



TUGAS AKHIR - RF141501

**ANALISIS LITOLOGI RESERVOIR MENGGUNAKAN
VP/VS HASIL INVERSI SECARA TERPISAH
(*INDEPENDENT INVERSION*) GELOMBANG PP DAN PS**

**GIGIH PRAKOSO WIGANTIYOKO
NRP - 3712100023**

Dosen Pembimbing

Dr. Widya Utama, DEA
NIP - 19611024 198803 1001

Firman Syaifuddin, S.Si, MT
NIP - 19840911 201404 1001

**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

**RESERVOIR LITHOLOGY ANALYSIS USING VP/VS
INDEPENDENT INVERSION PP AND PS WAVES**

GIGIH PRAKOSO WIGANTIYOKO
NRP - 3712100023

Advisors

Dr. Widya Utama, DEA
NIP - 19611024 198803 1001

Firman Syaifuddin, S.Si, MT
NIP - 19840911 201404 1001

JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**ANALISIS LITOLOGI RESERVOIR MENGGUNAKAN
VP/Vs HASIL INVERSI SECARA TERPISAH
(INDEPENDENT INVERSION) GELOMBANG PP DAN PS**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi Sebagian Persyaratan

Untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Jurusan Teknik Geofisika

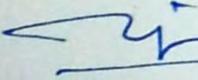
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

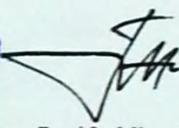
Surabaya, 27 Juli 2016

Mengesahui:

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,


Dr. Widya Utama, DEA


Firman Syaifuddin, S.Si, MT

NIP. 19611024 198803 1001

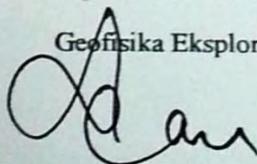
NIP. 19840911 201404 1001



Mengesahui:

Kepala Laboratorium

Geofisika Eksplorasi



Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, MT

NIP. 19690906 199702 1001

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

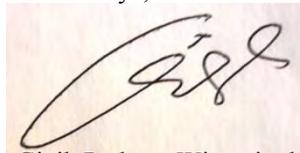
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisis Litologi Reservoir Menggunakan Vp/Vs Hasil Inversi Secara Terpisah (*Independent Inversion*) Gelombang PP dan PS**” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 27 Juli 2016

A handwritten signature in black ink on a light-colored background. The signature is stylized and appears to read 'Gigih Prakoso Wigantiyoko'.

Gigih Prakoso Wigantiyoko

NRP. 3712100023

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

ANALISIS LITOLOGI RESERVOIR MENGGUNAKAN VP/Vs HASIL INVERSI SECARA TERPISAH (*INDEPENDENT INVERSION*) GELOMBANG PP DAN PS

Nama : Gigih Prakoso Wigantiyoko
NRP : 3712100023
Jurusan : Teknik Geofisika FTSP - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Widya Utama, DEA
: Firman Syaifuddin, S.Si, MT

Abstrak

Pada kondisi bawah permukaan yang sangat kompleks, seismik yang hanya memanfaatkan gelombang P (*PP wave*) kurang mampu menggambarkan litologi khususnya pada daerah yang tersaturasi fluida seperti *gas chimney*. Gelombang PS (*converted wave*) yang didapatkan dari konversi pantulan gelombang P digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikarenakan sifat dari gelombang S yang tidak dapat merambat pada medium fluida. Sehingga untuk menganalisis litologi yang kompleks, dilakukan proses inversi dengan menggunakan gelombang PP dan PS. Proses inversi tersebut dilakukan secara terpisah (*independent inversion*). Hasil akhir dari proses inversi seismik PP dan PS adalah berupa penampang perbandingan nilai V_p/V_s yang didapatkan dari penampang impedansi akustik (Z_p) dan impedansi *shear* (Z_s). Dengan melakukan analisis V_p/V_s hasil *independent inversion*, didapatkan bahwa litologi reservoir pada daerah GG2-GG6 adalah berupa *sand* dengan nilai $V_p/V_s < 2.1$, $Z_p < 5000 \text{ m/s} \cdot \text{kg/m}^3$, dan porositas sebesar 27-29%. Didapatkan akumulasi fluida reservoir (zona gas) terbesar pada *window 3* (GG5-GG6) dengan lokasi CDP 126504358-126504708 dengan kedalaman

dalam domain waktu 1850-1950 ms disebelah Barat sumur, dan pada CDP 126504708-126504813 dengan kedalaman dalam domain waktu 1700-1800 ms di sebelah Timur sumur.

Kata Kunci: *Converted Wave, Independent Inversion, Litologi, Vp/Vs*

RESERVOIR LITHOLOGY ANALYSIS USING VP/Vs INDEPENDENT INVERSION PP AND PS WAVES

Name : Gigih Prakoso Wigantiyoko
NRP : 3712100023
Department : Geophysical Engineering FTSP - ITS
Advisors : Dr. Widya Utama, DEA
: Firman Syaifuddin, S.Si, MT

Abstract

Describing subsurface conditions which are very complex, seismic waves P (seismic PP) are less able to describe the subsurface conditions, especially in areas such as saturated fluid (chimney gas). Seismic PS (converted wave) obtained from the conversion of the P wave reflections are used to solve the problem, due to the characteristic of the S wave that could not propagate in a fluid medium. So as to analyze the subsurface lithology in more detail, by using inversion process that utilizes two types of seismic waves above. Inversion process is done separately (independent inversion) between seismic PP and PS to get the value of V_p/V_s ratio to analyze and determine the reservoir lithology. The result of the seismic inversion PP and PS separately (independent inversion) is in the form of a comparison of V_p/V_s ratio which obtained from acoustic impedance (Z_p) and shear impedance (Z_s) cross section. By analyzing the V_p/V_s , the reservoir lithology on GG2-GG6 area is in the form of sand with a value of $V_p/V_s < 2.1$, $Z_p < 5000 \text{ m/s} \cdot \text{kg/m}^3$, and a porosity of 27-29%. The largest hydrocarbon accumulation (gas) found on window 3 (GG5-GG6) with CDP location 126504358-126504708 with depth in the time domain 1850-1950 ms located in the west of the well, and on the CDP

126504708-126504813 with depth in the time domain 1700-1800 ms in the east of the well.

Keywords: Converted Wave, Independent Inversion, Lithology, Vp/Vs

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Litologi Reservoir Menggunakan V_p/V_s Hasil Inversi Secara Terpisah (*Independent Inversion*) Gelombang PP dan PS” ini dapat terselesaikan.

Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Widya Utama dan Bapak Firman Syaifuddin, selaku pembimbing.
2. Bapak Dr. Dwa Desa dan Bapak Djuan Pandu, selaku dosen penguji.
3. Seluruh Dosen Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
4. Bapak, Ibu, Mama, Papa, Mbak Galuh yang selalu memberikan motivasi dan dorongan.
5. Denira Melinda yang selalu memberikan semangat dan dorongan.
6. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2012 atas dukungannya.
7. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, maka dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik terhadap tugas akhir ini yang bersifat membangun guna perbaikan di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi Indonesia dan dunia.

Surabaya, 27 Juli 2016

Gigih Prakoso Wigantiyoko

NRP. 3712100023

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	1
1.3 Perumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Road Map Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Seismik Multikomponen	5
2.2 Impedansi Akustik Z_p	7
2.3 Impedansi Shear Z_s	7
2.4 Inversi Seismik	8
2.4.1 Inversi Model Base	9
2.4.2 Inversi Bandlimited (Inversi Rekursif)	11
2.4.3 Inversi Sparse Spike	12
2.5 Penelitian Terdahulu Terkait V_p/V_s	13
2.4.2 Mendeteksi Litologi	13
2.4.2 Monitoring Reservoir	15
2.4.2 Memetakan Struktur Bawah Permukaan	15

BAB III METODOLOGI	17
3.1 Alur Kerja Penelitian	17
3.1.1 Pengolahan Seismik Gelombang PP	18
3.1.2 Pengolahan Seismik Gelombang PS	19
3.1.3 Pengolahan Independent Inversion	20
3.2 Pengumpulan Data	20
3.2.1 Base Map	20
3.2.2 Data Sumur	21
3.2.3 Data Checkshot	21
3.2.4 Data Marker	22
3.2.5 Data Seismik	22
3.2.1 Data Horizon	22
3.3 Pengolahan Data	23
3.3.1 Loading Data	23
3.3.2 Ekstraksi Wavelet	24
3.3.3 Well To Seismic Tie	24
3.3.4 Picking Horizon	25
3.3.5 Inisial Model	26
3.3.6 Inversi Post-stack	26
3.3.7 Vp/Vs	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Analisa Data Seismik Gelombang PP dan PS	29
4.2 Analisa Well To Seismic Tie	31
4.2.1 Well To Seismic Tie Gelombang PP	31
4.2.2 Well To Seismic Tie Gelombang PS	33
4.3 Analisa Inisial Model	34
4.3.1 Inisial Model PP	37
4.3.2 Inisial Model PS	41
4.4 Analisa Inversi	45

4.4.1	Analisa Inversi Seismik PP.....	45
4.4.2	Analisa Inversi Seismik PS.....	51
4.5	Analisa Rasio V_p/V_s	56
4.6	Interpretasi Penampang V_p/V_s	58
BAB V	PENUTUP	65
5.1	Kesimpulan.....	65
5.2	Saran.....	65
DAFTAR	PUSTAKA	67
BIODATA	PENULIS	69

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	<i>Road map</i> penelitian	3
Gambar 2. 1	Konsep penjalaran <i>converted wave</i> (Brown, 1999).....	5
Gambar 2. 2	Data TWT seismik PP (bagian kiri) dengan interval 100 ms dan ..	6
Gambar 2. 3	Diagram konsep dasar inversi seismik (Sukmono, 2000)	8
Gambar 2. 4	Jenis-jenis inversi seismik (Sukmono, 1999)	9
Gambar 2. 5	Data seismik dan output inversi <i>model base</i> (Russel, 1996)	10
Gambar 2. 6	Data seismik dan output inversi <i>bandlimited</i> (Russell, 1996).....	11
Gambar 2. 7	Data seismik dan output inversi <i>sparse spike</i> (Russell, 1996)	12
Gambar 2. 8	Anomali V_p/V_s dari rasio isochron PP dan PS (Garotta, 1985)...	13
Gambar 2. 9	Nilai V_p/V_s yang diekstraksi dari penampang PP dan PS	14
Gambar 2. 10	Perubahan nilai V_p/V_s saat suhu panas, hangat, dan dingin	15
Gambar 2. 11	Gambaran dari seismik PP (kiri) dan PS (kanan) (Cary, 1999) .	16
Gambar 3. 1	Tahapan inversi seismik PP	18
Gambar 3. 2	Tahapan inversi seismik PS	19
Gambar 3. 3	Tahapan inversi secara terpisah	20
Gambar 3. 4	<i>Base map</i> sumur pada lokasi penelitian	20
Gambar 3. 5	Data sumur ITS-1	23
Gambar 3. 6	Data seismik gelombang PP (a) dan PS (b).....	24
Gambar 3. 7	Ekstraksi <i>wavelet ricker</i> (a) dan <i>statistical</i> (b) yang digunakan...	24
Gambar 3. 8	Korelasi sebesar 0.762 hasil pengikatan data sumur dan data.....	25
Gambar 3. 9	Proses <i>picking horizon</i> GG2 dan GG6 pada seismik PP	25
Gambar 3. 10	Inisial model gelombang seismik PP	26
Gambar 3. 11	Penampang Z_p hasil inversi seismik gelombang PP	26
Gambar 3. 12	Penampang V_p/V_s hasil <i>Independent Inversion</i>	27
Gambar 4. 1	Data seismik gelombang PP (a) dan PS (b) setelah dilakukan	30
Gambar 4. 2	Perbedaan frekuensi dominan gelombang PP (a) dan PS (b)	30
Gambar 4. 3	<i>Wavelet</i> yang digunakan dalam pembuatan seismogram sintetik PP	31
Gambar 4. 4	<i>Wavelet</i> dengan fase 96° untuk pembuatan seismogram sintetik PP	32
Gambar 4. 5	<i>Well to seismic tie</i> gelombang PP pada sumur ITS-1	33
Gambar 4. 6	<i>Wavelet</i> yang digunakan dalam pembuatan seismogram sintetik PS	33
Gambar 4. 7	<i>Wavelet</i> dengan fase -74° untuk pembuatan seismogram sintetik	34

Gambar 4. 8 <i>Well to seismic tie</i> gelombang PS pada sumur ITS-1	34
Gambar 4. 9 Perbedaan data seismik PP dan PS sebelum (a) dan sesudah (b).	36
Gambar 4. 10 Pembuatan inisial model untuk proses inversi PP	37
Gambar 4. 11 QC inisial model 4 dengan menggunakan analisa inversi <i>model</i> 38	
Gambar 4. 12 <i>Crossplot</i> regresi linear inisial model 4 gelombang PP	39
Gambar 4. 13 Inisial model yang digunakan dalam proses inversi PP	40
Gambar 4. 14 Pembuatan inisial model untuk proses inversi PS	41
Gambar 4. 15 QC inisial model 4 dengan menggunakan analisa inversi <i>model</i> 42	
Gambar 4. 16 <i>Crossplot</i> regresi linear inisial model 4 gelombang PS	43
Gambar 4. 17 Inisial model yang digunakan dalam proses inversi PS	44
Gambar 4. 18 Inversi <i>post-stack</i> gelombang PP menggunakan inisial model 446	
Gambar 4. 19 Hasil <i>crossplot</i> Z_p sumur dengan Z_p hasil inversi <i>bandlimited</i>	47
Gambar 4. 20 Perbandingan <i>trend</i> Z_p sumur terhadap Z_p hasil inversi	48
Gambar 4. 21 <i>Crossplot</i> Z_p sumur terhadap Z_p hasil inversi <i>model base</i>	49
Gambar 4. 22 Kesesuaian antara Z_p data sumur dengan Z_p hasil inversi <i>model</i>	50
Gambar 4. 23 Inversi <i>post-stack</i> gelombang PS menggunakan inisial model 452	
Gambar 4. 24 Hasil <i>crossplot</i> Z_s sumur dengan Z_s hasil inversi <i>bandlimited</i> (a),	52
Gambar 4. 25 Perbandingan <i>trend</i> Z_s sumur terhadap Z_s hasil inversi	53
Gambar 4. 26 <i>Crossplot</i> Z_s sumur terhadap Z_s hasil inversi <i>model base</i>	53
Gambar 4. 27 Kesesuaian antara Z_s data sumur dengan Z_s hasil inversi <i>model</i>	55
Gambar 4. 28 Kesesuaian antara V_p/V_s data sumur dengan V_p/V_s hasil inversi	56
Gambar 4. 29 Perbandingan <i>trend</i> V_p/V_s sumur terhadap hasil inversi V_p/V_s	57
Gambar 4. 30 <i>Crossplot</i> V_p/V_s sumur terhadap V_p/V_s hasil inversi <i>model base</i>	57
Gambar 4. 31 Zona gas berdasarkan <i>crossplot</i> V_p/V_s terhadap Z_p dan saturasi	60
Gambar 4. 32 Zona <i>sand</i> pada GG2-GG6	61
Gambar 4. 33 Penampang V_p/V_s	62

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Tabel data sumur yang digunakan dalam penelitian	21
Tabel 3. 2 Tabel data <i>checkshot</i> yang digunakan dalam sumur ITS-1	21
Tabel 3. 3 Tabel data <i>marker</i> yang digunakan dalam sumur ITS-1	22
Tabel 4. 1 Informasi <i>trace</i> dan CDP gelombang seismik PP dan PS	29
Tabel 4. 2 Pembagian lebar <i>window</i> yang digunakan untuk interpretasi V_p/V_s	58

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

membantu adik kelas Saya jika mengalami kesulitan dalam hal apapun seperti mencari tempat untuk KP, mencari tempat untuk TA, dan Saya juga mau menjadi tutor mereka jika dibutuhkan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seismik multikomponen atau sering dikenal dengan seismik multiazimuth merupakan seismik yang dapat merekam gelombang P dan kedua tipe gelombang S secara horizontal dan vertikal (3 komponen), (Chopra 2010). Seismik multikomponen akan menghasilkan seismik gelombang PP, PS, ataupun SS. Jika *source* yang digunakan gelombang P, dan gelombang yang direkam adalah gelombang P maka dinamakan gelombang PP, sedangkan untuk *source* gelombang P atau S dan gelombang yang ditangkap adalah S, dinamakan dengan gelombang PS dan SS. Pada kasus dengan struktur bawah permukaan yang kompleks khususnya pada daerah yang tersaturasi fluida seperti *gas chimney*, jika hanya menggunakan seismik gelombang PP akan terjadi kesulitan pada saat melakukan interpretasi, maka untuk mengatasi permasalahan tersebut digunakan seismik gelombang PS agar hasil gambaran seismik yang didapatkan akan jauh lebih baik sehingga estimasi dari parameter suatu medium akan semakin baik juga. Aplikasi dari seismik PS (*converted wave*) ini sangat banyak, diantaranya adalah untuk membedakan antara lapisan *sand* atau *shale*, digunakan untuk mengidentifikasi karbonat, digunakan untuk mengidentifikasi kontras *P wave* yang rendah, analisa anisotropis, identifikasi zona gas (*bright spot*), dan untuk monitoring reservoir.

Pada penelitian ini, digunakan inversi seismik gelombang PP dan PS post-stack 2D untuk mendapatkan nilai perbandingan V_p terhadap V_s (V_p/V_s). Nilai V_p/V_s tersebut, didapatkan dari hasil inversi seismik secara terpisah (*independent inversion*). Maksud dari inversi secara terpisah disini adalah melakukan inversi untuk masing-masing data seismik PP dan PS. Inversi seismik sendiri merupakan suatu teknik pembuatan model geologi bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data geologi sebagai control, (Sukmono, 2000).

Dengan melakukan analisis V_p/V_s hasil inversi secara terpisah (*independent inversion*), diharapkan dapat mengetahui litologi reservoir berserta fluida yang terkandung di dalam reservoir tersebut.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah untuk mendapatkan nilai impedansi akustik (Z_p), impedansi *shear* (Z_s), dan densitas dari proses inveri secara terpisah (*Independent Inversion*). Kemudian nilai Z_p dan Z_s digunakan untuk mendapatkan nilai V_p dan V_s . Dilakukan perbandingan nilai V_p dan V_s (V_p/V_s) untuk menganalisis litologi reservoir dan fluida yang terkandung di dalam reservoir tersebut.

1.3 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana melakukan inversi secara terpisah seismik PP dan PS (*independent inversion*) untuk mendapatkan impedansi akustik (Z_p), impedansi *shear* (Z_s), dan densitas, dan perbandingan V_p/V_s yang digunakan untuk analisis litologi reservoir dan fluida yang terkandung di dalam reservoir tersebut?

1.4 Batasan Masalah

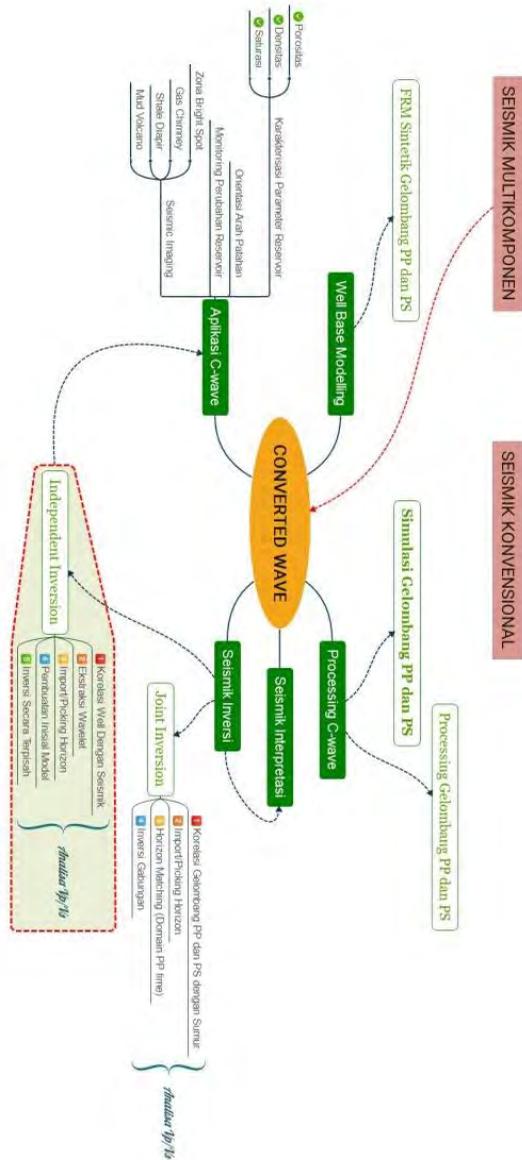
Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a) Data seismik yang digunakan dalam proses inversi adalah data seismik *post-stack 2D PP wave* dan *PS wave*.
- b) Proses inversi dilakukan secara terpisah untuk masing-masing data *PP Stack* dan *PS Stack*.
- c) Inversi data *PP Stack* untuk mendapatkan impedansi akustik gelombang P (Z_p) yang kemudian dapat diturunkan menjadi V_p dan *PS Stack* untuk mendapatkan impedansi *shear* gelombang S (Z_s) yang kemudian dapat diturunkan menjadi V_s .
- d) Analisis inversi *model base* digunakan sebagai *quality control* (QC) dari pembuatan inisial model.
- e) Asumsi yang digunakan untuk mendapatkan Z_s adalah bahwa data seismik PS adalah data SS.

1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui teknik dan tahapan dalam melakukan inversi secara terpisah (*independent inversion*). Selain itu, dapat melakukan analisis impedansi akustik (Z_p), impedansi *shear* (Z_s), densitas, dan perbandingan kecepatan gelombang P terhadap S (V_p/V_s) untuk mendapatkan litologi reservoir beserta dengan kandungan fluida di dalam reservoir tersebut.

1.6 Road Map Penelitian



Gambar 1. 1Road map penelitian

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

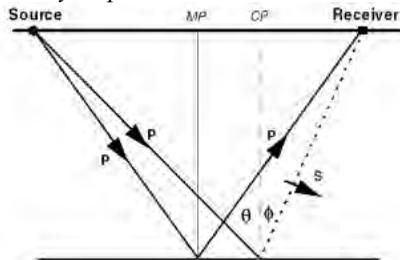
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Seismik Multikomponen

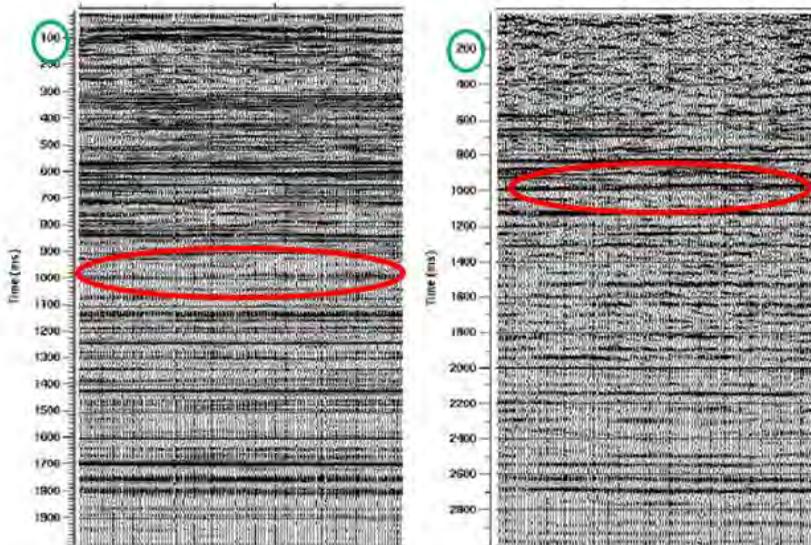
Seismik multikomponen atau dikenal dengan seismik multiazimuth merupakan perkembangan dari teknik akuisisi seismik konvensional. Seismik konvensional hanya menggunakan satu komponen saja (1C) yang terdiri atas komponen vertikal yang hanya dapat merekam gelombang P saja baik untuk survei secara 2D, 3D ataupun 4D. Berbeda dengan teknik akuisisi yang ada pada seismik multikomponen yang mampu merekam gelombang P dan kedua tipe gelombang S secara horizontal dan vertikal sehingga dapat dikatakan bahwa seismik multikomponen ini memiliki tiga komponen (3C) atau bahkan bisa empat komponen (4C).

Didalam dunia seismik, terdapat istilah *PP wave* dan *PS wave*. Dikatakan *PP wave* jika *source* yang digunakan berupa gelombang P dan mode gelombang yang ditangkap oleh *receiver* berupa gelombang P atau yang lebih dikenal dengan gelombang seismik konvensional. Berbeda dengan *PS wave*, dikatakan *PS wave* jika yang ditangkap oleh *receiver* berupa konversi gelombang P oleh bidang reflektor yaitu gelombang S. Maka dari itu, *PS wave* dikenal dengan istilah gelombang seismik terkonversi (*converted wave*). Untuk proses akuisisinya, biasanya jika dilakukan di darat, seismik multikomponen ini menggunakan sensor tiga komponen (3C), sedangkan jika di laut digunakan empat komponen (4C) yang terdiri dari tiga sensor OBC (*Ocean Bottom Cable*) dan satu komponen dari *hydrophone*.



Gambar 2. 1 Konsep penjaralan *converted wave* (Brown, 1999)

Gambar 2.1 diatas merupakan konsep dari penjaralan *converted wave*. Di dalam penjaralannya, gelombang P akan mencapai satu titik yang dinamakan dengan titik konversi (CP) pada batas perlapisan atau medium. Ketika gelombang P mencapai titik tersebut, gelombang P akan terkonversi menjadi gelombang *upgoing S*, lalu akan terekam oleh *receiver*. Pada gambar diatas, sudut datang gelombang P dilambangkan oleh θ dan sudut pantul gelombang S dilambangkan oleh ϕ .



Gambar 2. 2 Data TWT seismik PP (bagian kiri) dengan interval 100 ms dan PS (bagian kanan) dengan interval 200 ms (Lawton, 2001)

Hasil dari seismik multikomponen ini adalah berupa data seismik PP dan PS dengan nilai TWT untuk PS sekitar dua kali lebih besar dibandingkan dengan TWT pada PP karena kecepatan gelombang S merambat lebih lambat daripada gelombang P (Gambar 2.2). Dapat dikatakan bahwa waktu tempuh gelombang P lebih cepat dibandingkan dengan gelombang S.

Lingkaran berwarna merah pada gambar 2.2 diatas menunjukkan *event* seismik yang berbeda akibat adanya kontras nilai TWT untuk *PS wave* sekitar dua kali lebih cepat jika dibandingkan dengan *PP wave*. Hal ini dapat diamati dari indeks nilai TWT untuk kedua gambar penampang seismik diatas (lingkaran berwarna hijau).

Seismik multikomponen menghasilkan gambaran seismik yang lebih baik dan hasil yang lebih jelas dibandingkan dengan seismik satu komponen (Stewart R, 1999). Beberapa aplikasi dan kegunaan dari seismik multikomponen ini yang sudah terbukti adalah untuk membedakan antara *sand* dengan *shale*, analisa V_p/V_s , mengidentifikasi karbonat, mendefinisikan kontras dari *low P wave*, mengidentifikasi zona gas, menganalisa anisotropis, memonitoring reservoir, dan masih banyak kegunaan lainnya yang sangat menunjang dalam dunia industri minyak dan gas (Brown, 1999).

2.2 Impedansi Akustik Z_p

Impedansi akustik (AI) merupakan sifat batuan yang dipengaruhi oleh jenis litologi, porositas, kandungan fluida, kedalaman, tekanan, dan temperature. Oleh karenanya, maka Z_p dapat digunakan sebagai indikator litologi, porositas, hidrokarbon, pemetaan litologi, pemetaan satuan aliran sampai dengan alat kuantifikasi karakter reservoir.

Model dasar dan yang sering digunakan dalam model satu dimensi untuk *trace* seismik yaitu mengacu pada model konvolusi yang menyatakan bahwa tiap *trace* merupakan hasil konvolusi sederhana dari reflektivitas bumi dengan fungsi sumber seismik ditambah dengan *noise* (Russell, 2004).

Refleksi gelombang seismik terjadi apabila terdapat perubahan impedansi akustik sebagai fungsi dari kecepatan gelombang P dan densitas. Impedansi akustik didefinisikan sebagai kemampuan batuan untuk melewati gelombang seismik yang melaluinya. Secara fisis, impedansi akustik merupakan produk perkalian antara kecepatan gelombang kompresi dengan densitas batuan.

$$Z_p = \rho V_p \quad (2.1)$$

Dengan Z_p adalah impedansi akustik (AI) (gr/cc.ft/s atau $\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$), ρ adalah densitas (gr/cc atau kg/m^3), dan V_p adalah kecepatan gelombang kompresional (m/s).

Dianalogikan bahwa impedansi akustik Z_p dengan *acoustic hardness*. Batuan yang keras (hard rock) dan sukar dimampatkan seperti batu gamping dan granit mempunyai AI yang tinggi, sedangkan batuan yang lunak seperti lempung yang lebih mudah dimampatkan mempunyai Z_p rendah (Badley, 1985). Harga kontras Z_p dapat diperkirakan dari amplitudo refleksinya, semakin besar amplitudonya semakin besar refleksinya dan kontras Z_p -nya (Sukmono,1999).

2.3 Impedansi Shear Z_s

Sama halnya dengan impedansi akustik, impedansi *shear* (Z_s) juga merupakan produk dari densitas (ρ) dan kecepatan, tetapi perbedaannya dengan impedansi akustik, impedansi *shear* hanya bergantung pada kecepatan gelombang S. Perumusan impedansi *shear* dapat ditulis dengan:

$$Z_s = \rho V_s \quad (2.2)$$

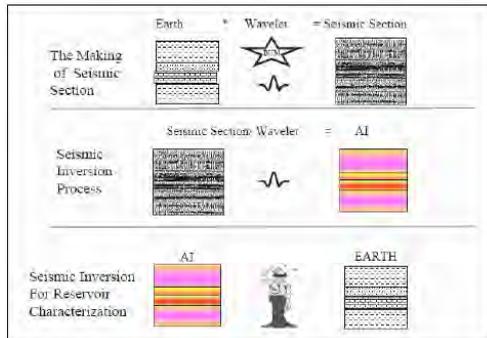
Dengan Z_s adalah impedansi *shear* (gr/cc.ft/s atau $\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$), ρ merupakan densitas (gr/cc atau kg/m^3), dan V_s adalah kecepatan gelombang geser (m/s).

Dikarenakan hanya bergantung pada gelombang S yang hanya dapat merambat pada medium padat, impedansi *shear* tidak dapat menggambarkan fluida sehingga parameter ini hanya dapat mengukur rigiditas suatu matriks batuan. Walaupun demikian, analisa dari impedansi akustik (AI) Z_p dan impedansi *shear* (Z_s) dapat digunakan untuk memprediksikan litologi dan fluida.

2.4 Inversi Seismik

Seismik inversi merupakan suatu teknik pembuatan model bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono, 2000). Pada dasarnya inversi seismik merupakan proses untuk mengubah data seismik yang berupa kumpulan nilai amplitudo ke dalam kumpulan nilai impedansi akustik (AI). Perbedaan data seismik dengan data impedansi akustik adalah bahwa data seismik hanya melihat pola perlapisan bumi sedangkan data impedansi akustik melihat sifat fisik dalam lapisan itu sendiri. Oleh karena itu, tampilan impedansi akustik akan mendekati nilai riil dan lebih mudah dipahami.

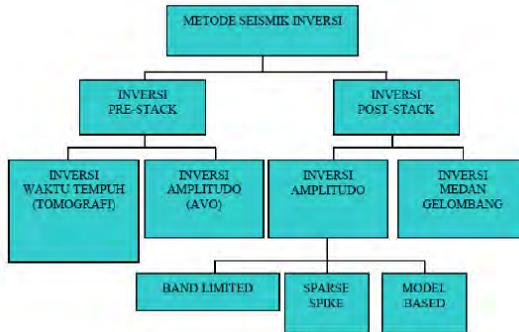
Dari definisi tersebut dapat dijelaskan bahwa metode inversi merupakan kebalikan dari pemodelan dengan metode ke depan (*forward modeling*) yang berhubungan dengan pembuatan seismogram sintetik berdasarkan model bumi. Seismik Inversi menjadi metode standar yang dikerjakan oleh geofisikawan karena mampu mendeskripsikan sifat fisik dari tiap lapisan batuan secara lebih mendetail. Penampang seismik, hanya dapat menggambarkan pola perlapisan bawah permukaan saja, berbeda dengan AI yang dapat menentukan sifat fisik dari perlapisan (Gambar 2.3).



Gambar 2. 3 Diagram konsep dasar inversi seismik (Sukmono, 2000)

Berdasarkan jenis data, metode seismik inversi dikategorikan kedalam dua jenis, yaitu inversi pada data seismik yang telah dilakukan *stacking* (*post-stack inversion*) dan inversi pada data yang belum dilakukan proses *stacking* (*pre-stack inversion*). Pada penelitian kali ini, inversi yang digunakan adalah

inversi dengan teknik *post-stack*. Inversi *post-stack* terdiri atas inversi amplitudo dan inversi medan gelombang. Berdasarkan algoritmanya, inversi amplitudo dibedakan menjadi inversi *Bandlimited*, *Model Based*, dan *Sparse Spike*.



Gambar 2. 4 Jenis-jenis inversi seismik (Sukmono, 1999)

Gambar 2.4 merupakan berbagai jenis teknik inversi, karena data seismik yang digunakan adalah data yang telah dilakukan proses *stacking*, maka teknik inversi yang digunakan dalam proses *Independent Inversion* adalah dengan menggunakan teknik inversi *post-stack*.

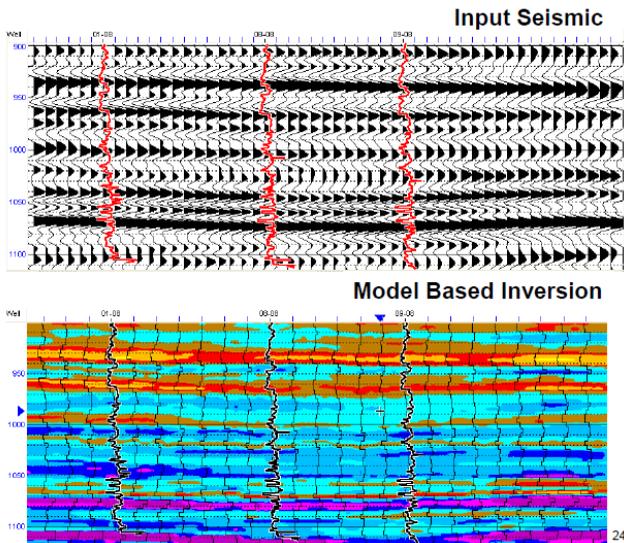
2.4.1 Inversi Model Base

Metode inversi berbasis model (*model base inversion*) disebut juga metode *blocky* dikarenakan impedansi akustik hasil inversinya tersusun atas blok-blok kecil. Proses komputasi dari metode ini menggunakan algoritma GLI (*Generalized Linear Inversion*). Konsep inversi dengan metode ini dimulai dengan pembuatan inisial model impedansi akustik dengan ukuran blok yang telah ditentukan. Inisial model yang dimaksud tersusun atas *low frequency* yang dihasilkan dari data sumur dan dari horizon seismik yang telah dilakukan proses *picking*. Koefisien refleksi diturunkan dari impedansi akustik dan dikonvolusikan dengan *wavelet* yang menghasilkan seismogram sintetik pada tiap-tiap *trace*. Seismogram sintetik ini kemudian dibandingkan dengan *trace* seismik sebenarnya dan dihitung kesalahannya (*error*). Proses ini dilakukan secara iteratif dengan memodifikasi blok *trace* model hingga diperoleh hasil sintetik dengan kesalahan terkecil. Impedansi akustik hasil modifikasi model awal inilah yang merupakan hasil akhir inversi.

Berdasarkan tipe modelnya, metode ini dibagi menjadi dua yaitu inversi berbasis model stokastik dan inversi berbasis model terkonstrain. Agar *noise* yang diperoleh dapat minimal, maka yang dianjurkan untuk digunakan adalah dengan menggunakan inversi terkonstrain (Russell, 2007). Dengan menggunakan inversi terkonstrain, maka *noise* dapat diminimalkan, dapat

digunakan untuk mengurangi kesalahan saat modeling, dan dapat mengatasi kesalahan proses algoritma atau iterasi.

Metode inversi *model base* memiliki keunggulan karena hasil yang didapatkan memiliki control yang baik karena menghindari inversi langsung dari data seismik. Hasil inversi digambarkan dalam bentuk *blocky* yang memiliki nilai impedansi akustik yang kontras, sehingga mempermudah dalam penentuan batas suatu lapisan reservoir. Kelemahan dari metode ini adalah ketidakteraturan inversi. Dengan kata lain, ada banyak kemungkinan solusi model untuk dapat menghasilkan suatu keluaran yang sama. Berikut ini merupakan contoh dari hasil inversi dengan menggunakan metode ini. Dapat diamati pada gambar 2.5 di bawah, bahwa hasil yang didapatkan adalah berupa *high frequency* (lingkaran berwarna hitam) dan zona-zona sempit dapat terpetakan secara baik.



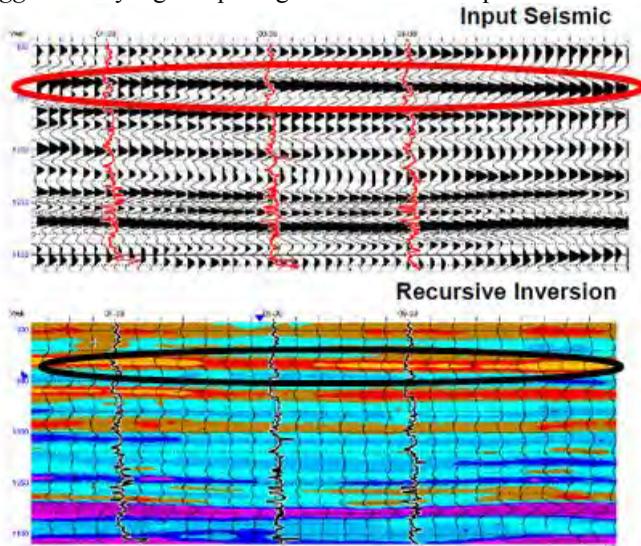
Gambar 2. 5 Data seismik dan output inversi *model base* (Russel, 1996)

Dapat diamati pada gambar 2.5 diatas, bahwa hasil yang didapatkan adalah berupa *high frequency* impedansi akustik (lingkaran berwarna hitam) dan hasil dari inisial model yang dibuat akan sangat berpengaruh pada inversi ini. Hasil dari *high frequency* dapat terbentuk dari inisial model tersebut, sehingga perlu adanya proses *smoothing* agar dihasilkan nilai impedansi akustik yang baik.

2.4.2 Inversi Bandlimited (Inversi Rekursif)

Metode inversi *Bandlimited* atau rekursif ini menginversi data seismik menggunakan algoritma rekursif klasik yang mengasumsikan *trace* seismik sebagai suatu deret koefisien refleksi yang telah difilter oleh *wavelet zero-phase*. Metode ini merupakan metode yang paling awal yang digunakan dalam metode inversi (Russell, 1996). Wavelet tidak digunakan dalam proses inversi ini, sehingga impedansi akustik yang dihasilkan lebih *smooth*.

Kelebihan inversi *bandlimited* adalah waktu proses komputasi relatif cepat, menggunakan data seismik sepenuhnya dalam perhitungan, dan hasilnya berupa *wiggle trace* yang mirip dengan data seismik seperti berikut ini.



Gambar 2. 6 Data seismik dan output inversi *bandlimited* (Russell, 1996)

Dari gambar 2.6 diatas, dapat diamati pada lingkaran berwarna ungu dan hitam, hasil inversi dari metode rekursif ini adalah berupa *wiggle trace* yang mirip. Sedangkan kekurangan dari metode inversi ini adalah sebagai berikut ini:

- Noise* dianggap sebagai tras seismik dan diikutkan dalam perhitungan sehingga dapat menghasilkan lapisan baru yang semu.
- Metode ini tidak menggunakan kontrol geologi sehingga hampir identik dengan permodelan ke depan.
- Kehilangan komponen frekuensi rendah (efek *bandlimited*) dan tinggi mengakibatkan prediksi impedansi akustik kurang baik secara lateral.
- d.

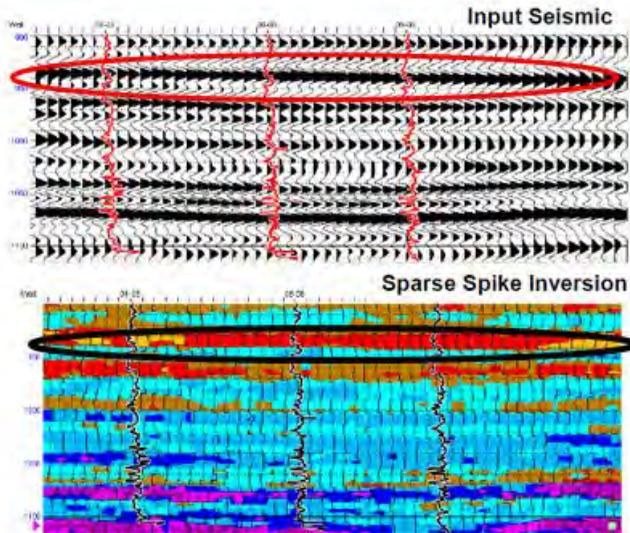
2.4.3 Inversi Sparse Spike

Metode inversi *Sparse Spike* adalah metode inversi dengan mengekstrapolasi spektrum frekuensi di luar batas filter untuk menghindari hilangnya frekuensi rendah. Metode *Sparse Spike* ini mengasumsikan bahwa reflektivitas yang sebenarnya dapat diasumsikan sebagai seri dari *spike-spike* besar yang bertumpukan dengan *spike-spike* yang lebih kecil sebagai *background*. Parameter yang menjadi masukan tambahan pada metode ini adalah menentukan jumlah maksimum *spike* yang akan dideteksi pada tiap *trace* seismik dan *threshold* pendeteksian seismik.

Metode *sparse spike* mengasumsikan bentuk tertentu reflektivitas serta memperkirakan *wavelet* dari asumsi model tersebut. Teknik yang dilakukan dalam metode *Sparse Spike* meliputi:

- Inversi dan dekonvolusi normal 1 (*Linear Programing*)
- Inversi dan dekonvolusi *Maksimum Likelihood*
- Dekonvolusi Entropi Minimum (MED)

Kelebihan dari inversi ini adalah komponen frekuensi rendah secara matematis telah dimasukkan dalam perhitungan solusi dengan pengontrol ekstra, dapat digunakan sebagai estimasi *full-bandwith* reflektivitas. Berikut ini merupakan contoh hasil inversi seismik dengan menggunakan metode *sparse spike* ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2. 7 Data seismik dan output inversi *sparse spike* (Russell, 1996)

Gambar 2.7 diatas akan Nampak mirip dengan gambar 2.5 yang merupakan hasil inversi *model base*. Keluaran dari metode inversi ini adalah

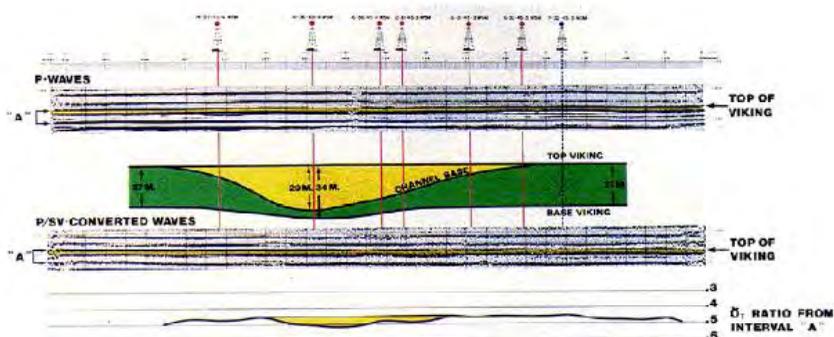
berupa *high frequency* (lingkaran berwarna hitam). Perbedaannya, jika metode inversi ini *trace* seismik memiliki frekuensi yang jauh lebih besar.

2.5 Penelitian Terdahulu Terkait Vp/Vs

Seismik PS (*converted wave*) memberikan pengaruh yang sangat besar bagi industri minyak dan gas, terutama dengan adanya penampang Vp/Vs yang didapatkan dari proses inversi baik secara terpisah (*independent inversion*) ataupun secara gabungan (*joint inversion*) seismik PP dan PS. Penampang Vp/Vs akan sangat membantu dalam proses interpretasi bawah permukaan karena menggabungkan kedua sifat gelombang yaitu gelombang P dan S. Adapun kegunaan dari penampang Vp/Vs adalah sebagai berikut ini.

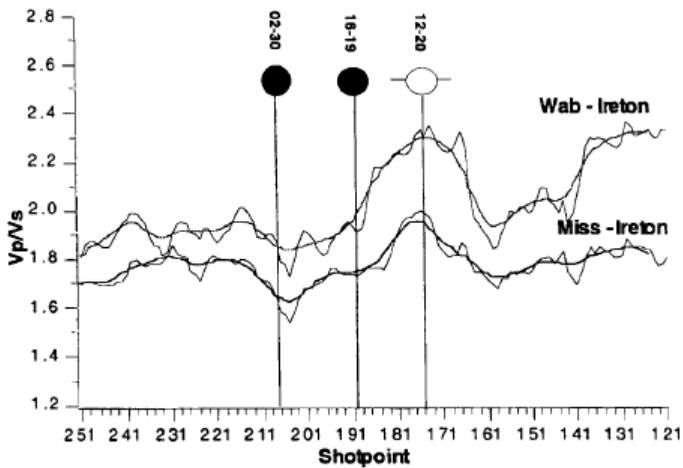
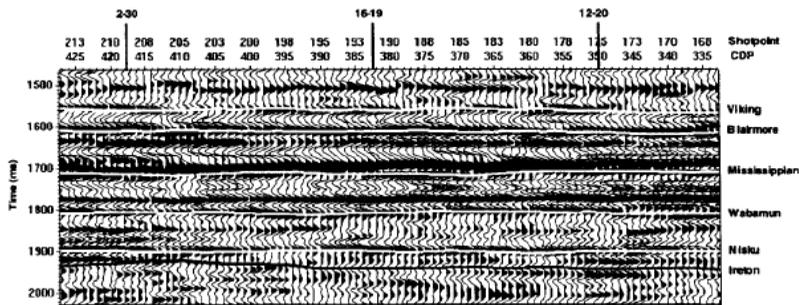
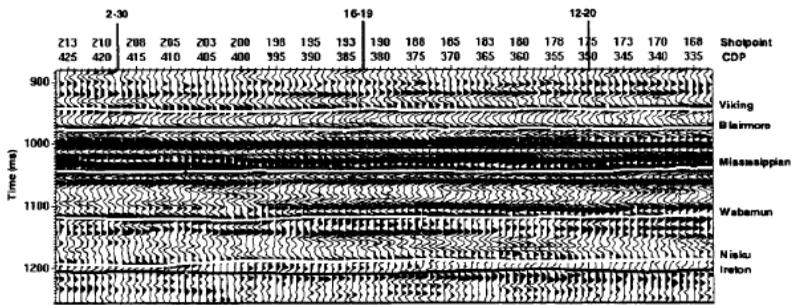
2.4.2 Mendeteksi Litologi

Penelitian yang dilakukan oleh Garotta (1985) menunjukkan seismik PS dan PP untuk *sand channel* reservoir di Winfield, Alberta. Peneliti tersebut menemukan anomali amplitudo pada data PS. Penelitian tersebut juga menggunakan rasio isochron untuk mendapatkan Vp/Vs dan poisson rasio. Peneliti tersebut menginterpretasikan nilai poisson rasio yang rendah sebagai *sand*.



Gambar 2. 8 Anomali Vp/Vs dari rasio isochron PP dan PS (Garotta, 1985)

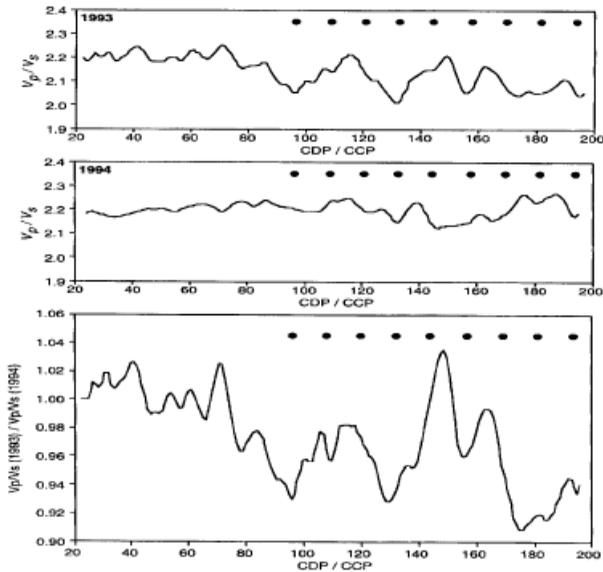
Selain itu, Miller (1998) juga menemukan perubahan variasi nilai Vp/Vs yang signifikan pada daerah karbonat di Lousana, Alberta (Gambar 2.9). Nilai Vp/Vs pada penampang Cretaseus (dari 2.2-2.5) merupakan batuan klastik sedangkan pada penampang Paleozoik (1.5-2.0) merupakan karbonat.



Gambar 2. 9 Nilai V_p/V_s yang diekstraksi dari penampang PP dan PS (Miller, 1998)

2.4.2 Monitoring Reservoir

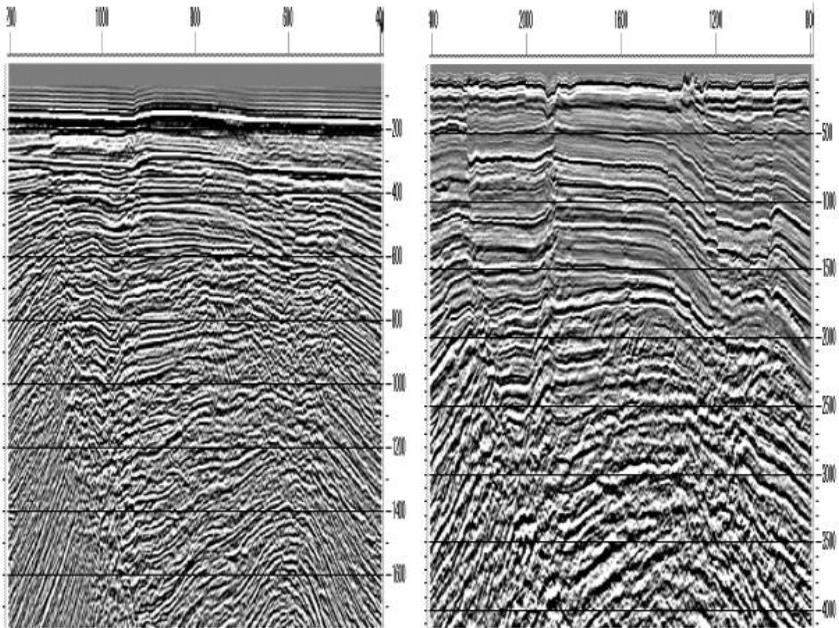
Penelitian yang dilakukan oleh Isaac (1996) menggunakan penampang seismik PP dan PS dari reservoir di Cold Lake, Alberta. Penelitian tersebut menyatakan bahwa terjadi perubahan pada properti reservoir yang berasosiasi oleh perubahan dari temperatur dan saturasi. Akibatnya, terjadi perubahan karakter dari seismik PP dan PS. Penelitian ini menunjukkan bahwa V_p/V_s mengalami perubahan saat reservoir mengalami suhu panas, hangat, dan dingin.



Gambar 2. 10 Perubahan nilai V_p/V_s saat suhu panas, hangat, dan dingin (Isaac, 1996)

2.4.2 Memetakan Struktur Bawah Permukaan

Penelitian yang dilakukan oleh Cary (1999) menunjukkan contoh dari Lapangan Mahogany di Teluk Meksiko dimana seismik PS menggambarkan interpretasi yang baik untuk patahan yang berasosiasi dengan intrusi garam.



Gambar 2. 11 Gambaran dari seismik PP (kiri) dan PS (kanan) (Cary, 1999)

BAB III

METODOLOGI

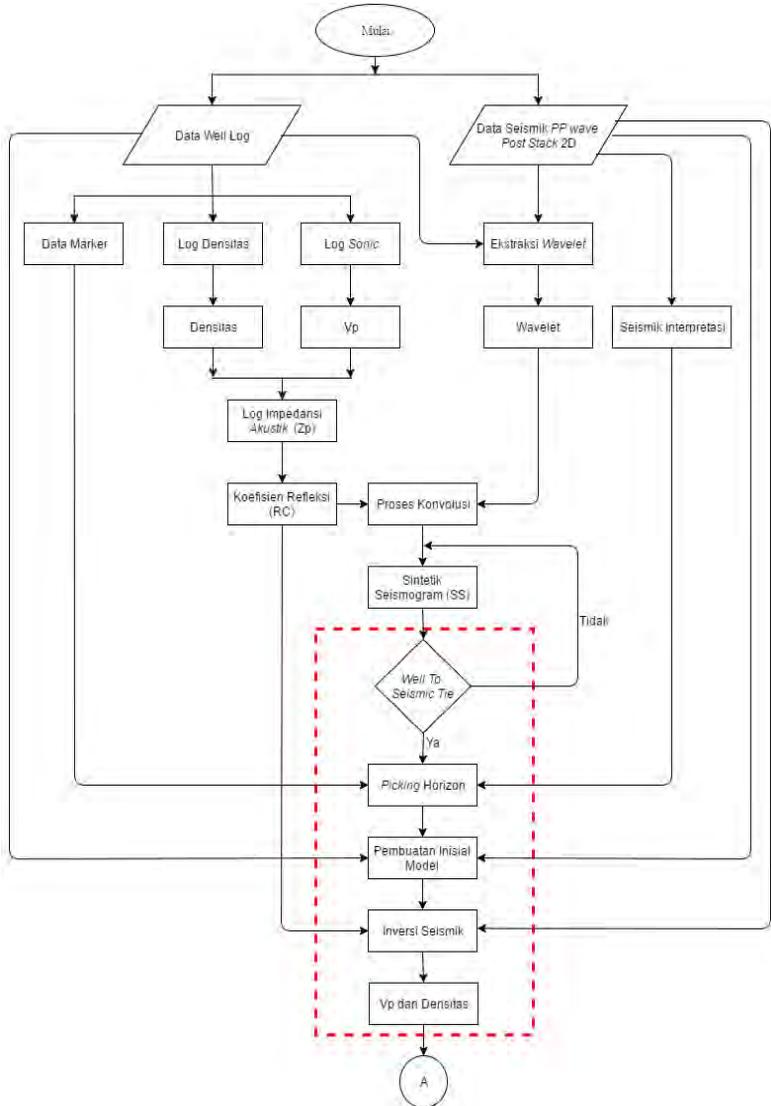
3.1 Alur Kerja Penelitian

Pada penelitian ini digunakan *software* Hampson-Russel untuk mengolah keseluruhan data, baik data seismik, maupun data sumur. Hal yang pertama dilakukan adalah pengolahan data sumur seperti input data sumur ke dalam *eLog*. Selanjutnya dilakukan input data seismik pada *Strata*, yang dilanjutkan dengan proses ekstraksi *wavelet* dan *well to seismic tie* untuk masing-masing data seismik PP dan PS pada *eLog*. Kemudian, dilakukan pembuatan inisial model pada masing-masing seismik PP dan PS. pada *Strata* yang selanjutnya dilakukan adalah *quality control* (QC) dengan menggunakan analisa inversi *model base* pada *Strata* untuk menentukan inisial model yang paling baik untuk inversi. Selanjutnya dilakukan proses inversi *post-stack* AI pada *Strata*. Setelah didapatkan impedansi akustik P (Z_p) dan impedansi *shear* (Z_s) hasil inversi, kemudian dilakukan *trace maths* pada *Strata* dengan membagi Z_p dengan Z_s untuk mendapatkan nilai V_p/V_s . Beberapa langkah diatas dilakukan untuk masing-masing data seismik PP dan PS.

Untuk mengetahui inversi yang digunakan sudah sesuai adalah dengan cara melakukan QC pada penampang hasil inversi baik Z_p ataupun Z_s . Qc yang digunakan adalah dengan melakukan *crossplot* antara hasil inversi seismik PP ataupun PS dengan respon data Z_p dan Z_s pada data sumur di *eMerge*.

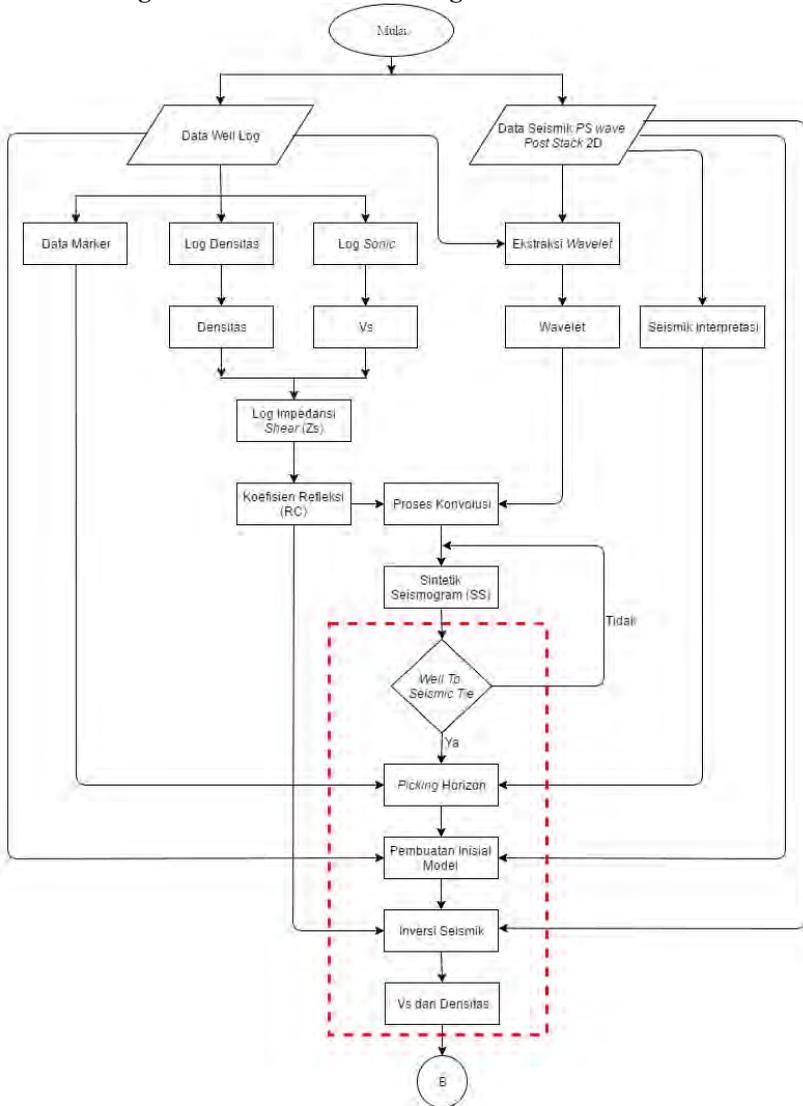
Tahapan pengolahan data pada penelitian ini dikelompokkan menjadi tiga tahapan, yaitu tahapan pengolahan data inversi untuk data seismik *PP wave*, *PS wave (converted wave)*, dan tahapan pengolahan keseluruhan inversi secara terpisah (*Independent Inversion*). Berikut ini merupakan tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini.

3.1.1 Pengolahan Seismik Gelombang PP



Gambar 3. 1 Tahapan inversi seismik PP

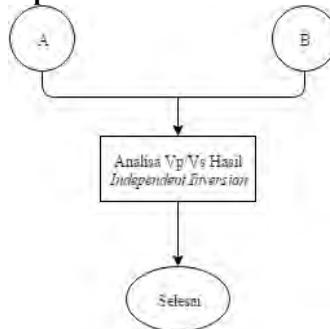
3.1.2 Pengolahan Seismik Gelombang PS



Gambar 3. 2 Tahapan inversi seismik PS

Pengolahan *PP wave* dan *PS wave* pada gambar 3.1 dan 3.2 diatas memiliki tahapan pengolahan yang hampir sama. Perbedaan antara keduanya terletak pada impedansinya, jika pengolahan *PP wave* menggunakan impedansi akustik (Z_p) sebagai hasil kali antara V_p dengan densitas, sedangkan *PS wave* menggunakan impedansi shear (Z_s) sebagai hasil kali antara V_s dengan densitas. Hasil yang didapatkan dari tahapan pengolahan juga berbeda, *PP wave* akan menghasilkan V_p dan densitas, sedangkan *PS wave* akan menghasilkan V_s dan densitas.

3.1.3 Pengolahan Independent Inversion

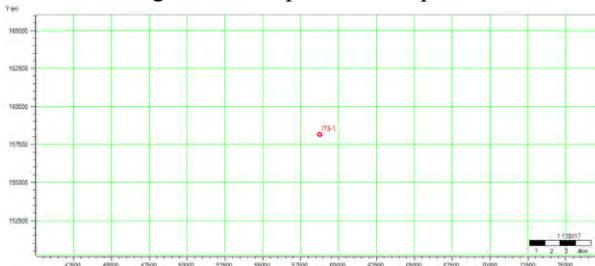


Gambar 3. 3 Tahapan inversi secara terpisah

3.2 Pengumpulan Data

3.2.1 Base Map

Berikut ini merupakan peta dasar (*base map*) yang menunjukkan lokasi sumur dalam kerangka seismik pada daerah penelitian.



Gambar 3. 4 Base map sumur pada lokasi penelitian

3.2.2 Data Sumur

Pada penelitian ini, data sumur yang digunakan berjumlah 1 data saja, dengan berbagai jenis log yang ada didalamnya. Akan tetapi, hanya digunakan beberapa jenis log yang mendukung penelitian seperti *sonic* log, *density log* (RHOB), dan *porosity log*. Berikut ini merupakan data sumur yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3. 1 Tabel data sumur yang digunakan dalam penelitian

Well Name	Well X	Well Y	Units	Well Type	KB Elev Surf	Elev	Well Source	UWI (optional)	User Well Type	Geos. Path
ITS-1	58775.00	158125.00	m	UNSPECIFIED	33.22	0.00 m	Geoview Well			Vertical

3.2.3 Data Checkshot

Data *checkshot* digunakan dalam mendapatkan hubungan antara kedalaman dengan waktu, maka dari itu kegunaan data *checkshot* ini sangatlah penting. Data sumur dengan data seismik memiliki domain yang berbeda, maka perlu adanya penyesuaian domain antara keduanya dengan menggunakan *checkshot*. Perubahan domain akan dilakukan saat proses *well to seismic tie*.

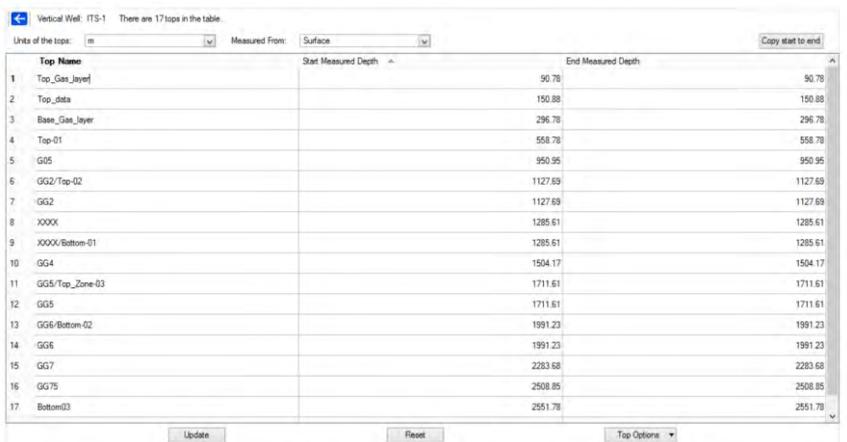
Tabel 3. 2 Tabel data *checkshot* yang digunakan dalam sumur ITS-1

Log Name	Log Type	Amplitude Units	Domain	Domain Units	Measured From	Log Source	User Log Type
BS	Caliper	in	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	CALI
CALI	Caliper	in	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	CALI
Check Shot_1	Check Shot	ms (Two Way time)	Depth	m	Surface	ASCII Log	
Density Merged	Density	g/cc	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	RHOB
Depth-time_PS-wave_cor_statist	Depth-time	ms (Two Way time)	Depth	m	Surface	LAS Log	DPTM
Depth-time_P-wave Merged	Depth-time	ms (Two Way time)	Depth	m	Surface	LAS Log	DPTM
Depth-time_P-wave_cor_ricker	Depth-time	ms (Two Way time)	Depth	m	Surface	LAS Log	DPTM
Depth-time_P-wave_cor_rickers	Depth-time	ms (Two Way time)	Depth	m	Surface	LAS Log	DPTM
Depth-time_S-wave Merged	Depth-time S-wave	ms (Two Way time)	Depth	m	Surface	LAS Log	UNKNOWN
DT	P-wave	us/ft	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	DT
DTS	S-wave	us/ft	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	SDT
F_Pressure	Pressure	psi	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	UNKNOWN
F_Temperature	Temperature	deg C	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	UNKNOWN
PHIT	Porosity	fraction	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	UNKNOWN
P-Impedance_trans	P-Impedance	(m/s) ² /cc	Depth	m	Kelly Bushing	Geoview Log	
PS-wave_cor_statistphase	P-wave	us/ft	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	DT
P-wave_cor_ricker	P-wave	us/ft	Depth	m	Kelly Bushing	LAS Log	DT

3.2.4 Data Marker

Data *marker* digunakan sebagai acuan untuk melakukan *picking horizon* dan pengikatan data sumur dan data seismik. Dalam hal ini, data *marker* berguna untuk menentukan lebar *window* yang akan digunakan sebagai batas zona yang diinginkan. Pada penelitian ini digunakan *marker* GG2 sebagai batas atas, dan GG6 sebagai batas bawah.

Tabel 3. 3 Tabel data *marker* yang digunakan dalam sumur ITS-1



Top Name	Start Measured Depth	End Measured Depth
1 Top_Gas_layer	90.78	90.78
2 Top_data	150.88	150.88
3 Base_Gas_layer	296.78	296.78
4 Top-01	558.78	558.78
5 G05	950.95	950.95
6 GG2/Top-02	1127.69	1127.69
7 GG2	1127.69	1127.69
8 XXXX	1285.61	1285.61
9 XXXX/Bottom-01	1285.61	1285.61
10 GG4	1504.17	1504.17
11 GG5/Top_Zone-03	1711.61	1711.61
12 GG5	1711.61	1711.61
13 GG6/Bottom-02	1991.23	1991.23
14 GG6	1991.23	1991.23
15 GG7	2283.68	2283.68
16 GG75	2508.85	2508.85
17 Bottom03	2551.78	2551.78

3.2.5 Data Seismik

Data seismik yang digunakan berjumlah 2 jenis data *post-stack* 2D, yaitu data seismik PP dan PS. Untuk seismik gelombang PP, memiliki jumlah *trace* seismik sebanyak 930 dengan posisi x 52938-64550. Sedangkan pada seismik gelombang PS, memiliki *trace* seismik sebanyak 851 dengan posisi x 53425-64050.

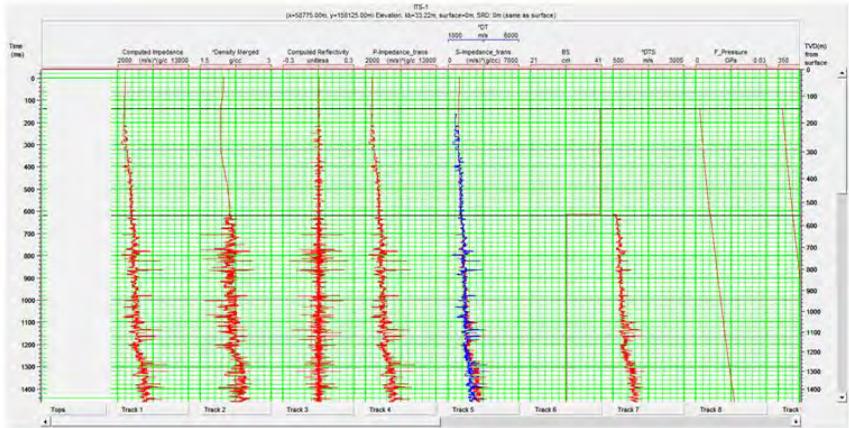
3.2.1 Data Horizon

Horizon yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan batas atas pada data *marker* GG2, dan batas bawah pada data *marker* GG6. Lebar *window* yang digunakan adalah sekitar 1000 ms. Pada penelitian ini, dihasilkan 2 *horizon* sebagai batas untuk dilakukannya proses inversi.

3.3 Pengolahan Data

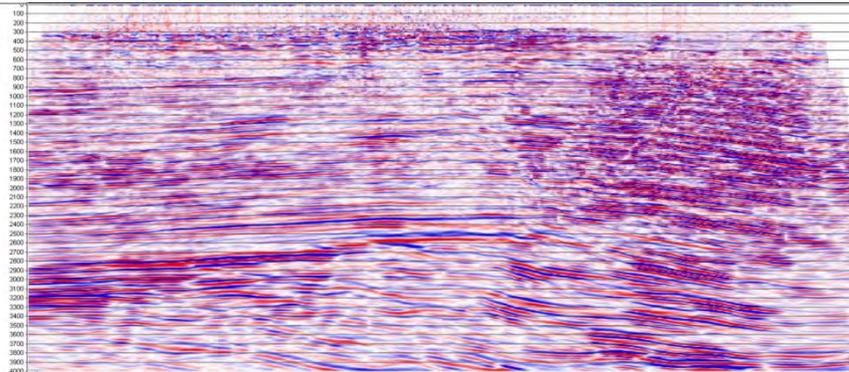
3.3.1 Loading Data

Dalam penelitian ini, dilakukan *loading* data pada *eLog* untuk data sumur, dan pada *Strata* untuk data seismik PP dan PS. Berikut ini merupakan hasil *loading* data sumur yang digunakan dalam penelitian ini.

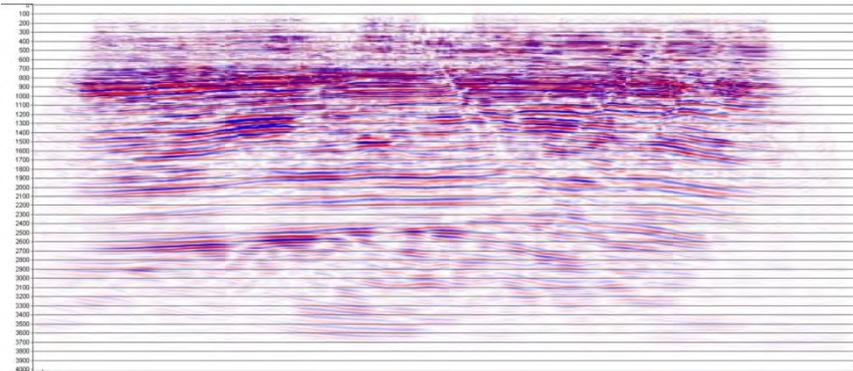


Gambar 3. 5 Data sumur ITS-1

Data seismik yang digunakan dalam penelitian ada 2 jenis, yaitu seismik PP dan PS. Berikut ini merupakan hasil *loading* data seismik PP dan PS.



(a)

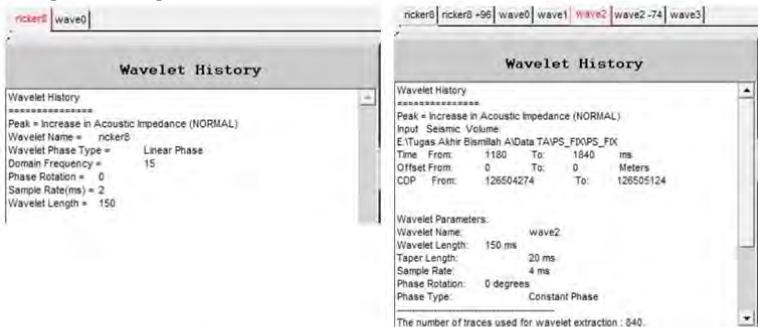


(b)

Gambar 3. 6 Data seismik gelombang PP (a) dan PS (b)

3.3.2 Ekstraksi Wavelet

Dilakukan pembuatan *wavelet* secara *trial and error* untuk mendapatkan *wavelet* yang paling tepat. Pada penelitian ini digunakan *wavelet ricker* sebesar 15 Hz untuk seismik gelombang PP dan *wavelet statistical* untuk seismik gelombang PS.



(a)

(b)

Gambar 3. 7 Ekstraksi *wavelet ricker* (a) dan *statistical* (b) yang digunakan dalam penelitian

3.3.3 Well To Seismic Tie

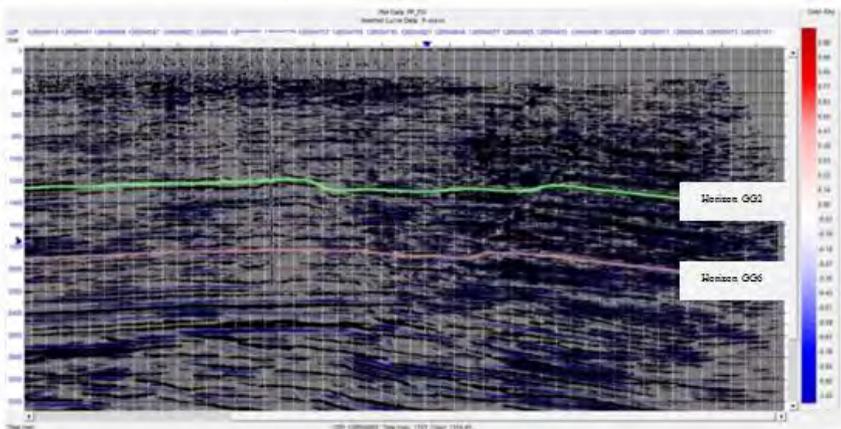
Pengikatan data sumur dan data seismik menggunakan *wavelet ricker* untuk seismik gelombang PP dan *wavelet statistical* untuk seismik gelombang PS. Berikut ini merupakan contoh proses *well to seismic tie* pada gelombang PP.



Gambar 3. 8 Korelasi sebesar 0.762 hasil pengikatan data sumur dan data seismik PP

3.3.4 Picking Horizon

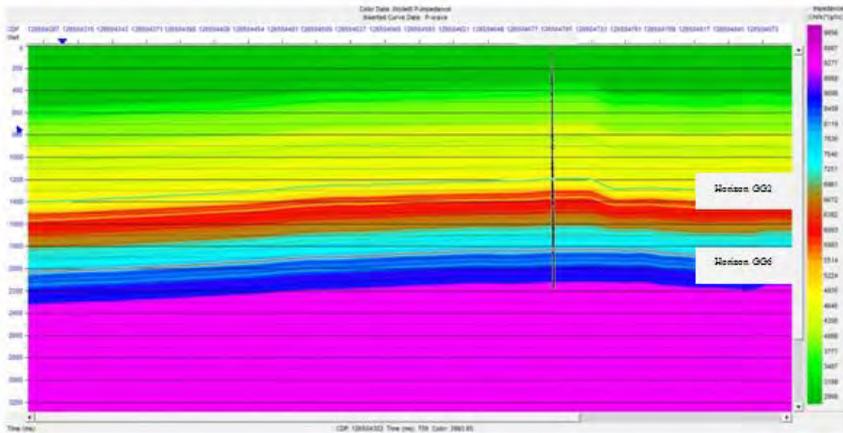
Proses *Picking horizon* dilakukan dengan cara membuat garis kemenerusan lapisan pada penampang seismik. *Horizon* yang digunakan pada data seismik PP dan PS berjumlah 2 horizon, yaitu GG2 dan GG6 dengan lebar *window* sekitar 1000 ms. Berikut ini merupakan contoh hasil *picking horizon* pada GG2 dan GG6 untuk penampang seismik PP.



Gambar 3. 9 Proses *picking horizon* GG2 dan GG6 pada seismik PP

3.3.5 Inisial Model

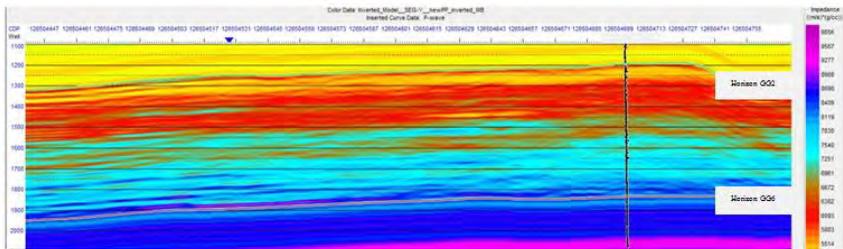
Pembuatan inisial model dikontrol oleh data sumur dan data seismik. Data input yang diperlukan dalam pembuatan model ini adalah *P-wave*, densitas, dan impedansi akustik. Sedangkan *horizon* digunakan sebagai kontrol ekstrapolasi data sumur pada volume seismik. Berikut ini merupakan contoh model inisial yang digunakan untuk seismik gelombang PP.



Gambar 3. 10 Inisial model gelombang seismik PP

3.3.6 Inversi Post-stack

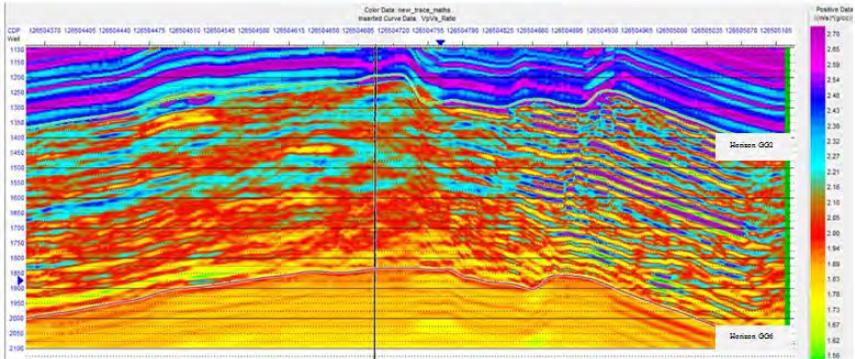
Sebelum dilakukan proses inversi, terlebih dahulu dilakukan *quality control* (QC) untuk inisial model yang akan digunakan dengan cara melakukan analisa inversi dengan menggunakan inversi *model base*. Setelah didapatkan korelasi yang cukup baik, maka selanjutnya dapat dilakukan proses inversi. Berikut ini merupakan contoh penampang impedansi akustik gelombang P pada seismik PP hasil dari proses inversi.



Gambar 3. 11 Penampang Z_p hasil inversi seismik gelombang PP

3.3.7 Vp/Vs

Nilai dari V_p/V_s didapatkan dari penggabungan *trace* Z_p dengan Z_s yang didapatkan dari hasil inversi seismik. Nilai V_p/V_s yang didapatkan kemudian dianalisa untuk mengetahui kandungan fluida dan litologi dari daerah penelitian. Berikut ini merupakan hasil V_p/V_s pada daerah penelitian.



Gambar 3. 12 Penampang V_p/V_s hasil *Independent Inversion*

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

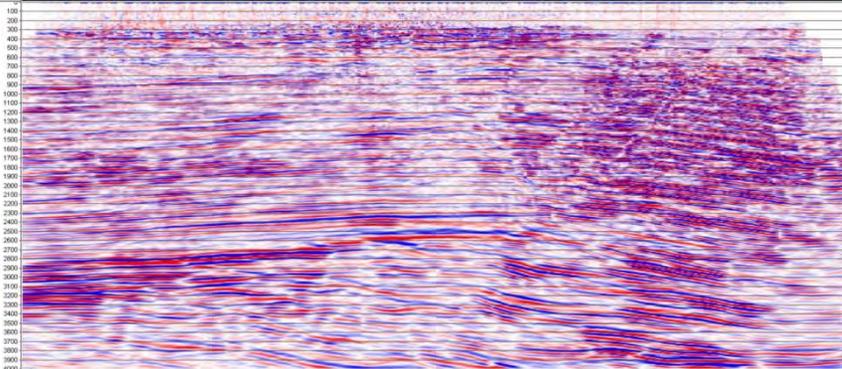
4.1 Analisa Data Seismik Gelombang PP dan PS

Data seismik yang digunakan dalam penelitian ini adalah data seismik *post-stack* 2D untuk gelombang PP dan gelombang PS. Seismik gelombang PP memiliki *time window* dan CDP yang berbeda dengan PS, untuk memudahkan dalam proses pengolahan data, maka posisi CDP dan *time window* antara kedua data harus dibuat sama. Berikut ini merupakan informasi CDP dan jumlah *trace* yang membedakan antara gelombang PP dan PS.

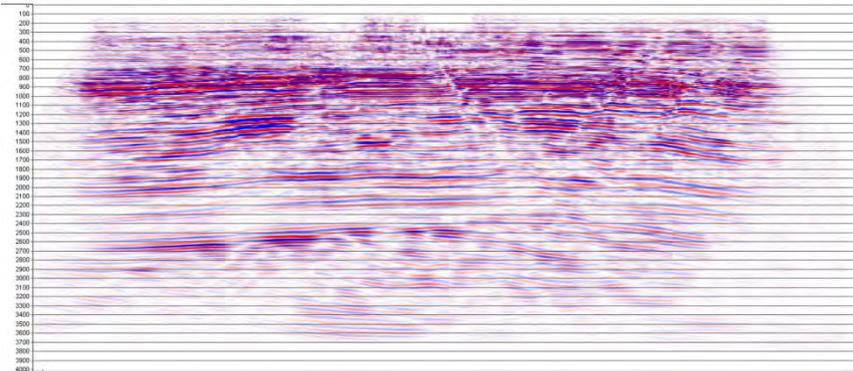
Tabel 4. 1 Informasi *trace* dan CDP gelombang seismik PP dan PS

	Gelombang PP	Gelombang PS
Jumlah Trace	930	851
CDP (Posisi Source X)	52938-64550	53425-64050

Dari table 4.1 diatas, dapat diketahui bahwa posisi CDP untuk gelombang PS lebih kecil dibandingkan dengan gelombang PP, sehingga dilakukan perubahan posisi CDP gelombang PP menjadi 53425-64050. Untuk *time window* yang berbeda antara kedua tipe gelombang, dilakukan pemotongan lebar *time window* untuk kedua data menjadi 4000 ms.



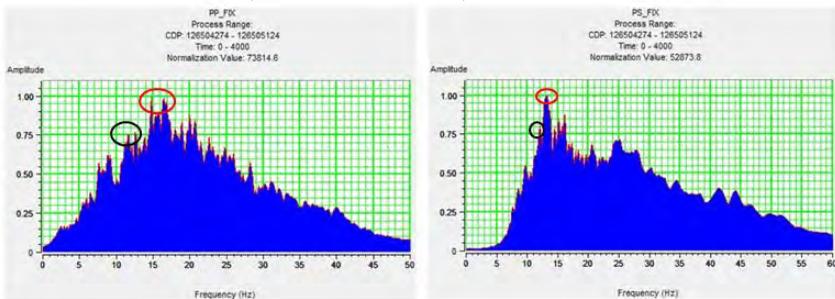
(a)



(b)

Gambar 4. 1 Data seismik gelombang PP (a) dan PS (b) setelah dilakukan *conditioning*

Nilai frekuensi dominan data seismik antara gelombang PP dan gelombang PS juga berbeda. Nilai frekuensi dominan untuk gelombang PP berada pada kisaran 14-17 Hz, sedangkan untuk gelombang PS berada pada kisaran nilai 13-14 Hz (Gambar 4.2 a dan b).



(a)

(b)

Gambar 4. 2 Perbedaan frekuensi dominan gelombang PP (a) dan PS (b)

Lingkaran berwarna merah pada gambar 4.2 diatas menunjukkan nilai dari frekuensi dominan seismik, sedangkan untuk lingkaran berwarna hitam menunjukkan frekuensi *high-cut* dari data seismik. Selain itu, dapat diamati bahwa komponen frekuensi rendah data seismik memiliki amplitudo yang rendah. Nilai frekuensi *high-cut* untuk gelombang PP adalah berkisar antara 10-12 Hz, sedangkan untuk gelombang PS berkisar antara 11-12 Hz. Pada pengolahan selanjutnya, data frekuensi dominan dan *high-cut* digunakan sebagai acuan dalam ekstraksi *wavelet* dan pembuatan inisial model awal sebelum dilakukannya proses inversi.

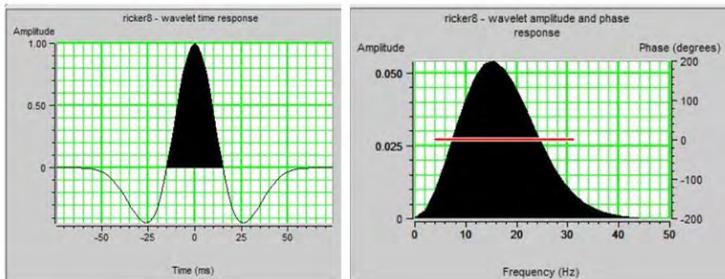
4.2 Analisa Well To Seismic Tie

Well to seismic tie merupakan langkah awal yang sangat penting dalam melakukan proses inversi, karena jika proses ini dilakukan dengan tidak maksimal maka akan berdampak pada hasil inversinya. Pada intinya, proses ini adalah mengikatkan data sumur dengan data seismik. Seperti yang telah diketahui, bahwa domain antara data sumur dan data seismik berbeda. Maka, perlu adanya konversi domain data sumur dari kedalaman menjadi waktu yang disesuaikan oleh data seismik.

Dalam proses ini juga dilakukan pembuatan seismogram sintetik yang merupakan hasil konvolusi antara koefisien refleksi dengan *wavelet*. Seismogram sintetik ini merupakan *trace* seismik buatan yang nantinya akan digunakan dalam proses inversi. *Wavelet* diperoleh dari ekstraksi *wavelet* yang mana dalam pembuatannya terdapat beberapa metode. Pada penelitian ini digunakan ekstraksi *wavelet* dengan menggunakan *wavelet ricker* dan *wavelet* statistik. Ekstraksi *wavelet*, dilakukan pada zona *interest* dengan lebar *time window* sekitar 700 ms dari 1180 ms hingga 1840 ms atau dibatasi oleh marker GG2 sebagai *top* marker dan GG6 sebagai *bottom* marker. Karena penelitian ini menggunakan *independent inversion*, maka proses *well to seismic tie* dilakukan secara terpisah antara gelombang PP dan gelombang PS.

4.2.1 Well To Seismic Tie Gelombang PP

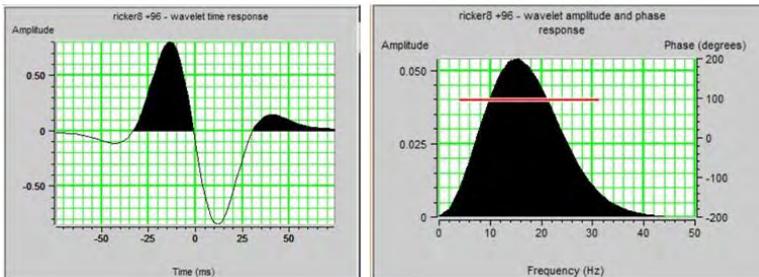
Pada gelombang PP, *wavelet* yang digunakan untuk proses ekstraksi adalah dengan menggunakan *wavelet ricker* yang merupakan *wavelet* sintetik yang dibuat dengan menggunakan dominan frekuensi dari data gelombang seismik PP.



Gambar 4. 3 *Wavelet* yang digunakan dalam pembuatan seismogram sintetik PP

Pada gambar 4.3 diatas, lebar *time window* yang digunakan untuk proses ekstraksi adalah kurang lebih sebesar 700 ms dan lebar *window* ini nantinya akan digunakan juga pada proses *well-tie* gelombang PS. Lebar *window* yang digunakan memang cukup besar, dikarenakan untuk mendekati kondisi bawah permukaan yang sebenarnya diperlukan lebar *window* yang besar dan korelasi yang baik sehingga didapatkan penampang bawah

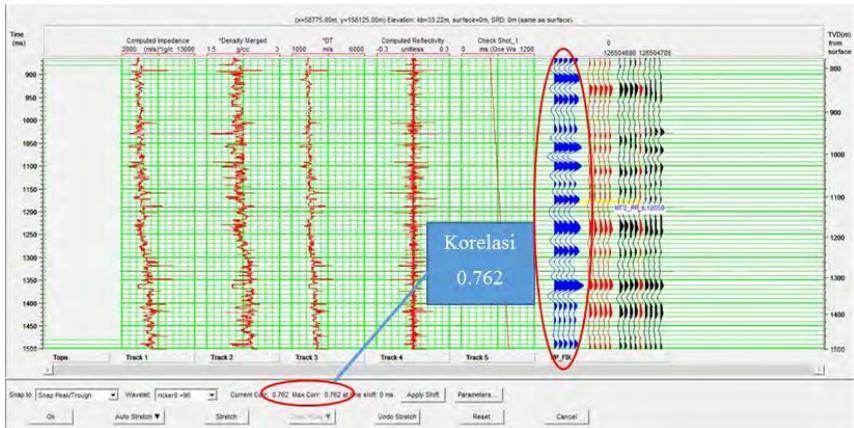
permukaan yang mirip dengan kondisi geologi sebenarnya. Sedangkan untuk panjang *wavelet* yang digunakan adalah sebesar 150 ms. Lebar *window* tidak boleh lebih kecil dari panjang *wavelet* agar sintetik seismogram yang dihasilkan mampu menggambarkan kondisi geologi sebenarnya. Kurang lebih lebar jendela adalah tiga kali lebih besar daripada panjang *wavelet*, agar *wavelet* yang didapatkan sesuai dengan keadaan geologi regional daerah tersebut (Bobby, 2011). Frekuensi yang digunakan dalam ekstraksi *wavelet ricker* ini adalah sebesar 15 Hz dengan menggunakan *zero phase*. Untuk mendapatkan hasil korelasi yang maksimal, maka *wavelet ricker* dengan *zero phase* tersebut diputar fasenya hingga mencapai titik korelasi maksimum. Pada penelitian ini, digunakan fase sebesar $+96^\circ$ untuk mendapatkan hasil korelasi yang maksimal.



Gambar 4. 4 *Wavelet* dengan fase 96° untuk pembuatan seismogram sintetik PP

Pengubahan bentuk *wavelet* dapat dilakukan hanya dengan merubah fasenya dari spektrumnya tanpa harus merubah amplitudonya (Yilmas, 1987). Proses *well to seismic tie* sendiri banyak dipengaruhi oleh adanya *shifting*, *squeezing*, dan *stretching*. *Shifting* sendiri merupakan proses memindahkan seluruh komponen seismogram sintetik ke tempat yang sesuai dengan *trace* data seismik. Sedangkan *squeezing* dan *stretching* adalah proses meregang dan memampatkan antara dua amplitude yang berdekatan pada data seismogram.

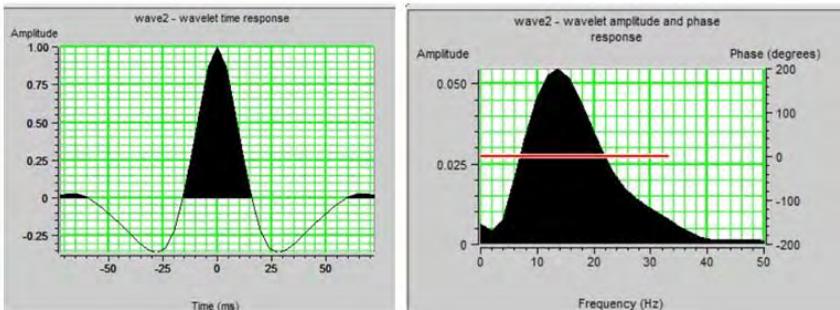
Pada gambar 4.5, dapat diamati bahwa korelasi hasil *well to seismic tie* adalah sebesar 0.762 dan sudah mengalami proses *shifting*, *squeezing*, dan *stretching*. Sebelum dilakuka putaran fase, atau dengan menggunakan *wavelet zero phase* didapatkan korelasi yang tidak maksimal, hanya sebesar 0.668. Seismogram sintetik pada gambar 4.5 ditunjukkan oleh lingkaran merah yang berorientasi vertikal. Agar korelasi maksimum, maka *event* dari seismogram sintetik harus sama dengan *wavelet* yang telah di ekstrak dan data seismik yang digunakan sebagai input. Untuk proses *well to seismic tie* pada gelombang PS cara yang digunakan adalah sama, namun ekstraksi *wavelet* yang digunakan berbeda.



Gambar 4. 5 Well to seismic tie gelombang PP pada sumur ITS-1

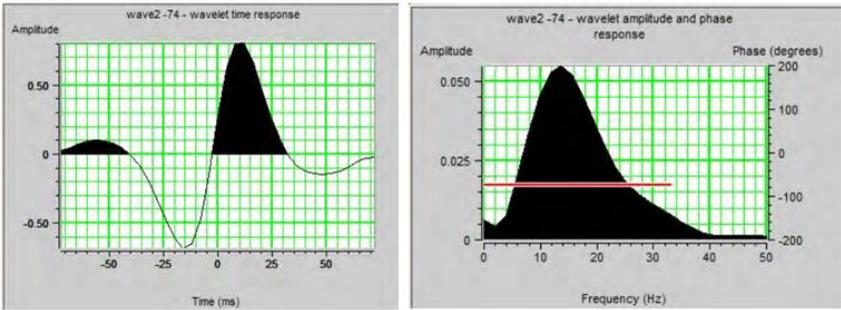
4.2.2 Well To Seismic Tie Gelombang PS

Lebar *window* yang digunakan dalam ekstraksi wavelet guna proses *well to seismic tie* pada gelombang seismik PS, memiliki lebar yang sama dengan gelombang PP yaitu sekitar 700 ms. Ekstraksi *wavelet* yang digunakan adalah dengan menggunakan *wavelet* statistik yang diambil dari data seismik gelombang PS, dikarenakan hasil korelasi yang paling baik adalah dengan menggunakan *wavelet* statistik ini.



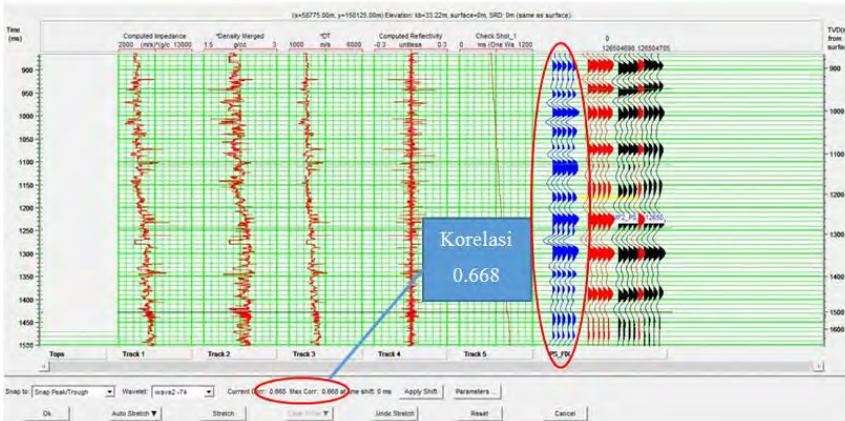
Gambar 4. 6 Wavelet yang digunakan dalam pembuatan seismogram sintetik PS

Wavelet statistik yang digunakan untuk pembuatan seismogram sintetik pada gambar 4.6 diatas, memiliki panjang gelombang 200 ms dengan *tape length* sebesar 25 ms dan *sampling rate* sebesar 4 ms. Fase yang digunakan pada *wavelet* diatas adalah sebesar 0° atau *zero phase*. Untuk mendapatkan korelasi maksimum, maka *wavelet* statistik tersebut diputar fasenya menjadi -74° .



Gambar 4. 7 *Wavelet* dengan fase -74° untuk pembuatan seismogram sintetik PS

Pada gambar 4.7 diatas, dapat diamati bahwa *wavelet* statistik yang digunakan telah berubah bentuk mengikuti fase putarannya. Hasil korelasi *well to seismic tie* (Gambar 4.8) pada gelombang PS ini adalah sebesar 0.668. Sebelum dilakukan putaran fase, atau *wavelet* masih dalam *zero phase*, korelasi yang didapatkan hanya sebesar 0.662 walaupun seismogram sintetik telah mengalami *shifting*, *squeezing*, dan *stretching*. Seismogram sintetik digambarkan oleh lingkaran merah yang berorientasi vertikal.

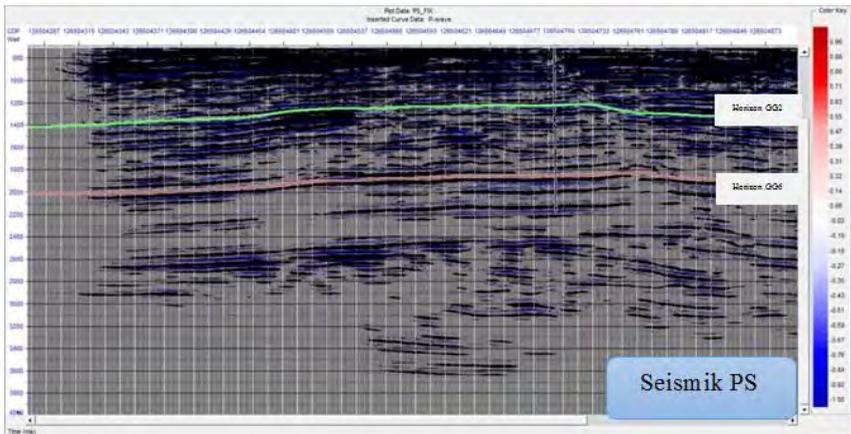
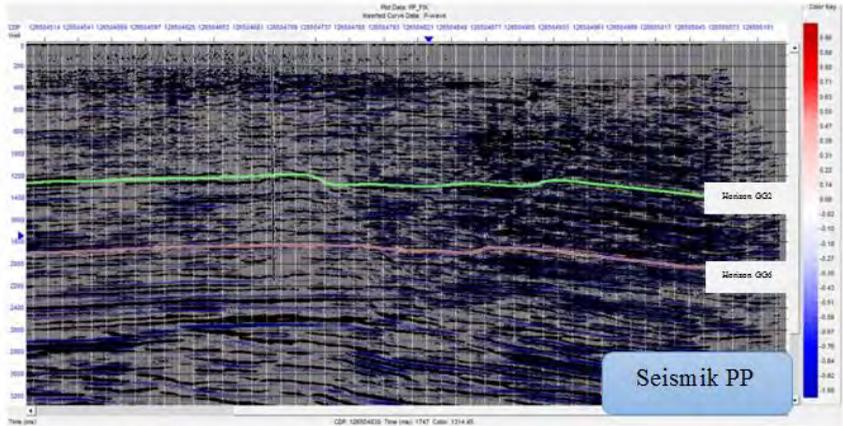


Gambar 4. 8 *Well to seismic tie* gelombang PS pada sumur ITS-1

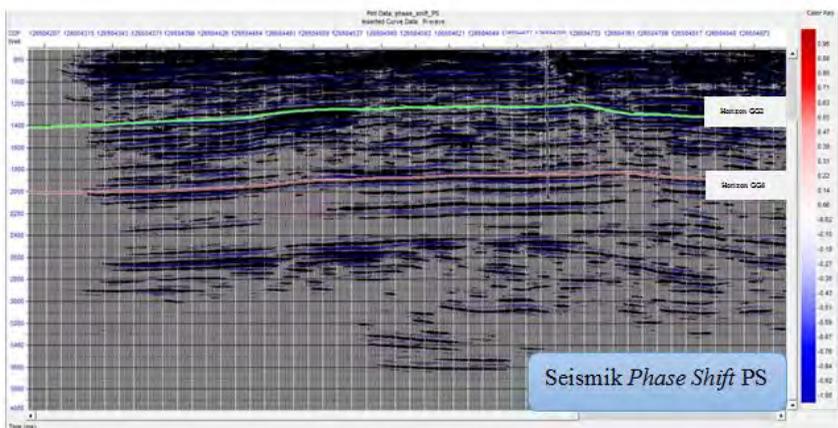
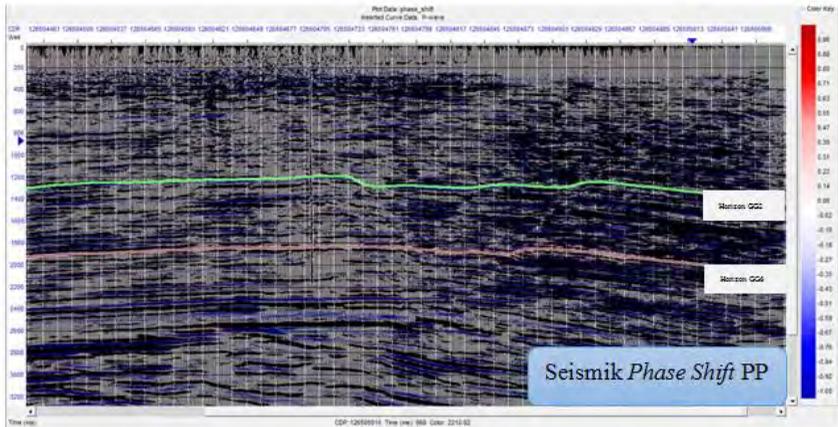
4.3 Analisa Inisial Model

Sebelum membuat inisial model awal Impedansi P dan S sebagai tebakan untuk proses inversi, perlu adanya proses *picking* atau penelusuran horizon terlebih dahulu. Namun sebelum itu dilakukan, perlu adanya koreksi fase data seismik terlebih dahulu, karena proses inversi membutuhkan *wavelet zero phase* agar hasil penampang inversi mirip dengan kondisi geologi yang

sebenarnya. Berdasarkan hasil *well to seismic tie* gelombang seismik PP dan PS, nilai korelasi yang dihasilkan akan maksimum jika ekstraksi *wavelet* menggunakan fase $+96^\circ$ untuk PP dan -74° untuk PS. Agar *wavelet* tersebut menjadi *zero phase* dan proses inversi dapat dilakukan, maka dilakukan *seismic phase shift* atau perputaran fase seismik yang berlawanan arah dengan besar fase hasil ekstraksi *wavelet*. Sehingga untuk gelombang seismik PP, dilakukan putaran fase -96° dan $+74^\circ$ untuk gelombang seismik PS (Gambar 4.9).



(a)



(b)

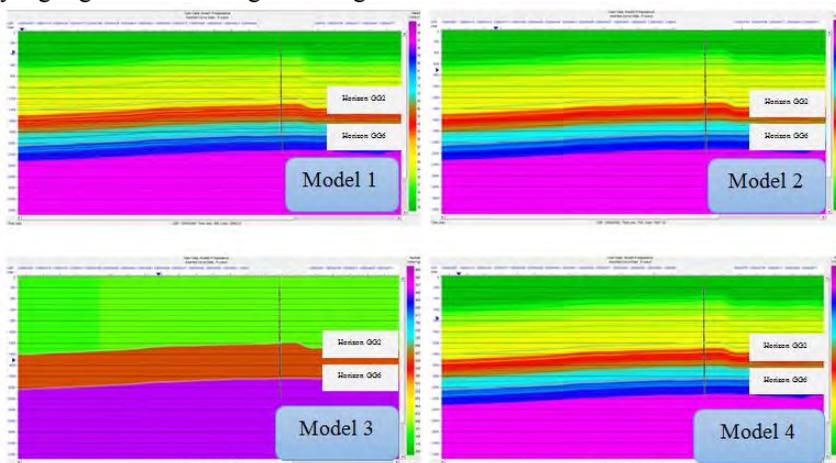
Gambar 4. 9 Perbedaan data seismik PP dan PS sebelum (a) dan sesudah (b) mengalami pemutaran fase

Penelusuran horizon pada zona target dilakukan setelah proses *well to seismic tie* terkorelasi dengan baik. Pada penelitian ini digunakan 2 horizon yang terdiri dari GG2 sebagai *top marker* dan GG6 sebagai batas bawah untuk masing-masing data PP dan PS. Horizon ini juga sebagai control dalam pembuatan inisial model dikarenakan *trend* dari inisial model ini akan mengikuti dari hasil penelusuran horizon yang telah dilakukan. Karena data seismik PS sudah dalam domain *PP time*, maka horizon yang digunakan baik pada PP ataupun PS adalah sama (Gambar 4.9).

Pembuatan inisial model dilakukan dengan menggunakan 4 cara pada masing-masing data seismik PP dan PS yang telah dilakukan proses penelusuran horizon dengan baik. Model pertama, dibuat dengan menggunakan interpolasi, model kedua dengan menggunakan *smoother* frekuensi *high cut*, model ketiga dengan menggunakan *blocked trace* dari horizon, dan yang terakhir adalah dengan menggunakan *smoother running average*.

4.3.1 Inisial Model PP

Pembuatan inisial model PP dan PS dilakukan secara terpisah atau masing-masing dikarenakan untuk gelombang PP, inisial model yang digunakan adalah dalam bentuk impedansi P (Z_p). Berikut ini merupakan inisial model yang digunakan dalam gelombang PP.



Gambar 4. 10 Pembuatan inisial model untuk proses inversi PP

Seperti yang telah dijelaskan, pembuatan inisial model ini dilakukan dengan menggunakan 4 cara pembuatan yang berbeda-beda. Pada gambar 4.10 diatas, model 1 menggunakan interpolasi, model 2 dengan *smoother* frekuensi *high cut* sebesar 12/15 Hz, model 3 dengan menggunakan *blocked trace*, dan model 4 dengan menggunakan *running average* dengan 5 sampel. Penentuan frekuensi *high cut* dilihat dari analisa spektrum frekuensi pada data seismik PP. Untuk melakukan proses inversi, hanya 1 inisial model yang dibutuhkan, maka dari itu dicari inisial model yang paling baik digunakan untuk proses inversi dari keempat inisial model pada gambar 4.10 diatas.

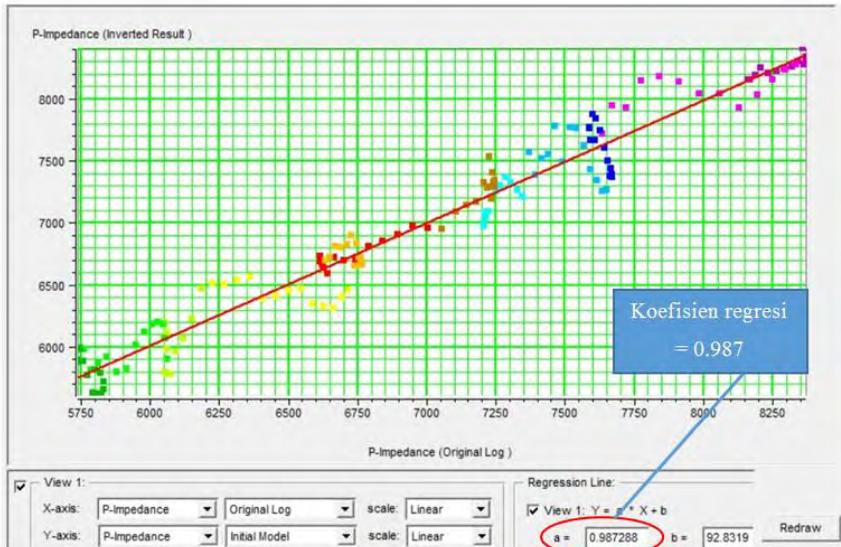
Cara yang digunakan sebagai *quality control* (QC) inisial model yang paling baik adalah dengan melakukan inversi menggunakan *model base* di sumur (Gambar 4.11), kemudian dilakukan *crossplot* persebaran data antara data sumur dengan data inisial model yang telah dibuat. Selanjutnya, dilakukan

pembuatan garis regresi linear sehingga hasil akhir yang didapatkan adalah berupa nilai gradien atau koefisien regresi. Berdasarkan *crossplot* yang dilakukan pada keempat inisial model (Gambar 4.10), didapatkan bahwa model yang paling baik digunakan dalam proses inversi adalah model 4 dengan menggunakan *running average* 5 sampel.



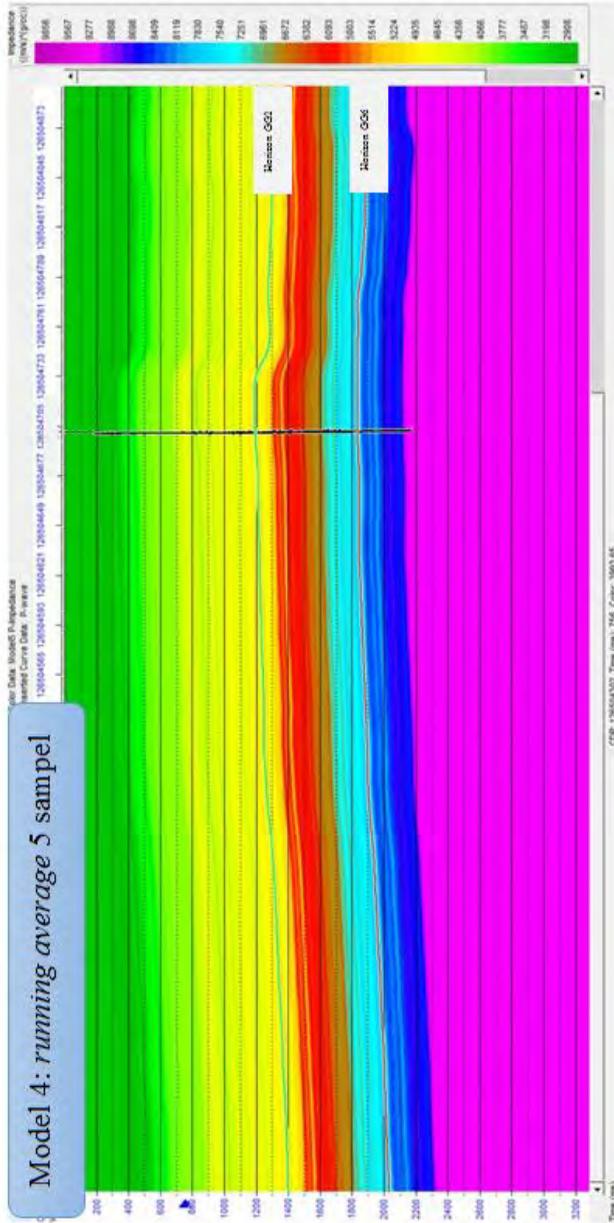
Gambar 4. 11 QC inisial model 4 dengan menggunakan analisa inversi *model base*

Gambar 4.11 diatas menunjukkan kesesuaian inisial model dengan data sumur (lingkaran merah), dengan data sumur digambarkan dengan krva berwarna biru, sedangkan inisial model digambarkan dengan kurva berwarna hitam. Dari gambar 4.11 diatas, dapat diamati bahwa antara data sumur dengan data inisial model cenderung berimpit, hal ini menunjukkan bahwa kesesuaian antara inisial model dengan data sumur sangat baik.



Gambar 4. 12 *Crossplot* regresi linear inisial model 4 gelombang PP

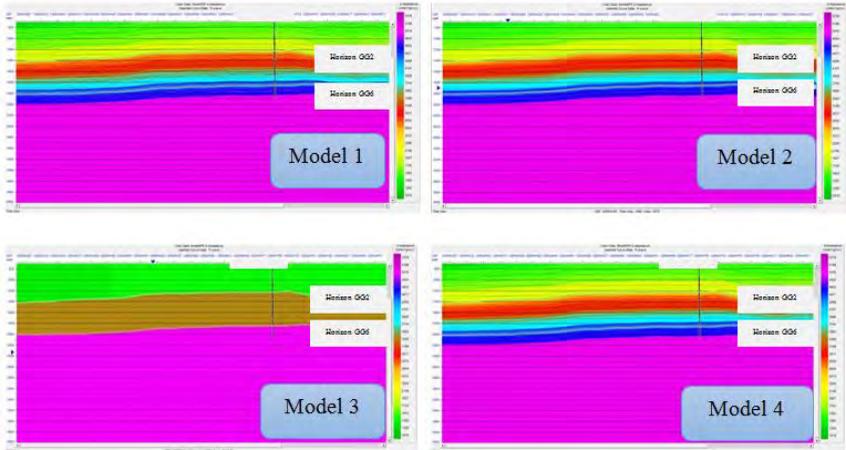
Gambar 4.12 menunjukkan hasil *crossplot* dari regresi linear antara data sumur dengan data inisial model 4. Dapat diamati bahwa persebaran data antara data sumur dengan data inisial model cenderung linear atau dapat dikatakan bahwa persebaran datanya cenderung berada di tengah dan tidak terlalu menyebar (*scatter*). Dari hasil *crossplot*, didapatkan bahwa koefisien regresinya adalah sebesar 0.987 yang menunjukkan bahwa gradien yang dihasilkan sudah baik, sehingga model 4 inilah yang digunakan dalam pembuatan inversi untuk gelombang PP (Gambar 4.13).



Gambar 4. 13 Inisial model yang digunakan dalam proses inversi PP

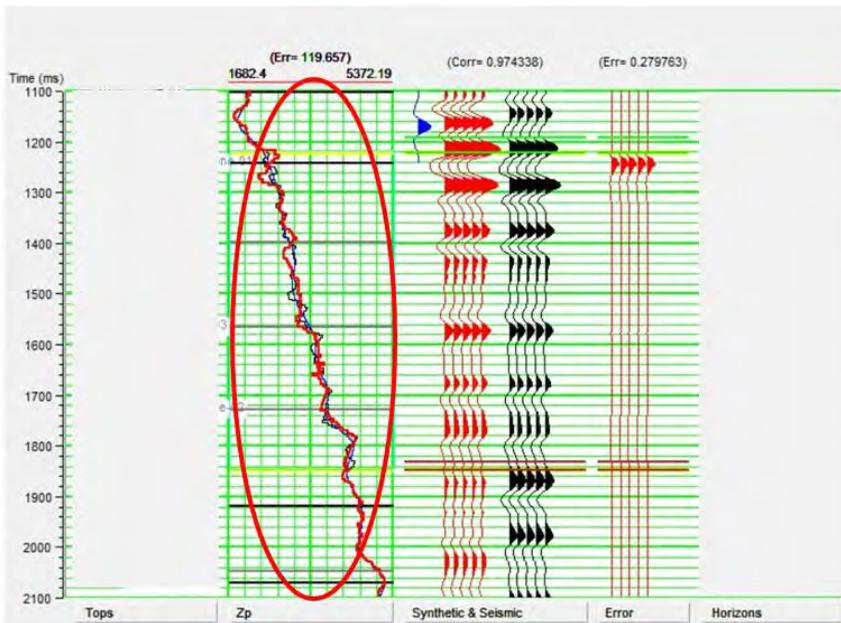
4.3.2 Inisial Model PS

Pembuatan inisial model PS menggunakan impedansi S (Z_s) dan inilah yang membedakan antara inversi gelombang PP dengan gelombang PS.



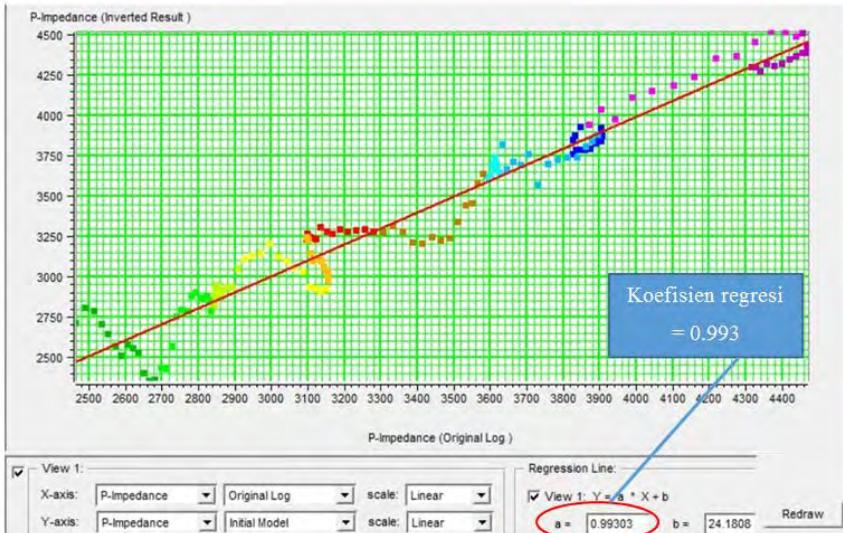
Gambar 4. 14 Pembuatan inisial model untuk proses inversi PS

Sama seperti apa yang telah dilakukan pada proses pembuatan inisial model untuk gelombang PP, inisial model yang digunakan dalam proses inversi PS juga dibuat dengan 4 cara yang berbeda. Model 1 menggunakan interpolasi, model 2 dengan *smoother* frekuensi *high cut* sebesar 12/13 Hz, model 3 dengan menggunakan *blocked trace*, dan model 4 dengan menggunakan *running average* dengan 5 sampel. Penentuan frekuensi *high cut* dilihat dari analisa spektrum frekuensi pada data seismik PS. Sebagai QC dari inisial model yang digunakan, dilakukan inversi *model base* di sumur (Gambar 4.15), kemudian dilakukan *crossplot* regresi linear antara data sumur dengan data inisial model. Cara yang dilakukan sama seperti pada gelombang PP



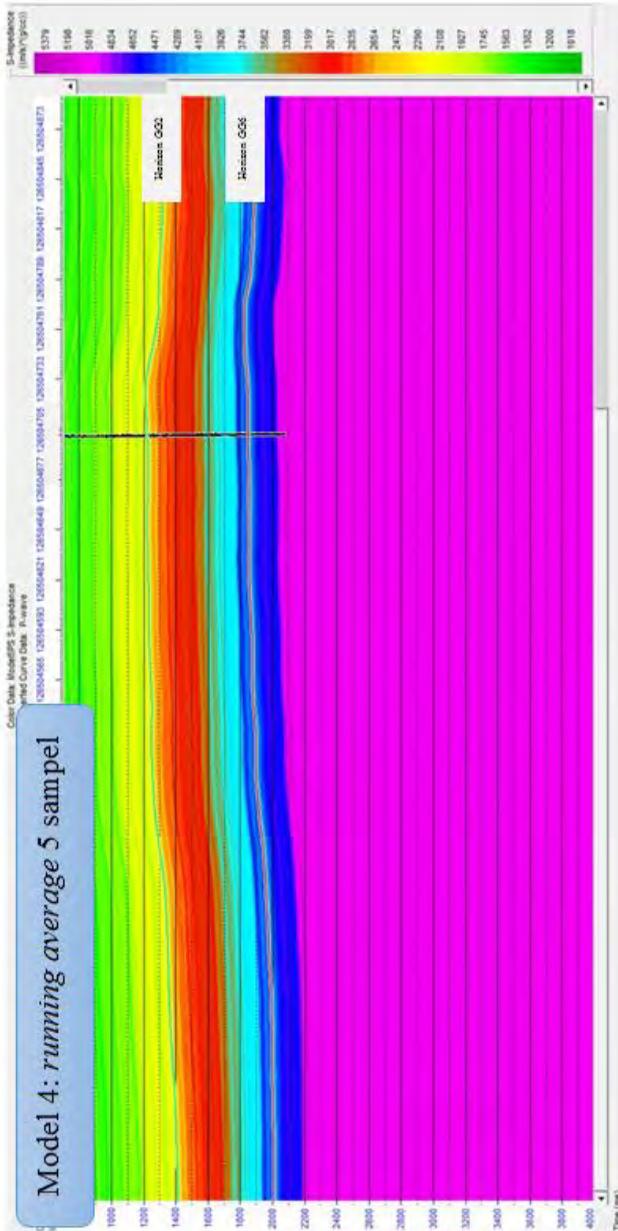
Gambar 4. 15 QC inisial model 4 dengan menggunakan analisa inversi *model base*

Gambar 4.15 diatas menunjukkan cara yang digunakan sebagai QC inisial model. Dapat diamati pada lingkaran berwarna merah pada gambar 4.15 bahwa kurva data sumur (kurva berwarna biru) dengan kurva inisial model (kurva berwarna hitam) cenderung berimpit. Hal ini menunjukkan bahwa antara data sumur dengan data inisial model memiliki kesesuaian yang baik.



Gambar 4. 16 *Crossplot* regresi linear inisial model 4 gelombang PS

Gambar 4.16 menunjukkan hasil *crossplot* dari regresi linear antara data sumur dengan data inisial model 4. Dapat diamati bahwa persebaran data antara data sumur dengan data inisial model cenderung linear atau dapat dikatakan bahwa persebaran datanya cenderung berada di tengah dan tidak terlalu *scatter*. Dari hasil *crossplot*, didapatkan bahwa koefisien regresinya adalah sebesar 0.993 yang menunjukkan bahwa gradien yang dihasilkan sudah baik, sehingga model 4 inilah yang digunakan dalam pembuatan inversi untuk gelombang PS (Gambar 4.17). Dari masing-masing gelombang PP dan PS, didapatkan inisial model yang digunakan untuk proses inversi antara gelombang PP dan PS menggunakan inisial model 4.



Gambar 4. 17 Inisial model yang digunakan dalam proses inversi PS

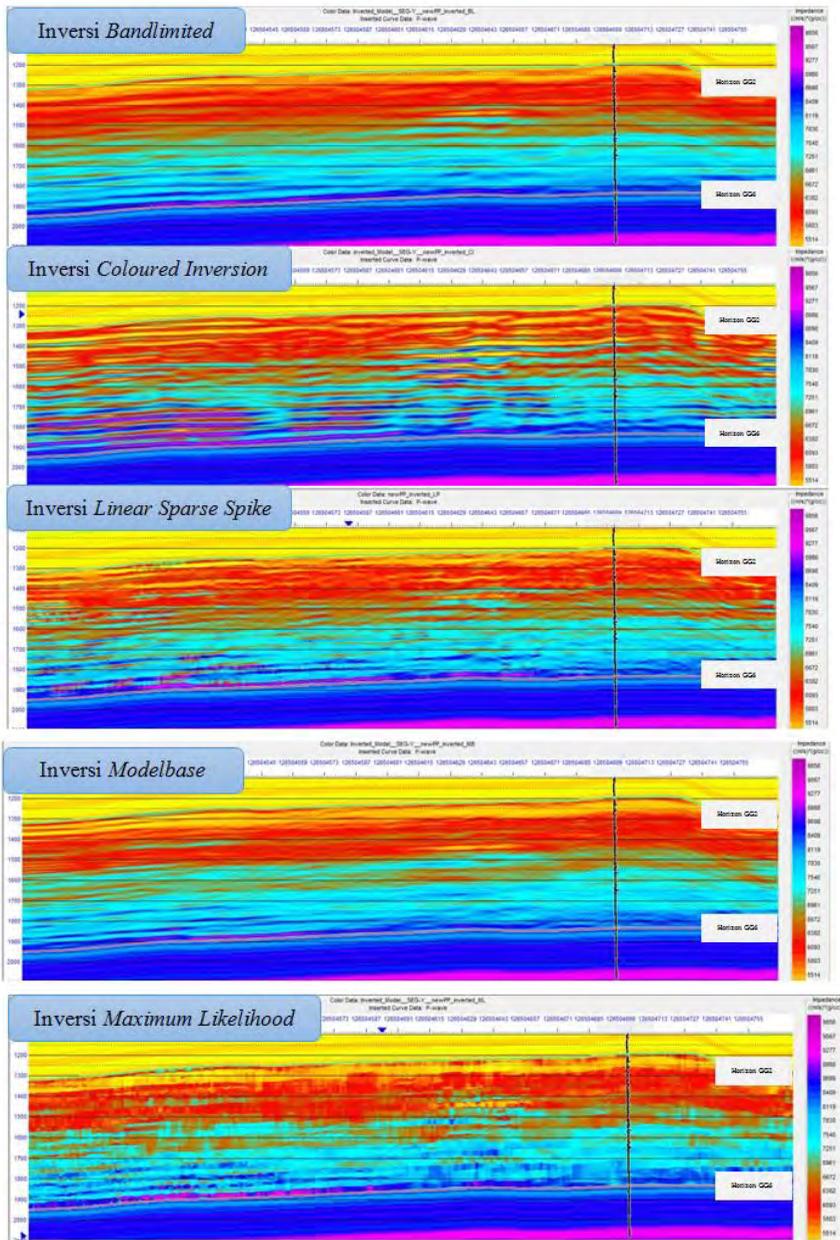
4.4 Analisa Inversi

Metode seismik inversi adalah metode yang dilakukan dengan tujuan untuk merubah data seismik dari kumpulan nilai frekuensi menjadi impedansi yang merupakan sifat fisis batuan. Inversi yang dilakukan adalah inversi secara terpisah atau masing-masing dengan melakukan inversi gelombang PP dan gelombang PS. Asumsi yang digunakan adalah bahwa impedansi P (Z_p) merupakan hasil dari inversi gelombang PP, sedangkan impedansi S (Z_s) merupakan hasil dari inversi gelombang PS. Selain itu, diasumsikan bahwa inversi pada gelombang PS menganggap bahwa data seismik PS adalah SS untuk mendapatkan nilai impedansi S (Z_s). Dalam proses inversi ini, perlu dilakukan pembuatan atau ekstraksi *wavelet* dimana, *wavelet* yang digunakan adalah dengan menggunakan data untuk *well to seismic tie*, namun dilakukan perubahan fase menjadi 0° (*zero phase*).

4.4.1 Analisa Inversi Seismik PP

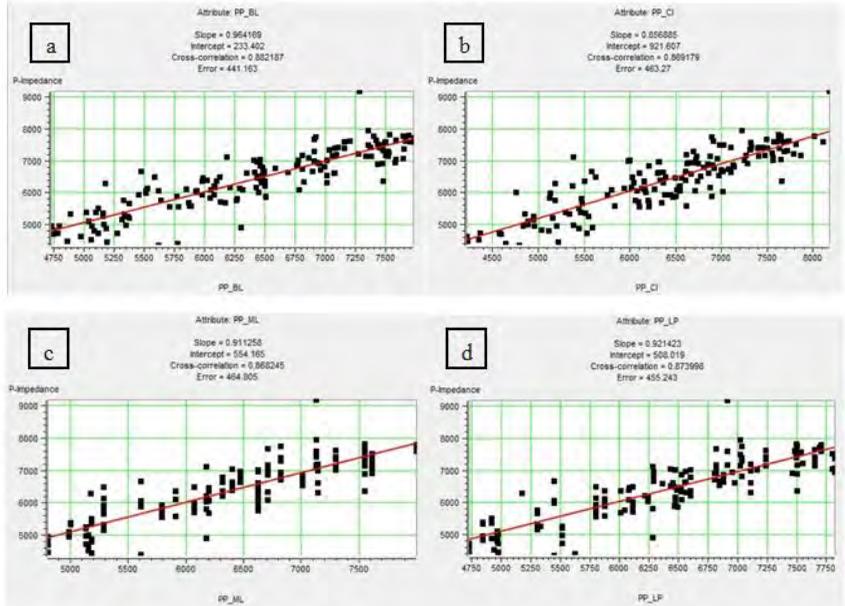
Inversi yang dilakukan pada gelombang PP berbeda dengan inversi yang dilakukan pada gelombang PS. Perbedaannya terletak pada impedansi yang dihasilkan. Jika gelombang PP, impedansi yang dihasilkan dari proses inversi adalah impedansi P (Z_p), sedangkan untuk inversi yang dilakukan pada gelombang PS dihasilkan impedansi S (Z_s). Untuk inversi gelombang PP, digunakan inisial model 4 (Gambar 4.12) sebagai tebakan awal dari kondisi lithology bawah permukaan.

Proses inversi yang dilakukan adalah dengan menggunakan inversi *post-stack* dimana pada inisial model 4 gelombang PP diterapkan inversi *model base*, *band limited*, *coloured inversion*, *linear sparse spike*, dan *maximum likelihood*. Penerapan kelima inversi ini hanya dilakukan sebagai *quality control* (QC) untuk mencari inversi *post-stack* mana yang paling baik untuk digunakan.

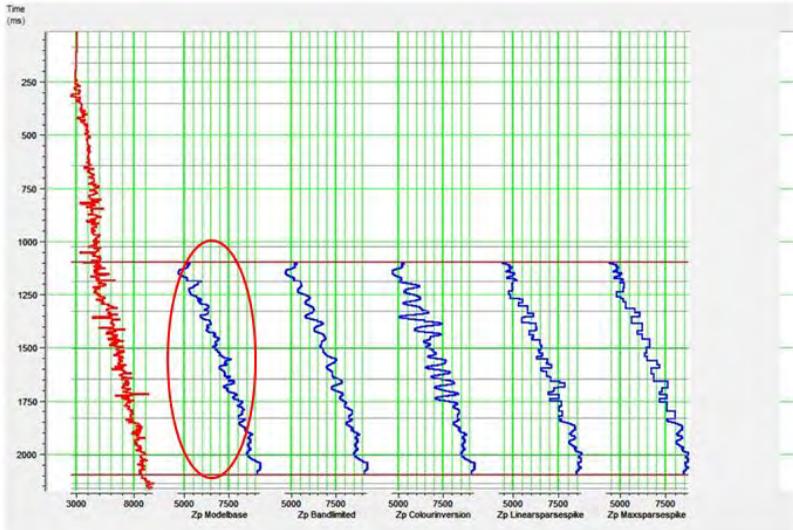


Gambar 4. 18 Inversi *post-stack* gelombang PP menggunakan inisial model 4

Gambar 4.18 merupakan hasil inversi dari gelombang PP dengan menggunakan berbagai metode inversi *post-stack*. Sebagai QC, maka digunakan *crossplot* antara impedansi P (Z_p) dari data sumur dengan impedansi P (Z_p) hasil inversi *post-stack* untuk mengetahui hasil inversi yang terbaik. Berikut ini merupakan hasil *crossplot* dari inversi yang ada pada gambar 4.18.

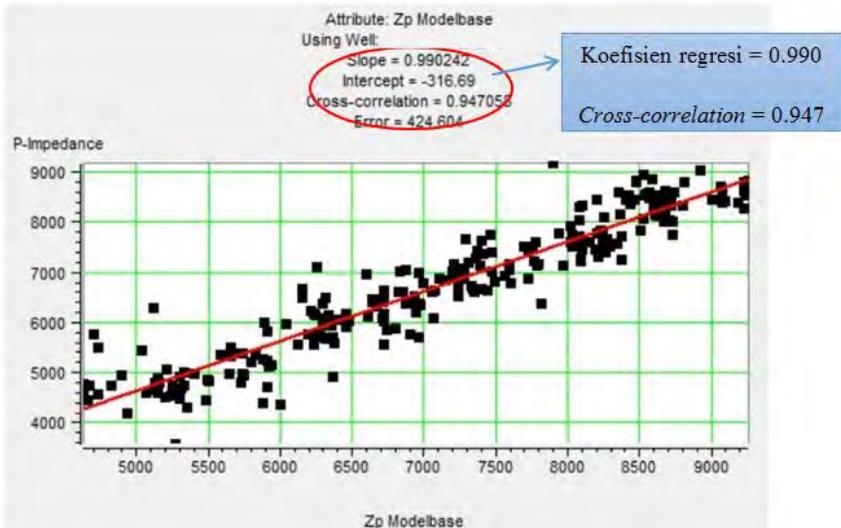


Gambar 4. 19 Hasil *crossplot* Z_p sumur dengan Z_p hasil inversi *bandlimited* (a), *colour inversion* (b), *maximum likelihood* (c), *linear sparse spike* (d)



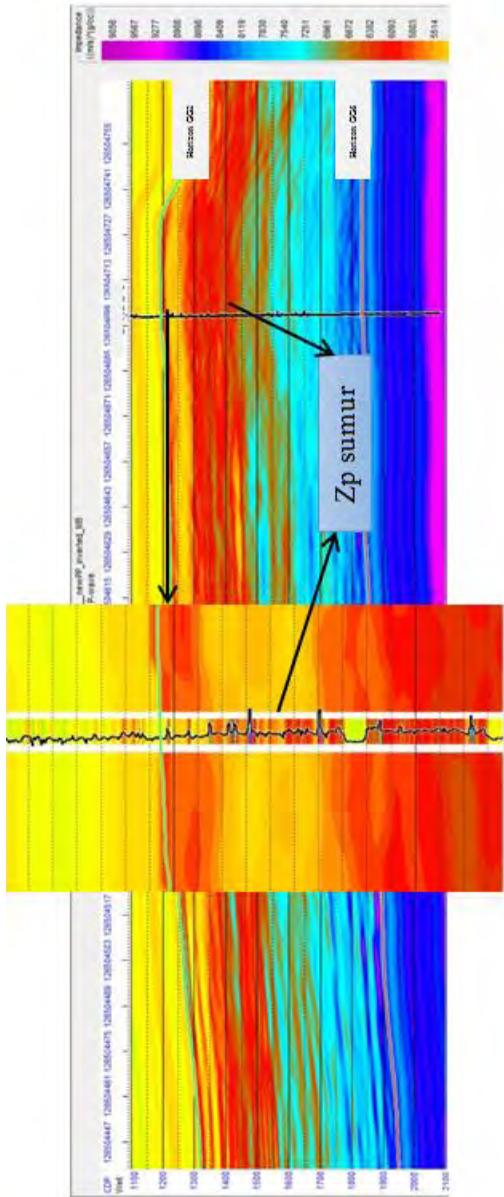
Gambar 4. 20 Perbandingan *trend* Z_p sumur terhadap Z_p hasil inversi gelombang PP

Gambar 4.20 diatas merupakan QC yang digunakan dalam mendapatkan inversi *post-stack* yang paling baik. *Trend* berwarna merah merupakan impedansi P (Z_p) data sumur, sedangkan untuk *trend* berwarna biru merupakan nilai impedansi P (Z_p) hasil dari berbagai metode inversi *post-stack*. Dari kelima *trend* nilai impedansi P (Z_p) hasil inversi dilakukan *crossplot* regresi linear untuk mengetahui persebaran data dan juga koefisien regresi.



Gambar 4. 21 *Crossplot* Z_p sumur terhadap Z_p hasil inversi *model base*

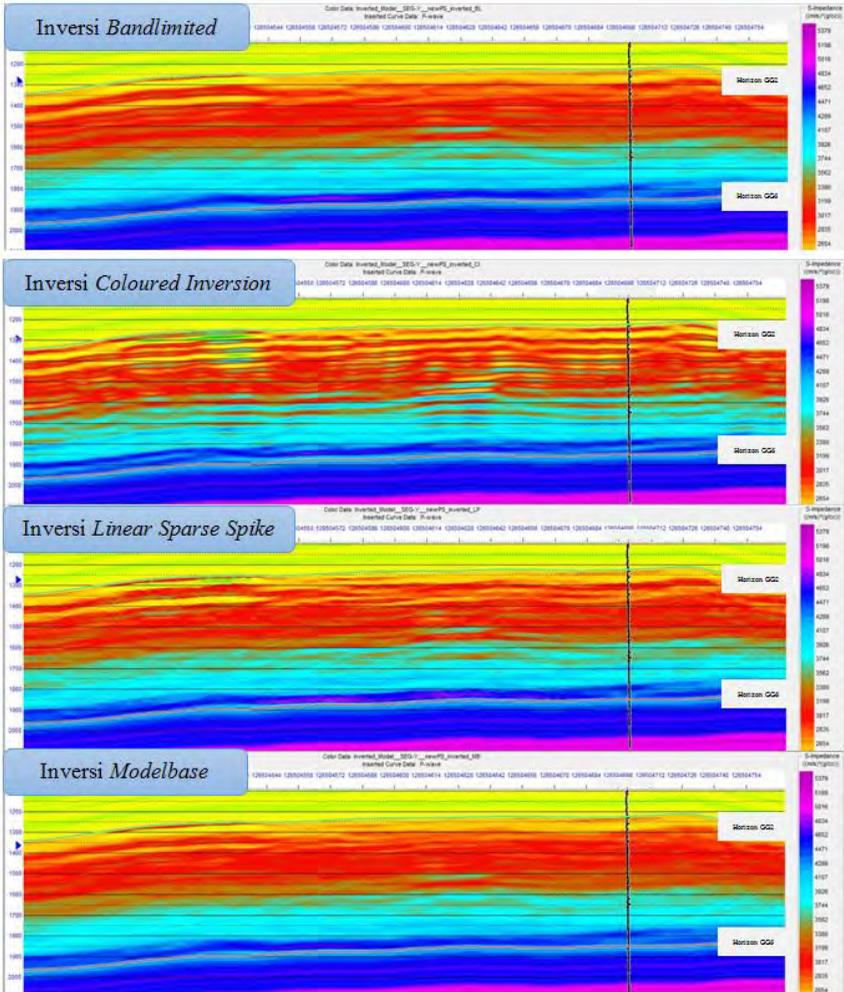
Metode inversi yang digunakan untuk mendapatkan impedansi akustik (Z_p) gelombang PP adalah dengan menggunakan inversi *model base*. Hal ini dikarenakan, *trend* nilai Z_p antara data sumur dengan data hasil inversi pada gambar 4.20 menunjukkan kemiripan, selain itu berdasarkan *crossplot* regresi linear antara Z_p data sumur dengan Z_p hasil inversi seismik gelombang PP menunjukkan bahwa metode *model base* adalah yang paling baik dalam hal persebaran data, *cross-correlation*, dan koefisien regresi. Error yang didapatkan ketika menggunakan inversi *model base* adalah kurang dari 10% dengan nilai *cross-correlation* sebesar 0.947, dan koefisien regresi sebesar 0.990. Berdasarkan persebaran data Z_p sumur dan Z_p hasil inversi menunjukkan persebaran data cenderung berada di tengah sehingga dapat diketahui bahwa inversi yang didapatkan baik. Selain itu, untuk mengetahui inversi yang dilakukan sudah sesuai atau tidak adalah dengan cara melihat *trend* Z_p pada data sumur dengan Z_p hasil inversi secara lateral. Berdasarkan gambar 4.22 menunjukkan *trend* Z_p sumur relative sama dengan Z_p hasil inversi, sehingga dapat dikatakan bahwa inversi dengan *model base* memiliki hasil yang lebih baik.

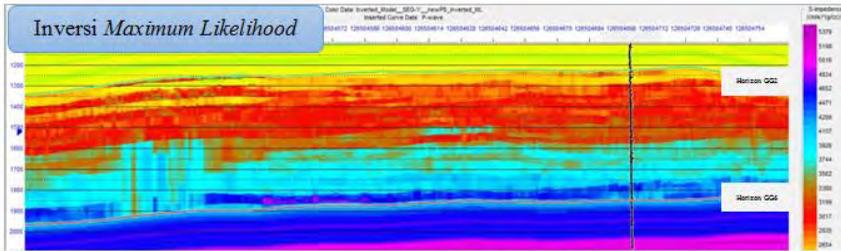


Gambar 4. 22 Kesesuaian antara Zp data sumur dengan Zp hasil inversi *model base*

4.4.2 Analisa Inversi Seismik PS

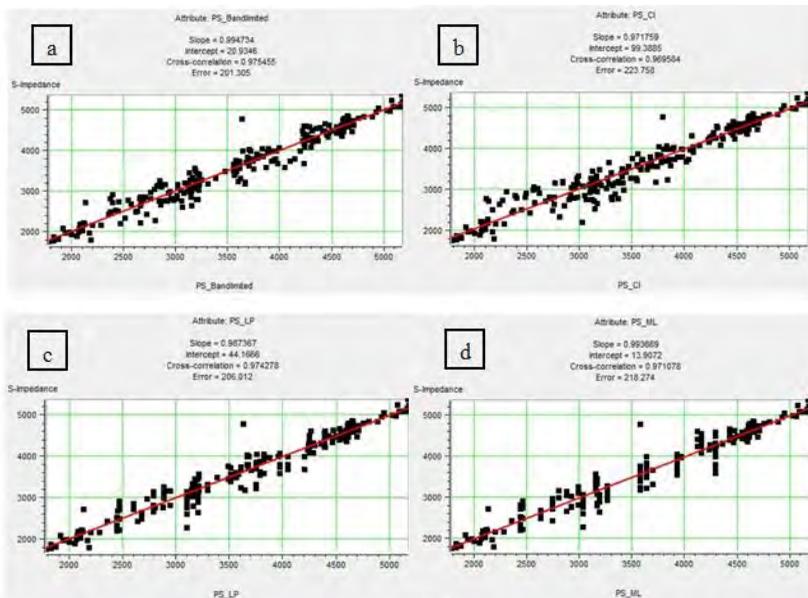
Hasil yang didapatkan dalam proses inversi dengan menggunakan data PS adalah berupa impedansi S (Z_s) dengan asumsi yang telah dijelaskan dibagian sebelumnya. Sama seperti pada inversi PP, bahwasanya proses inversi yang dilakukan adalah dengan menggunakan inversi *post-stack* dimana pada inisial model 4 gelombang PS diterapkan inversi *model base*, *band limited*, *coloured inversion*, *linear sparse spike*, dan *maximum likelihood*. Penerapan kelima inversi ini hanya dilakukan sebagai *quality control* (QC) untuk mencari inversi *post-stack* mana yang paling baik digunakan dalam pengolahan data PS.



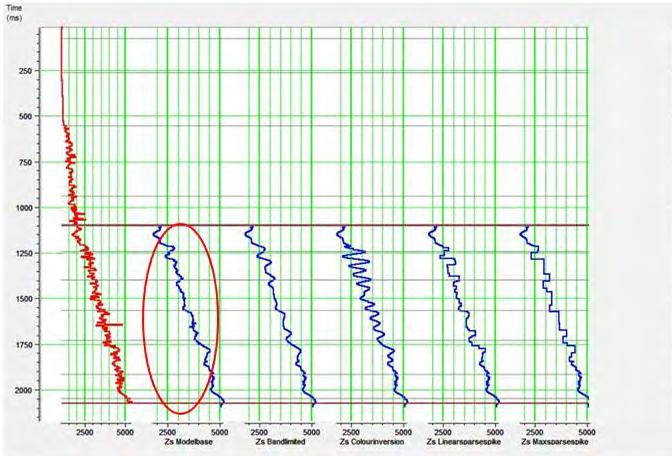


Gambar 4. 23 Inversi *post-stack* gelombang PS menggunakan inisial model 4

Gambar 4.23 diatas merupakan penampang impedansi S (Z_s) hasil inversi *post-stack* dengan berbagai metode. Penerapan berbagai metode ini hanya sebagai QC dari hasil seismik yang diinginkan. Untuk memperoleh metode inversi yang paling baik adalah dengan menggunakan *crossplot* antara impedansi S (Z_s) dari data sumur dengan impedansi S (Z_s).

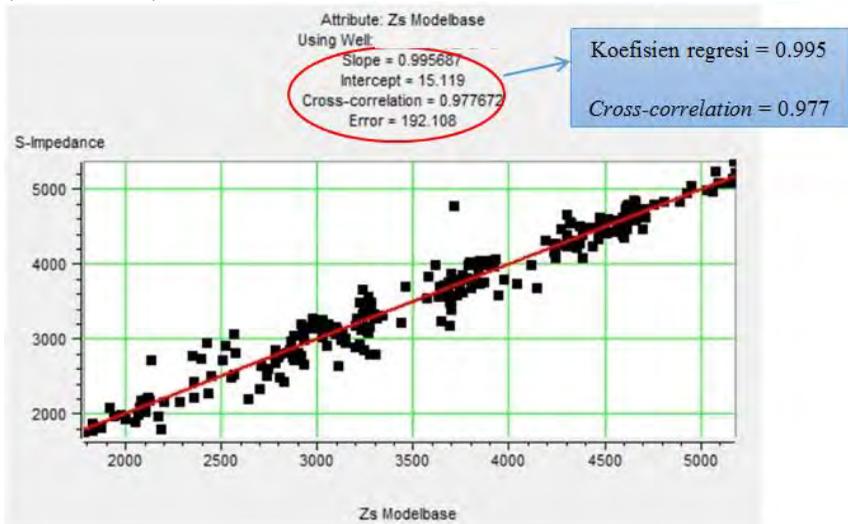


Gambar 4. 24 Hasil *crossplot* Z_s sumur dengan Z_s hasil inversi *bandlimited* (a), *colour inversion* (b), *linear sparse spike* (c), *maximum likelihood* (d)



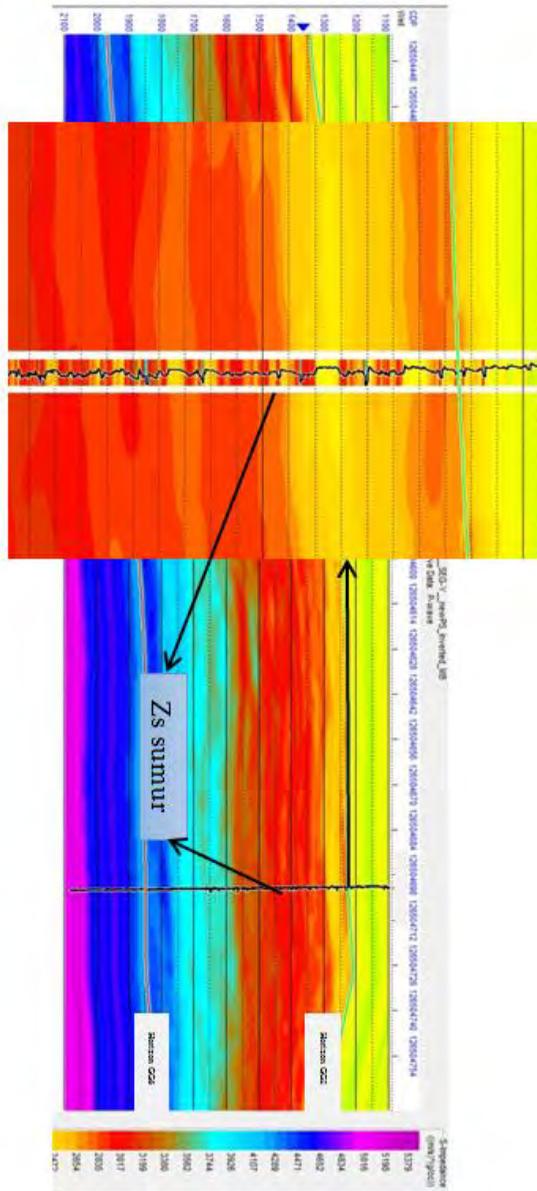
Gambar 4. 25 Perbandingan *trend* Z_s sumur terhadap Z_s hasil inversi gelombang PS

Hasil yang didapatkan dari *crossplot* regresi linear adalah bahwa inversi yang paling baik digunakan adalah dengan menggunakan inversi *model base*. Hal ini dapat dilihat dari *trend* nilai impedansi S (Z_s) dari hasil inversi *model base* yang relative mirip dengan impedansi S (Z_s) pada data sumur (Gambar 4.25).



Gambar 4. 26 *Crossplot* Z_s sumur terhadap Z_s hasil inversi *model base*

Dari gambar 4.26 diatas dapat dijelaskan bahwa metode inversi yang digunakan untuk mendapatkan impedansi S (Z_s) gelombang PS adalah dengan menggunakan inversi *model base*. Hal ini dikarenakan, *crossplot* regresi linear antara Z_s data sumur dengan Z_s hasil inversi seismik gelombang PS menunjukkan bahwa metode *model base* adalah yang paling baik dalam hal persebaran data, *cross-correlation*, dan koefisien regresi. Error yang didapatkan ketika menggunakan inversi *model base* adalah kurang dari 10% dengan nilai *cross-correlation* sebesar 0.977, dan koefisien regresi sebesar 0.995. Berdasarkan persebaran data Z_s sumur dan Z_s hasil inversi menunjukkan persebaran data cenderung berada di tengah sehingga dapat diketahui bahwa inversi yang didapatkan baik.

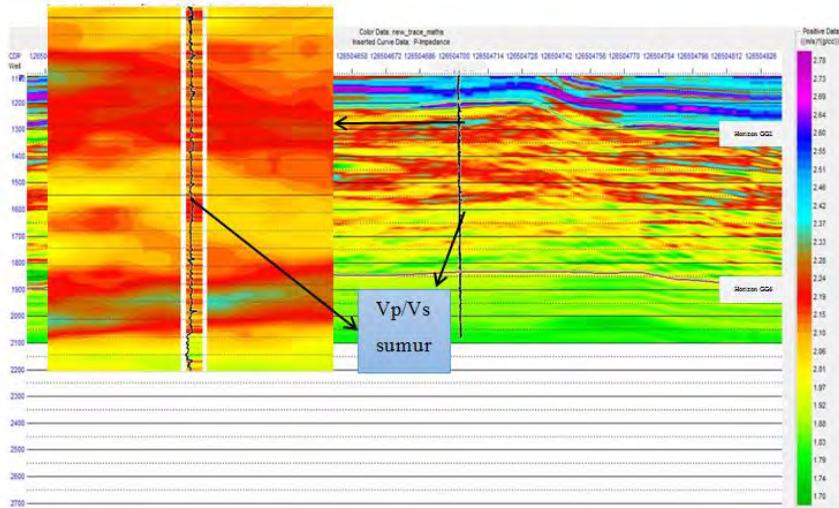


Gambar 4. 27 Kesesuaian antara Zs data sumur dengan Zs hasil inversi *model base*

Selain itu, untuk mengetahui inversi yang dilakukan sudah sesuai atau tidak adalah dengan cara melihat *trend* Z_s pada data sumur dengan Z_s hasil inversi secara lateral (Gambar 4.27). Berdasarkan gambar 4.25 menunjukkan *trend* Z_s sumur relative sama dengan Z_s hasil inversi, sehingga dapat dikatakan bahwa inversi dengan *model base* memiliki hasil yang lebih baik.

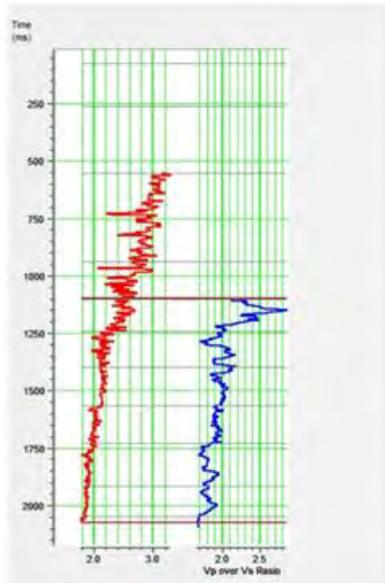
4.5 Analisa Rasio V_p/V_s

Rasio nilai V_p/V_s didapatkan dari kombinasi antara hasil inversi gelombang PP dan gelombang PS. Hasil inversi dengan menggunakan *model base* pada gelombang PP menghasilkan impedansi P (Z_p), sedangkan untuk PS menghasilkan impedansi S (Z_s). Nilai V_p didapatkan dari turunan nilai Z_p sedangkan V_s didapatkan dari turunan nilai Z_s .

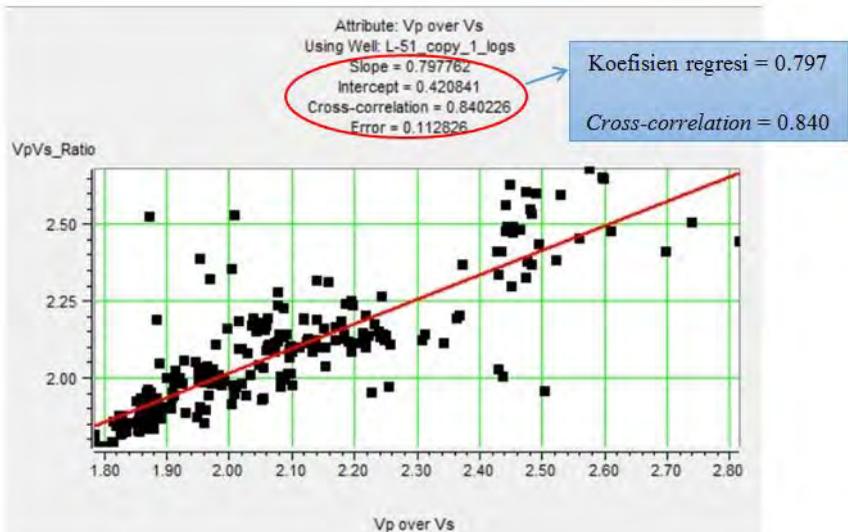


Gambar 4. 28 Kesesuaian antara V_p/V_s data sumur dengan V_p/V_s hasil inversi *model base*

Gambar 4.28 diatas menunjukkan bahwa nilai V_p/V_s rasio yang diperoleh dari hasil inversi menunjukkan nilai yang relative sama dengan V_p/V_s yang diperoleh dari data sumur. Dapat dikatakan bahwa rasio V_p/V_s hasil inversi dengan menggunakan *model base* sudah sesuai. Hal ini diperkuat dengan *trend* yang ada pada gambar 4.29 yang menunjukkan kesesuaian *trend* antara data sumur dengan hasil inversi.



Gambar 4. 29 Perbandingan *trend* V_p/V_s sumur terhadap hasil inversi V_p/V_s



Gambar 4. 30 *Crossplot* V_p/V_s sumur terhadap V_p/V_s hasil inversi *model base*

Selain cara diatas yang telah dijelaskan, cara lain yang digunakan sebagai QC bahwa hasil Vp/Vs yang didapatkan sudah sesuai adalah dengan cara melakukan *crossplot* regresi linear nilai Vp/Vs data sumur terhadap data hasil inversi. Dari gambar 4.30 diatas, dapat diamati bahwa nilai *cross-correlation* yang didapatkan adalah sebesar 0.840 dan koefisien regresi yang didapatkan adalah sebesar 0.797. Hal ini menunjukkan bahwa rasio Vp/Vs yang didapatkan dari hasil inversi sudah baik sehingga penampang Vp/Vs dapat diinterpretasikan litologinya.

4.6 Interpretasi Penampang Vp/Vs

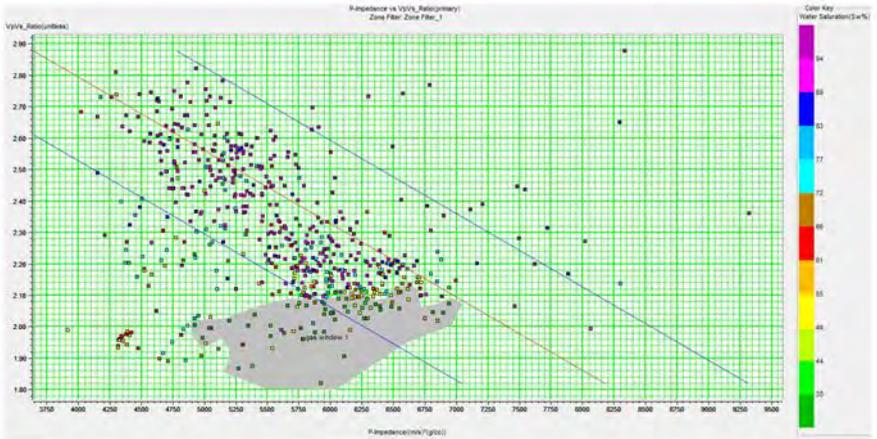
Interpretasi Vp/Vs dilakukan dengan mendiskripsikan kandungan fluida (zona gas) reservoir serta mengetahui litologi reservoir pada penampang Vp/Vs (Gambar 2.24). Interpretasi yang dilakukan adalah sesuai dengan *horizon* yang telah di *picking* yaitu pada *horizon* GG2 sebagai batas atas dan GG6 sebagai batas bawah. Lebar *window* yang digunakan untuk interpretasi adalah sekitar 1000 ms. Dikarenakan lebar *window* yang digunakan cukup lebar, maka dilakukan pembagian *window* berdasarkan data *marker* yang ada. Tabel 4.2 menunjukkan pembagian lebar *window* yang digunakan dalam interpretasi kandungan fluida dan litologi reservoir dalam domain waktu dan kedalaman.

Tabel 4. 2 Pembagian lebar *window* yang digunakan untuk interpretasi Vp/Vs

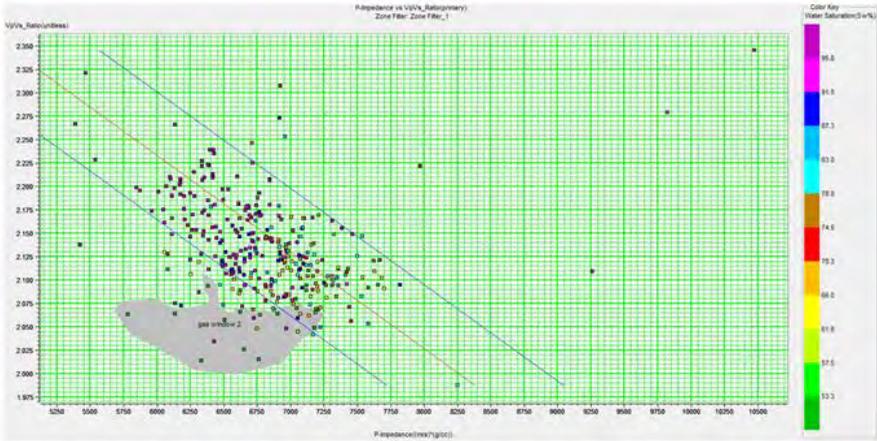
	<i>Data Marker</i>			
Domain	GG2	GG4	GG5	GG6
<i>Time</i> (ms)	1104.71	1401.06	1566.95	2100
<i>Depth</i> (m)	1127.6901	1504.17	1711.61	1991.23

Dapat diamati pada table 4.2 diatas bahwa terdapat 2 data *marker* tambahan untuk membantu proses interpretasi yaitu GG4 dan GG5, sehingga dalam interpretasi Vp/Vs menggunakan 3 *window*. *Window* yang pertama adalah GG2-GG4 (1104.71-1401.06 ms), *window* 2 adalah GG4-GG5 (1401.06-1566.95 ms), dan *window* 3 adalah GG5-GG6 (1566.95-2100 ms).

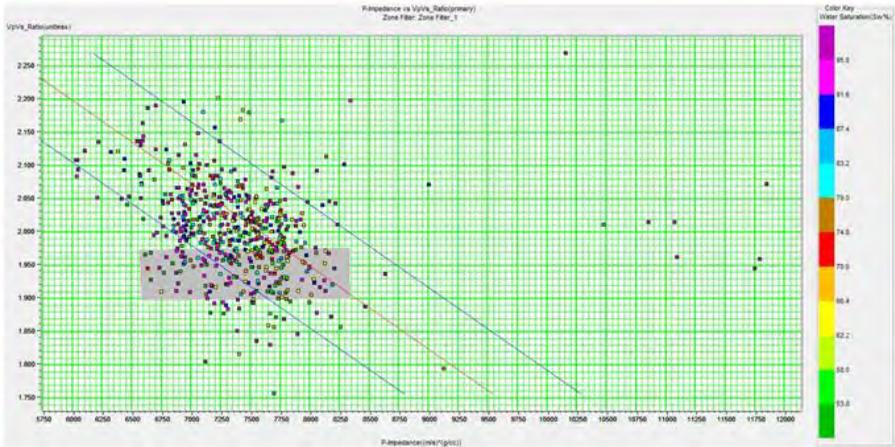
Untuk mengetahui keberadaan zona gas dan litologi reservoir pada penampang Vp/Vs, maka dilakukan *crossplot* data sumur antara impedansi P (Zp) dengan nilai Vp/Vs karena data sumur memiliki tingkat kepercayaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan data seismik. Untuk melakukan analisa keberadaan gas, maka digunakan *crossplot* Zp terhadap Vp/Vs dan data saturasi air, sedangkan untuk litologi digunakan *crossplot* Zp terhadap Vp/Vs dan data porositas. Berikut ini merupakan interpretasi untuk keberadaan gas.



(a)



(b)

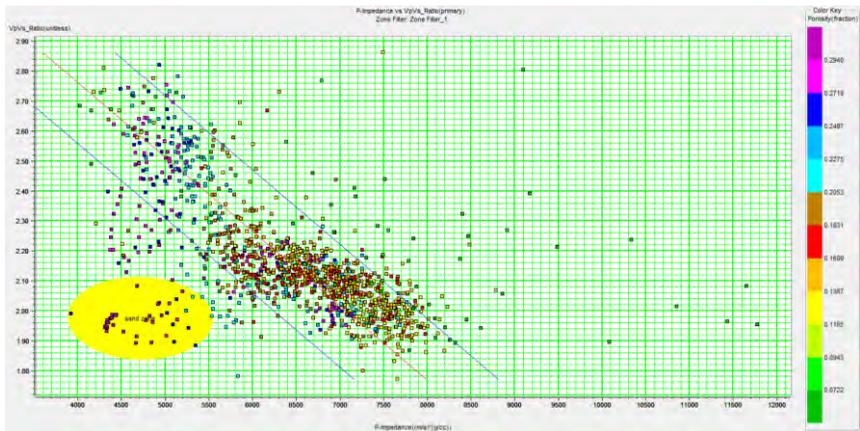


(c)

Gambar 4. 31 Zona gas berdasarkan *crossplot* V_p/V_s terhadap Z_p dan saturasi air pada *window* 1(a), *window* 2 (b), dan *window* 3 (c)

Berdasarkan hasil *crossplot* gambar 4.31, dapat diketahui bahwa zona gas pada berada ketika nilai V_p/V_s , Z_p , dan saturasi air menunjukkan nilai yang rendah. Dapat diamati pada gambar 4.31 bahwa zona gas berada ketika nilai $V_p/V_s < 2$, sedangkan untuk impedansi P (Z_p) menunjukkan nilai $< 7000 \text{ m/s} \cdot \text{kg/m}^3$, dan saturasi air memiliki nilai 38-44%. Pada gambar 4.31 c dapat diamati bahwa persebaran zona gas nya cenderung berada di tengah data, hal ini dikarenakan nilai V_p/V_s yang ada pada *window* 3 sudah menunjukkan nilai yang rendah.

Berikut ini merupakan gambaran hasil *crossplot* antara Z_p terhadap V_p/V_s dan porositas untuk menentukan litologi dari penampang V_p/V_s .



Gambar 4. 32 Zona *sand* pada GG2-GG6

Untuk melakukan analisa litologi reservoir dari penampang V_p/V_s , hanya menggunakan *window* saja yaitu dari GG2-GG6 dengan lebar *window* 1000 ms. Berdasarkan hasil interpretasi pada gambar 4.32 diatas, diketahui bahwa ketika nilai V_p/V_s rendah, Z_p rendah, dan porositas tinggi maka dapat diinterpretasikan bahwa litologi reservoir tersebut adalah *sand*. Dapat diamati pada gambar 4.32 bahwa zona *sand* ditandai dengan nilai $V_p/V_s < 2.1$, $Z_p < 5000 \text{ m/s}^2 \cdot \text{kg/m}^3$, dan porositas yang tinggi sekitar 27-29%.

Dari hasil analisa *crossplot* pada gambar 4.31, maka dapat dilakukan korelasi antara data *crossplot* dengan penampang V_p/V_s (Gambar 4.33). Jika diamati pada gambar 4.33, terdapat beberapa anomali yang menunjukkan zona gas (lingkaran berwarna hitam) yang ditandai dengan nilai $V_p/V_s < 2$. Interpretasi dilakukan dengan membagi *window* menjadi 3 sama seperti yang telah dilakukan sebelumnya.

Pada *window* 1 GG2-GG4, zona gas terletak disekitar CDP 126504498 dengan kedalaman dalam domain waktu 1300 ms dengan nilai V_p/V_s sekitar < 1.8 . Sedangkan pada *window* 2 zona gas terletak pada CDP 126504638 dan pada kedalaman dalam domain waktu 1435 ms dengan nilai $V_p/V_s < 1.8$. Zona gas terakumulasi paling banyak pada *window* 3 tepatnya pada CDP 126504638 dengan kedalaman domain waktu 1600 ms dan nilai $V_p/V_s < 1.8$. Kemudian pada CDP 126504358-126504708 dengan kedalaman dalam domain waktu 1850-1950 ms dengan V_p/V_s sekitar 1.8, kandungan gas yang paling besar ditemukan pada wilayah ini. Ketiga zona gas tersebut berada pada Barat sumur dengan kondisi bawah permukaan tidak terdapat patahan. Untuk bagian Timur dari sumur, terdapat 2 patahan utama dengan kandungan gas untuk *window* 1 dan *window* 2 tipis, sedangkan untuk *window* 3 memiliki gas dengan kandungan yang cukup besar dan terletak diantara patahan. Zona gas tersebut berada di CDP 126504708-126504813 pada kedalaman dalam domain waktu 1700-1800 ms dengan nilai V_p/V_s sekitar 1.8.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil inversi secara terpisah dengan menggunakan asumsi bahwa gelombang PS adalah SS dapat diestimasi dengan menggunakan kontras impedansi S (Z_s).
2. Litologi reservoir yang didapatkan dari penampang V_p/V_s dengan nilai < 2.1 adalah sand dengan didukung Z_p sebesar < 5000 $m/s \cdot kg/m^3$ dan porositas dengan nilai 27-29% dari data sumur.
3. Zona gas dapat ditentukan dengan nilai V_p/V_s sekitar < 1.8 dan didukung oleh data sumur dengan $Z_p < 7000$ $m/s \cdot kg/m^3$ dan saturasi air dengan nilai 38-44%.
4. Didapatkan zona gas terbesar pada window 3 (GG5-GG6) dengan lokasi CDP 126504358-126504708 dengan kedalaman dalam domain waktu 1850-1950 ms disebelah Barat sumur, dan pada CDP 126504708-126504813 dengan kedalaman dalam domain waktu 1700-1800 ms di sebelah Timur sumur.

5.2 Saran

1. Perlu adanya perbandingan nilai V_p/V_s antara Independent Inversion dengan Joint Inversion untuk menghasilkan interpretasi yang lebih baik lagi.
2. Perlu adanya penambahan informasi litologi dengan melakukan proses fluid probability untuk memprediksi properti dari litologi yang ada.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

- Badley, M.E, 1985, *Practical Seismic Interpretation*, Prentice Hall. USA.
- Bobby, I., 2011, *Analisa Metode Inversi Impedansi Akustik dan Seismik Multiatribut Untuk Karakterisasi Reservoir Pada Lapangan F3 Netherland*, Skripsi S-1 Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Brown, J., 1999, *Converted-wave Seismic Exploration: A Tutorial, CREWES Research Report— Volume 11*.
- Cary, P. W., 1999, *3C-3D converted-wave seismic: CREWES Research Report*, 5, 31.1-31.10.
- Chopra, S dan Stewart, R. 2010. *Introduction to this special section: Multicomponent seismic*. The Leading Edge.
- Garotta, R, 1985, *Observation of shear waves and correlation with P events: in Dohr, G.P., ed., Seismic shear waves: Part B: Applications: Geophysical Press, v. 15B*.
- Hampson, D., and Russell, B., 1999, *STRATA Theory 1*, Hampson-Russell Software Services Ltd, Canada.
- Hampson, D., and Russell, B., 2001, *STRATA: Seismic Inversion Workshop*, Hampson-Russell Software Services Ltd, Canada.
- Hampson, D., and Russell, B., 2004, *AVO Theory: Hampson-Russell Software Services Ltd*, Calgary.
- Hampson, D., and Russell, B., 2007, *CGGVeritas Hampson-Russell Software CE8 version References Manuals*, Hampson-Russell Software Services Ltd, Canada.
- Hampson, D., and Russell, B., 2007, *STRATA 1: STRATA Guide*, Hampson-Russell Software Services Ltd, Canada.
- Hampson, D., and Russell, B., 2011, *STRATA: Seismic Inversion Workshop*, Hampson-Russell Software Services Ltd, Canada.

Isaac, J. H., 1996, *Seismic methods for heavy oil reservoir monitoring: Ph.D. thesis*, The Univ. of Calgary.

Lawton, Don C, et al., 2001, *Multicomponent survey at Calgary Airport CREWES Research Report — Volume 13*.

Miller, S. L. M., et al., 1998, *Interpretation of a carbonate reservoir using P-P and P-SV seismic data: Submitted to Geophysics*.

Russell, B. H., 1996, *Installation and Tutorials*, Hampson-Russell Software Services Ltd, USA.

Stewart R., Gaiser E., et al., 1999, *Converted-wave seismic exploration: a tutorial CREWES REsearch Report - Volume 11*.

Sukmono, S., 1999, *Seismik Refleksi*, Teknik Geofisika ITB, Bandung.

Sukmono, S., 1999, *Seismik Atribut Untuk Karakterisasi Reservoar*, Laboratorium Geofisika Reservoar, Departemen Teknik Geofisika ITB, Bandung.

Sukmono, S., 2000, *Seismik Inversi Untuk Karakterisasi Reservoar*, Jurusan Teknik Geofisika, ITB, Bandung.

BIODATA PENULIS



Nama : Gigih Prakoso Wigantiyoko

TTL : Kediri, 27 Agustus 1994

Alamat :

- Jalan Delta Raya Utara No. 34, Sidoarjo
- Perumahan Mojoroto Indah Blok T-10, Kediri

No. Telp: 083846403001

Email : giprawig@gmail.com

Selama menjadi mahasiswa, Saya aktif dalam kegiatan kemahasiswaan seperti menjadi staff Divisi Keprofesian Teknik Geofisika ITS (2014-2015), menjadi panitia PETROLIDA SPE 2013, dan menjadi panitia dalam berbagai macam kuliah tamu di Jurusan Teknik Geofisika.

Selama masa perkuliahan, Saya pernah menjadi asisten dosen elektronika dasar, asisten kuliah lapangan di Karangsambung, dan asisten seismik eksplorasi pada Tahun 2014-2015. Saya juga pernah menjadi presenter paper dalam seminar internasional CITIES pada tahun 2013 yang diadakan oleh Jurusan PWK ITS. Menjadi presenter seminar internasional pada tahun ke-2 adalah hal yang paling membanggakan untuk Saya pada waktu itu. Saya bersama Ilham dan Innanda menjadi presenter termuda dalam acara tersebut. Topik yang Kami bawa adalah mengenai dampak dari penambangan batu gamping terhadap *recharge area* di Tuban, Jawa Timur. Saya juga pernah menjadi delegasi SPE SC ITS dalam acara lomba cerdas cermat Petro Bowl di Jogja pada Tahun 2014.

Selama masa kuliah, Saya pernah tercatat sebagai mahasiswa penerima beasiswa PPA Pada Tahun 2015. Selain itu, Saya juga pernah melakukan Kerja Praktik di JOB PERTAMINA-MEDCO ENERGI E&P SIMENGGARIS pada Tahun 2015.

Harapan Saya untuk adik kelas Saya adalah dapat membawa nama JTG agar lebih dikenal baik di Indonesia maupun di luar negeri dengan cara memperoleh lebih banyak prestasi baik di bidang akademik maupun non-akademik. Cita-cita Saya selepas dari JTG dalam dunia kerja adalah Saya dapat menjadi seorang ahli interpreter seismik yang mampu memadukan data geofisika dengan pemahaman geologi yang baik, Saya juga ingin melanjutkan ke jenjang pendidikan yang lebih tinggi S2, S3 dengan memperoleh beasiswa dari tempat kerja dan Saya ingin agar ilmu saya bermanfaat.

Janji Saya terhadap JTG 10 tahun mendatang, Saya bisa menjadi sosok yang disegani dan dihormati dalam hal pekerjaan dengan attitude yang baik sehingga saya bisa menjadi sosok yang penting dalam tempat saya bekerja. Jika sudah menjadi sosok yang penting, saya akan lebih mendahulukan dan