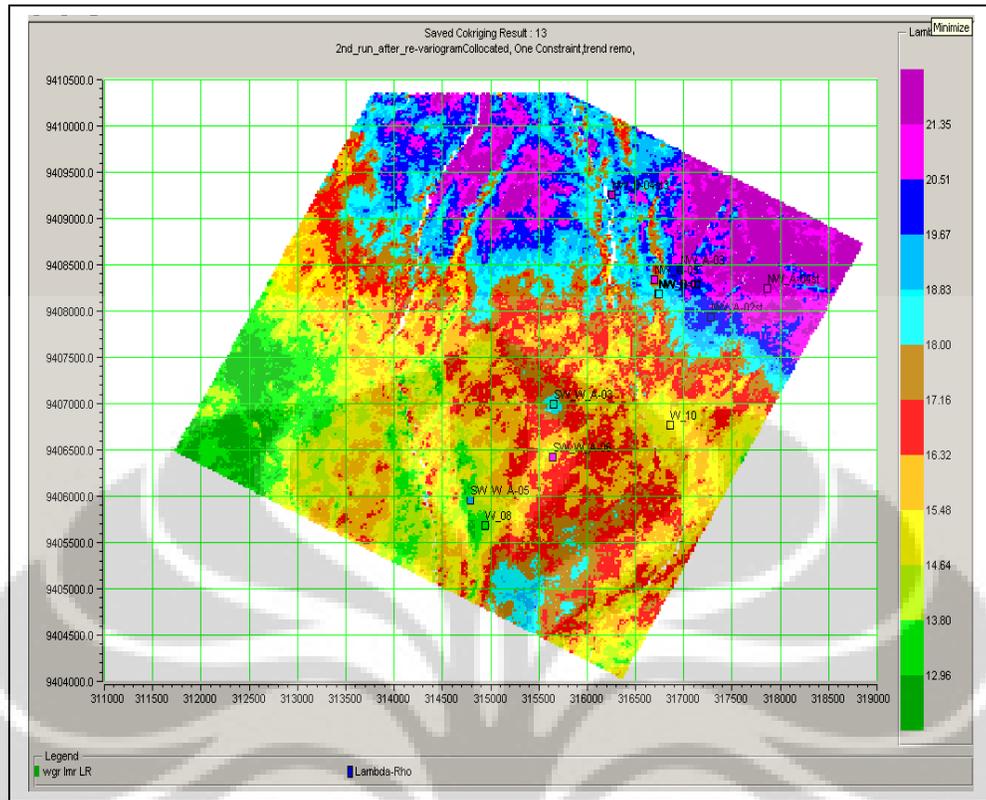
Dari hasil analisa *collocated kriging*, terlihat tren sebaran properti yang lebih detail yang berasal dari pengaruh data seismik, namun tren secara umum masih sama dengan tren yang berasal dari perhitungan *kriging* sebelumnya yang berasal dari data sumur saja. Hasil *Co-Kriging* dapat terlihat pada gambar 3.27



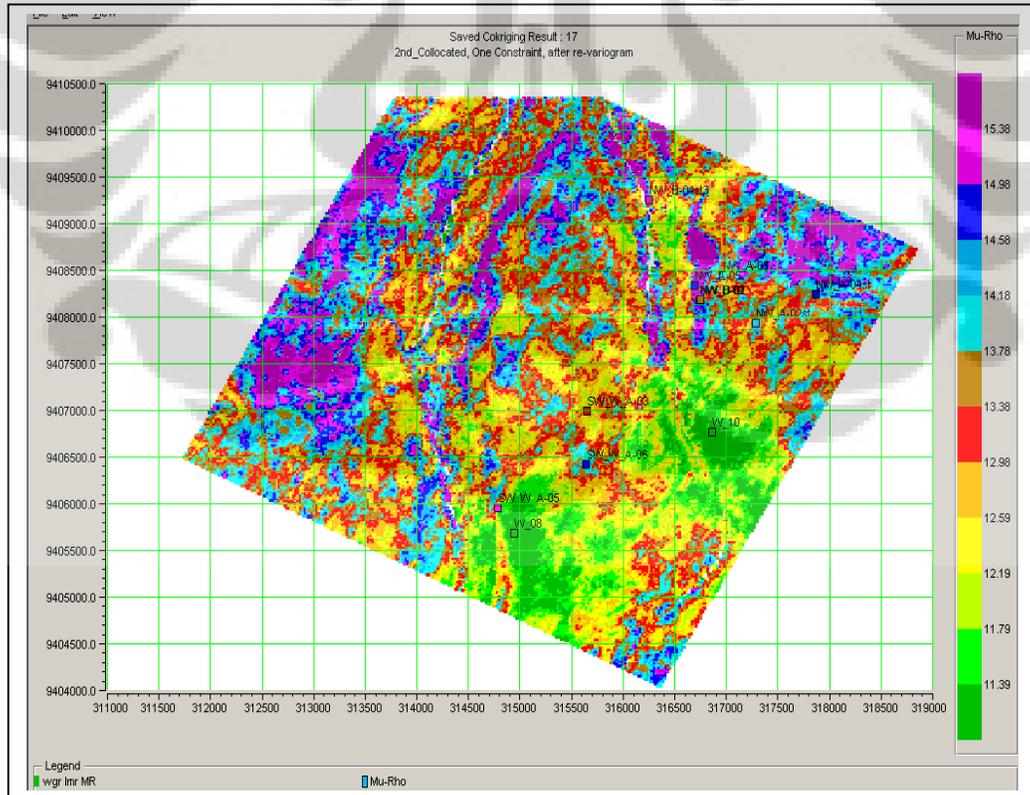
Gambar 3.25 Garis regresi antara data sumur dan data seismik untuk volume $\lambda\rho$



Gambar 3.26 Garis regresi antara data sumur dan data seismik untuk volume $\mu\rho$



Gambar 3.27 Collocated kriging antara data sumur dan data seismik volume $\lambda\rho$



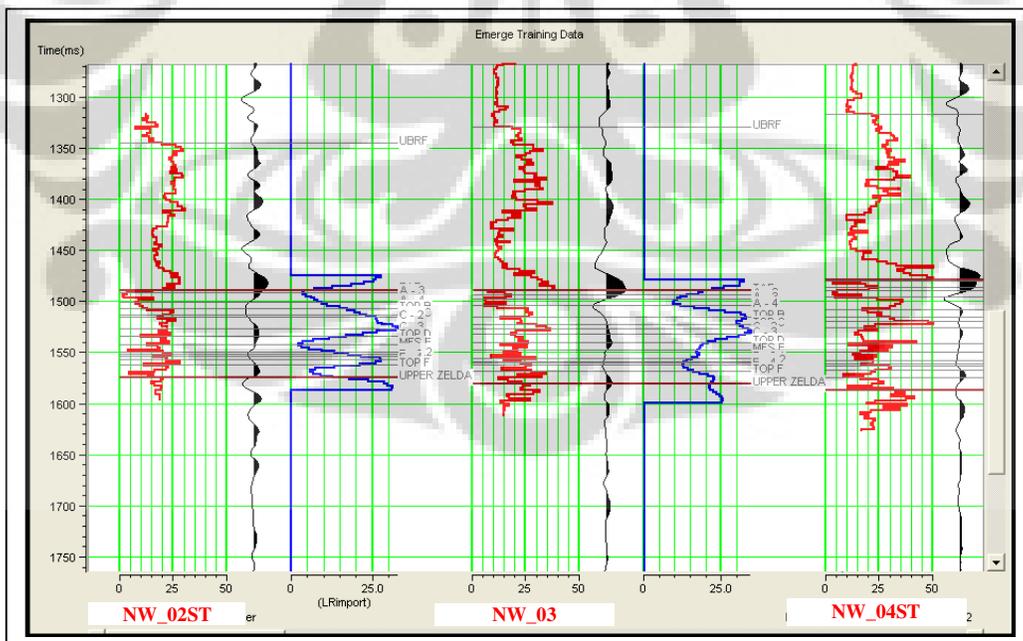
Gambar 3.28 Collocated kriging antara data sumur dan data seismik volume $\mu\rho$

3.4.3 Multi Atribut Seismik

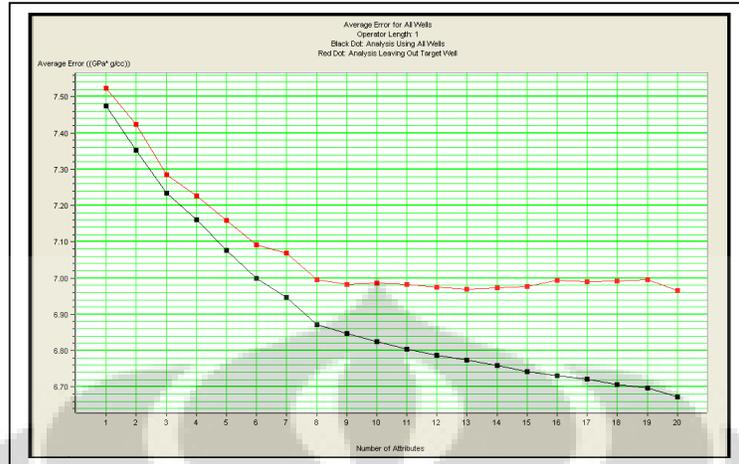
Selain analisa geostatistik *kriging* dan *co-kriging*, dilakukan juga analisa geostatistik dengan analisa multi atribut seismik. Sebagai data masukan yaitu data log $\lambda\mu\rho$ sumur dan data seismik *poststack* pada interval target. Dalam hal ini perhitungan dibatasi hanya dari interval horison seismik TAF sampai Uzelda.

Analisa multi atribut pada daerah ini dilakukan untuk masing-masing target log sumur $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$. Untuk mendapatkan jenis dan jumlah atribut yang nantinya diaplikasikan pada data seismik, digunakan validasi terhadap jumlah atribut dari masing-masing sumur yang digunakan. Validasi ditampilkan dalam bentuk grafik (*error plot*).

Dari hasil studi yang dilakukan didapatkan sembilan atribut memberikan hasil yang maksimal dengan nilai korelasi sebesar 0.82 dan error sebesar 0.24 (gambar 3.30)

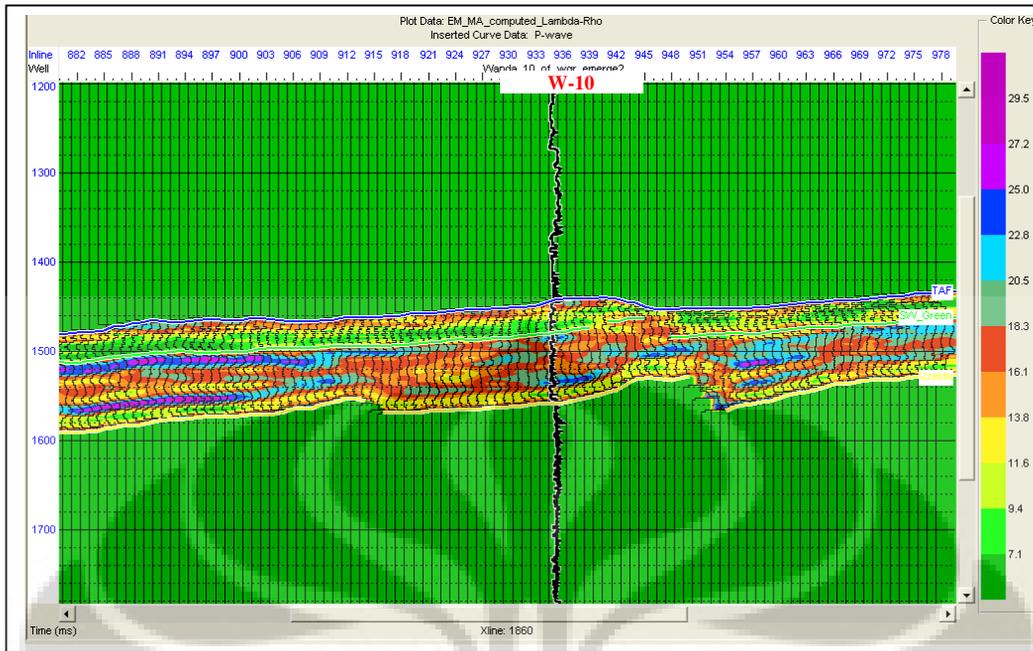


Gambar 3.29 Analisa multi atribut seismik

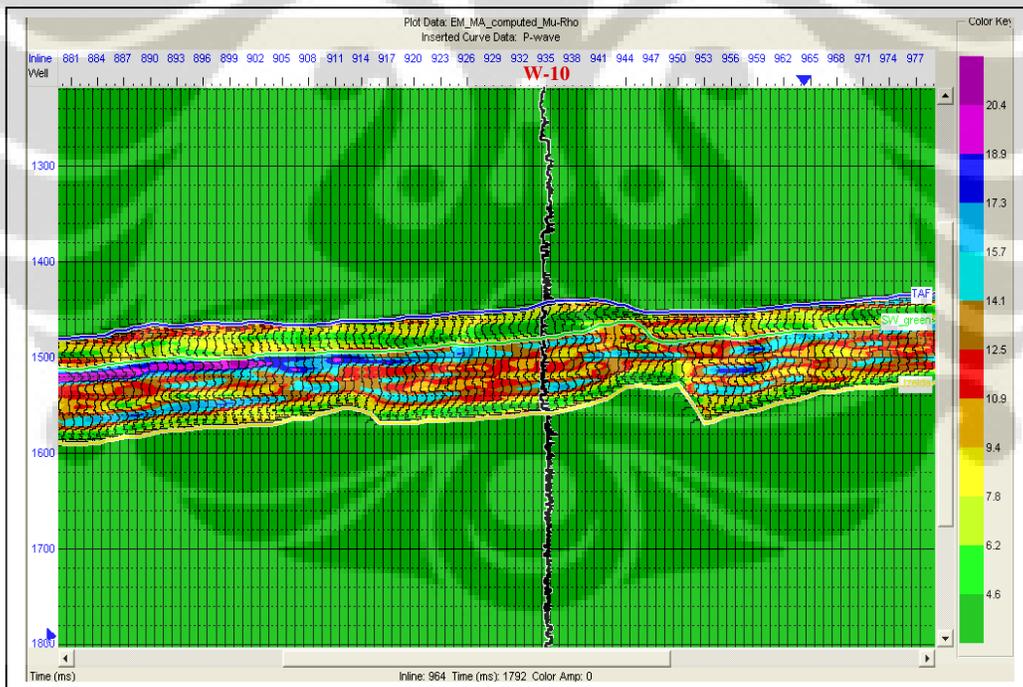


Gambar 3.30 Validasi atribut seismik

Atribut-atribut seismik yang telah divalidasi kemudian diaplikasikan terhadap data seismiknya untuk melihat distribusi properti data sumur yang menjadi target. Hasil aplikasi atribut menunjukkan sebaran properti $\lambda\mu$ yang variatif beberapa *milisecond* di bawah horizon SWgreen. Dari penampang $\lambda\rho$ beberapa *milisecond* di bawah horizon SWgreen terlihat nilai $\lambda\rho$ yang relatif tinggi, sehingga penentuan zona-zona hidrokarbon masih sulit. Sedangkan dari penampang $\mu\rho$ terlihat daerah-daerah dengan nilai $\mu\rho$ yang cukup tinggi di bawah horizon SWgreen, hal ini bersesuaian dengan hasil dari analisa sebelumnya (inversi). Penampang $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ terlihat pada gambar 3.31 dan gambar 3.32.



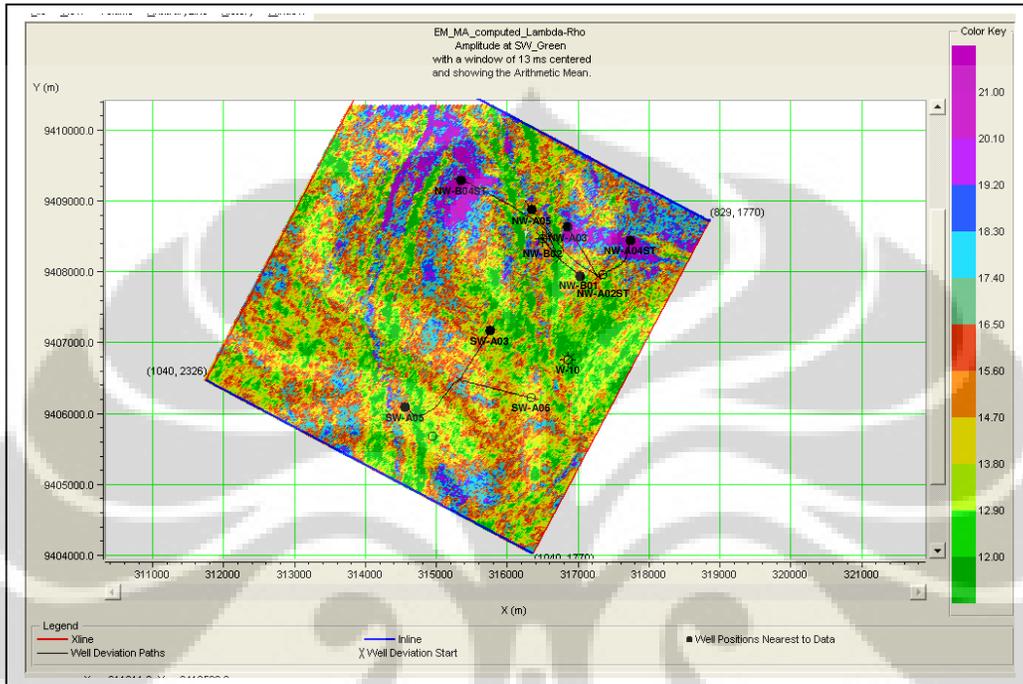
Gambar 3.31 Penampang $\lambda\rho$ hasil analisa multi atribut seismik



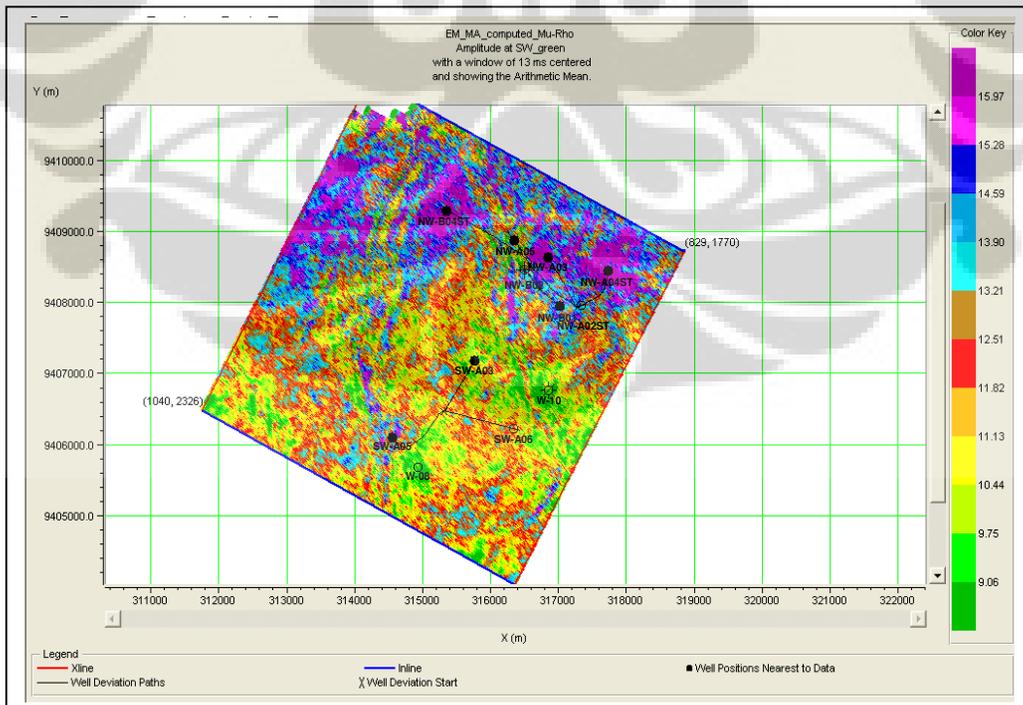
Gambar 3.32 Penampang $\mu\rho$ hasil analisa multi attribute seismik

Dari sayatan seismik masing-masing volume juga terlihat penyebaran properti $\lambda\rho$ yang secara umum masih memiliki distribusi yang sama dari hasil inversi.

Sayatan data seismik dengan *window 13 ms centered* di sekitar SWgreen menunjukkan pola-pola sebaran yang lebih terlokalisir di beberapa tempat terutama daerah dekat sumur, namun di tempat lain pada umumnya pola sebarannya tidak jauh berbeda dari hasil sebelumnya



Gambar 3.33 Horison slice $\lambda\rho$ hasil analisa multi attribute seismik



Gambar 3.34 Horison slice $\mu\rho$ hasil analisa multi atribut seismik

BAB IV

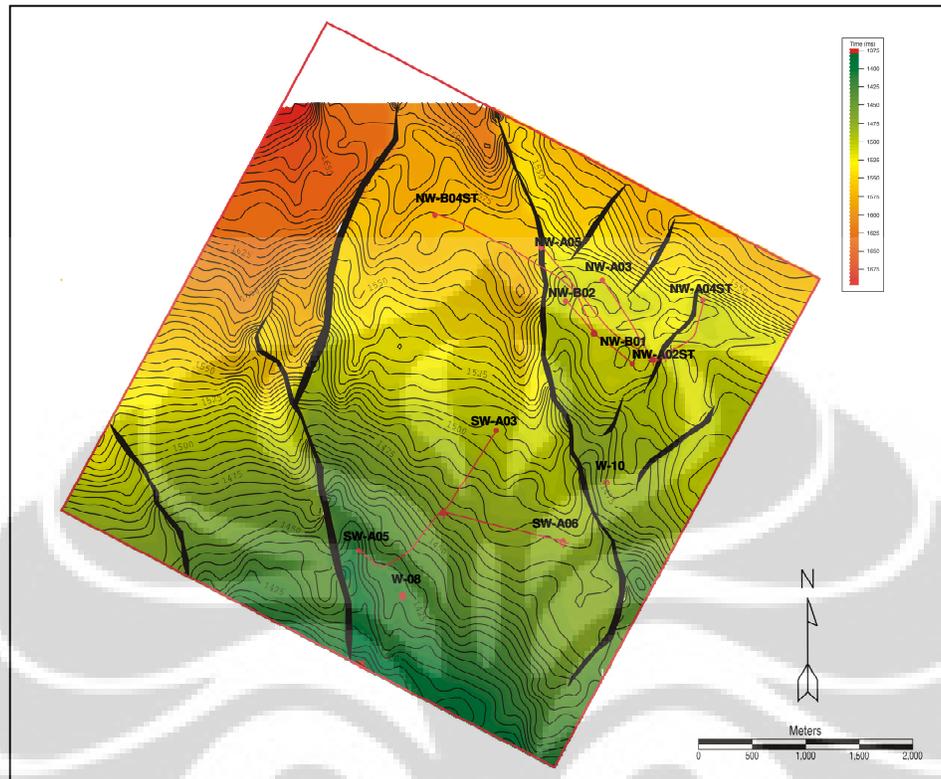
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Struktur Waktu daerah studi

Dari hasil interpretasi pada *seismic event* yang berkorelasi dengan batupasir yang menjadi target pemetaan, yaitu lapisan batu pasir “C” yang berada pada interval Talang Akar formation (TAF) sampai Upper Zelda, yang selanjutnya di ekuivalen kan dengan horison seismik “SWgreen” diperoleh peta strutur waktu yang memberikan informasi mengenai struktur utama yang berkembang di daerah penelitian.

Struktur yang berkembang di daerah ini terdiri dari sesar-sesar normal dengan *offset* yang cukup besar, yang sangat memungkinkan sebagai jalur (*pathway*) migrasi hidrokarbon. Sesar-sesar utama pada umumnya berorientasi Utara-Selatan dan struktur semakin dalam (domain waktu) ke arah Utara. Sesar-sesar minor juga terdapat di beberapa bagian daerah penelitian dengan orientasi yang berlawanan dengan sesar utama. Sesar-sesar minor ini kemungkinan adalah antitetik dari sesar utama.

Pada daerah penelitian ini tidak tampak adanya struktur, tutupan, antiklinal, atau *fourway dip closure* yang biasanya menjadi daerah yang menarik pada proses pemetaan struktur dan lapisan bawah permukaan. Kemungkinan tipe jebakan yang terdapat di daerah ini antara lain *three way dip closure*, yaitu keadaan dimana terdapat asosiasi sesar terhadap struktur tinggian atau tutupan garis kontur. Perangkat lain yang mungkin adalah perangkat stratigrafi. Hal-hal ini menyarankan untuk dilakukannya pendekatan lain selain analisa struktur waktu data yang ada untuk kemudian hasilnya dianalisa secara terintegrasi. Peta struktur waktu untuk horison SWgreen terlihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Peta struktur waktu horison SWgreen (ekuivalen dengan Top batupasir C)

4.2. Analisa Crossplot data sumur

Hasil yang diperoleh dari *crossplot* data sumur berupa *crossplot* V_p terhadap kedalaman, V_s terhadap kedalaman, V_p terhadap V_s dan $\lambda\rho$ terhadap $\mu\rho$ memberikan informasi yang cukup untuk dijadikan analisa lanjutan terhadap proses inversi data seismik. Dari *crossplot* V_p , V_s terhadap kedalaman terlihat suatu hubungan yang relatif normal dimana tidak dijumpai adanya anomali kecepatan tinggi atau kecepatan rendah mulai dari permukaan sampai dengan kedalaman total interval studi. Hal ini memberikan menunjukkan kelayakan data masing-masing gelombang V_p dan V_s untuk dapat digunakan sebagai titik awal proses perhitungan inversi AVO.

Dari hasil *crossplot* $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ pada gambar 3.10 terlihat pertama-tama adalah adanya daerah dengan nilai $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ yang tinggi di bagian kanan atas gambar. Hal ini bias disebabkan oleh dua faktor yaitu kemungkinan adanya data yang jelek akibat proses transformasi $\lambda\mu\rho$ yang dilakukan, kemungkinan kedua adalah daerah yang lebih

shaly di banding daerah lainnya. Hal kedua adalah adanya kumpulan data di bagian kiri bawah gambar (bagian dengan lingkaran) yang agak terpisah dari kumpulan data lainnya yang kemungkinan adalah zona batupasir berisi hidrokarbon di sumur ini. Hasil ini menyarankan bahwa crosplot data sumur $\lambda\mu\rho$ dapat digunakan sebagai acuan terhadap proses inversi AVO.

4.3. Analisa inversi AVO

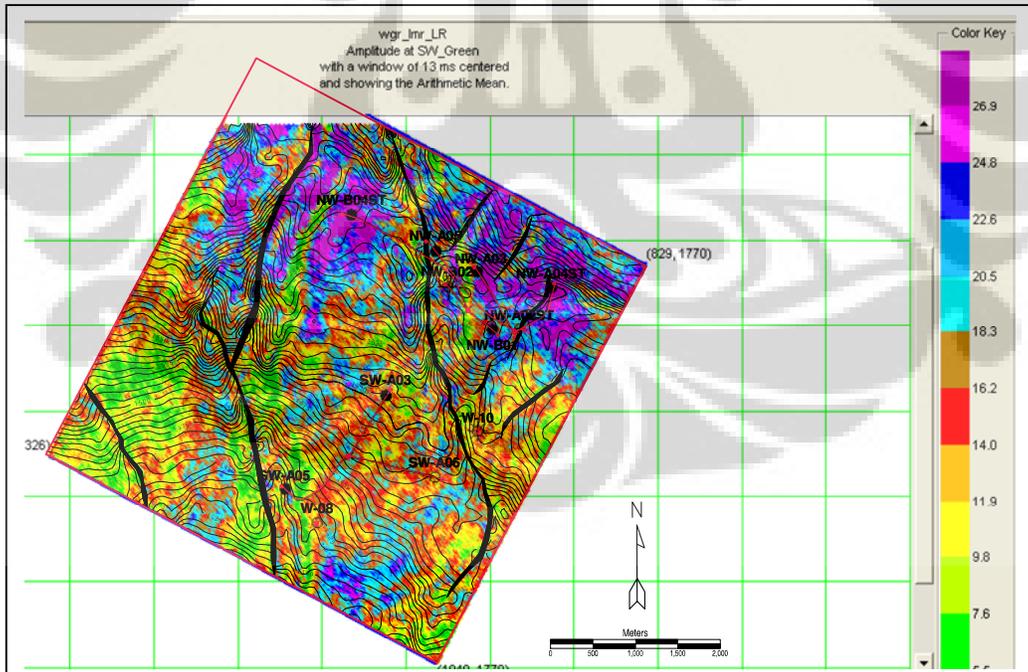
Analisa inversi AVO tidak terlepas dari analisa terhadap data dan model awal yang dibuat. Dari data super gather yang melintasi sumur W-10 seperti terlihat pada gambar 3.2, anomali perubahan amplitude terhadap bertambahnya jarak tidak terlalu terlihat secara signifikan di titik sumur pada horizon SWgreen (horizon hijau) dan juga pada interval horison TAF sampai horizon Uzelda. Walaupun demikian kondisi data gather ini dapat kita manfaatkan untuk dilakukan pembuatan volume Rp dan Rs. Dari penampang Rp terlihat adanya nilai reflektivitas rendah pada sekitar 25 ms di bawah horizon SWgreen, begitu juga yang terlihat dari penampang Rs.

Dari model yang dibuat dengan menggunakan 12 data sumur sebagai titik ikat dengan parameter-parameter model yang telah disebutkan pada bab pengolahan data, terlihat model impedansi Rp dan Rs yang memberikan variasi nilai yang berbeda. Pada daerah di posisi sumur pada horizon SWgreen yang merupakan zona batu pasir yang menjadi target pemetaan terlihat nilai model impedansi rendah yang bersesuaian dengan nilai impedansi di daerah sumur. Sebaran lateral menunjukkan model yang cukup memberikan gambaran geologi yang wajar.

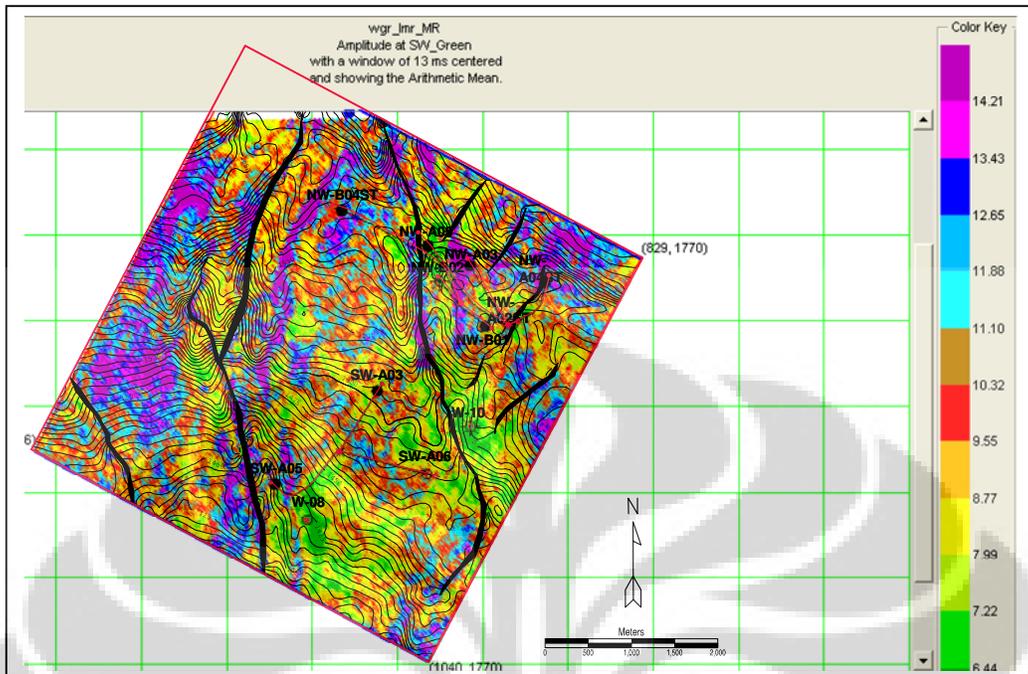
Hasil inversi berbasis model yang dilakukan terhadap masing-masing volume reflektivitas P dan Reflektivitas S memberikan gambaran masing-masing impedansi P dan S yang dihasilkan. Pada penampang impedansi P di daerah 25 ms di bawah horison SWgreen terlihat adanya daerah dengan nilai impedansi rendah berkisar antara $18000-20000 \text{ (gr/cc)} \cdot \text{(ft/sec)}$ untuk impedansi P dan $8000-9000 \text{ (gr/cc)} \cdot \text{(ft/sec)}$ untuk impedansi S. Hal ini berkaitan dengan keberadaan paket batu pasir di dalam interval Top TAF samapi UZelda, di bawah horison SWgreen yang berkorelasi dengan Top batupasir C. Sebaran paket batu pasir ini juga terlihat menerus di daerah

kiri dan kanan sumur. Pemisahan paket batupasir yang terjadi adalah karena adanya sesar normal di bagian kanan penampang, dimana *offset* sesarnya sangat besar.

Jika dilihat dari hasil transformasi ke dalam volume $\lambda\rho$ seperti terlihat pada gambar 4.2 dan gambar 4.3, terdapat beberapa tempat dengan nilai $\lambda\rho$ rendah yaitu di sekitar 20 ms di bawah horison SWgreen dengan nilai 5.9 sampai 12.5. Penampang $\mu\rho$ pada daerah yang sama menunjukkan nilai yang tidak terlalu signifikan terhadap daerah sekitarnya yaitu bernilai antara 9-13. Data sayatan seismik dengan menggunakan window 13 ms ditengah horison SWgreen memberikan informasi sebaran nilai masing-masing volume, dimana daerah dengan nilai $\lambda\rho$ rendah ditandai dengan warna hijau sampai kuning yang tersebar terutama di sebelah timur dan barat daerah penelitian. Sedangkan dari sayatan volume $\mu\rho$, terlihat pola sebaran nilai $\mu\rho$ yang relatif tinggi yang ditandai warna ungu, memiliki pola sebarang cenderung utara-selatan. Hasil sayatan kedua volume ini masing-masing memberikan tren yang berbeda.

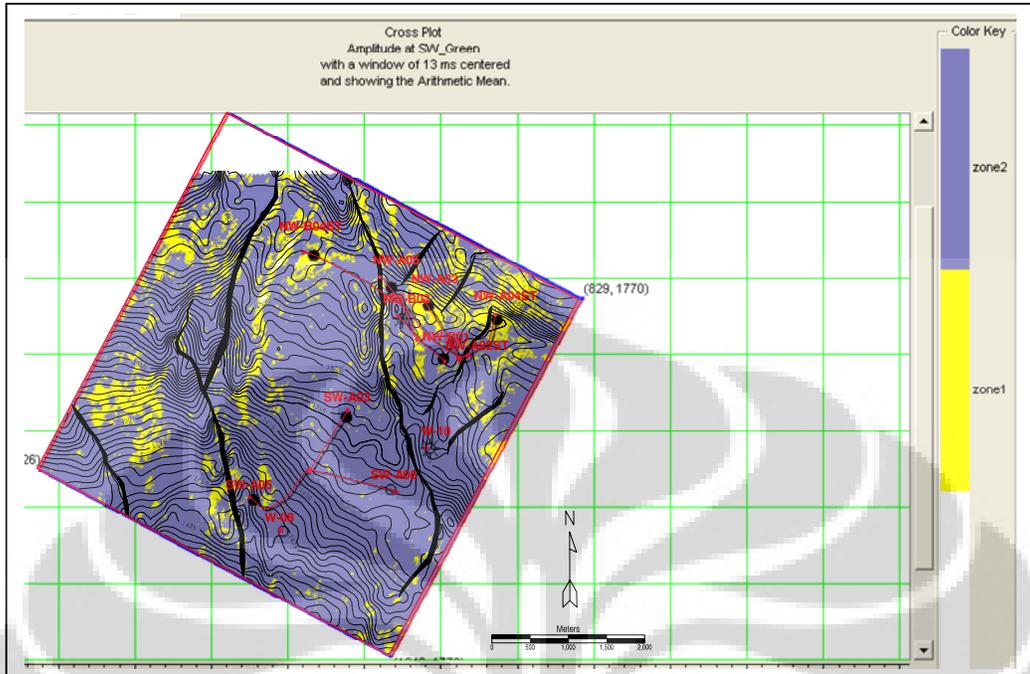


Gambar 4.2 Horison slice volume $\lambda\rho$ hasil inversi di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen



Gambar 4.3 Horison slice volume $\mu\rho$ hasil inversi di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen

Crossplot kedua volume $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ dilakukan untuk lebih melokalisir daerah-daerah anomali seperti terlihat pada gambar 4.4. Hasil *crossplot* menunjukkan daerah yang kemungkinan memiliki kontras $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ yang cukup signifikan. Pola-pola sebaran ini diperoleh dari zonasi data kedua volume $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ yang saling overlap satu dengan yang lainnya. Adanya *cluster* yang *spoty* di beberapa bagian daerah penelitian (area berwarna kuning) kemungkinan adalah daerah yang memiliki potensi hidrokarbon. Hal ini dikonfirmasi dengan data produksi (Lampiran 1) dimana sumur-sumur yang berada pada daerah dengan anomali sebagian besar merupakan sumur yang berproduksi baik pada reservoir target, kecuali pada sumur W-10 dan W-8 yang merupakan sumur eksplorasi dengan status *abandoned*. Adanya pola sebaran utara selatan harus dicermati, mengingat sebaran ini dekat dengan daerah sesar yang cukup besar yang berarah utara selatan yang kemungkinan juga merupakan daerah bayangan sesar yang ikut terpetakan.



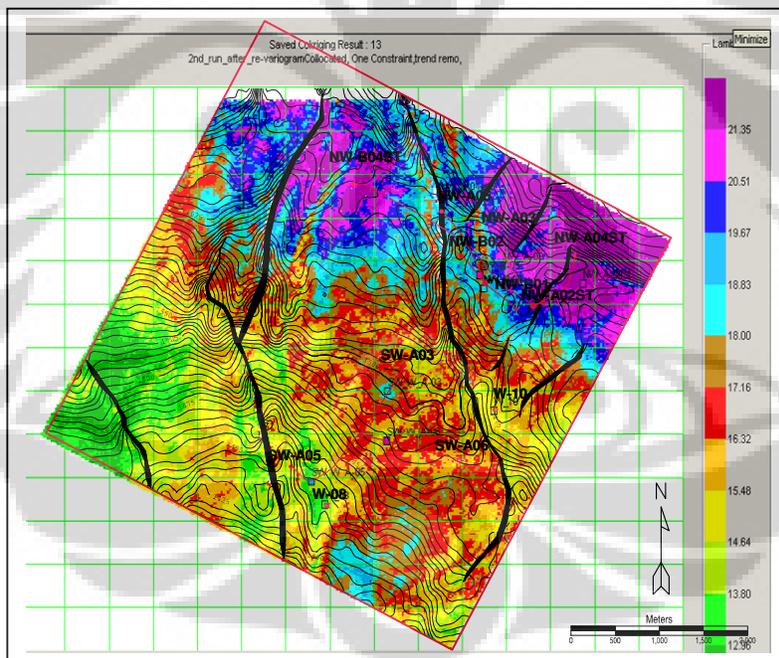
Gambar 4.4 Horison slice dari crossplot antara $\lambda\rho$ vs $\mu\rho$ hasil inversi seismik di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen

4.4. Analisa Geostatistik

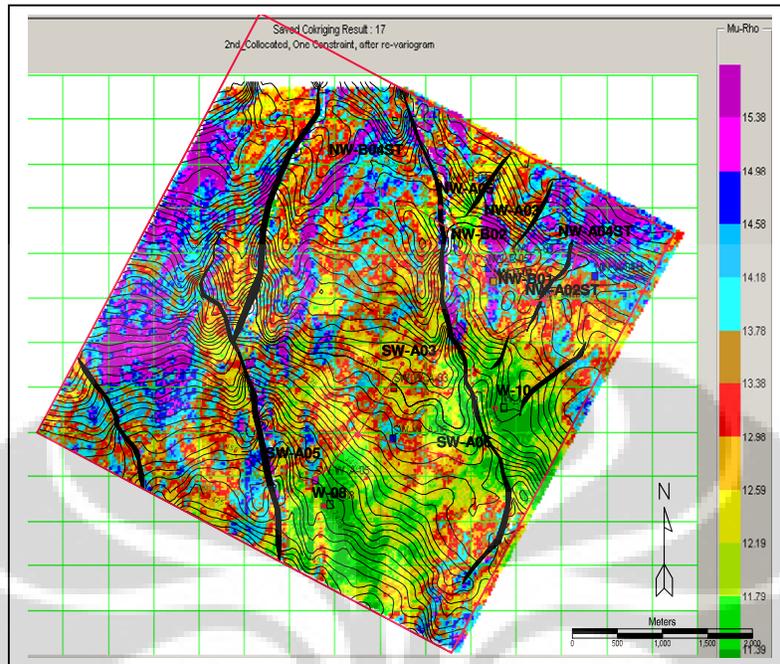
Hasil perhitungan dengan menggunakan pendekatan geostatistik dengan hanya melibatkan data log sumur seperti terlihat pada gambar 3.26 dan 3.27 menunjukkan pola-pola sebaran nilai baik $\lambda\rho$ maupun $\mu\rho$ yang memiliki tren yang relatif sama. Dari hasil analisa kriging data $\lambda\rho$ terlihat nilai $\lambda\rho$ rendah terdapat pada sumur W-8 dan W-10 ditandai dengan *cluster* warna hijau, sedangkan sumur-sumur lainnya memiliki nilai $\lambda\rho$ yang relatif lebih tinggi (warna biru-ungu). Untuk data $\mu\rho$, sebaran nilai dengan nilai $\mu\rho$ yang rendah juga terdapat pada sumur W-10 dan W-8, sedangkan sumur-sumur lainnya memiliki nilai $\mu\rho$ yang relative tinggi. Pola sebaran nilai-nilai baik $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ ini sangat tergantung pada model variogram, yaitu seberapa dekat sebaran data dengan model variogramnya.

Sedangkan untuk hasil pendekatan geostatistik yang menggabungkan data log sumur dengan data seismik seperti terlihat pada gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan pola-pola sebaran nilai yang tidak begitu berbeda dengan pola sebaran yang diperoleh

dari analisa geostatistik data sumur saja. Namun detail pola sebaran sangat dipengaruhi oleh data seismiknya dimana analisa variogram yang digunakan adalah “*variogram seismic to seismic*”. Pemilihan model variogram ini memberikan pola-pola sebaran yang cukup baik. Pengaruh yang juga tak kalah pentingnya adalah penggunaan regresi data seismik dan data sumur, dimana properti baik $\lambda\rho$ maupun $\mu\rho$ dari data sumur dan properti dari data seismik dihubungkan dengan suatu persamaan hasil regresi kedua data-data tersebut, sehingga data input untuk perhitungan analisa *collocated kriging* lebih optimal. Dari gambar 4.5 dan gambar 4.6 terlihat daerah-daerah dengan nilai $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ yang tersebar di bagian selatan daerah penelitian terutama di daerah dekat dengan sumur W-8 dan W-10. Sebaran nilai $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ secara umum variatif dan berpola hampir sama jika dibandingkan dengan hasil dari perhitungan inversi..



Gambar 4.5 Collocated kriging $\lambda\rho$ dari data seismik dan data sumur



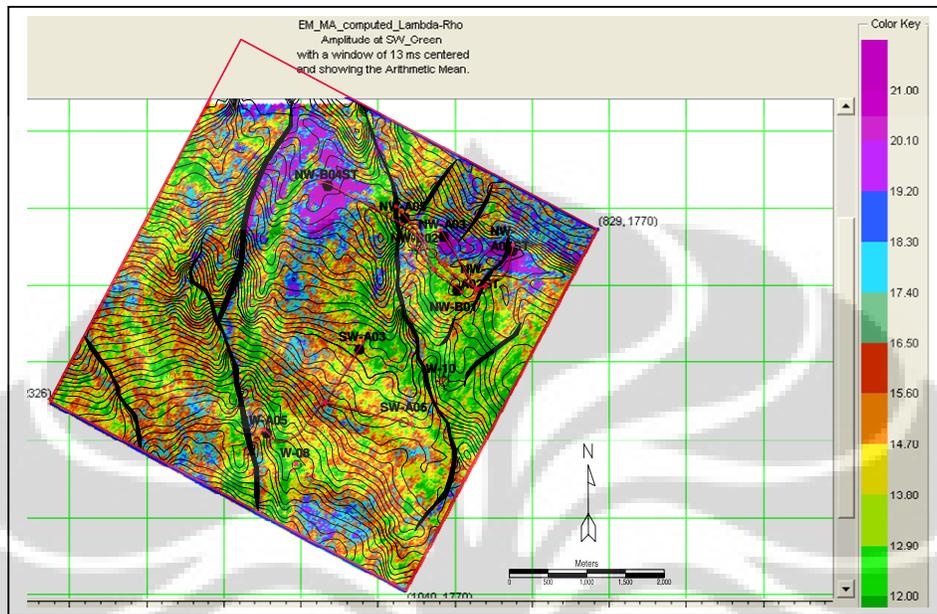
Gambar 4.6 Collocated kriging $\mu\rho$ dari data seismik dan data sumur

4.5. Analisa Multi Atribut Seismik

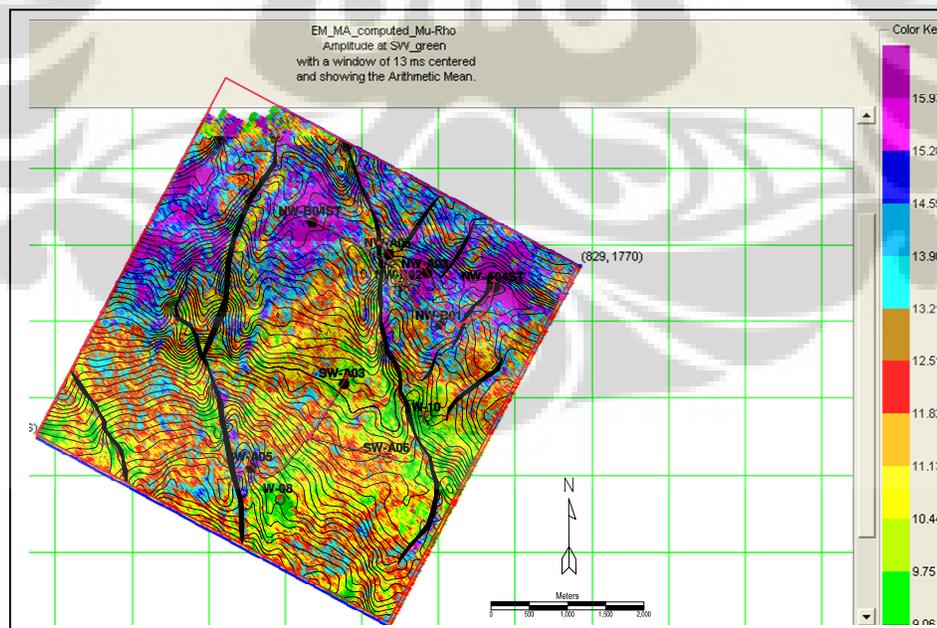
Dari hasil analisa multi atribut seismik yang dilakukan pada kedua volume $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ terlihat pola-pola sebaran nilai $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ pada beberapa detik dibawah horison SWgreen. Penampang seismik $\lambda\rho$ pada gambar 3.24 dan 3.35 memperlihatkan daerah dengan $\lambda\rho$ rendah yang tersebar cukup menerus kearah kiri kanan sumur W-10. Begitu pula untuk daerah-daerah dengan $\mu\rho$ tinggi yang juga tersebar dan menerus kearah kiri dan kanan daerah penelitian. Penampang hasil analisa dengan menggunakan atribut seismik ini memberikan gambaran yang cukup detail dibandingkan dengan pendekatan geostatistik *kriging* ataupun *co-kriging*.

Dari sayatan masing-masing volume $\lambda\rho$ dan $\mu\rho$ hasil analisa multi atribut ini terlihat adanya daerah dengan nilai $\lambda\rho$ yang tinggi membentuk *cluster* di bagian utara daerah penelitian di sekitar sumur NW_B04ST, NW_A03 dan NW_A04. Begitu juga dengan hasil yang diperoleh dari sayatan data $\mu\rho$, pola daerah dengan nilai $\mu\rho$ yang

tinggi hampir sama dengan pola dari volume $\lambda\rho$, namun distribusinya lebih melebar kearah timur menyebrang sesar paling timur daerah penelitian.

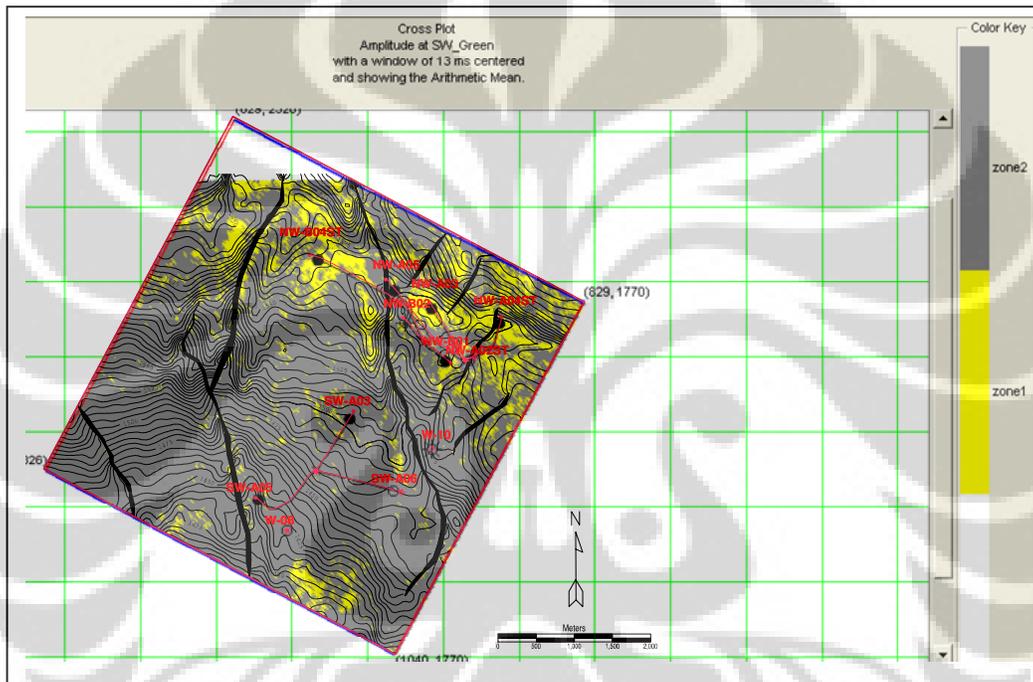


Gambar 4.7 Horison slice volume $\lambda\rho$ hasil dari analisa multi atribut seismik di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen



Gambar 4.8 Horison slice volume $\mu\rho$ hasil dari analisa multi atribut seismik di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen

Dari hasil analisa multi atribut seismik juga dilakukan *crossplot* antara dua volume yang dihasilkan (Gambar 4.9) dimana sayatan *crossplot* seismiknya memperlihatkan daerah-daerah kemungkinan adanya hidrokarbon di bagian utara-timur daerah penelitian yang ditandai dengan *cluster* berwarna kuning. Pola sebaran area ini hampir sama dengan yang dihasilkan dari sayatan *crossplot* analisa inversi AVO sebelumnya, dimana pola sebaran di bagian utara-timur masih konsisten, namun beberapa tren di bagian selatan dan di sebelah barat daerah penelitian menjadi hilang.



Gambar 4.9 Horison slice dari crossplot antara λ_p vs μ_p hasil analisa multi atribut seismik di-overlay dengan peta struktur horison SWgreen

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan volume $\lambda\mu\rho$ dengan metoda inversi memberikan pola-pola sebaran batupasir pada formasi Talang Akar yang tersebar terutama di bagian Utara-Timur daerah penelitian, dimana pada daerah tersebut kemungkinan adalah batupasir dengan kualitas reservoir yang baik dan cukup tebal yang masih dapat dipetakan. Pada daerah ini nilai $\lambda\rho$ berkisar 5-12 sedangkan $\mu\rho$ 9 -13.
2. Dari hasil analisa crossplot $\lambda\mu\rho$ data seismik yang telah dikalibrasi dengan data sumur, kemungkinan akumulasi hidrokarbon pada interval formasi Talang Akar tersebar secara lokal di bagian timurlaut dan baratdaya daerah penelitian. Adanya tren atau pola sebaran berarah utara selatan pada daerah penelitian, kemungkinan adalah pengaruh dari sesar dengan orientasi yang sama
3. Dari hasil analisa geostatistik data sumur terlihat pola sebaran properti $\lambda\mu\rho$ masih sangat umum, hal ini disebabkan perhitungan hanya bersifat lokal pada daerah-daerah dekat dengan sumur, sehingga tren sebaran di daerah yang tidak ada data sumur masih mengalami ambiguitas.
4. Analisa geostatistik dengan menggunakan model variogram dari data seismik membantu dalam menentukan pola-pola sebaran properti $\lambda\mu\rho$ yang cukup baik, hal ini dikarenakan tren sebaran data sumur dipandu oleh properti data seismiknya. Namun hasil ini memberikan tren yang agak berbeda dengan hasil inversi, karena tren lokal dari properti sumur sangat berpengaruh.

5. Analisa dengan menggunakan multi atribut memberikan pola sebaran properti yang hampir sama dengan hasil yang diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan metoda inversi AVO, namun di daerah dekat sumur pola sebaran properti masih sangat didominasi data sumurnya.

5.2. Saran

Saran yang penulis berikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengingat lapisan batupasir yang menjadi target adalah lapisan batupasir yang tipis, dan terdapat sisipan batubara maka akan lebih baik jika dilakukan analisa detail terhadap data seismik sebagai input, misalnya dengan *re-processing* data seismik dengan mempertimbangkan parameter-parameter AVO *processing*.
2. Dalam proses perhitungan properti dengan metoda geostatistik dari data sumur dan juga ekstraksi properti dari data seismik, perlu diperhatikan geometri sumur miring. Dalam hal ini mungkin diperlukan suatu koreksi sehingga nilai properti yang dihasilkan dapat sejalan dengan kondisi geologi baik struktur maupun stratigrafinya.
3. Dalam pemetaan properti λ/ρ dengan menggunakan metoda geostatistik dengan menggabungkan data sumur dan data seismik, untuk selanjutnya patut dicoba penggunaan beberapa volume eksternal hasil transformasi sebagai input dalam perhitungan baik itu analisa multi atribut ataupun pemodelan variogram.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K., and Richards, P.G., 1980, *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, W.H. Freeman and Company. Vol.1.
- Biot, M.A., 1956, *The Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated solid, I lower frequency range, II higher frequency range*: J. Acoust. Soc. Am., 28, 168-191.
- Bushnell, D.C. & Temansja, A.J., 1986, *A Model for Hydrocarbon Accumulation in Sunda Basin-West Java Sea*, Proceeding Indonesian Petroleum Association (IPA) 15th, Jakarta.
- Castagna, J.P., Batzle, M.L., and Eastwood, R.L., 1985, *Relationship between compressional and shear-wave velocities in clastic silicate rocks*: Geophysics, 50, 551-570.
- Castagna, J.P., Batzle, M.L., and Kan, T.K., 1993, *Rock physics: the link between rock properties and AVO response* Geophysics, 8, 135-171
- Chen, Q., and Sidney, S., 1997, *Seismic attribute technology for reservoir forecasting and monitoring*: The Leading Edge, 16, 445-456.
- Clayton V. Deutsch, André G. *Journal: GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide, Second Edition*, 1998.
- Edward H. Isaaks, R. Mohan Srivastava: *An Introduction to Applied Geostatistics*, 1989.
- Debski, W., and Tarantola, A., 1995, *Information on elastic parameters obtained from the amplitudes of reflected waves*: Geophysics, 60, 1426-1436.
- Domenico, S.N., 1977, *Elastic Properties of unconsolidated porous sand reservoirs*: Geophysics, 42, 1339-1369.
- Drufuca, G., and Mazzotti, A., 1995, *Ambiguities in AVO inversion of reflections from a gas-sand*: Geophysics, 60, 134-141.
- Fatti, J.L., Smith, G.C., Vail, P.J., Strauss, P.J., and Levitt, P.R., 1994, *Detection of gas in sandstone reservoirs using AVO analysis: A 3-D seismic case history using the Geostack technique*: Geophysics, 59, 1362-1376.
- Fuller, B.N., Iverso, W.P., and Smithson, S.B., 1989, *AVO for thin bed detection*: 59th Ann. Internat. Mtg., SEG, Expanded Abstracts, 826-828.

- Goodway, B., Chen, T., and Downton, J., 1997, *Improved AVO fluid detection and lithology discrimination using Lamé petrophysical parameters; “ $\lambda\rho$ ”, “ $\mu\rho$ ” and “ $\tilde{\lambda}\mu$ fluid stack”, from P and S inversions: SEG Expanded Abstracts, 183-186.*
- Hampson, D. and Russell, B., 1990, *AVO inversion: theory and practice: 60th Ann. Internat. Mtg., SEG, Expanded Abstracts, 1456-1458.*
- Hampson, D. and Russell, B., 1990, *Use of Multi Attribute transforms to predict log properties from seismic data, Geophysics, 66, 220-236*
- Koesoemadinata, R.P., 2004, *Regional Setting of the Sunda and Asri Basins, a compilation Study, Unpublished, Jakarta, 2004*
- Molina, J., 1985, *Petroleum Geochemistry of the Sunda Basin, Proceedings IPA October 1985, p.143-179.*
- Munadi, S., 2000, *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi, Diktat Kuliah, Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok*
- Prayitno, W., Armon, J.W., Haryono, S., 1992, *The Implication of basin modeling for exploration: Sunda basin case study, offshore southeast Sumatra, Proc. Indonesian Association, 21st Ann. Conv.,379-414*
- Russell, B.H., 1988, *Introduction to seismic inversion methods: SEG Continuing Education Course Note Series, Vol. 2, SEG.*
- Rutherford, S. R., and Williams, R. H., 1989, *Amplitude-versus-offset variations in gas sands: Geophysics, 54, 680–688.*
- Shuey, R.T., 1985, *A simplification of the Zoeppritz equations, Geophysics 50, 609-614.*
- Sukanto, J., Nunuk F., Aldrich, J.B., Rinehart, G.P., Mitchell, J., 1998, *Petroleum Systems of The Asri Basin, Java Sea, Indonesia : Proc IPA 26th Ann. Conv., Jakarta, May, 1998, 1-117.*
- Tatham, R.H., and Stoffa, P.L., 1976, *Vp/Vs – A potential hydrocarbon indicator: Geophysics, 41, 837-849.*
- Tood, D.F. & Pulunggono, A., 1971, *The Sunda Basinal Area, Association American Petroleum Geologists (AAPG) Lecture, Houston, Texas.*
- Wight, A., Sudarmono, & Imron, A. , 1986, *Stratigraphic Response to Structural Evolution in Tensional Back Arc Setting and Its Exploratory Significance: Sunda Basin, West Java Sea, Proc. Indonesian association, 15th Ann. Conv., 77-100.*

Xiaomin,Z., Jiafu, Q., Dakang, Z., Qiao, Y., Qin, Z., 2005, *Tectonic and Sedimentary Research on Sunda and Asri Basin*, Technical Report CNOOC – China University of Petroleum, Unpublished, February, 2005.



LAMPIRAN

Data Produksi Kumulatif Sumur Lapangan WGR

Field Name: N_W

Platform	Well	Current Type	Tot Cum Oil	Tot Cum Gas	Tot Cum Wat
N. Wanda A	NWAA-C2S:TA	PO	620969.527	767784.37	318881.174
	NWAA-C3:TA	PO	1557922.168	1076709.21	337238.476
	NWAA-C4:TA	PO	1170104.265	625329.82	3113863.042
	NWAA-C5:TA	PO	990347.729	889100.72	1424793.741
N. Wanda B	NWAB-C1:TA	PO	557906.302	456904.57	374632.469
	NWAB-C2:TA	PO	0.086	3853.78	20341.523
	NWAB-C4:TA	IW	570821.694	175750.53	110125.482

Field Name: SW_W

Platform	Well	Current Type	Tot Cum Oil	Tot Cum Gas	Tot Cum Wat
S.W. Wanda A	SWWA-C3:TA	PO	891879.67	1112831	92054.198
	SWWA-C5:TA	PO	3002958.886	728418.96	3198312.932