



UNIVERSITAS INDONESIA

PEMROSESAN DATA SEISMIK LAUT DARI *STREAMER*
SENSOR GANDA DIBANDINGKAN TERHADAP *STREAMER*
KONVENSIONAL

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister

INRIYANTO DOLOKSARIBU
0806421142

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
MAGISTER GEOFISIKA RESERVOIR
JAKARTA
DESEMBER 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : INRIYANTO DOLOKSARIBU

NPM : 0806421142

Tanda Tangan : 

Tanggal : 09 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

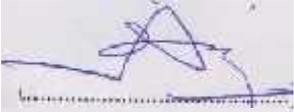
Tesis ini diajukan oleh :

Nama : INRIYANTO DOLOKSARIBU
NPM : 0806421142
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program Studi : Magister Fisika
Kekhususan : Geofisika Reservoir
Judul Thesis : Pemrosesan Data Seismik Laut Dari *Streamer* Sensor Ganda
Dibandingkan Terhadap *Streamer* Konvensional

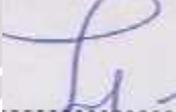
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

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

Ketua Sidang : Dr. Muhammad Aziz Majidi (.....)

Penguji : Prof. Dr. Suprayitno Munadi (.....)

Penguji : Dr. Adriansyah (.....)

Penguji : Dr. Waluyo (.....)

Ditetapkan di : Jakarta

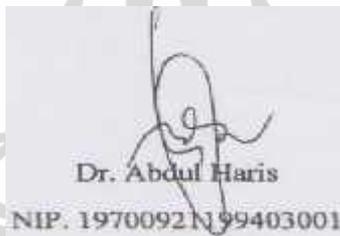
Tanggal : 09 Desember 2010

LEMBAR PERSETUJUAN

Nama : INRIYANTO DOLOKSARIBU
NPM : 0806421142
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program Studi : Magister Fisika
Kekhususan : Geofisika Reservoir
Judul Thesis : Pemrosesan Data Seismik Laut Dari *Streamer* Sensor Ganda
Dibandingkan Terhadap *Streamer* Konvensional

Penulisan thesis ini telah selesai dan siap untuk dapat maju sidang tugas akhir.

Mengetahui,
Pembimbing

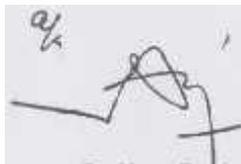


Dr. Abdul Haris
NIP. 19700921199403001

Menyetujui,

Program Magister Fisika Program Pascasarjana F-MIPA UI

Ketua,



Dr. Yunus Daud

NIP. 196811041995121001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Geofisika Reservoir pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- Dr. Abdul Harris, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
- Supervisor di kantor yang selama 4 tahun terakhir telah membagikan ilmu dan pengalaman dalam bidang pemrosesan data seismik.
- Pihak perusahaan dan staff yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan dan berbagi pengetahuan dalam bidang akuisisi, pemrosesan, dan analisis reservoir dari data seismik laut.
- Orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan moral dan material.
- Seluruh sahabat GRUI 2008 yang telah berbagi waktu dalam 2 tahun terakhir menyelesaikan kuliah.
- Kekasih hati yang selalu menemani perjalanan susah dan senang.
- Ketua Sidang dan Komite Penguji Sidang, Prof. Dr. Suprayitno Munadi, Dr. Adriansyah, Dr. Waluyo, dan Dr. Muhammad Abdul Aziz, yang telah menyediakan waktu mereka yang sangat berharga dan memberikan perhatiannya untuk mengevaluasi pengetahuan (dan ketidaktahuan) dan pekerjaan yang telah (dan belum) dilakukan

Perlu diingatkan bahwa tesis ini dibuat dalam kapasitas penulis sebagai mahasiswa Universitas Indonesia dan isi tesis adalah pekerjaan pribadi dari penulis. Demikian pula dengan kesimpulan dan opini yang dibuat di dalamnya. Petroleum Geoservices (“PGS”) sebagai perusahaan tidak menyarankan, memvalidasi, atau menjamin akurasi dari isi tesis, aspek teknis, dan asosiasi lainnya terhadap perusahaan.

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

Jakarta, 09 Desember 2010

Inriyanto Doloksaribu

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : INRIYANTO DOLOKSARIBU
NPM : 0806421142
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program Studi : Magister Fisika
Kekhususan : Geofisika Reservoir
Jenis karya : Tesis

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

Pemrosesan Data Seismik Laut Dari *Streamer* Sensor Ganda Dibandingkan Terhadap *Streamer* Konvensional

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

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 09 Desember 2010

Yang menyatakan,



Inriyanto Doloksaribu

ABSTRACT

Nama : Inriyanto Doloksaribu
Program Studi : Geofisika Reservoir
Judul : Processing of Marine Seismic Data of Dual Sensor *Streamer*
Versus Conventional *Streamer*

The new method of acquisition has been found in an effort to remove ghost effect with the potential to boost both low and high frequency content of seismic data and to enable imaging in challenging deepwater zones. In this case study, processed dual sensor *streamer* data compared to conventional single sensor data from the same *streamer*. Identical processing flows were applied to the two datasets. Data processing up to migration will be done to both single sensor data and dual sensor data, and compared. Comparison of seismic data *De-Ghosting* and interpretability is the objective. Data analysis shown advantage of dual sensor *streamer* compared to conventional *streamer*.

Keywords: dual sensor *streamer*, acquisition, processing, interpretation, interpretability

ABSTRAK

Nama : Inriyanto Doloksaribu
Program Studi : Geofisika Reservoir
Judul : Pemrosesan Data Seismik Laut Dari *Streamer* Sensor Ganda
Dibandingkan Terhadap *Streamer* Konvensional

Metoda akuisisi baru telah digunakan dalam usaha untuk mengeliminasi efek *ghost* gelombang seismik dengan potensi untuk meningkatkan jangkauan frekuensi rendah dan tinggi sehingga memperbaiki hasil penampang seismik di daerah laut dalam. Dalam studi kasus ini, data *streamer* dual sensor dibandingkan dengan data sensor tunggal konvensional dari *streamer* yang sama. Pemrosesan data seismik hingga migrasi diterapkan pada kedua data. Perbandingan eliminasi efek *ghost* dan interpretabilitas penampang seismik adalah tujuannya. Analisis data memperlihatkan kelebihan *streamer* sensor ganda dibandingkan *streamer* konvensional.

Kata kunci: *streamer* dual sensor, akuisisi, pemrosesan data, interpretasi, interpretabilitas

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x

BAB I. PENDAHULUAN.....1

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Maksud dan Tujuan.....	2
1.4. Lingkup Masalah.....	2
1.5. Metodologi.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3

BAB II. TEORI DASAR.....4

2.1. Akuisi Data Seismik.....	4
2.2. Sensor Ganda.....	5
2.2.1. Sejarah Streamer dengan Sensor Ganda.....	5
2.2.2. Komponen Sensor Ganda.....	6
2.2.3. Ghost dan De-ghosting.....	8
2.2.4. Pemisahan Gelombang.....	17
2.3. Definisi Proses dalam Pemrosesan Data.....	18
2.3.1. Input Data.....	18
2.3.2. Geometri.....	18
2.3.3. Analisis Kecepatan.....	19
2.3.4. Koreksi Statistik.....	22
2.3.5. Deconvolusi dan pembentukan <i>wafelet</i>	22
2.3.6. Interpolasi Tras.....	24
2.3.7. Migrasi.....	24
2.3.8. Atenuasi <i>Noise</i> dan Penguatan Sinyal.....	25
2.3.9. Analisis Data Seismik.....	25

BAB III. METODOLOGI.....27

3.1.	Diagram Alir Studi.....	27
3.2.	Parameter Akuisisi Seismik.....	28
3.3.	Metode Pemrosesan Data.....	29
	3.3.1. Alir Pemrosesan Awal.....	31
	3.3.2. Alir Pemrosesan Sensor Ganda dan Kreasi Pup.....	32
	3.3.3. Alir Atenuasi <i>Noise</i> dan Penguatan Sinyal.....	35
	3.3.4. Alir Pemrosesan Citra.....	36
3.4.	Analisis Perbandingan Data.....	38
BAB IV. HASIL DAN ANALISIS.....		39
4.1.	Analisis Input Data Lapangan.....	39
4.2.	Hasil Pemrosesan Awal.....	44
4.3.	Analisis Kecepatan dan Model Kecepatan.....	46
4.4.	Kombinasi Data sensor Ganda dan Kreasi Pup.....	49
4.5.	Hasil Atenuasi Noise dan Penguatan Sinyal Seismik.....	54
	4.5.1. 2D surface Related Multiple Elimination.....	54
	4.5.2. TauP Deconvolution.....	57
	4.5.3. Filter FK dalam Domain Penerima.....	59
	4.5.4. <i>Radon Demultiple</i>	61
	4.5.5. Tes Posisi TauP Deconvolution dalam Flow.....	63
4.6.	Hasil dan Analisis Akhir Pencitraan.....	64
BAB V. Kesimpulan.....		69
DAFTAR REFERENSI.....		70
DAFTAR LAMPIRAN		
LAMPIRAN 1. PARAMETER SURVEI.....		73
LAMPIRAN 2. DIAGRAM ALIR PEMROSESAN DATA.....		74
LAMPIRAN 3. DAFTAR TES PARAMETER.....		76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Instrumen perekam <i>streamer</i> sensor ganda dihubungkan ke perangkat komputer (Konvensi <i>Indonesian Petroleum Association</i> , 2010).....	7
Gambar 2.2 Ilustrasi dari jejak gelombang <i>source ghost</i> ideal dari sisi sumber suara seismologi atau <i>source ghost</i> dalam akuisisi seismik darat (Schneider, 1964).....	9
Gambar 2.3 Ilustrasi dari jejak gelombang <i>ghost</i> ideal dari sisi penerima suara seismologi refleksi atau juga disebut <i>receiver ghost</i> dalam akuisisi seismik laut (PGS Techlink, 2007).....	10
Gambar 2.4 Sifat fisika gelombang dari kedua sensor dengan polaritas gelombang primer dengan polaritas yang sama (atas) dan gelombang <i>ghost</i> yang berlawanan (tengah) dan total gelombang (bawah) yang dimanfaatkan untuk mengatasi masalah <i>receiver ghost</i> dalam akuisisi seismik laut (PGS Techlink, 2007).....	11
Gambar 2.5 <i>De-ghosting</i> dengan filter pada awal pengembangannya. Contoh respon dari filter <i>de-ghosting</i> (kiri) dan respon impuls untuk gelombang primer dan <i>ghostnya</i> (kanan) yang diperoleh dengan cara menambahkan respon filter (Schneider, 1964).....	12
Gambar 2.6 Spektrum amplitudo menunjukkan perbandingan pola <i>notch</i> dari sensor tekanan ditarik pada kedalaman 8 m (hitam) dan 15 m (biru) (Carlson, 2007).....	13
Gambar 2.7 Spektrum amplitudo untuk kedua jenis sensor tekanan (biru) dan sensor kecepatan (merah) pada kedalaman <i>streamer</i> 15 m dengan refleksi derajat nol (Bawah) (Carlson, 2007).....	14
Gambar 2.8 <i>Stack</i> sintetik sintesis konseptual dengan offset nol untuk data sensor tekanan (kiri), sensor kecepatan (tengah), dan penjumlahan dari kedua sensor (kanan) (Carlson, 2007).....	15
Gambar 3.1 Diagram alir pekerjaan dari data hasil akuisisi, pemrosesan, pemrosesan ulang, dan analisis.....	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Pemrosesan data dari pemrosesan awal hingga migrasi.....	30
Gambar 3.3 Spektrum amplitudo dari sensor tekanan (biru), sensor kecepatan (hijau), dan gelombang resultan <i>Pup</i> (merah) diukur dari <i>shot record</i> (Carlson, 2007).....	34

Gambar 4.1 <i>Shot record</i> mentah dari data lapangan menunjukkan kualitas seismik yang dapat diterima.	39
Gambar 4.2 <i>Stack</i> mentah dari data lapangan menunjukkan kualitas seismik yang dapat diterima.	40
Gambar 4.3 Berbagai tipe noise yang diobservasi dari data lapangan seperti noise dari ombak, propeler kapal, pergerakan kabel, <i>crossfeed</i> , dan multipel.	42
Gambar 4.4 Analisis data secara makro untuk melokalisasi posisi salah satu jenis noise dalam data dengan menampilkan nilai amplitudo dan memperlihatkan data yang memiliki nilai amplitudo yang tidak wajar terhadap nilai amplitudo rata-rata.	43
Gambar 4.5 <i>Shot record</i> sebelum (atas) dan sesudah (bawah) proses atenuasi <i>swell noise</i> memperlihatkan hasil proses pencitraan yang baik.	44
Gambar 4.6 Tampilan <i>gather</i> , koherensi dan <i>mini stack</i> dari data sensor tunggal (atas) dan sensor ganda (bawah).	47
Gambar 4.7 Model kecepatan akhir (bawah) yang didapatkan setelah empat iterasi analisis menggunakan data koherensi, <i>stack</i> (atas), <i>gather</i> dan <i>ministack</i> -nya.	48
Gambar 4.8 <i>Shot record</i> dan analisis spektrum dari sensor kecepatan partikel setelah tahap atenuasi noise.	50
Gambar 4.9 <i>Shot record</i> dan analisis spektrum dari sensor tekanan setelah tahap atenuasi noise.	50
Gambar 4.10 <i>Shot record</i> dan analisis spektrum dari sensor ganda <i>Pup</i> , yaitu setelah tahap atenuasi noise dan penggabungan kedua sensor, membuktikan proses yang bekerja baik dan kualitas data yang membaik dan semakin lebarnya distribusi frekuensi dalam spektrum amplitudo.	50
Gambar 4.11 <i>Shot record</i> dan analisis spektrum data <i>Pup</i> dalam data dangkal, tengah, dan dalam. Terlihat trend frekuensi yang semakin rendah seiring dengan kedalaman: 1 – 3 detik (biru), 3 – 5 detik (putih), dan 5 – 7 detik (hijau).	51
Gambar 4.12 Spektrum amplitudo dari sensor tekanan (merah) dan sensor kecepatan partikel (kuning) dan hasil dari data gabungan sensor ganda (biru).	52
Gambar 4.13 <i>Stack</i> dari data sensor tunggal (kiri) dan data sensor ganda (kanan) dengan data <i>crossline</i> yang berbeda pada tahap pemrosesan awal.	53

Gambar 4.14 <i>Shot record</i> dari <i>streamer</i> sensor ganda sebelum (atas) dan sesudah (bawah) proses SRME menunjukkan multipel yang teratenuasi dengan baik.	55
Gambar 4.15 <i>Stack</i> sebelum (kiri) dan setelah proses SRME (kanan) menunjukkan perbaikan rasio sinyal terhadap <i>noise</i> yang signifikan sehingga menghasilkan <i>stack</i> yang lebih baik.	56
Gambar 4.16 <i>Shot record</i> dan <i>CMP Gather</i> dari <i>Pup</i> setelah TauP-decon menunjukkan perbaikan kualitas data terutama dari peningkatan kualitas data.	57
Gambar 4.17 Analisis amplitudo dari data <i>stack</i> sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) proses tau-p menunjukkan peningkatan kualitas data pada frekuensi rendah dan tinggi.	57
Gambar 4.18 Data dalam domain FK dapat mendiferensiasikan <i>noise</i> yang memiliki daerah frekuensi dan bilangan gelombang tertentu sehingga dapat diatenuasikan.	59
Gambar 4.19 <i>Shot record</i> dan <i>CMP Gather</i> dari <i>Pup</i> setelah proses FK berhasil memperbaiki kualitas data dengan berhasilnya atenuasi <i>noise</i> linier yang dominan di offset jauh.	60
Gambar 4.20 <i>Shot record</i> dan <i>CMP Gather</i> dari <i>Pup</i> setelah radon dengan hasil kualitas data yang lebih baik.	62
Gambar 4.21 <i>Stack</i> dari data <i>Pup</i> , Taup Decon setelah SRME di data dangkal terlihat lebih baik secara kualitatif.	63
Gambar 4.22 <i>Stack</i> dari data <i>Pup</i> , Taup Decon setelah SRME di data dalam juga memperlihatkan data yang lebih baik secara kualitatif.	63
Gambar 4.23 <i>CMP Gather</i> dari data PSTM <i>Pup</i> dari beberapa <i>crossline</i>	64
Gambar 4.24 <i>Stack</i> dari data PSTM <i>Pup</i> sebagai langkah akhir dari pemrosesan data.	65
Gambar 4.25 <i>Shot record</i> dengan perbandingan langsung antara data sensor tekanan termigrasi (kiri) dan data sensor ganda (kanan) dengan perbedaan yang cukup signifikan pada daerah yang dilingkari.	66
Gambar 4.26 Perbandingan <i>stack</i> antara data migrasi sensor tekanan (kiri) dengan data sensor ganda <i>Pup</i> (kanan) dengan jangkauan <i>crossline</i> yang berbeda. Daerah yang dilingkari menunjukkan perbedaan yang signifikan antara gambar kiri dan kanan.	67



BAB I

PENDAHULUAN

Efek *ghost* telah menjadi permasalahan dalam data seismik laut sejak dahulu kala. *Streamer* sensor ganda memberikan potensi untuk menghilangkan *receiver ghost* dari sisi penerima suara dan meningkatkan kandungan frekuensi rendah dan tinggi dari data seismik. Pemrosesan data sensor ganda dan sensor tunggal yang berasal dari *streamer* yang sama menggunakan alur pemrosesan yang identik akan menunjukkan efek *de-ghosting* pada analisis data seismik dan interpretasi.

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan dengan dua pertiga wilayahnya adalah perairan. Investigasi seismik laut adalah tahap pertama dan juga sangat penting dalam eksplorasi minyak dan gas. Eksplorasi energi dengan metoda geofisika terbukti seiring dengan waktu dapat menentukan keputusan politik dan ekonomis yang menentukan kemajuan suatu bangsa dalam kancah global.

Tesis ini melingkupi aspek akuisisi seismik laut menggunakan metoda baru yang menjanjikan data yang lebih baik dalam pengambilan keputusan yang kritis dalam interpretasi prospek baru dan kesempatan untuk meningkatkan standar kualitas data seismik laut. Diharapkan dengan hadirnya tesis ini dapat memberi sedikit warna yang diharapkan dapat membantu dalam eksplorasi energi minyak dan gas bumi di area kelautan Indonesia.

1.2. Identifikasi Masalah

Topik permasalahan dalam tesis ini adalah fenomena *ghost* dalam data seismik laut. Perbandingan data sensor ganda dan sensor tunggal konvensional dengan tahap processing secara detail sehingga metoda perbandingan dapat dinyatakan valid.

1.3. Tujuan

Tujuan tesis ini adalah untuk membandingkan data seismik laut dari *streamer* sensor ganda dan *streamer* sensor tunggal dengan metoda pengolahan data yang valid.

1.4. Lingkup Masalah

Lingkup masalah dari tesis ini difokuskan pada pemrosesan data seismik dan hasilnya, termasuk aspek dalam akuisisi seismik dan interpretasi kuantitatif. Kesuksesan implementasi sensor partikel vertikal ke dalam *streamer* sensor ganda dan peningkatan kualitas dalam perspektif geofisika akan menjadi topik diskusi.

1.5. Metodologi

Secara umum pengerjaan tesis ini dibagi dalam beberapa tahap:

- a. Studi literature tentang akuisisi, pemrosesan data, dan interpretasi data seismik. Geologi regional, sistem perminyakan, basin, dan zona ketertarikan adalah informasi pendukung dalam kontrol kualitas pemrosesan data.
- b. Pengumpulan data dan informasi geologi dan geofisika yang akan digunakan.
- c. Pemrosesan data *streamer* sensor ganda dan sensor tunggal.
- d. Analisis hasil dan kesimpulan dari aspek akuisisi, pemrosesan, dan reservoir.

1.6. Sistematika Penulisan

Bab I. Pendahuluan, terdiri dari latar belakang tesis, identifikasi masalah, maksud dan tujuan, lingkup masalah, metodologi, dan sistematika penulisan dari tesis. Adapun untuk konsep dasar, yaitu teori yang perlu diketahui untuk menunjang tesis ini dijelaskan pada Bab 2 yang terdiri dari sejarah *streamer* sensor ganda, akuisisi data seismik, sensor ganda, *ghost* dan *de-ghosting*, pemisahan gelombang, dan kompensasi frekuensi rendah.

Metodologi, berisi tentang detail metoda yang digunakan dalam tesis dituangkan dalam Bab 3 yang meliputi diagram alir tesis, parameter akuisisi, langkah pemrosesan data, dan analisis data. Sedangkan hasil dan analisis hasil pemrosesan data seismik dijabarkan pada Bab 4. Kesimpulan, merupakan bab penutup dijabarkan pada Bab 5.

BAB II

TEORI DASAR

2.1. Akuisi Data Seismik

Operasi akuisisi seismik adalah pekerjaan yang memakan biaya besar sehingga dibutuhkan perencanaan yang matang dari berbagai segi seperti desain survey dan parameter operasional yang disesuaikan dengan target zona prospek yang dikehendaki.

Beberapa prinsip penting yang berhubungan dengan topik tesis ini adalah:

- Kabel *streamer* tidak dapat merekam gelombang S karena sifat fisiknya secara natural tidak dapat merambat di medium air.
- Cuaca buruk membatasi perioda akuisisi karena menimbulkan noise yang dominan pada data sehingga tidak memenuhi batas toleransi data yang dianggap baik.
- Ombak yang kuat dapat mengakibatkan *feathering* yaitu posisi *streamer* yang bergeser dari posisi seharusnya, sehingga dibutuhkan *infill* untuk memenuhi syarat cakupan akuisisi minimum *coverage*.
- Kedalaman penarikan kabel *streamer* konvensional adalah bervariasi antara 5 sampai 10 m, dikarenakan oleh fenomena *notch* atau hilangnya amplitudo pada frekuensi tertentu. *Streamer* sensor ganda dapat ditarik melebihi batas kedalaman itu dengan mengeksploitasi sifat fisik kedua sensornya yang memiliki polaritas yang berlawanan pada posisi *ghostnya*. Seiring dengan lebih dalamnya posisi kabel *streamer*, noise akan berkurang dan rentangan frekuensi akan bergeser ke frekuensi yang lebih rendah sehingga pencitraan data dalam akan lebih baik.

2.2. Sensor ganda

2.2.1. Sejarah Streamer dengan Sensor Ganda

Perekaman pantulan suara dari bawah laut menggunakan *streamer* pertamakali ditemukan pada tahun 1947 oleh Roy Paslay. Perkembangan teknologi berkembang di segala aspek kecuali detektor seismik tetaplah berupa sensor tekanan. Data seismik yang direkam oleh *streamer* seismik selalu ditemani oleh refleksi *ghost* dari permukaan air laut. Batas kedalaman *streamer* seismik itu sendiri terbatas hingga 10 m karena fenomena *notch* yang membatasi jangkauan frekuensi yang dapat diproses dalam pengolahan data seismik. Hal ini telah dirubah oleh teknologi *streamer* sensor ganda.

Refleksi permukaan air menghasilkan interferensi antara gelombang *upgoing* (mengarah ke atas) dan *downgoing* (mengarah ke bawah) yang mempengaruhi bandwidth dari data seismik laut. Fenomena ini sebenarnya terjadi kedua sisi sumber suara dan penerima suara. Atenuasi atau penghilangan *ghost* telah menjadi fokus penelitian selama puluhan tahun. Berdasarkan penelitian terakhir, dimaklumi bahwa data dari sensor tekanan dan kecepatan dan menggabungkan sinyalnya dengan prosedur tertentu, refleksi *ghost* tersebut dapat dihilangkan. Hasil data gabungan memiliki rentangan frekuensi yang lebih besar karena *notches* pada frekuensi tertentu terhilangkan. Hal ini dimungkinkan karena kedua tipe sensor ini memiliki polaritas yang sama pada keadaan awal dan berlawanan polaritasnya pada perioda tertentu mencapai penerima suara dalam waktu yang sama. Memanfaatkan fenomena polaritas ini, ketika dijumlahkan, refleksi *ghost* dapat dihilangkan.

Metoda akuisisi seismik kabel dasar laut dengan sensor ganda diperkenalkan lebih dari 15 tahun lalu oleh Barr dan Sanders (1989) tetapi tidak dapat diterapkan pada akuisisi di permukaan laut karena karena getaran yang berlebihan sehingga merekam *noise* yang besar dan merusak data seismik. Hal tersebut dicoba dilakukan oleh Pavey (1966) dan Berni (1982, 1984, 1985, dan 1991) dan tetap tidak berhasil. Metoda lain adalah akuisisi over/under oleh Brink dan Svendsen (1987). Teknik over/under ini juga dapat digunakan untuk mengeliminasi *source ghost*, tetapi

membutuhkan sistem penembakan flip-flop dari dua sumber suara pada kedalaman berbeda, yang akhirnya mengurangi densitas jumlah shot hingga setengahnya.

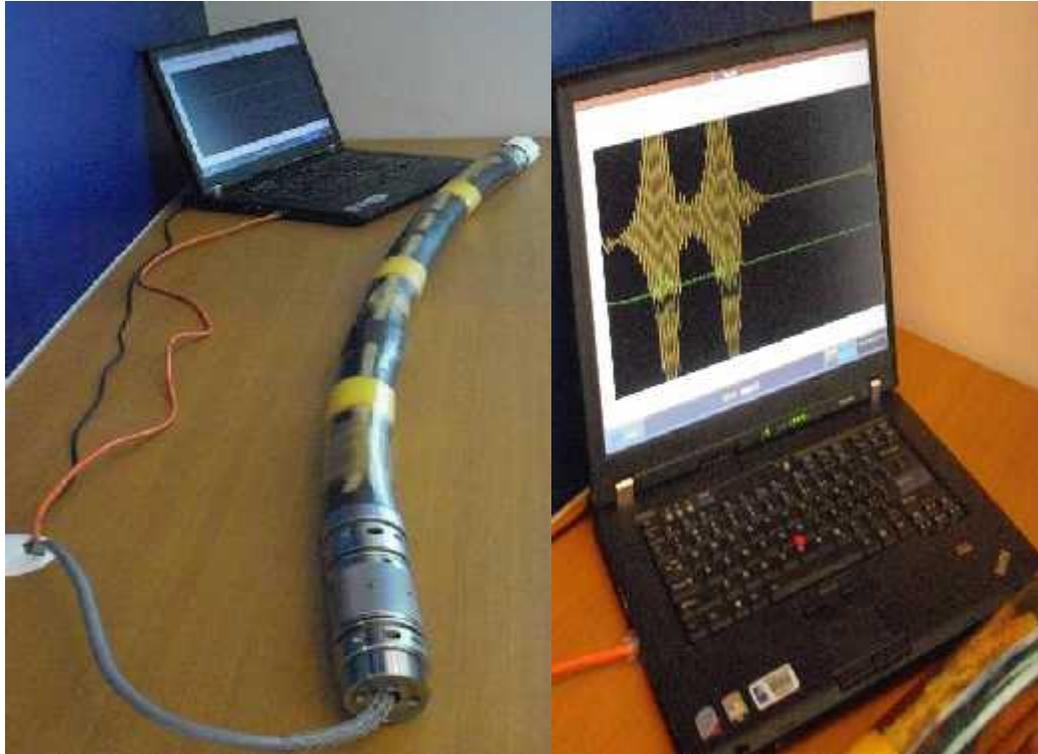
Source ghost dari sumber suara dapat dieliminasi menggunakan teknik pengendalian sumber peledak untuk akuisisi seismik darat oleh Shock (1950). Prinsip kerjanya adalah untuk meledakkan sumber peledak pada kedalaman yang bervariasi dengan urutan tertentu yang saling membangun gelombang mengarah ke bawah (*downgoing*) walaupun mengurangi gelombang mengarah ke atas (*upgoing*). Dengan cara ini energi dari *source ghost* sumber suara (refleksi permukaan-mengarah ke atas) berkurang pengaruhnya terhadap gelombang primer. Dua kekurangan dalam teknik ini adalah tidak diketahui dan bervariasinya kecepatan suara di lapisan permukaan dan akurasi dari waktu peledakan.

Metoda alternatif *de-ghosting* sisi penerima suara menggunakan *streamer* non-horizontal (Riyanti, 2008), dan multi-level source array (Fromyr, 2009). Terbukti bekerja hingga 4 tahun terakhir, Tenghamn (2007) menjelaskan suksesnya implementasi dalam *streamer* menggunakan *streamer* sensor ganda. Sejauh ini *streamer* sensor ganda adalah solusi permanen dalam mengatasi masalah *receiver ghost* yang diterapkan dalam akuisisi seismik laut.

2.2.2. Komponen Sensor Ganda

Komponen penting dalam akuisisi seismik laut adalah sumber suara, penerima, dan navigasi. Komponen tersebut dianggap cukup dapat diandalkan, kecuali komponen penerima suara atau *streamer* yang selalu dalam pengembangan dalam kemampuan ataupun kapasitasnya dalam perekaman data seismik. Sensor tekanan sebagai sensor konvensional terbuat dari material piezoelektrik, terutama kristal dan kemarik tertentu, yang memiliki respon yang berbeda pada variasi tekanan yang sangat kecil dalam air. Dalam kasus seismik, tekanan yang diterima pada sensor tekanan dalam *streamer* menghasilkan besaran voltase yang seimbang. Untuk memproduksi output yang dapat diandalkan, jumlah sensor tekanan haruslah dihubungkan secara paralel, umumnya sejumlah sensor tekanan setiap group dengan jarak tertentu antar group. Group inilah yang biasanya disebut *channel* atau tras seismik.

Sensor kecepatan partikel vertikal atau *geosensor*, adalah alat yang mengkonversi gerakan atau perubahan menjadi energi elektrik. *Geosensor* dalam *streamer* sensor ganda merekam ke arah mana energi itu bergerak.



Gambar 2.1 Instrumen perekam *streamer* sensor ganda dihubungkan ke perangkat komputer (Konvensi *Indonesian Petroleum Association*, 2010).

Streamer sensor ganda terdiri dari sensor tekanan dan sensor kecepatan vertikal. Gelombang tekanan melalui air dapat dideskripsikan sebagai perubahan dalam tekanan sebagai kompresi dan dekompresi atau tekanan dan tarikan dari pergerakan gelombang dalam arah rambatnya. Kecepatan adalah besaran vektor yang mengukur pergerakan komponen vertikal yang ekuivalen terhadap sensor tekanan. Dengan menggabungkan gelombang dari kedua sensor ini, kita memperoleh informasi yang cukup untuk menentukan arah rambat gelombang dan jalur rambatnya.

Tenghamn (2007) berhasil mengimplementasikan teori ini ke dalam prakteknya, mendesain, dan memproduksi *streamer* dengan kedua sensor yang bekerja sesuai dengan standar industri.

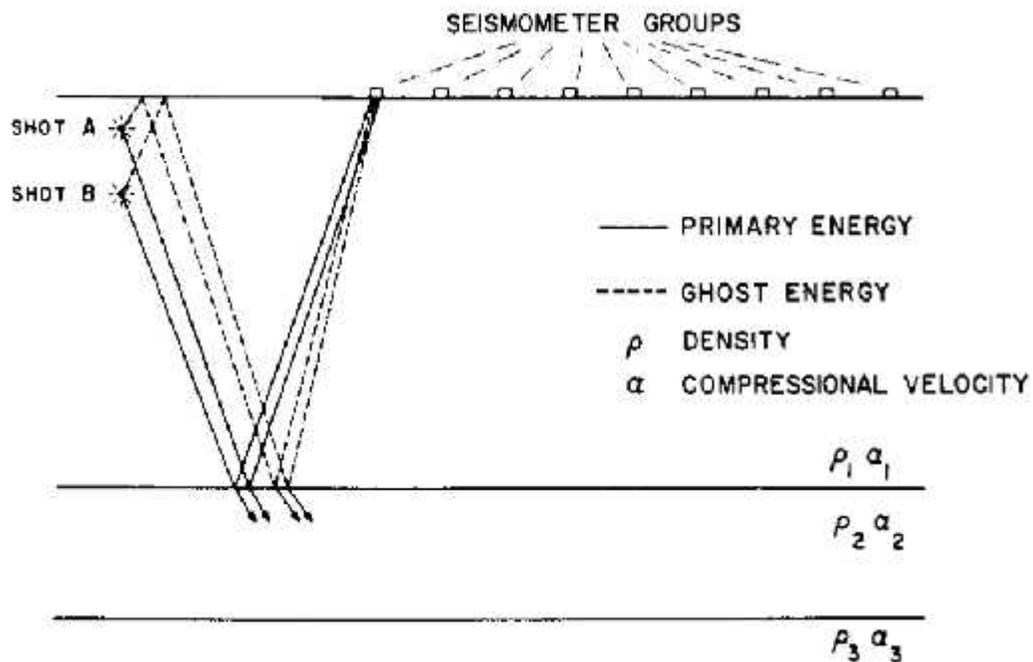
2.2.3. Ghost dan De-ghosting

Dalam seismik eksplorasi, baik di laut ataupun darat, ketika sumber suara diledakkan di bawah permukaan bumi, energi awal yang mengarah ke atas diserap atau dipantulkan ke bawah permukaan oleh refleksi dekat permukaan. Jika energi yang direfleksikan membentuk gelombang yang koheren, seismometer akan merekam gelombang primer dan juga bayangannya pada setiap reflector pada kedalaman, dipisahkan dalam perbedaan waktu sekitar dua kali waktu rambat dari shot ke reflector dekat permukaan.

Ghost atau bayangan dari gelombang primer di bawah permukaan tidak diinginkan karena beberapa alasan yaitu: jumlah event refleksi dikalikan dengan dua dalam rekaman sehingga mengaburkan interpretasi, *ghost* dan sinyal primer dapat saling berinterferensi secara destruktif sehingga melemahkan ataupun mengelabui informasi bawah permukaan, dan bahwa interferensi refleksi *ghost* dapat bersifat bervariasi dalam prospek sehingga mengakibatkan korelasi karakter yang buruk. Hal terakhir ini adalah hal terburuk yang dapat diakibatkan oleh *ghost*.

Refleksi *ghost* bersumber dari permukaan air sebagai reflektor dengan jejak gelombang yang berasal dari sumber suara hingga ke penerima suara. Permukaan air adalah reflector yang baik dan koefisien refleksinya memiliki besaran yang relative homogen dan memiliki polaritas negative untuk sinyal dari sensor tekanan. *Ghost* itu sendiri dalam perjalanannya terjadi dua kali, pada sumber suara dan pada penerima suara. Eliminasi *receiver ghost* yang menuju penerima suara adalah topik dari tesis ini dan eliminasi *source ghost* dari sumber suara dilakukan dengan metoda lain seperti susunan sumber suara dengan variasi kedalaman, yang tidak dibahas dalam tesis ini.

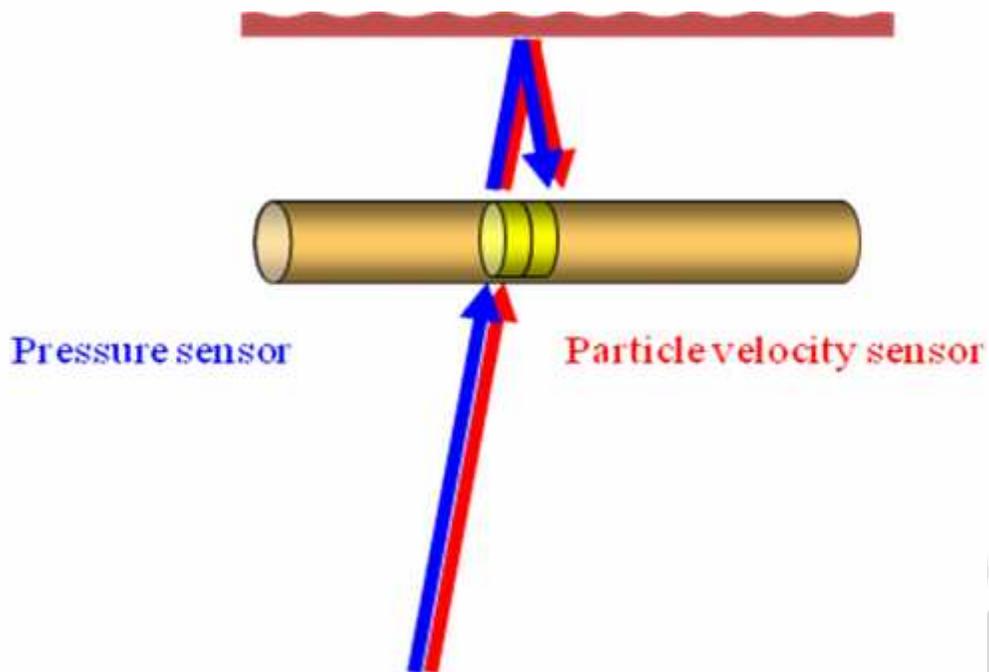
Gambar 2.2 adalah ilustrasi dari jejak *source ghost* yang bersumber dari sumber suara:



Gambar 2.2 Ilustrasi dari jejak gelombang *source ghost* ideal dari sisi sumber suara seismologi atau *source ghost* dalam akuisisi seismik darat (Schneider, 1964).

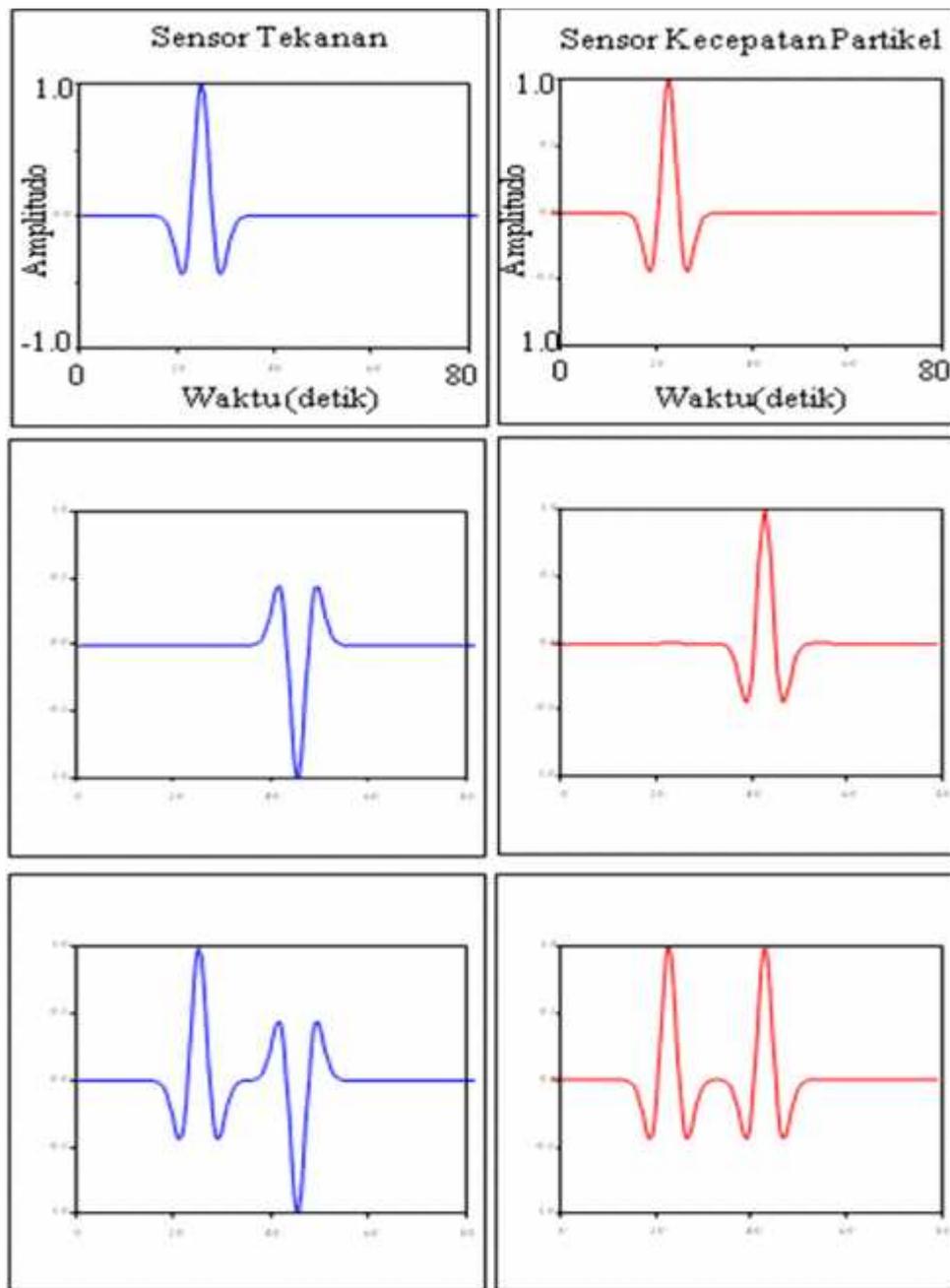
Pada kasus seismik darat ini, refleksi *source ghost* dari sumber suara sensitive terhadap ketebalan lapisan lapuk, kekerasan reflector, kedalaman shot, posisi dari ketinggian air tanah, sehingga bervariasi secara signifikan secara lateral. Variasi ini menyebabkan variasi juga dalam *ghost* yang memungkinkan rusaknya struktur halus dalam refleksi primer yang dapat mengaburkan informasi perangkat stratigrafi yang dimilikinya. Karena hal ini *ghost* diklasifikasikan sebagai noise seismik dan dapat disamakan dengan gelombang permukaan, refleksi *multiple*, energi tersebar, noise acak dari angin, dan sebagainya. Eliminasi *ghost* atau disebut juga *de-ghosting* adalah proses separasi *ghost* atau bayangan dari data dengan tujuan untuk meningkatkan resolusi dari data seismik.

Receiver ghost atau *ghost* yang bersumber dari refleksi permukaan air dalam akuisisi seismik laut dapat diilustrasikan dalam gambar 2.4:



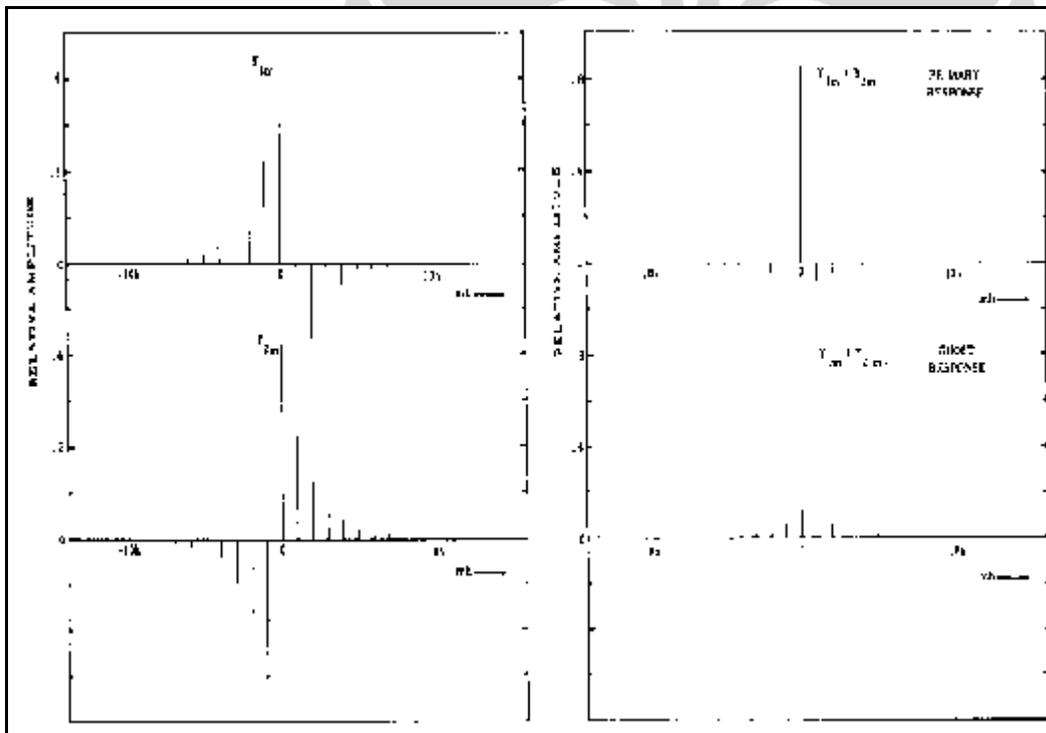
Gambar 2.3 Ilustrasi dari jejak gelombang *ghost* ideal dari sisi penerima suara seismologi refleksi atau juga disebut *receiver ghost* dalam akuisisi seismik laut (PGS Techlink, 2007).

Gelombang mengarah ke atas (*upgoing*) adalah gelombang primer yang dipantulkan dari reflector di bawah permukaan bumi dan direkam oleh sensor tekanan dan sensor kecepatan dan memiliki polaritas gelombang positif. Gelombang mengarah ke bawah (*downgoing*) adalah gelombang sekunder yang dipantulkan dari reflektor permukaan air-udara yang dan direkam oleh sensor tekanan sebagai gelombang dengan polaritas negative dan juga direkam oleh sensor kecepatan namun memiliki polaritas positif. Dalam gambar 2.5 diperlihatkan perbedaan polaritas dari kedua sensor yang kemudian sifat fisika inilah yang akan dieksploitasi dalam pemrosesan data *streamer* sensor ganda.



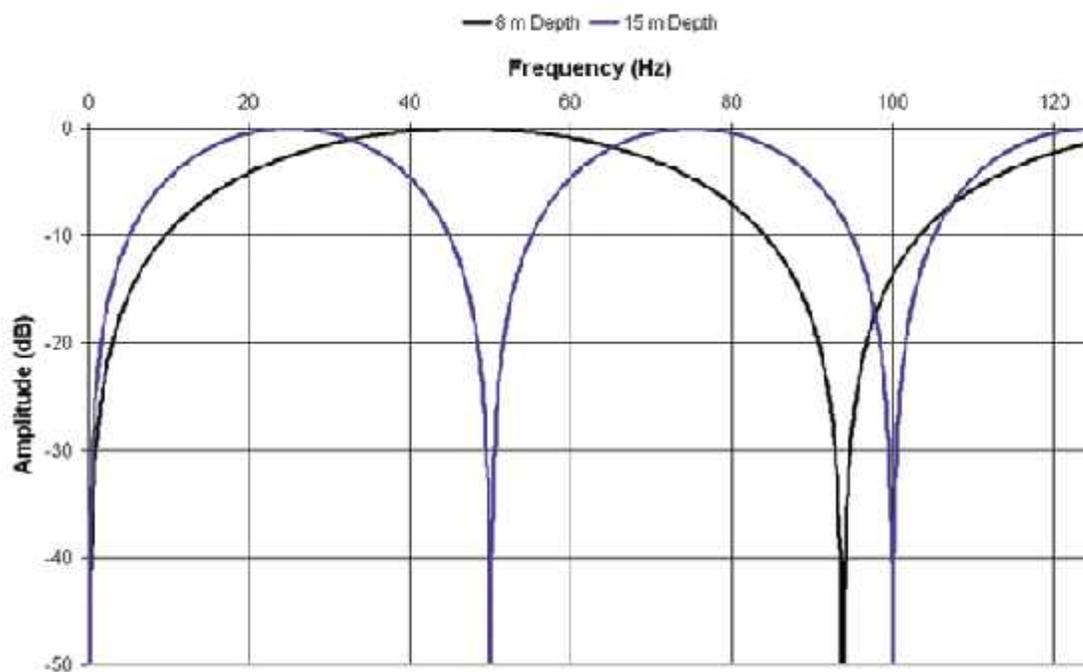
Gambar 2.3 Sifat fisika gelombang dari kedua sensor dengan polaritas gelombang primer dengan polaritas yang sama (atas) dan gelombang *ghost* yang berlawanan (tengah) dan total gelombang (bawah) yang dimanfaatkan untuk mengatasi masalah *receiver ghost* dalam akuisisi seismik laut (PGS Techlink, 2007).

Schneider dan Backus (1964) mempublikasikan metoda *de-ghosting* dengan suatu filter. Metoda ini mengkombinasikan rekaman dari dua atau lebih shot setelah memfilter masing-masing shot dengan filter yang berbeda. Filter tersebut didesain dengan criteria kesalahan least-mean-square untuk mengekstrak refleksi primer pada kehadiran refleksi ghost dan noise acak. Desain filter hanya bergantung pada perbedaan dari *uphole time* atau waktu yang diperlukan bagi gelombang seismik untuk merambat dari lubang tembak ke permukaan bumi, tidak bergantung pada detail perlapisan permukaan. Telah diketahui bahwa *de-ghosting* dari data seismik laut dengan metoda ini gagal dilakukan karena terjadi atenuasi maksimum pada frekuensi dan bilangan gelombang tertentu, karena energi spektral tidak hadir.



Gambar 2.4 *De-ghosting* dengan filter pada awal pengembangannya. Contoh respon dari filter *de-ghosting* (kiri) dan respon impuls untuk gelombang primer dan ghostnya (kanan) yang diperoleh dengan cara menambahkan respon filter (Schneider, 1964).

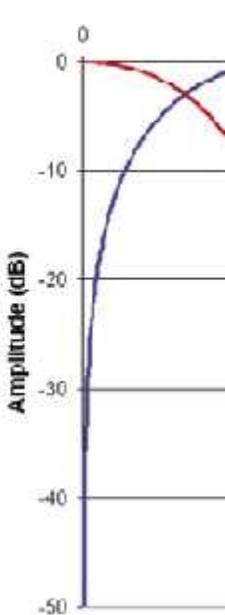
Ghost dari refleksi permukaan air mempengaruhi frekuensi dari sinyal yang direkam. Sebagian mengalami amplifikasi dan sebagian mengalami atenuasi. Amplifikasi maksimum terjadi pada frekuensi dengan jarak rambat antara permukaan air dan sensor tekanan penerima sama dengan $\frac{1}{4}$ panjang gelombang. Atenuasi maksimum terjadi pada frekuensi dengan jarak rambat antara permukaan air dan sensor tekanan penerima sama dengan $\frac{1}{2}$ panjang gelombang. Nilai panjang gelombang didapat dari kecepatan dibagi dengan frekuensinya, dengan contoh kecepatan air antara 1475 – 1549 m/detik. Dari nilai tersebut, didapatkan lokasi frekuensi yang memiliki *notch*. Contoh untuk kedalaman *streamer* 7 m, gelombang dengan insiden vertikal, amplifikasi maksimum terjadi pada frekuensi 54 Hz, dan atenuasi maksimum pada frekuensi 107 Hz. Contoh pada Gambar 2.6 memperlihatkan detail *notch* dalam spectrum amplitude:



Gambar 2.5 Spektrum amplitudo menunjukkan perbandingan pola *notch* dari sensor tekanan ditarik pada kedalaman 8 m (hitam) dan 15 m (biru) (Carlson, 2007).

Dari Gambar 2.7 terlihat pola hubungan antara kedalaman streamer yang berbanding terbalik dengan frekuensi *notch*-nya yang selanjutnya akan dirumuskan dalam persamaan 2-1.

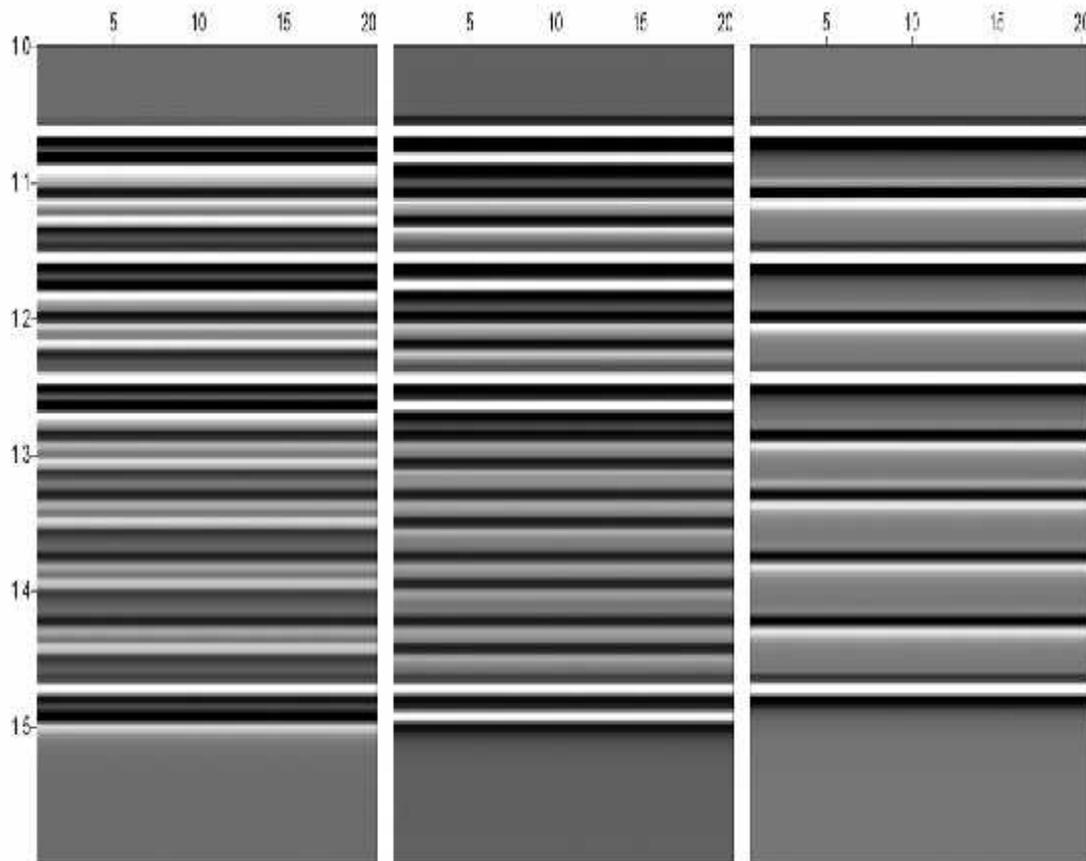
Gambar 2.7 memperlihatkan polaritas yang berlawanan dari kedua sensor. Gelombang diasumsikan memiliki arah rambat vertikal (sudut insiden nol). Spektrum berwarna biru adalah spectrum gelombang tekanan dan merah adalah spectrum gelombang kecepatan.



Gambar 2.6 Spektrum amplitudo untuk kedua jenis sensor tekanan (biru) dan sensor kecepatan (merah) pada kedalaman *streamer* 15 m dengan refleksi derajat nol (Bawah) (Carlson, 2007).

Fenomena pola amplitudo yang memiliki polaritas yang saling berlawanan inilah yang akan dimanfaatkan dalam proses *de-ghosting* yang akan diterangkan selanjutnya secara detail dalam rumus matematis 2-2 hingga 2-7.

Secara visual akan terlihat lebih jelas bagaimana data seismik dari sensor tekanan, sensor kecepatan, dan data *Pup* sensor ganda berperilaku dalam *stack* dengan mempergunakan data sintetis, diperlihatkan dalam Gambar 2.8:



Gambar 2.7 *Stack* sintetis konseptual dengan offset nol untuk data sensor tekanan (kiri), sensor kecepatan (tengah), dan penjumlahan dari kedua sensor (kanan) (Carlson, 2007).

Waktu rambat gelombang primer dan event ghost penerima adalah identik untuk kedua gelombang tekanan dan kecepatan. Polaritas untuk gelombang primer pada gelombang tekanan dan kecepatan adalah identik tetapi sebaliknya untuk polaritas ghost penerima. Penjumlahan mengeliminasi gelombang ghost yang hadir pada kedua data sehingga menampilkan penampang *stack* yang lebih jelas, lebih definitif, dan bebas *ghost* dari perlapisan yang relatif tebal dalam data seismik laut.

Notch pada data konvensional sensor tekanan itu sendiri adalah berada pada 0 Hz dan juga pada

$$F_{notch} = c/(2*d) \quad (2-1)$$

dengan c adalah kecepatan medium dalam air dan d adalah kedalaman sensor tekanan.

Eliminasi *ghost* dari data seismik laut diketahui gagal untuk frekuensi dan bilangan gelombang tertentu ketika atenuasi maksimum terjadi karena energi spektral tidak hadir. Dengan tujuan melakukan *de-ghosting* sepanjang *notch* ini, informasi yang hilang karena interferensi destruktif antara gelombang primer yang diterima oleh penerima dan bayangannya haruslah direkonstruksi dari informasi yang telah direkam. Metoda apapun yang dilakukan untuk melakukan rekonstruksi ini, fakta dasarnya adalah bahwa informasi tersebut hilang pada akuisisi sensor tekanan konvensional. Informasi itulah yang direkam oleh sensor kecepatan yang ditambahkan dalam *streamer* sensor ganda.

Pemisahan gelombang dari data sensor ganda diperoleh dengan penjumlahan dari data kedua sensor yang memiliki karakteristik sinyal dengan polaritas yang berlawanan pada bayangannya dan menghasilkan dekomposisi yang benar pada bagian gelombang mengarah ke atas dan ke bawah. Tidak ada informasi mengenai permukaan air yang diperlukan. Sensor tunggal dengan sensor tekanan saja hanya membuat asumsi mengenai keadaan permukaan laut, yang biasanya permukaan datar, yang digunakan untuk mengolah data tekanan kepada ekuivalen tanpa bayangannya. *Streamer* sensor ganda menyediakan pemisahan gelombang yang lebih benar dan tidak menggunakan asumsi yang terlalu banyak. Gelombang tekanan mengarah ke atas yang bebas *multiple* yang tidak bergantung pada informasi kondisi permukaan laut sehingga sangat bermanfaat untuk studi 4D adalah harapan bentuk data seismik di waktu mendatang.

2.2.4. Pemisahan Gelombang

Pemisahan gelombang pada komponen mengarah ke atas (*Pup*) dan ke bawahnya (*Pdown*) dilakukan dengan mengkombinasikan data rekaman sensor kecepatan partikel vertikal (V_z) dengan rekaman tekanan (P)

$$P_{up} = \frac{1}{2} (P - FV_z) \text{ dan } P_{down} = \frac{1}{2} (P + FV_z) \quad (2.2)$$

Dalam domain Fourier, filter penskala F adalah (Amundsen, 1993):

$$F(\omega, k_x, k_y) = \rho \omega / k_z, \text{ dengan } k_z = ((\omega/v_w)^{1/2} - k_x^2 - k_y^2)^{1/2} \quad (2.3)$$

Sehingga diperoleh persamaan dalam bentuk matriks untuk operasi matematis yang lebih mudah secara komputasi:

$$\begin{bmatrix} U \\ D \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{\rho\omega}{k_z} \\ 1 & \frac{\rho\omega}{k_z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ V_z \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Dengan k_z adalah bilangan gelombang vertikal dan sumbu z positif adalah mengarah ke bawah.

Nilai faktor penskala adalah koreksi untuk impedansi akustik dan faktor pendukung yang diperlukan ketika data sensor kecepatan partikel vertikal ditransformasikan dalam rekaman tekanan. Penurunan dari nilai ini dijabarkan oleh Amundsen (1993). Dalam formula di atas k_x , k_y , dan k_z memiliki 3 komponen vektor bilangan gelombang angular, ω memperlihatkan frekuensi sudut, dan ρ dan v_w sebagai nilai densitas air dan kecepatan rambat akustik dalam air. Untuk menghindari nilai $k_z = 0$, pemrosesan dibatasi pada energi kekal. Juga diketahui bahwa bagian frekuensi rendah dari rekaman sensor kecepatan partikel vertikal relatif kotor oleh noise. Hal ini menyebabkan data tersebut direkonstruksikan dari data tekanan yang dideskripsikan oleh Carlson (2007). Prosedur tersebut juga membutuhkan kalkulasi dari nilai faktor skala F .

Secara umum, dekomposisi gelombang dilakukan dengan proses matematis berikut (Tenghamn, 2007):

1. Dekomposisi frekuensi rendah dari sensor kecepatan: memasukkan *ghost* dari sensor kecepatan, digantikan dengan data sensor tekanan, dan menghilangkan *ghost* dari sensor tekanan tersebut.

$$V_z(\omega, k_x, k_y | z_R) = -F^{-1} \left[\frac{1 + e^{-i2k_z z_R}}{1 - e^{-i2k_z z_R}} \right] P(\omega, k_x, k_y | z_R) \quad (2.5)$$

2. Faktor skala untuk diterapkan pada data kecepatan partikel vertikal dengan sudut kedatangan tertentu

$$F(\omega, k_x, k_y) = \frac{\rho\omega}{k_z}, \quad \text{with } k_z = \sqrt{\left(\frac{\omega}{v_w}\right)^2 - k_x^2 - k_y^2} \quad (2.6)$$

3. Dekomposisi gelombang menjadi *Pup* dan *Pdown*.

$$P^{up} = \frac{1}{2}(P - FV_z) \quad \text{and} \quad P^{down} = \frac{1}{2}(P + FV_z) \quad (2.7)$$

2.3. Definisi Proses dalam Pemrosesan data

Definisi dari tiap tahapan dalam pemrosesan data seismik dijelaskan dalam bagian ini.

2.3.1. Input data

Langkah paling awal dalam pemrosesan adalah pembacaan dan penulisan data seismik dalam bentuk data digital. Data seismik digital saat ini umumnya memiliki format SEG-D atau SEG-Y. Data SEG-D adalah data seismik yang direkam oleh instrumen seismik awal yang belum digabungkan dengan informasi posisi dan belum mengalami perubahan atau editing apapun. Format SEG-Y adalah format data seismik yang telah ditambahkan informasi posisi dan editing ke dalamnya.

2.3.2. Geometri

Dalam design survey seismik, parameter seperti jarak antar sumber suara, jarak antar sensor penerima, dan orientasi sumber dan sensor selalu menjadi acuan. Geometry dilakukan untuk menggabungkan data seismik dengan informasi posisi sesuai dengan desain akuisisi lapangan..

Informasi didasarkan informasi survei sehingga koordinat shot dan receiver dari semua trace dimasukkan kedalam trace header, selain itu juga dilakukan penentuan ukuran CDP bin.

Setelah proses geometri selesai, dapat dilakukan berbagai proses seperti menampilkan jumlah *fold*, *offset* dan *azimuth* survei, yang akan membantu untuk mendeteksi kesalahan secara dini. Proses deteksi kesalahan ini sangat kritis untuk mencegah pemrosesan ulang yang memakan waktu lama karena adanya sebagian data seismik yang tidak dapat diproses karena tidak memiliki informasi posisi ataupun informasi yang salah.

2.3.3. Analisis kecepatan

Tujuan dari analisa kecepatan adalah untuk mendapatkan fungsi kecepatan yang dibutuhkan untuk memperoleh stacking terbaik. Prinsip dasar analisis kecepatan adalah mencari persamaan hiperbola yang tepat sehingga memberikan stack yang maksimum. Pemilihan kecepatan perambatan gelombang seismik bergantung pada berbagai faktor seperti semblance, kontrol horizon, dan tipe NMO yang digunakan.

Analisa kecepatan stacking mengasumsikan bahwa moveout-nya berbentuk hiperbola. Analisa kecepatan ditunjukkan dengan melakukan scanning terhadap kisaran kecepatan tertentu, kurva moveout terbentuk untuk setiap kecepatan. Coherency dari data disepanjang kurva ini kemudian dihitung dengan menghitung *semblance*, ini diulang untuk setiap kecepatan yang di-scan dari setiap sampel waktu. Hasilnya diplot dalam format penunjuk dengan warna yang dikenal pada penampang *semblance*. Warna tersebut merepresentasikan nilai semblance. Picking kecepatan pada semblance plot dengan mem-pick nilai semblance maksimum dengan definisi warna tertentu.

Hal lain yang perlu diperhitungkan akibat adanya penyerapan energi pada lapisan batuan yang kurang elastik dan efek spherical divergence maka data amplitudo (energi gelombang) yang direkam akan mengalami penurunan sesuai dengan jarak tempuh gelombang. Penyebabnya adalah kecepatan biasanya naik menurut kedalaman dimana menyebabkan divergensi lebih jauh dari gelombang permukaan akan amplitudanya berkurang lebih cepat terhadap jarak.

Stacking adalah proses penjumlahan beberapa sinyal seismic pada common mid point (CMP) dan waktu yang sama (pada sumbu offset) menjadi satu tras seismic dengan kondisi sinyal yang koheren akan saling menguatkan dan sinyal yang inkoheren akan saling menghilangkan. Tahapan ini bertujuan untuk meningkatkan signal to noise (S/N) ratio, mengurangi noise dan mengkompres volume data seismic sehingga menjadi kecil. Perlu diketahui bahwa pada awalnya data seismic direkam pada common-shot gather. Karena pada umumnya pengolahan data dilakukan pada domain common-midpoint (CMP), data common-shot gather tadi disusun dan diatur ke bentuk CMP gather.

Kecepatan didefinisikan sebagai penjaralan gelombang seismic pada medium gelombang dimana gelombang tersebut bergerak. Untuk pengolahan data seismic, kecepatan yang digunakan didapat dari beberapa cara perhitungan dan menghasilkan beberapa tipe kecepatan antara lain :

1. Kecepatan Rata-Rata (V_r)

Kecepatan average atau rata-rata (V_r) adalah kecepatan yang digunakan untuk melntasi suatu jarak tertentu pada n buah lapisan geologi/horizon.

Kecepatan average merupakan total jarak yang dibagi dengan total waktu rambat. Di dalam geofisika, kecepatan average digunakan untuk mengetahui kedalaman tertentu dengan menggunakan data waktu tertentu di dalam konversi waktu ke kedalaman.

2. Kecepatan Normal Move Out (NMO)

Waktu tempuh gelombang bertambah dengan pertambahan offset (kurva arrival time berbentuk hiperbola). Koreksi NMO : untuk menghilangkan pengaruh jarak offset antara sumber dan penerima pada satu CDP yang sama.

3. Kecepatan RMS (V_{rms})Kecepatan rms secara teori kecepatan yang digambarkan persamaan Dix atau sering disebut juga kecepatan yang diperoleh dari time migration. Kecepatan rms secara matematik berkaitan dengan kecepatan interval. Ketika digunakan pada penampang waktu dengan offset yang pendek dapat diasumsikan garis sinar yang lurus untuk NMO dan migrasi.

4. Kecepatan Interval ($V_{interval}$)

Satu lapisan bawah permukaan bumi terdiri dari media yang homogen elastik, dimana lapisan ini memiliki batas interval dengan lapisan di atas maupun di bawahnya. Apabila kita menghitung kecepatan rata-rata pada interval kedalaman lapisan bawah permukaan tersebut, maka kita akan memperoleh kecepatan interval. Fungsi kecepatan interval juga dapat dihitung dari fungsi rms atau kecepatan *stacking* dengan menggunakan transformasi dix. Kecepatan interval merupakan asumsi konstan sepanjang jarak tertentu. Kecepatan interval biasanya dapat diperoleh dari kecepatan rms atau kecepatan *stack* dengan menggunakan persamaan Dix (1955). Kecepatan ini mengkombinasikan kecepatan sesaat di sepanjang interval tertentu.

5. Kecepatan Sesaat (Vins)

Kecepatan sesaat merupakan tambahan jarak yang kecil dari jarak dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk gelombang akustik (gelombang P) menjalar melewati jarak tersebut. Kecepatan ini lebih menggambarkan kecepatan yang sesungguhnya karena merupakan kecepatan yang khusus pada lokasi tertentu.

6. Kecepatan Stack (Vstack)

Stacking adalah proses penggabungan trace CMP menjadi trace tunggal dan merupakan mekanisme utama untuk menghilangkan multiple dan *noise* lainnya. Kecepatan stacking atau kecepatan NMO digunakan untuk membuat penampilan stack terbaik yang ditunjukkan dengan gather lurus menggunakan persamaan NMO dimana T dan T0 merupakan two-way times dan h merupakan setengah dari jarak offset source ke receiver. Kecepatan dihitung dengan hiperbola NMO.

7. Kecepatan Migrasi

Kecepatan migrasi merupakan kecepatan yang menghasilkan penampang migrasi terbaik yakni kecepatan rms untuk time migration atau kecepatan interval untuk *depth migration*.

2.3.4. Koreksi statik

Koreksi statik bertujuan menghilangkan pengaruh yang tidak diinginkan pada data rekaman seismik sehingga didapatkan informasi geologi bawah permukaan yang bisa dipercaya. Koreksi statik dilakukan pada data seismik dengan cara menggeser sejauh waktu tertentu (time shift) faktor-faktor yang mempengaruhi pada lingkungan laut antara lain sebagai berikut:

1. Perbedaan elevasi antara sumber suara dan sensor pada kabel *streamer*.
2. Perhitungan ketinggian ombak secara periodik yang mempengaruhi posisi sumber suara dan sensor secara pola tertentu. Informasi ini dapat diperoleh dari stasiun peramal cuaca dan diaplikasikan terhadap informasi kedudukan sumber dan sensor.
3. Adanya perbedaan kecepatan gelombang dalam medium air yang dikarenakan perbedaan temperatur pada kondisi lingkungan laut. Hal ini kritis terutama pada penggabungan dua data seismik dengan jarak waktu akuisisi yang cukup lama.

Koreksi statik lapangan (field statics) pada dasarnya menghitung koreksi akibat selisih jarak antara datum dan sumber maupun datum dan sensor.

2.3.5. Deconvolusi dan pembentukan *wavelet*

Dekonvolusi adalah suatu proses untuk menghilangkan pengaruh *wavelet* sumber dari suatu jejak seismik. Dengan proses tersebut diperoleh deret pseudo refleksi yang berupa deretan spike dengan panjang tertentu yang menggambarkan harga amplitudonya. Dengan pengertian ini maka proses dekonvolusi adalah proses untuk mengkompres *wavelet* agar dapat memberikan daya pisah terhadap perlapisan batuan dalam bumi pada penampang seismik.

Dekonvolusi dilakukan sepanjang sumbu waktu. Tahapan ini bertujuan untuk meningkatkan resolusi temporal dengan meningkatkan basic seismik *wavelet* (sinyal seismic sebagai fungsi waktu) dari data seismik.

Jejak seismik yang diterima dan terekam di alat perekaman merupakan suatu hasil dari konvolusi gelombang seismik yang terjadi dalam bumi yang dinyatakan sebagai berikut:

$$s(t) = w(t) * e(t) + n(t) \quad (2.8)$$

$s(t)$ adalah jejak seismik yang terekam, $w(t)$ adalah wavelet yang dibangkitkan, $e(t)$ adalah respon impuls atau koefisien refleksi dan $n(t)$ adalah noise.

Didalam proses konvolusi tersebut, wavelet seismik yang dibangkitkan sumber gelombang merambat ke medium bawah permukaan, berkonvolusi terhadap koefisien refleksi. Koefisien refleksi adalah target utama dalam survey seismik, menunjukkan kontras impedansi akustik, petunjuk perubahan litologi maupun konfigurasi internal batuan di bawah permukaan bumi. Selanjutnya sebagai efek-efek alamiah penmfilteran yang terjadi di bawah permukaan bumi, ternyata terdapat faktor tambahan terhadap hasil konvolusi tersebut diatas, yaitu *noise* $n(t)$, yang sebetulnya tidak diinginkan tetapi akhirnya terekam di penerima.

Dalam proses dekonvolusi F-XY, ketika data ditransformasi dari domain waktu dan jarak ke domain frekuensi dan jarak, time slice di ubah menjadi frequency slice. Setiap sampel dari data yang ditransformasi memiliki komponen real dan imajiner. Event yang memiliki spatial dip yang sama akan muncul sebagai sinyal sinusoidal complex sepanjang frequency slice tertentu. Sinyal merupakan hal yang dapat diprediksi sedangkan noise merupakan hal yang tidak dapat diprediksi. Dekonvolusi F-XY menggunakan suatu prediction filter rectangular kompleks untuk memprediksi sinyal pada titik tengah dari filter spatial. Perbedaan antara nilai prediksi kompleks dan yang sebenarnya dapat diklasifikasikan sebagai noise dan dihilangkan. Dalam proses F-XY dekonvolusi dilakukan transformasi fourier pada setiap input trace, apply suatu complex LMS adaptive, unit filter prediksi rectangular pada xy untuk setiap frekuensi pada range tertentu dan melakukan transformasi lagi untuk mengubah domain frekuensi kedalam domain waktu.

2.3.6. Interpolasi Tras

Tras seismik yang hilang akibat tidak berfungsinya salah satu atau beberapa instrumen seismik seperti sumber suara, sensor geophone atau hidrophone, dan juga akibat editing karena buruknya data menyebabkan adanya gap dalam data. Interpolasi prediksi FX seringkali digunakan untuk mengatasi masalah ini.

2.3.7. Migrasi

Migrasi bertujuan untuk menambah resolusi lateral dengan menghilangkan diffraksi dan mengembalikan event yang miring ke posisi sebenarnya. Kesalahan posisi ini disebabkan oleh smearing effect yang dihasilkan dari reflektor miring atau difraksi dari sesar dan struktur geologi lainnya, seperti antiklin atau sinklin. Tujuan dari migrasi adalah untuk membuat penampang stack sehingga terlihat seperti keadaan struktur geologinya dalam domain kedalaman di sepanjang lintasan seismik.

Proses migrasi yang menghasilkan penampang migrasi dalam kawasan waktu disebut dengan migrasi waktu (*time migration*). Migrasi ini umumnya dapat berlaku selama variasi kecepatan secara lateral kecil hingga sedang. Jika variasi kecepatan lateral besar, migrasi waktu ini tidak dapat menghasilkan gambar bawah permukaan dengan baik dan benar. Untuk mengatasi hal ini biasanya dilakukan teknik migrasi dalam kawasan kedalaman (*depth migration*), di mana hasil migrasi ditampilkan dalam kawasan kedalaman.

2.3.8. Atenuasi Noise dan Penguatan Sinyal

Hingga saat ini berbagai metoda komputasi telah digunakan untuk tujuan atenuasi noise. Dalam tesis ini digunakan metoda seperti F-K filter dan Tau-P transform. dan F-K Filtering adalah filtering dip yang dilakukan dalam domain *Frequency-wavenumber* untuk memisahkan event yang dip dalam bidang (t,x). Dengan mentransformasikan data ke dalam domain f-k, yaitu menghitung setiap data ke dalam nilai frekuensi dan nilai bilangan gelombangnya sehingga dapat diplot dalam suatu sumbu 2 dimensi, dapat dilakukan diferensiasi zona yang akan membedakan apakah data tersebut merupakan data primer atau *noise*.

Tau-P transform adalah transformasi dalam domain tau dan p yang sering dieksploitasi untuk mengatasi masalah aliasing. *Spatial aliasing* adalah aliasing dalam domain jarak (offset). Suatu gejala dimana terjadi proses pelipatan nilai bilangan gelombang (k) akibat nilainya lebih besar dibandingkan dengan k nyquist. Nilai k yang melebihi k nyquist akan diplot dengan nilai negatif di kuadran yang berbeda. Semakin besar kemiringan suatu event seismik untuk suatu nilai frekuensi maka bilangan gelombang (k) semakin besar sehingga apabila bilangan gelombang ini melebihi k nyquistnya maka event seismic ini akan teraliasi secara spatial.

2.3.9. Analisis Data seismik

Berbagai instrumen yang dipergunakan untuk menganalisa data seismik pada setiap tahap pemrosesan untuk menguji validitas setiap tahap pemrosesan yang dilakukan terhadap data seperti di bawah ini:

1. Analisis plot t-x

Analisis pembuatan *mute* dan parameter operator matematis dari berbagai proses dilakukan dengan menggunakan penampang *shot gather* dalam domain waktu dan jarak ini.

2. Analisis FK

Analisis desain filter untuk atenuasi *noise* dilakukan dalam penampang data seismik dalam domain FK. Dalam domain frekuensi dan kelambatan ini dapat dilakukan diferensiasi tipe *noise* yang memiliki nilai kecepatan/kelambatan yang berbeda dengan data, yang biasanya adalah *noise* yang bersumber dari permukaan. Dengan identifikasi daerah *noise*, dapat dilakukan desain poligon untuk mendiferensiasikan *noise*, dengan tidak lupa berhati-hati untuk tidak menghasilkan efek yang tidak diinginkan yang seringkali dihasilkan oleh proses FK. Gradasi nilai poligon atau *taper* dan juga penambahan tras tambahan (*padding*) akan membantu mengurangi efek-efek yang tidak diinginkan tersebut.

3. Analisis Spektral

Analisis distribusi amplitudo dan frekuensi dari data seismik sebelum dan sesudah suatu proses dilakukan untuk memeriksa preservasi amplitudo data seismik dalam setiap tahap pemrosesan data seismik.

4. Analisis header pada tras

Verifikasi berbagai informasi seperti geometri, posisi dan status tras seismik dilakukan untuk validasi suatu tahapan pemrosesan data.

5. Analisis gain

Analisis ini dilakukan untuk memperoleh parameter divergen sferis terbaik untuk mengembalikan nilai amplitudo yang berkurang seiring dengan kedalaman.

6. Operasi matematik pada tras

Operasi matematis yang seringkali dibutuhkan untuk melakukan operasi komputasi yang efisien dalam mengelola data seismik dengan jumlah yang sangat besar.

7. Analisis dekomposisi spektral

Analisis distribusi amplitudo yang mewakili daerah frekuensi tertentu untuk menampilkan cerminan litologi di bawah permukaan bumi.

8. AVO atribut

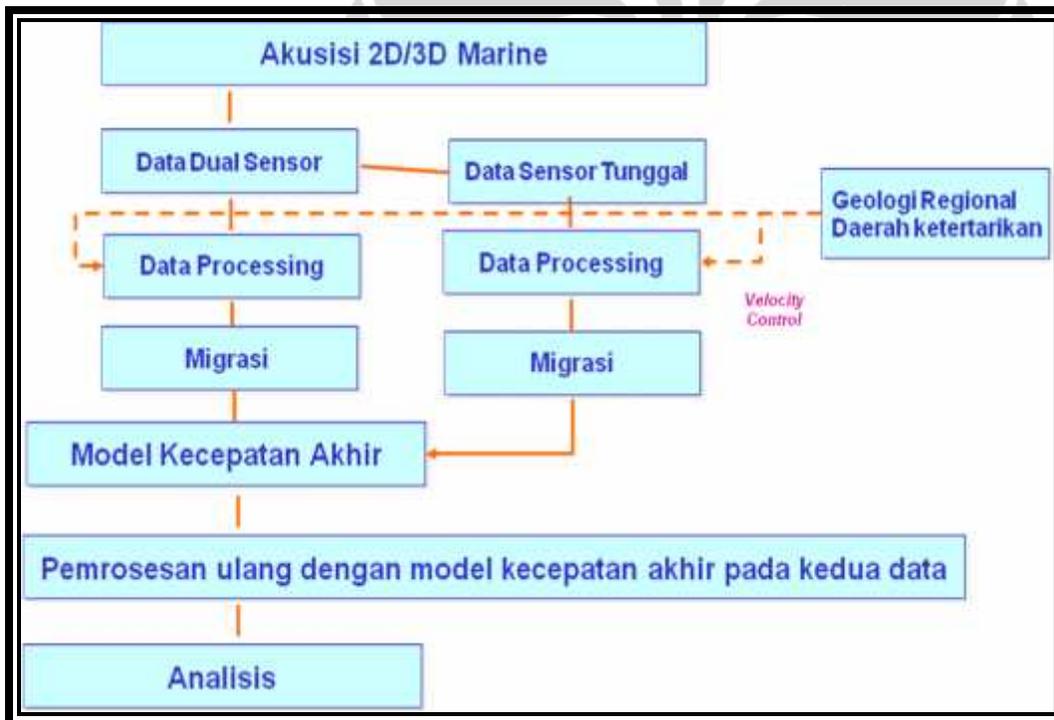
Analisis akhir pemrosesan yang seringkali dilakukan dengan menganalisis amplitudo dengan offset-nya untuk mendapatkan nilai atribut seismik sebagai cerminan karakter lapisan bawah permukaan bumi sebagai solid, fluida, ataupun gas.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Diagram Alir Studi

Tesis diawali dengan pengumpulan data geofisika dari lapangan dan studi literatur dari geologi regional dan akuisisi geofisika, pemrosesan, dan analisis reservoir dari *streamer* sensor ganda dan sensor tunggal konvensional dan mencari langkah pemrosesan yang tepat dari berbagai kemungkinan langkah yang dapat dilakukan.



Gambar 3.1 Diagram alir pekerjaan dari data hasil akuisisi, pemrosesan, pemrosesan ulang, dan analisis.

Data geologi yang berupa data regional dan zona prospek diperoleh dan dilakukan analisis. Informasi ini akan menjadi informasi pendukung untuk data seismik yang akan diproses dan

mengidentifikasi hal-hal yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan data seismik dengan kualitas maksimum.

Model kecepatan seringkali menjadi faktor dominan dalam menghasilkan penampang seismik akhir. Pemrosesan ulang akan dilakukan dengan satu model kecepatan untuk kedua data sehingga model kecepatan tidak akan menjadi faktor pembeda.

Data seismik akan menyita banyak waktu untuk pemrosesan, dengan input data dua kali input data konvensional. Langkah pemrosesan dilakukan hingga tahap migrasi. Bentuk penulisan langkah proses pemrosesan data diterangkan secara umum yang masing-masing langkahnya memiliki basis pengetahuan secara matematika, fisika, statistika, dan komputasi yang lebih mendalam. Dalam pengerjaan sehari-hari, tantangan lebih banyak dihadapi dalam proses komputasi dengan hardware dan software dalam pengolahan data seismik yang sangat besar. Dalam pengerjaan secara umum, aspek teknik matematika dan fisika dari masing-masing proses pengolahan gelombang seismik yang akan mempengaruhi kualitas akhir dari data. Dasar-dasar persamaan matematika yang digunakan dalam setiap proses secara lebih mendalam diterangkan oleh Claerbout (1976) dan Yilmaz (2001) dan referensi lain yang terus berkembang seiring dengan waktu dan perkembangan teknologi.

3.2. Parameter Akuisisi Seismik

Operasi akuisisi seismik dilakukan dengan desain survey dan parameter operasional yang disesuaikan dengan target zona prospek yang dikehendaki. Zona prospek yang diperoleh dari analisa geologi secara regional dengan berbagai data pendukung menghasilkan analisis zona prospek dalam rentangan waktu rambat 2 – 5 detik dengan total panjang data terekam adalah 10 detik.

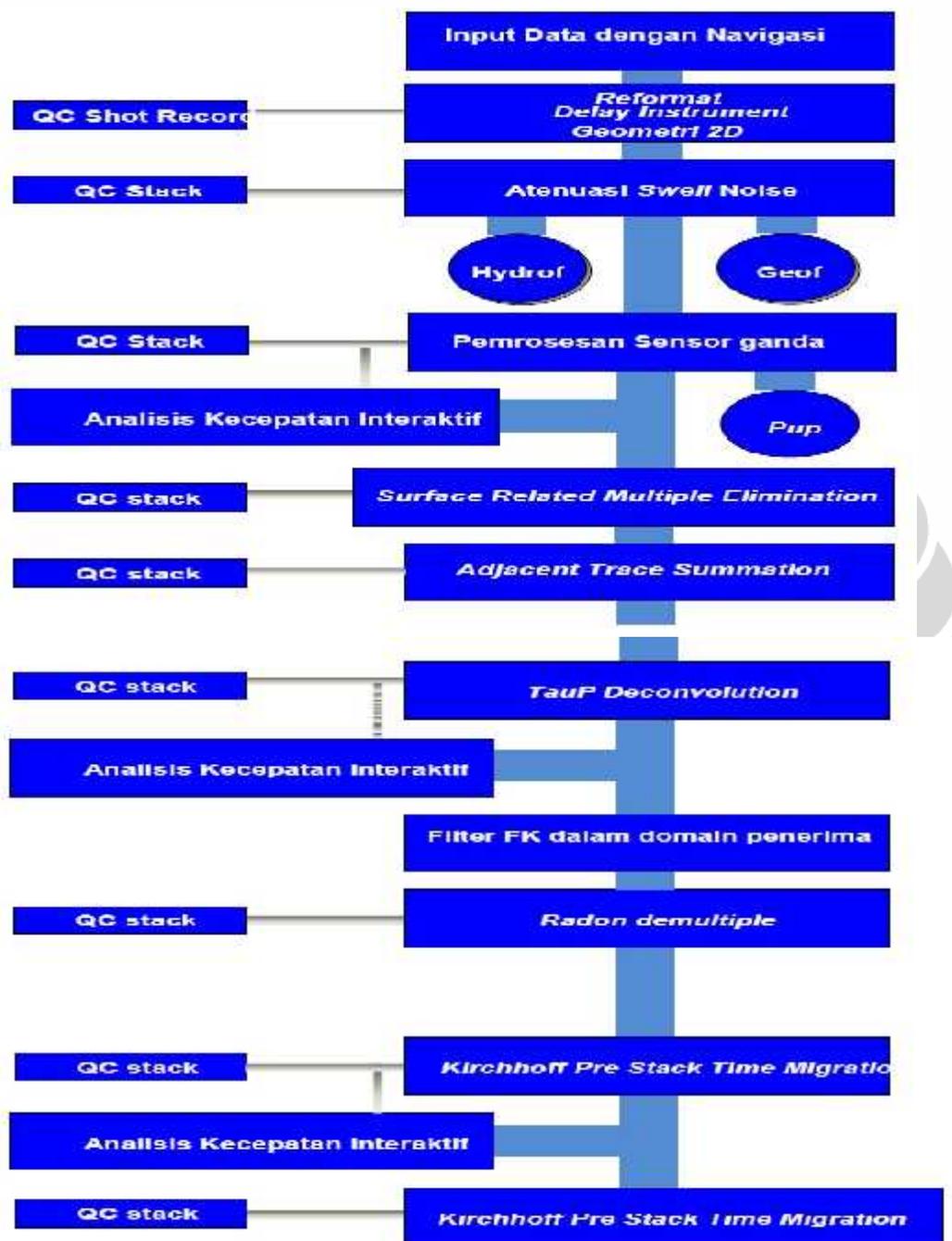
Secara fisik sumber suara memiliki tipe *G-guns* dan rentangan kabel penerima suara tunggal dengan tipe perekam suara sensor ganda. Sumber suara dengan panjang 14 m memiliki 3 buah sub array dengan jarak antar sub-array 12 m. Jarak terdekat antara sumber suara dengan penerima suara atau near offset memiliki panjang 102 m. Penerima suara atau *streamer* tunggal digunakan dengan sensor ganda dan memiliki panjang total 8100m.

Strategi penyusunan alir pemrosesan data dan hasilnya berkaitan erat dengan parameter seismik yang digunakan. Dalam pembuatan tesis ini digunakan parameter akuisisi yang sederhana dengan satu *streamer* dan juga disusun kombinasi pemrosesan data yang disusun secara sederhana dengan tujuan untuk memperoleh perbandingan data lebih valid tanpa kompleksitas teknik pemrosesan tingkat lanjut.

3.3. Metode Pemrosesan Data

Pemrosesan awal sebelum pemrosesan primer dilakukan yang meliputi atenuasi noise dan pemisahan gelombang pada komponen mengarah atas dan bawah. Atenuasi noise menargetkan noise dari *bird*, ombak, dan tarikan kabel. Dikarenakan rendahnya rasio sinyal terhadap noise, frekuensi rendah di bawah 20 hingga 25 Hz dibuang dari sensor kecepatan dengan filter low-cut, dan frekuensi pengganti direkonstruksikan dari data sensor tekanan. Hasil data tersebut kemudian dikombinasikan dengan data sensor tekanan untuk menciptakan gelombang mengarah ke atas.

Data gelombang mengarah ke atas (*upgoing*) adalah data yang sama dengan data dari *streamer* konvensional dengan absennya *ghost* penerima suara dan fenomena *notch*-nya dan disertai peningkatan frekuensi rendah karena lebih dalamnya posisi penerima suara. Data *upgoing* ini kemudian diproses dengan alir pemrosesan konvensional. Termasuk di dalamnya adalah konversi fase nol, atenuasi noise (SRME, TaupDecon, FK, Radon), dan langkah pencitraan (PSTM). Analisis spektrum dilakukan pada berbagai tahap dalam pemrosesan untuk mengkonfirmasi bahwa nilai amplitudo dan frekuensi tetap dipertahankan ketika suatu proses diaplikasikan. Gambar 3.2 memperlihatkan garis besar pemrosesan yang dilakukan dalam pekerjaan tesis ini.



Gambar 3.2 Diagram alir pemrosesan data dari pemrosesan awal hingga migrasi.

Langkah-langkah pemrosesan dapat dilakukan dengan berbagai variasi kombinasi dan iterasi sehingga setiap orang dapat melakukan pemrosesan dengan metode yang berbeda dan hasil yang

berbeda pula. Penulis melakukan kombinasi pemrosesan dasar, yang terdiri dari kombinasi pemrosesan awal, pemrosesan sensor ganda, atenuasi *noise*, dan pencitraan, yang diterangkan secara detail dalam sub-bab selanjutnya. Tentunya hasil berbeda dan jauh lebih baik dapat didapatkan dengan metoda komputasi terbaru dan pencitraan lanjut dengan teknik lain yang dapat dilakukan dalam pekerjaan dalam waktu yang akan datang.

3.3.1. Alir Pemrosesan Awal

Pemrosesan awal adalah tahap persiapan data lapangan menggunakan informasi pendukungnya seperti navigasi, konversi format, koreksi statis, geometri, model kecepatan awal, dan lainnya sehingga dapat data siap untuk melalui proses komputasi. Tahap yang dilakukan secara umum adalah konversi format, koreksi statis, geometri, dan analisis kecepatan pertama, dan koreksi *spherical divergence*.

Data lapangan memiliki format yang terus berkembang seiring waktu. Sejak tahun 1960-an disepakati format *SEG-A*, *SEG-B*, *SEG-C*, dan *SEG-D* pada tahun 1979 oleh badan geofisika internasional *SEG*. Format data terakhir *SEG-D* terus dikembangkan dengan revisi 1 (1994) dan revisi 2 (1996). Format yang digunakan dalam akuisisi seismik di lapangan dikonversikan ke dalam format internal *SEG-Y* untuk pemrosesan di pusat pemrosesan data, khususnya di Jakarta sebagai tempat pengerjaan tesis.

Data yang digunakan dalam tesis ini memiliki panjang 10240 ms dengan interval data setiap 2 ms dan setiap shot memiliki 1 kabel *streamer* dengan 636 channel.

Penerapan koreksi statis atau *delay instrument* dengan nilai 69.2 ms, yaitu waktu tunda yang dibutuhkan untuk mensinkronkan data dari navigasi ke dalam sistem perekaman seismik. Nilai ini berbeda-beda tergantung dari instrumen yang dimiliki oleh kapal seismik. Waktu yang dibutuhkan untuk sinkronisasi data ini semakin cepat seiring dengan semakin baiknya teknologi komputasi dan pengiriman informasi digital.

Geometri diperlukan sebagai basis koordinat dalam komputasi yang akan dilakukan dalam pemrosesan data. Geometri dibuat seefektif mungkin sehingga mencakup seluruh data yang akan diproses. Geometri 2D dibuat dan digunakan dengan informasi konfigurasi geometri 2D, *subline*, *crossline*, *cdp-x*, dan *cdp-y*. Informasi tersebut disimpan dalam bentuk *header* dalam data seismik. Tahap pemrosesan ini sangat penting karena dengan geometri yang salah akan banyak mempengaruhi waktu pemrosesan dan proses komputasinya, bahkan hasil penampang seismik yang salah. Khusus dalam akuisisi seismik laut, bentuk jalur sumber suara dan kabel *streamer* yang mengalami *feathering* atau penyimpangan kabel *streamer* terhadap jalur seharusnya haruslah diperhitungkan dalam pembuatan geometri.

Analisis kecepatan dilakukan setiap jarak 4 km menggunakan dengan tampilan *Iso-velocity*, *gather* ter-NMO dan penampang *stack* sebagai alat kontrol kualitas. Kualitas data yang memiliki gelombang primer yang kuat dengan noise dan multipel yang sedikit akan sangat membantu dalam pemilihan model kecepatan yang merupakan perwakilan dari informasi geologi di bawah permukaan. Kecepatan interval yang dipilih dipengaruhi faktor geologi berupa sifat batuan dengan bentuk pori, tekanan pori, saturasi fluida dalam pori, tekanan dalam batuan, dan temperaturnya. Bahasan secara lebih lengkap dijelaskan oleh Yilmaz (2001).

Koreksi ini dilakukan untuk mengkompensasi hilangnya energi seiring merambatnya gelombang melalui lapisan bumi. Kehilangan energi ini memiliki perbandingan skalar terhadap lapisan kecepatan dan waktu rambat. Koreksi ini dikalkulasikan dan diaplikasikan dalam data seismik menggunakan koreksi gain T , T^2 , $V \cdot T$, or $V^2 T$.

3.3.2. Alir Pemrosesan Sensor Ganda dan Kreasi Pup

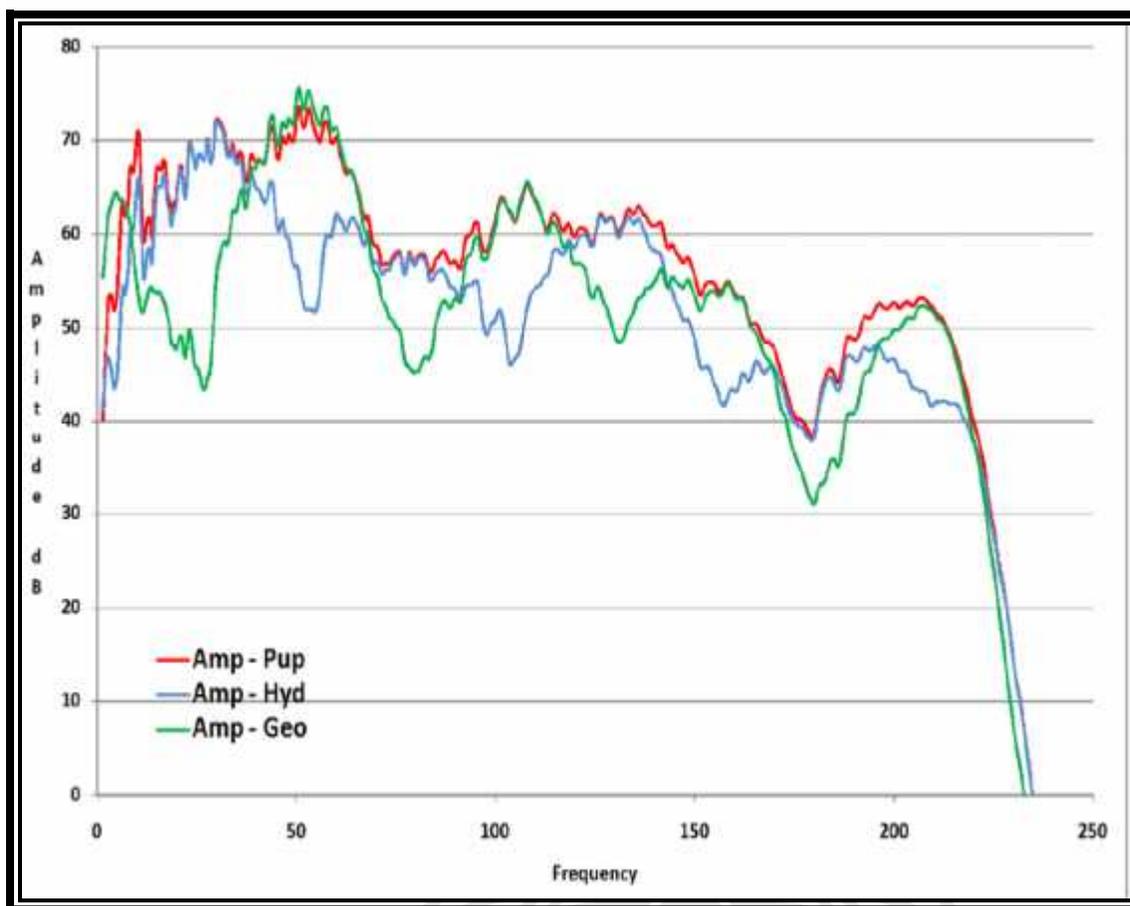
Proses eliminasi efek *ghost* dari dalam wavelet seismik untuk menghasilkan penampang seismik yang lebih jelas dan bebas ambiguitas dicoba dilakukan dengan *streamer* tunggal dengan metoda dekonvolusi dengan hasil-hasil yang tidak memuaskan. Lindsey (1960) dan Schneider (1964) mencoba melakukan *de-ghosting* yang seiring dengan waktu terbukti seringkali gagal karena adanya nilai nol dalam spektrum filter *ghost* sehingga proses filter invers *least square* dalam domain waktu menghasilkan nilai yang tidak benar. Kekurangan lain dengan pemrosesan

dalam domain waktu juga bahwa deskripsi digital dari filter *ghost* tidak akurat pada *onset* dari impuls *ghost*. Usaha dengan memperpanjang filter inverse hingga ke nilai tak terhingga dan menunda posisi sementara dari spike juga tidaklah memberikan hasil yang akurat dan membawa ke hasil dengan lebih banyak komplikasi masalah.

Dengan menggunakan data dari sensor ganda, proses penggabungan dari data sensor tekanan dan kecepatan dilakukan dalam proses komputasi unik dengan output gelombang mengarah ke atas yang bebas *ghost* dan kebawah yang merupakan *ghost* itu sendiri. Hasil dari *Pup* atau gelombang mengarah ke atas yang bebas *ghost* akan dibandingkan dengan data konvensional sensor tekanan yang masih mengandung *ghost*.

Gambar 3.2 menampilkan spektrum amplitudo dari sensor tekanan dan kecepatan. Spektrum amplitudo menampilkan fenomena polaritas yang berlawanan dari kedua sensor sedemikian rupa sehingga puncak dari gelombang tekanan dan palung dari gelombang kecepatan berada pada frekuensi yang sama dan demikian pula sebaliknya.

Gelombang resultan atau disebut juga tekanan mengarah ke atas memiliki spektrum amplitudo yang sudah tidak memiliki *notch*, kecuali di frekuensi 85 dan 170 Hz karena *source ghost* dari sumber suara. Keberhasilan metoda ini untuk menghilangkan *notch* ini telah membuka dimensi baru dalam akuisisi untuk membawa *streamer* ke kedalaman baru yang tidak bisa dilakukan sebelumnya oleh *streamer* konvensional.



Gambar 3.3 Spektrum amplitudo dari sensor tekanan (biru), sensor kecepatan (hijau), dan gelombang resultan *Pup* (merah) diukur dari *shot record* (Carlson, 2007)

Proses selanjutnya adalah algoritma komputasi yang unik memanfaatkan fenomena fisika dari data yang dimiliki oleh kedua sensor tersebut. Proses komputasi tersebut akan menghasilkan gelombang mengarah ke atas *Pup* dan gelombang mengarah ke bawah *Pdown*. *Pup* adalah gelombang primer yang merupakan sinyal utama dari gelombang seismik dan *Pdown* adalah gelombang bayangan atau *ghost* yang merupakan hasil pemisahan dari rekaman seismik keseluruhan. Data *Pup* akan menjadi gelombang utama yang akan diproses selanjutnya yaitu atenuasi *noise* dan selanjutnya hingga pencitraan akhir dengan migrasi. Data sensor tunggal sendiri yang tidak melalui proses kreasi *Pup* akan menjalani proses yang sama dengan parameter yang sama sehingga pada produk akhirnya menjadi data pembandingan yang valid.

3.3.3. Alir Atenuasi *Noise* dan Penguatan Sinyal

Pada tahap pemrosesan ini, *noise* dari berbagai sumber suara selain *gun* dan berbagai multipel sebagai reflektor palsu diatenuasikan untuk mendapatkan kualitas sinyal yang lebih baik. Tahapan-tahapannya secara umum adalah Atenuasi swell noise, 2D Surface Related Multiple Elimination (2D SRME), Analisis kecepatan kedua, Tau-P Deconvolution, Filter FK dalam domain penerima, dan Radon demultiple.

Swell noise memiliki efek yang dominan dalam rekaman seismik, terutama dalam penampang *stack*. *Noise* ini mempengaruhi tras sekitarnya dan terlihat pada *gather* sebagai garis-garis vertikal. Berdasarkan analisis frekuensi terhadap data secara mendetail, frekuensi yang dimiliki oleh *noise* ada sekitar 0-20 Hz dan dominasi kehadiran di 1-10 Hz. Prosedur ini melemahkan *noise* impulsif atau non koheren lainnya. Prosedur ini mencari pola lateral pada komponen frekuensi umum dari tras sekitar dan menghitung filter/operator yang memprediksi setiap tras ketika diaplikasikan pada tras sebelumnya dengan pola least-square optimal. Dikalkulasikan menggunakan prediksi kesalahan FX yang iteratif, pemfilteran data yang mengandung *noise* dilakukan dengan substitusi balik dari data yang bersih. Vigner (2008) mempublikasikan paper teknis yang cukup membantu mengenai metoda FX ini.

Prosedure 2D SRME mengeliminasi energi multipel yang berhubungan dengan jarak permukaan air terhadap dasar laut. Kecepatan primer digunakan untuk menginterpolasikan data ke offset nol. Substraksi multipel adaptif menggunakan 400ms window temporal dan 50 tras lebar window. Substraksi multipel agresif dapat digunakan menggunakan besaran waktu dan panjang window yang lebih kecil. Proses Adjacent Trace Summation dilakukan sebagai salah satu metoda efisiensi dalam komputasi. Penjumlahan tras tetangga (mix 2 banding 1) dengan NMO yang berbeda dalam domain shot untuk mendapatkan kompresi dengan fold tinggi.

Analisis kecepatan kedua dilakukan setiap jarak 2 km dengan tampilan *Iso-velocity*, *gather* ter-NMO dan penampang *stack* sebagai alat kontrol kualitas. Diharapkan data memiliki kualitas sinyal dibandingkan *noise* yang lebih tinggi dari dari analisis kecepatan pertama sehingga diperoleh model kecepatan yang lebih valid.

Proses Tau-P Deconvolution dilakukan untuk melakukan diferensiasi *noise* terhadap data primer dengan transformasi keluar dari domain konvensional T-X. Data diaplikasikan dengan NMO dan ditransformasikan dalam domain Tau-P menggunakan Transformasi Radon (ke depan) dan ditransformasikan kembali ke domain T-X setelah proses dekonvolusi dengan Transformasi Radon (Inverse). Panjang operator dan parameter *gap* adalah faktor dominan dalam dekonvolusi.

Proses Filter FK dalam domain penerima dilakukan untuk melakukan diferensiasi *noise* terhadap data primer dengan transformasi dalam domain FK. Sebelum pemrosesan Filter FK, data diurutkan berdasarkan penerima dan interpolasi shot, aplikasi 128 ms AGC dengan koreksi balik, dan input data dengan aplikasi NMO.

Proses terakhir dalam tahap ini dilakukan Radon demultiple untuk melakukan diferensiasi *noise*, khususnya multipel terhadap data primer dengan melakukan transformasi radon. Radon anti multipel resolusi tinggi diaplikasikan dalam *gather* terkoreksi NMO dengan 128 ms AGC dengan koreksi balik. *Tras* terinterpolasi dibuang di akhir pemrosesan.

3.3.4. Alir Pemrosesan Citra

Pada tahapan ini dilakukan pengembalian posisi reflektor-reflektor pada geometri yang dalam waktu dan jarak yang akurat, sehingga diperoleh pencitraan yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Hasil akhir ini dirasakan penting untuk dilakukan untuk mendapatkan bentuk stratigrafi yang lebih detail dan akurat serta struktur geologi seperti sesar, kubah garam, lipatan, dan sebagainya secara lebih jelas dibandingkan tahap pemrosesan non-migrasi. Dengan pencitraan yang lebih baik dan lebih nyata, perbandingan antara kedua data diharapkan lebih valid.

Tahapan pemrosesan yang penulis klasifikasikan dalam pemrosesan citra secara umum adalah Migrasi Kirchhoff Pertama, Analisis Kecepatan Ketiga, Migrasi Kirchhoff Kedua, dan Analisis Kecepatan Keempat.

Proses pertama migrasi dilakukan dengan *Spherical Divergence* T^2 dibuang sebelum proses *True Amplitude PSTM* (TAPSTM) proses dapat dilakukan. Tes apertur dari 30 hingga 60 derajat dilakukan untuk menentukan parameter terbaik untuk migrasi.

Proses Analisis Kecepatan Ketiga dilakukan dengan NMO (Normal Move Out) dibuang dengan nilai kecepatan detail. Data kemudian diurutkan dalam domain CDP. Analisis kecepatan dilakukan setiap jarak 1 km dengan tampilan *Iso-velocity*, *gather* ter-NMO dan penampang *stack* sebagai alat kontrol kualitas. Diharapkan data memiliki kualitas sinyal dibandingkan *noise* (terutama setelah atenuasi multipel) yang lebih tinggi dari dari analisis kecepatan kedua sehingga diperoleh model kecepatan yang lebih valid.

Migrasi waktu data *pre-stack* 2D kedua menggunakan metoda Kirchoff dilakukan dengan tipe waktu rambat *ray bending*. Fungsi *Spherical Divergence* dibalik sebelum TAPSTM (True Amplitude PSTM) untuk mempertahankan amplitudo dan kompatibel dengan analisis AVO.

Analisis kecepatan keempat yang merupakan analisis kecepatan terakhir akan digunakan sebagai model kecepatan tunggal untuk pemrosesan ulang dari data sensor ganda dan sensor tunggal. Diharapkan data memiliki kualitas sinyal terhadap *noise* tertinggi dari dari analisis kecepatan ketiga dengan posisi reflektor miring yang telah mendekati keadaan sebenarnya sehingga diperoleh model kecepatan yang paling valid.

Langkah pemrosesan yang sama diterapkan pada data sensor tunggal tanpa adanya proses penggabungan data dari sensor kecepatan. Dengan langkah pemrosesan yang sama dan informasi model kecepatan yang sama, diharapkan dapat diperoleh perbandingan yang baik antara kedua data.

3.4. Analisis Perbandingan Data

Resolusi data seismik berhubungan dengan bagaimana jarak antar kedua titik dapat dibedakan, dengan dua tipe secara vertikal dan lateral (Yilmaz, 2001). Kedua tipe ini ditentukan oleh rentangan spektrum. Resolusi vertikal ditentukan oleh panjang gelombang dominan, yaitu kecepatan gelombang dibagi frekuensi dominan. Proses dekonvolusi dapat dilakukan untuk

meningkatkan resolusi vertikal dengan melebarkan rentang spektrum, dengan cara mengkompresi gelombang seismik. Resolusi lateral ditentukan oleh zona Fresnel, daerah yang melingkari reflektor yang ukurannya bergantung pada kedalaman reflektor, kecepatan di atas reflektor, dan frekuensi dominan. Proses migrasi memperbaiki resolusi lateral dengan mengurangi lebar dari zona Fresnel, sehingga dapat memisahkan event seismik yang berbayang atau ambigu dalam arah lateralnya.

Analisis terhadap kualitas data dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif pada setiap tahap pemrosesan. Secara kualitatif dengan cara membandingkan kualitas *gather* dan *stack* pada sebelum dan sesudah suatu langkah pemrosesan dilakukan. Analisa kualitatif dengan memeriksa pola-pola seismik pada *gather* dan *stack* tersebut akan memastikan atenuasi noise berjalan dengan baik tanpa adanya atenuasi sinyal primer. Secara kuantitatif dilakukan dengan melakukan analisa spektrum amplitudo dan frekuensi dari data seismik, dengan mengambil sampel dari *gather* ataupun *stack*. Analisis yang dilakukan pada setiap langkah pemrosesan memastikan proses tersebut bekerja dengan *input* dan *output* data yang valid dan tidak hilangnya data primer dalam upaya atenuasi *noise*.

Pembandingan antara kedua data dari sensor tunggal dan sensor ganda pada setiap langkah pemrosesan dilakukan dengan kedua proses analisis kualitatif dan kuantitatif tersebut akan menunjukkan pola perbaikan kualitas data yang valid dengan mempertahankan amplitudo sinyal primer sebagai salah satu syarat dalam tahap berikutnya seperti interpretasi seismik ataupun proses ikat seismik dengan seismogram sintetik berdasar sumur.

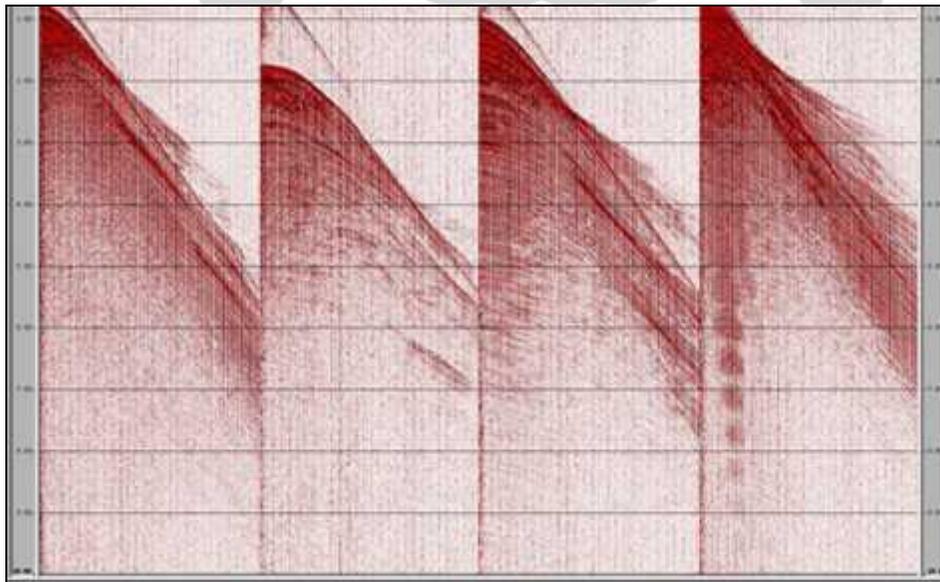
BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

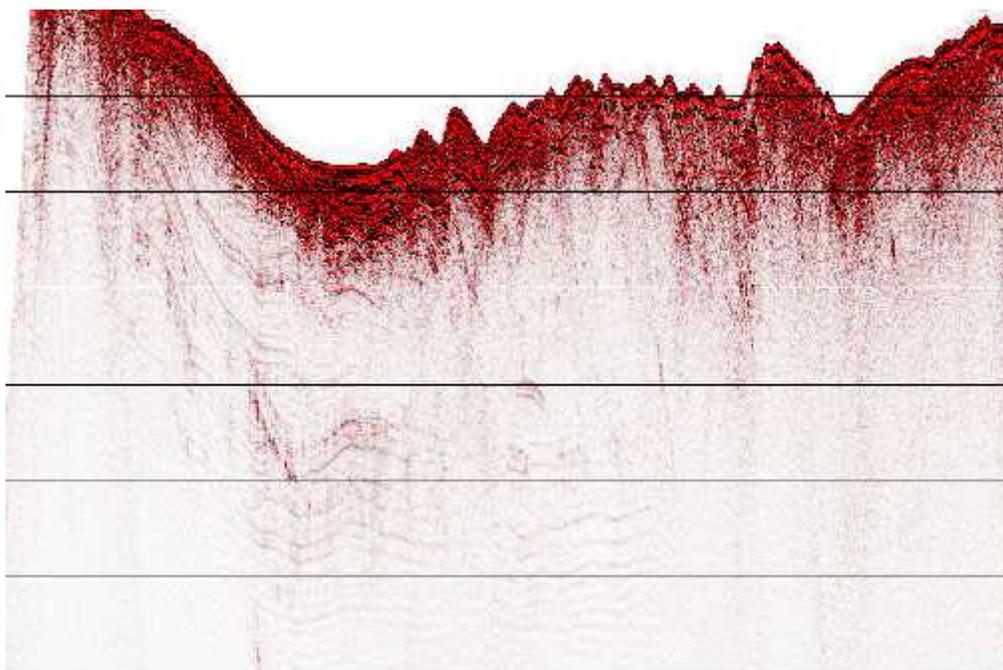
Kualitas data yang diproses dianalisa dengan dengan memeriksa input data, prosedur, parameter, log dari *job file* yang berhasil dijalankan, dan output data berupa *shot record*, *stack* dengan NMO, dan spektrum amplitudo. Koherensi dari data juga dihasilkan dari masing-masing tipe dihasilkan dan dibandingkan. Berbagai tahap pemrosesan dengan variasinya diterapkan untuk mencapai kualitas sinyal terbaik dilakukan hingga pada tahap migrasi sebagai tahap akhir perbandingan.

4.1. Analisis Input Data Lapangan

Kualitas data langan diperiksa dengan menampilkan *shot record* dari sensor kecepatan dan tekanan. Jarak *crossline* dan panjang data diperiksa dan terbukti baik. *Noise* yang timbul dalam data diperiksa dan langkah pemrosesan akan disesuaikan untuk mendapatkan pencitraan terbaik.



Gambar 4.1 *Shot record* mentah dari data lapangan menunjukkan kualitas seismik yang dapat diterima.



Gambar 4.2 *Stack* mentah dari data lapangan menunjukkan kualitas seismik yang dapat diterima.

Dengan menganalisa data lapangan, laporan akuisisi, laporan observasi, dan analisa langsung pada data mentah dari lapangan, tinjauan data secara umum memiliki kualitas data sebagai berikut:

1. Noise dari *swell*

Noise dari ombak hadir namun tidak dominan dalam data. Kondisi cuaca dan tinggi ombak relatif tenang. Sumber dari noise ini ada pergerakan dari permukaan air yang memiliki hubungan dengan arus dan tinggi ombak.

2. Noise dari putaran kapal

Noise dari putaran kapal ketika bergerak dari akhir *subline* menuju *subline* baru yang memiliki bentuk mirip seperti noise dari *swell*.

3. Noise dari *bird*

Noise mekanis dari *bird* atau alat pengendali kedalaman *streamer* dominan dalam data sensor kecepatan.

4. Noise dari *tug*

Noise dari *tug* atau gerakan dan tarikan kabel *streamer* dari bagian *tail bouy* dengan gerakan horisontal di dalam data sensor kecepatan.

5. *Bad channels*

Sensor tekanan dan kecepatan diperiksa dan diseleksi seperlunya untuk kebocoran sinyal, buruknya amplitudo atau fase dari sinyal, dan noise yang berlebihan. Sensor kecepatan menseleksi noise berlebihan yang memiliki amplitudo di luar batas normal. Tampilan korelasi silang digunakan untuk mendeteksi *tras* yang mati ataupun memiliki polaritas terbalik dan channel penerima yang memiliki *time shifts* atau perbedaan waktu penerimaan data.

6. Data navigasi dan gabungan ke dalam data seismik

Data P1/90 diproses di lapangan secara langsung. Untuk memeriksa kesesuaian data navigasi dengan data seismik, dihitung waktu rambat *first break* dari *near trace* dengan data koordinat X,Y dari sumber suara dan *channel* penerima pertama. Korelasi data navigasi dan data seismik adalah baik dengan diferensiasi waktu hanya +1 ms hingga -2 ms. Setelah penggabungan data navigasi kedalam data seismik dilakukan cek ulang terhadap data awal P1/90 sebagai konfirmasi data yang baik.

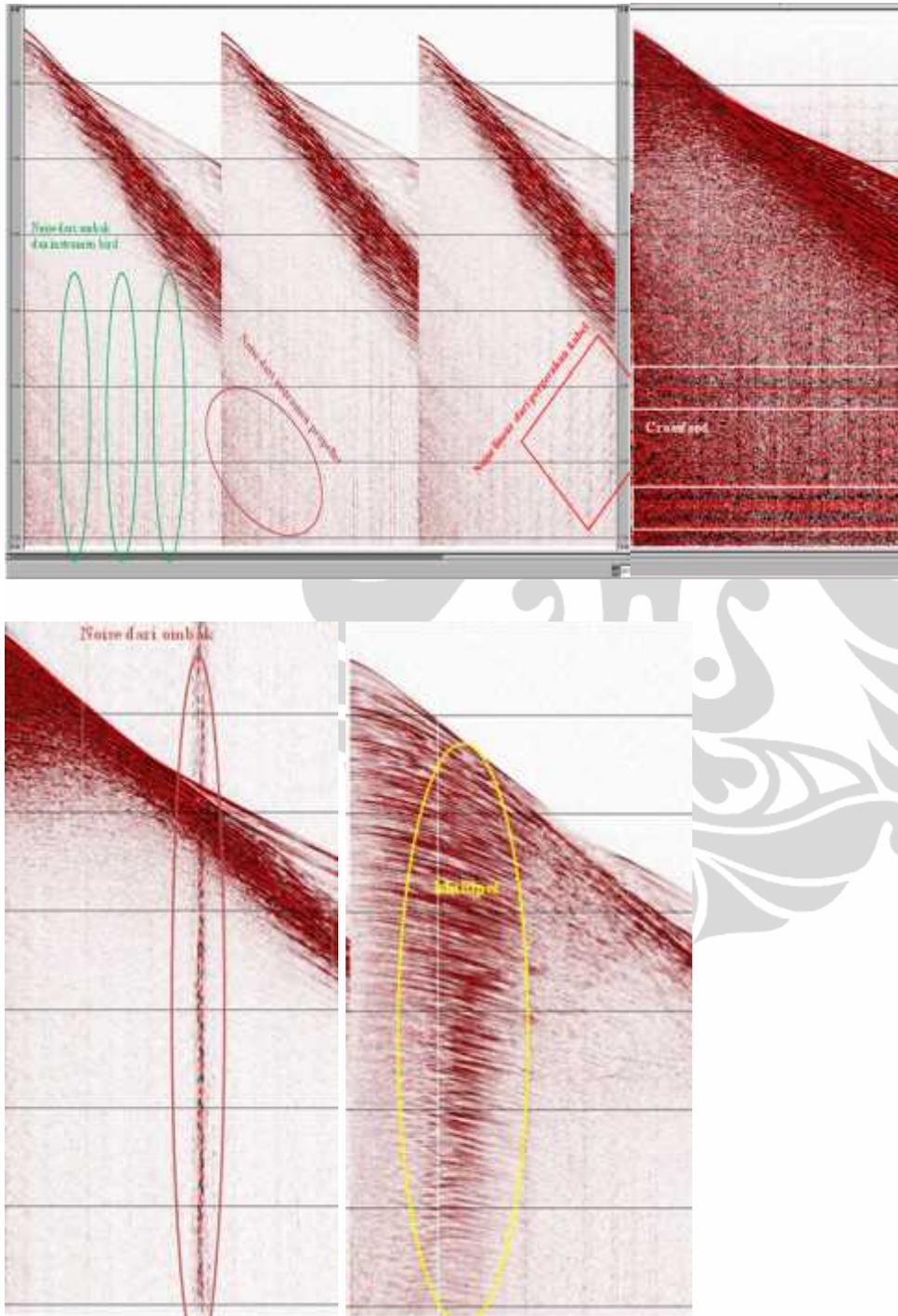
7. Analisis kecepatan

Secara umum di area dangkal tidak banyak variasi data untuk pemilihan data kecepatan tapi di area dalam cukup banyak variasi data untuk pilihan kecepatan. Analisis kecepatan dilakukan dengan tampilan *CDP Gather*, koherensi, dan plot qc kecepatan per *subline*.

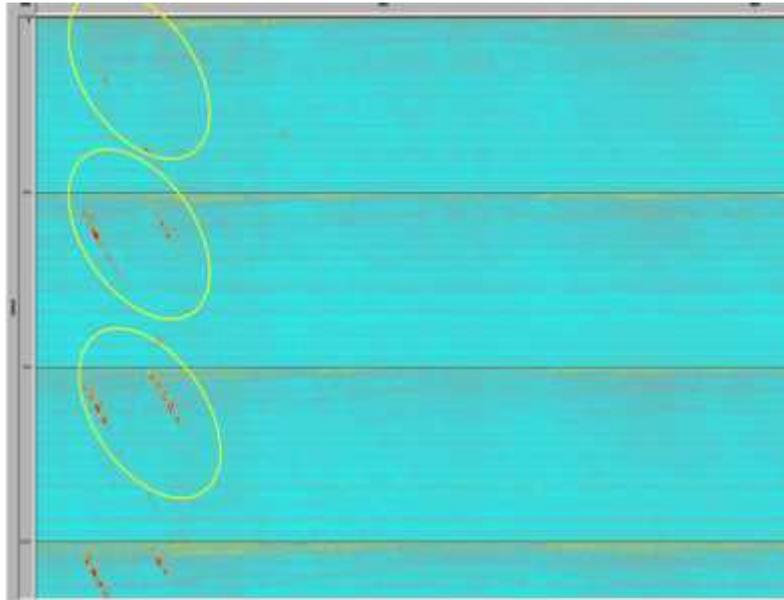
8. Interferensi seismik

Tidak ada kapal seismik lainnya bekerja di sekitar dan tidak ada interferensi seismik dalam data sehingga tidak diperlukan jenis pemrosesan khusus. Pemrosesan khusus biasanya dilakukan dalam domain tau-p atau dalam transformasi radon dengan memanfaatkan sifat kemiringan dan kelengkungan dari *noise* interferensi seismik yang berbeda dengan data primer ketika diterapkan *move-out* normalnya.

Untuk mengidentifikasi bentuk fisik dari berbagai tipe *noise* yang terekam dalam data seismik mendetail diterangkan secara oleh Yilmaz (2001) dan Elboth (2009). Penulis sendiri menampilkan data yang memiliki berbagai tipe *noise* dalam shot gather berikut ini:



Gambar 4.3 Berbagai tipe noise yang diobservasi dari data lapangan seperti noise dari ombak, propeler kapal, pergerakan kabel, *crossfeed*, dan multipel.

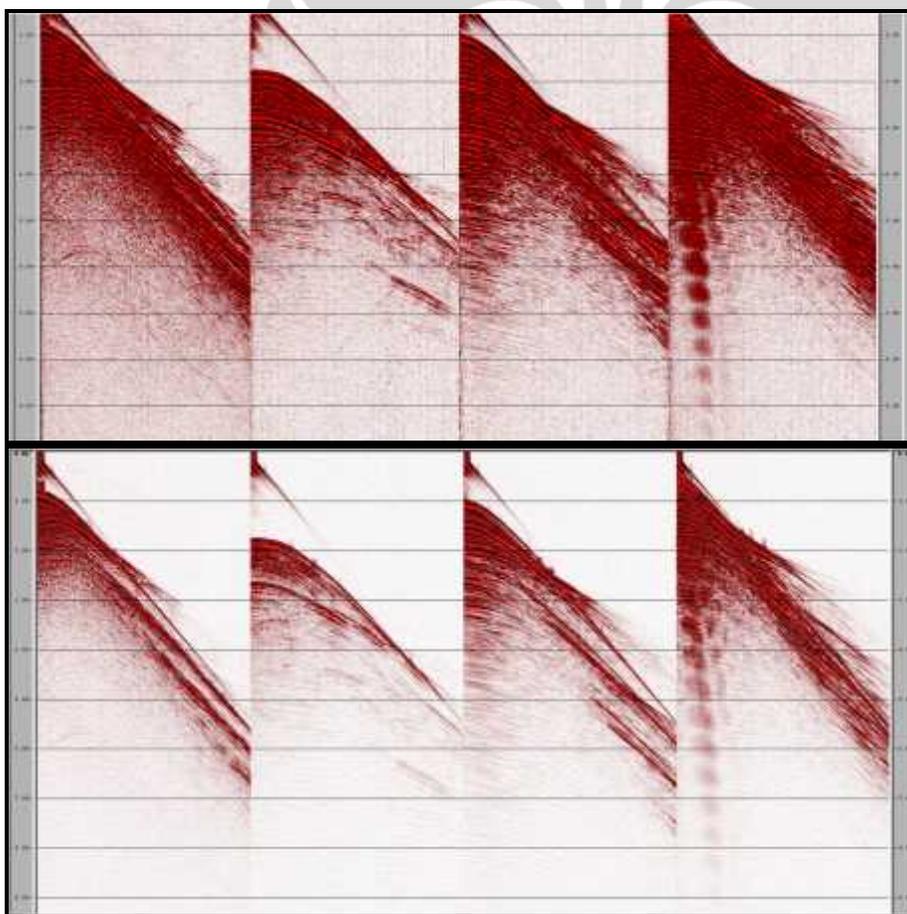


Gambar 4.4 Analisis data secara makro untuk melokalisasi posisi salah satu jenis noise dalam data dengan menampilkan nilai amplitudo dan memperlihatkan data yang memiliki nilai amplitudo yang tidak wajar terhadap nilai amplitudo rata-rata.

4.2. Hasil Pemrosesan Awal

Setelah menentukan daerah data yang mengandung noise bersumber dari ombak, menganalisis jangkauan frekuensi rendah dan frekuensi tinggi yang dimiliki *noise*, selanjutnya diproses dengan metoda iterative FX sehingga mencapai hasil yang diharapkan dengan tetap mempertahankan sinyal primer seismik. Tes pada frekuensi rendah, frekuensi tinggi, faktor koherensi, panjang operator, window, dan beberapa parameter lain dilakukan untuk memberikan hasil pemrosesan optimal.

Proses atenuasi noise berhasil membersihkan data dari noise yang terekam sebagai energi yang bersumber dari permukaan air:



Gambar 4.5 *Shot record* sebelum (atas) dan sesudah (bawah) proses atenuasi *swell noise* memperlihatkan hasil proses pencitraan yang baik.

Langkah pemrosesan ini berhasil melemahkan noise dari *swell* yang terlihat dominan sebelum proses atenuasi *swell noise* dan bekerja dengan hasil yang cukup baik untuk melangkah ke tahap proses berikutnya. Tingkat kekuatan proses *de-swell* disesuaikan dengan kandungan *noise* ombak dalam data.

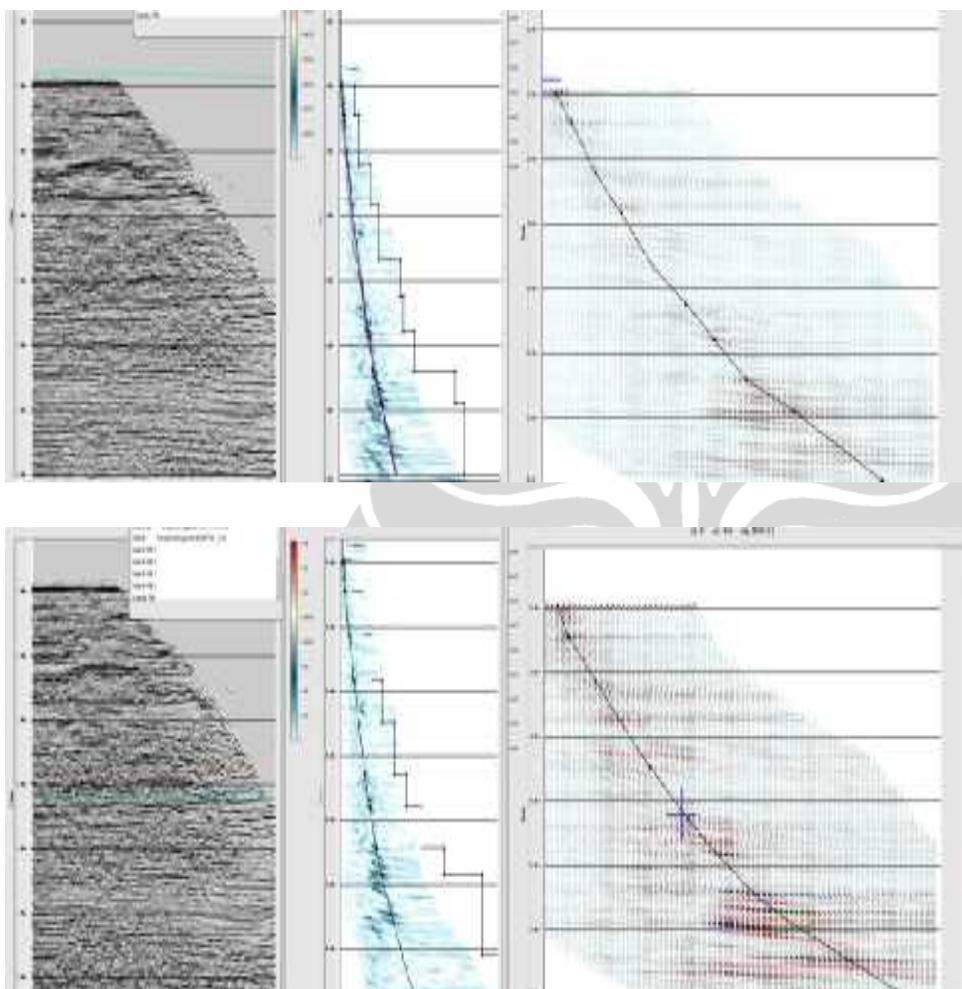


4.3. Analisis Kecepatan dan Model Kecepatan

Pencitraan bawah tanah/laut membutuhkan model kecepatan yang mewakili perubahan geologi di kedalaman. Model kecepatan dibuat berdasarkan analisis kecepatan yang dibuat setiap titik *crossline* dengan jarak tertentu. Total data kecepatan akan membentuk model kecepatan akhir yang mewakili struktur kompleks geologi sebagai referensi dalam komputasi pencitraan akhir.

Model kecepatan akhir dibuat dengan analisis dengan menggunakan grid setiap 0.5 km yang didapat setelah proses sebelumnya dengan grid 1x1 km dan 2x2 km. Tampilan koherensi, *Gather iso-velocity*, *mini stack*, dan *Stack* dengan NMO digunakan dalam proses tersebut.

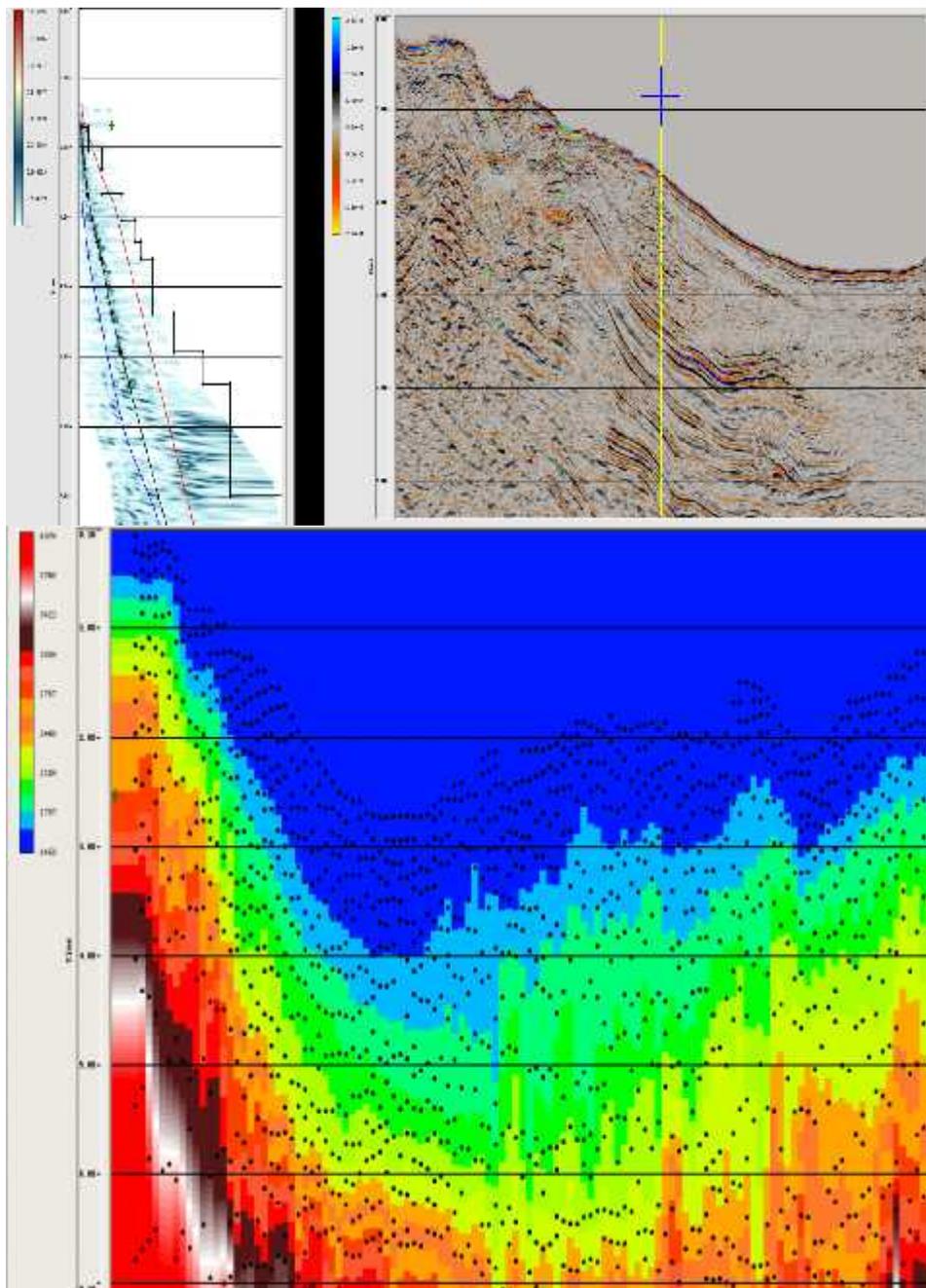
Koherensi dibuat pada kedua data sensor tunggal dan sensor ganda sehingga data tersebut dapat dibandingkan. Koherensi yang dibuat dari data sensor ganda *Pup* yang lebih unggul dengan titik-titik homogen yang lebih terfokus dan tanpa ambiguitas yang disebabkan oleh *ghost* sehingga memiliki produk koherensi yang lebih jelas, *gather* dengan even yang koheren dan kuat, dan *stack* dengan tampilan reflector yang lebih definitif sehingga analisis kecepatan dilakukan dengan lebih sempurna. Koherensi yang dibuat dari data sensor tunggal itu sendiri tidak memiliki kualitas sebaik data sensor ganda *Pup* yang berarti lebih banyak kemungkinan atau ambiguitas dalam pemilihan besaran kecepatan terbaik dalam suatu lokasi tertentu. Gambar 4.3 memperlihatkan perbandingan ini secara jelas.



Gambar 4.6 Tampilan *gather*, koherensi dan *mini stack* dari data sensor tunggal (atas) dan sensor ganda (bawah).

Keunggulan dari data sensor ganda ini sangat membantu dalam proses pengerjaan model kecepatan dari segi waktu pengerjaan dikarenakan analisis yang lebih mudah dengan adanya koherensi data yang lebih menonjol sehingga pada kesimpulan akhirnya akan lebih valid.

Model kecepatan akhir yang diperoleh setelah empat proses analisis kecepatan dengan input data yang telah diproses migrasi, diperlihatkan pada gambar 4.4:



Gambar 4.7 Model kecepatan akhir (bawah) yang didapatkan setelah empat iterasi analisis menggunakan data koherensi, *stack* (atas), *gather* dan *ministack*-nya.

Model kecepatan terlihat nyata dan tidak ada nilai kecepatan yang berada di luar batas normal. Model kecepatan akhir ini didapat setelah menyelesaikan langkah pemrosesan awal hingga migrasi dengan analisis kecepatan pertama hingga keempat sesuai dengan urutan yang diterangkan pada bab 3.

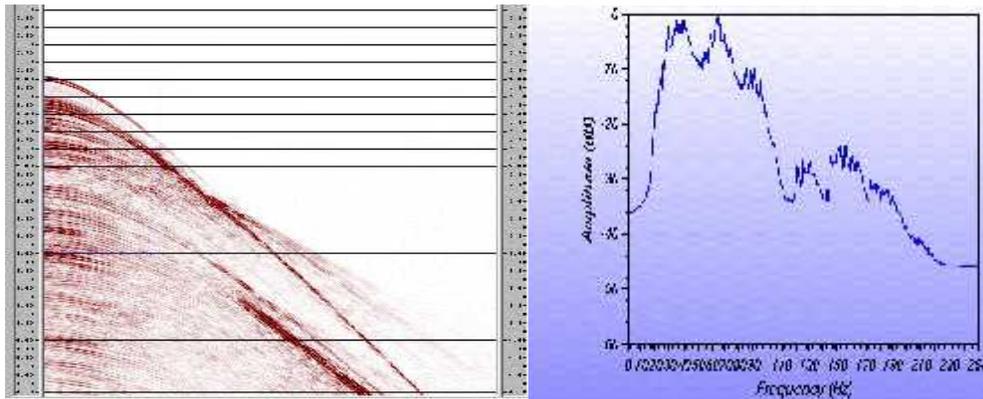
Pemrosesan ulang atau tahap kedua pemrosesan dilakukan dengan menggunakan model kecepatan akhir ini, yang akan digunakan pada kedua data, data sensor tekanan dan data sensor kecepatan partikel. Langkah pemrosesan dari *reformat* hingga migrasi akan menggunakan model kecepatan yang sama sehingga tidak ada faktor pembeda dalam pemrosesan data sensor ganda dan data sensor tunggal.

Data koherensi yang digunakan untuk analisis kecepatan menggunakan input data sensor ganda yang menunjukkan tren semblance yang lebih jelas, lebih kuat pada *gather* dan even koheren, dan *stack* yang lebih baik karena spektrum frekuensi yang lebih lebar dan rasio sinyal ke noise yang lebih besar.

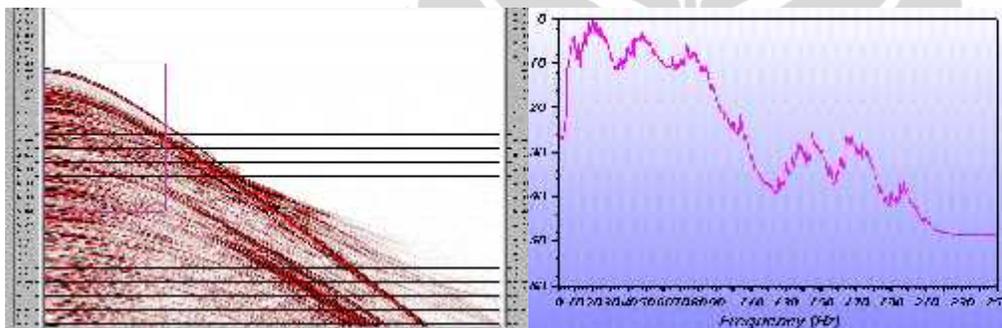
4.4. Kombinasi Data Sensor Ganda dan Kreasi *Pup*

Dalam proses ini spektrum amplitudo dari *shot record* diambil dan dibandingkan. Analisis spektrum dari kedua sensor sebelum dan sesudah kreasi *Pup* dilakukan untuk membuktikan proses yang bekerja baik dan berhasil mempertahankan amplitudo sinyal. Analisis menunjukkan bahwa rekaman sensor kecepatan memiliki distribusi frekuensi yang lebih tinggi. Bagian frekuensi rendah dari sensor sensor kecepatan partikel digantikan dengan data dari sensor tekanan.

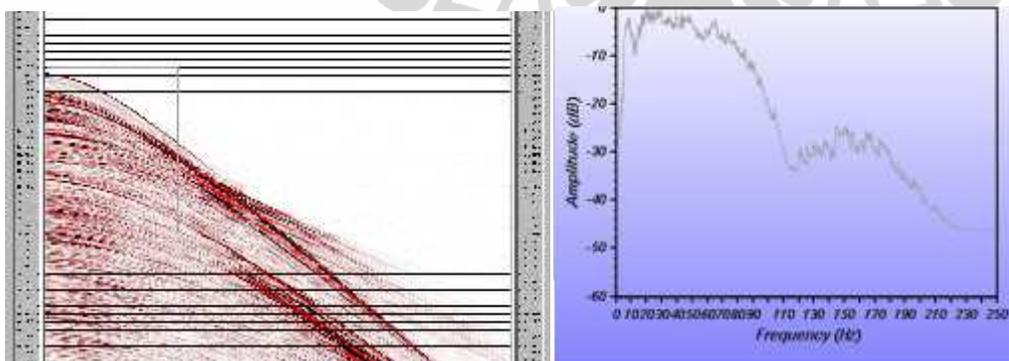
Gambar berikut menampilkan data dari sensor kecepatan partikel, sensor tekanan, dan sensor ganda dengan spektrum amplitudonya masing-masing:



Gambar 4.8 *Shot record* dan analisis spektrum dari sensor kecepatan partikel setelah tahap atenuasi noise.



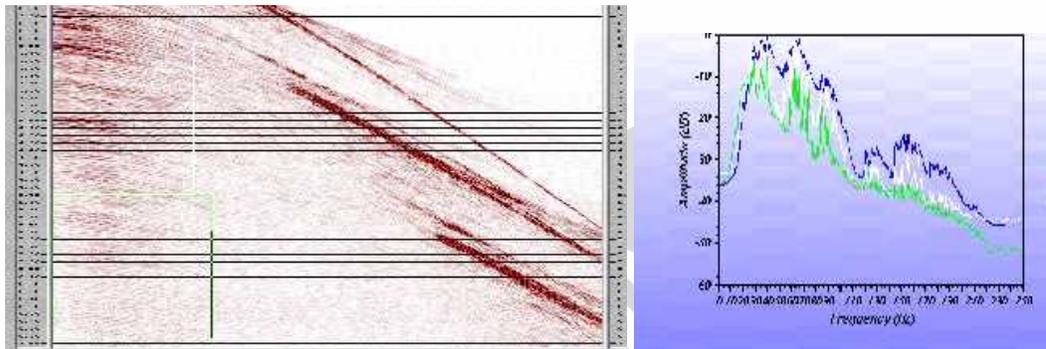
Gambar 4.9 *Shot record* dan analisis spektrum dari sensor tekanan setelah tahap atenuasi noise.



Gambar 4.10 *Shot record* dan analisis spektrum dari sensor ganda *Pup*, yaitu setelah tahap atenuasi noise dan penggabungan kedua sensor, membuktikan proses yang bekerja baik dan kualitas data yang membaik dan semakin lebarnya distribusi frekuensi dalam spektrum amplitudo.

Dengan membandingkan data *shot gather* dari sensor tekanan (gambar 4.7) dan dari sensor ganda *Pup* (gambar 4.8) yang merupakan tahap penting dari pemrosesan data dalam tesis ini,

terlihat secara langsung perubahan kualitas *shot gather* dengan reflector-reflektor yang lebih definitif yang disebabkan oleh telah hilangnya *ghost* dari dalam data. Spektrum amplitudo menunjukkan perubahan rentang frekuensi yang lebih lebar baik pada frekuensi rendah dan juga frekuensi tinggi seiring dengan meningkatnya kualitas data yang terlihat pada *shot gather*.



Gambar 4.11 *Shot record* dan analisis spektrum data *Pup* dalam data dangkal, tengah, dan dalam. Terlihat trend frekuensi yang semakin rendah seiring dengan kedalaman: 1 – 3 detik (biru), 3 – 5 detik (putih), dan 5 – 7 detik (hijau).

Analisis spektrum amplitudo pada gambar 4.9 kembali menegaskan keunggulan data sensor ganda secara konsisten pada kedalaman yang bervariasi, mewakili data dangkal, menengah, dan dalam.

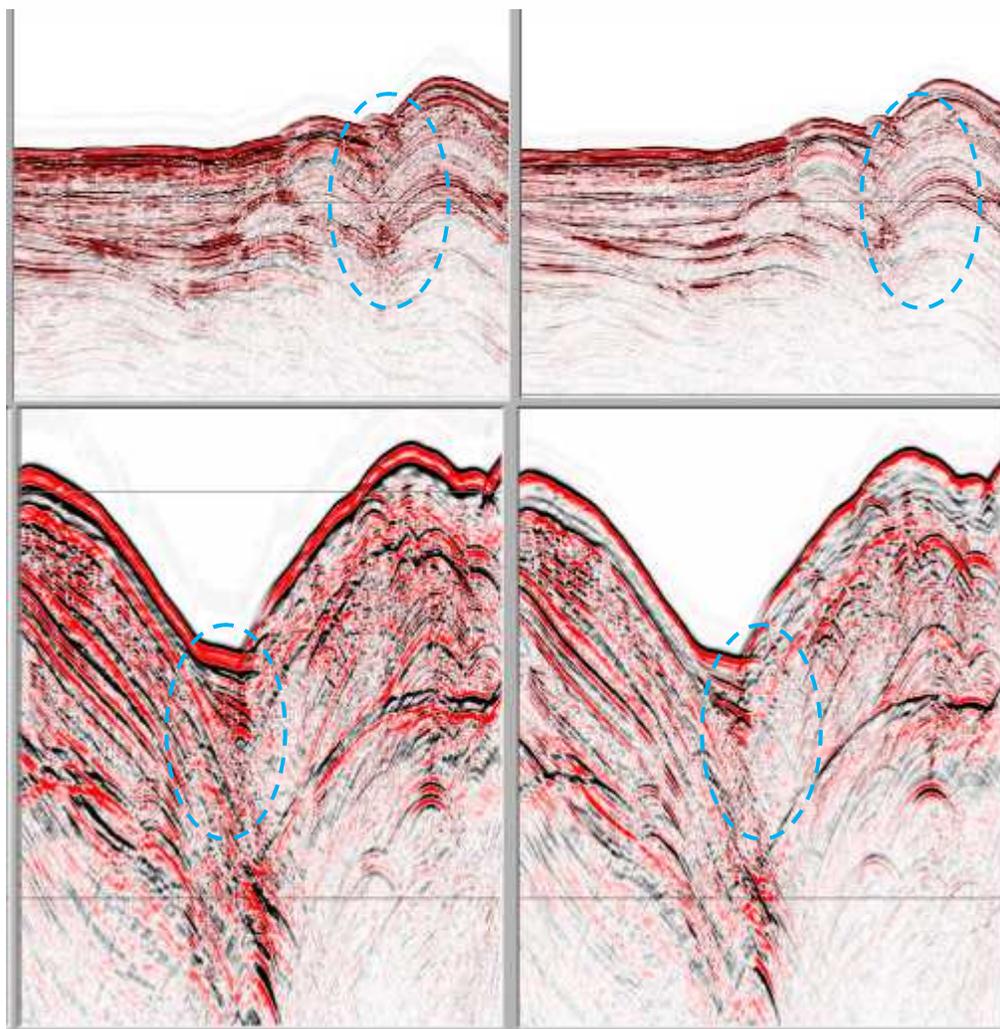
Spektrum amplitudo pada gambar 4.10 menunjukkan keunggulan data sensor ganda dengan cara melihat pola amplitudo yang relatif bebas dari *notch* yang dimiliki data sensor tekanan konvensional dan sensor kecepatan partikel. Seiring dengan distribusi frekuensi yang lebih baik dengan hilangnya *notch*, demikian pula dengan *shot gather* dan *stack* memiliki kualitas pencitraan yang lebih baik.



Gambar 4.12 Spektrum amplitudo dari sensor tekanan (merah) dan sensor kecepatan partikel (kuning) dan hasil dari data gabungan sensor ganda (biru)

Fenomena polaritas yang berlawanan dari data sensor tekanan dan sensor kecepatan partikel yang ditunjukkan pada gambar 4.10 inilah yang dieksplotasi untuk *de-ghosting* dan menghasilkan gelombang yang bebas *ghost*.

Stack pada gambar 4.11 data sensor ganda dengan jelas telah menunjukkan keuntungan dari data sensor ganda terhadap *streamer* konvensional single sensor yang menghasilkan citra reflektor yang lebih terdefinisi dan interpretasi yang lebih baik dari perlapisan suatu data seismik tanpa ambiguitas yang disebabkan oleh *ghost*.



Gambar 4.13 *Stack* dari data sensor tunggal (kiri) dan data sensor ganda (kanan) dengan data *crossline* yang berbeda pada tahap pemrosesan awal

Langkah selanjutnya berupa atenuasi noise dilakukan untuk memperoleh perbandingan akhir yang bebas *noise* dan multipel yang diterapkan pada kedua data sensor ganda dan sensor tunggal sehingga diperoleh perbandingan akhir data primer.

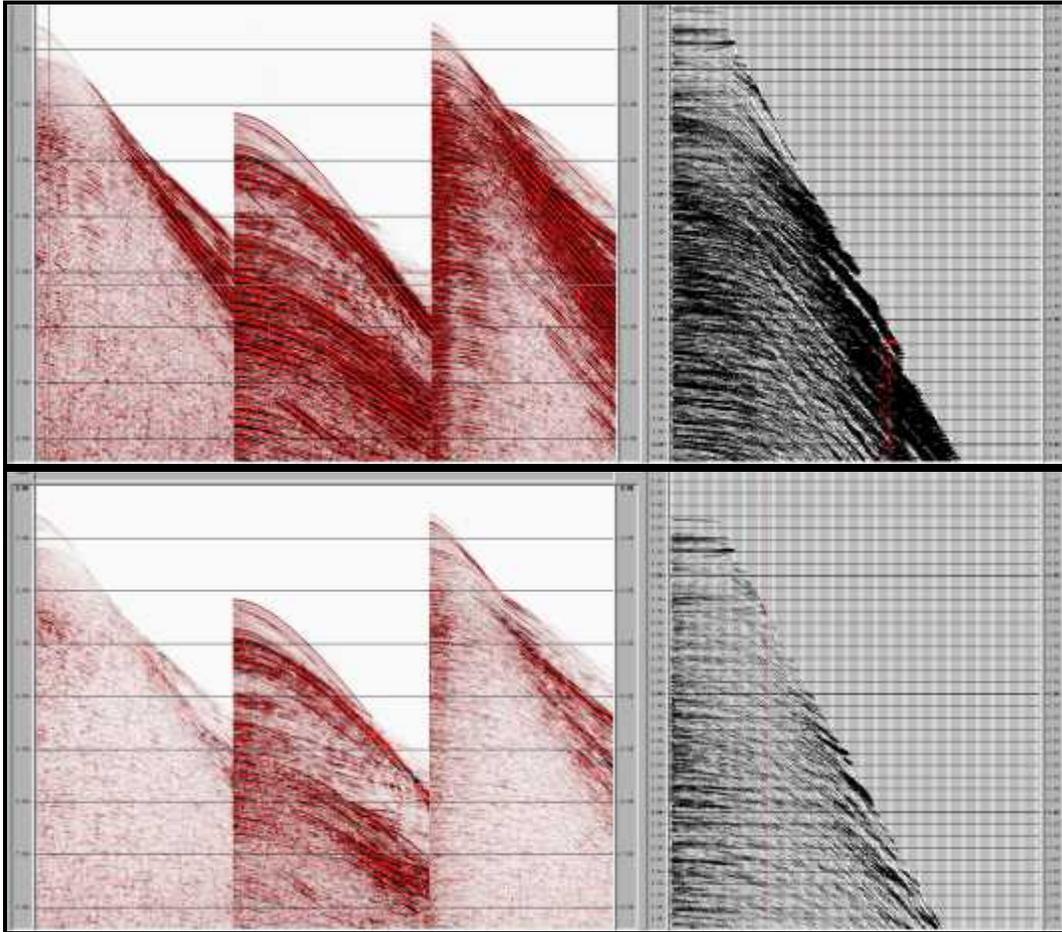
4.5. Hasil Atenuasi Noise dan Penguatan Sinyal Seismik

Tahap-tahap pemrosesan dilakukan untuk meningkatkan rasio sinyal terhadap noise sehingga dapat diperoleh bahan perbandingan yang baik antara data sensor ganda dan data sensor tunggal, dengan hasilnya sebagai berikut:

4.5.1. 2D Surface Related Multiple Elimination

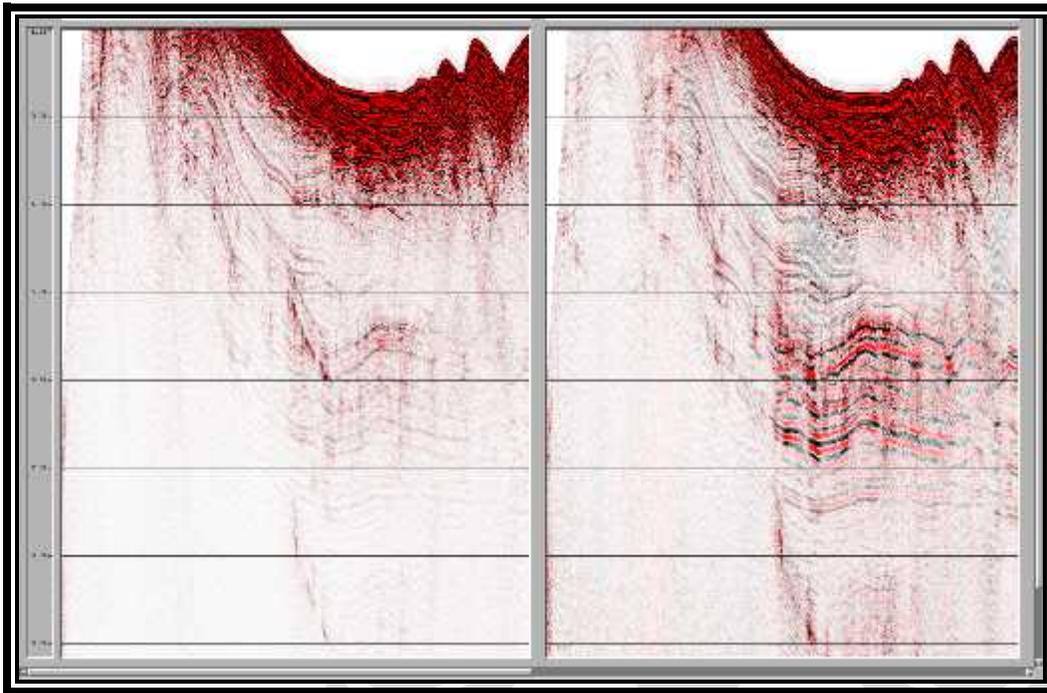
Sensor ganda melakukan optimisasi prosedur demultipel dengan memanfaatkan data sensor kecepatan mengarah ke bawah untuk membuat model multipel yang lebih sempurna. Sebagai syarat dalam proses ini adalah nilai kedalaman sumber suara yang harus sama dengan kedalaman sensor penerima. Tidak dipenuhinya syarat tersebut akan mengakibatkan hasil pencitraan yang salah karena tidak sesuai dengan keadaan sebenarnya ataupun buruknya citra sehingga proses tidak dilanjutkan.

Langkah pemrosesan ini dilakukan dengan menggunakan kecepatan primer dari analisis kecepatan pertama dengan extrapolasi data ke offset nol. Parameter yang digunakan untuk substraksi adaptif normal dari data adalah panjang filter 80 ms, lebar window 400 ms, dan jarak spasial 50 tras.



Gambar 4.14 *Shot record* dari *streamer* sensor ganda sebelum (atas) dan sesudah (bawah) proses SRME menunjukkan multipel yang teratenuasi dengan baik.

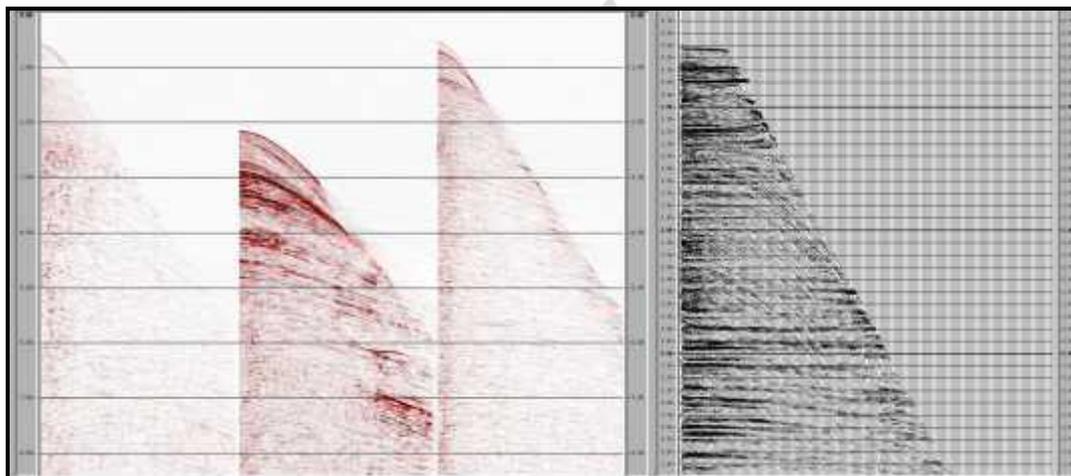
Proses ini terlihat pada Gambar 4.14 berhasil mengatenuasikan multipel yang bersumber dari reflektor batas medium air – udara dan juga multipel dari antara perlapisan (*interbed multiple*). Secara langsung naiknya rasio sinyal terhadap noise ini menampilkan *stack* yang terlihat secara jelas lebih baik.



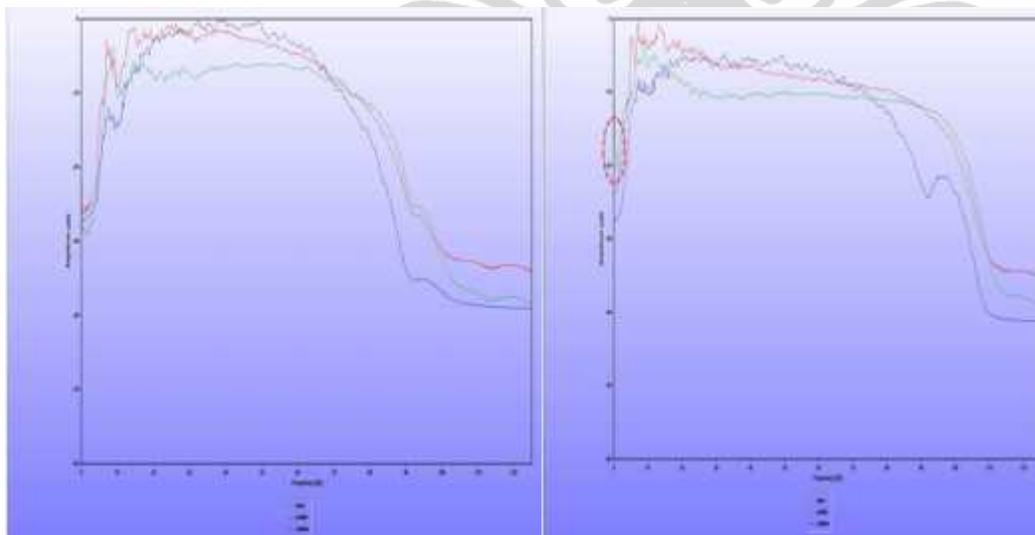
Gambar 4.15 *Stack* sebelum (kiri) dan setelah proses SRME (kanan) menunjukkan perbaikan rasio sinyal terhadap *noise* yang signifikan sehingga menghasilkan *stack* yang lebih baik.

4.5.2. *TauP Deconvolution*

Transformasi tau-p adalah transformasi radon terbatas. Pemilihan parameter sangatlah penting untuk melakukan transformasi. Tes *TauP Deconvolution* dilakukan dan hasilnya dengan keputusan parameter panjang operator 240 ms dan gap 36 ms sebagai berikut:



Gambar 4.16 *Shot record* dan *CMP Gather* dari *Pup* setelah *TauP-decon* menunjukkan perbaikan kualitas data terutama dari peningkatan kualitas data.



Gambar 4.17 Analisis amplitudo dari data stack sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) proses tau-p menunjukkan peningkatan kualitas data pada frekuensi rendah dan tinggi.

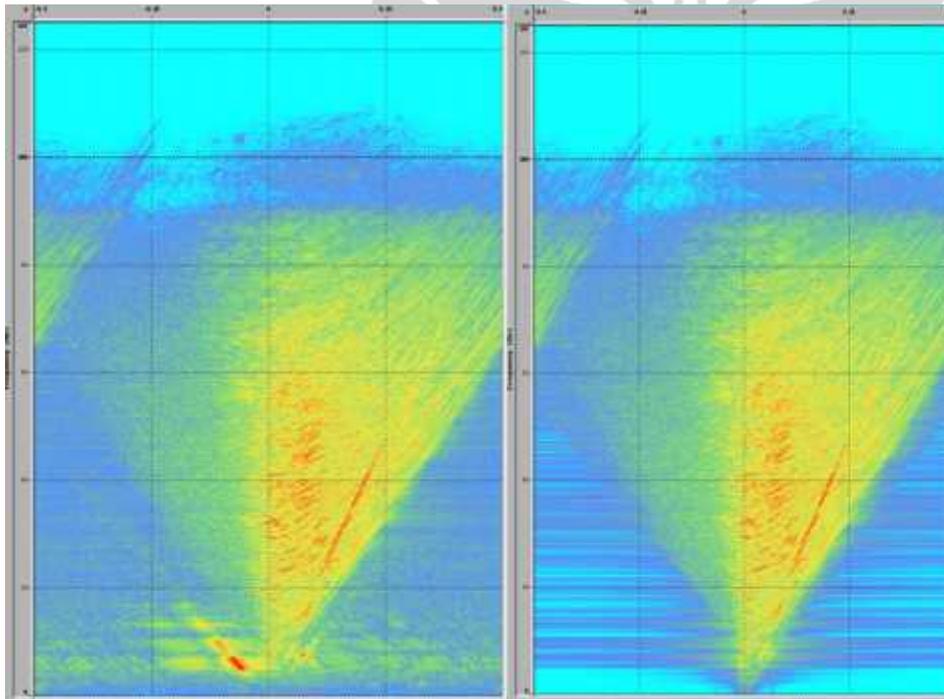
Langkah pemrosesan ini berhasil mengatenuasikan *noise* terutama tipe koheren yang mengalami *aliasing* yang bisa didiferensiasikan dalam domain Tau-P dan meningkatkan rasio sinyal terhadap noise. Turner (1990) mendeskripsikan secara lebih mendalam mengenai proses atenuasi dari jenis noise ini.



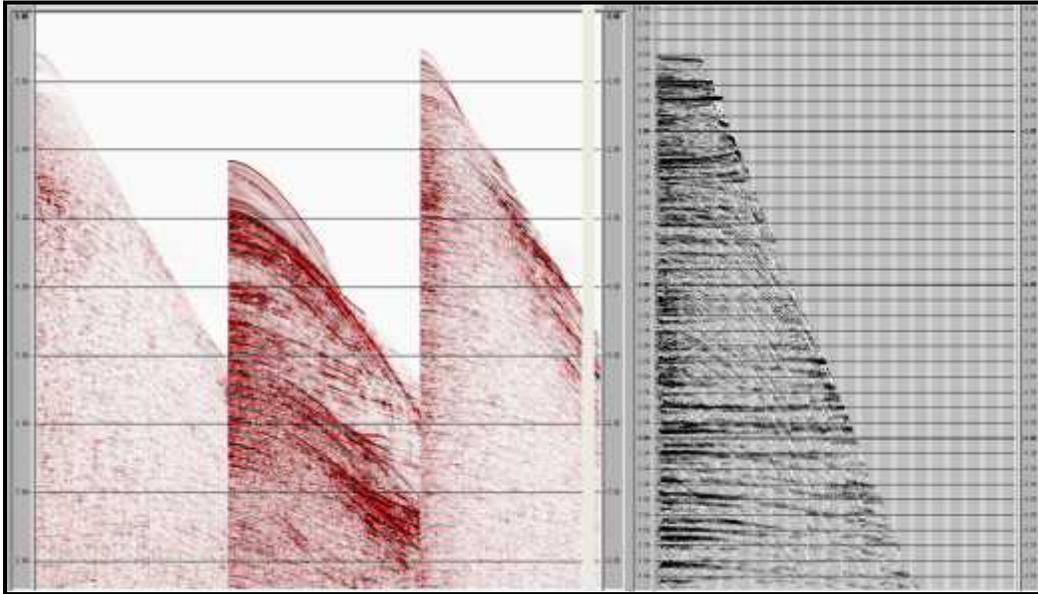
4.5.3. Filter FK dalam domain penerima

Proses filterisasi data dalam domain frekuensi dan kelambatan memiliki efektifitas tinggi dalam memperbaiki kualitas data. Atenuasi *noise* yang memiliki komponen kecepatan rendah akan mudah didiferensiasikan dalam domain tersebut. Domain penerima sebagai basis pengurutan data dilakukan dengan dasar kecepatan dan hasil yang didapatkan setelah proses.

Tes parameter Filter FK menggunakan radial-cut filter taper Hanning ± 6 , ± 8 , ± 10 ms/tras untuk menghilangkan noise yang tersisa memberikan keputusan untuk menggunakan filter FK dalam pemrosesan data.



Gambar 4.18 Data dalam domain FK dapat mendiferensiasikan noise yang memiliki daerah frekuensi dan bilangan gelombang tertentu sehingga dapat diatenuasikan.



Gambar 4.19 *Shot record* dan *CMP Gather* dari *Pup* setelah proses FK berhasil memperbaiki kualitas data dengan berhasilnya atenuasi noise linier yang dominan di offset jauh.

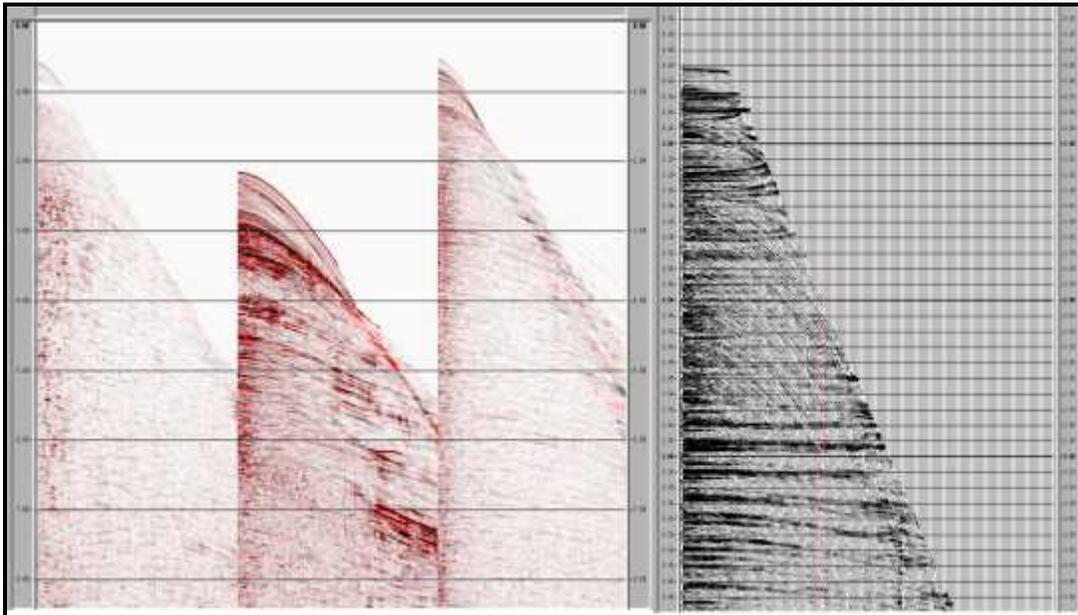
Langkah pemrosesan ini berhasil mengatenuasikan noise bersifat linier yang berasal dari pergerakan kabel atau sejenis yang dapat didiferensiasikan dalam domain F-K sehingga meningkatkan rasio sinyal terhadap noise. Duncan (1994) menyediakan penjelasan yang membantu mengenai proses kerja atenuasi *noise* dalam domain FK.

4.5.4. Radon demultiple

Noise bertipe multipel yang dideteksi dalam tahap awal analisa data diharapkan akan diatenuasi secara maksimal dalam tahap ini. Proses radon demultiple dapat bekerja dalam dua domain, yaitu waktu atau frekuensi. Domain waktu memiliki keuntungan dalam efisiensi pemrosesan demultipel, proteksi terhadap aliasing, dan preservasi sinyal seismik. Hal tersebut dimungkinkan karena transformasi radon menggunakan matriks stabilisasi resolusi tinggi yang dihitung dari waktu *intercept* dengan offset nol dan jumlah data dalam domain waktu yang memiliki jangkauan data yang lebih tersebar sehingga memungkinkan didapatkan resolusi yang lebih tinggi.

Tes pada proses ini dilakukan dengan CMP *gather* data dengan koreksi NMO sebelum demultipel Radon dengan mute luar pada *gather* diaplikasikan setelah NMO. Cek pada tampilan *shot* apakah terdapat data yang mengalami aliasing sebelum proses karena *radon demultiple* tidak dapat bekerja baik pada data tersebut. Parameter berikut ini dipilih setelah analisis terhadap hasil *gather* dan *stack* yang memberikan hasil optimal:

- Transformasi data -600 ke 4000
- Referensi waktu 500 ms
- Jumlah parabola 320
- Offset referensi 8100 m
- Model multipel 550 to 4000 ms



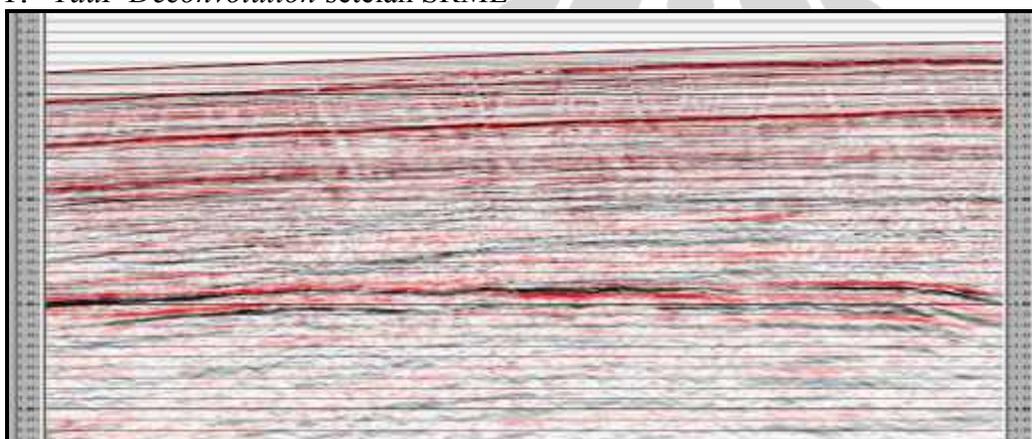
Gambar 4.20 *Shot record* dan *CMP Gather* dari *Pup* setelah radon dengan hasil kualitas data yang lebih baik.

Proses *radon demultiple* berhasil mengatenuasikan *noise* multipel yang masih berada dalam data dengan cara transformasi Radon sehingga semakin meningkatkan rasio sinyal terhadap *noise*. Schonewille (2007) memberikan penjelasan yang mendukung mengenai proses ini.

4.5.5. Tes Posisi *TauP Deconvolution* dalam Flow

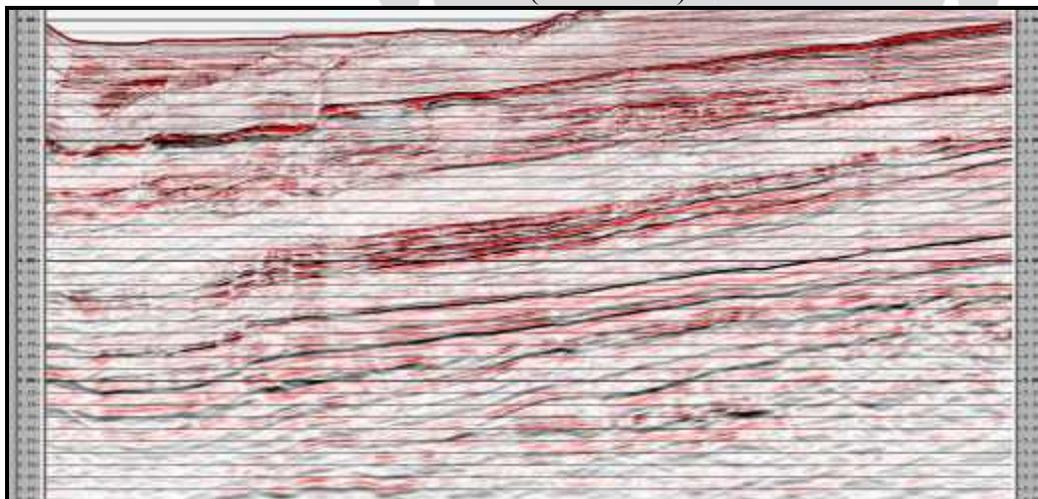
Berbagai variasi tahap pemrosesan dapat dilakukan secara berbeda-beda dengan data yang berbeda secara subyektif oleh orang yang berbeda dengan memberikan hasil pemrosesan data yang berbeda pula. Tes variasi posisi *TauP* dalam flow pemrosesan dilakukan dengan memeriksa *shot record* dan *stack* untuk mendapatkan pencitraan terbaik dengan keputusan akhir *TauP* setelah SRME, sehingga didapatkan hasil akhir pada Gambar IV-17 dan 4-18.

1. *TauP Deconvolution* setelah SRME



Gambar 4.21 *Stack* dari data *Pup*, *TauP* Decon setelah SRME di data dangkal terlihat lebih baik secara kualitatif.

2. *TauP Deconvolution* setelah SRME (data dalam)



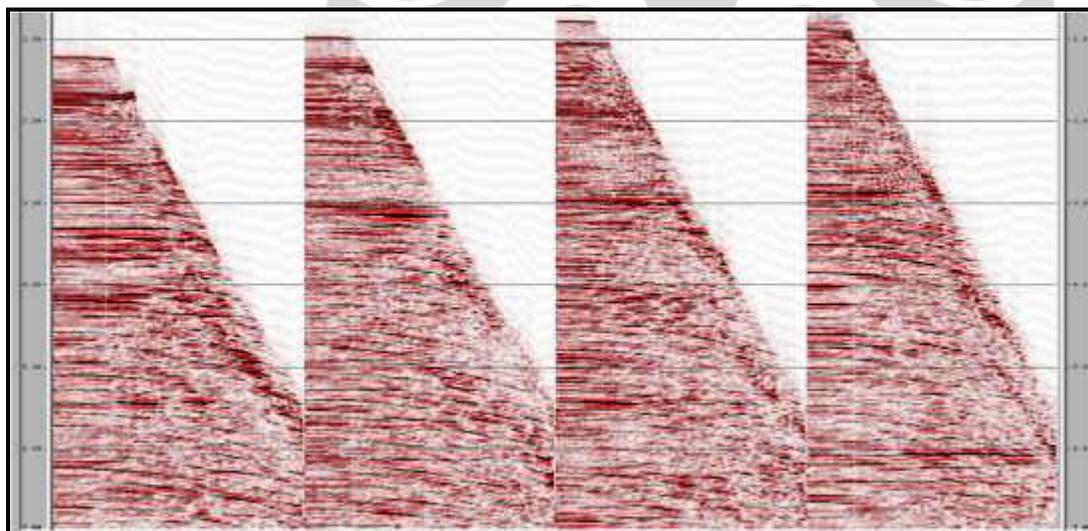
Gambar 4.22 *Stack* dari data *Pup*, *TauP* Decon setelah SRME di data dalam juga memperlihatkan data yang lebih baik secara kualitatif.

4.6. Hasil dan Analisis Akhir Pencitraan

Tes parameter dilakukan dan dengan mempertimbangkan kemiringan lapisan yang dimiliki dan hasil hasil eliminasi difraksi terbaik, maka keputusan parameter yang digunakan dengan *aperture* maksimum 5000 m yaitu: 35 derajat pada waktu 500 ms, 35 derajat pada waktu 7000 ms, dan 30 derajat pada waktu 9000 ms.

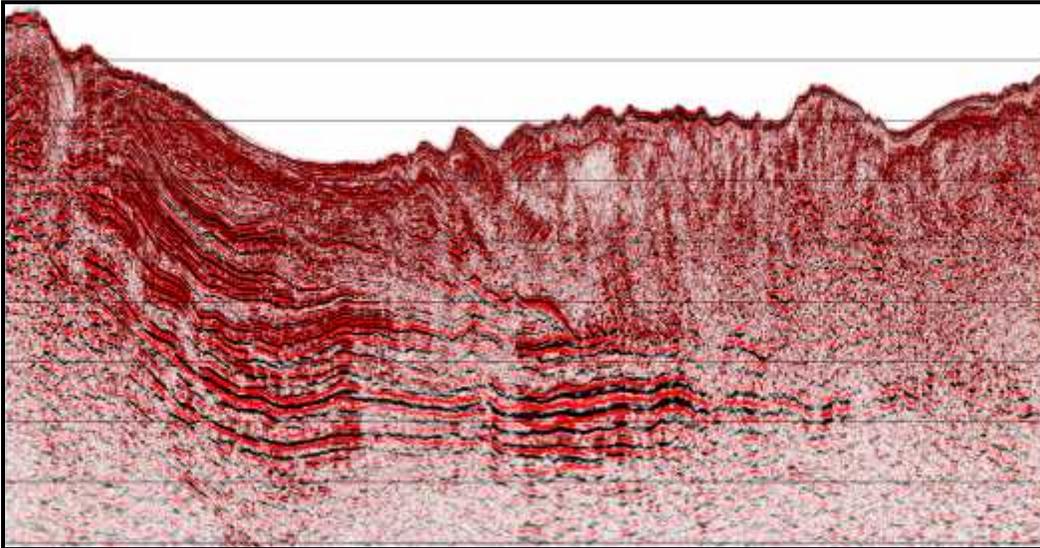
Pemrosesan pada tahap akhir migrasi ini menghasilkan data yang memiliki rasio sinyal terhadap *noise* yang baik, posisi reflektor miring yang telah pada posisi sebenarnya dan menghilangkan efek difraksi dari struktur geologi yang cukup dominan pada tahap proses sebelumnya sehingga berikutnya dapat dilakukan perbandingan yang cukup adil antara data sensor ganda dan sensor tunggal.

Kualitas sinyal terhadap *noise* yang baik tersebut diperlihatkan dalam *gather* di Gambar 4.19:



Gambar 4.23 CMP *Gather* dari data PSTM *Pup* dari beberapa *crossline*

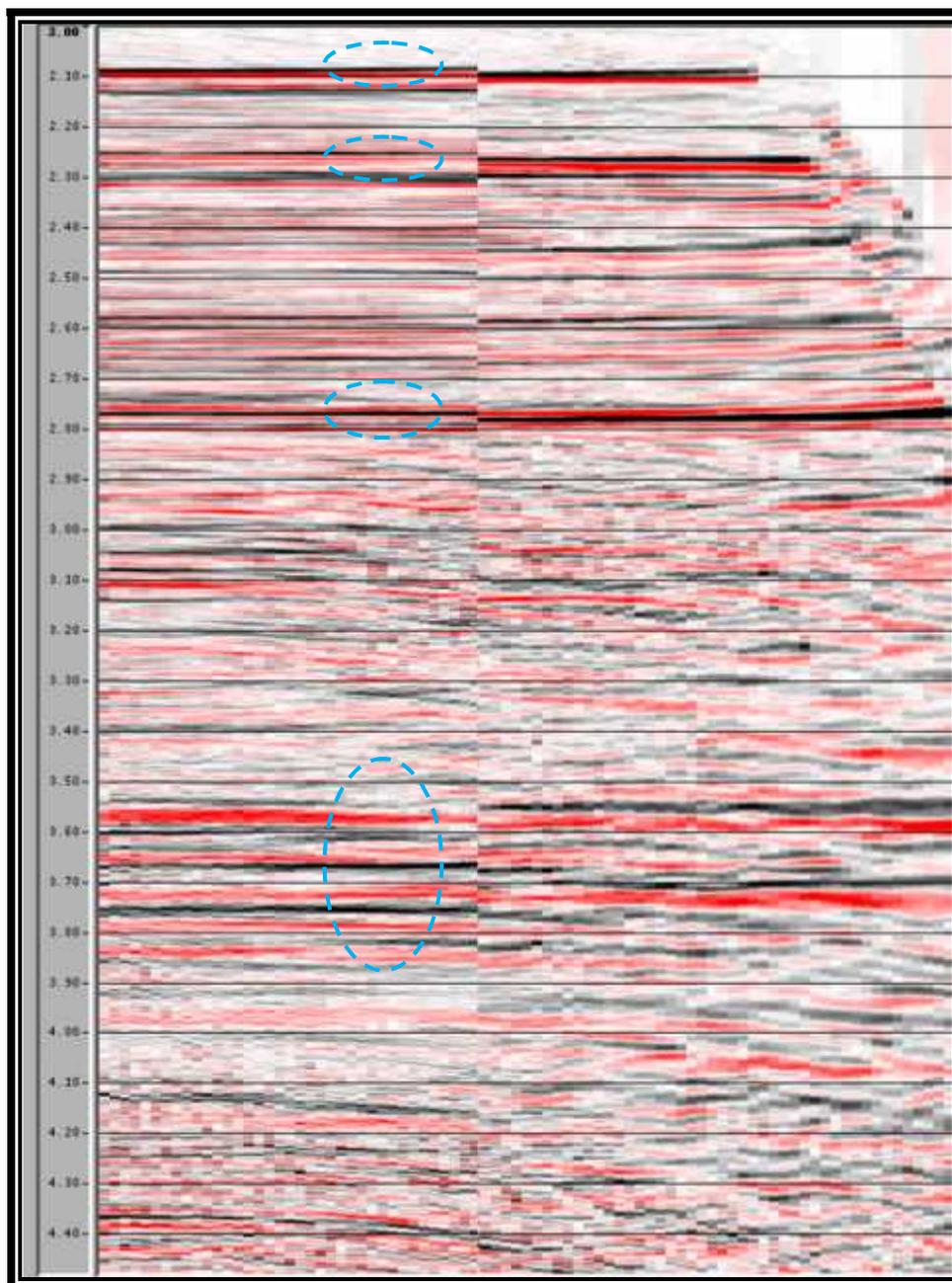
Stack yang telah mengalami proses migrasi dengan posisi reflektor miring yang telah memiliki posisi sebenarnya diperlihatkan dalam Gambar 4.20:



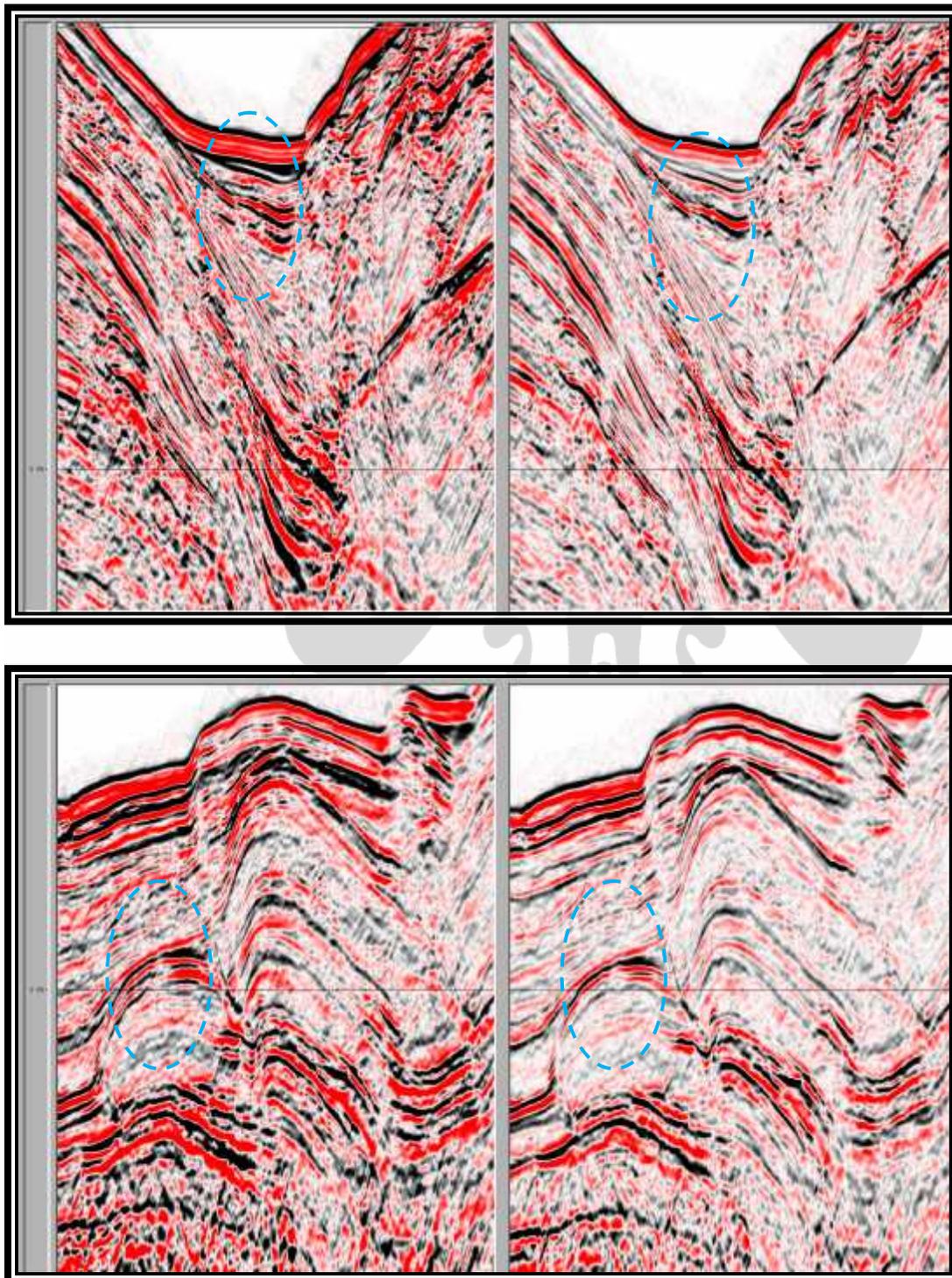
Gambar 4.24 *Stack* dari data PSTM *Pup* sebagai langkah akhir dari pemrosesan data

Data *gather* dan *stack* akan dipergunakan selanjutnya sebagai perbandingan antara data sensor ganda dan sensor tunggal.

Hasil akhir migrasi yang bebas noise mengkonfirmasi perbedaan yang cukup signifikan antara data sensor dual-sensor dan data sensor tekanan konvensional. Perbandingan *gather* dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 4.25 Shot record dengan perbandingan langsung antara data sensor tekanan termigrasi (kiri) dan data sensor ganda (kanan) dengan perbedaan yang cukup signifikan pada daerah yang dilingkari.



Gambar 4.26 Perbandingan *stack* antara data migrasi sensor tekanan (kiri) dengan data sensor ganda *Pup* (kanan) dengan jangkauan *crossline* yang berbeda. Daerah yang dilingkari menunjukkan perbedaan yang signifikan antara gambar kiri dan kanan.

Kedua *stack* setelah proses migrasi menampilkan perbedaan yang signifikan terutama pada data dangkal di area waktu 2-4 detik. Hal ini sangat membantu dalam interpretasi data seismik, terutama pada daerah dimana lokasi reservoir minyak dan gas berada. Data seismik yang bebas *ghost* tidak menampilkan ambiguitas dan reflektor yang lebih terdefinisi. Keuntungan ini akan sangat bermanfaat dalam analisis reservoir pada tahap berikutnya.

Dari sudut pandang operasi prospeksi geofisika, pencitraan yang lebih baik dan lebih definitif dari teknologi dual *streamer* disertai dengan keuntungan secara operasional untuk menarik *streamer* jauh lebih dalam di bawah air yang berarti noise yang lebih kecil sehingga rasio sinyal yang lebih besar, juga cuaca dan arus yang relatif lebih tenang sehingga dapat bermanfaat secara ekonomis dengan cara mempertahankan akuisisi terus berlangsung dengan perioda yang lebih lama. Dan dengan semakin mahalnya pemboran di laut dalam, tidak ada istilah terlalu detail untuk kualitas pencitraan reservoir minyak dan gas.

Tantangan yang dihadapi dalam pemrosesan yang masih perlu dikembangkan adalah hal-hal seperti: bagaimana mengelola data dengan 2 input sehingga kapasitas input data menjadi 2 kali pemrosesan konvensional, mengelola *streamer* yang memiliki kedalaman yang bervariasi, dan bagaimana memperoleh parameter lebih sederhana dan teroptimasi untuk pemrosesan yang lebih efisien. Sifat fisika data yang memiliki sumber dari dua sensor yang berbeda juga dapat dikembangkan dan diekplotasi dalam proses atenuasi noise dan multipel yang memerlukan penelitian lebih mendalam.

Pengembangan berikutnya dalam analisis reservoir terbuka lebar dengan mengeksploitasi keunggulan data sensor ganda terutama dalam interpretasi kuantitatif yang memanfaatkan variabel sifat-sifat fisika gelombang dalam data seismik.

BAB V

KESIMPULAN

Tesis ini telah mendeskripsikan bagaimana data streamer dengan sensor ganda diproses untuk memisahkan gelombang dari *ghost*-nya menjadi data yang bebas *ghost*. Data konvensional yang masih lekat dengan *ghost*-nya, yaitu data sensor tekanan menjadi basis perbandingan. Tesis berhasil memperlihatkan efek *ghost* atau multipel dari sisi penerima suara dan menampilkan keuntungan untuk menerapkan metoda *de-ghosting* atau eliminasi *ghost* dengan metoda sederhana dari satu sumber data seismik.

Hasil analisis memperlihatkan kualitas data seismik yang lebih baik dari data sensor ganda dibandingkan dengan data konvensional, baik di frekuensi rendah maupun frekuensi tinggi. Eliminasi efek *ghost* ini terbukti bekerja secara valid dan menghasilkan pencitraan yang lebih definitif dan lebih berkualitas.

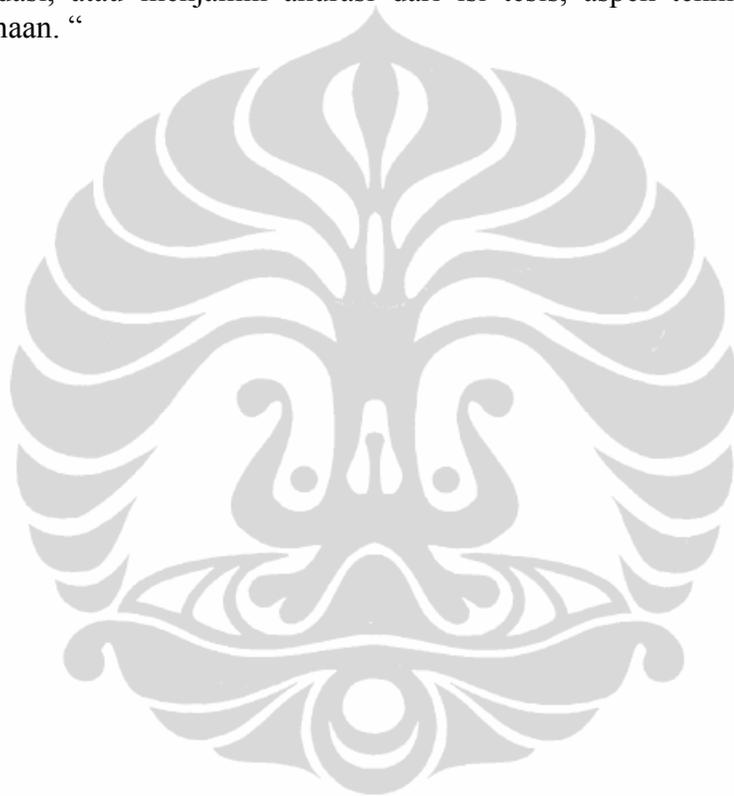
Keuntungan ini dapat dieksploitasi lebih dalam untuk tahap berikutnya dalam kegiatan eksplorasi seperti interpretasi kuantitatif dekomposisi spektral atau inversi seismik, ikat seismik dengan seismogram sintetik dari *well log* dan juga dalam menghitung volume cadangan. Keuntungan ini dapat dianalisis lebih lanjut secara ilmiah dengan cara yang sama yaitu membandingkan data sensor ganda dengan data sensor tunggalnya.

DAFTAR REFERENSI

- Amundsen, L. (1993). Wavenumber-based filtering of marine point-source data. *Geophysics*, 58, 1335-1348.
- Backus, M., (1959). Water Reverberation - Their Nature and Elimination, *Geophysics* 24, 233-261.
- Barr, F.J., Sanders, J.I. (1989). Attenuation of water-column reverberations using pressure and velocity detectors in a water-bottom cable: 59th. Annual International Meeting, SEG Expanded Abstract, p. 653-656.
- Brink, M., Svendsen, M. (1987). Marine seismic exploration using vertical receiver arrays: A means for reduction of weather downtime: 57th. Annual International Meeting, SEG Expanded Abstract, p. 184-187.
- Claerbout, J. F., (1976). Fundamentals of geophysical data processing, Stanford University, <http://sepwww.stanford.edu/sep/prof/>
- Carlson, D., Long, A., Söllner, W., Tabti, H., TENGHAMN, R., and Lunde, N. (2007). Increased resolution and penetration from a towed dual-sensor streamer. *First Break*, 25(12), 71-77.
- Duncan, G., (1994). Slowness adaptive f-k filtering of prestack seismic data, SEG, *Geophysics*.
- Elboth T. (2009). Attenuation of noise in marine seismic data, SEG Expanded Abstracts, 28, 3312-3316
- Ferris, E., Enoch, C.W., Doloksaribu, I., et al. (2009). Geostreamer MC2D Processing Projects, PGS, Jakarta.
- Ferris, E., Enoch, C.W., Doloksaribu, I., et al. (2010) Geostreamer MC2D Processing Projects, PGS, Jakarta.
- Harris, A. (2009) Amplitude Variation with Offset AVO, University of Indonesia.
- Kinhead, J. (2009). Processing Dual Sensor Streamer Data from an Ultra Deep Water Area Offshore Guyana, SEG Expanded Abstracts 28, 634-638.
- Kluever , A. (2009). Robust Strategy for Processing 3D, EAGE
- Lindsey J.P. (1960) Elimination of seismic ghost reflections by means of linear filter, *Geophysics*, 25, 130-140

- Long, A. (2009). A new seismic method to significantly improve deeper data character and interpretability, IPA Proceedings.
- Long, A., Mellors, D., Allen, T., and McIntyre, A. (2008). A calibrated dual-sensor streamer investigation of deep target signal resolution and penetration on the NW Shelf of Australia. SEG Expanded Abstracts 27, 428-432.
- Moldoveanu, N. (2000). Vertical source array in marine seismic exploration: 70th. Annual International Meeting, SEG Expanded Abstract, p. 53-56.
- PGS (2007), PGS Geostreamer, *Techlink*
- Reiser, C. (2010). Impact of the dual-sensor acquisition on reservoir characterization studies, SEG Expanded Abstracts 29, 2371-2375.
- Riyanti, C., Borselen, R., Berg, P., and Fokkema, J. (2008). Pressure wave-field deghosting for non-horizontal streamer, *Geophysics*.
- Rodriguez-Suarez (2000). Advanced Marine Seismic Methods OBC and Vertical Cable Analysis, Disertasi, University of Calgary.
- Schneider W., Backus M., (1964). Elimination of Ghost Arrivals, *Geophysics*, 29, p783-805
- Shock, L. (1950). The progressive detonation of multiple charges in a single seismic shot: *Geophysics*, 15, p. 208-218.
- Tabti (2009). Conventional Versus Dual-sensor Streamer Data De-ghosting - A Case Study from the Haltenbanken Dual-streamer Acquisition, EAGE.
- Tenghamn, R., Vaage, S., Borresen, C. (2007). A dual-sensor towed marine streamer; its viable implementation and initial results. 77th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstract, 989-993.
- Turner, G., (1990). Aliasing in the tau-p transform and the removal of spatially aliased coherent noise, SEG, Geophysics.
- Schonewille, M.A., (2007). Applications of time-domain high-resolution Radon demultiple, SEG, Annual Meeting.
- Vigner, A., Schonewille, M., Ryder, A. (2008). Swell-noise attenuation using an iterative FX prediction filtering approach, SEG, Geophysics.
- Yilmaz, O. (2001). Seismic data processing, Investigation in geophysics, Tulsa, Society of Exploration Geophysics.

Disclaimer: Tesis ini dibuat dalam kapasitas penulis sebagai mahasiswa Universitas Indonesia dan isi tesis adalah pekerjaan pribadi dari penulis. Demikian pula dengan kesimpulan dan opini yang dibuat di dalamnya. Petroleum Geo-Services (“PGS”) sebagai perusahaan tidak menyarankan, memvalidasi, atau menjamin akurasi dari isi tesis, aspek teknis, dan asosiasi lainnya terhadap perusahaan. “



LAMPIRAN 1. PARAMETER SURVEI

1. Parameter Kunci

Sumber suara : 1 x 4130in3

Kedalaman : 7m

Kabel *streamer* : 1 x 8100m

Near trace offset : 102m

2. Sistem

Tipe sumber suara : G-guns

Tipe *Streamer* : *Streamer* Sensor ganda

3. Navigasi

Posisi utama : StarFix.HP DGPS

Posisi *streamer* : StarFix RGPS

4. Sumber suara

Jumlah sumber suara : 1

Jumlah sub-array : 3

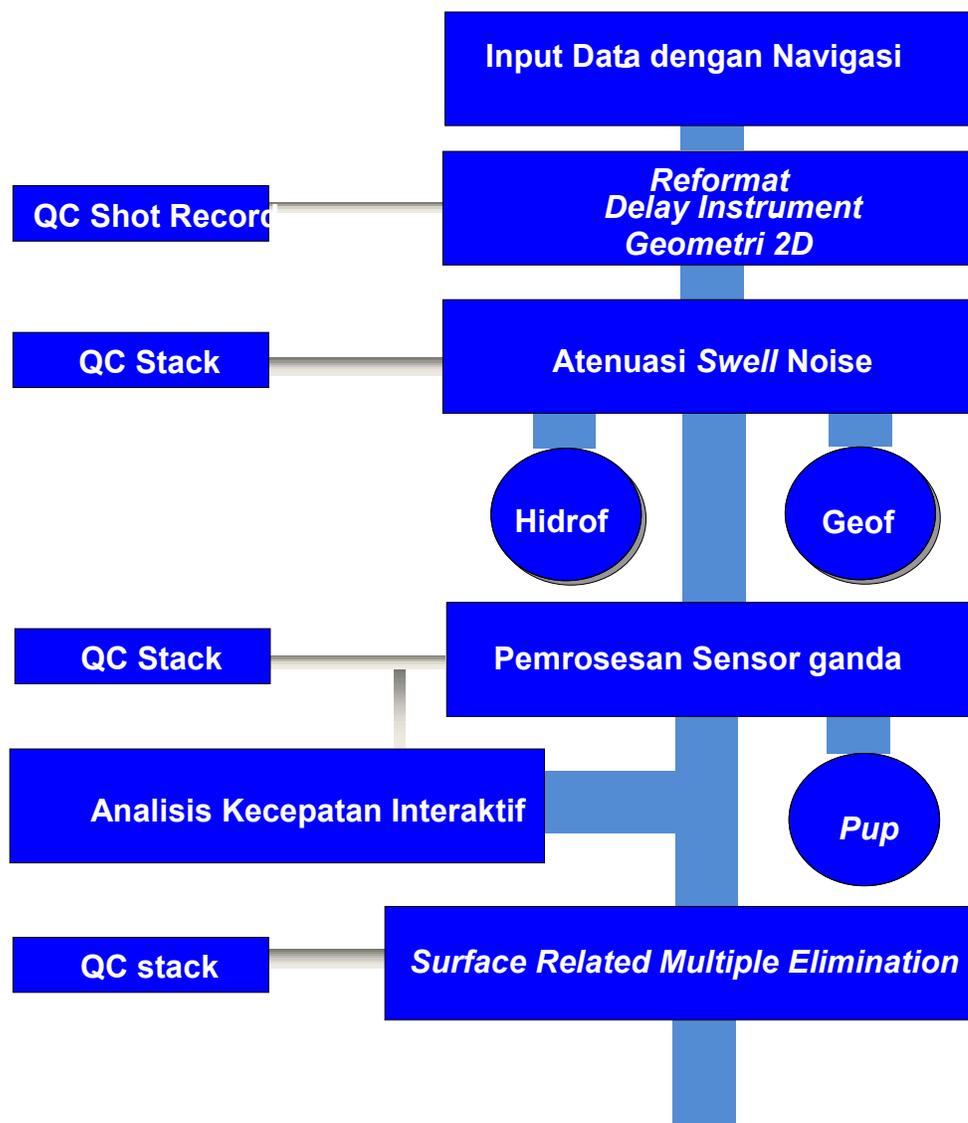
Jarak antar sumber suara: 12 m.

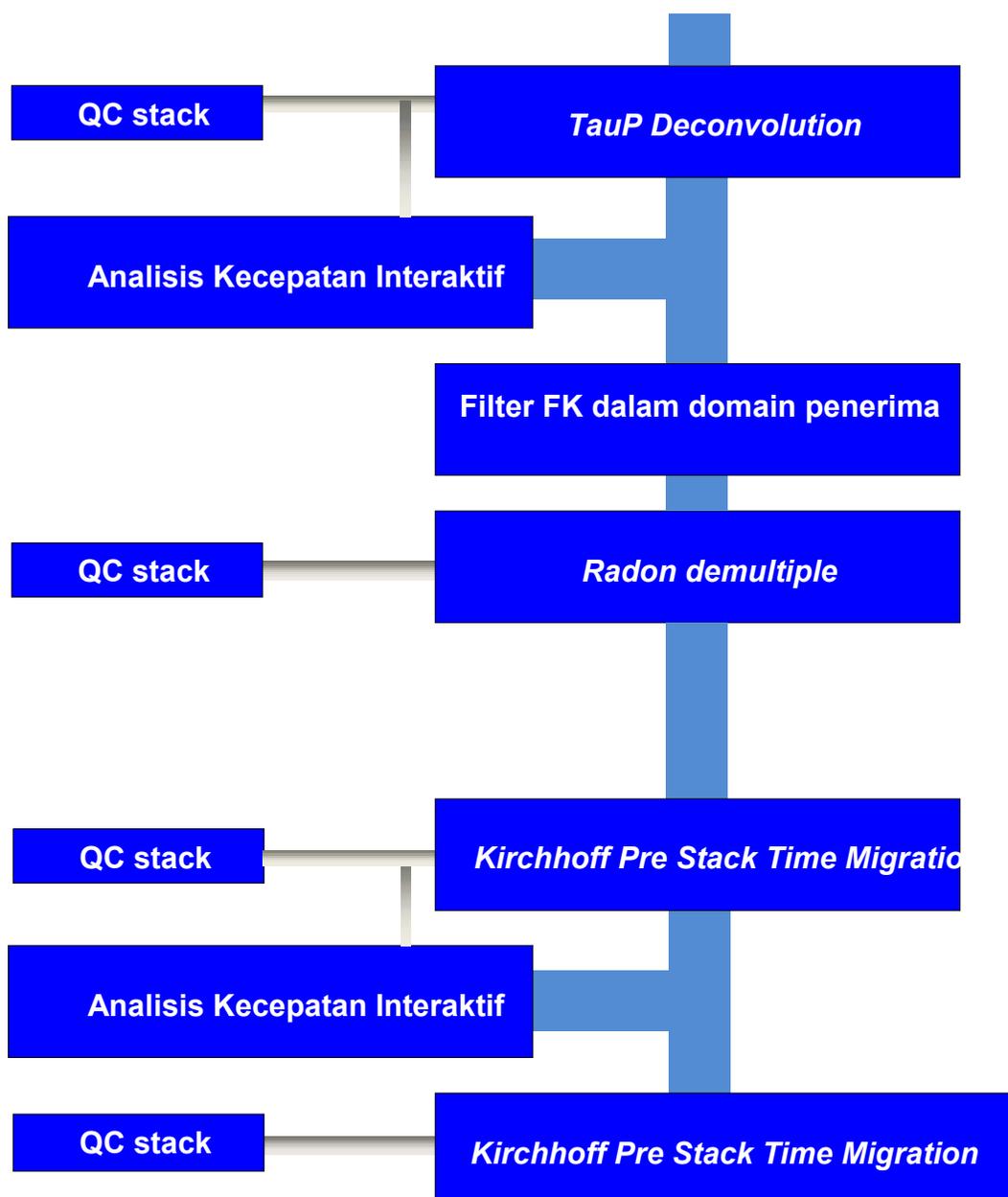
Panjang source : 14 m.

Jarak antar tembakan : 25 m.

Kedalaman : 7 m

LAMPIRAN 2. DIAGRAM ALIR PEMROSESAN DATA





LAMPIRAN 3. DAFTAR TES PARAMETER

Tes dilakukan dengan berbagai parameter untuk mendapatkan *gather* dan *stack* terbaik.

Berikut ini tahapan tes dalam pemrosesan:

No.	Langkah Pemrosesan	Jenis Tes
1	Filter Low Cut Butterworth	Tanpa filter low cut
		Filter low cut 2Hz 18dB/oct
		Filter low cut 3Hz 18dB/oct
		Filter low cut 4Hz 18dB/oct
		Keputusan: menggunakan Filter 3Hz 18db/oct
2	Atenuasi Swell Noise	Tanpa atenuasi <i>swell noise</i>
		Atenuasi <i>swell noise</i>
		Keputusan: menggunakan atenuasi <i>swell noise</i>
3	Substraksi Filter Rendah	Tanpa substraksi filter rendah
		Substraksi filter rendah
		Keputusan: menggunakan substraksi filter rendah
4	Atenuasi Noise Linear	Tanpa atenuasi
		Atenuasi dengan substraksi Filter FK
		Atenuasi dengan Taup Radon
		Keputusan: menggunakan atenuasi noise linear dengan substraksi Filter FK
5	<i>TauP Deconvolution</i>	SRME dan Taup decon dengan panjang operator 240 ms dan gap 16 ms
		SRME dan Taup decon dengan panjang operator 240 ms dan gap 24 ms
		SRME dan Taup decon dengan panjang operator 240 ms dan gap 32 ms
		SRME dan Taup decon dengan panjang operator 240 ms dan gap 48 ms
		Keputusan: menggunakan SRME dan Tau-p Decon dengan panjang operator 240 ms dan gap 32 ms
6	Koreksi <i>Spherical Divergence</i>	No <i>Spherical Divergence</i>
		Gain 6 dB/sec
		<i>Spherical Divergence</i> V ² T
		<i>Spherical Divergence</i> V ² T with offset compensation
		<i>Spherical Divergence</i> VT
		<i>Spherical Divergence</i> VT with offset compensation
		Keputusan: menggunakan <i>Spherical Divergence correction</i> V²T

7	<i>Radon demultiple</i>	Tanpa <i>Radon demultiple</i>
		Model data dari -800ms to 5000ms dan model multiple dari 300ms to 5000ms
		Model data dari -800ms to 5000ms dan model multiple dari 360ms to 5000ms
		Model data dari -800ms to 5000ms dan model multiple dari 400ms to 5000ms
		Model data dari -800ms to 5000ms dan model multiple dari 500ms to 5000ms
		Keputusan: menggunakan <i>Radon Demultiple</i> dengan model data dari -800ms to 5000ms dan model multiple dari 360ms to 5000ms, aplikasi dari waktu 800ms hingga 2000ms dengan taper 1200ms
8	Tes Aperture untuk <i>Kirchhoff Pre Stack Time Migration</i>	<i>Aperture-01: time (ms) /dip (degree)</i>
		100,70 400,300 800,600 1400,1100 2000,1600 2900,2500 3800,3400 4900,3500 6000,3500
		<i>Aperture-02: time (ms) /dip (degree)</i>
		100,200 2000,2000 4000,3800 5000,4500 6000,4500
		<i>Aperture-03: time (ms) /dip (degree)</i>
		0,60 4000,60 6000,40
		<i>Aperture-04: time (ms) /dip (degree)</i>
		0,60 1000,50 3000,40 6000,30
		<i>Aperture-05: time (ms) / aperture (m)</i>
		100,200 2000,2000 4000,3500 5000,3800 6000,4000
Keputusan: menggunakan <i>aperture-05</i> untuk PSTM		