

UNIVERSITAS INDONESIA

**PEMFILTERAN GELOMBANG GROUND-ROLL DENGAN
MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET DISKRIT**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Master

**AWANG SOEDRAJAT
0706171812**

**KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS INDONESIA
JAKARTA
2010**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

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

Nama : Awang Soedrajat

NPM : 0706171812

Tanda tangan : 

Tanggal : 9 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis diajukan oleh :
Nama : Awang Soedrajat
NPM : 0706171812
Program Studi : Pascasarjana Geofisika Reservoir
Judul Tesis : Pemfilteran Gelombang Ground Roll Dengan
Menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Suprayitno Munadi ()

Penguji : Dr. rer. nat. Abdul Haris ()

Penguji : Dr. Waluyo ()

Penguji : Dr. Supriyanto ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 9 Juli 2010

Kata Pengantar

Puji and syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang hanya dengan izin dan pertolonganNYA lah penulis mampu menyelesaikan perkuliahan dan tesis di Pasca Sarjana Geofisika Reservoir, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang rasanya belum cukup terwakili dengan kata-kata kepada :

- Kedua Orang Tua penulis yang selalu gigih dan sabar untuk menjadikan anaknya sebagai manusia yang berilmu dan bermanfaat. Semoga Allah SWT memberikan ganjaran baik yang berlipat ganda, Amin.
- Bpk. Prof. Dr. Suprayitno Munadi, selaku pembimbing tesis penulis, yang begitu berdedikasi kepada ilmu pengetahuan dan sangat berjasa bagi mahasiswa-mahasiswinya. Semoga Allah SWT membalas kebaikan beliau, Amin.
- Rekan-rekan seangkatan di Geofisika Reservoir angkatan 2007 ; Jhon, Dede, Eri, Adi, dll.
- Last but not least, istri dan Maira putrid penulis yang tersayang, atas kesabaran dan pengeertiannya.

Semoga apa yang diperjuangkan oleh penulis dan orang-orang diatas dapat bermanfaat dan menjadi amal sholeh dihadapan Allah SWT, Aamiin.

Jakarta, 9 Juli 2010

Awang Soedrajat

0706171812

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

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

Nama : Awang Soedrajat
NPM : 0706171812
Program Studi : Pasca Sarjana Geofisika Reservoir
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Tesis

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

**PEMFLITERAN GELOMBANG GROUND-ROLL DENGAN
MENGUNAKAN TRANSFORMASI WAVELET DISKRIT**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 9 Juli 2010

Yang menyatakan



(Awang Soedrajat)

ABSTRAK

Nama : Awang Soedrajat
Program Studi : Geofisika Reservoir
Judul : Pemfilteran Gelombang Ground Roll dengan Transformasi Wavelet Diskrit

Data seismik refleksi yang direkam pada survey seismik darat sering terkontaminasi oleh noise koheren groundroll yang merupakan gelombang dispersif yang merambat di permukaan. Sinyal gelombang groundroll ini memiliki ciri amplitude yang besar dan frekuensi yang relative rendah dan berubah di sepanjang perambatannya (non-stasioner).

Beberapa teknik pemfilteran yang selama ini digunakan adalah berdasarkan pada pendekatan dengan transformasi Fourier, dimana transformasi Fourier ini mengasumsikan wavelet bersifat statis sepanjang perambatannya. Teknik-teknik pemfilteran tersebut diantaranya adalah pemfilteran frekuensi (frequency filtering), dan f-k filtering.

Suatu alternative baru dari transformasi Fourier yang dapat digunakan saat ini adalah transformasi wavelet, dimana transformasi ini mengurai/mendekomposisi sebuah fungsi menggunakan fungsi basis (dasar) yang memiliki durasi terbatas baik dalam domain fekuensi maupun domain waktu. Hal ini berbeda dengan transformasi Fourier, dimana transformasi Fourier mendekomposisi suatu fungsi menggunakan fungsi basis sinusoidal yang memiliki durasi tak terbatas pada domain waktu dan frekuensi.

Dengan menggunakan transformasi wavelet, pemfilteran gelombang groundroll dapat dilakukan dengan baik dan memiliki kelebihan dibandingkan dengan pemfilteran dengan transformasi yang berbasis transformasi Fourier, diantaranya adalah kualitas sinyal reflektor yang tetap terjaga.

Kata Kunci : *Wavelet, ground roll, transformasi, noise, seismic, shot gather*

ABSTRACT

Nama : Awang Soedrajat
Program Studi : Geofisika Reservoir
Judul : Pemfilteran Gelombang Ground Roll dengan
Transformasi Wavelet Diskrit

Low-frequency, high-amplitude ground roll is an old problem in land-based seismic field records. Current processing techniques aimed at ground-roll suppression, such as frequency filtering, f - k filtering, and f - k filtering with time-offset windowing, use the Fourier transform, a technique that assumes that the basic seismic signal is stationary.

A new alternative to the Fourier transform is the wavelet transform, which decomposes a function using basis functions that, unlike the Fourier transform, have finite extent in both frequency and time.

Application of a filter based on the wavelet transform to land seismic shot records suppresses ground roll in a time-frequency sense; unlike the Fourier filter, this filter does not assume that the signal is stationary. The wavelet transform technique also allows more effective time-frequency analysis and filtering than current processing techniques and can be implemented using an algorithm as computationally efficient as the fast Fourier transform. This new filtering technique leads to the improvement of shot records and considerably improves the final stack quality.

Key words : Wavelet, ground roll, transformasi, noise, seismic, shot gather

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR PERSAMAAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	6
2.1 Sinyal Stasioner dan Non-Stasioner	6
2.2 Transformasi Fourier	7
2.3 Transformasi Wavelet	9
2.3.1 Pendahuluan.....	9
2.3.2. Transformasi Wavelet Kontinyu dan Deret Wavelet	10
2.3.3. Transformasi Wavelet Diskrit	11
2.3.3.1. Filter Banks	12
2.3.3.2. Down-sampling dan Up-sampling (Subsampling)	13
2.3.3.3 Rekonstruksi Sempurna	14
2.3.3.4 Analisa Multiresolusi	15
2.3.3.5 Contoh Pemisahan Komponen Gelombang dengan Transformasi Wavelet Diskrit.	19
2.3.4 Kelompok Wavelet	25
2.4 Gelombang ground roll	26
2.5 Beberapa Metode Pemfilteran Gelombang Ground-roll	27
2.5.1 F-K Dip Filtering	27
2.5.2 Metode Pemfilteran f-v	29
2.5.3 Algoritma Wiener-Levinson	34
BAB III METODOLOGI	40
3.1 Tahapan Pengerjaan	40
3.2 Diagram Alir Prosedur Pengerjaan	42

BAB IV	PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA	44
4.1	Wavelet	44
4.2	Data	45
4.3	Pengolahan Data dan Analisa	46
4.4	Hasil Pengolahan Data	52
4.5	Analisa Hasil Pengolahan Data	59
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	62
DAFTAR REFERENSI		63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Perbandingan sebelum dan sesudah pemfilteran gelombang Groundroll	2
Gambar 2.1	Sinyal sinusoidal dengan persamaan $y = \sin(2\pi \cdot 20 \cdot t)$ sebagai contoh sebuah sinyal yang stasioner	6
Gambar 2.2	Sebuah sinyal dengan komponensinyal sinusoidal berfrekuensi 20 dan 50 radian sebagai contoh sebuah sinyal yang non-stasioner	7
Gambar 2.3	Transformasi Fourier dari sinyal pada gambar 2.2	8
Gambar 2.4	Filter Bank 2 saluran	13
Gambar 2.5	Prosedur filtering dan sub-sampling dalam subband coding	18
Gambar 2.6	Sebuah sinyal S dengan 3 komponen sinyal sinusoidal yang muncul pada waktu yang berbeda	19
Gambar 2.7	Transformasi Fourier dari sinyal S pada gambar 2.7	20
Gambar 2.8	Dekomposisi sinyal A dengan transformasi wavelet diskrit	21
Gambar 2.9	Proses pembuangan komponen sinyal berfrekuensi 75 Hz ...	23
Gambar 2.10	Sinyal sintesa setelah komponen d3 (komponen berfrekuensi 20 Hz dihilangkan	24
Gambar 2.11	Kelompok wavelet	25
Gambar 2.12	Ilustrasi gelombang ground-roll pada media	26
Gambar 2.13	Diagram alir proses F-K dip filtering	27
Gambar 2.14	Contoh Penerapan F-K dip filtering pada data seismic shot gather	28
Gambar 2.15	Diagram alir pemrosesan data	30
Gambar 2.16	Model yang digunakan pada data sintetik	30
Gambar 2.17	Data sintetik yang dihitung berdasarkan model pada gambar x ..	31
Gambar 2.18	(a). Komponen vertikal dan (b) Komponen radial data sintetik setelah pemfilteran yang dilakukan dalam domain f-v. (c) dan (d) adalah representasi masing-masing dalam domain f-v	32

Gambar 2.19	Perbandingan hasil pemfilteran dengan korelasi silang dan filter fasa dengan f-k filter	33
Gambar 2.20	(a) Input data sintetik yang mengandung sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang berubah sebagai ground-roll. (b) dan (c) adalah hasil pemfilteran setelah dikurangi tras bising linier dan non-linier	37
Gambar 2.21	(a) data lapangan shot gather (b) hasil pemfilteran setelah dikurangi ground-roll dari data yang menggunakan tras bising referensi non-linier dengan $N=0.7$. (c) Ekstrak ground-roll	38
Gambar 3.1	Ilustrasi skematik teknik pemfilteran	41
Gambar 3.2	Diagram alir pengerjaan pemfilteran gelombang groundroll.....	42
Gambar 4.1	Data rekaman lapangan (shot record) yang digunakan	43
Gambar 4.2	Wavelet Battle-Lemarie pada skala 4	44
Gambar 4.3	Tras 25 ; Sinyal awal dan pemilihan koefisien.....	5
Gambar 4.4	Sinyal sintesa yang diperbandingkan dengan sinyal awal	46
Gambar 4.5	Sinyal sintesa tras 25	46
Gambar 4.6	Tras 26 ; sinyal awal dan perbandingan dengan sinyal sintesa....	47
Gambar 4.7	Tras 27 ; sinyal awal dan perbandingan dengan sinyal sintesa....	48
Gambar 4.8	Tras 28 ; sinyal awal dan perbandingan dengan sinyal sintesa....	49
Gambar 4.9	Tras 29 ; sinyal awal dan perbandingan dengan sinyal sintesa....	50
Gambar 4.10	Data setelah pemfilteran dengan $d \geq 4$ diset menjadi 0	51
Gambar 4.11	Data setelah pemfilteran dengan $d \geq 5$ diset menjadi 0	52
Gambar 4.12	Data setelah pemfilteran dengan $d \geq 5$ diset menjadi 0 kemudian diberi penguatan (gain) sebanyak 2x	53
Gambar 4.13	Perbandingan data sebelum dan sesudah pemfilteran	54
Gambar 4.14	Perbandingan data sebelum dan sesudah pemfilteran	55
Gambar 4.15	Data setelah pemfilteran dengan band pass filter 40-70 Hz	56
Gambar 4.16	Perbandingan data seismic shot gather	57

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1	Persamaan transformasi Fourier	7
Persamaan 2.2	Persamaan transformasi Fourier Invers.....	7
Persamaan 2.3	Persamaan transformasi Wavelet.....	10
Persamaan 2.4	Persamaan proses <i>down-sampling</i> dan <i>up-sampling</i>	14
Persamaan 2.5	Persamaan filter L	15
Persamaan 2.6	Persamaan filter H.....	15
Persamaan 2.7	Persamaan konvolusi diskrit.....	16
Persamaan 2.8	Persamaan <i>downsampling</i>	16
Persamaan 2.9	Persamaan level pertama dekomposisi.....	21
Persamaan 2.10	Persamaan level pertama dekomposisi	23
Persamaan 2.11	Persamaan umum tras seismik.....	34
Persamaan 2.12	Persamaan sinyal <i>sweep</i>	35
Persamaan 2.13	Fungsi karakter sinyal <i>sweep</i>	35
Persamaan 2.14	Persamaan filter Wiener diskrit modifikasi.....	35
Persamaan 2.15	Fungsi <i>error</i> kuadrat terkecil	36
Persamaan 2.16	Fungsi <i>error</i> kuadrat terkecil	36
Persamaan 2.17	Persamaan normal dalam bentuk matriks.....	36
Persamaan 2.18	Persamaan <i>bising</i> ground-roll	36
Persamaan 4.1	Persamaan wavelet battle lemarie	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

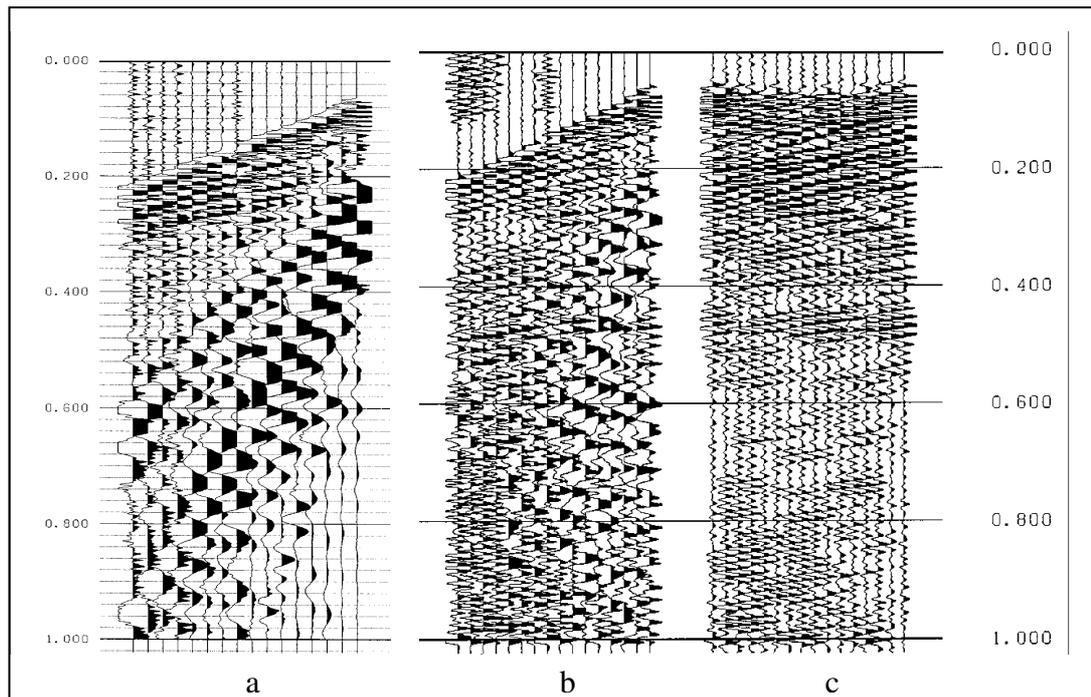
Munculnya gelombang ground roll pada survey seismik darat adalah suatu fenomena yang disebabkan oleh tercampurnya gelombang kompresi (P-Wave) dengan gelombang Shear (S-Wave) yang terpolarisasi pada bidang vertikal. Gelombang ini merambat sepanjang permukaan dengan kecepatan grup yang kecil dan amplitudo yang besar. Ketika kehadiran gelombang ini tidak diantisipasi dalam disain penembakan, maka gelombang ini akan mendominasi rekaman sebagai noise dengan frekuensi yang rendah dan beramplitudo besar.

Banyak metode yang selama ini telah diterapkan untuk menghilangkan gelombang ground roll. Diantaranya yang paling populer adalah menggunakan pendekatan dengan transformasi Fourier, dimana dengan metode ini pemisahan gelombang ground roll dari gelombang refleksi adalah berdasarkan frekuensi temporer yang dapat dipisahkan dalam domain frekuensi.

Beberapa metode yang menggunakan pendekatan dengan transformasi fourier tersebut diantaranya adalah *multichannel f-k filtering*, *offset/time variant f-k filtering*, dan *band-pass filtering*, dimana metode-metode ini mengasumsikan kestabilan bentuk dan ukuran wavelet yang digunakan (wavelet tidak berubah sepanjang perambatannya).

Pemfilteran gelombang groundroll dengan menggunakan pemfilteran frekuensi biasa (*band pass filtering*) menyebabkan seluruh trace dengan komponen frekuensi yang akan dihilangkan juga ikut hilang, dimana idealnya tras yang mengandung sinyal reflektor dipertahankan (Deighan dan Watts, 1997).Sementara menggunakan teknik pemfilteran dua dimensi seperti *f-k*

filtering menyebabkan distorsi sinyal dan korelasi spasial dari noise (bising), dan tras seismik menjadi lebih terlihat kotor dengan banyaknya *spike-spike* kecil (Deighan dan Watts, 1997). Selain itu disain untuk melakukan pemfilteran dua dimensi ini memerlukan perangkat keras komputer yang cukup canggih (Baresford-Smith dan Rango, 1989. op.cit. Deighan dan Watts, 1997).



Gambar 1.1 Perbandingan sebelum dan sesudah pemfilteran gelombang groundroll.
 (a) Sebelum pemfilteran (b) setelah pemfilteran menggunakan 40-70 *bandpass filter*.
 (c) setelah pemfilteran menggunakan *f-k filter* (Deighan dan Watts, 1997)

Hal ini berarti metode-metode pemfilteran dengan menggunakan pendekatan dengan transformasi Fourier sejauh ini belum dapat menghilangkan gelombang groundroll secara efisien dan tanpa menghasilkan distorsi pada sinyal seismik di sekitarnya.

Selain pemfilteran dengan pendekatan menggunakan transformasi Fourier, beberapa alternative pendekatan lain juga telah digunakan untuk menekan gelombang ground roll, diantaranya adalah *noise-canceling algorithms*, *adaptive lattice filters*, *adaptive phasematched filters*, *the hybridRadon*

transform, the Karhunen-Loeve transform dan depth filtering (Zhang dan Urych,2003).

1.2. Permasalahan

Dengan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka ingin dipecahkan permasalahan sebagai berikut :

1. Apakah teknik pemfilteran menggunakan transformasi wavelet dapat menghilangkan gelombang groundroll pada rekaman seismik ?
2. Bila teknik pemfilteran menggunakan transformasi wavelet dapat menghilangkan gelombang groundroll pada rekaman seismik, apakah pemfilteran dengan teknik ini juga menimbulkan distorsi pada sinyal-sinyal seismik disekitarnya?
3. Sejauh mana kelebihan dan kekurangan transformasi wavelet dalam melakukan pemfilteran gelombang groundroll pada data seismik ?

1.3. Tujuan Penelitian

Dalam tesis ini, akan diuraikan suatu konsep dan aplikasi yang berbeda dari transformasi fourier dan akan diterapkan untuk menghilangkan gelombang ground roll dengan harapan gelombang groundroll dapat dihilangkan tanpa menyebabkan banyak distorsi pada data sinyal refleksi yang ada dan sinyal seismik yang awalnya tertutup oleh sinyal gelombang groundroll dapat muncul.

Konsep dan aplikasi tersebut adalah Transformasi Wavelet. Metode ini tidak menggunakan transformasi fourier yang mengasumsikan sinyal adalah stationer, melainkan dengan menggunakan wavelet yang mengasumsikan sinyal seismik tidaklah stationer tapi non-stationer, yaitu berubah-ubah amplitude dan frekuensinya seiring perambatannya.

1.4. Batasan Penelitian

Batasan penelitian adalah terbatas pada penerapan transformasi wavelet diskrit 1 dimensi dalam melakukan pemfilteran gelombang groundroll pada data seismik dua dimensi yang jumlah channelnya tidak terlalu banyak.

1.5. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini diawali dengan studi literatur dari berbagai jurnal, well report, dan bahan dari internet. Studi literatur ini diharapkan memberikan pengertian dan konsep dasar teori dan memahami bagaimana transformasi wavelet bekerja.

Tahapan selanjutnya adalah persiapan data dan software yang akan digunakan dalam penelitian . Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data seismik lapangan (*shot gather* berformat *seg-y*), dan software yang akan digunakan untuk melakukan transformasi wavelet adalah Matlab. Matlab yang digunakan juga harus dilengkapi *wavelet toolbox* dan modul2 Crewes sehingga memudahkan operasi-operasi pada data Segy.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab. Kelima bab ini menjelaskan latar belakang, landasan teori, proses pengolahan data dan analisa hasil pengolahan data, serta kesimpulan.

Pada Bab I akan menjelaskan, latar belakang , permasalahan, tujuan penelitian, batasan penelitian, metodologi dan sistematika penulisan

Pada Bab II akan mendeskripsikan dasar-dasar teori yang digunakan dimulai dari konsep sinyal stationer dan non stationer, Transformasi Fourier, dan Transformasi Wavelet kontinyu dan diskrit. Pada bab ini dijuga diulas beberapa metode lain dalam memfilter gelombang ground-roll.

Pada Bab III akan memaparkan tentang bagaimana pemrosesan data dilakukan.

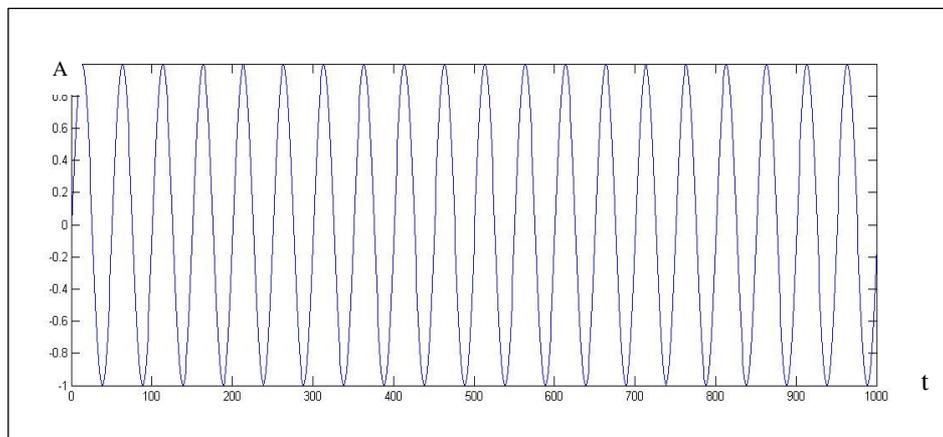
Pada Bab IV merupakan pembahasan dari pengolahan data dan analisa terhadap hasil penelitian yang mencakup analisa pengolahan data seismik lapangan sebelum dan setelah dilakukan transformasi wavelet dan pemfilteran gelombang ground roll. Pada Bab V dituliskan kesimpulan dari penelitian.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1. Sinyal Stasioner dan Non-Stasioner

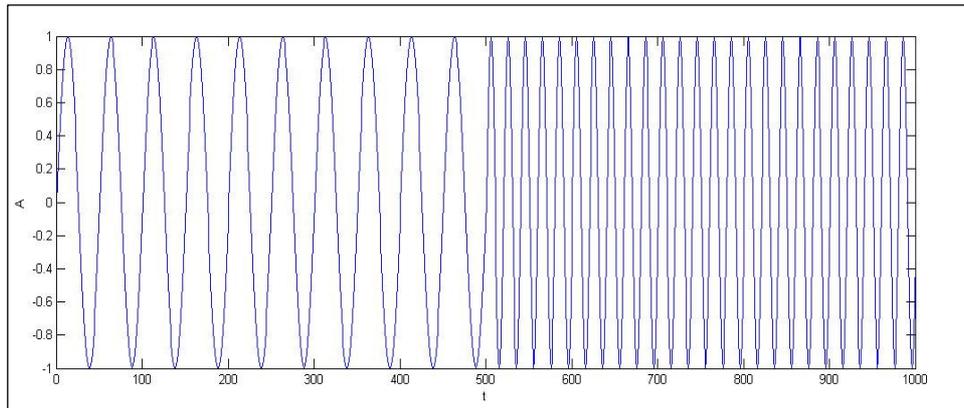
Suatu sinyal dikatakan bersifat stasioner adalah apabila komponen-komponen penyusun sinyal tersebut memiliki frekuensi yang sama di sepanjang perambatannya, dengan kata lain frekuensinya tidak berubah-ubah. Berikut contoh dari sinyal stasioner (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Sinyal sinusoidal dengan persamaan $y = \sin(2\pi 20t)$ sebagai contoh sebuah sinyal yang stasioner.

Pada sinyal sinusoidal diatas, komponen penyusun sinyalnya hanyalah sinyal sinusoidal berfrekuensi 20 radian, dan dapat kita katakan bahwa sinyal berfrekuensi 20 radian tersebut ada di t berapa pun yang kita pilih, sehingga sinyal tersebut disebut bersifat stasioner.

Sedangkan sutau sinyal bersifat non-stasioner adalah apabila komponen-komponen penyusun sinyal tersebut memiliki frekuensi yang tidak sama di sepanjang perambatannya. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Sebuah sinyal dengan komponen sinyal sinusoidal berfrekuensi 20 dan 50 radian sebagai contoh sebuah sinyal yang non-stasioner.

Sinyal pada Gambar 2.2 dikatakan bersifat non-stasioner karena frekuensi komponen-komponen penyusunnya tidak sama di sepanjang perambatannya. Kita bisa mendapatkan sinyal sinusoidal berfrekuensi 20 hanya pada $t = 0 - 500$, sedangkan pada $t = 501-1000$ komponenen sinyal diatas tidak lagi memiliki frekuensi 20 radian, melainkan 50 radian.

2.2. Transformasi Fourier

Transformasi Fourier adalah sebuah transformasi sinyal yang merepresentasikan sinyal ke dari domain waktu (atau jarak) ke dalam domain frekuensi. Persamaan matematika untuk transformasi ini adalah sebagai berikut

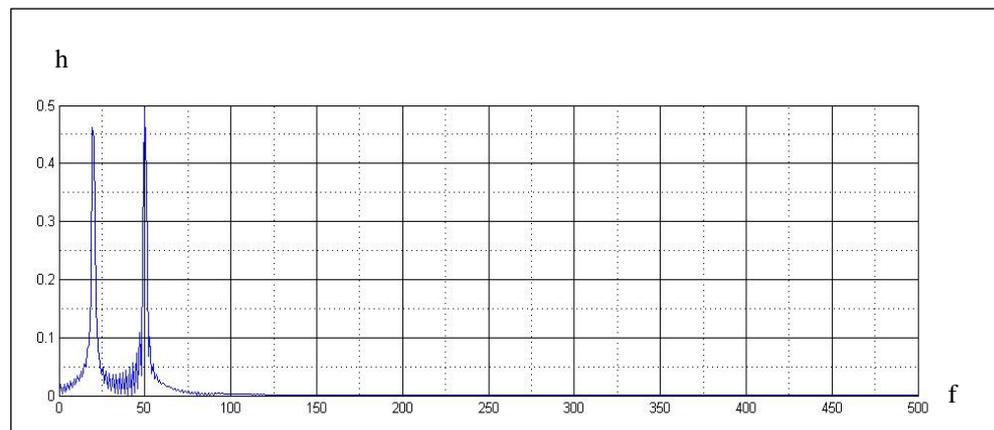
$$H(f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (2.1)$$

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} H(f)e^{i2\pi ft} df \quad (2.2)$$

Persamaan (2.1) disebut sebagai persamaan transformasi Fourier maju (*forward*) yang mentransformasi sinyal dari domain waktu (atau jarak) ke dalam domain frekuensi. Sementara persamaan (2.2) disebut sebagai persamaan transformasi Fourier balik (*invers*) yang mentransnformasi sinyal dari domain frekuensi ke dalam domain waktu (atau) jarak (Brigham, 1988).

Transformasi Fourier ini sangat berguna ketika kita ingin melihat spektrum frekuensi sebuah sinyal dan melakukan pemrosesan lebih lanjut dalam domain frekuensi. Hanya saja dalam transformasi Fourier kita tidak dapat melihat pada waktu atau jarak berapa komponen-komponen sinyal tersebut muncul. Suatu algoritma yang sudah dikembangkan untuk perhitungan transformasi Fourier ini adalah Fast Fourier Transform (FFT), dimana algoritma ini dapat menghitung secara lebih cepat dan efisien dari algoritma-algoritma lain yang pernah ada (Brigham, 1988).

Transformasi Fourier dari sinyal pada Gambar 2.2 diatas adalah seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3. Transformasi Fourier dari sinyal pada gambar 2.2

Pada Gambar 2.3 di atas dapat kita lihat komponen-komponen sinyal muncul pada sumbu frekuensi sesuai dengan frekuensi masing-masing komponen tersebut.

2.3. TRANSFORMASI WAVELET

2.3.1. Pendahuluan

Transformasi sebuah sinyal hanyalah suatu cara lain untuk menampilkan sinyal. Hal ini tidak merubah informasi apapun yang terdapat di dalam sinyal tersebut. Transformasi wavelet mentransformasi suatu sinyal ke dalam domain wavelet yang memiliki skala frekuensi sekaligus skala waktu, dimana hal ini tidak dapat dilakukan oleh transformasi Fourier yang hanya mentransformasi kedalam domain frekuensi saja. Pentransformasian ke dalam domain waktu-frekuensi yang dilakukan oleh transformasi wavelet ini memungkinkan kita melihat pada waktu berapa suatu sinyal dengan frekuensi tertentu muncul, sehingga transformasi ini lebih memungkinkan kita menganalisa sinyal non-stationer dengan lebih baik. Teknik ini digunakan juga untuk melengkapi kekurangan yang ada pada transformasi Fourier waktu singkat (STFT) yang juga dapat digunakan untuk menganalisa sinyal non-stationary. STFT dilakukan dengan melakukan transformasi Fourier sinyal yang telah dikotak-kotakkan dalam sebuah jendela bergerak, dimana ukuran jendela tersebut tetap, sehingga hanya memberikan resolusi yang konstan pada semua frekuensi. Sementara itu, Transformasi wavelet menggunakan teknik multi resolusi dimana frekuensi-frekuensi yang berbeda dianalisa dengan resolusi yang berbeda pula.

Analisa wavelet dilakukan serupa dengan STFT, dimana sinyal yang akan dianalisa dikalikan dengan fungsi wavelet seperti halnya perkalian dengan fungsi jendela dalam STFT, baru kemudian transformasi dilakukan. Tetapi tidak seperti pada STFT, dalam transformasi wavelet, lebar dari fungsi wavelet berubah-ubah sesuai dengan pengaturan.

Transformasi wavelet pada sinyal dengan frekuensi tinggi akan memberikan resolusi waktu yang baik tetapi resolusi frekuensinya buruk. Sementara transformasi wavelet pada pada sinyal dengan frekuensi rendah akan memberikan resolusi frekuensi yang baik sementara resolusinya waktu yang buruk.

2.3.2. Transformasi Wavelet Kontinyu dan Deret Wavelet

Transformasi wavelet kontinyu diberikan oleh persamaan 2.3 di bawah ini.

$$X_{WT}(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \cdot \varphi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) dt \quad (2.3)$$

Dimana $x(t)$ adalah sinyal yang akan dianalisa, τ adalah parameter translasi, s adalah parameter skaling dan $\varphi(t)$ adalah fungsi mother wavelet. Semua fungsi wavelet yang digunakan dalam transformasi diturunkan dari mother wavelet tersebut melalui pergeseran (translation) dan penskalaan (scaling). Mother wavelet yang digunakan untuk membuat semua fungsi dasar (basis function) didisain berdasarkan karakteristik yang diinginkan yang berhubungan dengan fungsi tersebut.

Parameter translasi adalah parameter yang menunjukkan lokasi fungsi wavelet ketika proses pergeseran (shifting) dilakukan sepanjang sinyal, dengan kata lain parameter translasi ini menunjukkan informasi waktu (atau jarak) dalam transformasi wavelet.

Parameter skala (scale) s didefinisikan sebagai 1/frekuensi sehingga parameter ini memberikan informasi frekuensi. Dalam aplikasinya parameter ini adalah ukuran seberapa besar suatu sinyal atau wavelet dimampatkan atau diregangkan. Nilai skala besar beraplikasi pada merenggangkan sinyal, yang berarti frekuensi rendah, memberikan informasi umum/global suatu sinyal, sedangkan nilai skala kecil beraplikasi pada pemampatan sinyal, yang berarti frekuensi tinggi, memberikan informasi detil suatu sinyal.

Dari pemaparan diatas dapat dikatakan bahwa transformasi wavelet hanyalah melakukan operasi konvolusi antara sinyal yang dianalisa dengan fungsi basis. Dalam aplikasi pemrosesan sinyal pada data real, transformasi wavelet sangat cocok digunakan, dimana biasanya komponen berfrekuensi tinggi pada suatu

sinyal hanya muncul sewaktu-waktu dan tidak berlangsung lama, sementara komponen sinyal berfrekuensi rendah selalu muncul disepanjang sinyal.

Deret wavelet didapat dengan mendiskritkan/mencuplik fungsi wavelet kontinyu. Hal ini dilakukan untuk membantu perhitungan dengan menggunakan komputer yang hanya memproses data secara digital. Laju pencuplikan (sampling rate) dalam pencuplikan fungsi wavelet kontinyu dapat diubah-ubah sehubungan dengan perubahan nilai skala tanpa melampaui kriteria frekuensi nyquist. Kriteria frekuensi nyquist menyatakan bahwa minimum laju pencuplikan yang akan memberikan rekonstruksi yang baik dari sinyal asli adalah 2ω radians, dimana ω adalah frekuensi tertinggi dalam suatu sinyal. Hal ini berarti ketika nilai skala membesar (frekuensi menjadi rendah), laju pencuplikan dapat diturunkan sehingga mengurangi beban dalam penghitungan.

2.3.3. Transformasi Wavelet Diskrit

Deret wavelet seperti yang diuraikan diatas tidak lain adalah nilai-nilai diskrit dari fungsi kontinyu yang disampling dimana dalam pemrosesannya membutuhkan waktu yang banyak dan juga dukungan perangkat keras (hardware) yang memadai, tergantung dari resolusi yang diinginkan.

Transformasi wavelet diskrit, yang berbasiskan sub-band coding memberikan proses penghitungan transformasi wavelet yang lebih cepat. Selain itu juga lebih mudah dilakukan, menggunakan waktu yang lebih sedikit dalam perhitungan dan tidak membutuhkan perangkat keras yang terlalu hebat.

Dasar-dasar teknik perhitungan transformasi wavelet diskrit ini ditemukan pada tahun 1976, ketika teknik-teknik untuk mendekomposisikan sinyal waktu diskrit sedang berkembang. Pada tahun 1983, sebuah teknik yang sama dengan sub-band coding ini pun dikembangkan dan diberi nama pyramidal coding. Akhir-akhir ini pun banyak pengembangan skema-skema pengkodean seperti ini mulai dikembangkan sehingga menghasilkan skema analisa multi resolusi yang efisien.

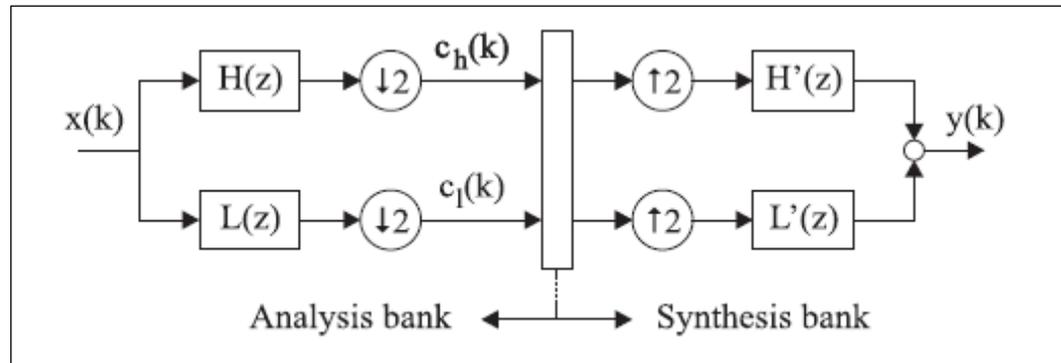
Dalam transformasi wavelet kontinu sinyal dianalisa menggunakan satu set fungsi basis yang saling berkaitan satu sama lain dengan melakukan penskalaan dan pergeseran sepanjang sinyal yang dianalisa. Sementara dalam transformasi wavelet diskrit representasi sinyal digital dalam domain skala-waktu diperoleh dengan teknik pemfilteran digital. Dalam hal ini sinyal yang akan dianalisa dilewatkan dalam filter-filter yang memiliki cut-off frekuensi yang berbeda-beda pada skala-skala yang berbeda pula.

2.3.3.1. Filter Banks

Sebuah filter bank terdiri dari filter-filter yang memisahkan/mengelompokkan sebuah sinyal ke dalam beberapa pita frekuensi (Strang & Nguyen, 1997 op.cit. Merry,2005). Gambar 2.4 dibawah ini memperlihatkan sebuah filter bank dengan dua saluran (channel). Pada gambar tersebut, sebuah sinyal dalam domain waktu dianalisa dalam filter bank dan dilakukan pemfilteran dengan melewatkannya pada filter $L(n)$ dan $H(n)$, dimana filter $L(n)$ adalah low-pass filter (tapis lolos rendah) dan $H(n)$ adalah High pass filter (tapis lolos tinggi). Keluaran dari filter-filter tersebut masing-masing memiliki lebar frekuensi setengah dari lebar frekuensi sinyal semula, tetapi jumlah sample dalam masing-masing keluaran tersebut sama dengan jumlah sample sinyal semula. Maka dari itu dilakukan down-sampling (penyamplingan ulang dengan jarak sampling yang lebih lebar) dengan faktor 2 pada keluaran filter tersebut.

Penyusunan ulang (rekonstruksi) sinyal semula memungkinkan dilakukan dengan menggunakan filter bank sintesa (Strang & Nguyen, 1997 op.cit. Merry,2005). Pada bank sintesa, sinyal diterapkan up-sampling (penyamplingan ulang dengan jarak sampling yang lebih kecil) terlebih dahulu dengan faktor 2, kemudian sinyal dilewatkan pada Filter $L'(n)$ dan $H'(n)$, dimana $L'(n)$ adalah low-pass (tapis lolos rendah) rekonstruksi dan $H'(n)$ adalah high-pass (tapis lolos tinggi) rekonstruksi. Kedua filter rekonstruksi tersebut didisain berdasarkan filter-filter pada bank analisa sebelumnya. Keluaran dari filter-filter rekonstruksi tersebut kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan sinyal rekonstruksi yang idealnya adalah persis sama dengan sinyal semula.

Keluaran pada tiap-tiap filter dalam bank analisa disebut juga sebagai *sub-band*, dan teknik pemfilteran dengan filter-bank ini juga disebut *subband-coding*.



Gambar. 2.4. Filter bank 2 saluran (Merry, R.J.E., 2005)

2.3.3.2. Down-sampling dan Up-sampling (Subsampling)

Filter low-pass dan high-pass membagi kandungan frekuensi menjadi dua. Kemudian dilakukan downsampling dengan faktor dua untuk menghilangkan perulangan (*redundancy*). Jika setengah dari sample sinyal yang difilter ($c_l(n)$ dan $c_h(n)$) dihilangkan, maka masih akan memungkinkan untuk merekonstruksi sinyal $x(n)$ (Strang & Nguyen, 1997 op.cit. Merry,2005). Proses downsampling ($\downarrow 2$) hanya menyimpan nilai-nilai komponen genap matriks sinyal yang diproses. Dalam domain frekuensi, efek dari penghilangan informasi ini disebut aliasing. Jika teorema sampling Shannon dipenuhi maka sinyal tidak akan mengalami kehilangan informasi (Strang & Nguyen, 1997, Kraker 2000 op.cit. Merry,2005). Teorema sampling Shannon selanjutnya menyatakan bahwa downsampling suatu sinyal dengan faktor M menghasilkan sebuah sinyal yang spektrumnya dapat dihitung dengan mempartisi/membagi spektrum aslinya menjadi M pita berlebar sama dan kemudian menjumlahkan pita-pita frekuensi tersebut (Schneider, 2001 op.cit. Merry,2005).

Dalam bank sintesa sinyal pertama-tama diterapkan proses upsampling sebelum filtering. Proses upsampling dengan faktor 2 ($\uparrow 2$) dilakukan dengan menambahkan nilai-nilai nol diantara sample-sample yang ada pada sinyal awal

(Gambar 2.5). Melakukan downsampling terlebih dahulu pada sinyal dan kemudian melakukan upsampling tidak akan mengembalikan sinyal semula.

$$x = \begin{bmatrix} \cdot \\ x(0) \\ x(1) \\ x(2) \\ x(3) \\ x(4) \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (\downarrow 2)x = \begin{bmatrix} \cdot \\ x(0) \\ x(2) \\ x(4) \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (\uparrow 2)(\downarrow 2)x = \begin{bmatrix} \cdot \\ x(0) \\ 0 \\ x(2) \\ 0 \\ x(4) \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Persamaan 2.4 Ilustrasi proses *down-sampling* dan *up-sampling*

Transpose dari $\downarrow 2$ adalah $\uparrow 2$. Karena transpose dilakukan dengan urutan terbalik maka sintesa dapat dilakukan sebagai transpose dari analisa. Lebih jauh lagi $\downarrow 2 \cdot \uparrow 2 = I$, selama $\uparrow 2$ adalah inverse yang benar dari $\downarrow 2$. Hal ini mengindikasikan bahwa memungkinkan untuk mendapatkan sinyal awal dengan upsampling dan downsampling. Dengan terlebih dahulu menambahkan sample-sample berupa nilai nol dan kemudian menghilangkannya maka sinyal awal akan didapatkan kembali (Merry, R.J.E., 2005).

2.3.3.3 Rekonstruksi Sempurna

Untuk mendapatkan rekonstruksi sinyal yang sempurna, filter bank haruslah bioorthogonal. Selain itu, beberapa kriteria disain untuk analisa dan sintesa harus dipenuhi untuk mencegah terjadinya aliasing dan distorsi.

Pada filter bank 2 saluran (channel) seperti pada gambar 2.4, filter $L(n)$ dan $H(n)$ membagi sinyal menjadi dua pita frekuensi, dimana $L(n)$ dan $H(n)$ masing-masing adalah low-pass dan high-pass filter. Jika filter-filter tersebut betul-betul sempurna maka proses down-sampling tidak akan menghilangkan informasi yang terdapat pada sinyal. Tetapi bagaimanapun, filter yang sempurna tersebut tidak

dapat diterapkan dalam prakteknya, sehingga pita transisi akan muncul. Selain aliasing, hal ini akan menghasilkan distorsi amplitudo dan fasa pada tiap saluran dari pita filter-filter tersebut. Untuk bank filter 2 saluran seperti pada gambar 2.4, aliasing dapat diantisipasi dengan mendisain filter-filter sintesa sehingga :

$$L'(n) = H(-n) \quad (2.5)$$

$$H'(n) = -L(-n) \quad (2.6)$$

Sedangkan untuk menghilangkan distorsi, harus didefinisikan sebuah filter produk dimana $Po(n) = L'(n) L(n)$. Distorsi dapat dihindari jika $Po(n) - Po(-n) = 2n^{-N}$, dimana N adalah delay(jeda) keseluruhan pada bank filter. Secara umum filter orde ke- N akan menghasilkan delay sebanyak N sample pula. Sehingga bisa disimpulkan rekonstruksi sempurna dapat didisain dalam dua langkah :

1. Mendisain low pass filter Po yang memenuhi $Po(n) - Po(-n) = 2n^{-N}$
2. Memfaktorkan Po menjadi $L'(n) L(n)$ dan dengan menggunakan kriteria $L'(n) = H(-n)$ dan $H'(n) = -L(-n)$ kita dapat menghitung $H(n)$ dan $H'(n)$.

2.3.3.4 Analisa Multiresolusi

Transformasi wavelet kontinyu dihitung dengan mengubah skala dari jendela analisa, menggeser jendela sepanjang sumbu waktu, mengalikannya dengan sinyal dan melakukan integrasi pada keseluruhan sumbu waktu. Dalam transformasi wavelet diskrit, filter-filter dengan rentang frekuensi yang berbeda-beda digunakan untuk menganalisa sinyal pada skala yang berbeda-beda. Sinyal dilewatkan ke dalam sekumpulan filter high-pass (lolos tinggi) untuk menganalisa komponen sinyal berfrekuensi tinggi, dan dilewatkan pula ke dalam sekumpulan filter low-pass (lolos rendah) untuk menganalisa komponen sinyal berfrekuensi rendah.

Resolusi sinyal yang merupakan ukuran dari banyaknya detil informasi yang terkandung di dalam sinyal diubah-ubah oleh operasi filtering, dan skala diubah-ubah oleh proses downsampling dan upsampling. Proses downsampling berarti pengurangan laju sampling (cuplik) atau menghilangkan beberapa sample sinyal.

Sebagai contoh, subsampling dengan faktor 2 berarti menghilangkan satu sample dari dua sample. Sementara proses upsampling berarti sinyal berarti penambahan laju sampling (cuplik) dengan menambahkan sample-sample baru diantara sample-sample yang sudah ada. Sebagai contoh, upsampling dengan faktor 2 berarti menambahkan satu sample diantara dua sample yang sudah ada.

Prosedure dimulai dengan melewati sinyal kedalam low-pass filter yang memiliki respon impulse $L(n)$. Filtering sinyal ini berarti melakukan operasi konvolusi antara sinyal dengan respon impulse filter. Operasi konvolusi dalam waktu diskrit ini didefinisikan sebagai :

$$x[n] \bullet L[n] = \sum_{-\infty}^{\infty} x[n] \bullet L[n-k] \quad (2.7)$$

Lowpass filter menghilangkan semua frekuensi diatas setengah frekuensi tertinggi yang terkandung pada sinyal awal. Sebagai contoh, jika sinyal awal memiliki komponen dengan frekuensi tertinggi 1000 Hz, maka pemfilteran lowpass ini akan menghilangkan komponen-komponen sinyal berfrekuensi lebih besar dari pada 500 Hz.

Setelah melewati sinyal kedalam filter lowpass yang pertama ini, setengah dari sample yang ada dapat dihilangkan berdasarkan aturan Nyquist. Dengan menghilangkan satu sample dari dua sample yang berurutan berarti kita melakukan proses downsampling, dan sekarang sinyal hanya memiliki jumlah sample setengah dari jumlah sample sinyal awal. Proses ini setara dengan menduakalilipatkan skala.

Proses ini dalam ekspresi matematika dinyatakan sebagai :

$$y[n] = \sum_{-\infty}^{\infty} L[k] \bullet x[2n-k] \quad (2.8)$$

Dari uraian diatas dapat dikatakan bahwa transformasi wavelet diskrit menganalisa sinyal pada pita-pita frekuensi yang berbeda dengan resolusi yang berbeda dengan mendekomposisi atau menguraikan sinyal menjadi informasi aproksimasi dan detil. Dalam hal ini, transformasi wavelet diskrit menggunakan dua fungsi yang disebut fungsi skaling dan fungsi wavelet, dimana fungsi-fungsi

tersebut adalah lowpass dan highpass filter. Setelah proses filtering, setengah dari sample dapat dihilangkan. Proses ini disebut level pertama dekomposisi dan secara matematika dapat diekspresikan sebagai :

$$y_{high}[k] = \sum_n x[n] \cdot H[2k - n] \quad (2.9)$$

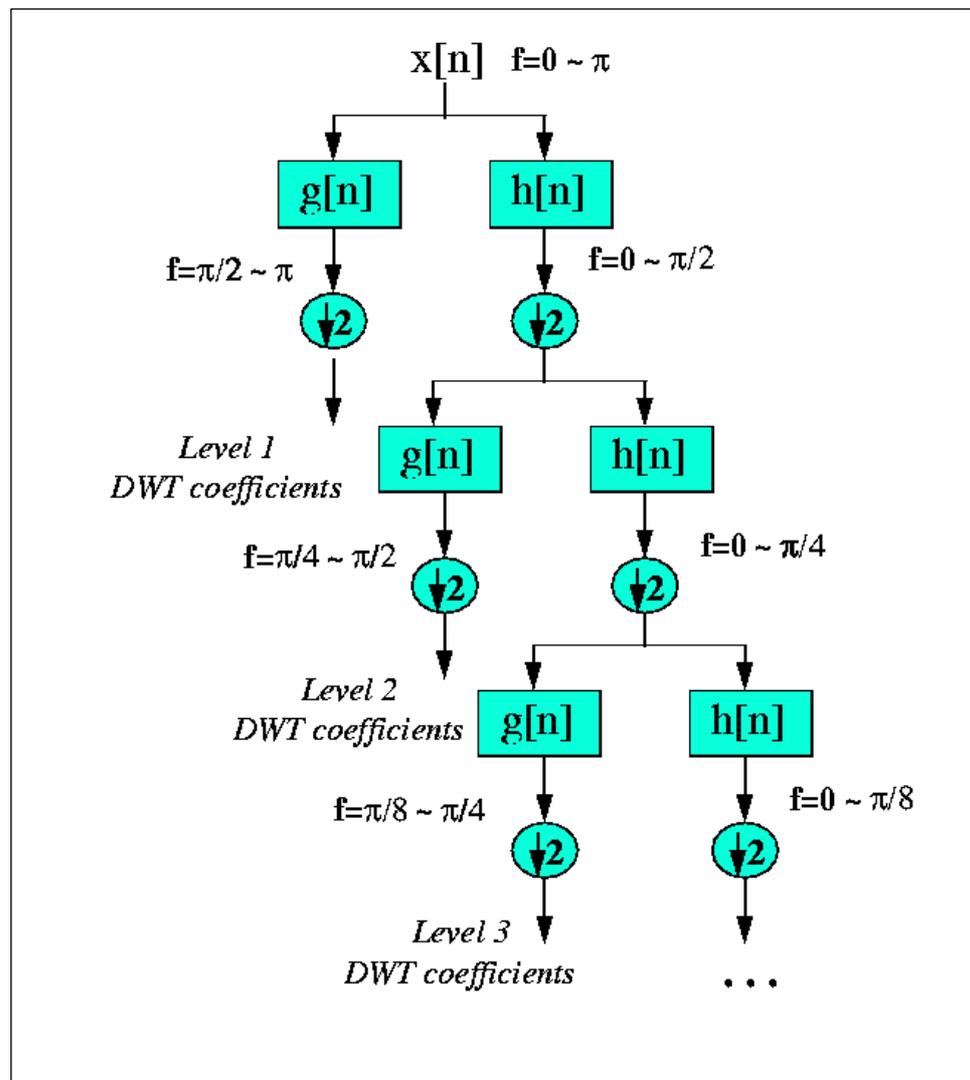
$$y_{low}[k] = \sum_n x[n] \cdot L[2k - n] \quad (2.10)$$

Dimana $y_{high}[k]$ dan $y_{low}[k]$ adalah keluaran dari highpass dan lowpass filter setelah subsampling dengan faktor 2

Proses dekomposisi ini membuat resolusi waktu menjadi setengah karena hanya setengah dari jumlah sample yang membentuk keluaran masing-masing filter. Tetapi proses ini membuat resolusi frekuensi menjadi duakalilipat.

Prosedur diatas yang dikenal sebagai *subband coding* dapat diulang untuk dekomposisi pada level-level berikutnya. Pada setiap level, proses filtering dan subsampling akan menghasilkan pengurangan setengah jumlah sample (sehingga membuat resolusi waktu menjadi setengah dari resolusi waktu awal) dan pengurangan setengah dari lebar frekuensi (sehingga menduakalilipatkan resolusi frekuensi).

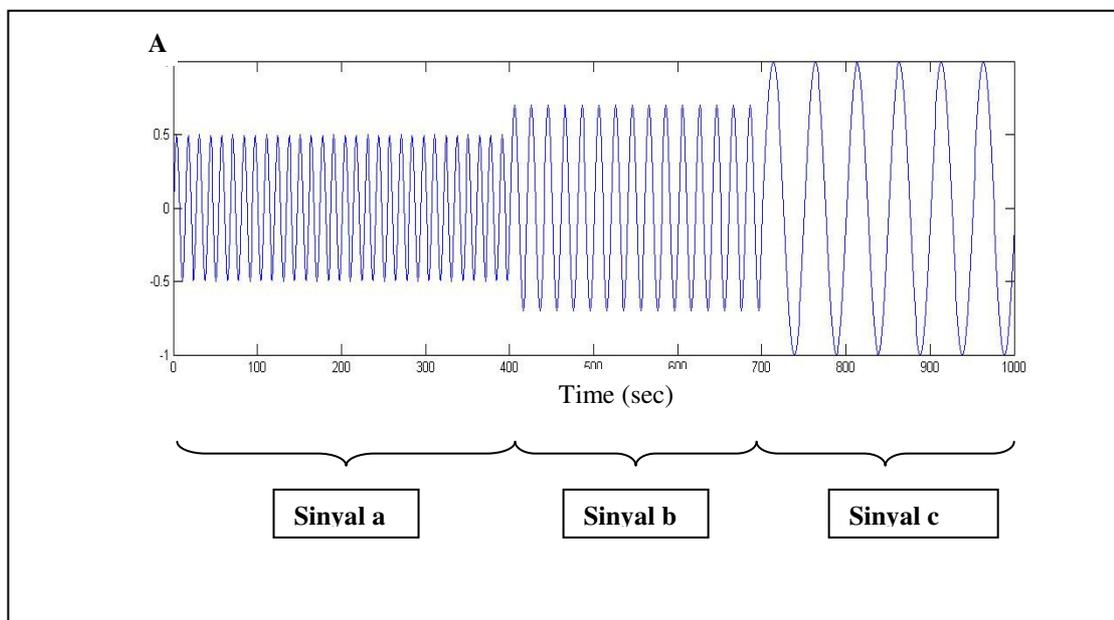
Gambar 2.5 mengilustrasikan prosedur diatas, dimana $x[n]$ adalah sinyal awal yang akan didekomposisi, $h[n]$ dan $g[n]$ masing-masing adalah lowpass dan highpass filter. Lebar pita frekuensi dalam gambar ini ditandai dengan “f”.



Gambar. 2.5 Prosedur filtering dan subsampling dalam subband coding. (Merry, R.J.E., 2005)

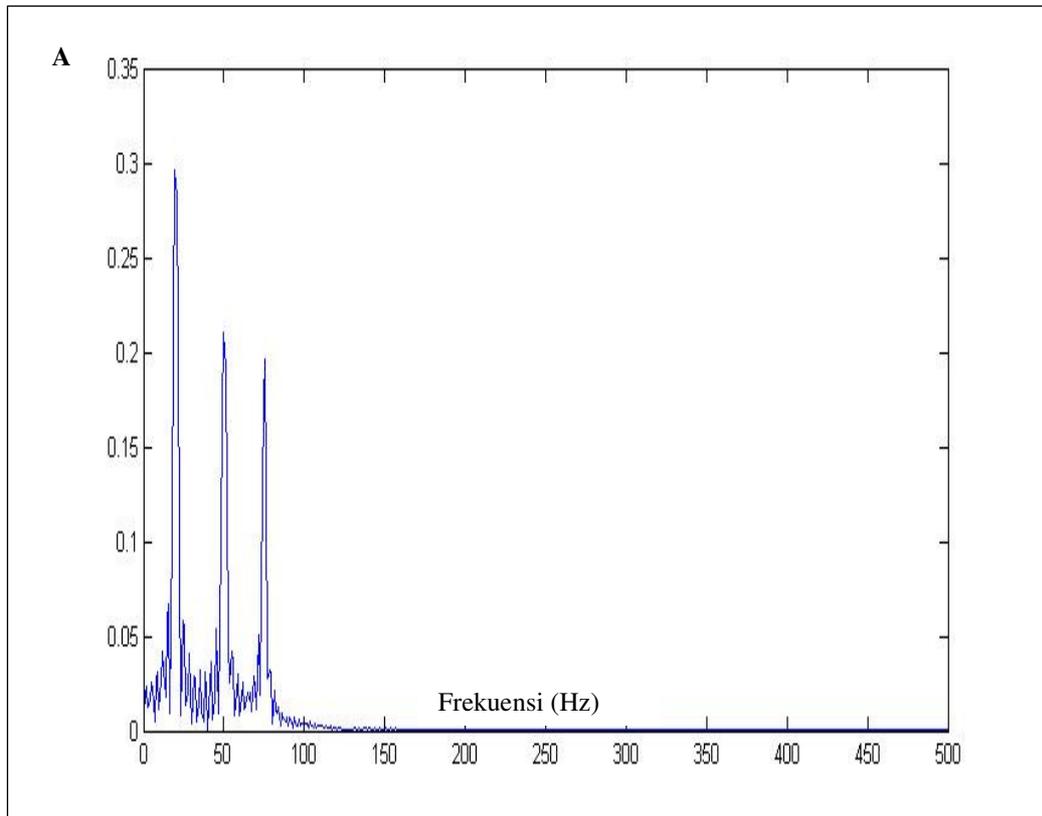
2.3.3.5 Contoh Pemisahan Komponen Gelombang dengan Transformasi Wavelet Diskrit.

Misalkan kita memiliki sebuah sinyal S dengan komponen sinyal-sinyal sinusoidal a , b dan c , dimana sinyal a berfrekuensi 75 Hz dan muncul pada periode waktu 1 – 400 sec, sinyal b berfrekuensi 50 Hz dan muncul pada periode waktu 401 – 700 sec, dan sinyal c berfrekuensi 20 Hz yang muncul pada periode waktu 700 – 1000 sec. Sinyal S tersebut akan terlihat seperti gambar 2.6 berikut.



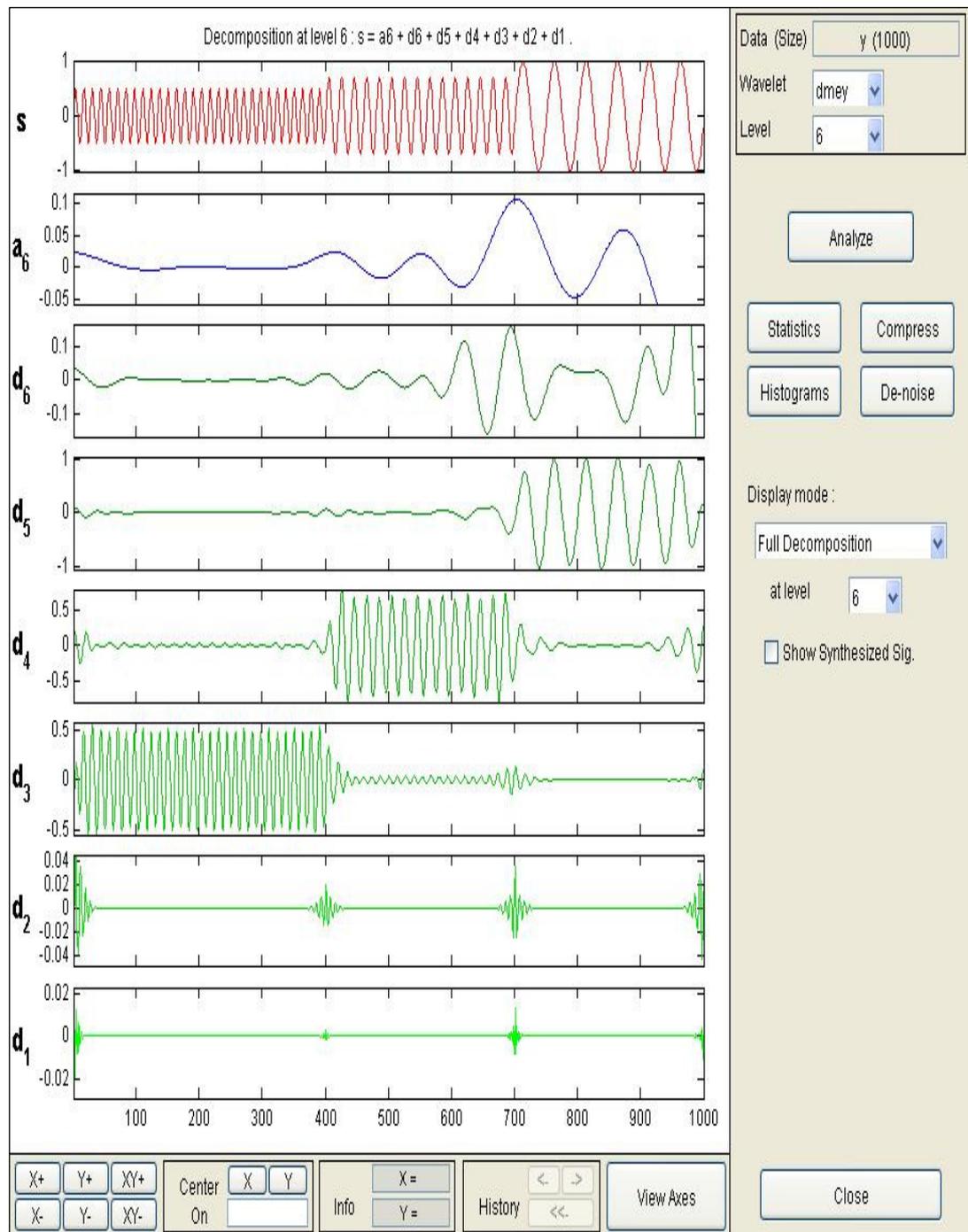
Gambar. 2.6 Sebuah sinyal S dengan 3 komponen sinyal sinusoidal yang muncul pada waktu yang berbeda.

Transformasi Fourier dari sinyal S diatas adalah seperti gambar berikut.



Gambar 2.7. Transformasi Fourier dari sinyal S

Transformasi wavelet diskrit dari sinyal S adalah seperti gambar berikut.



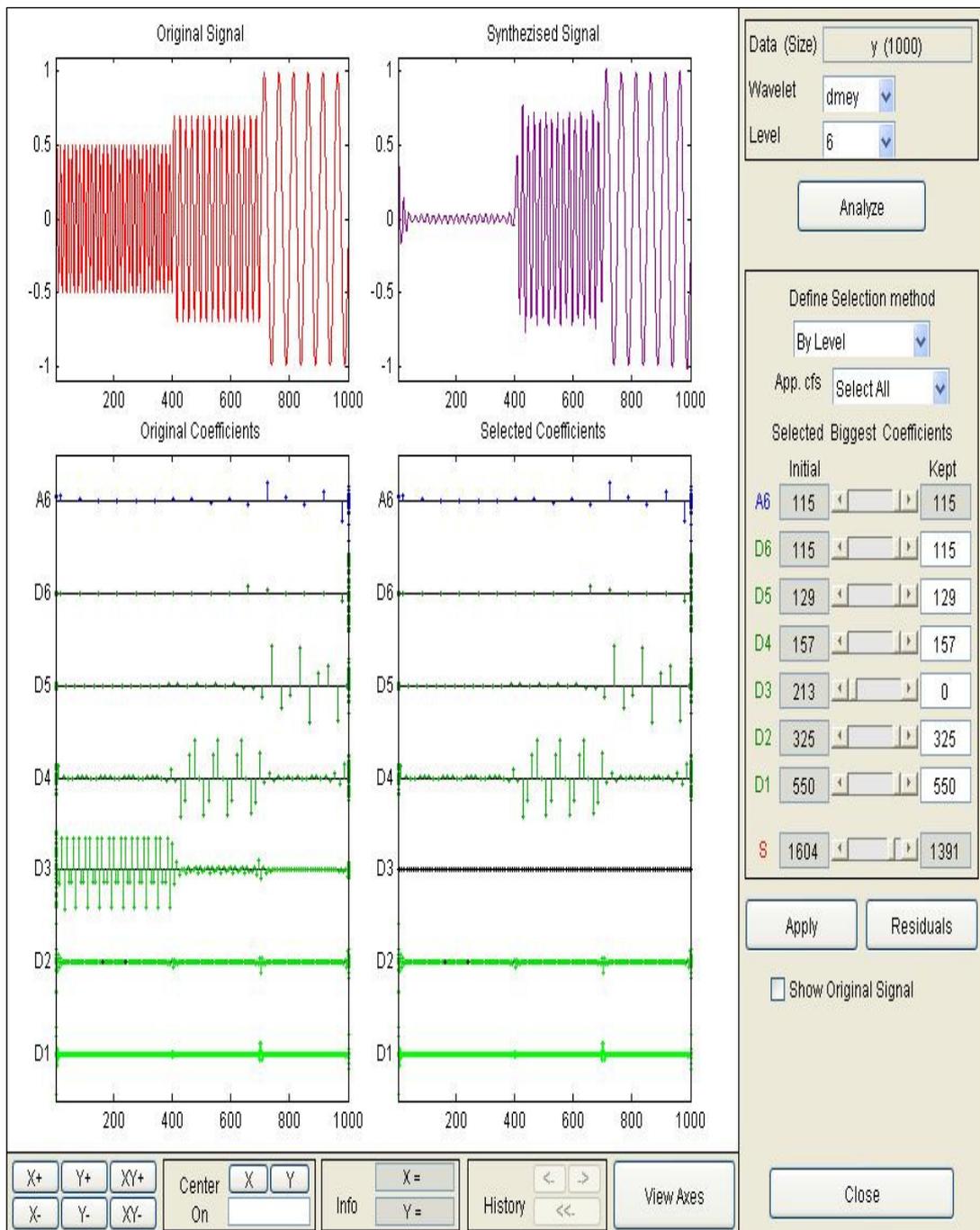
Gambar 2.8 Dekomposisi sinyal A dengan transformasi wavelet diskrit

Dari kedua transformasi diatas dapat kita lihat bahwa pada transformasi Fourier kita hanya bisa mengetahui komponen frekuensi apa saja yang terdapat pada sebuah sinyal tanpa mengetahui pada waktu atau jarak berapa komponen-komponen sinyal tersebut muncul. Sementara pada transformasi wavelet diskrit (dan juga transformasi wavelet kontinyu) kita dapat mengetahui komponen-komponen sinyal apa saja yang terdapat pada sebuah sinyal sekaligus mengetahui pada waktu atau jarak berapa komponen-komponen tersebut muncul.

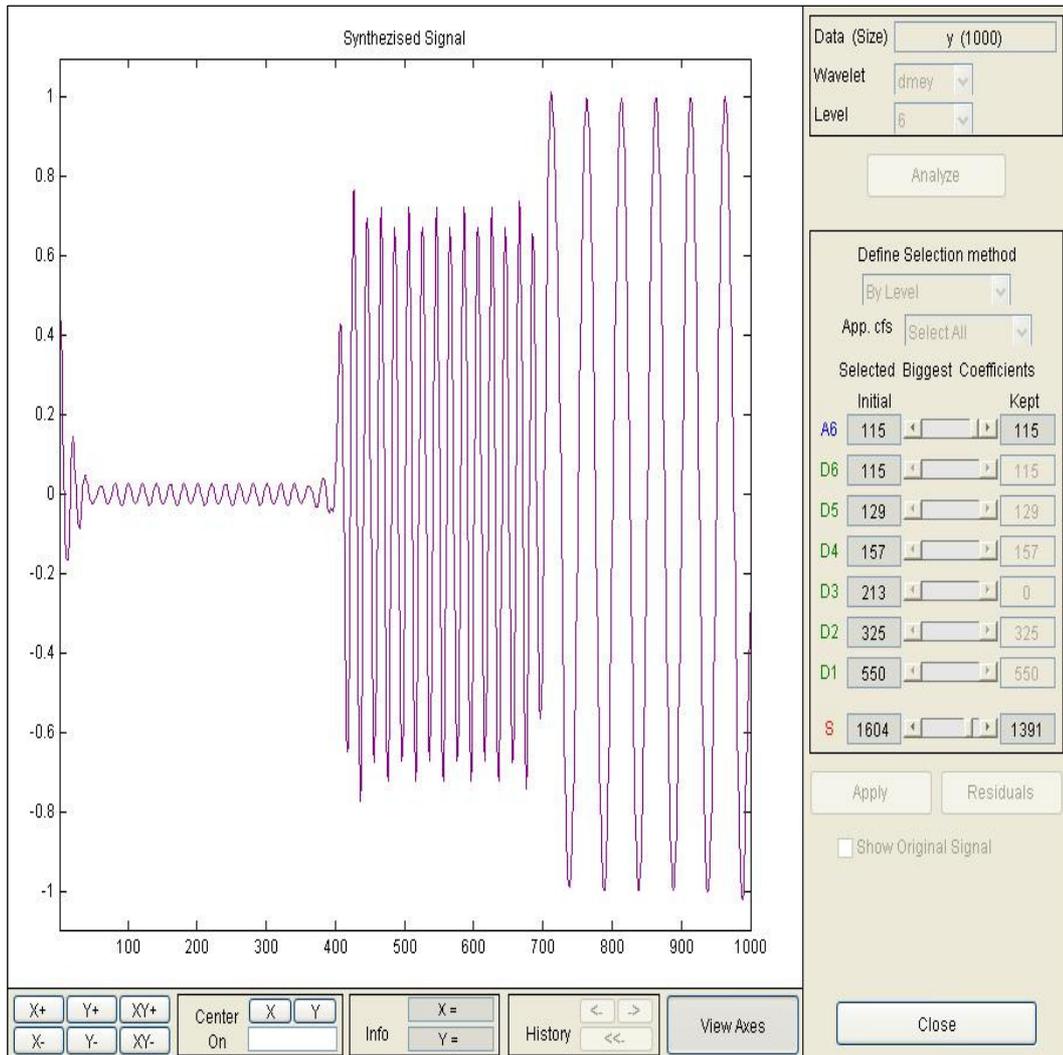
Pada gambar 2.8 kita dapat melihat komponen sinyal berfrekuensi 75 muncul pada d_3 , dimana d_3 ini memiliki rentang frekuensi 63,75 Hz hingga 187,5 Hz, sehingga sinyal dengan frekuensi 75 Hz akan muncul pada jendela d_3 . Sementara itu komponen sinyal berfrekuensi 50 muncul pada d_4 , dimana d_4 memiliki rentang frekuensi 46,875 hingga 63,75. Dan komponen sinyal berfrekuensi terendah, yaitu 20 Hz muncul pada d_5 , dimana d_5 ini memiliki rentang frekuensi 23,4375 hingga 48,875.

Bila kita ingin menghilangkan atau memodifikasi nilai-nilai suatu komponen maka kita dapat melakukannya dengan mengakses nilai-nilai koefisien pembentuk nilai-nilai detil (d) tersebut atau langsung mengakses nilai detil itu sendiri.

Misalkan kita ingin menghilangkan komponen dengan frekuensi 75, maka kita dapat melakukannya dengan mengeset nilai-nilai koefisien d_3 menjadi nol, lalu merekonstruksi balik dengan menggunakan nilai-nilai koefisien yang sudah diset (Gambar 2.9 dan 2.10).



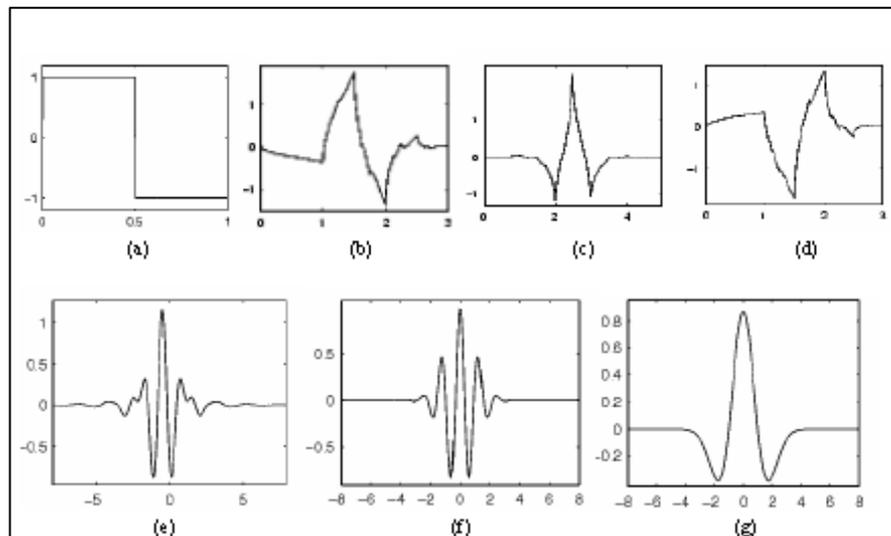
Gambar. 2.9. Proses pembuangan komponen sinyal berfrekuensi 75 Hz



Gambar. 2.10. Sinyal sintesa setelah komponen d3 (komponen berfrekuensi 75 Hz) dihilangkan.

2.3.4 Kelompok Wavelet

Terdapat sejumlah fungsi basis yang dapat digunakan sebagai mother wavelet untuk transformasi wavelet. Karena mother wavelet menghasilkan semua fungsi wavelet yang digunakan dalam transformasi melalui proses penskalaan dan pergeseran, hal ini menentukan karakteristik transformasi wavelet yang dihasilkan. Oleh karena itu, detil dari penerapan khusus harus dipertimbangkan dan diperhatikan, dan pemilihan wavelet yang cocok harus dilakukan untuk mendapatkan hasil transformasi wavelet yang efektif. Gambar 2.11 dibawah ini memperlihatkan beberapa fungsi wavelet yang paling sering digunakan. Untuk kelompok wavelet yang lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 1.



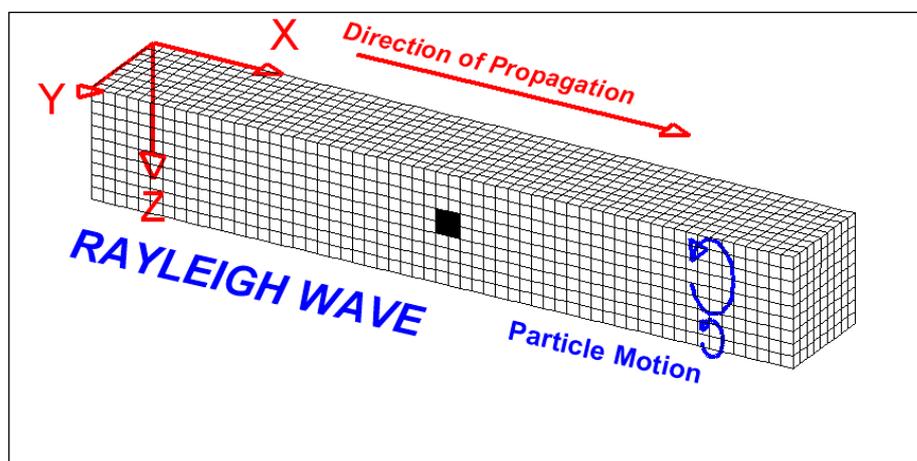
Gambar 2.11. Kelompok Wavelet (a) Haar (b) Daubechies (c) Coiflet1 (d) Symlet2 (e) Meyer (f) Morlet (g) Mexican Hat. (Merry, R.J.E., 2005)

2.4 Gelombang Ground-roll

Gelombang ground-roll adalah salah satu gelombang permukaan yang terbentuk akibat pencampuran antara gelombang P dan gelombang S pada bidang vertikal (SV). Gelombang ini disebut juga sebagai gelombang Rayleigh semu, terbentuk bila ada pelapisan tipis tepat dibawah permukaan yang dapat berfungsi sebagai pemandu gelombang permukaan (Munadi,2000)

Pada media yang terkena gelombang ini, maka partikel media akan bergerak membentuk pola elips pada bidang vertikal, sementara perambatan gelombang ke arah lateral (Gambar 2.12). Amplitudo gelombang ini berkurang seiring kedalaman dan kecepatannya berkisar 2.0 hingga 4,5 km/detik tergantung pada frekuensinya (Braille, 2010)

Gelombang ini bersifat dispersif, artinya fekuensinya berubah seiring dengan perambatannya.



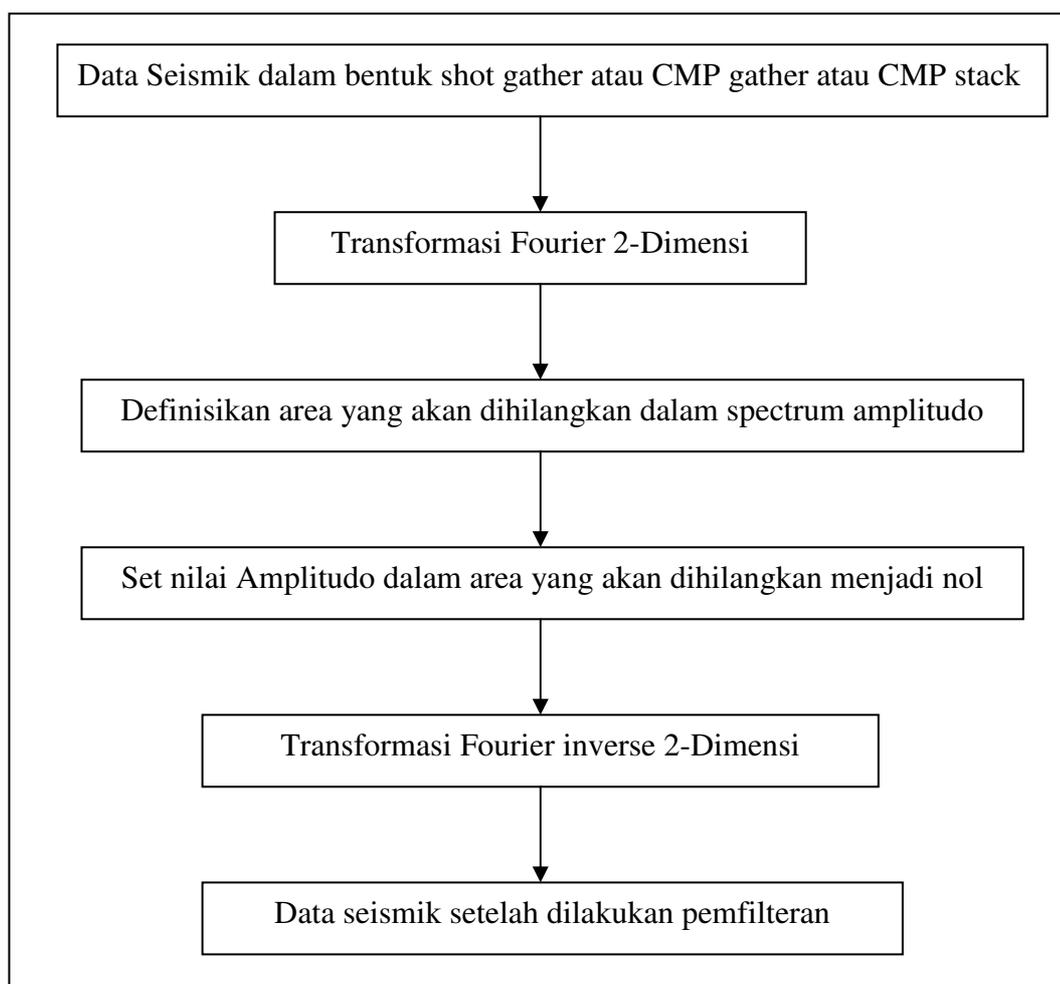
Gambar 2.12. Ilustrasi gelombang ground-roll pada media (Braille, L., 2010)

2.6 Beberapa Metode Pemfilteran Gelombang Ground-roll

2.6.1 F-K Dip Filtering

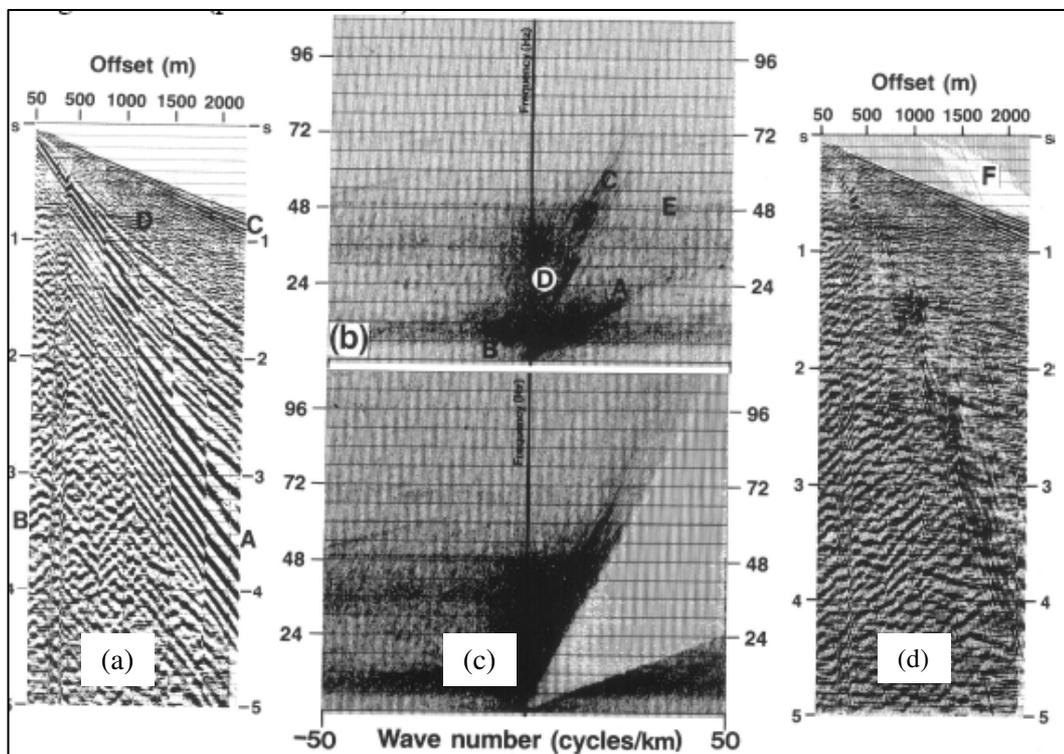
Teknik pemfilteran noise yang cukup umum dan mudah dilakukan adalah F-K dip filtering. Event yang memiliki kemiringan dalam domain (t,x) dapat dipisahkan dalam domain (f-k). Pemisahan ini memungkinkan kita untuk membuang sinyal-sinyal yang tidak diinginkan seperti ground-roll, guided waves dan side-scattered energi yang biasanya kenampakannya cukup jelas dalam data rekaman seismik (Yilmaz, 1987).

Langkah-langkah dalam melakukan F-K dip filtering ini adalah seperti diagram di bawah ini :



Gambar 2.13. Diagram alir proses F-K dip filtering. (Yilmaz, 1987)

Contoh penerapan teknik pemfilteran F-K dip filtering ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



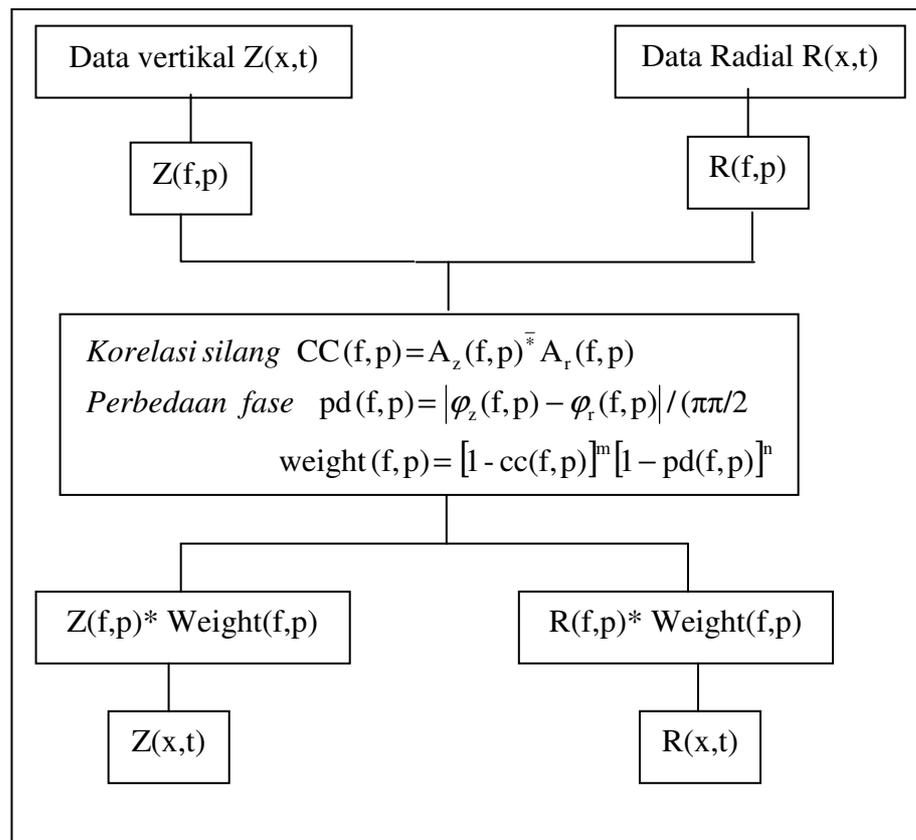
Gambar 2.14. Contoh Penerapan F-K dip filtering pada data seismic shot gather. (Yilmaz, 1987)

Pada contoh penerapan F-K dip filtering diatas, data yang digunakan adalah data shot gather noise tes dengan spasi tras 10 m. Seperti terlihat pada gambar, data awal mengandung banyak sekali bising yang kemudian dalam domain f-k masing-masing bising terpisahkan satu sama lain. Pada gambar bagian b diatas, dalam domain f-k sinyal yang ditandai A adalah sinyal gelombang ground roll, B adalah sinyal bising backscattered dan C adalah sinyal gelombang guided (guided waves). Sementara itu sinyal refleksi primer berkumpul di sekitar sumbu vertikal dan ditandai dengan huruf D pada gambar diatas. Bagian d pada gambar diatas adalah hasil pemfilteran setelah area atau sinyal yang tidak diinginkan di-set menjadi nol dan ditransformasi balik ke domain (t,x) dengan transformasi Fourier inverse 2 Dimensi. Seperti terlihat pada gambar bagian d, sinyal gelombang ground-roll dapat dihilangkan dari data, sementara bising back-scattered masih tersisa pada data tersebut.

2.6.2 Metode Pemfilteran f-v

Dalam metode ini dilakukan transformasi horizontal dan vertical terhadap komponen data dari (x,t) ke (τ,p) dan kemudian ke (f,p) dengan transformasi Fourier 1 Dimensi. Dengan menampilkan data (f,v) dalam peta kontur akan memungkinkan kita untuk memisahkan gelombang ground-roll dan bising-bising lain dari data sinyal refleksi. Setelah menentukan area yang merupakan area gelombang ground-roll, maka kita dapat menghapus atau menset nilai nol (0) pada area tersebut dan kemudian mentransformasi balik data tersebut ke dalam domain (τ,p) dan (x,t) untuk mendapatkan hasilnya. Seperti halnya f-k filter penghapusan atau pengesetan nilai nol pada area yang diinginkan dilakukan secara manual.

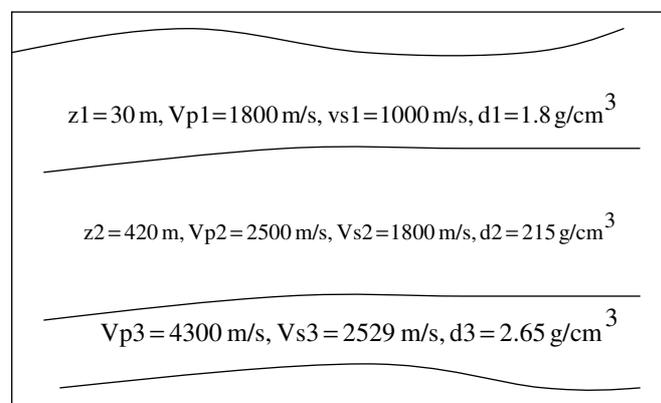
Pada umumnya gelombang ground-roll memiliki perbedaan fasa 90° antara komponen vertical dan horizontalnya. Pertama kita menghitung perbedaan fase kedua komponen data dalam domain (f,p) dan mendisain sebuah filter untuk menghapus event dengan perbedaan fase sekitar 90° . Pada umumnya kita akan mendapatkan gelombang P yang kecil pada channel radial dan gelombang S yang kecil pada channel vertical. Bagaimanapun juga kita berharap mendapatkan gelombang ground-roll yang signifikan pada kedua channel, sehingga kita dapat melakukan korelasi silang pada kedua komponen data dalam domain (f,p) dan mendisain sebuah filter menggunakan korelasi silang untuk menekan gelombang ground-roll. Prosedur metode ini dapat digambarkan seperti diagram di bawah ini. (Song, Y.Y dan Stewart R.R., 1993)



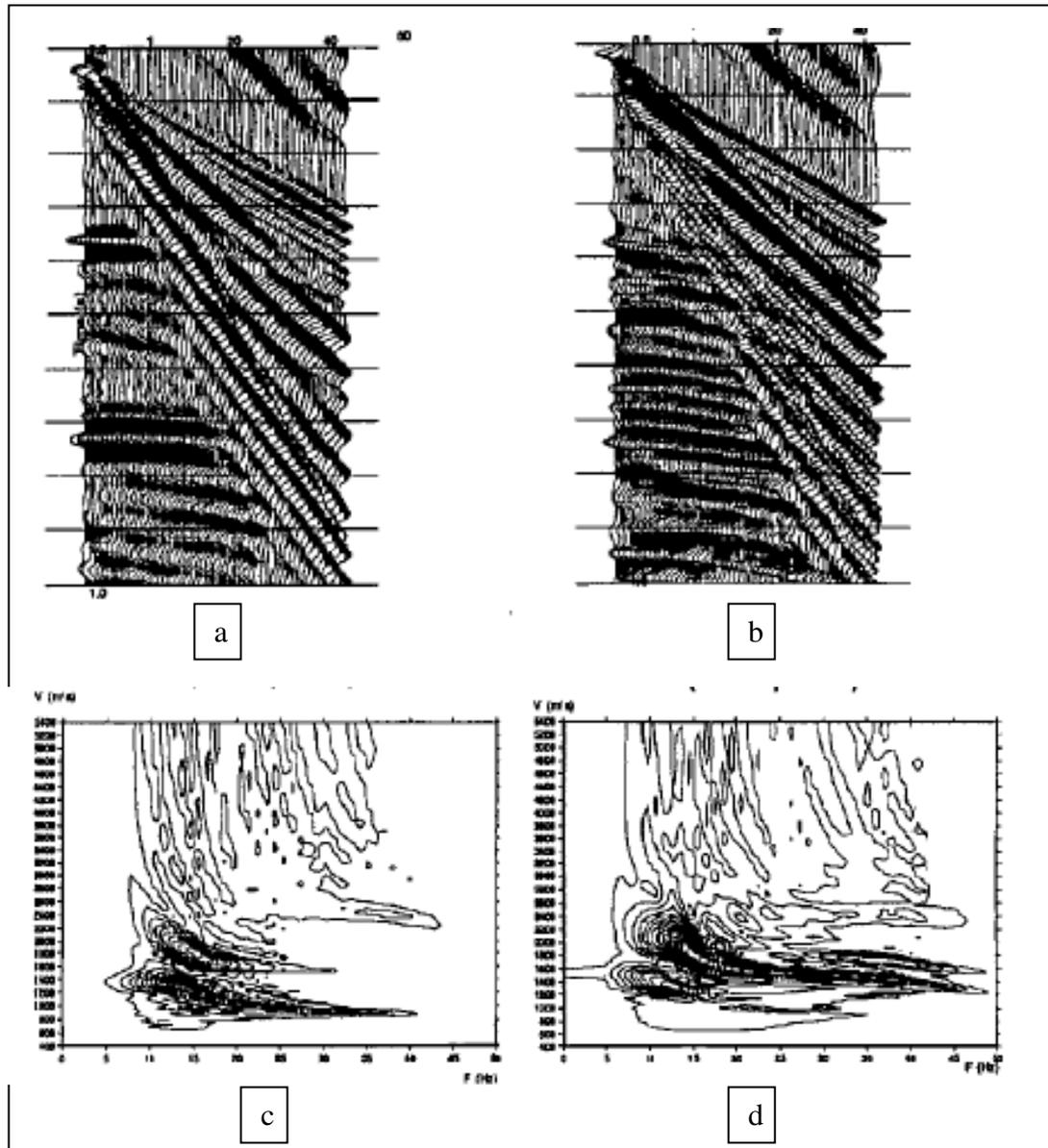
Gambar 2.15. Diagram alir pemrosesan data (Song, Y.Y dan Stewart R.R., 1993)

Aplikasi Pada Data Sintetik

Proses yang diterangkan di atas diterapkan pada data sintetik dengan model seperti pada gambar 2. Data mentah dan transformasi f-v data tersebut adalah seperti diperlihatkan pada gambar 3. Sementara hasil pemfilteran dengan metode ini diberikan pada gambar 4 dan 5.

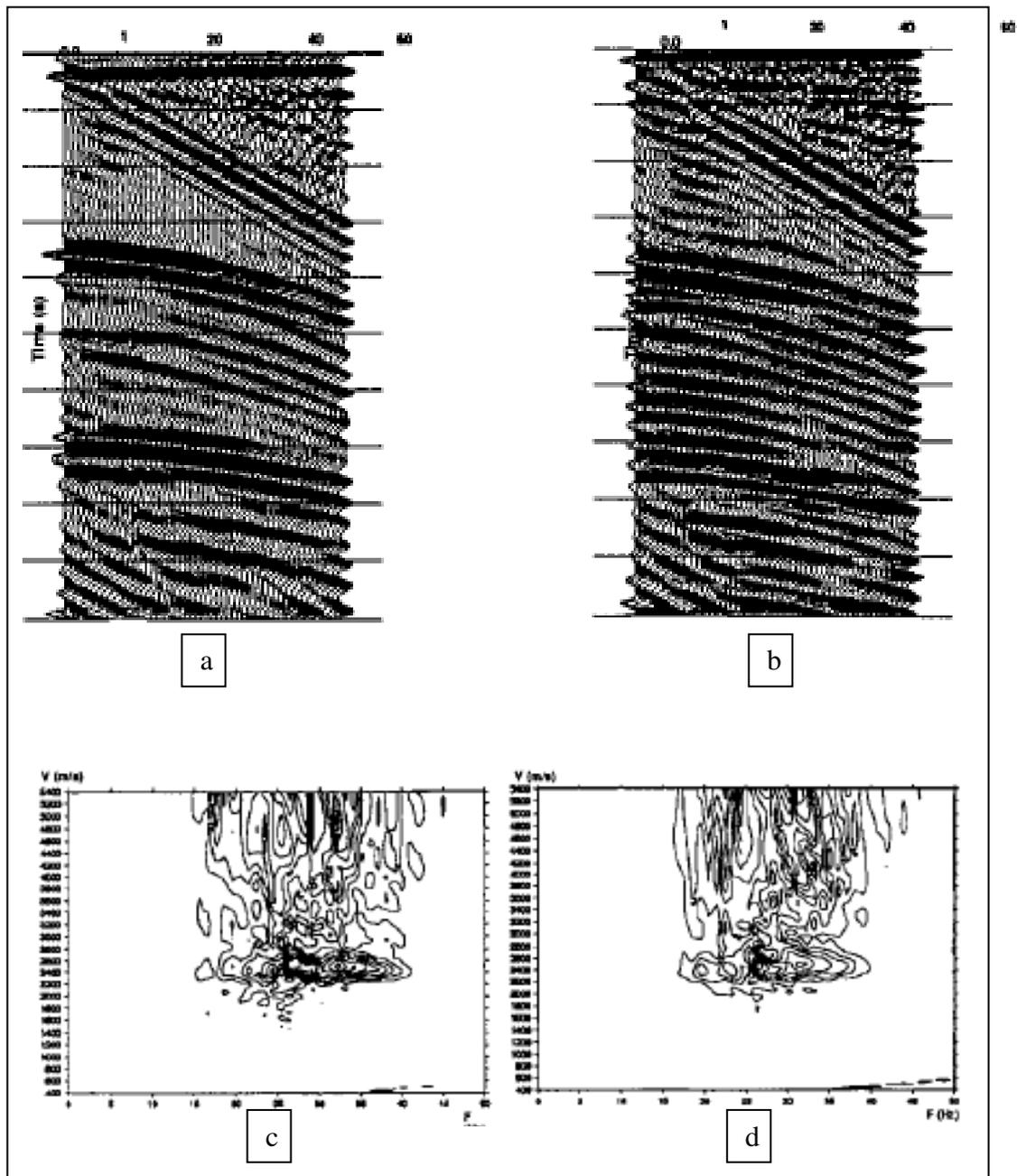


Gambar 2.16. Model yang digunakan pada data sintetik (Song, Y.Y dan Stewart R.R., 1993)



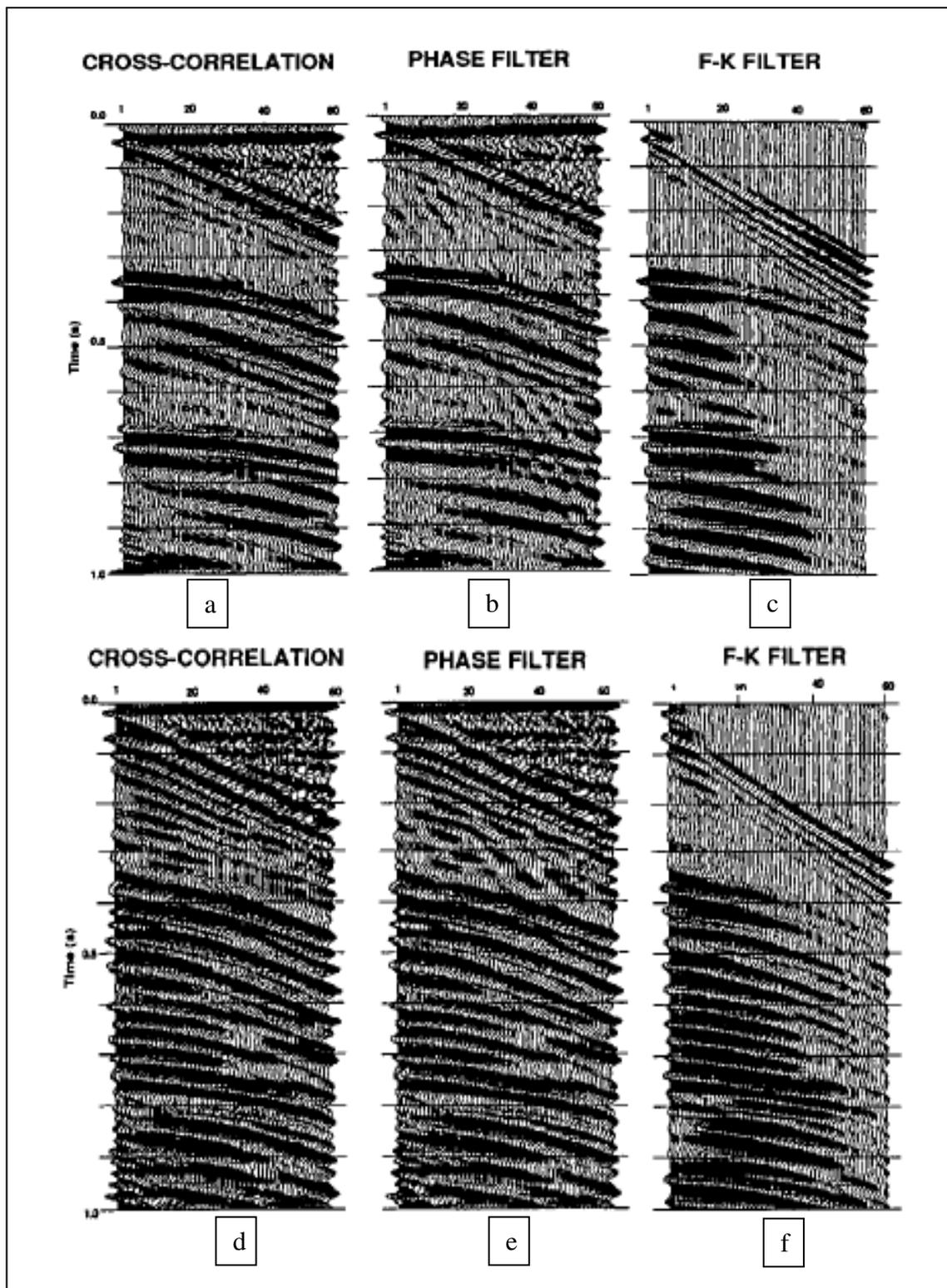
Gambar 2.17. Data sintetik yang dihitung berdasarkan model pada gambar x.
 (a). Data sintetik komponen Z dengan AGC (b). Data sintetik komponen R dengan AGC
 (c). Data sintetik komponen Z dalam domain F-V
 (d) Data sintetik komponen R dalam domain F-V (Song, Y.Y dan Stewart R.R., 1993)

Gambar bagian (a) dan (b) diatas adalah data sintetik komponen Z dan R yang dihitung berdasarkan model yang dibuat pada gambar sebelumnya. Pada bagian (c) dan (d) adalah representasi data tersebut dalam domain f-v. Gambar berikutnya adalah hasil pemfilteran data sintetik diatas dengan filter f-v (gambar 2.18), dan perbandingannya dengan korelasi silang dan f-k filter (gambar 2.19).



Gambar 2.18. (a). Komponen vertikal dan (b) Komponen radial data sintetis setelah pemfilteran yang dilakukan dalam domain f-v. (c) dan (d) adalah representasi masing-masing dalam domain f-v. (Song, Y.Y dan Stewart R.R., 1993)

Seperti terlihat pada gambar bagian (c) dan (d) diatas, komponen sinyal (dalam domain f-v) yang diidentifikasi sebagai sinyal gelombang ground roll telah dibuang, sehingga yang tersisa dalam domain f-v tersebut adalah komponen sinyal-sinyal utama.



Gambar 2.19. Perbandingan hasil pemfilteran dengan korelasi silang dan filter fasa dengan f-k filter. (a), (b) dan (c) adalah komponen vertikal hasil pemfilteran dengan korelasi silang, filter fasa dan f-k filter. Sementara (d), (e), dan (f) adalah komponen radial hasil pemfilteran dengan korelasi silang, filter fasa dan f-k filter. (Song, Y.Y dan Stewart R.R., 1993)

Seperti terlihat pada contoh-contoh diatas, filter f-v memberikan hasil pemfilteran yang lebih rapi jika dibandingkan dengan f-k filter, dan juga lebih sensitive terhadap aliasing. Jika ada perbedaan fase 90° antara komponen vertikal dan komponen radial, kita dapat menggunakan filter perbedaan fase untuk menekan gelombang ground-roll. Sementara Jika terdapat korelasi silang yang tinggi antara komponen komponen vertikal dan radial, maka kita dapat menggunakan filter korelasi silang untuk menekan ground-roll.

2.6.3 Algoritma Wiener-Levinson

Metode ini dilakukan berdasarkan pemfilteran Wiener (Wiener filtering), yaitu suatu algoritma menggunakan kuadrat terkecil digital. Walaupun filter Wiener konvensional secara langsung tidak cocok untuk menekan gelombang ground-roll, namun dengan mendisain ulang dapat diterapkan dengan mengasumsikan ground-roll sebagai sinyal stasioner pada interval frekuensi tertentu. Sebuah sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang berubah seiring waktu, atau yang dikenal sebagai sinyal chirp atau sinyal sweep, dapat digunakan sebagai tras bising (noise) referensi untuk mengekstrak gelombang ground-roll dari tras seismic dengan melakukan proses auto dan kros korelasi. Hal terpenting dalam Wiener filter adalah algoritma ini merubah apapun sinyal input menjadi sinyal yang diinginkan, kita dapat menggunakan Wiener filter untuk menyesuaikan amplitudo dan fasa dari ground-roll dengan tras bising (noise) referensi yang telah dibuat.

Untuk membangun algoritma ini, sinyal sweep linear atau non-linear digunakan sebagai tras bising referensi. Frekuensi yang dibutuhkan dalam pembuatan tras bising referensi menggunakan sinyal sweep analitik dapat diperkirakan dengan pendekatan dalam domain spektral. Metode ini diterapkan dengan mengekstrak ground-roll dengan mengasumsikan beberapa karakteristik yang berkorelasi kemudian secara aritmatika dikurangkan dari sinyal data seismic. Dalam proses ini, penentuan seperti apa tras noise referensi dalam aplikasi dekonvolusi sangatlah penting (Bayrak dan Karsli, 2003).

Secara sintesis sebuah tras seismic $z(t)$ dapat dipenuhi oleh persamaan :

$$z_t = x_t + n_t, \text{ untuk } t = 0, \dots, T \quad (2.11)$$

dimana x_t dengan lebar T adalah konvolusi antara koefisien refleksi lapisan dan wavelet sumber, sementara n_t adalah bising koheren, yaitu ground-roll. Untuk mendisain Wiener filter, kita mendefinisikan sebuah sinyal yang disebut sinyal sweep yang mewakili noise. Sinyal tersebut akan menjadi tras bising referensi yang memiliki frekuensi yang berubah terhadap waktu. Secara analitik sinyal sweep dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$s_t = \begin{cases} \sin(2\pi F(t)t) & \text{for } 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{for } t < \text{and } t > T \end{cases} \quad (2.12)$$

Dimana $F(t)$ adalah fungsi yang menentukan karakter sinyal sweep, dimana :

$$F(t) = \begin{cases} f_b + \frac{f_e - f_b}{2T} t & \text{untuk linear} \\ f_b + \frac{f_e - f_b}{(2T)^N} t^N & \text{untuk nonlinear,} \end{cases} \quad (2.13)$$

$N = \text{DBO}/6 + 1$

Frekuensi dari fungsi $F(t)$ ini secara kontinyu berubah secara linier atau non-linear. Frekuensi f_b dan f_e adalah frekuensi awal dan akhir sinyal sweep. Parameter T adalah durasi sinyal dan nilai N bergantung pada kemiringan spectrum amplitudo dalam DBO (db/Octav). Langkah berikutnya kita memerlukan koefisien filter f_τ yang akan mengkonversi tras bising referensi pada persamaan (3.1) menjadi bising ground-roll seperti yang terdapat pada tras seismic hasil perekaman. Ketika filter f_τ dikonvolusikan dengan s_t , maka f_τ akan menyesuaikan amplitudo dan fasa dari s_t untuk mencocokkan bising seperti yang terdapat pada persamaan (3.0). Berikut adalah modifikasi Wiener filter dalam bentuk diskrit :

$$s'_t = \sum_{\tau=0}^{n-1} f_\tau s_{t-\tau} \quad (\tau=0,1, \dots, n-1) \quad (2.14)$$

Dimana s'_t adalah bising ground-roll yang diestimasi dari data tras dan n adalah jumlah koefisien filter. Diasumsikan s'_t cocok dengan n_t pada persamaan (3.0). Karena kita tidak mengetahui nilai f_t maka kita perlu mengekstraknya dari tras seismic yang terkontaminasi oleh gelombang ground-roll. Dalam hal ini kita menggunakan filter Wiener untuk mendapatkan solusinya. Tapi tidak seperti prosedur konvensional, kita mendefinisikan L sebuah fungsi error kuadrat terkecil yang didefinisikan sebagai :

$$L = \sum_t (z_t - s'_t)^2 \quad (2.15)$$

Dan bila disubstitusikan kedalam persamaan (3.3) kemudian disederhanakan, kita akan mendapatkan :

$$C_i = \sum_{\tau} f_{\tau} R_{\tau-i} \quad (2.16)$$

Penentuan koefisien filter Wiener ini membutuhkan solusi yang disebut sebagai persamaan normal yang dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} R_0 & R_1 & \dots & R_{n-1} \\ R_1 & R_0 & \dots & R_{n-2} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ R_{n-1} & R_{n-2} & \dots & R_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ \vdots \\ f_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ \vdots \\ C_{n-1} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

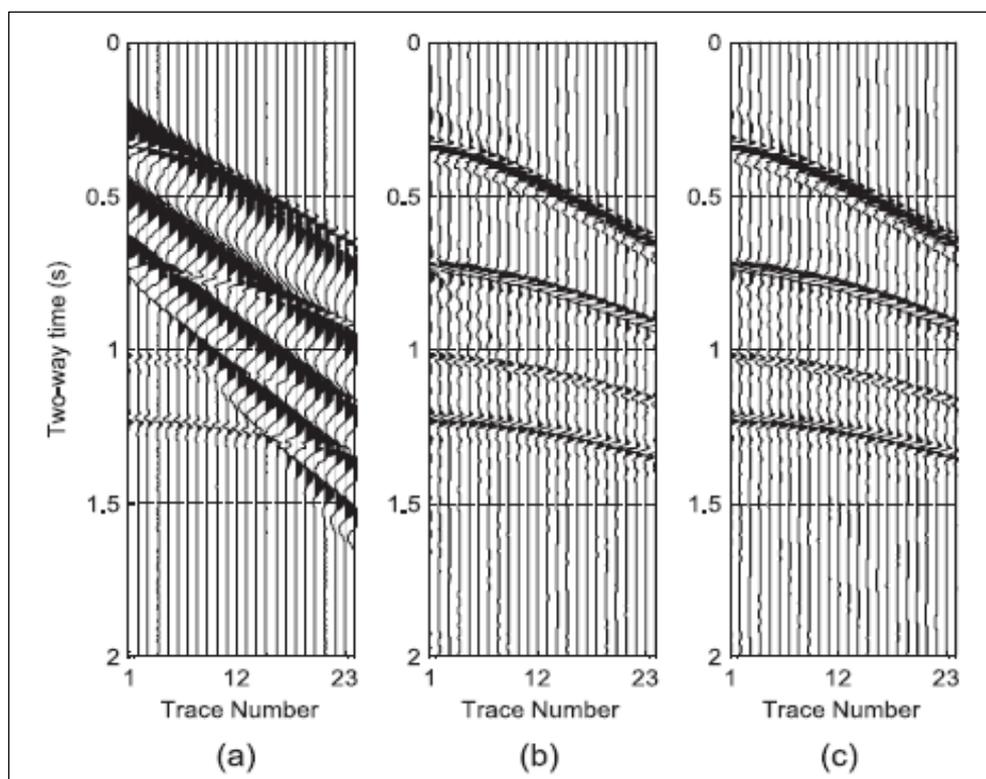
Dimana matriks ini adalah sebuah matriks khusus yang dapat dipecahkan dengan rekursi Levinson, sebuah metode yang efisien dan cepat. Pada akhirnya kita akan mendapatkan tras seismic y_t dengan mengurangi bising ground-roll yang diekstrak dari data tras z_t . Secara matematis dapat ditulis sebagai :

$$y_t = z_t - s'_t \quad (2.18)$$

Aplikasi Pada Data Sintetik dan Data Lapangan

Untuk melihat efektifitas dari metode ini, sebuah data sintetik lima lapisan dibuat menggunakan operator NMO sederhana. Kemudian sinyal sinusoidal dengan frekuensi 5-15 Hz yang mewakili ground-roll dicampurkan ke dalam data tsb.

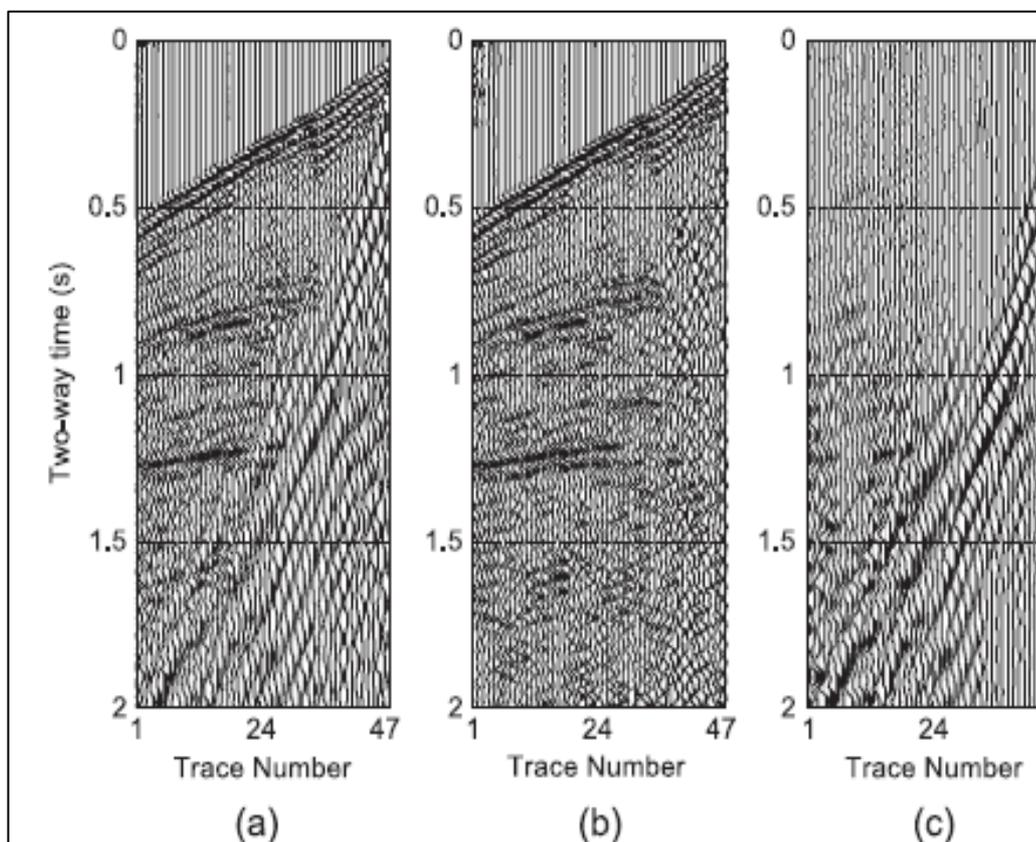
Seperti yang dapat dilihat pada gambar 2, frekuensi wavelet dan sinyal sweep saling tumpang tindih, dan pada gambar tersebut juga terlihat sinyal sinusoidal yang mewakili ground-roll ini menutupi dan mengacaukan sinyal refleksi pada offset terdekat dan terjauh. Untuk mengekstrak sinyal ground-roll dan mengurangkannya dari data menggunakan metode filter Wiener-Levinson ini, tras bising referensi baik yang linier maupun non-linear dihitung menggunakan persamaan 2. Hasil filtering yang didapat untuk tiap bising referensi yang dipakai adalah seperti terlihat pada gambar 2b. dan c.



Gambar 2.20. (a) Input data sintetik yang mengandung sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang berubah sebagai ground-roll. (b) dan (c) adalah hasil pemfilteran setelah dikurangi tras bising linier dan non-linier. (Bayrak dan Karsli, 2003)

Seperti terlihat pada gambar 2b dan c, hasil yang didapat dengan menggunakan bising referensi non-linear lebih baik daripada hasil yang didapat dengan menggunakan bising referensi linier.

Untuk melihat efek yang dicobakan pada data lapangan, metode ini telah diterapkan pada suatu data seismik lapangan. Data tersebut terdiri dari 48 channel, panjang rekaman 200 ms dan interval sampling 4 ms (gambar 5a.). Seperti terlihat pada gambar, sinyal refleksi benar-benar terkontaminasi oleh gelombang ground-roll. Pita frekuensi ground-roll untuk membuat tras bising referensi adalah 5-18 Hz, yang didapat setelah melakukan f-k mapping. Tras bising referensi yang digunakan adalah non-linear dengan $T = 2s$ dan parameter N yang digunakan adalah 0,7. Setelah metode ini diterapkan, gelombang ground-roll dapat dihilangkan dengan cukup baik.



Gambar 2.21. (a) data lapangan shot gather (b) hasil pemfilteran setelah dikurangi ground-roll dari data yang menggunakan tras bising referensi non-linier dengan $N=0.7$. (c) Ekstrak ground-roll. (Bayrak dan Karsli, 2003)

Seperti terlihat pada gambar 5, hasil yang didapat setelah pemfilteran dengan metode ini, gelombang yang merupakan gelombang refleksi tetap terjaga dan tidak terdistorsi oleh proses yang dilakukan untuk menghilangkan gelombang

groundroll, walaupun sinyal refleksi dan sinyal ground-roll saling tumpang tindih dalam domain frekuensi. Metode ini dapat juga diterapkan untuk menghilangkan bising-bising lain seperti gelombang udara (air waves) atau guided waves. Sedikit kekurangan pada metode ini adalah proses yang membutuhkan waktu perhitungan lebih lama jika dibandingkan proses pemfilteran pada domain frekuensi.

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Tahapan Pengerjaan

Tahap-tahap pengerjaan dalam penelitian ini secara umum meliputi :

1. Persiapan data rekaman lapangan (*shot gather* berformat seg-y)
2. Persiapan software yang digunakan, dalam penelitian ini digunakan software Matlab versi R2006B yang telah dilengkapi modul *wavelet toolbox* untuk melakukan transformasi wavelet diskrit dan modul *CREWES* untuk pembacaan dan penulisan file seg-y.
3. Pengolahan data shot gather seg-y.
4. Presentasi data dan hasil pengolahan.

Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data rekaman lapangan (*shot gather*) berformat segy yang mengandung gelombang groundroll yang cukup jelas. Data kemudian di-*loading* ke dalam software MatLab dan diolah per tras seismik, dalam hal ini dibuat parameter-parameter yang mewakili tiap tras seismik.

Setiap tras seismik kemudian ditransformasi dengan transformasi wavelet diskrit yang terdapat dalam wavelet toolbox software MatLab sehingga menghasilkan koefisien-koefisien detil dan aproksimasi. Koefisien detil pada level pertama memberikan koefisien komponen sinyal dengan frekuensi tertinggi, diikuti koefisien detil level berikutnya yang memberikan koefisien komponen sinyal dengan frekuensi tertinggi kedua, dan seterusnya. Sedangkan koefisien aproksimasi memberikan koefisien dari komponen sinyal dengan frekuensi terendah.

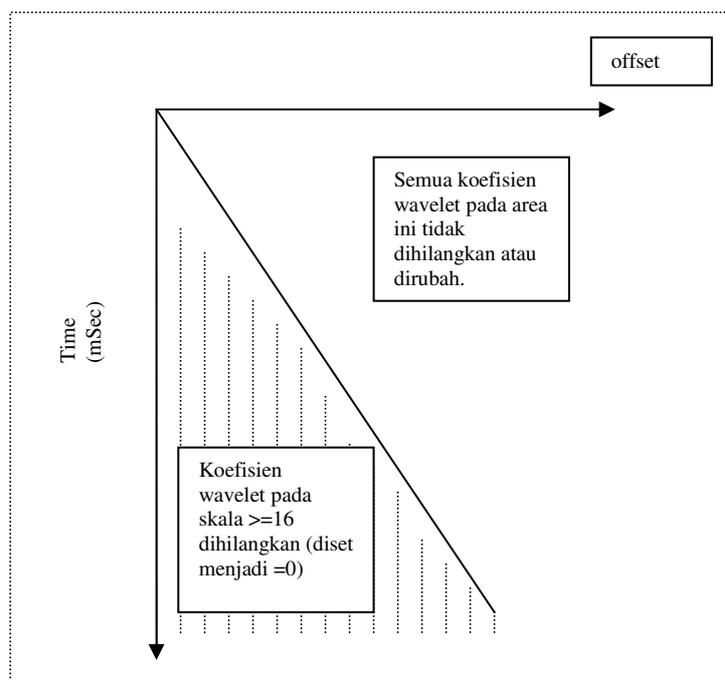
Untuk melakukan pemfilteran gelombang ground roll, dilakukan penghilangan koefisien pada level dan waktu dimana diperkirakan gelombang groundroll tersebut muncul. Dalam penelitian ini, semua koefisien detil pada level 16 ke atas yang terdapat pada waktu mulai munculnya gelombang groundroll hingga waktu

akhir tras dihilangkan. Penentuan waktu munculnya gelombang groundroll dilakukan secara manual dengan melihat kemunculan *wiggle* beramplitudo tinggi setelah kemunculan *wiggle-wiggle* yang diperkirakan merupakan *wiggle* gelombang refleksi.

Setelah koefisien-koefisien yang diperkirakan sebagai koefisien pembentuk gelombang groundroll dihilangkan, tras-tras tersebut ditransformasi balik sehingga menghasilkan sinyal sintesa, yaitu sinyal seismik dengan koefisien gelombang groundroll yang telah dihilangkan.

Tras-tras seismik sintesa kemudian disusun lagi berdasarkan nomor channelnya dan selanjutnya ditulis lagi menggunakan software MatLab menjadi bentuk Seg-y.

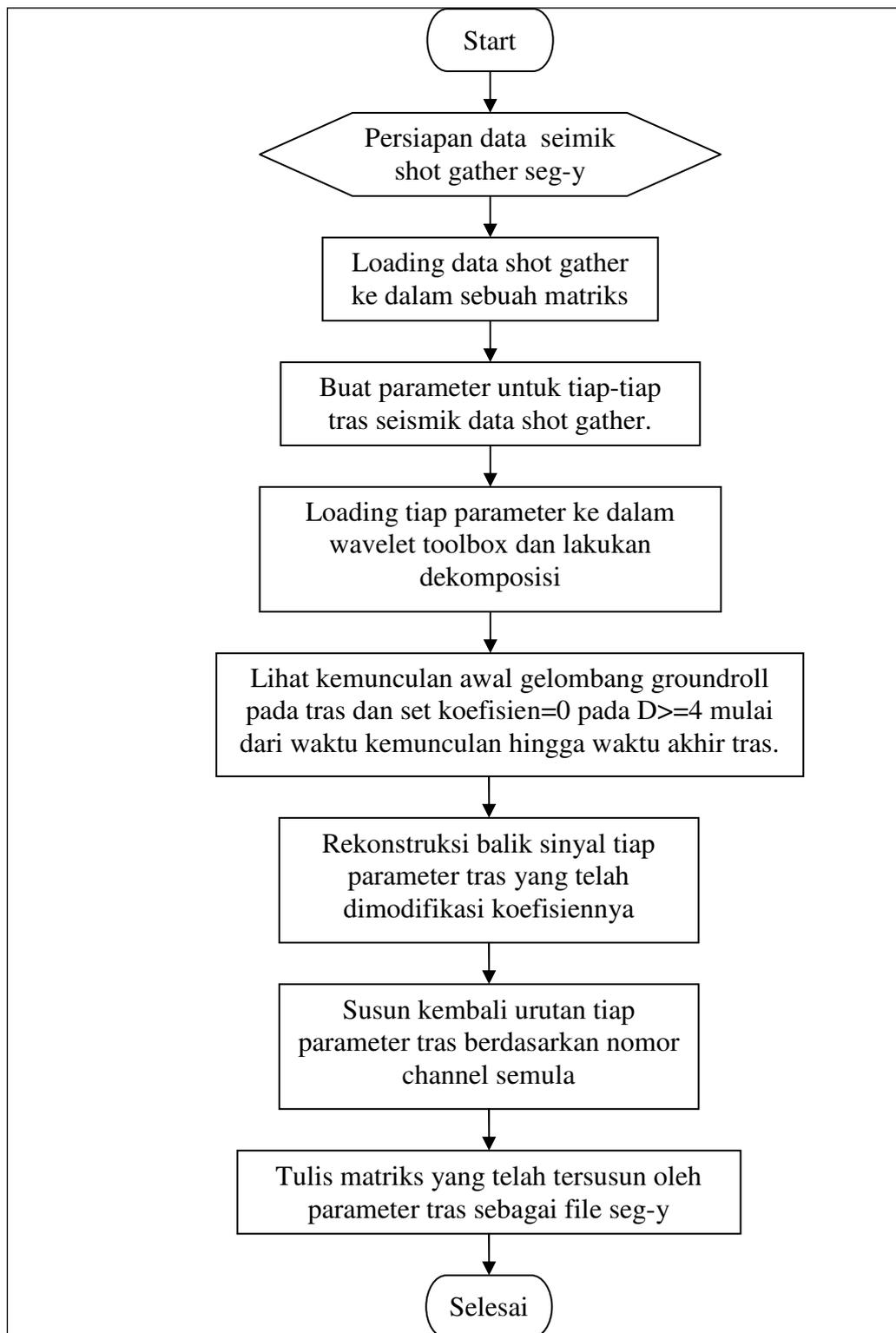
Penghilangan koefisien gelombang groundroll pada shot gather diilustrasikan seperti pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1. Ilustrasi skematik teknik pemfilteran

3.2 Diagram Alir Prosedur Pengerjaan

Prosedur pengerjaan pemfilteran dengan transformasi wavelet diskrit ini dimulai dengan mempersiapkan data rekaman lapangan (shot gather) yang berformat seg-y. Data kemudian di-*loading* ke dalam software MatLab dan diolah per tras seismik, dalam hal ini dibuat parameter-parameter yang mewakili tiap tras seismik. Kemudian Loading tiap parameter ke dalam wavelet toolbox dan lakukan dekomposisi. Kemudian lihat kemunculan gelombang ground roll secara manual dan set nilai nol pada koefisien detil dan aproksimasi yang diperkirakan mewakili nilai gelombang ground roll tersebut. Rekonstruksi balik sinyal tiap parameter tras yang telah dimodifikasi koefisiennya dan susun kembali berdasarkan urutan tras semula. Dalam bentuk diagram alir prosedur ini dapat digambarkan seperti di bawah ini.



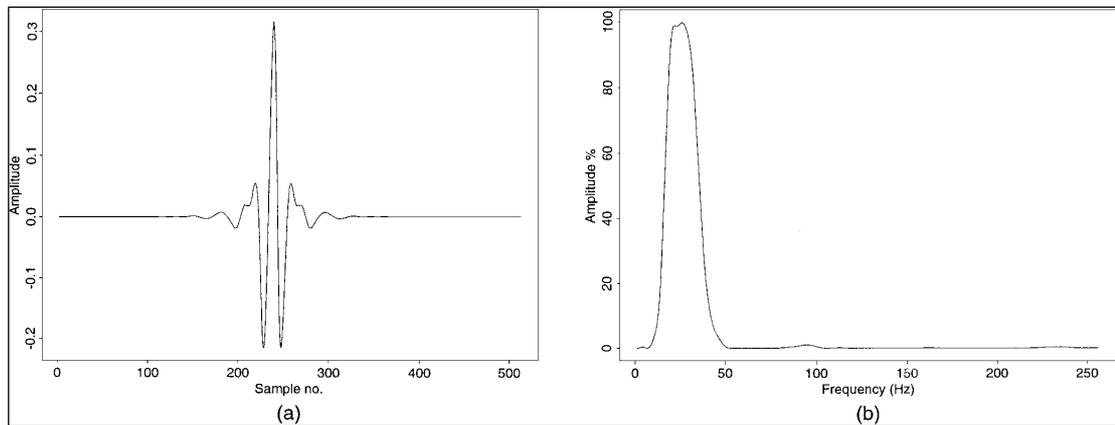
Gambar 3.2. Diagram alir pengerjaan pemfilteran gelombang groundroll dengan transformasi wavelet.

BAB 4

PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

4.1 Wavelet

Wavelet yang digunakan dalam pemrosesan transformasi wavelet diskrit disini adalah wavelet Battle-Lemarie¹. Pemilihan wavelet disini adalah dengan kriteria wavelet tersebut bersifat ortogonal, simetris dan mendekati bentuk gelombang groundroll yang akan dianalisa. Bentuk dari wavelet Batle-Lemarie tersebut adalah seperti pada gambar 4.2 berikut.



Gambar.4.1. wavelet Batle-Lemarie pada skala 4 (a) dalam domain waktu (b) Spektrum frekuensi

Dalam terminologi matematika wavelet battle lemarie ini memiliki persamaan sebagai berikut :

$$\phi(\omega) = (2\pi)^{-1/2} e^{-1k\omega/2} \left[\frac{\sin(\omega/2)}{\omega/2} \right]^{N+1} \quad (4.1)$$

dimana, ω : frekuensi (dlm radian)

dan N : Jumlah data.

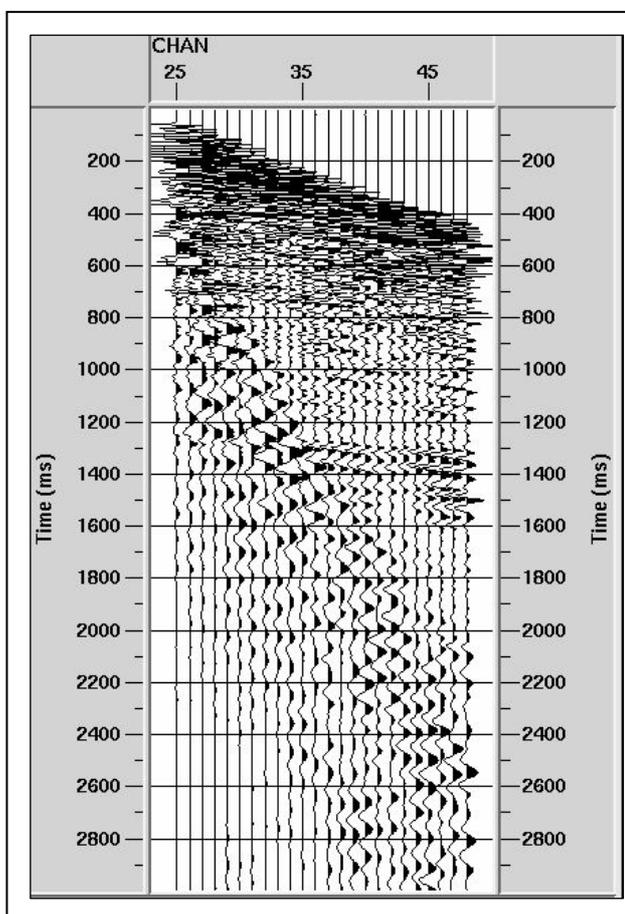
4.2. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data rekaman seismik lapangan (*shot gather*). Beberapa parameter mengenai data ini adalah sebagai berikut :

- Jumlah channel : 48 channel
- Durasi perekaman (record length) : 5 detik
- Laju cuplik (sampling rate) : 2 ms n berformat segy.

Untuk sedikit memudahkan pemrosesan, penulis hanya menggunakan 24 channel saja, dan durasi perekaman hanya hingga 3 detik. Tampilan asli data tersebut adalah seperti pada gambar 4.1.

Seperti terlihat pada gambar 4.1, pada rekaman lapangan tersebut terlihat jelas sinyal gelombang groundroll yang muncul pada semua tras mulai dari waktu perekaman sekitar 0,29 sec hingga akhir waktu perekaman. Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa gelombang groundroll tersebut menutupi sebagian sinyal-sinyal lain yang diperkirakan sebagai sinyal reflektor.

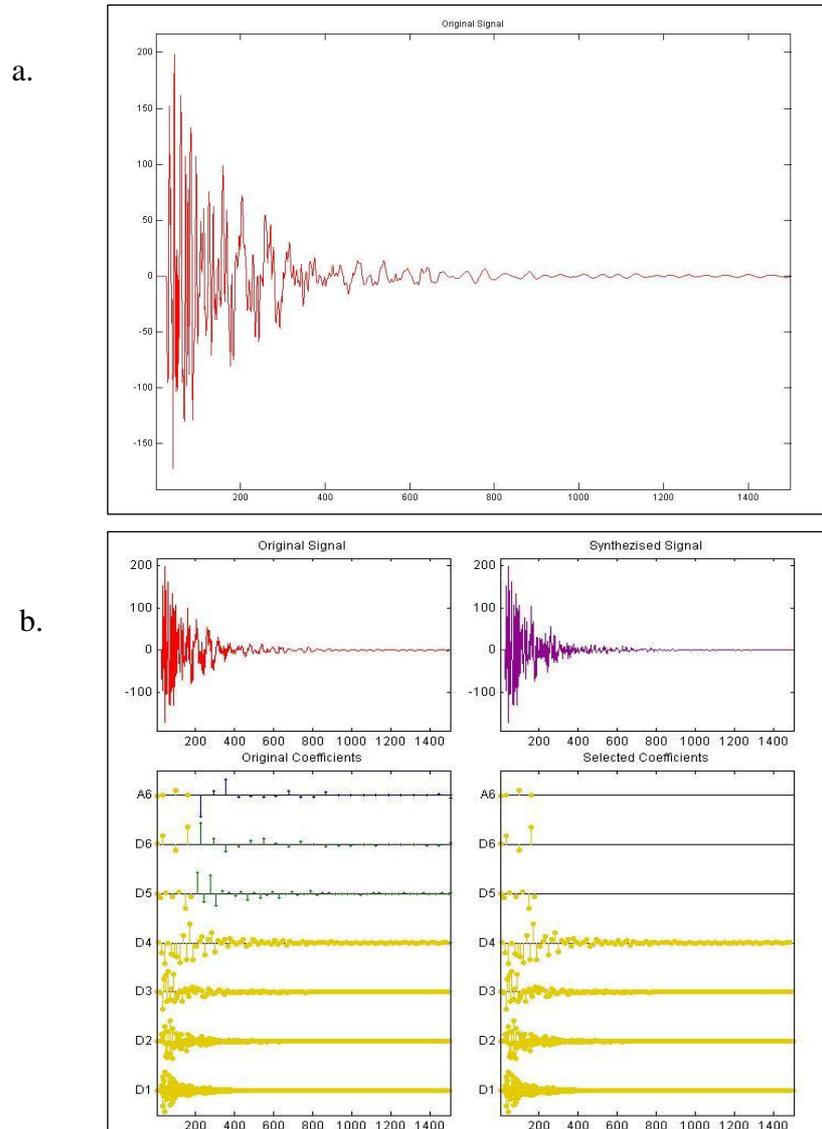


Gambar 4.2 Data rekaman lapangan (shot record) yang digunakan

4.3 Pengolahan Data dan Analisa

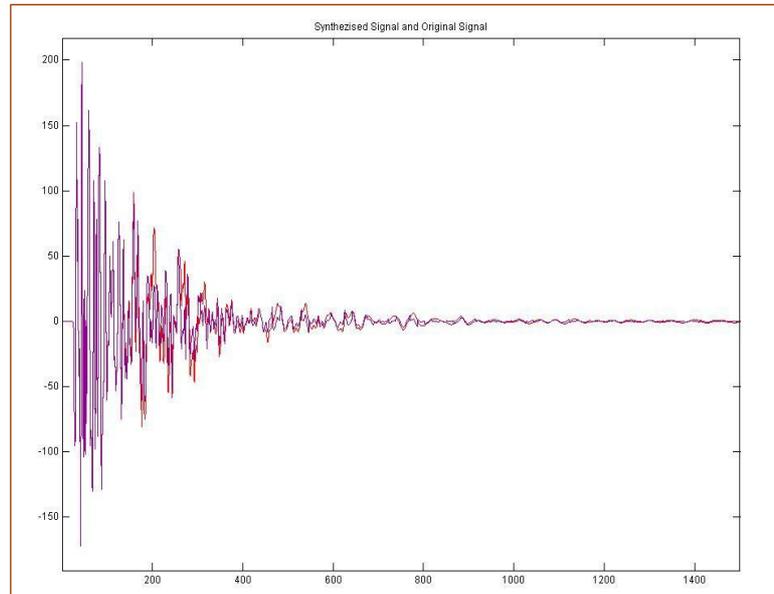
Di bawah ini adalah gambar pengolahan data tras seismik yang akan dihilangkan gelombang ground rollnya. Pengolahan dilakukan per tras, dimulai dari tras nomor 25 hingga tras nomor 48.

- Tras 25

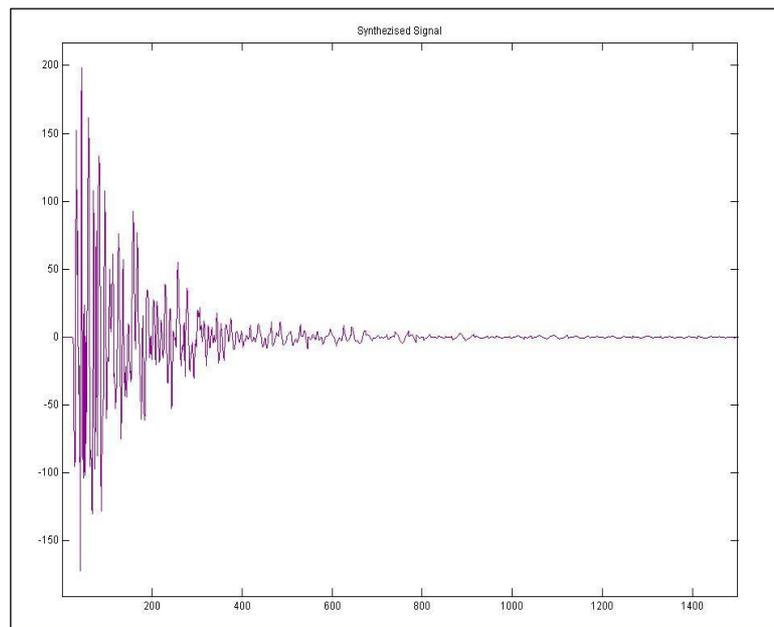


Gambar.4.3. Tras 24. (a) Sinyal awal (b) pemilihan koefisien dan sinyal sintesa.

Kemunculan awal gelombang groundroll diperkirakan pada waktu 0,29 sec (dengan melihat secara manual). Pada bagian transformasi ke dalam wavelet diskrit (gambar 4.3 b) Koefisien pada D5, D6, dan A6 pada waktu 0.29 sec dan sesudahnya kemudian dihilangkan.



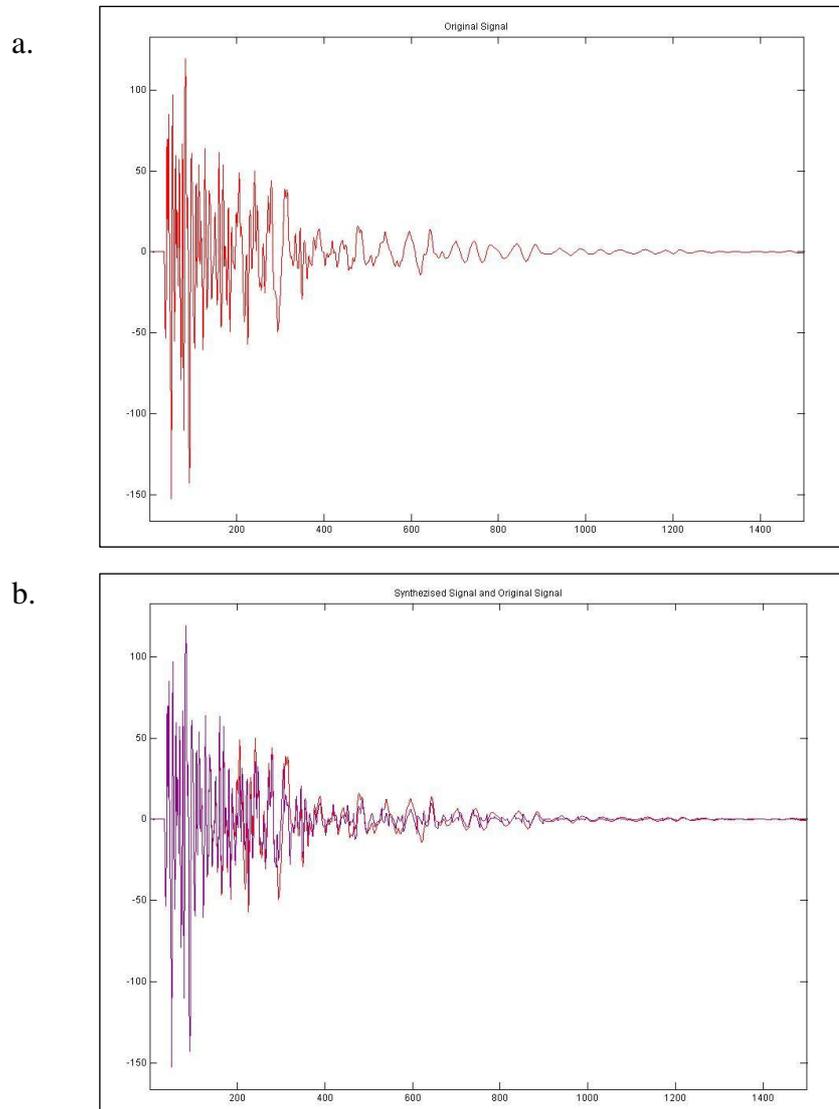
Gambar.4.4 Sinyal sintesa (berwarna ungu) yang diperbandingkan dengan sinyal awal (berwarna merah)



Gambar.4.5. Sinyal sintesa tras 25.

Gambar 4.4 memperlihatkan sinyal sintesa (berwarna ungu) yang diperbandingkan dengan sinyal awal (berwarna merah) tras nomor 25. Pada gambar tersebut terlihat perbedaan tinggi osilasi sinyal dimulai pada waktu 0,29 sec, dimana sinyal sintesa sekarang memiliki nilai amplitudo yang lebih kecil akibat penghilangan nilai yang diperkirakan sebagai gelombang ground roll. Untuk lebih jelas, sinyal sintesa diperlihatkan kembali pada gambar 4.5.

- Tras 26

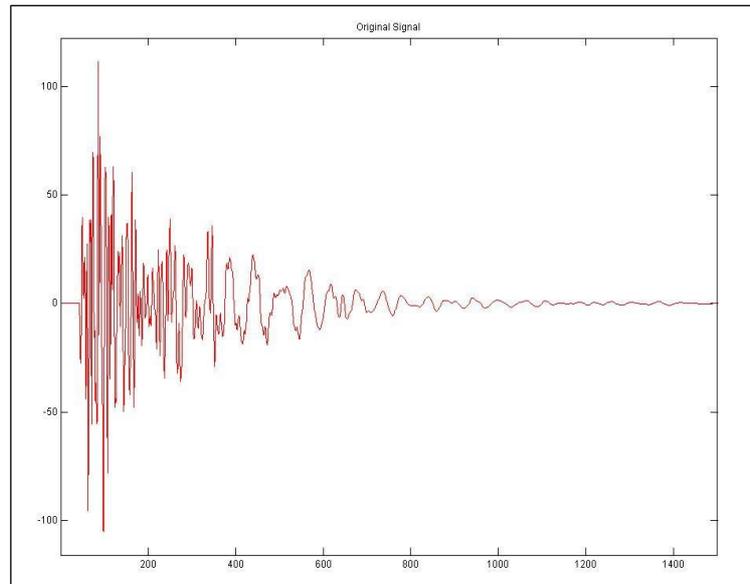


Gambar.4.6. Tras 26. (a) Sinyal awal (b) perbandingan sinyal sintesa (berwarna ungu) dengan sinyal awal (berwarna merah).

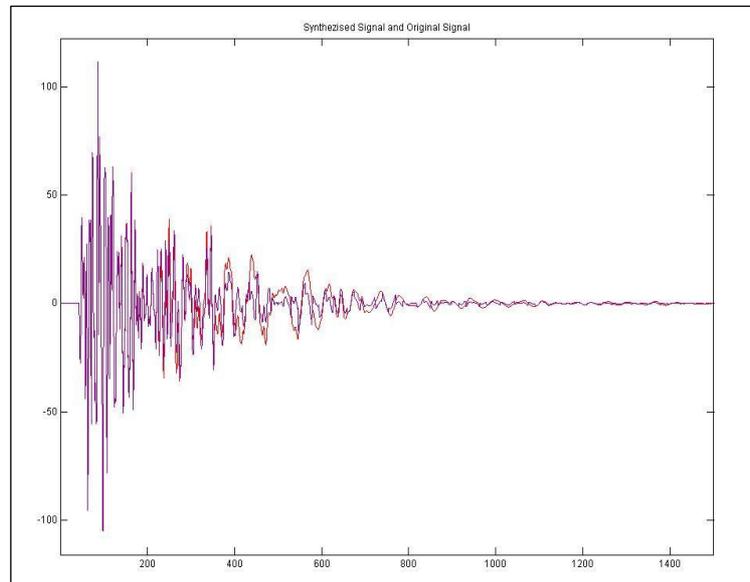
Kemunculan awal gelombang groundroll pada tras 26 diperkirakan pada waktu 0,38 sec. Koefisien dalam transformasi waveletnya pada D5, dan D6 dan A6 pada waktu 0,38 sec dan sesudahnya kemudian dihilangkan. Gambar 4.6.b memperlihatkan sinyal sintesa (berwarna ungu) yang diperbandingkan dengan sinyal awal (berwarna merah) tras nomor 26. pada gambar tersebut terlihat perbedaan tinggi osilasi sinyal dimulai pada waktu 0,38 sec, dimana sinyal sintesa sekarang memiliki nilai-nilai amplitudo yang lebih kecil akibat pengurangan/penghilangan nilai yang diperkirakan sebagai gelombang ground roll

- Tras 27

a.



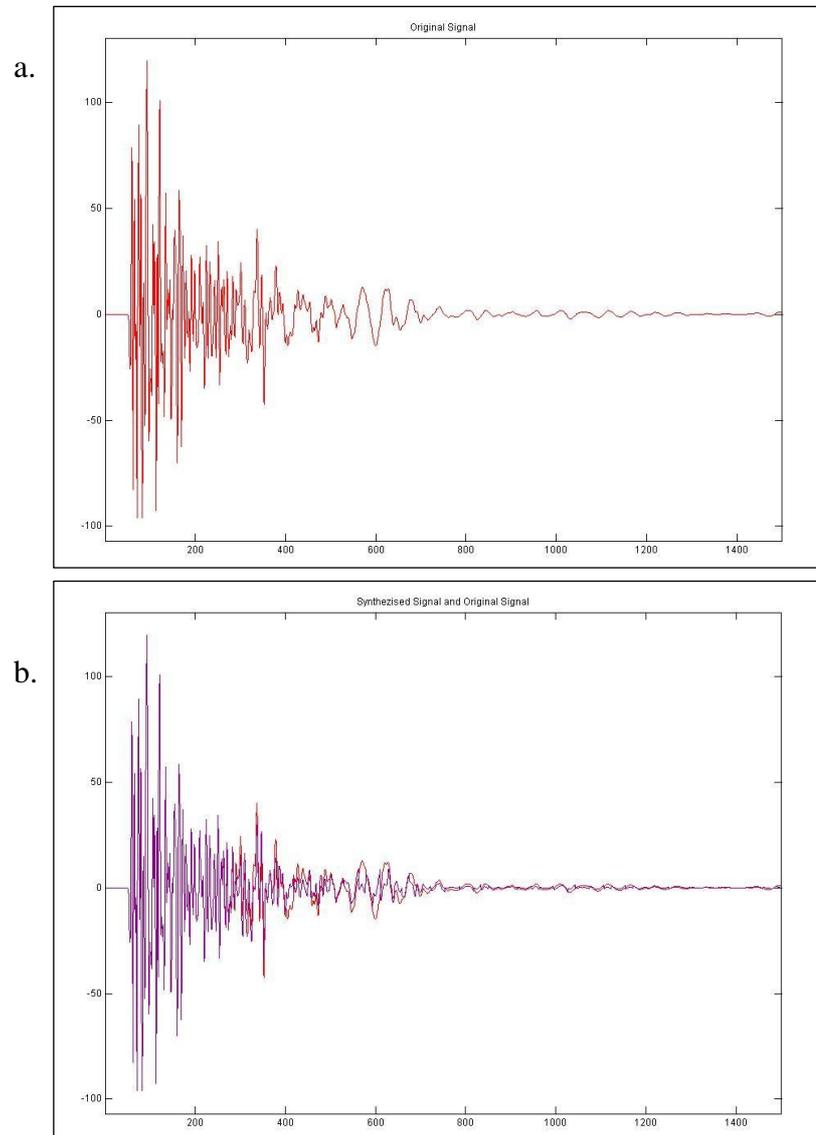
b.



Gambar.4.7. Tras 27. (a) Sinyal awal (b) perbandingan sinyal sintesa (berwarna ungu) dengan sinyal awal (berwarna merah).

Kemunculan awal gelombang groundroll pada tras 27 diperkirakan pada waktu 0,42 sec. Koefisien dalam transformasi waveletnya pada D5, dan D6 dan A6 pada waktu 0,42 sec dan sesudahnya kemudian dihilangkan. Gambar 4.7.b memperlihatkan sinyal sintesa (berwarna ungu) yang diperbandingkan dengan sinyal awal (berwarna merah) tras nomor 27. pada gambar tersebut terlihat perbedaan tinggi osilasi sinyal dimulai pada waktu 0,42 sec, dimana sinyal sintesa sekarang memiliki nilai-nilai amplitudo yang lebih kecil akibat pengurangan/penghilangan nilai yang diperkirakan sebagai gelombang ground roll

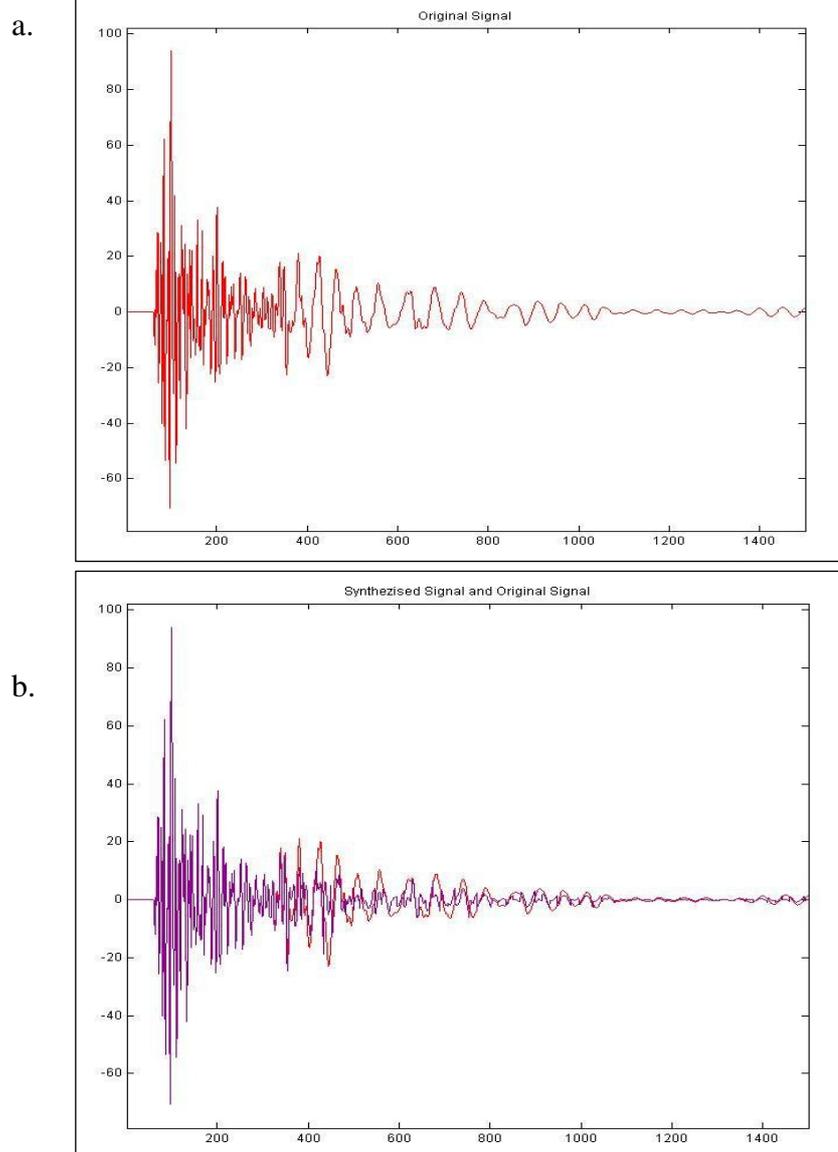
- Tras 28



Gambar.4.8. Tras 28. (a) Sinyal awal (b) perbandingan sinyal sintesa (berwarna ungu) dengan sinyal awal (berwarna merah).

Kemunculan awal gelombang groundroll pada tras 28 diperkirakan pada waktu 0,51 sec. Koefisien dalam transformasi waveletnya pada D5, dan D6 dan A6 pada waktu 0,51 sec dan sesudahnya kemudian dihilangkan. Gambar 4.8.b memperlihatkan sinyal sintesa (berwarna ungu) yang diperbandingkan dengan sinyal awal (berwarna merah) tras nomor 28. pada gambar tersebut terlihat perbedaan tinggi osilasi sinyal dimulai pada waktu 0,51 s, dimana sinyal sintesa sekarang memiliki nilai-nilai amplitudo yang lebih kecil akibat penghilangan nilai yang diperkirakan sebagai gelombang ground roll.

- Tras 29

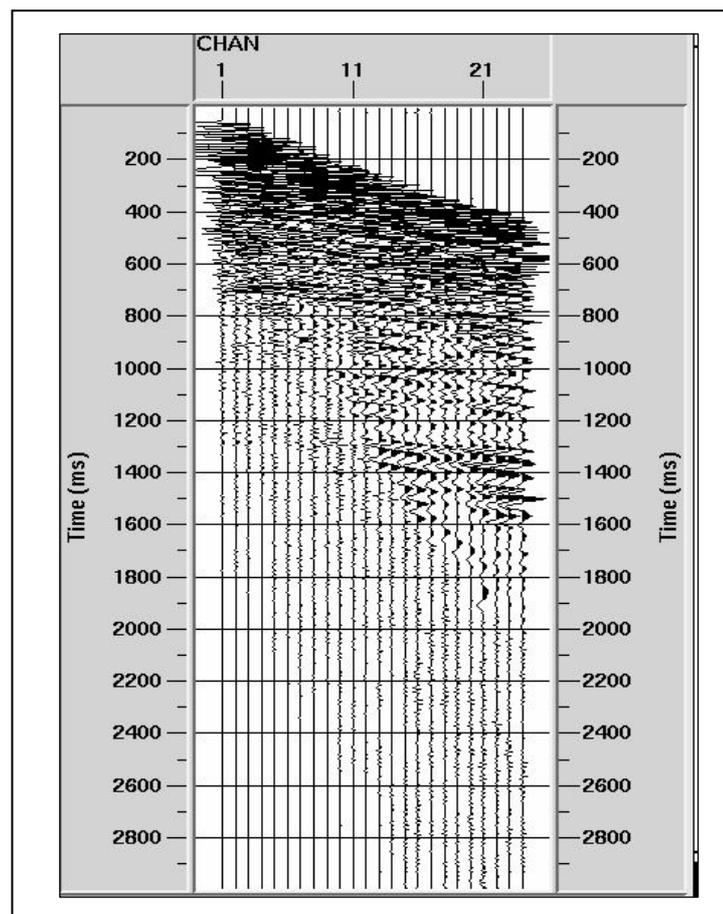


Gambar.4.9. Tras 29. (a) Sinyal awal (b) perbandingan sinyal sintesa (berwarna ungu) dengan sinyal awal (berwarna merah).

Kemunculan awal gelombang groundroll pada tras 29 diperkirakan pada waktu 0,66 sec. Koefisien dalam transformasi waveletnya pada D5, dan D6 dan A6 pada waktu 0,66 sec dan sesudahnya kemudian dihilangkan. Gambar 4.9.b memperlihatkan sinyal sintesa (berwarna ungu) yang diperbandingkan dengan sinyal awal (berwarna merah) tras nomor 29. pada gambar tersebut terlihat perbedaan tinggi osilasi sinyal dimulai pada waktu 0,66 s, dimana sinyal sintesa sekarang memiliki nilai-nilai amplitudo yang lebih kecil akibat penghilangan nilai yang diperkirakan sebagai gelombang ground roll.

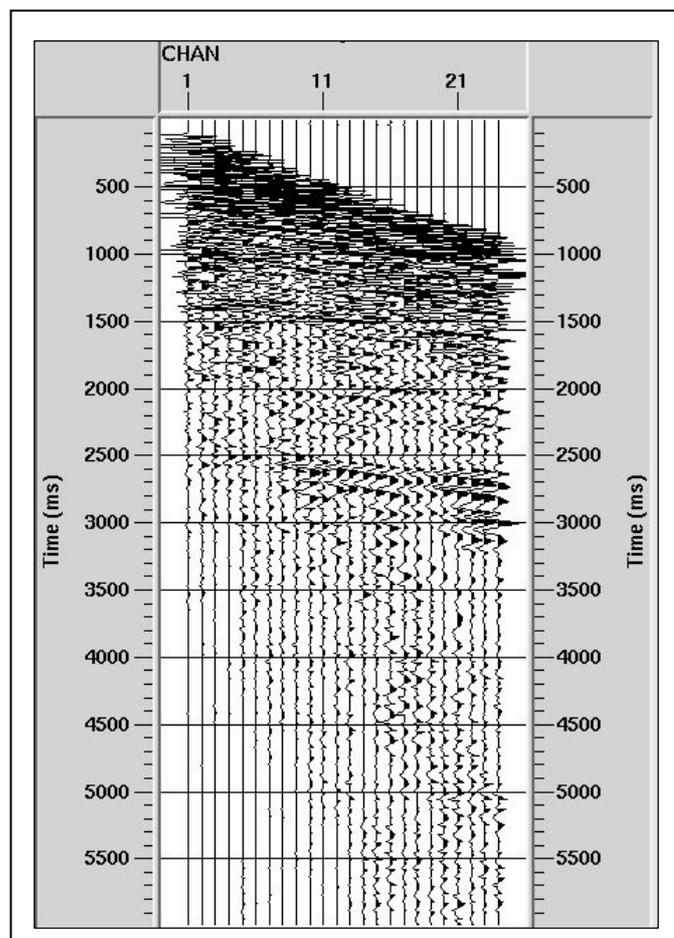
4.4 Hasil Pengolahan Data

Setelah semua tras dilakukan pemfilteran dengan transformasi wavelet, maka kita mendapatkan sinyal sintesa sebagai hasil akhir proses pemfilteran tersebut. Dengan kata lain sinyal sintesa yang didapatkan adalah sinyal seismik setelah komponen sinyal yang merupakan gelombang ground-roll nya dihilangkan. Sinyal-sinyal sintesa kemudian direkonstruksi/disusun kembali berdasarkan urutan nomor tras atau channel nya sehingga membentuk sebuah rekaman shot gather seperti semula. Di bawah ini adalah hasil rekonstruksi setelah dilakukan pemfilteran dengan transformasi wavelet dengan kriteria menghilangkan/menset nilai menjadi nol pada komponen d_4 , d_5 , d_6 , dan a_6 pada tranformasi wavelet diskritnya.



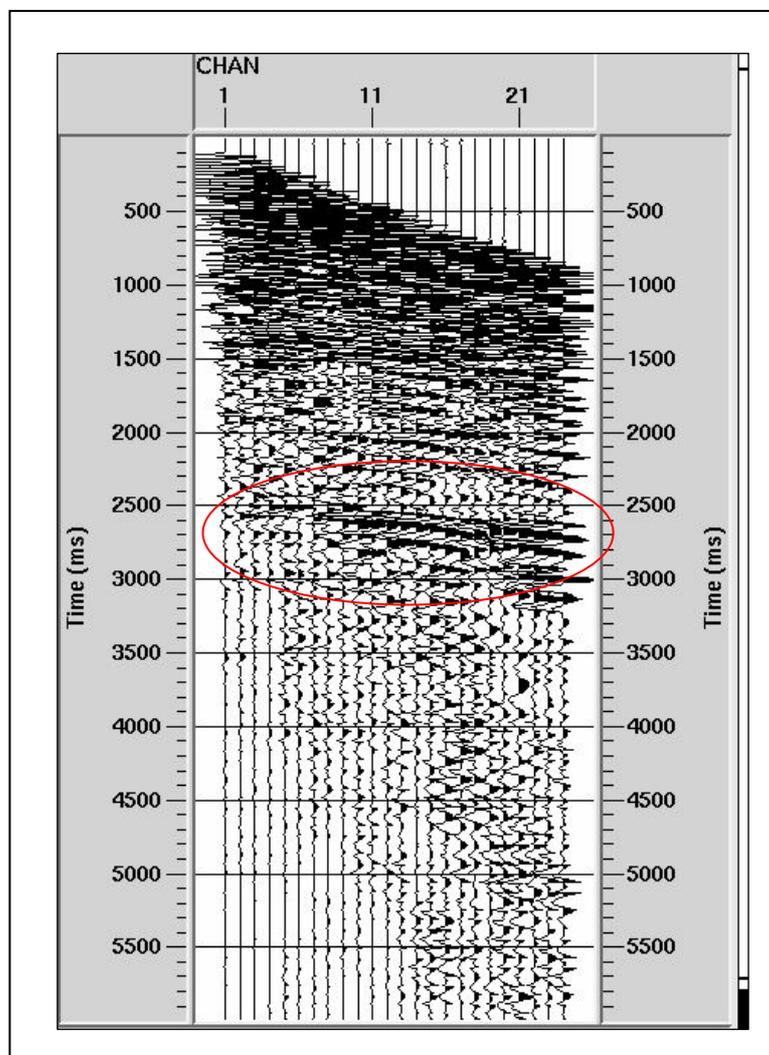
Gambar 4.10. Data setelah pemfilteran dengan $d \geq 4$ diset menjadi 0 (nol).

Sementara gambar di bawah ini adalah hasil rekonstruksi sinyal-sinyal sintesa setelah dilakukan pemfilteran dengan transformasi wavelet dengan kriteria menghilangkan/menset nilai menjadi nol pada komponen d_5 , d_6 , dan a_6 pada transformasi wavelet diskritnya. Seperti terlihat pada gambar di bawah ini, sinyal-sinyal refleksi pada waktu 0,25 – 3,00 sec terlihat lebih menerus jika dibandingkan dengan hasil rekonstruksi pada gambar 4.10. Hal ini berarti sinyal-sinyal refleksi tersebut juga tersimpan dalam komponen d_4 dalam domain waveletnya, sehingga bila komponen d_4 diset menjadi nol, maka sinyal yang merupakan sinyal refleksi juga ikut terhapus. Maka dari itu penulis menyimpulkan untuk data ini pemfilteran yang baik adalah dengan menset nol nilai-nilai yang terdapat pada komponen d_5 , d_6 , dan d_6 , sedangkan pada komponen lainnya tetap seperti apa adanya.



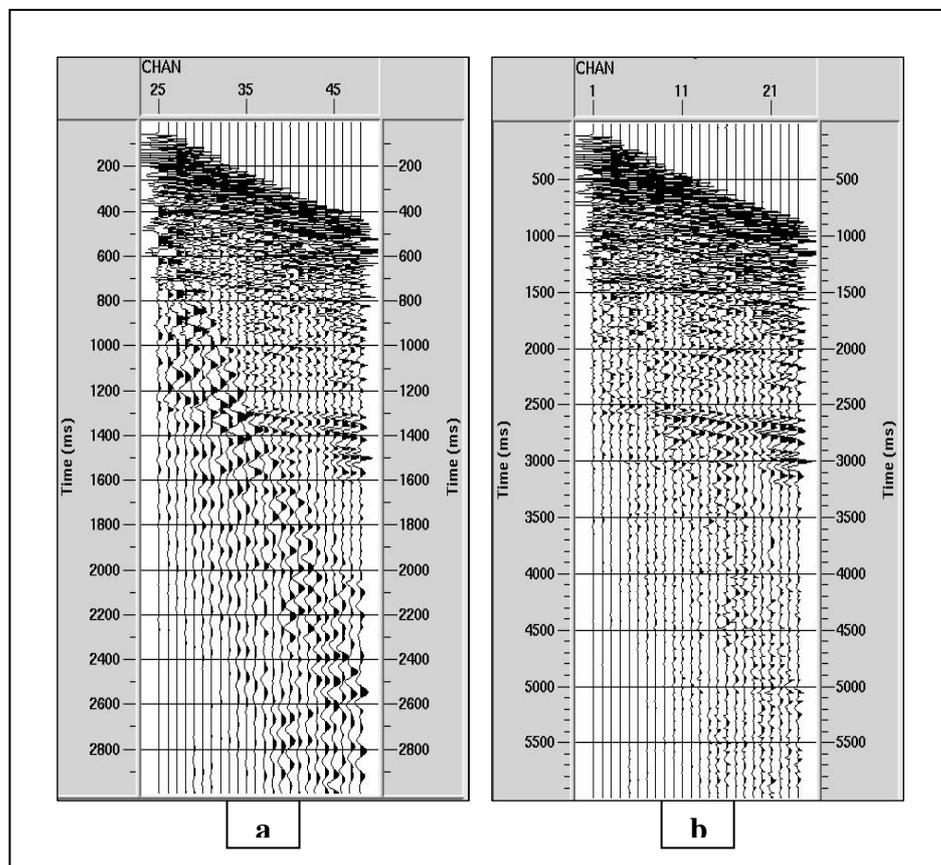
Gambar 4.11. Data setelah pemfilteran dengan $d \geq 5$ diset menjadi 0 (nol).

Gambar 4.12 dibawah ini adalah sama dengan gambar 4.11 sebelumnya, hanya saja diberi penguatan (gain) sebanyak dua kali. Hal ini dilakukan untuk melihat kemenerusan sinyal-sinyal refleksi setelah dilakukan pemfilteran dengan transformasi wavelet mengingat data yang diolah ini sama sekali belum dilakukan berbagai macam proses koreksi untuk amplitudonya. Seperti terlihat pada gambar 4.12 di bawah ini, setelah diberi penguatan maka kemenerusan sinyal-sinyal refleksi semakin terlihat, dan pada area yang sebelumnya ditutupi oleh gelombang ground roll kini yang terlihat adalah sinyal-sinyal refleksinya saja tanpa terdistorsi oleh ground roll lagi.



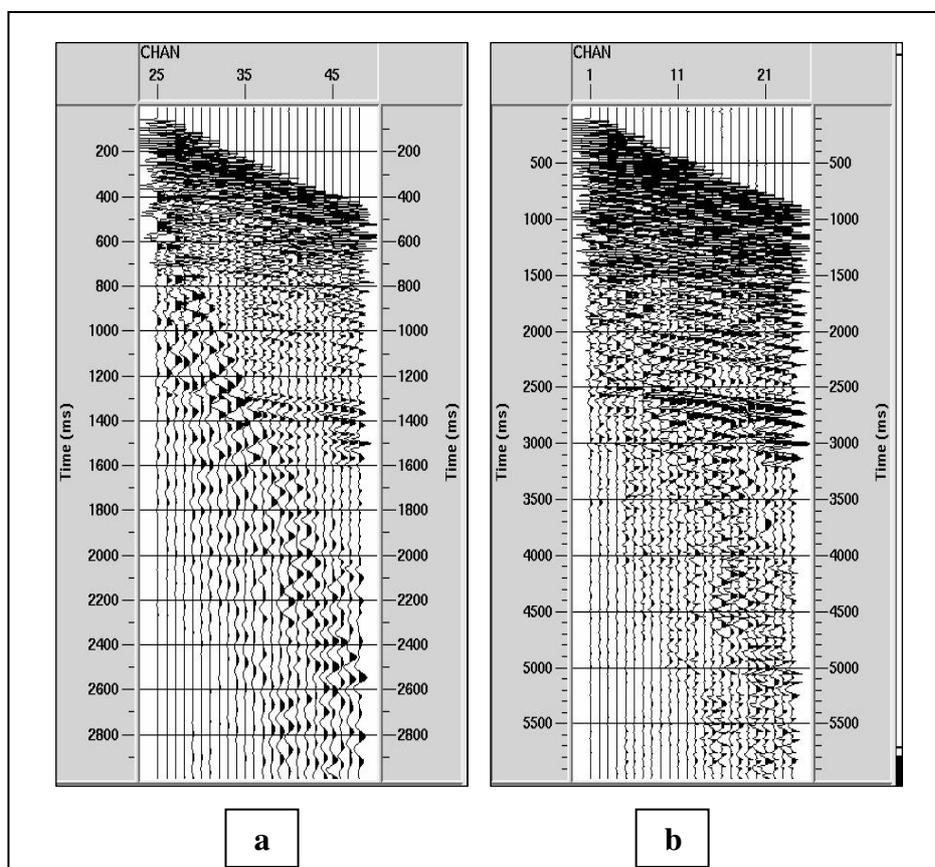
Gambar 4.12. Data setelah pemfilteran dengan $d \geq 5$ diset menjadi 0 (nol) kemudian diberi penguatan (gain) sebanyak 2x.

Untuk melihat seberapa jauh efektifitas metode ini untuk menekan gelombang ground roll dapat kita lihat pada gambar di bawah ini. Gambar di bawah ini memperlihatkan perbandingan data sebelum dan sesudah pemfilteran dengan transformasi wavelet diskrit. Seperti terlihat pada gambar, sinyal gelombang ground roll dapat dihilangkan tanpa merusak sedikitpun sinyal primer, yaitu sinyal refleksi. Kemenerusan sinyal-sinyal refleksi belum terlihat jelas pada area yang sebelumnya ditutupi oleh sinyal gelombang ground roll, namun akan dapat terlihat apabila diberi penguatan seperti yang terlihat pada gambar berikutnya.



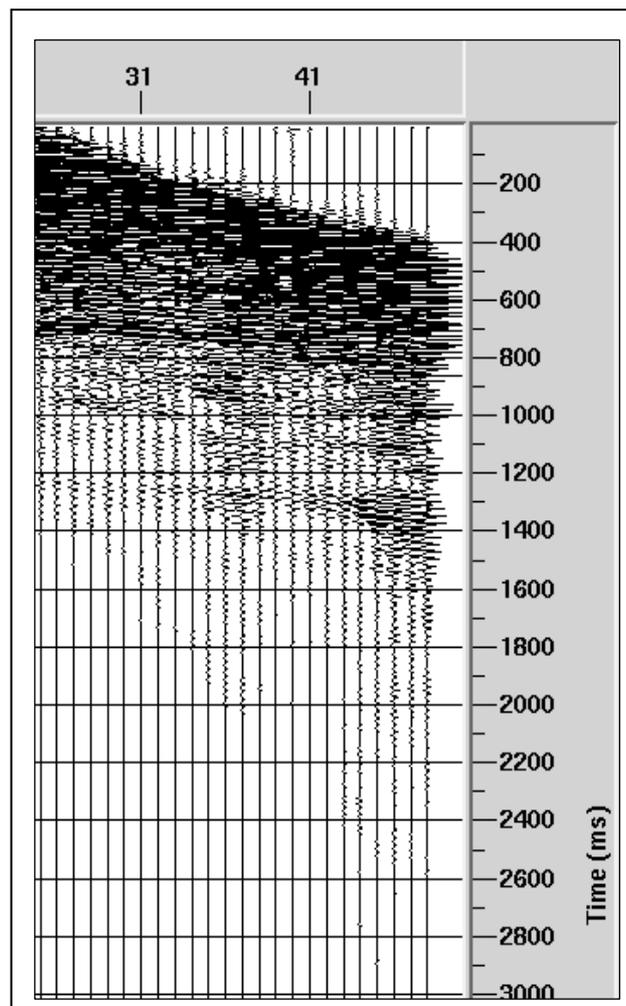
Gambar 4.13. perbandingan data ; (a) sebelum pemfilteran dan (b) sesudah pemfilteran

Seperti disebutkan sebelumnya, kemenerusan sinyal-sinyal refleksi dapat lebih terlihat apabila diberi penguatan (gain). Dalam hal ini penulis melakukan penguatan sebanyak dua kali saja. Apabila dilakukan koreksi amplitude lebih lanjut dalam pemrosesan data selanjutnya, kemungkinan sinyal-sinyal refleksi ini akan terlihat lebih baik lagi. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini, area yang sebelumnya ditutupi secara intensif oleh sinyal gelombang ground roll, setelah pemfilteran memperlihatkan atau memunculkan sinyal yang diharapkan, yaitu sinyal-sinyal refleksi.



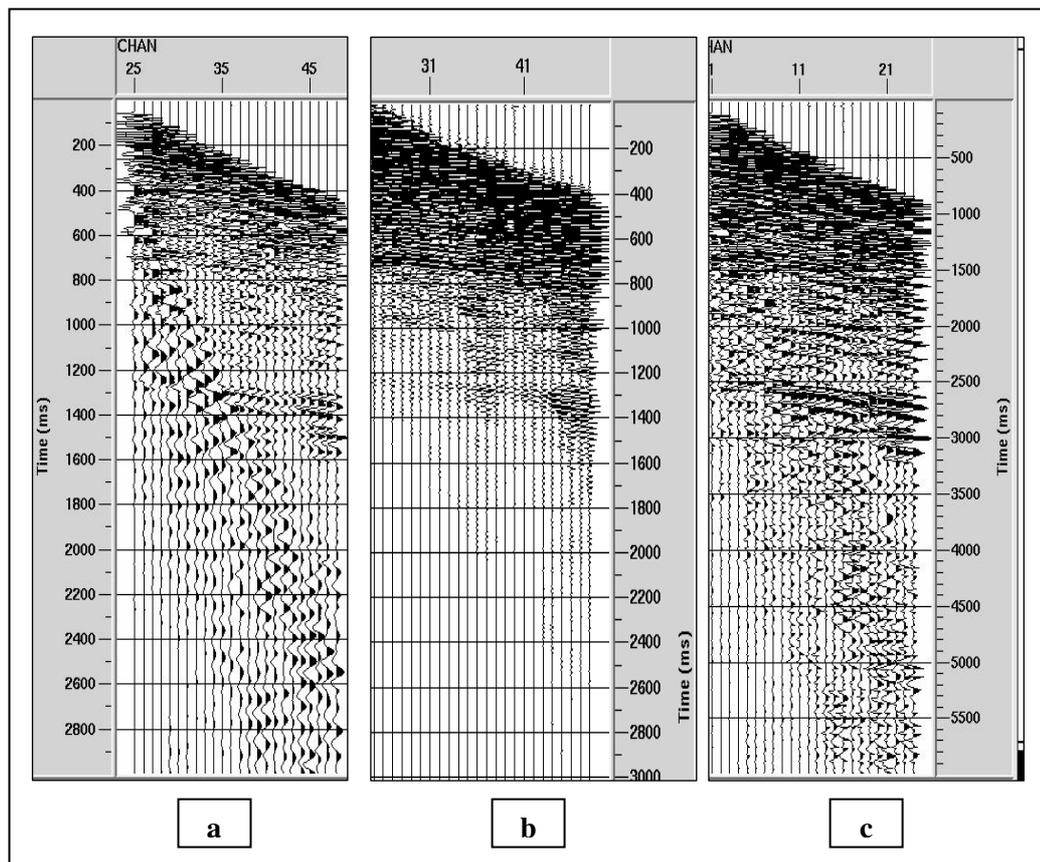
Gambar 4.14. perbandingan data sebelum dan sesudah pemfilteran
(a) Sebelum (b) Sesudah dan diberi penguatan (gain) sebanyak 2x.

Untuk sedikit melihat perbandingan dengan metode lain yang lebih sederhana, penulis juga melakukan pemfilteran dengan metode Band-pass filter, suatu metode yang sangat umum dan relative lebih mudah dilakukan. Metode ini berbasiskan transformasi Fourier 1-dimensi dan cenderung ikut mengaburkan bahkan menghilangkan sinyal-sinyal utama yaitu sinyal refleksi. Hasil pemfilteran terhadap data yang sama dengan filter Band-Pass ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Penulis melakukan pemfilteran ini dengan meloloskan sinyal-sinyal dengan frekuensi 40 – 70 Hz, dengan asumsi sinyal-sinyal utama memiliki frekuensi tersebut, sementara sinyal dengan frekuensi di bawah itu diasumsikan sebagai sinyal gelombang ground roll atau sinyal bising lainnya. Seperti terlihat pada gambar, sinyal-sinyal utama pun menjadi kabur atau hilang seiring dengan hilangnya gelombang ground roll.



Gambar 4.15. Data setelah pemfilteran dengan band-pass filter 40-70 Hz.

Pada gambar di bawah ini dapat kita lihat efektifitas dari metode ini dalam menekan gelombang ground roll dan perbandingannya dengan metode pemfilteran band pass (tapis lolos). Seperti terlihat pada gambar, gambar a adalah data sebelum pemfilteran, gambar b adalah data setelah dilakukan pemfilteran dengan filter band pass dan gambar c adalah data setelah dilakukan pemfilteran dengan transformasi wavelet. Pada gambar b dan c terlihat gelombang ground roll dapat dihilangkan, tetapi pada gambar b sinyal refleksi juga ikut menjadi kabur atau bahkan hilang, sementara pada gambar c sinyal refleksi tetap terjaga bahkan dimunculkan pada area yang sebelumnya tertutup oleh sinyal gelombang ground roll.



Gambar 4.16. Perbandingan data seismik shot gather (a) sebelum pemfilteran (b) setelah pemfilteran dengan band-pass filter 40-70 Hz , dan (c) setelah pemfilteran dengan transformasi wavelet diskrit.

4.5. Analisa Hasil Pengolahan Data

Dari hasil pengolahan data yang ditampilkan dapat dilihat bahwa gelombang groundroll dapat dihilangkan secara keseluruhan. Beberapa tras khususnya tras 31 hingga tras 35 menunjukkan perbaikan setelah dilakukan pemfilteran, khususnya pada time 2500 *mSec* hingga 3000 *mSec*.

Sebelum pemfilteran, pada time 2500 *mSec* hingga 3000 *mSec*, tras 31 hingga 35 tidak menunjukkan indikasi adanya sinyal-sinyal reflektor karena tertutup oleh sinyal groundroll, namun setelah pemfilteran dilakukan tras-tras tersebut menunjukkan adanya *wiggle-wiggle* yang membentuk kemenerusan dengan *wiggle-wiggle* disampingnya, yaitu *wiggle-wiggle* pada tras 36 hingga tras 48. Diperkirakan kemenerusan *wiggle-wiggle* tersebut adalah sinyal sebuah reflektor.

Beberapa tras awal khususnya tras 25 hingga tras 31 sedikit sekali menampilkan perbaikan yang diharapkan setelah dilakukan pemfilteran. Hal ini dapat terjadi diperkirakan karena beberapa hal yang mungkin belum optimal dalam pemfilteran menggunakan teknik ini, diantaranya adalah pemilihan wavelet yang mungkin belum optimal ataupun pemilihan koefisien yang harus diset menjadi nol yang mungkin belum optimal.

Selain kemungkinan beberapa faktor dalam pemfilteran yang belum optimal, ketidakhadiran *wiggle* sinyal reflektor yang jelas pada tras 25 hingga 31 tersebut dapat disebabkan karena tras-tras tersebut adalah tras-tras dari receiver-receiver seismik yang dekat dengan sumber ledakan (shot), sehingga pada kondisi ini sinyal groundroll masih begitu kuat dan mendominasi superposisi sinyal yang ditangkap oleh receiver, sehingga sinyal dari reflektor tertekan oleh sinyal groundroll pada proses akuisisinya.

Perbandingan hasil pemfilteran gelombang groundroll dengan transformasi wavelet diskrit dan dengan bandpass filter menunjukkan perbedaan yang cukup kontras, dimana hasil pemfilteran dengan bandpass filter memberikan efek

penghilangan sinyal-sinyal lain selain sinyal groundroll yang diperkirakan sebagai sinyal reflektor. Sementara pemfilteran gelombang groundroll dengan transformasi wavelet diskrit tetap menjaga sinyal-sinyal yang diperkirakan sinyal reflektor, bahkan memperjelas kehadiran sinyal-sinyal tersebut setelah sinyal groundroll dihilangkan. Hal ini memberi kesimpulan bahwa pemfilteran gelombang groundroll dengan transformasi wavelet cukup efektif dan memiliki kelebihan dibandingkan pemfilteran dengan band-pass filter.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari pengolahan data dan hasil pengolahan yang didapat serta analisa yang telah dilakukan, maka penulis membuat kesimpulan sebagai berikut :

1. Transformasi Wavelet Diskrit cukup efektif untuk digunakan dalam pemfilteran gelombang groundroll dalam data seismik. Gelombang groundroll adalah salah satu gelombang permukaan yang bersifat disfersif, yaitu frekuensinya berubah-ubah sepanjang perambatannya, sehingga digolongkan sebagai gelombang non-stasioner. Sementara itu transformasi wavelet mempunyai kemampuan untuk mengurai dan memberikan informasi frekuensi sekaligus waktu kemunculan komponen-komponen sinyal non-stasioner ini.
2. Dalam penerapannya untuk memfilter gelombang groundroll dalam data seismik lapangan, transformasi ini dapat menghilangkan sinyal gelombang groundroll dengan baik tanpa memberikan distorsi yang berarti.
3. Bila dibandingkan dengan pemfilteran menggunakan band-pass filter, pemfilteran dengan transformasi wavelet ini memiliki kelebihan dalam mempertahankan sinyal-sinyal yang diperkirakan merupakan sinyal reflektor, sementara pemfilteran dengan band-pass filter cenderung ikut menghilangkan sinyal-sinyal lain selain sinyal groundroll itu sendiri.
4. Pada suatu kedalaman tertentu frekuensi sinyal-sinyal reflektor menjadi semakin kecil karena atenuasi sehingga memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi sinyal gelombang groundroll, maka pada kondisi ini transformasi wavelet tidak dapat digunakan untuk memisahkan sinyal gelombang groundroll dari sinyal-sinyal reflektor.

5.2 SARAN

Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal lagi daripada apa yang telah dikerjakan penulis dalam penelitian ini, penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan wavelet yang paling cocok untuk diterapkan dalam pemfilteran sinyal gelombang groundroll pada data seismik, mengingat ada banyak sekali wavelet yang bisa digunakan.
2. Perlu diterapkannya teknik pemfilteran yang lebih canggih daripada transformasi wavelet diskrit 1 dimensi, seperti transformasi wavelet 2 dimensi, transformasi *matching-pursuit*, ataupun teknik-teknik lain yang saat ini terus dikembangkan.
3. Untuk memisahkan sinyal gelombang groundroll dari sinyal reflektor seismik pada kedalaman yang besar, maka teknik pemfilteran yang lebih efektif daripada transformasi wavelet diskrit 1 dimensi ini adalah dengan menggunakan teknik *physical wavelet frame denoising* (PWFD) seperti yang pernah ditulis oleh Zhang dan Ulrych, 2003.

DAFTAR REFERENSI

- Bayrak, Y. dan Karsli, H., 2003, Using the Wiener-Levinson algorithm to suppress ground-roll.
- Braile, L., 2010, *Seismic Wave Demonstration and Animation*, Purdue University, <<http://web.ics.purdue.edu/~braile/edumod/waves/WaveDemo.htm>>
- Brigham, O.E., 1988, *The Fast Fourier Transform and Its Application*, Prentice-Hall International, Inc.
- Deighan, A.J dan Watts, D.R., 1997, *Ground-roll suppression using the wavelet transform*, Geophysics Vol.62, No.6, hal.1896-1903.
- Merry, R.J.E., 2005, *Wavelet Theory and Applications*.
< <http://repository.tue.nl/612762>>
- Munadi,S., 2000, *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi*, Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Indonesia, Depok, 2000.
- Polikar, R., *The Wavelet Tutorial*, Rowan University, College of Engineering Web Server. <<http://users.rowan.edu/~polikar/wavelets/wtpart1.html>>
- Song, Y.Y dan Stewart R.R., 1993, *Ground roll rejection via f-v filtering*, CREWES Research Report Volume5, 1993.
- Zhang, R. dan Ulrych, T.J., 2003, *Physical Wavelet Frame Denoising* Geophysics Vol.68, No.1, hal.225-231.
- Yilmaz, O.and Doherty, S.M., 1987, *Seismic data processing*, SEG.