



UNIVERSITAS INDONESIA

**IDENTIFIKASI FLUIDA BERDASARKAN ANALISIS ATENUASI
ENERGI WAVELET BERBASIS *SHORT TIME FOURIER
TRANSFORM, CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM DAN
STOCKWELL TRANSFORM***

TESIS

Cakra Nurjaya

0806420865

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
PROGRAM PASCASARJANA GEOFISIKA RESERVOAR
UNIVERSITAS INDONESIA
2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**IDENTIFIKASI FLUIDA BERDASARKAN ANALISIS ATENUASI
ENERGI WAVELET BERBASIS *SHORT TIME FOURIER
TRANSFORM, CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM DAN
STOCKWELL TRANSFORM***

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister

Cakra Nurjaya

0806420865

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
PROGRAM PASCASARJANA GEOFISIKA RESERVOAR
UNIVERSITAS INDONESIA**

2011

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Cakra Nurjaya
NPM : 0806420865
Program Studi : Geofisika Reservoir
Judul Tesis : Identifikasi Fluida Berdasarkan Analisis Atenuasi Energi Wavelet Berbasis *Short Time Fourier Transform*, *Continuous Wavelet Transform* dan *Stockwell Transform*.

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Abdul Haris

()

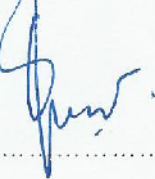
Penguji : Prof. Dr. Suprayitno Munadi

()

Penguji : Dr. Waluyo

()

Penguji : Dr. Ricky Adi Wibowo

()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 9 Juli 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Cakra Nurjaya

NPM : 080640865

Tanda Tangan :



Tanggal : 9 Juli 2011

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Fisika, Program Pascasarjana Geofisika Reservoir, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Dalam penyelesaian tesis ini penulis menyadari bahwa telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Haris, selaku pembimbing yang telah banyak membantu dan dengan sabar mengarahkan serta memberi dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Bapak Prof.Dr Suprajitno Munadi, Dr. Waluyo, dan Dr. Ricky Adi Wibowo selaku penguji yang telah memberikan masukan serta kritik yang sangat membangun dalam perbaikan tesis ini.
3. Para dosen dan staf administrasi Program Pascasarjana Geofisika Reservoir Universitas Indonesia. Untuk Pak Parman dan Pak Samidi juga beberapa pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih atas ilmu yang telah diajarkan dan segala bentuk bantuannya.
4. Untuk kedua orang tua tercinta, beserta kakak dan adik-adik, terima kasih atas dukungan dan do'a-nya.
5. Rekan-rekan Geofisika Reservoir UI 2008, khususnya untuk Budi Riyanto dan Gadang G.Wihardy sahabat yang senantiasa membantu tanpa pamrih.
6. Untuk Tika Marisa Hapsarini yang telah membantu penulis dalam banyak hal, terima kasih 'Nona' atas bantuan dan dukungannya. Juga untuk Mayarlis dan Ridwan yang selalu memberikan support dan bantuan untuk bertukar pikiran penulis dalam menyelesaikan tesis ini, terima kasih sobat.

7. Dan semua pihak telah ikut serta dalam memberikan bantuan yang tidak dapat tersebutkan satu persatu. Semoga bantuan dan dukungan serta bimbingan yang telah diberikan kepada penulis diterima oleh Allah SWT sebagai amalan kebajikan.

Akhir kata penulis menyadari bahwa karya penulisan ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang, semoga tesis ini dapat memberi manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 9 Juli 2011

Penulis



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

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

Nama : Cakra Nurjaya
NPM : 0806420865
Program Studi : Geofisika Reservoir
Departemen : Fisika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
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 :

Identifikasi Fluida Berdasarkan Analisis Atenuasi Energi Wavelet Berbasis *Short Time Fourier Transform*, *Continuous Wavelet Transform* dan *Stockwell Transform*.

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan 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 : 9 Juli 2011

Yang menyatakan



(Cakra Nurjaya)

ABSTRAK

Nama : Cakra Nurjaya
Program Studi : Geofisika Reservoir
Judul Tesis : Identifikasi Fluida Berdasarkan Analisis Atenuasi Energi Wavelet Berbasis *Short Time Fourier Transform*, *Continuous Wavelet Transform* dan *Stockwell Transform*.

Implementasi atenuasi energi seismik masih terus dikembangkan oleh banyak ilmuwan, dengan maksud mengeluarkan informasi yang lebih dalam dari data seismik maupun menjadi alternatif dari beberapa metode yang sudah ada sebelumnya. Telah dicoba metode berbasis Atenuasi Energi Wavelet (WEA) untuk mengidentifikasi fluida, yaitu dengan menggunakan Wavelet Sesaat pada atenuasi *partially saturated rock* akan menghasilkan faktor atenuasi *liquid (Q-liquid)* dan faktor atenuasi *gas (Q-gas)*.

Dalam penelitian ini menggunakan 3 metode analisis spektrum sinyal yaitu *Short Time Fourier Transform*, *Continuous Wavelet Transform* dan *Stockwell Transform* kemudian keluaran dari masing-masing metode tersebut digunakan sebagai input perhitungan faktor atenuasi *liquid* dan faktor atenuasi *gas* berdasarkan analisis WEA.

Hasil ujicoba 3 metode analisis spektrum sinyal yang diaplikasikan pada analisis WEA dengan menggunakan data model dan data lapangan yaitu, pada daerah penelitian dapat menggambarkan distribusi penyebaran *Q-liquid* dan *Q-gas* yang dapat dikorelasikan dengan baik antara ketiga metode tersebut. Pada metode STFT memperlihatkan penyebaran *Q-liquid* dan *Q-gas* yang besar atau *blocky* dengan menampilkan tingkat resolusi yang rendah, sementara pada metode CWT mampu menampilkan resolusi yang lebih baik sehingga dapat memudahkan proses interpretasi, sedangkan hasil yang paling baik diperoleh pada metode *S-Transform* dengan menampilkan tingkat resolusi yang lebih tajam dan dapat menggambarkan distribusi penyebaran *Q-liquid* dan *Q-gas* dengan sangat jelas.

Kata kunci :

Atenuasi Energi Wavelet, *Short Time Fourier Transform*, *Continuous Wavelet Transform* dan *Stockwell Transform*, *Q-liquid* dan, *Q-gas*

ABSTRACT

Name : Cakra Nurjaya
Study Program : Reservoir Geophysics
Title : Fluid Identification Based on *Wavelet Energy Attenuation* Analysis with *Short Time Fourier Transform*, *Continuous Wavelet Transform* and *Stockwell Transform*

Attenuation implementation of seismic energy is still on development with many scientists, to gain more information from seismic data become alternate from the past method. Wavelet Energy Attenuation methods have been succeeding to identify fluids, using Instantaneous Wavelet on partially saturated rock attenuation will generate Liquid attenuation factor (Q-Liquid) and Gas attenuation factor (Q-gas).

In this research will using three analysis spectrum signal methods by Short Time Fourier Transform, Continuous Wavelet Transform and Stockwell Transform the result of each method will process to calculate Liquid attenuation factor and Gas attenuation factor based on WEA analysis.

The test result of three spectrum signal analyze methods that using WEA application with data model and field data experiment on target area capable describe dispersion pattern of Q-liquid and Q-gas which is generally be connected properly. The STFT method shows distribution of Q-gas and Q-liquid larger or 'blocky' with low level resolution, meanwhile in CWT shows better resolution that make interpretation process easier, and compared the S-Transform method shows best results with higher resolution and describe Q-liquid and Q-gas distribution clearly.

Keyword: Wavelet Energy Attenuation, Short Time Fourier Transform, Continuous Wavelet Transform, Stockwell Transform, Q-liquid and Q-gas.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1. 1 Latar Belakang Masalah	1
1. 2 Permasalahan	2
1. 3 Maksud dan Tujuan	3
1. 4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	4
1. 6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 ATENUASI ENERGI WAVELET DAN ANALISIS SPEKTRUM SINYAL	
2. 1 Atenuasi dan Faktor Kualitas	6
2. 1. 1 Atenuasi <i>Partially Saturated Rock</i>	7
2. 1. 2 Analisis <i>Atenuasi Energi Wavelet</i>	11
2. 2 Analisis Spektrum Sinyal	12
2. 2. 1 Transformasi <i>Fourier</i>	12
2. 2. 2 <i>Short Time Fourier Transform (STFT)</i>	13
2. 2. 3 Transformasi Wavelet Kontinyu (CWT)	14
2. 2. 4 Fungsi <i>Wevelet Morlet</i> dan Transformasi Fouriernya	16
2. 2. 5 <i>Stockwell Transform</i>	17
BAB 3 PENGOLAHAN DATA	
3. 1 Aplikasi Data Model 2 D	20
3. 2 Langkah Kerja Pengolahan WEA	22
3. 3 Aplikasi Analisis Atenuasi Energi Wavelet	23
3. 3. 1 Resampling Data Waktu	23
3. 3. 2 Analisis Spektrum Sinyal	24
3. 3. 2. 1 Metode <i>Stockwell-Transform</i>	25
3. 3. 2. 2 <i>Short Time Fourier Transform (STFT)</i>	27
3. 3. 2. 3 Transformasi Wavelet Kontinyu (CWT)	29
3. 3. 3 Proses Smoothing	32
3. 3. 4 Perhitungan Atenuasi Energi Wavelet	35
3. 3. 5 Nilai <i>Q-liquid dan Q-gas</i> Final	38
3. 4 Aplikasi Data Lapangan Format 3 Dimensi	40

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4. 1 Peta Time-Frekuensi Data Sintetik	44
4. 2 Analisis WEA Pada Data model Marmousi2 2D	45
4. 2. 1 Penampang <i>Q-liquid</i> metode <i>S-Transform</i> , STFT dan CWT	45
4. 2. 2 Penampang <i>Q-gas</i> metode <i>S-Transform</i> , STFT dan CWT	47
4. 3 Analisis Menggunakan Data Lapangan 3D	49
4. 3. 1 Penampang <i>Q-liquid</i> slice crosline 282 metode <i>S-Transform</i> , STFT dan CWT	49
4. 3. 2 Penampang <i>Q-liquid</i> slice Inline 306 metode <i>S-Transform</i> , STFT dan CWT	51
4. 3. 3 Penampang <i>Q-liquid</i> Horizon slice L1 metode <i>S-Transform</i> , STFT dan CWT	52
4. 3. 4 Penampang <i>Q-gas</i> slice crosline 282 metode <i>S-Transform</i> , STFT dan CWT	53
4. 3. 5 Penampang <i>Q-gas</i> slice Inline 306 metode <i>S-Transform</i> , STFT dan CWT	54
4. 3. 6 Penampang <i>Q-gas</i> Horizon slice L1 metode <i>S-Transform</i> , STFT dan CWT	55
4. 4 Komparasi Analisis Spektrum Sinyal Metode <i>S-Transform</i> , STFT dan CWT untuk Aplikasi WEA	57
BAB 5 KESIMPULAN	
DAFTAR ACUAN	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram alur penelitian	4
Gambar 2.1	Pori terisi sebagian dalam medan gradien tekanan (Lichmann et al, 2003)	7
Gambar 2.2	(a) Kehilangan energi relatif dengan kehadiran gas dalam pori, fungsi linear terhadap frekuensi. (b) Peluruhan amplitudo sinyal sebagai fungsi eksponensial frekuensi (Lichmann et al, 2003)	9
Gambar 2.3	(a) Kehilangan energi relatif, karena kehadiran liquid dalam pori, fungsi logaritmik terhadap frekuensi. (b) Amplitudo sinyal sebagai meningkat terhadap frekuensi (Lichmann et al, 2003)	10
Gambar 2.4	(a) Ilustrasi efek skala dari suatu fungsi wavelet. (b) Hasil transformasi Fourier-nya (bawah) untuk (a) $s < 1$, (b) $s = 1$, (c) $s > 1$ (Kumar dan Foufoula, 1994)	15
Gambar 2.5	(a) Fungsi <i>Wavelet Morlet</i> . (b) <i>Wavelet Morlet</i> yang dibangun dengan cara memodulasi fungsi dan <i>Window Gauss</i> (Torrence dan Compo, 1998)	17
Gambar 3.1	Data sintetik 2D model Marmousi2 stack section (Martin dan Marfurt, 2002)	20
Gambar 3.2	Data 2D daerah penelitian analisis WEA dengan trace number 600-850 dan time 1880-2200ms dari model marmousi2	21
Gambar 3.3	Diagram Alir Penelitian WEA	22
Gambar 3.4	(a) Sinyal sintetik original. (b) Sinyal sintetik hasil proses resampling	23
Gambar 3.5	(a) Trace number 650 data Marmousi2 (original) (b) Trace number 650 data Marmousi2 (proses resampling).	24
Gambar 3.6	Diagram alir komputasi Metode <i>S-Transform</i>	25
Gambar 3.7	(a) Sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40, Hz, dan 70 Hz. (b) Peta Time-Frekuensi metode <i>S-Transform</i> .	26
Gambar 3.8	(a) Sinyal Trace number 650 data Marmousi2. (b) Hasil peta Time-Frekuensi metode <i>S-Transform</i> .	26
Gambar 3.9	Diagram alir komputasi metode STFT	27
Gambar 3.10	(a) Sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40, Hz, dan 70 Hz. (b) Peta Time-Frekuensi metode STFT.	28
Gambar 3.11	(a) Sinyal Trace number 650 data Marmousi2 (b) Hasil peta Time-Frekuensi metode STFT. (b) Hasil peta time-frekuensi metode STFT.	28
Gambar 3.12	Diagram alir komputasi metode CWT	29
Gambar 3.13	(a) Sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40, Hz, dan 70 Hz. (b) Peta Time-Frekuensi metode CWT.	30
Gambar 3.14	(a) Sinyal Trace number 650 data Marmousi2. (b) Hasil peta Time-Frekuensi metode CWT	31
Gambar 3.15	Ilustrasi proses smoothing, titik hitam merupakan data frekuensi dan garis lurus adalah hasil proses smoothing pada sinyal spektra.	32
Gambar 3.16	Sinyal sintetik dan hasil analisis spektrum metode <i>S-Transform</i> yang digunakan untuk ujicoba proses smoothing pada time 2.4s	33
Gambar 3.17	Sinyal spektra trace sintetik pada time 2.4 s. dalam domain Time-Frekuensi sebelum dan setelah dismoothing (a) Spektrum spectra	

	metode STFT, (b) spektrum spektra CWT, (c) spektrum spektra <i>S-Transform</i> .	34
Gambar 3.18	Spektra trace number 650 pada time 2050 ms data Marmousi2 dalam domain Time-Frekuensi dan hasil analisis spektrum metode <i>S-Transform</i> yang digunakan untuk ujicoba proses smoothing pada time 2050ms	34
Gambar 3.19	Sinyal spektra trace number 650 pada time 2050 ms data Marmousi2 dalam domain Time-Frekuensi sebelum dan setelah dismoothing (a) Spektrum spektra metode STFT (b) spektrum spektra CWT, (c) spektrum spektra <i>S-Transform</i> .	35
Gambar 3.20	Ilustrasi perhitungan <i>Q-liquid</i> dan <i>Q-gas</i> pada analisis WEA	36
Gambar 3.21	Warna biru merupakan sinyal spektra dan warna merah adalah data fitting kurva pada Matlab.	36
Gambar 3.22	Nilai <i>Q-liquid</i> disepanjang trace number 650 (a) trace original (b) hasil proses metode <i>S-Transform</i> (c) hasil proses metode STFT (d) hasil proses metode CWT.	37
Gambar 3.23	Nilai <i>Q-gas</i> disepanjang trace number 650 (a) trace original (b) hasil proses metode <i>S-Transform</i> (c) hasil proses metode STFT (d) hasil proses metode CWT.	38
Gambar 3.24	Nilai <i>Q-liquid</i> disepanjang trace number 650 setelah mengalami pengurangan trend atenuasinya (a) trace original (b) hasil proses metode <i>S-Transform</i> (c) hasil proses metode STFT (d) hasil proses metode CWT	39
Gambar 3.25	Nilai <i>Q-gas</i> disepanjang trace number 650 setelah mengalami pengurangan trend atenuasinya (a) trace original (b) hasil proses metode <i>S-Transform</i> (c) hasil proses metode STFT (d) hasil proses metode CWT.	39
Gambar 3.26	Data seismik 3D yang digunakan dalam penelitian	41
Gambar 3.27	Penampang seismik inline 306	41
Gambar 3.28	Penampang seismik crosline 282	42
Gambar 3.29	Horizon slice L1 daerah penelitian data 3D dan posisi sumur P01	42
Gambar 3.30	Horizon slice L6 daerah penelitian data 3D dan posisi sumur P02	43
Gambar 4.1	Hasil peta Time-Frekuensi pada trace sintetik (a) trace original, (b) Metode <i>S-Transform</i> , (c) Metode STFT dan (d) metode CWT	44
Gambar 4.2	Hasil Penampang <i>Q-liquid</i> metode <i>S-Transform</i> (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)	45
Gambar 4.3	Hasil Penampang <i>Q-gas</i> metode <i>S-Transform</i> (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)	48
Gambar 4.4	Hasil Penampang <i>Q-liquid</i> slice crosline 282 metode <i>S-Transform</i> (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)	50
Gambar 4.5	Hasil Penampang <i>Q-liquid</i> slice inline 306 metode <i>S-Transform</i> (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)	51
Gambar 4.6	Hasil Penampang <i>Q-liquid</i> Horizon slice L1 metode <i>S-Transform</i> (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)	52
Gambar 4.7	Hasil Penampang <i>Q-gas</i> slice crosline 282 metode <i>S-Transform</i> (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)	54
Gambar 4.8	Hasil Penampang <i>Q-gas</i> slice inline 306 metode <i>S-Transform</i> (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)	55

Gambar 4.9 Hasil Penampang Q -gas Horizon slice L1 metode S -Transform (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)

56



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Daerah dimana terdapat kontras AI (*Acoustic Impedance*) yang tinggi antara *Shale* dan *Sand* umumnya mendeteksi zona gas, namun *Compaction Ratio* antara *Shale* dan *Sand* berbeda sehingga pada kondisi tertentu dengan range waktu geologi tertentu bisa saja tidak terdapat kontras AI antara keduanya, karena itu diperlukan suatu metode alternatif daripada metode berbasis kontras AI tersebut.

Studi tentang redaman masih terus dikembangkan, perubahan pada amplitudo, frekuensi dan phase selain dapat ditentukan oleh konfigurasi geometri, akuisisi dan proses pengolahan data juga dapat ditentukan oleh kondisi fisik suatu medium, seperti jenis batuan dan juga saturasi fluida. Faktor kualitas Q pada gelombang seismik merupakan salah satu faktor penting dalam eksplorasi minyak dan gas bumi yang selama ini belum banyak digunakan. Faktor kualitas Q merupakan kemampuan medium untuk meneruskan/meredam gelombang yang melaluinya, dengan ini faktor kualitas Q dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan saturasi fluida, retakan dan porositas tinggi dari data seismik.

Faktor atenuasi seismik yang dinotasikan dengan Q menyebabkan hilangnya energi frekuensi tinggi terhadap meningkatnya waktu penjalaran, dan juga distorsi Wavelet dalam fungsi waktu. Atenuasi dapat diasosiasikan dengan sifat-sifat petrofisik dan aliran fluida pengisi pori batuan. Dari hasil eksperimen laboratorium diketahui bahwa atenuasi pada gelombang P ($1/Q_p$) menunjukkan bahwa faktor kualitas Q_p mempunyai nilai yang sangat tinggi pada batuan kering (*dry rock*), lebih rendah pada batuan tersaturasi penuh cairan dan sangat rendah pada kondisi batuan tersaturasi sebagian (Winkler et al. 1982), atas dasar hal tersebut faktor kualitas Q dapat digunakan untuk mengetahui kandungan fluida dalam batuan.

1.2 Permasalahan

Perambatan gelombang seismik dalam suatu medium yang tersaturasi sebagian menunjukkan bahwa atenuasi bergantung pada frekuensi yang sangat dipengaruhi oleh porositas dan saturasi. *Atenuasi Energy Wavelet* (WEA) menfokuskan studi tentang sifat absorpsi batuan dan kandungan fluida yang terekam pada Wavelet non-stasioner yang merambat didalamnya, adapun konsep dasar WEA yaitu jika kehilangan energi minimum berarti energi Wavelet yang ditransmisikan ke dalam medium batuan maksimum, hal ini berarti analisis Atenuasi Energy Wavelet dapat diekstraksi dari spektrum amplitudo sesaatnya dan tidak memiliki keterbatasan yang berhubungan dengan kontras AI sehingga metode ini dapat menjadi suatu alternatif untuk deteksi hidrokarbon langsung.

Penelitian terdahulu WEA selalu bergantung pada usaha menganalisis spektrum sinyal seismik dalam kawasan Time-Frekuensi. Lichmann et al, 2003 pada pekerjaan WEA menggunakan metode *Short Time Fourier Transform* dan Anggraini, 2007 memakai CWT untuk analisis WEA pada data seismik pemodelan elastik. Metode *Stockwell Transform* yang dikenal dengan *S-Transform*, juga dapat digunakan dalam menganalisis spektrum sinyal nonstasioner, dimana *S-Transform* mampu memberikan representasi peta Time-Frekuensi. *S-Transform* pada umumnya berhubungan dengan Transformasi *Fourier* dan hasil transformasi diintegrasikan disepanjang domain waktu maka akan dihasilkan spektrum frekuensi yang biasanya diperoleh melalui *Fourier Transform* biasa, hubungan ini menyebabkan *S-Transform* unik dan berbeda dari metode analisis spektrum lainnya.

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Identifikasi fluida dapat dilakukan dengan menggunakan studi atenuasi berbasis *Wevelet Energy Absorbtion (WEA)* dari data seismik pada daerah target dengan prospek hidrokarbon. Dalam pengerjaannya penelitian ini melakukan study perbandingan 3 metode yaitu *Short Time Fourier Transform (STFT)*, *Continuous Wavelet Transform (CWT)* dan *Stockwell Transform* untuk menganalisis spektrum pada sinyal seismik yang keluarannya dipakai sebagai input perhitungan faktor atenuasi *liquid* dan faktor atenuasi gas berdasarkan analisis WEA, dan selanjutnya dilakukan komparasi dari hasil akhir pada plot penampang keluaran 3 metode yang digunakan.

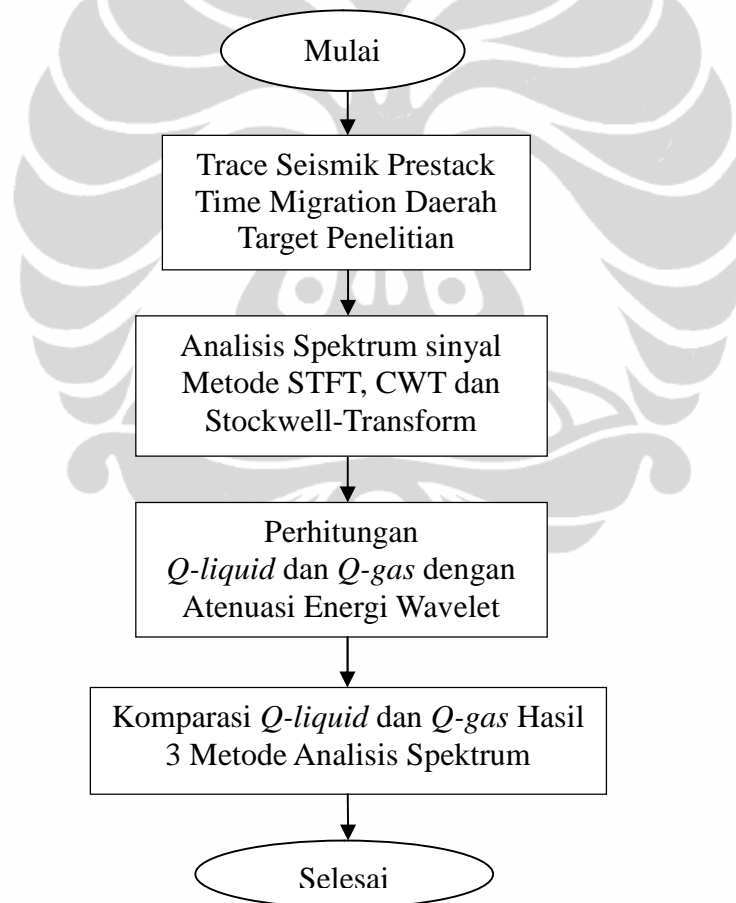
1.4 Batasan Masalah

Beberapa hal yang membatasi penyusunan penelitian ini adalah :

- Pembahasan atenuasi difokuskan pada studi WEA dalam *partially saturated rock* yang digunakan untuk mendapatkan penampang *Q-liquid* dan *Q-gas* sebagai informasi untuk identifikasi fluida daerah prospek hidrokarbon.
- Dalam penelitian ini pada tahap pengolahan data, 3 metode dipakai untuk menganalisis spektrum sinyal yaitu menggunakan metode *Short Time Fourier Transform*, *Continuous Wavelet Transform* dan *Stockwell Transform* digunakan sebagai operator untuk mendapatkan spektrum sesaat dari data seismik, sehingga karakteristik metode transformasi dalam pengolahannya akan dibawa untuk memperlihatkan hasil penampang pada *Q-liquid* dan *Q-gas* dari masing-masing metode.
- Dan pada metode *Continuous Wavelet Transform (CWT)*, dibatasi dan hanya digunakan sebuah *Wavelet Morlet Complex* untuk menghasilkan peta Time-Frekuensi sebagai input perhitungan analisis WEA.

1.5 Metode Penelitian

Pada penelitian ini *Trace Seismic Pre-Stack Time Migration* digunakan sebagai input yang akan diolah kedalam kawasan Time-Frekuensi dengan menggunakan 3 metode analisis spektrum sinyal yang berbeda. Selanjutnya dilakukan perhitungan analisis WEA sehingga diperoleh harga Q -liquid dan Q -gas yang kemudian dilakukan komparasi pada hasil akhir plot penampangnya. Diagram flowchart penelitian ini secara umum digambarkan pada gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Diagram alur penelitian

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dari tesis ini dijelaskan sebagai berikut. Pada bab 1 pendahuluan, berisikan latar belakang yang melandasi penelitian ini, dilanjutkan dengan permasalahan, tujuan penelitian dan batasan masalah, metode penelitian serta sistematika penulisan. Kemudian pada bab 2 menjelaskan tentang dasar teori yang berhubungan langsung dengan atenuasi khususnya *Atenuasi Energy Wavelet (WEA)* serta penjelasan secara umum metode *Short Time Fourier Transform*, *Continuous Wavelet Transform* dan *Stockwell Transform* dalam menganalisis spektrum sinyal. Selanjutnya bab 3 merupakan aplikasi perhitungan WEA serta penjelasan tentang proses pengolahan data dalam penelitian ini dan memaparkan langkah-langkah detail dari proses pembuatan algoritma sampai dengan perhitungan hasil akhir pada penampang *Q-liquid* dan *Q-gas* untuk identifikasi fluida dari data seismik. Pada bab 4 berisikan hasil penampang *Q-liquid* dan *Q-gas* pada ujicoba menggunakan data model dalam format 2D dan data seismik real dalam format 3D yang kemudian dilakukan komparasi dari keluaran 3 metode analisis spectrum sinyal. Kemudian bab 5 merupakan kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian, selanjutnya ditutup dengan daftar acuan serta beberapa lampiran yang melandasi penelitian ini.

BAB 2

ATENUASI ENERGI WAVELET DAN ANALISIS SPEKTRUM SINYAL

2.1 Atenuasi dan Faktor Kualitas

Atenuasi gelombang seismik didefinisikan sebagai proses penyerapan energi oleh medium yang mengakibatkan pelemahan amplitudo gelombang. Pengaruh atenuasi terhadap sinyal seismik terlihat pada menurunnya amplitudo dan melebarnya sinyal (Munadi, 2000). Beberapa pelemahan dalam gelombang seismik dapat disebabkan oleh adanya faktor alam seperti pengaruh penyebaran geometris, pembagian energi pada bidang batas, faktor interferensi dan pengaruh lapisan tipis (*tunning effect*). Selain itu pelemahan juga dapat disebabkan oleh faktor teknis seperti pada saat perekaman, seperti pemilihan *array* geofon dan sumber seismik serta pengaruh pada *amplifier* dan kopling antara geofon. Dalam proses pengolahan data seismik atenuasi rentan terjadi pada saat amplitudo *recovery stacking*, *scalling*, *residual static* dan juga amplitudo *balancing*.

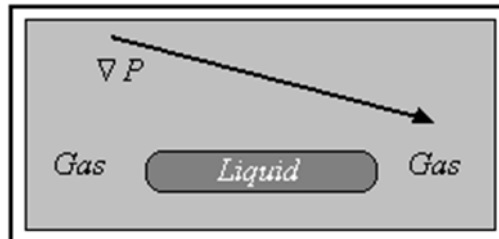
Faktor kualitas dalam berbagai literatur dinotasikan dengan symbol Q , yang merupakan perbandingan antara energi elastik yang masuk dalam suatu medium terhadap energi yang terdisipasi dalam 1 siklus (Johnston dan Toksoz, 1981). secara matematis dapat ditulis :

$$Q = \frac{\omega E}{-dE/dt} = \frac{2\pi W}{W} \quad (2.1)$$

Dimana : E adalah energi sesaat dalam sistem, dE/dt adalah energi rata-rata yang hilang, dan ω adalah frekuensi sudut, W adalah energi elastik maksimum dan W energi yang hilang per-siklus gelombang.

2.1.1 Atenuasi *Partially Saturated Rock*

Untuk menjelaskan konsep atenuasi dalam batuan tersaturasi sebagian dipakai ilustrasi seperti pada gambar (2.1) berikut.



Gambar 2.1 Pori terisi sebagian dalam medan gradien tekanan (Lichmann et al, 2003)

Dimana satu pori tunggal yang terisi fluida dan berada pada medan gradient tekanan. Tekanan disini digambarkan dengan persamaan bidang monokromatik. Persamaan tersebut dapat dituliskan dengan :

$$P(\vec{r}, t, \vec{k}, \omega) = P_0 \exp\{i(\omega t + \vec{k} \cdot \vec{r})\} \quad (2.2)$$

t adalah waktu, $\vec{r} = (x, y, z)$ dalam koordinat ruang, $\vec{k} =$ bilangan gelombang, $\omega =$ frekuensi, dan $i = \sqrt{-1}$

Didalam mekanismenya proses pada atenuasi *liquid* dan gas tidak terkait satu sama lain artinya proses peluruhan energi yang terjadi dalam fraksi gas tidak berkaitan dengan peluruhan energi pada fraksi *liquid*, hal ini berarti proses penjumlahan secara linear dari peluruhan energi keduanya dapat memberikan kehilangan energi total dalam suatu medium.

Selanjutnya untuk atenuasi energi gas E_G diberikan dalam persamaan:

$$E_G = E_{GC} + E_{GE} = \oint P_G dv_\sigma \quad (2.3)$$

dimana : P_G = tekanan gas , $V_\sigma = V_{\sigma C} + V_\sigma$ adalah perubahan volume pori total dalam 1 siklus kompresi (C) – ekspansi (E)

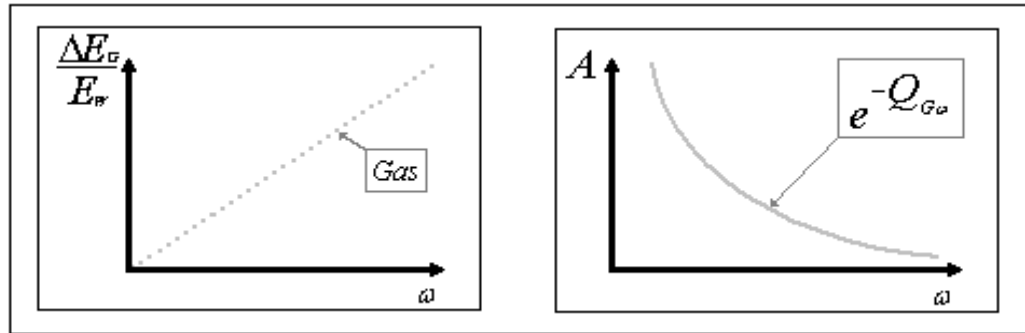
Dengan mempertimbangkan bahwa kecepatan grup gelombang suara dalam medium akan lebih cepat dibandingkan kecepatan suara pada pori yang berisi gas maka dapat dikatakan bahwa proses perubahan volume pori supersonik terhadap gas dalam pori. Hal ini berarti proses kehilangan energi E_{GC} selama setengah siklus kompresi adalah adiabatik dan proses kehilangan energi E_{GE} dalam setengah siklus ekspansi adalah proses isothermal.

Berdasarkan pertimbangan diatas dapat ditunjukkan bahwa kehilangan energi total selama satu siklus sebanding dengan frekuensi dan energi total E_W dari gelombang P yang ditransmisikan dalam media per-satu siklus. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.4)

$$\frac{E_G}{E_W} = Q_G \frac{\omega}{\omega_{ref}} \quad (2.4)$$

dimana : ω_{ref} adalah frekuensi acuan dan, Q_G adalah faktor kualitas gas dalam pori.

Gambar 2.2(a) melukiskan ketergantungan linier dari kehilangan energi relatif E_G / E_W dalam pori yang berisi gas terhadap frekuensi. Pada persamaan (2.4) adalah atenuasi energi yang ditimbulkan oleh ruang pori yang terisi gas menghasilkan amplitudo sinyal yang meluruh secara eksponensial terhadap frekuensinya. (gambar 2.2b)



Gambar 2.2a (kiri) Kehilangan energi relatif dengan kehadiran gas dalam pori, fungsi linear terhadap frekuensi, 2.2b (kanan) Peluruhan amplitudo sinyal sebagai fungsi eksponensial frekuensi (Lichmann et al, 2003)

Kehilangan energi pada fraksi *liquid* E_L disebabkan adanya gesekan antara sumbat *liquid* yang inkompresible dengan dinding pori. Dengan asumsi bahwa gaya gesekan sebanding dengan kecepatan relatif sumbat *liquid* V_L dan dalam satu siklus sumbat *liquid* ini bergerak dengan kecepatan rata-rata tertentu \bar{V}_L , maka kehilangan energi fraksi *liquid* E_L adalah :

$$E_L = \frac{\bar{V}_L \zeta}{2} \quad (2.5)$$

dimana : ζ = impuls yang ditransmisikan terhadap sumbat *liquid* oleh gradient tekanan dalam 1 siklus.

Dengan menggunakan persamaan (2.1) akan didapatkan persamaan baru untuk impuls ζ seperti pada persamaan (2.6).

$$\zeta = \phi \int |\nabla P| dt = \frac{|\vec{k}|}{\omega} \phi P = \frac{1}{C(\omega)} \phi P \quad (2.6)$$

dimana : ϕ = luas penampang pori, $C(\omega)$ = Kecepatan fase dalam media, dan tanda integral menandakan 1 siklus interval

Menurut Aki dan Richards (2002) kecepatan fase dapat diberikan dengan persamaan :

$$C(\omega) = \frac{C(\omega_{ref})}{1 + \frac{2D}{\pi} \ln \frac{(\omega_{ref})}{\omega}} A = \pi r^2 \quad (2.7)$$

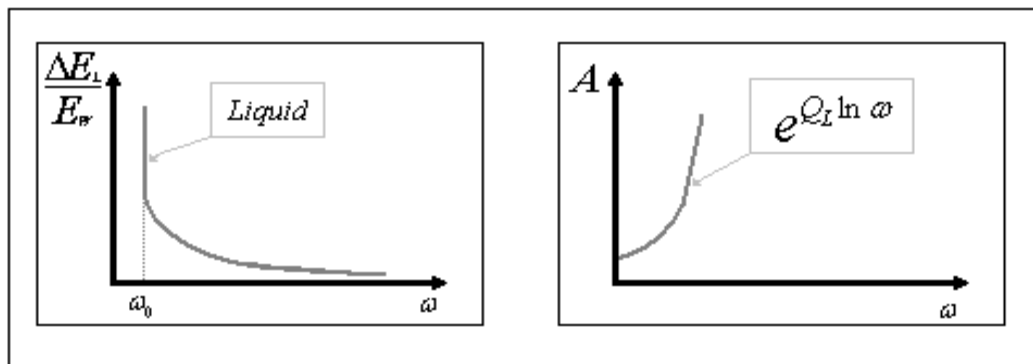
Persamaan (2.7) berlaku untuk $\omega > \omega_0$ dan ω_0 adalah estimasi batas bawah frekuensi (frekuensi rendah), dimana D = koefisien redaman material (tidak bergantung frekuensi).

Gabungan persamaan (2.5), (2.6), dan (2.7) menghasilkan persamaan energi yang hilang untuk fraksi *liquid* seperti dituliskan pada persamaan (2.8).

$$\frac{E_L}{E_W} = -Q_L \ln \left(\frac{\omega}{\omega_{ref}} \right) \quad (2.8)$$

dimana : Q_L adalah faktor kualitas *liquid* didalam pori.

Dari persamaan (2.8) dapat diilustrasikan dengan gambar (2.3) yang memperlihatkan ketergantungan kehilangan energi relatif E_L / E_W dalam pori yang berisi *liquid* terhadap frekuensi.



Gambar 2.3a (kiri) Kehilangan energi relatif, karena kehadiran *liquid* dalam pori, fungsi logaritmik terhadap frekuensi, 2.3b (kanan) Amplitudo sinyal sebagai meningkat terhadap frekuensi (Lichmann et al, 2003)

2.1.2 Analisis Atenuasi Energi Wavelet

Total energi yang hilang adalah penjumlahan dari energi hilang karena gas pada persamaan (2.4) dan energi hilang karena *liquid* pada persamaan (2.8), yaitu :

$$\frac{E}{E_W} = \frac{E_G}{E_W} + \frac{E_L}{E_W} = Q_G \frac{\omega}{\omega_{ref}} - Q_L \ln \left(\frac{\omega}{\omega_{ref}} \right) \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) menuntun kita pada kesimpulan yaitu frekuensi ω_d adalah frekuensi dimana kehilangan energi relatif akan minimum nilainya. Nilai frekuensi ini akan sama dengan perbandingan antara faktor kualitas *liquid* dan faktor kualitas gas dalam pori (Lichmann et al, 2003)

$$\omega_d = \omega_{ref} \frac{Q_L}{Q_G} \quad (2.10)$$

Pada kehilangan energi minimum berarti Wavelet yang ditransmisikan kedalam batuan saat itu maksimum. Oleh karena itu ω_d adalah frekuensi dominan dari Spektrum Amplitudo Wavelet atau frekuensi dimana terjadi pada saat amplitudonya maksimum.

Meskipun efek atenuasi yang terukur sangat signifikan, namun mengekstrak faktor kualitas fluida dari data seismik menemui beberapa kendala. Beberapa publikasi melakukan analisis spektrum sesaat yang dapat diekstrak dari sinyal seismik. Sedangkan Lichmann (1999), menyatakan bahwa sifat absorbtif medium hanya akan berpengaruh pada Wavelet Sesaatnya dan koefisien refleksi tidak mengandung informasi tentang absorpsi energi. Analisis langsung terhadap spektrum untuk mengetahui energi absorpsi biasanya hanya akan mendeteksi reflektor yang kuat dan untuk mendapatkan Wavelet Sesaat terlebih dahulu harus didapatkan spektrum sesaatnya dari sinyal seismik.

2.2 Analisis Spektrum Sinyal

Analisis spektrum digunakan sebagai alat analisa sinyal khususnya pada data nonstasioner seperti pada sinyal seismik dimana kandungan frekuensi yang ada didalam sinyal dapat diperlihatkan dengan menggunakan suatu Fungsi Transformasi.

Analisis spektrum sinyal disebut juga sebagai analisis Waktu-Frekuensi dari data seismik yang umumnya sering menggunakan Transformasi Fourier, sehingga pada data seismik yang secara alami tidak stasioner dan mempunyai kandungan frekuensi yang bervariasi terhadap waktu dapat dianalisa disetiap kandungan frekuensinya

2.2.1 Transformasi *Fourier*

Transformasi Fourier adalah suatu transformasi integral yang dapat merubah fungsi *Time* domain menjadi fungsi *Frekuensi* domain dan sebaliknya. Transformasi Fourier merupakan fungsi komplek sehingga akan menghasilkan nilai real dan imajiner (Munadi, 2003). Berikut ini merupakan fungsi Transformasi Fourier :

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.11)$$

dengan fungsi inversinya sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{i\omega t} d\omega \quad (2.12)$$

Transformasi Fourier mengindikasikan semua komponen spektra yang ada didalam sinyal, tetapi tidak memberikan informasi mengenai posisi komponen spektra tersebut didalam domain waktu.

Optimalisasi Transformasi Fourier dilakukan menggunakan fungsi *window* untuk membatasi informasi frekuensi. Sinyal dibagi menjadi segmen-segmen sinyal kecil yang diasumsikan stasioner sehingga Transformasi Fourier-nya akan memberikan informasi kandungan frekuensi pada waktu tersebut. Pemilihan jendela yang memiliki lebar yang sama dengan segmen sinyal agar asumsi stasionernya valid.

2.2.2 Short Time Fourier Transform

Transformasi Fourier merupakan algoritma matematika yang dapat merubah sinyal pada domain waktu menjadi domain frekuensi. Bentuk persamaan Transformasi Fourier dari sebuah sinyal dengan fungsi waktu $f(t)$ merupakan perkalian dari fungsi tersebut dengan fungsi dasar $e^{-i\omega t}$, sebagai berikut :

$$f(\omega) = \langle f(t), e^{-i\omega t} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (2.13)$$

Jika sinyal seismik ditransformasikan kedalam domain frekuensi dengan persamaan Fourier, akan memberikan seluruh informasi dari frekuensi yang terdapat didalam sinyal tersebut. Dalam analisis spektrum sinyal, akan tersegmentasi menjadi jendela waktu yang kecil (*windowing*), hal ini dikarenakan sinyal seismik terdiri dari berbagai macam gelombang yang berasal dari banyak reflektor. Kemudian dengan mengubah segmen tersebut menjadi domain frekuensi, maka dapat diperoleh informasi mengenai frekuensi lokal dari sebuah sinyal disepanjang waktu tersebut. Pendekatan seperti ini disebut dengan *Short Time Fourier Transform* (STFT). Dengan mengalikan sinyal $f(t)$ dengan fungsi dari *time window* $\phi(t)$ sehingga diperoleh persamaan (2.14) sebagai berikut :

$$STFT(\omega, \tau) = \langle f(t), \phi(t - \tau) e^{-i\omega t} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \bar{\phi}(t - \tau) e^{-i\omega t} dt \quad (2.14)$$

dimana fungsi ϕ akan terpusat di $t = \tau$ pada saat $t = \tau$, dimana τ ialah parameter translasi dan $\bar{\phi}$ adalah konjugasi kompleks dari ϕ . Hasil dari Transformasi Fourier dapat ditampilkan dalam peta Waktu-Frekuensi yang disebut dengan *spectrogram*.

Keterbatasan STFT yaitu akan memberikan kesulitan dalam penentuan jendela (*window*) yang optimal. Hal ini dikarenakan untuk mendapatkan resolusi yang baik dalam kawasan waktu diperlukan *window* berdurasi pendek agar asumsi sinyal

stasioner semakin baik yang berakibat rendahnya resolusi frekuensi, demikian juga sebaliknya. Untuk mengatasi keterbatasan hal tersebut, diperlukan suatu analisis multiresolusi dengan dimensi *window* Waktu-Frekuensi yang berubah-ubah walaupun dimensi luasnya tetap. Analisis ini dapat menghasilkan resolusi frekuensi tinggi dan resolusi waktu rendah pada frekuensi rendah, dan berlaku sebaliknya untuk frekuensi tinggi. Hal ini bersesuaian dengan sinyal seismik yang umumnya memiliki komponen frekuensi tinggi dalam durasi pendek. Analisis multiresolusi dilakukan menggunakan suatu fungsi yang mampu bertranslasi dan berdilatasi, kemampuan fungsi tersebut dapat dipenuhi oleh *Wavelet*.

2.2.3 Transformasi Wavelet Kontinyu (CWT)

Integral Transformasi Wavelet merupakan metode untuk menghasilkan *window* Frekuensi-Waktu yang tepat. Integral Transformasi Wavelet atau *Wavelet Transform* (WT) membentuk ulang sinyal dengan Wavelet dilatasi dan translasi (Kumar dan Foufoula, 1994). Wavelet merupakan fungsi $\Psi(t) \in L^2(R)$ dengan rerata nol, seperti yang diilustrasikan pada persamaan (2.15).

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 0 \quad (2.15)$$

dengan pusat di $t = 0$ dan dinormalisasi $\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t) dt = 1$. Wavelet dalam analisa kawasan Waktu-Frekuensi diperoleh dengan skala atau dilatasi sebesar s dan translasi dengan u fungsi Wavelet $\Psi(t)$. Wavelet dapat didefinisikan :

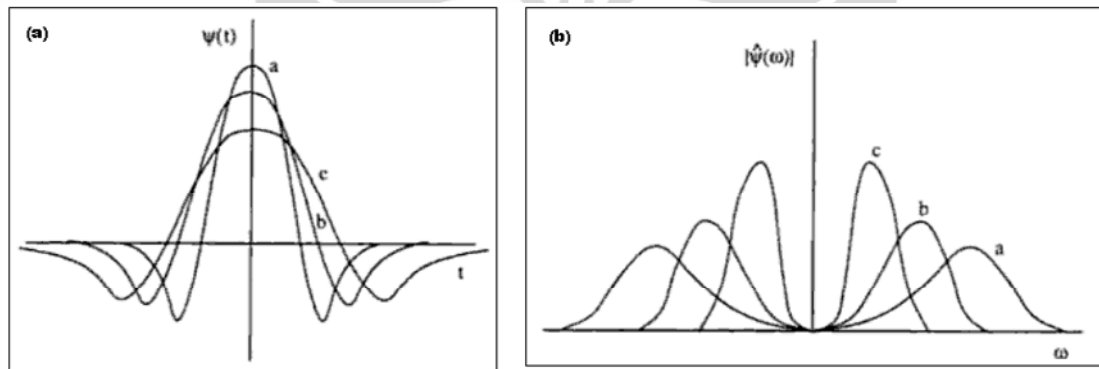
$$\Psi_{s,u}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-u}{s}\right) \quad (2.16)$$

dimana : $u, s \in R$ dan s tidak nol yang merupakan parameter dilatasi. Wavelet dinormalisasi sehingga $\|\Psi_{u,s}(t)\| = 1$

Transformasi Wavelet dari $\Psi(t) \in L^2(\mathbb{R})$ pada waktu u dan skala s adalah :

$$W_x(u, s) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \Psi_{u,s}^*(t) dt \quad (2.17)$$

dimana : Ψ adalah kompleks konjugasi dari Ψ dan $W_x(u, s)$ merupakan peta Waktu-Skala (*scalogram*). Pengaruh faktor skala pada suatu fungsi Wavelet dapat dilihat pada gambar (2.6).



Gambar 2.4 (a) Ilustrasi efek skala dari suatu fungsi Wavelet dan gambar 2.4 (b) hasil transformasi Fourier-nya (bawah) untuk (a) $s < 1$, (b) $s = 1$, (c) $s > 1$ (Kumar dan Foufoula, 1994)

Untuk rekonstruksi fungsi $x(t)$ dari Transformasi Wavelet atau Inverse Transformasi Wavelet diberikan pada persamaan (2.18).

$$x(t) = \frac{1}{C_\Psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} w_x(u, s) \Psi_{u,s}(t) du \frac{ds}{s^2} \quad (2.18)$$

Agar terdapat Inversi Transformasi Wavelet, diperlukan analisis Wavelet yang memenuhi *admissibility condition* yang diberikan dengan persamaan (2.9).

$$C_{\psi} = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\widehat{\Psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \quad (2.19)$$

dimana : $\widehat{\Psi}(\omega)$ adalah Transformasi *Fourier* dari $\Psi(t)$ dan dengan C_{ψ} adalah sebuah konstanta untuk Wavelet Ψ . *Integral* pada persamaan diatas mempunyai diskontinuitas yang dapat di integralkan pada $\omega = 0$ dan juga menyatakan bahwa $\int \Psi(t)dt = 0$.

2.2.4 Fungsi Wevelet Morlet dan Transformasi Fourier-nya

Morlet Wevelet adalah bentuk dasar dari suatu fungsi utama yang digunakan untuk membangkitkan fungsi-fungsi *window* dalam proses Transformasi. Beberapa Wavelet yang biasa digunakan untuk aplikasinya antara lain adalah *Wavelet Doubechies*, *Wavelet Haar*, *Wavelet Symlet*, dan *Wavelet Morlet*. Fungsi Wavelet yang pada umumnya digunakan dalam Transformasi Wavelet Kontinyu adalah *Wavelet Morlet*, seperti digambarkan pada gambar (2.5) adalah sebuah fungsi Wavelet yang dibangun dengan cara memodulasi fungsi sinus dengan fungsi *Gaussian* (Torrence dan Compo, 1998). Suatu fungsi *Wavelet Morlet* dapat dituliskan :

$$\Psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{\left(-i\omega_0 t - e^{-\frac{\omega_0^2}{2}}\right)} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (2.20)$$

biasanya dinyatakan dengan:

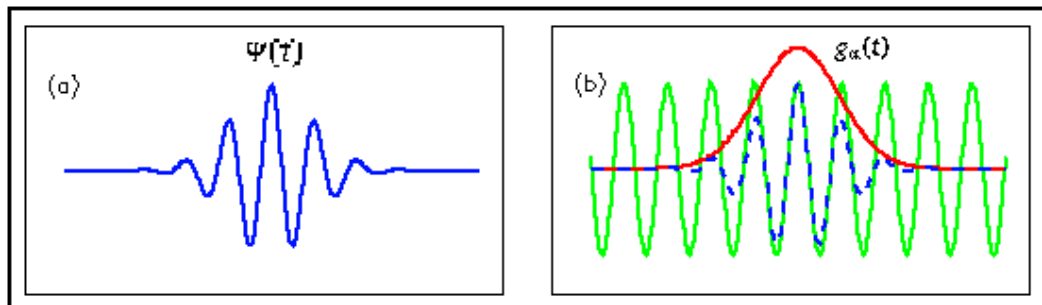
$$\Psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{(-i\omega_0 t)} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad \text{untuk} \quad \omega_0 > 5 \quad (2.21)$$

pendekatan ini dilakukan untuk memenuhi *admissibility condition*.

Hasil Transformasi Fourier-nya dapat dinyatakan :

$$\tilde{\Psi}(\omega) = \frac{1}{4} e^{-\frac{(\omega_0 - \omega)^2}{2}} \quad (2.22)$$

Wavelet ini berbentuk kompleks dan biasa digunakan untuk mengekstraksi informasi amplitudo atau phase suatu sinyal.



Gambar 2.5(a) Fungsi *Wavelet Morlet*, (b) *Wavelet Morlet* yang dibangun dengan cara memodulasi fungsi dan *Window Gauss* (Torrence dan Compo, 1998)

2.2.5 Stockwell Transform

Konsep *Stockwell Transform* atau *S-Transform* diperkenalkan pertama kali oleh R.G. Stockwell et al., (1996) sebagai salah satu metode yang digunakan untuk melokalisasi spektrum yang kompleks. Menurut Stockwell, *S-Transform* merupakan semacam koreksi fasa dari metode *Continuous Wavelet Transform (CWT)*, $W(\tau, d)$, dari sebuah fungsi $h(t)$ dinyatakan sebagai :

$$W(\tau, d) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) w(t - \tau, d) dt \quad (2.23)$$

Sementara *S-Transform* dari fungsi $h(t)$ didefinisikan sebagai CWT dengan Wavelet Induk tertentu yang dikalikan dengan faktor phasa :

$$S(t, \omega) = e^{i2\pi\omega\tau} W(\tau, d) \quad (2.24)$$

dimana : Wavelet Induk didefinisikan sebagai :

$$w(t, \omega) = \frac{|\omega|}{2\pi} e^{\frac{t^2\omega^2}{2}} e^{-i2\pi\omega t} \quad (2.25)$$

Secara eksplisit *S-Transform* dinyatakan sebagai :

$$S(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) \frac{|\omega|}{2\pi} e^{\frac{(\tau-t)^2\omega^2}{2}} e^{-i2\pi\omega\tau} d\tau \quad (2.26)$$

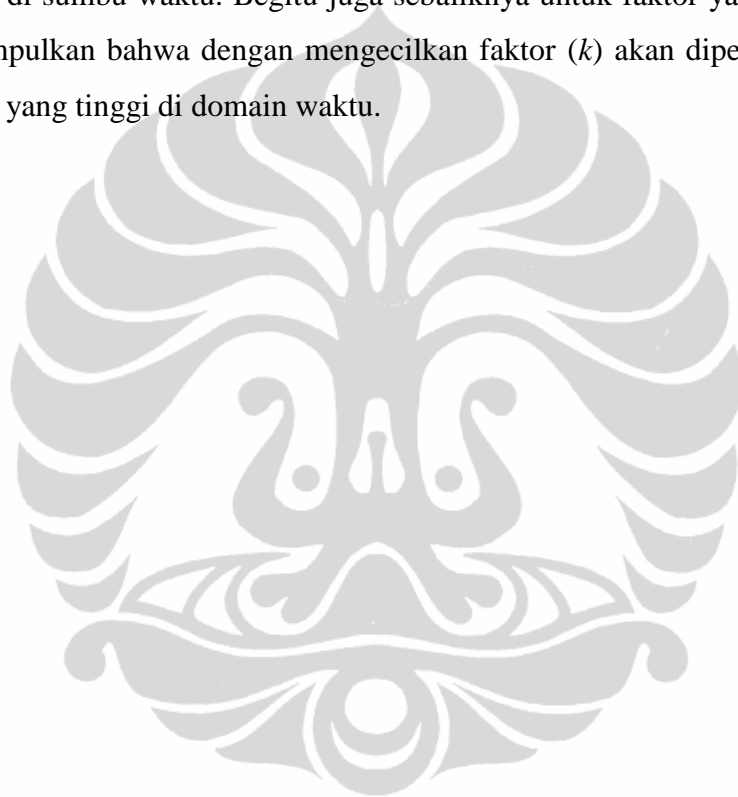
Persamaan di atas menunjukkan bahwa Transformasi-S dapat dikatakan sebagai Transformasi Fourier dari sinyal $h(t)$ yang telah diekstraksi menggunakan *Gaussian Window*. Lebar *Gaussian Window* akan proporsional dengan frekuensi (ω). Semakin besar nilai (ω) semakin sempit *Gaussian Window*. Misalkan suatu sinyal $h(t)$ memiliki kandungan frekuensi yang tinggi, maksudnya osilasi sinyal yang tinggi di domain waktu. Maka, diperlukan lebar *window* yang sempit agar dapat mencuplik sinyal dengan osilasi yang tinggi tersebut dan juga sebaliknya untuk frekuensi rendah.

Untuk memudahkan perhitungan nilai *S-Transform* dari fungsi $h(t)$, maka persamaan *S-Transform* dapat dituliskan pada persamaan (2.27) berikut :

$$S(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} U(\alpha + \omega) \left[e^{\frac{2\pi^2 k^2}{\omega^2}} \right] e^{i2\pi\alpha\tau} d\alpha \quad (2.27)$$

dimana : $U(\alpha)$ merupakan Transformasi Fourier dari $h(t)$

Suku yang dikurung adalah *Gaussian Window*. Pada persamaan ini muncul variabel baru yaitu faktor (k). Untuk frekuensi tertentu (), semakin besar faktor (k), *Gaussian Window* dalam domain frekuensi akan semakin sempit. Sehingga resolusi S dalam sumbu frekuensi semakin tinggi. Namun hal ini membawa konsekuensi pada lebar *Gaussian Window* di domain waktu. Saat *Gaussian Window* di domain frekuensi sempit, maka di domain waktu lebar. Sehingga, hal ini akan mengurangi resolusi Transformasi-S di sumbu waktu. Begitu juga sebaliknya untuk faktor yang kecil. Dari sini dapat disimpulkan bahwa dengan mengecilkan faktor (k) akan diperoleh resolusi Transformasi-S yang tinggi di domain waktu.

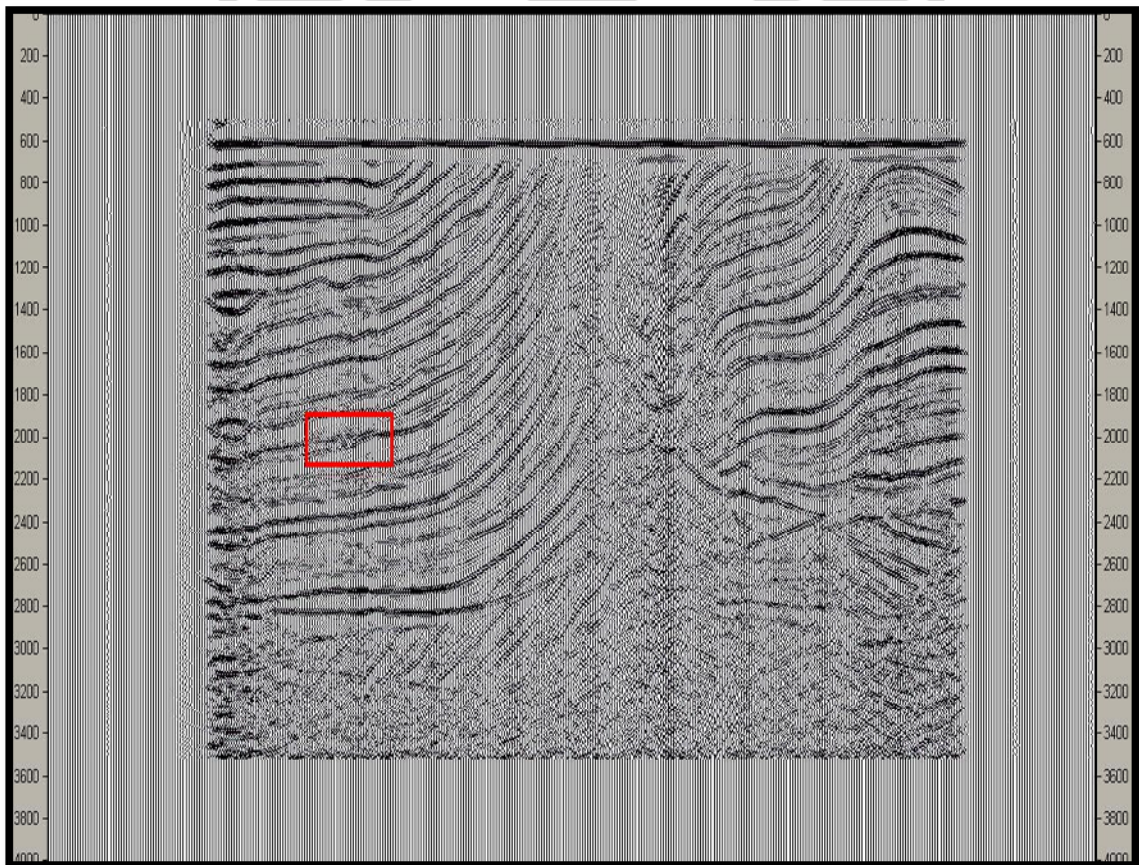


BAB 3

PENGOLAHAN DATA

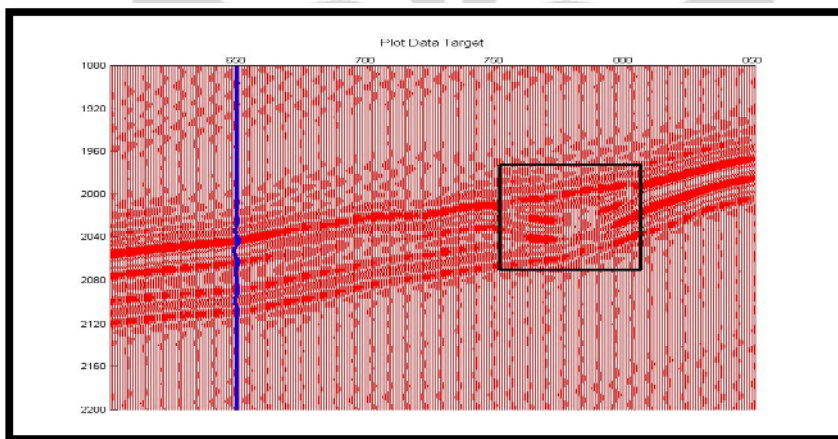
3.1 Aplikasi Data Model 2D

Pada penelitian ini data seismik pemodelan sintetik format 2D yang dipakai untuk pengerjaan WEA menggunakan data model Marmousi2 (Martin dan Marfurt, 2002) dalam domain waktu seismik. Data model ini merupakan data *open* yang dibuat untuk *study* dan kalibrasi prosedur analisis data seismik rutin hingga yang lanjut. Informasi data model Marmousi2 yaitu berupa *Stack section* keluaran *Kirchoff Prestack Time Migration*, dalam format file SEG-Y dan sampling interval 4 ms, serta memiliki record length 3500 ms adapun banyaknya jumlah trace dalam section adalah 2721 trace.



Gambar 3.1 Data sintetik 2D model Marmousi2 stack section (Martin dan Marfurt, 2002)

Penelitian WEA menggunakan daerah target penelitian pada range trace number (600-850) dan target pada time (1880-2200ms) yang diberikan mark warna merah pada gambar (3.1). Daerah tersebut dipilih karena menurut informasi yang didapat merupakan cebakan channel batupasir. Sedangkan pada gambar (3.2) merupakan plot daerah target penelitian untuk analisis WEA yang dicuplik dari data sintetik model Marmousi2 dengan format 2 dimensi. Daerah ini menampilkan ketidakmenerusan horizon dan terdapat perubahan struktur disekitar trace number 760 dan 800 yang menjadikan daerah ini menarik untuk dilakukan penyelidikan analisis WEA.

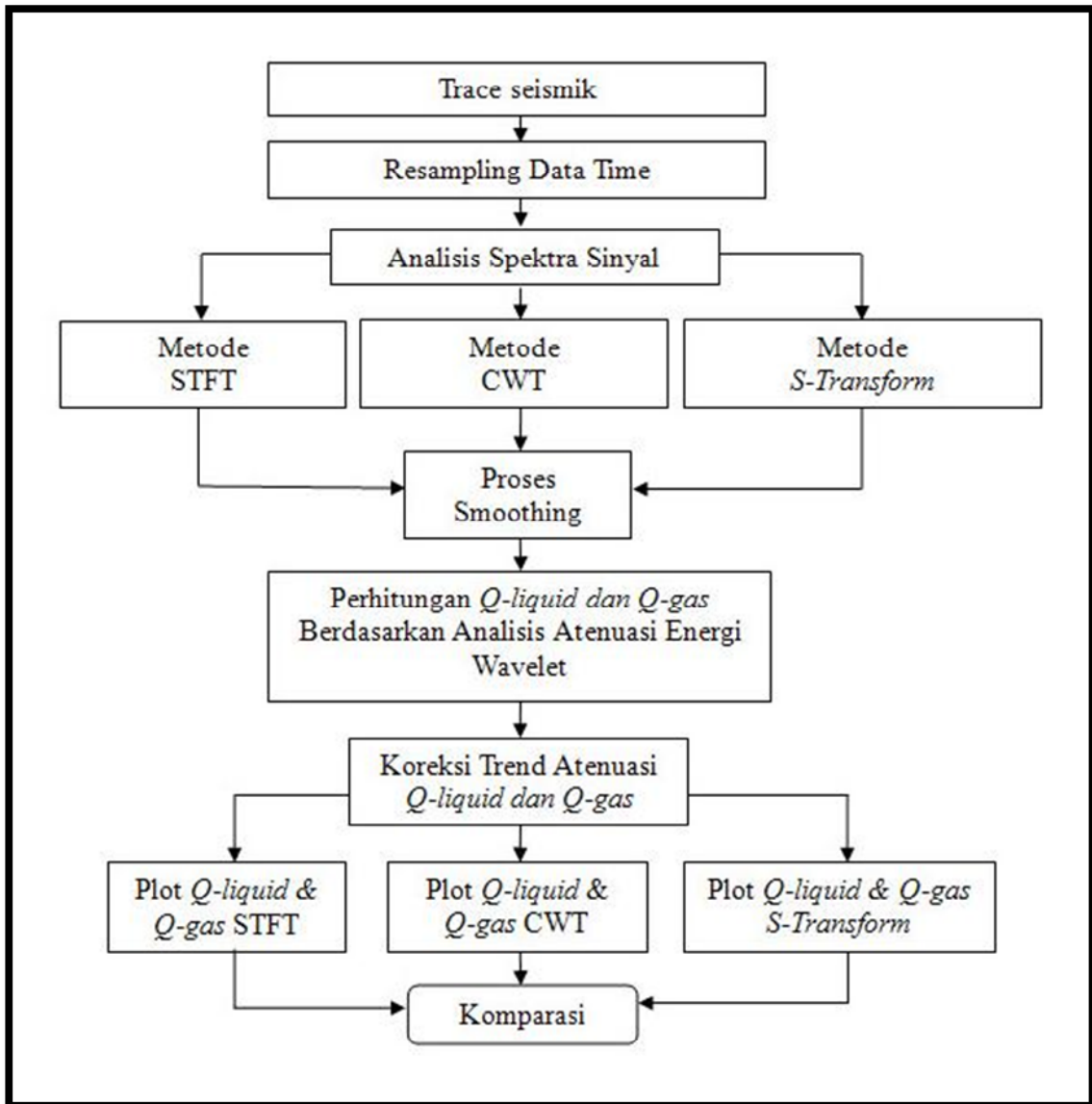


Gambar 3.2 Data 2D daerah penelitian yang digunakan analisis WEA pada trace number 600-850 dan time 1880-2200ms dari data Marmousi2

Pada gambar (3.2) memperlihatkan trace number 650 yang diberikan mark warna biru, yaitu merupakan sebuah trace sample untuk digunakan sebagai ujicoba pengerjaan satu trace dalam analisis WEA, selanjutnya diikuti dengan menjalankan semua trace. Pada penampang hasil akhir ini nantinya diperoleh berupa penampang *Q-liquid* dan *Q-gas* dengan menggunakan 3 metode analisis spektrum yang berbeda dan selanjutnya dilakukan komparasi antara hasil keluaran dari metode *S-Transform*, STFT dan CWT.

3.2 Langkah Kerja Pengolahan WEA

Tahap pengolahan data untuk analisis WEA pada perhitungan Q -liquid dan Q -gas dengan menggunakan Matlab versi 7.1. Alur dan langkah kerja penelitian dapat dilihat pada *flow chart* gambar (3.3).

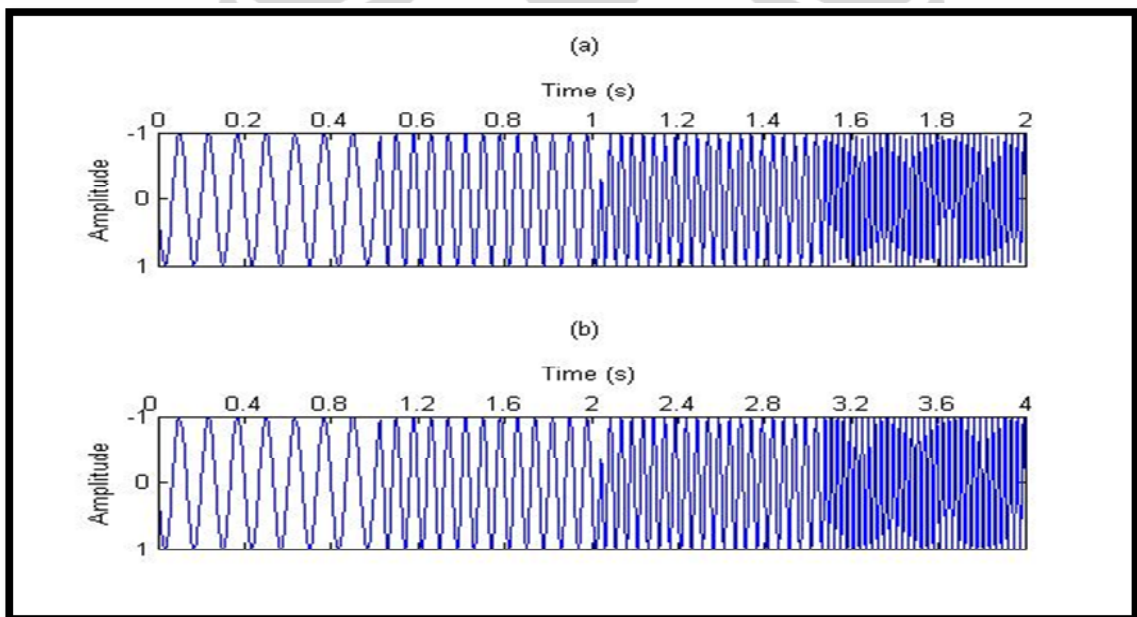


Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian WEA

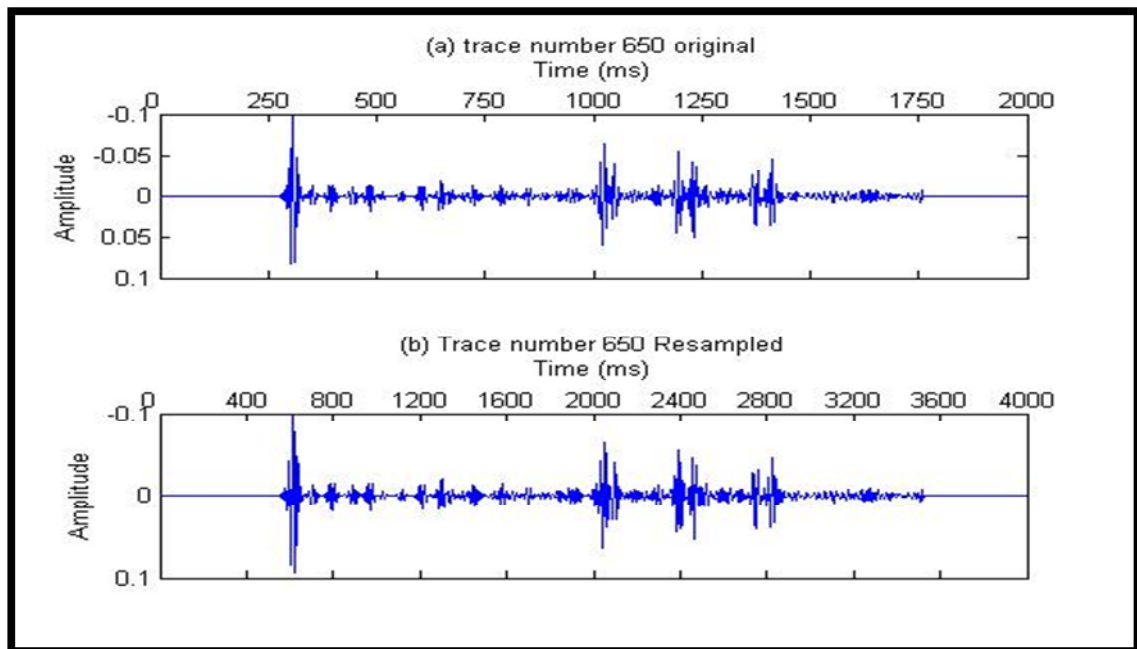
3.3 Aplikasi Analisis Atenuasi Energi Wavelet

3.3.1 Resampling Data Waktu

Pada data time disetiap trace seismik di-resampling kembali sehingga jumlah data setelah diresample menjadi 2 kali data sebelumnya. Data seismik ini diresampling hanya pada data time dengan tujuan agar tidak merubah kandungan frekuensi yang ada. Resampling data dalam proses ini yaitu untuk meningkatkan resolusi yang selanjutnya pada data seismik akan diproses pada tahapan analisis spektrum sinyal. Gambar (3.4) merupakan sebuah sinyal sintetik pada variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40, Hz, dan 70 Hz dengan keluaran setelah diresampling dan sebelum diresampling dimana data time yang dihasilkan menjadi dua kali lebih banyak dari originalnya dan tidak merubah kandungan frekuensi didalamnya begitu pula diperlihatkan gambar (3.5) dengan menggunakan trace number 650 dari data Marmousi2.



Gambar 3.4 (a) sinyal sintetik original (b) sinyal sintetik hasil proses resampling



Gambar 3.5 Trace number 650 data model Marmousi2 setelah dihitung dengan samplingrate 4 ms
(a) Trace original (b) Trace hasil proses resampling

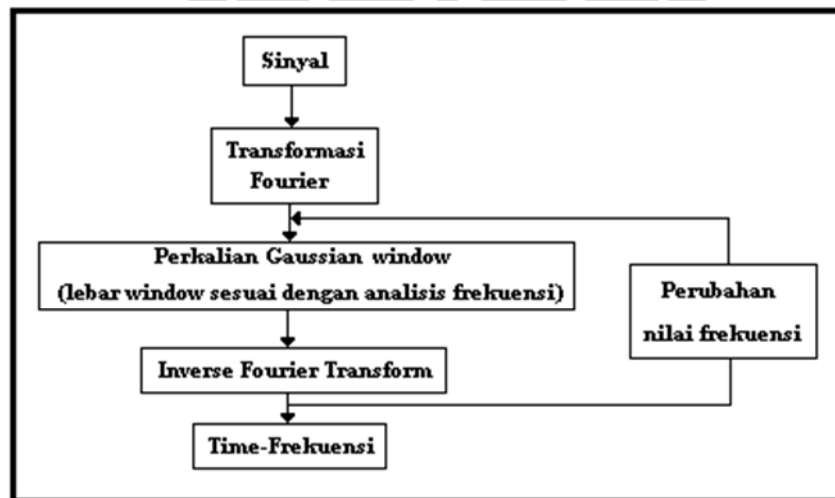
3.3.2 Analisis Spektrum Sinyal

Trace yang telah di-resampling kemudian dilakukan analisis spektra sinyal untuk mendapatkan spektrum amplitudo sesaat dari setiap trace seismik tersebut, yaitu dengan cara menampilkan sinyal pada domain Time-Frekuensi. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya dalam penelitian ini menggunakan 3 metode dalam menganalisis spektrum sinyal yang selanjutnya dipakai sebagai input pada perhitungan *Q-liquid* dan *Q-gas* dalam analisis WEA.

Karakteristik dari metode STFT, CWT dan *Stockwell-Transform* pada proses pengolahannya dalam menganalisis spektrum sinyal berbeda, sehingga dalam aplikasi algoritma pemrograman secara komputasi dibuat terpisah, dalam penelitian ini 3 *function* dibuat untuk code pemrograman Matlab berdasarkan alur perhitungan masing-masing metode dalam menganalisis spektrum sinyal seismik.

3.3.2.1 Metode *Stockwell-Transform*

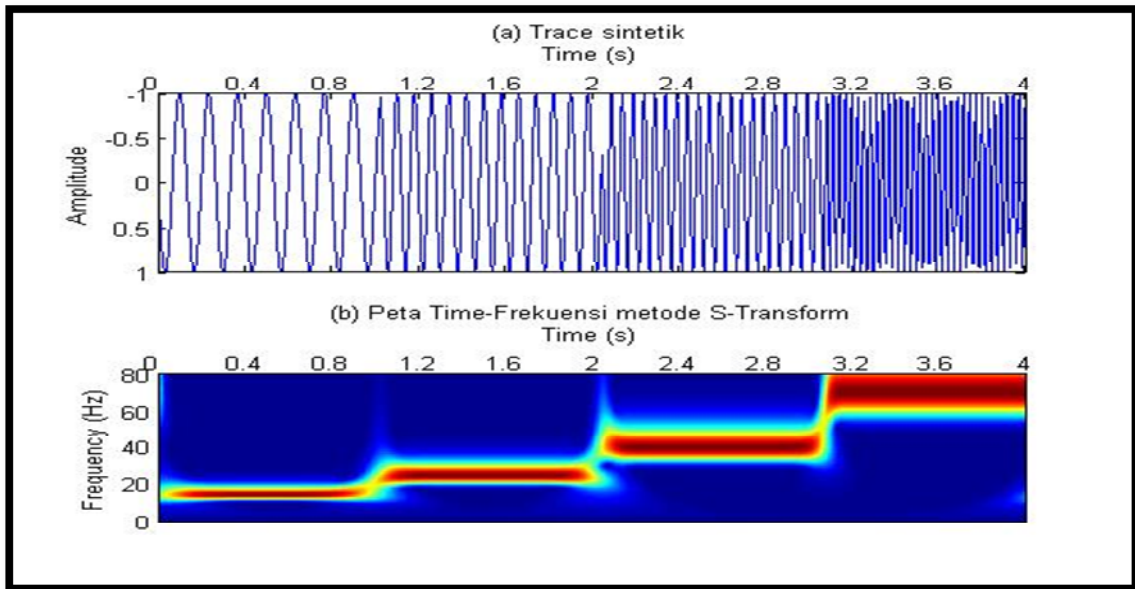
Metode *Stockwell-Transform* secara komputasi dalam menghasilkan peta Time-Frekuensi secara dinamis melakukan perhitungan jumlah dan skala *window* yang dapat ditentukan sendiri dari hasil perkalian disetiap perubahan nilai frekuensinya, maka dalam penelitian ini metode *S-Transform* dijadikan acuan untuk melihat kemiripan hasil peta Time-Frekuensi dari keluaran metode STFT dan CWT dalam penentuan parameter yang digunakan pada proses pengolahan data. Gambar (3.6) adalah ilustrasi pengerjaan proses metode *S-Transform* dalam menganalisis spektrum sinyal.



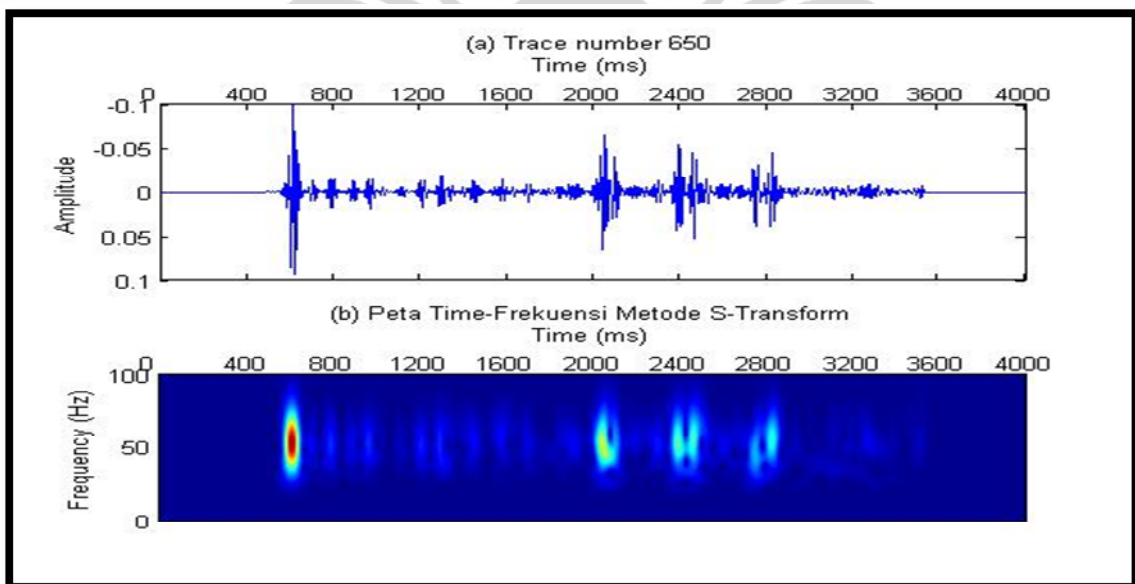
Gambar 3.6 Diagram alir komputasi Metode *S-Transform*

Proses pengerjaan analisa spektrum sinyal metode S-T yaitu, pada gelombang seismik yang dihitung disetiap 1 siklus gelombang perambatan ditransformasi menggunakan *Fourier Transform* kemudian dilakukan perkalian *Gaussian Window* dengan lebar *window* disesuaikan dengan frekuensi yang akan dipilih atau diproses. Kemudian selanjutnya dilakukan proses *Inverse Fourier Transform* yang keluarannya juga dihubungkan pada perubahan nilai frekuensi disetiap waktu lokal, dalam hal ini berarti setiap perubahan nilai frekuensi pada waktu lokal per-satu siklus gelombang perambatan merupakan faktor perkalian untuk lebar *Window Gaussian* dalam setiap nilai frekuensi yang akan diproses. Gambar (3.7) merupakan tampilan peta Time-

Frekuensi yang dihasilkan dari keluaran metode *S-Transform* yang diaplikasikan pada sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40 Hz, dan 70 Hz. Gambar (3.8) merupakan sinyal yang dicuplik dari data Marmousi2 pada trace number 650 untuk dilakukan uji coba analisa spektrum sinyal menggunakan metode *S-Transform*.



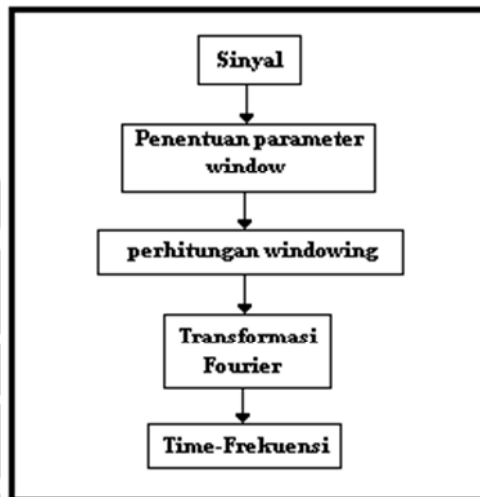
Gambar 3.7 (a) Sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40 Hz, dan 70 Hz.
(b) Peta Time-Frekuensi metode *S-Transform*.



Gambar 3.8 (a) Sinyal Trace number 650 data Marmousi2
(b) Hasil peta Time-Frekuensi metode *S-Transform*.

3.3.2.2 Short Time Fourier Transform (STFT)

Metode STFT dalam proses komputasi memerlukan penentuan parameter window yang akan digunakan untuk perhitungan *windowing* pada frekuensi lokal yang akan dipetakan dalam domain Time-Frekuensi. Gambar (3.9) merupakan proses kerja perhitungan metode STFT didalam proyeksi komputasi.

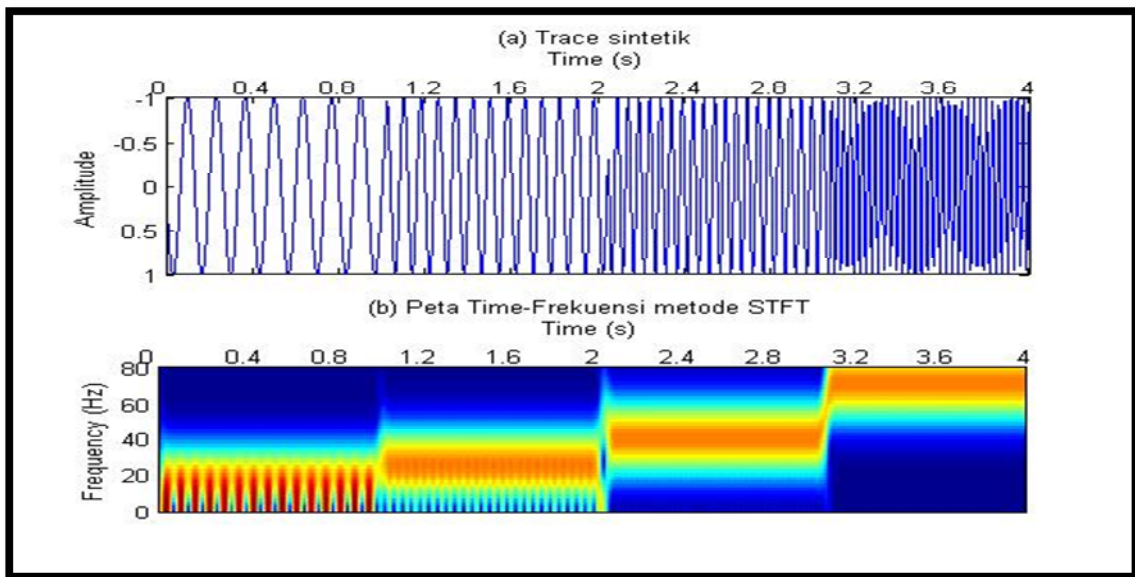


Gambar 3.9 Diagram alir komputasi metode STFT

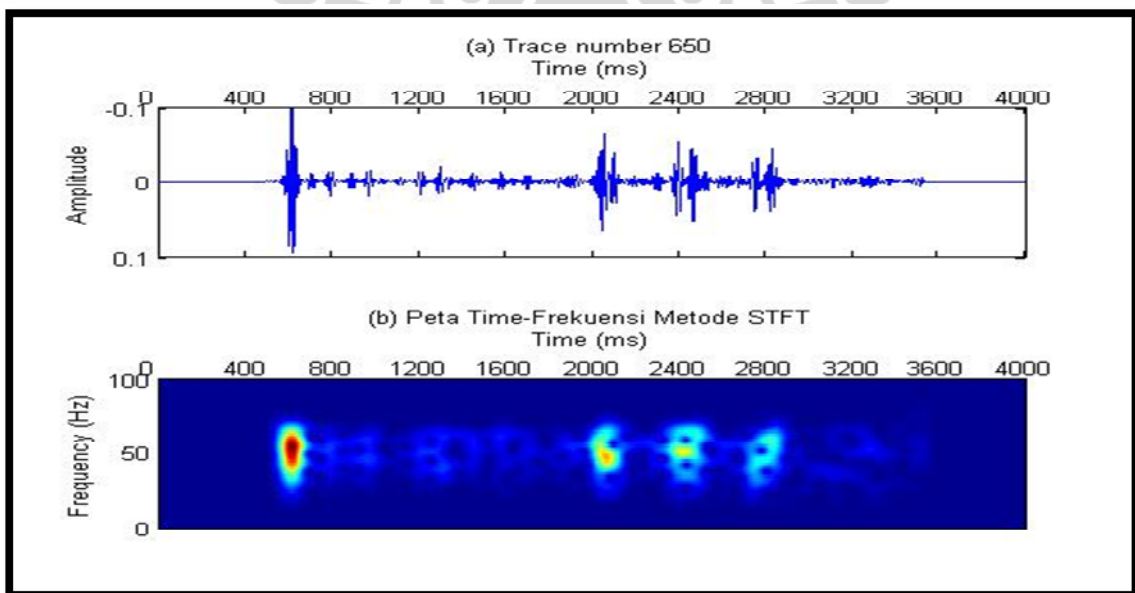
Metode STFT dapat menganalisis spektrum sinyal nonstasioner dan menghasilkan peta Time-Frekuensi disepanjang penjalaran gelombang datang. STFT dalam prosesnya disepanjang waktu rambat gelombang melakukan pembagian banyaknya *window* dan faktor skala untuk mempetakan harga frekuensi di setiap windownya. Berarti lebar *window* yang ditentukan sangat mempengaruhi kandungan frekuensi didalamnya yang kemudian digambarkan pada peta Time-Frekuensi atau sinyal spektra yang diharapkan, dalam hal ini metode STFT memperlihatkan suatu proses *windowing* dengan lebar yang sama disetiap nilai frekuensi sepanjang waktu penjalaran gelombang seismik.

Gambar (3.10) memperlihatkan peta sinyal Time-Frekuensi yang dihasilkan dari keluaran metode STFT yang diaplikasikan pada sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40, Hz, dan 70 Hz. Sedangkan gambar (3.11) merupakan hasil ujicoba peta Time-Frekuensi menggunakan analisis spektrum metode STFT

disepanjang trace number 650 dari data model Marmousi2. Pada gambar tersebut jika dilakukan komparasi hasil peta Time-Frekuensi metode STFT memperlihatkan resolusi yang lebih rendah dari hasil metode *S-Transform* pada gambar 3.7 dan 3.8 tetapi metode STFT tetap jelas memperlihatkan setiap perubahan nilai frekuensinya.



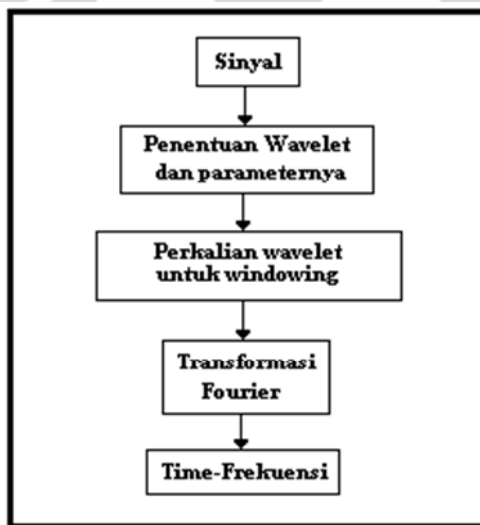
Gambar 3.10 (a) Sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40, Hz, dan 70 Hz.
(b) Peta Time-Frekuensi metode STFT.



Gambar 3.11 (a) Sinyal Trace number 650 data Marmousi2
(b) Hasil peta Time-Frekuensi metode STFT.

3.3.2.3 Transformasi Wavelet Kontinyu (CWT)

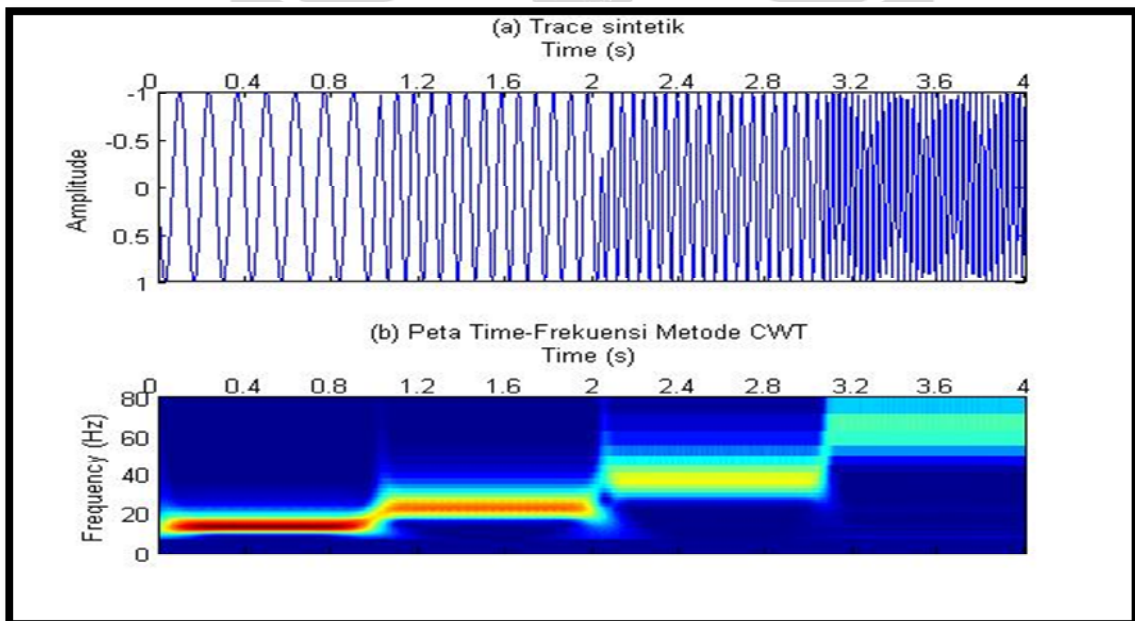
Metode CWT dikembangkan untuk menganalisis sinyal nonstasioner seperti pada sinyal seismik. Sinyal yang diproses dengan menggunakan metode STFT memiliki lebar *window* yang sama disetiap nilai frekuensi sehingga pada kondisi tertentu dapat menurunkan resolusi. Metode CWT dikembangkan untuk solusi masalah resolusi tersebut. Konsepnya adalah perkalian Wavelet digunakan untuk perubahan lebar *windowing*, ketika frekuensi rendah window akan lebar dan ketika frekuensi tinggi window menjadi sempit. Hal yang perlu diperhatikan disini adalah pemilihan Wavelet yang tepat dan frekuensi tengah serta Bandwith Wavelet Induk. Pada metode ini menggunakan parameter (skala) yang berbanding terbalik dengan frekuensi, dan (translasi) atau pergeseran waktu dalam proses transformasinya. Gambar (3.12) merupakan diagram alir perhitungan CWT dalam menganalisis spektrum sinyal.



Gambar 3.12 Diagram alir komputasi metode CWT

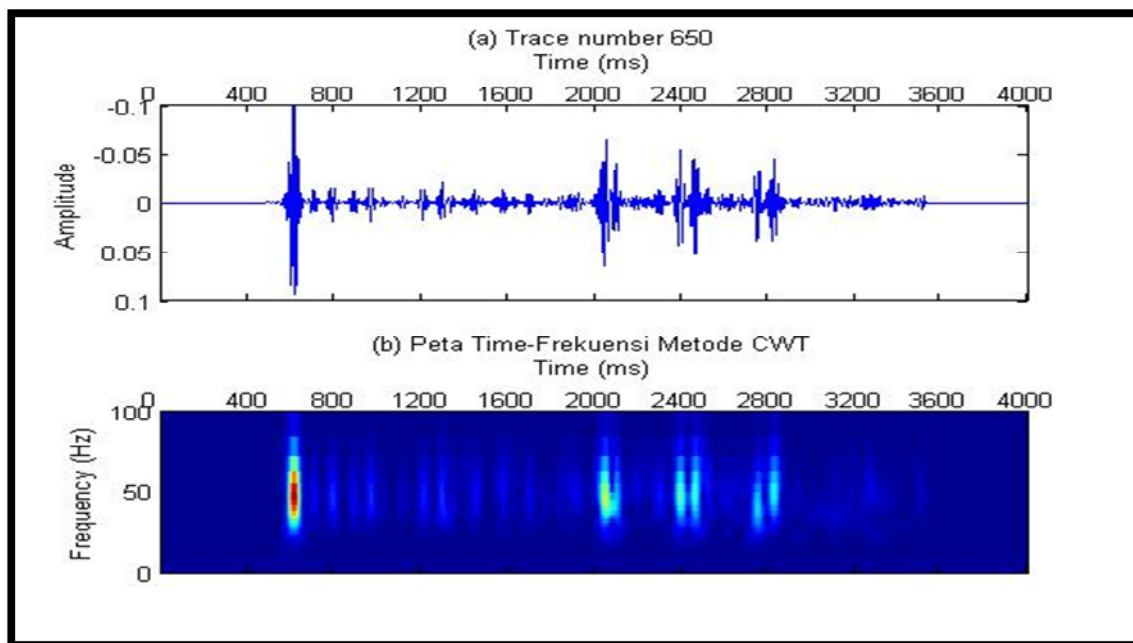
Jenis Wavelet yang digunakan dalam penelitian ini adalah Wavelet Morlet Complex karena Wavelet ini sangat cocok untuk sinyal nonstasioner yang diaplikasikan pada data seismik. Selain itu digunakan parameter bandwidth 1 dan frekuensi tengah 1, jika dinotasikan dalam code pemograman Matlab menjadi 'cmor 1-1'. Proses selanjutnya untuk penentuan level skala digunakan 6 ($2^6 = 64$ skala). Penentuan parameter bandwidth dan frekuensi tengah Wavelet serta nilai level skala

adalah hasil ujicoba pada trace sintetik yang keluaran sinyal spektranya dan nilai frekuensi keluarannya mendekati dengan yang dihasilkan pada keluaran metode *S-Transform* dan metode STFT. Pada penentuan Wavelet dengan parameternya penting untuk diperhatikan yaitu perubahan nilai frekuensi yang ekstrim dan selain itu, semakin besar parameter skala yang digunakan akan menambah durasi pengerjaan dalam proses analisis spektrum sinyal didalam proyeksi komputasi. Gambar (3.13) merupakan tampilan peta Time-Frekuensi yang dihasilkan dari keluaran metode CWT yang diaplikasikan pada sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40, Hz, dan 70 Hz. Gambar (3.14) merupakan hasil ujicoba pemetaan Time-Frekuensi menggunakan analisis spektrum metode CWT disepanjang trace number 650 dari data model Marmousi2



Gambar 3.13 (a) Sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40, Hz, dan 70 Hz.

(b) Peta Time-Frekuensi metode CWT.

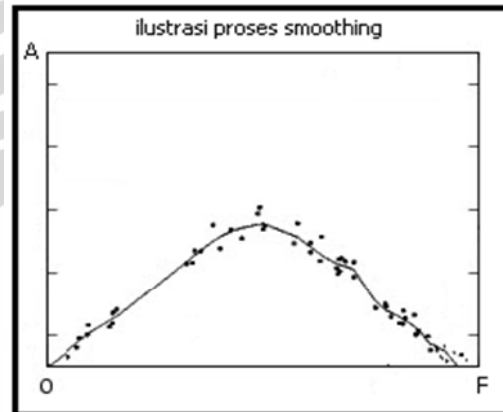


Gambar 3.14 (a) Sinyal Trace number 650 data Marmousi2 (b) Hasil peta Time-Frekuensi metode CWT.

Hasil ujicoba pada analisis spektrum sinyal spektra dan peta Time-Frekuensi pada sinyal sintetik dengan variasi frekuensi 15 Hz, 25 Hz, 40, Hz, dan 70 Hz serta pada trace number 650 dari data model Marmousi2 jika diperhatikan keluarannya terlihat mirip antara ketiga hasil metode tersebut, meskipun sinyal spektra yang dihasilkan pada keluaran CWT terlihat sedikit berbeda (lebih tipis), hal ini dikarenakan pengaruh dari perkalian Wavelet yang digunakan untuk setiap windownya, hal ini bertujuan untuk meningkatkan resolusi pada peta Time-Frekuensi keluaran hasil metode CWT. Analisis spektrum yang dihasilkan dengan menggunakan metode STFT disini terlihat lebih besar, meskipun resolusi yang dihasilkan tidak sebaik dari hasil pada keluaran metode CWT dan *S-Transform* tetapi tetap mampu memberikan gambaran yang jelas pada peta Time-Frekuensinya. Akhirnya resolusi paling baik dapat ditampilkan oleh metode *S-Transform* dimana pada trace sintetik yang dibuat dengan variasi frekuensi dan pada ujicoba trace number 650 dari data model Marmousi2 mampu memperlihatkan resolusi lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil keluaran metode CWT dan STFT.

3.3.3 Proses Smoothing

Proses smoothing ini berguna untuk membuat pola sinyal dalam domain spektra menjadi lebih *smooth* disetiap perubahan nilai frekuensi. Sinyal spektra dalam satu gelombang penuh diasumsikan mempunyai frekuensi lokal yang berbeda-beda disepanjang penjalaran gelombang datang. Perubahan harga frekuensi yang ekstrim dapat mengakibatkan bentuk sinyal spektra yang tidak stabil sehingga nantinya akan mempengaruhi pada perhitungan analisis WEA, oleh karena itu proses smoothing dilakukan disepanjang penjalaran dalam satu siklus gelombang datang disetiap perubahan frekuensi pada sinyal spektra. Gambar (3.15) menampilkan ilustrasi proses smoothing dimana titik-titik hitam pada gambar mengilustrasikan nilai frekuensi didalam sinyal spektra original dan garis hitam yang menghubungkan nilai-nilai frekuensi selama satu siklus gelombang datang merupakan sinyal spektra yang telah mengalami proses smoothing.

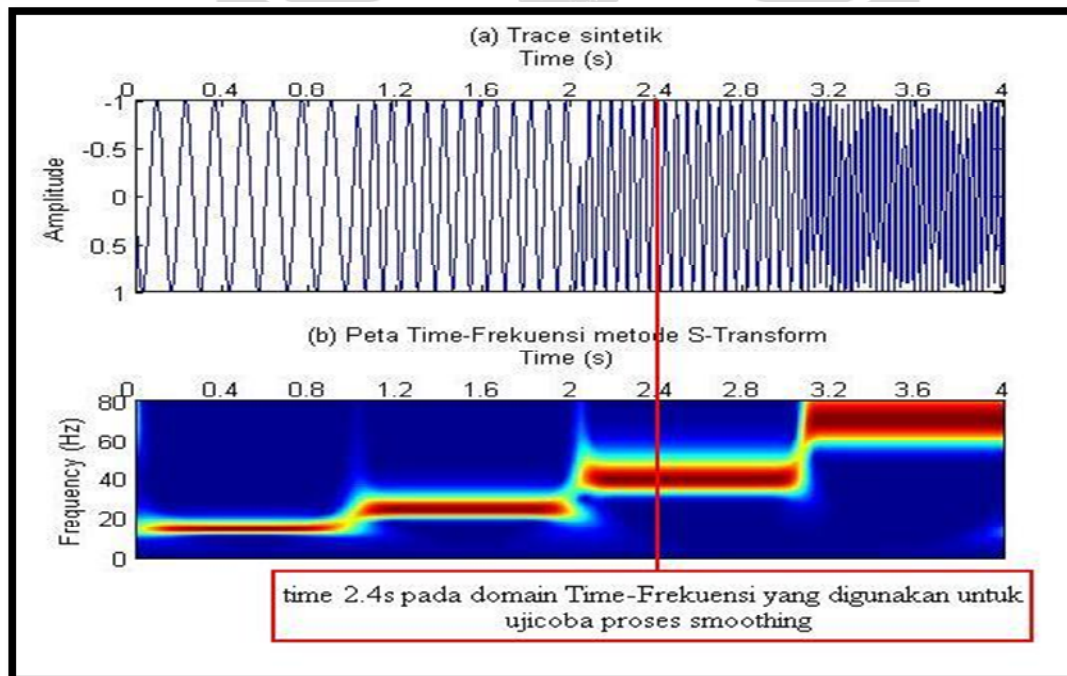


Gambar 3.15 Ilustrasi proses smoothing, titik hitam merupakan data frekuensi dan garis lurus adalah hasil proses smoothing pada sinyal spektra.

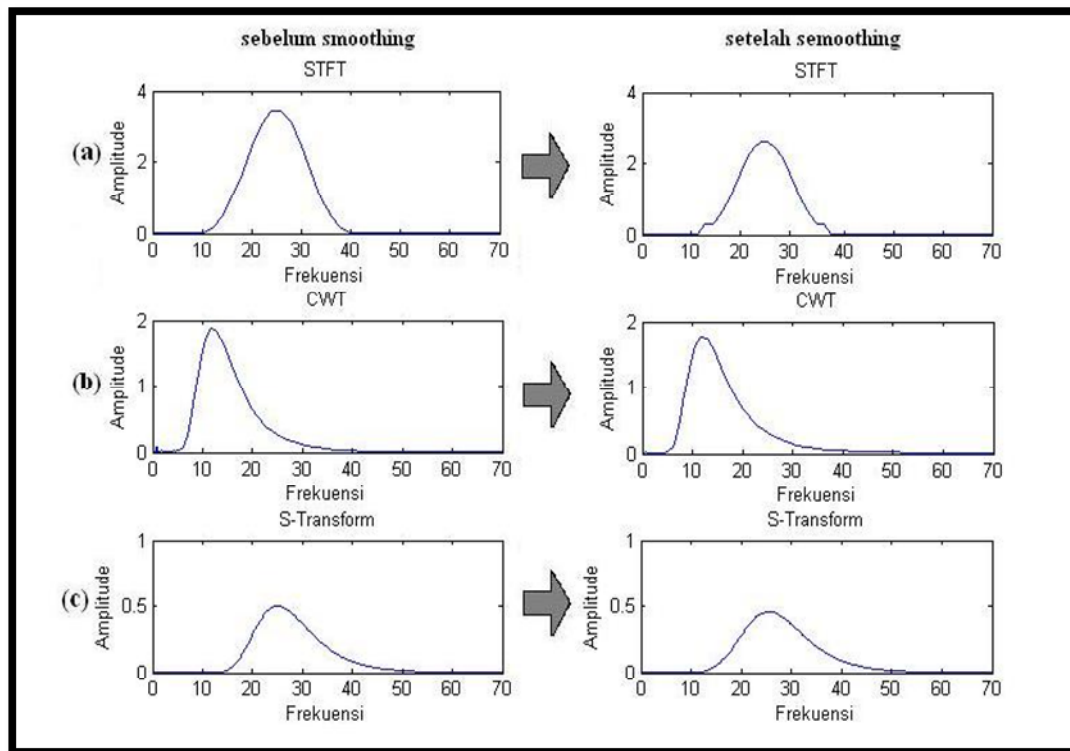
Dalam proyeksi data komputasi proses smoothing ini berhubungan dengan nilai faktor skala yang digunakan dalam perhitungan *windowing* atau waktu lokal diantara perubahan nilai-nilai frekuensi dalam menganalisis spektra sinyal selama satu siklus gelombang datang. Pada penelitian ini penentuan panjang *window* yang digunakan dalam proses smoothing yaitu 0.1 atau 10% dari jumlah data atau banyaknya nilai

perubahan frekuensi disepanjang penjalaran gelombang datang. Parameter ini dipakai selain untuk menghemat durasi waktu pengerjaan dan untuk mempertahankan kualitas data. Kemudian sinyal yang telah mengalami proses smoothing ini dapat kita asumsikan sebagai Wavelet Sesaat.

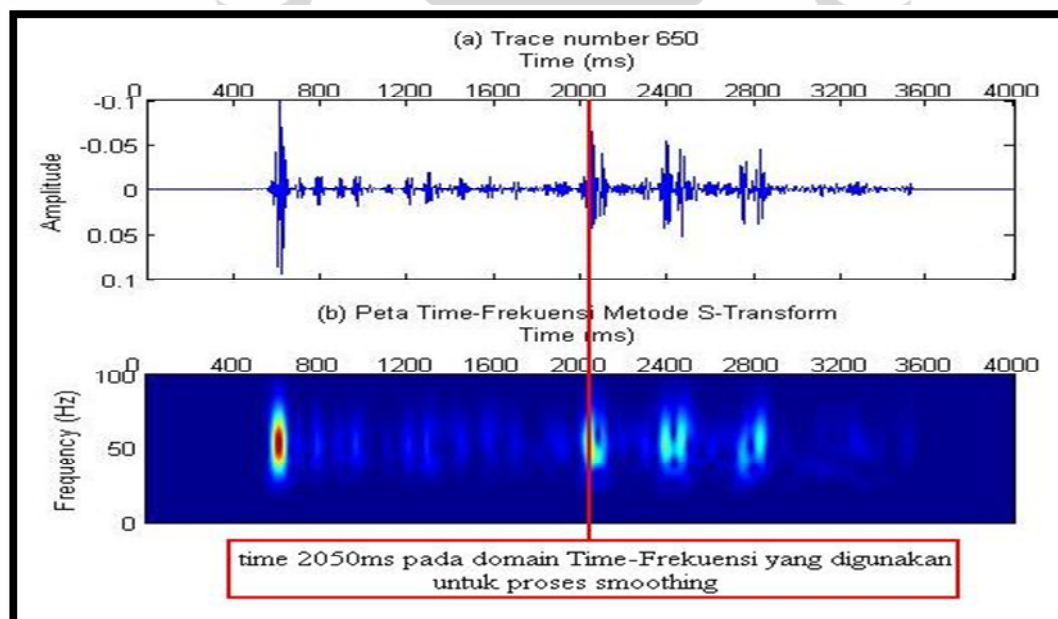
Gambar (3.16) adalah sinyal sintetik yang dipicking pada time 2,4 s dalam domain Time-Frekuensi dan kemudian dilakukan proses smoothing. Sedangkan pada gambar (3.17) merupakan sinyal spektra pada time 2,4 s sebelum dan setelah mengalami proses smoothing yang dihasilkan dari keluaran 3 metode analisis spektrum sinyal. Gambar (3.17) memperlihatkan sinyal spektra yang dihasilkan setelah proses smoothing terlihat lebih smooth untuk setiap perubahan nilai frekuensi didalam satu siklus gelombang datang.



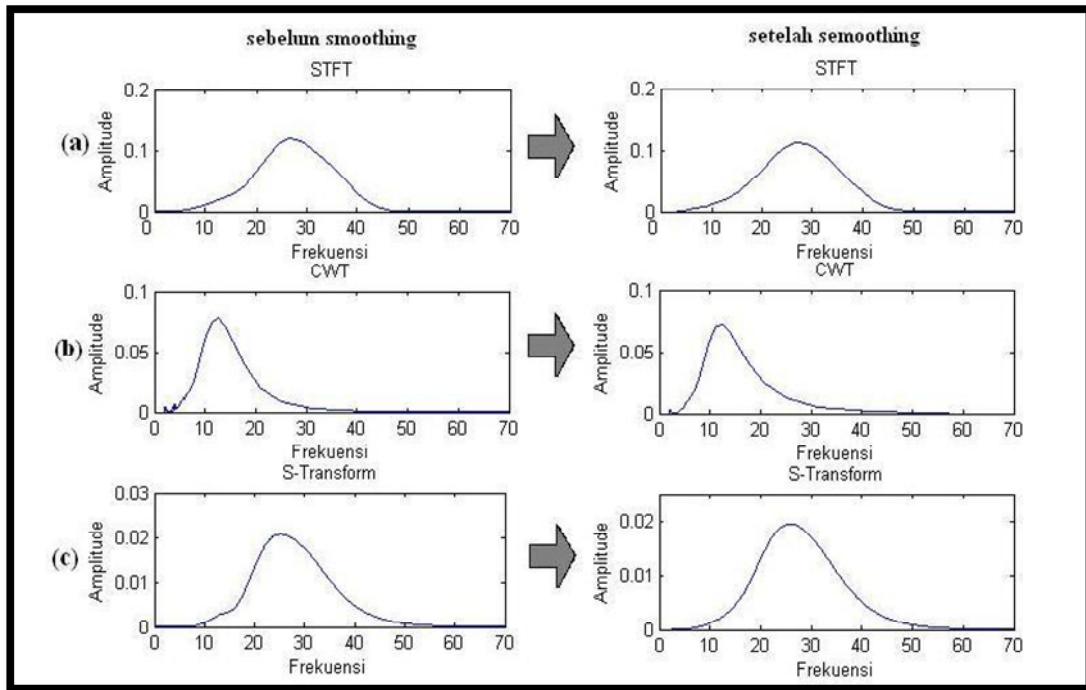
Gambar 3.16 Sinyal sintetik dan hasil analisis spektrum metode *S-Transform* yang digunakan untuk ujicoba proses smoothing pada time 2.4s



Gambar 3.17 sinyal spektra trace sintetik pada time 2.4 s. dalam domain Time-Frekuensi sebelum dan setelah dismoothing (a) Spektrum spektra metode STFT, (b) spektrum spektra CWT, (c) spektrum spektra *S-Transform*.



Gambar 3.18 trace number 650 pada time 2050 ms data Marmousi2 dalam domain Time-Frekuensi dan hasil analisis spektrum metode *S-Transform* yang digunakan untuk ujicoba proses smoothing



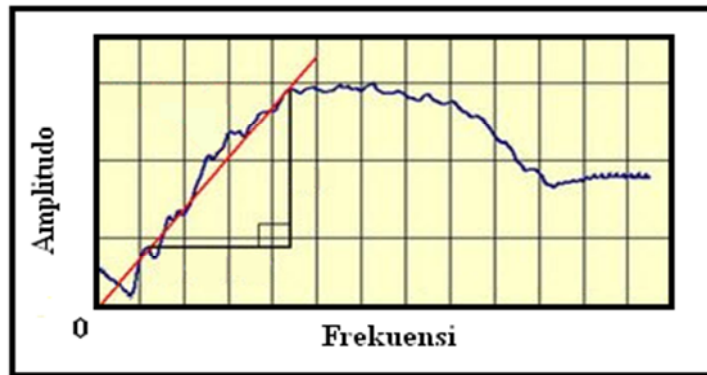
Gambar 3.19 sinyal spektra trace number 650 pada time 2050 ms data Marmousi2 dalam domain Time-Frekuensi sebelum dan setelah dismoothing (a) Spektrum spektra metode STFT (b) spektrum spektra CWT, (c) spektrum spektra *S-Transform*.

Pada gambar (3.18) merupakan picking pada time 2050ms yang diekstrak dari trace number 650 data Marmousi2 untuk dilakukan ujicoba proses smoothing. Sedangkan gambar (3.19) adalah sinyal spektra yang didapat untuk dilakukan proses smoothing, terlihat perbedaannya antara hasil proses smoothing memberikan sinyal spektra yang lebih smooth terutama pada daerah frekuensi rendah 0-20 Hz dari hasil keluaran 3 metode.

3.3.4 Perhitungan Atenuasi Energi Wavelet

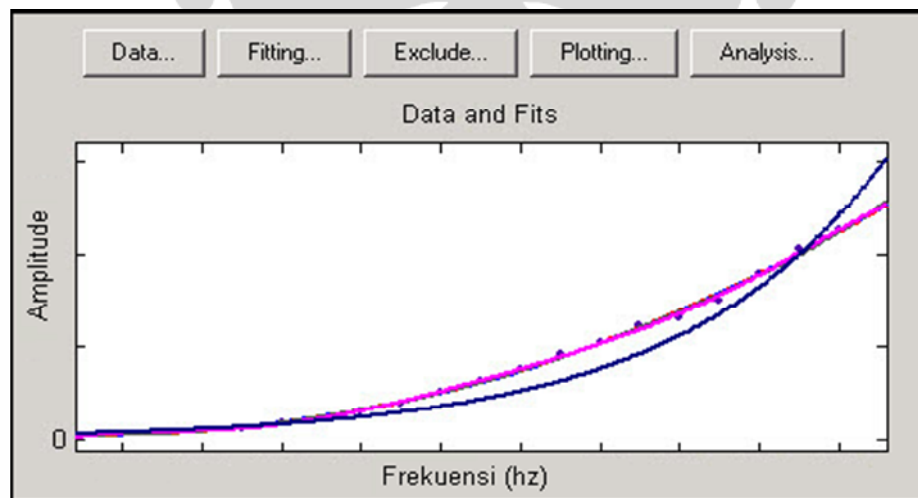
Sinyal spektra dari hasil proses smoothing selanjutnya digunakan sebagai input perhitungan dalam menghasilkan penampang *Q-liquid* dan *Q-gas*. Dalam analisis WEA nilai atenuasi Wavelet yang hilang dihitung disetiap satu siklus gelombang dan pada penelitian ini harga *Q-liquid* dan *Q-gas* diekstraksi langsung dari spektrum Wavelet Sesaatnya yang merupakan sinyal spektra pada domain Time-Frekuensi yang telah mengalami proses smoothing. Untuk menentukan faktor atenuasi *liquid* dihitung

pada range frekuensi 0 - frekuensi dominan sedangkan untuk menentukan faktor atenuasi gas dalam range frekuensi dominan - frekuensi maksimum disetiap satu siklus gelombang perambatan normal.



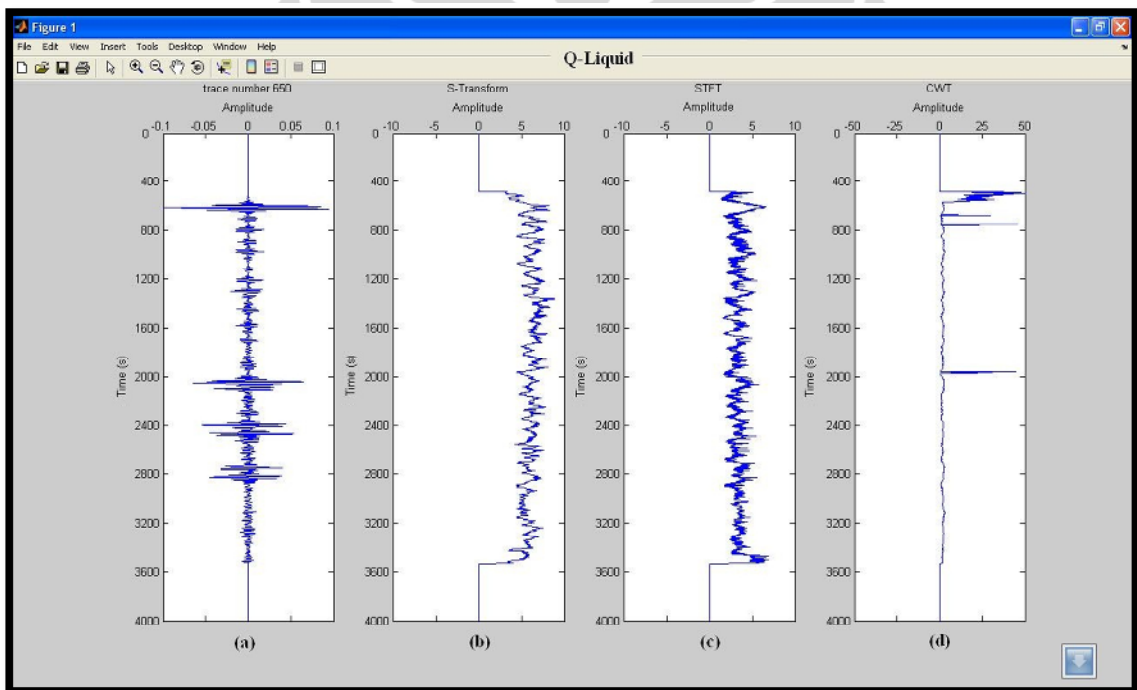
Gambar 3.20 Ilustrasi perhitungan Q -liquid dan Q -gas pada analisis WEA

Pada gambar (3.20) menjelaskan cara perhitungan Q -liquid dan Q -gas dalam analisis WEA, dimana grafik warna biru adalah sinyal spektra dalam satu siklus gelombang pada domain frekuensi yang digunakan sebagai input perhitungan dengan cara melakukan fitting kurva (garis warna merah) pada range frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya.

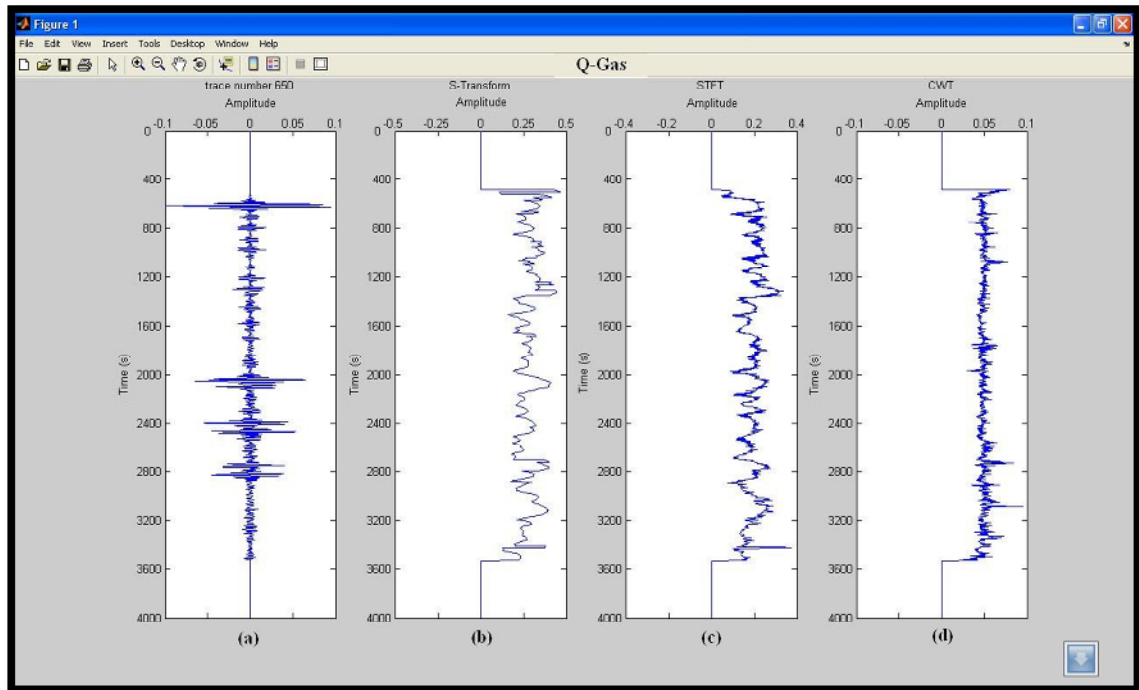


Gambar 3.21 Warna biru merupakan sinyal spektra dan warna merah adalah data fitting kurva pada Matlab.

Didalam penelitian ini perhitungan dengan cara membuat persamaan garis linear atau fitting kurva antara frekuensi versus amplitude dalam masing-masing range frekuensi yang telah ditentukan yaitu 0 – frekuensi dominan untuk perhitungan *Q-liquid* dan pada frekuensi dominan – frekuensi maximum untuk *Q-gas*. Harga gradient absolute dari persamaan garis tersebut merupakan harga yang mewakili sebuah nilai *Q-liquid* atau *Q-gas* itu sendiri yang terdapat disetiap interval waktu disepanjang trace pada data seismik. Gambar (3.22) merupakan nilai *Q-liquid* yang telah dihitung dengan menggunakan 3 metode analisis spektrum sinyal disepanjang trace number 650 dari data model Marmousi2 dan gambar (3.23) merupakan hasil nilai *Q-gas* nya.



Gambar 3.22 Nilai *Q-liquid* disepanjang trace number 650 (a) trace original (b) hasil proses metode *S-Transform* (c) hasil proses metode STFT (d) hasil proses metode CWT.

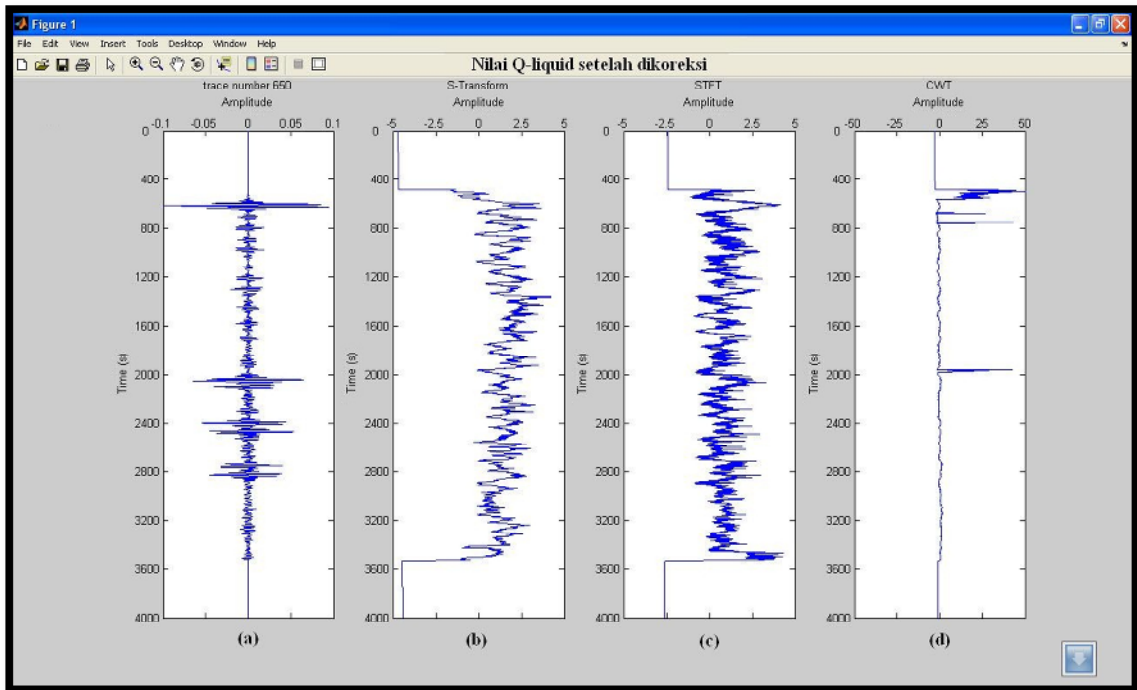


Gambar 3.23 Nilai Q -gas disepanjang trace number 650 (a) trace original (b) hasil proses metode S -Transform (c) hasil proses metode STFT (d) hasil proses metode CWT.

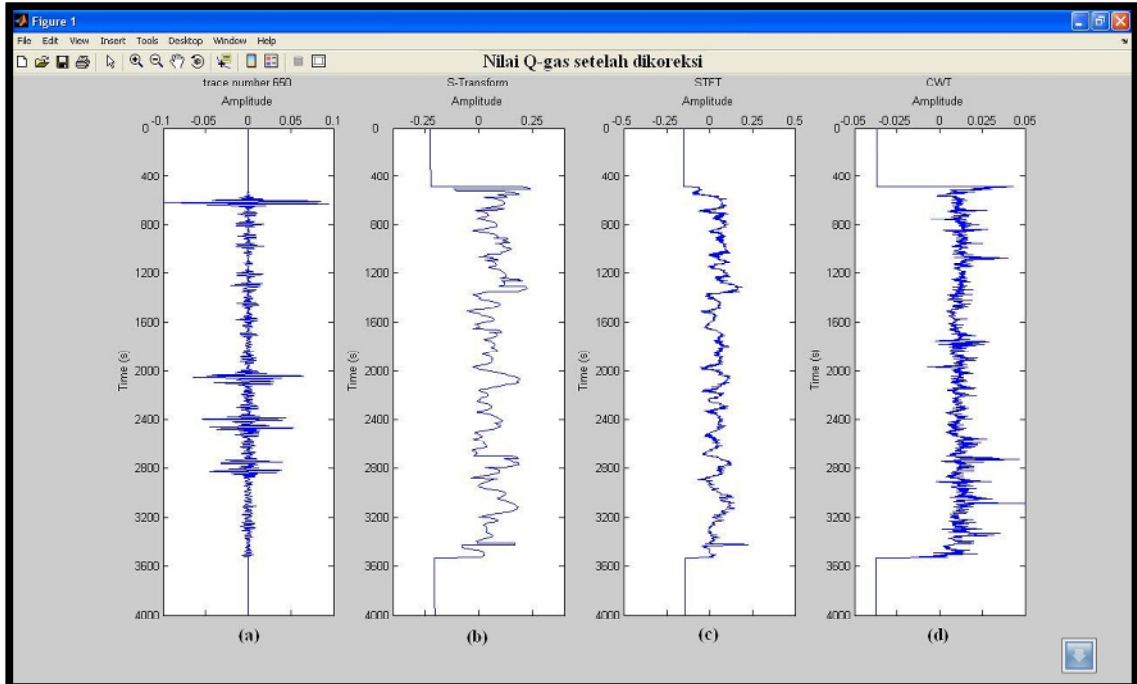
3.3.5 Nilai Q -liquid dan Q -gas Final

Dengan asumsi bahwa dalam suatu medium tidaklah seluruhnya terisi oleh fluida maka koreksi nilai Q -liquid dan Q -gas ini perlu dilakukan. Dalam penelitian ini koreksi atenuasi dibuat dengan cara mencari trend atenuasi terhadap menurunnya waktu disetiap tracenya. Nilai koreksi atau nilai trend atenuasi dapat dihitung dengan melakukan fitting kurva antara harga masing-masing Q -liquid dan Q -gas disepanjang waktu disetiap trace number pada data seismik.

Gambar (3.24) merupakan hasil dari perhitungan Q -liquid setelah mengalami koreksi atau setelah dikurangi nilai trend atenuasi terhadap menurunnya waktu disetiap tracenya dengan menggunakan keluaran 3 metode analisis spektrum yang berbeda. Percobaan ini dilakukan dengan pada trace number 650 yang dicuplik dari data model Marmousi2, sedangkan pada gambar (3.25) merupakan nilai Q -gas yang telah dikurangi trend atenuasinya.



Gambar 3.24 Nilai Q -liquid disepanjang trace number 650 data Marmousi2 setelah mengalami pengurangan trend atenuasinya (a) trace original (b) hasil proses metode S -Transform (c) hasil proses metode STFT (d) hasil proses metode CWT.

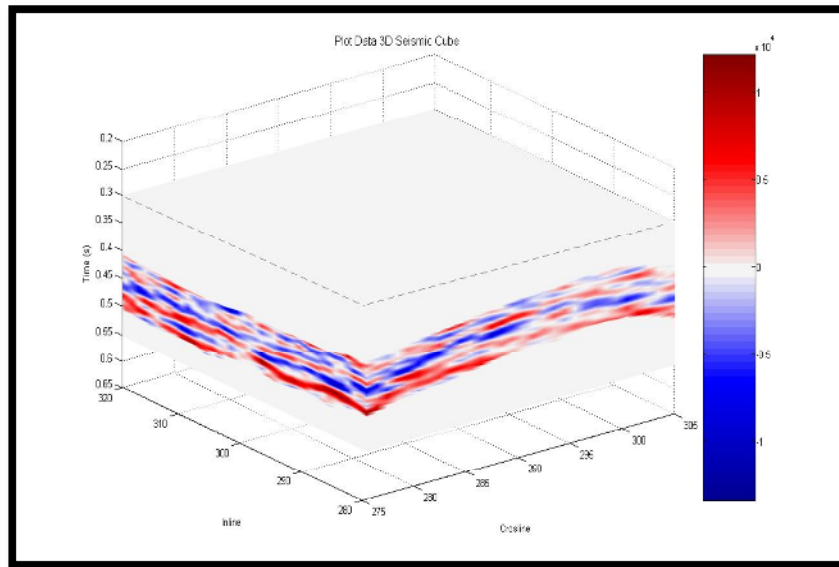


Gambar 3.25 Nilai Q -gas disepanjang trace number 650 data Marmousi2 setelah mengalami pengurangan trend atenuasinya (a) trace original (b) hasil proses metode S -Transform (c) hasil proses metode STFT (d) hasil proses metode CWT.

Harga *Q-liquid* dan *Q-gas* final pada plot penampang akhir dalam penelitian ini merupakan hasil perhitungan yang diekstraksi disetiap Wavelet Sesaat dari data seismik, dan telah dikoreksi berdasarkan trend atenuasinya. Karena pada penelitian ini menggunakan 3 metode analisis spektrum sinyal maka didapatkan 3 hasil plot penampang *Q-liquid* dan *Q-gas* final yang selanjutnya hasil perhitungan nilai *Q-liquid* dan *Q-gas* final dari 3 metode analisis spektrum *S-Transform*, STFT, dan CWT dilakukan komparasi untuk pola penyebaran pada penampang *Q-liquid* dan *Q-gas* yang telah mengalami pengurangan trend atenuasi atau sudah dikoreksi disetiap tracenya.

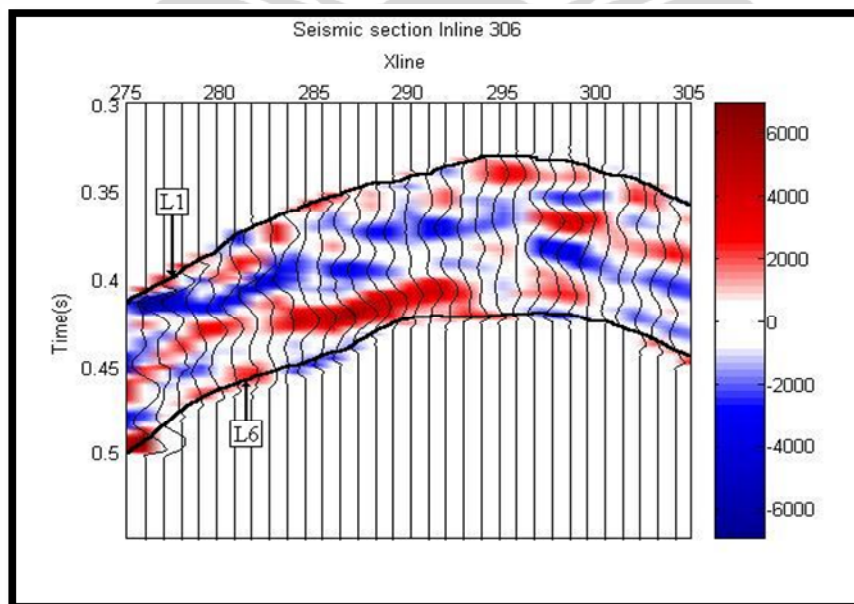
3.4 Aplikasi Data Lapangan format 3 Dimensi

Setelah dilakukan analisis WEA pada data 2D selanjutnya di lakukan ujicoba pada data real 3D yang dicuplik dari sebuah lapangan X. Pengerjaan pengolahan data secara komputasi dalam format 3D dengan banyaknya sample data yang tersimpan dalam matrix 2D yaitu ukuran $M \times N$ yang kemudian diubah kedalam format 3D yaitu $M \times J \times K$, dimana jumlah total banyaknya number trace didapat dari hasil perkalian jumlah trace crosline dan jumlah trace inline atau $J \times K$. Didalam penelitian ini banyaknya data J atau Inline yaitu 41 trace yang terdiri dari trace (280-320) dan banyaknya K atau Crosline yaitu 31 trace dan terdiri dari (275-305). Data Inline adalah data potongan vertikal yang sejajar pada arah pergerakan kapal atau lintasan kabel akuisisi, sedangkan Crosline adalah potongan vertikal yang tegak lurus terhadap arah pergerakan kapal atau kabel akuisisi sedangkan sample waktu merupakan potongan horizontal atau dapat juga dinamakan sebagai potongan waktu.

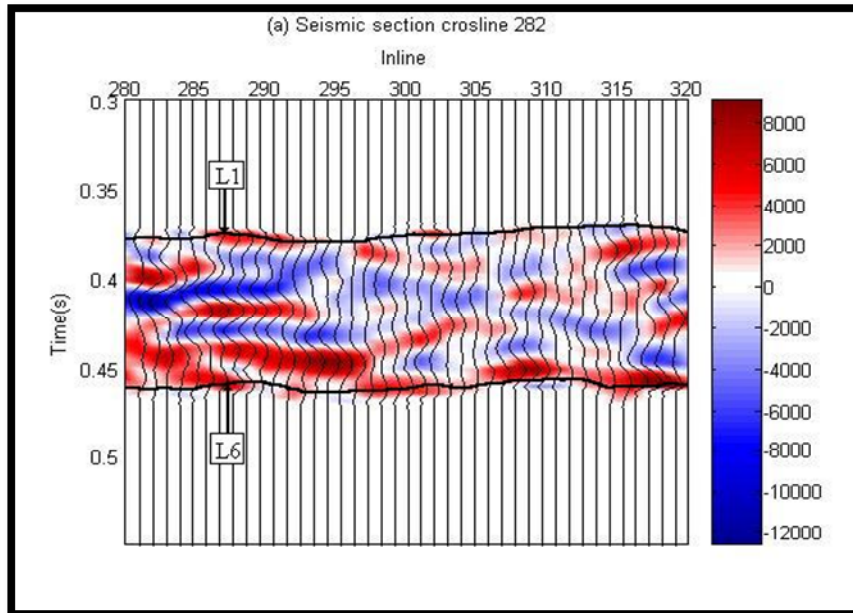


Gambar 3.26 Data seismik 3D yang digunakan dalam penelitian

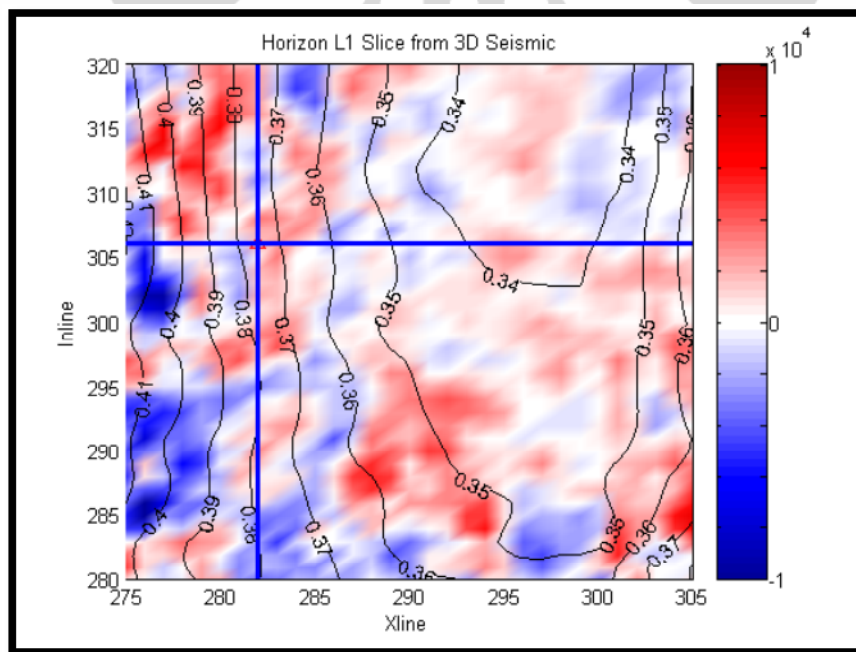
Penelitian data 3D ini dilakukan pada potongan inline 306, crossline 282 yang merupakan sebuah sumur P02 dan penelitian difokuskan pada horizon slice L1 karena daerah ini sangat menarik untuk dianalisa untuk setiap perubahan harga Q -liquid dan Q -gas dari keluaran masing-masing metode dalam menganalisis spektrum sinyal. Gambar potongan daerah target penelitian ditampilkan pada gambar (3.27) dan gambar (3.28).



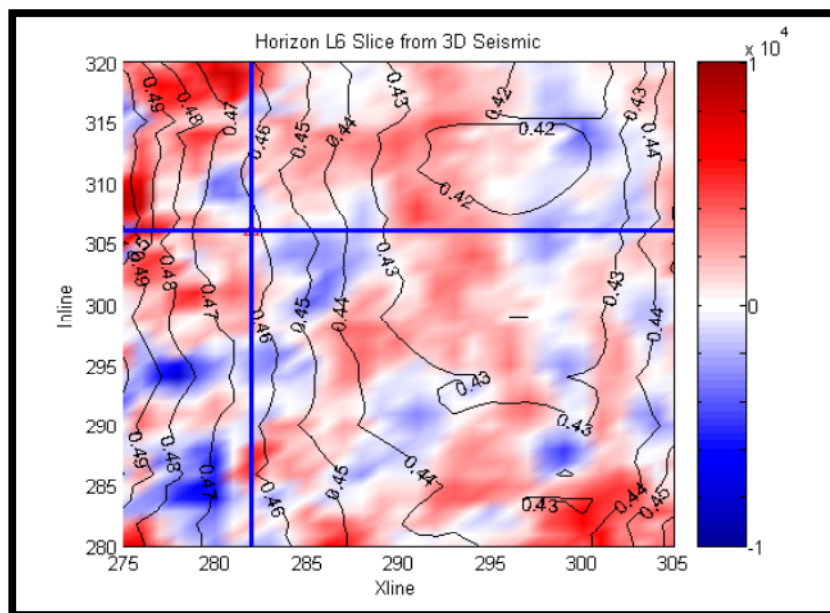
Gambar 3.27 Penampang seismik inline 306



Gambar 3.28 Penampang seismik crosline 282



Gambar 3.29 Horizon slice L1 daerah penelitian dari data seismik 3D dan posisi sumur P02



Gambar 3.30 Horizon slice L6 daerah penelitian dari data seismik 3D dan posisi sumur P02

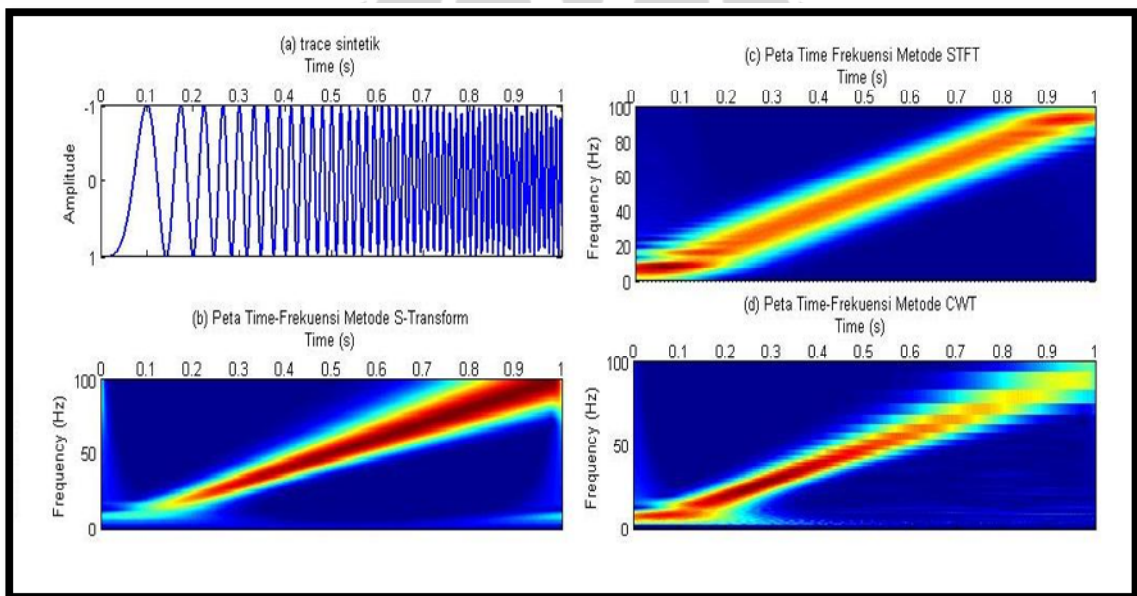
Gambar (3.29) dan (3.30) merupakan horizon slice L1 dan L6 dengan perpotongan inline 306 dan crosline 282 pada sumur P02 yang dijadikan daerah penelitian WEA menggunakan komparasi 3 metode analisis spektrum sinyal. Dalam penelitian ini seluruh proses pengerjaan dari mulai konversi file dalam format SEG-Y sampai dengan plot hasil analisis dirancang menggunakan pemograman Matlab 7.1.

BAB 4

Hasil dan Pembahasan

4.1 Peta Time-Frekuensi Data Sintetik

Gambar (4.1) merupakan sebuah trace sintetik yang dibuat dengan variasi frekuensi 0-100 Hz yang diproses sehingga menghasilkan peta Time-Frekuensi menggunakan analisis spektrum sinyal metode *S-Transform*, STFT dan CWT.



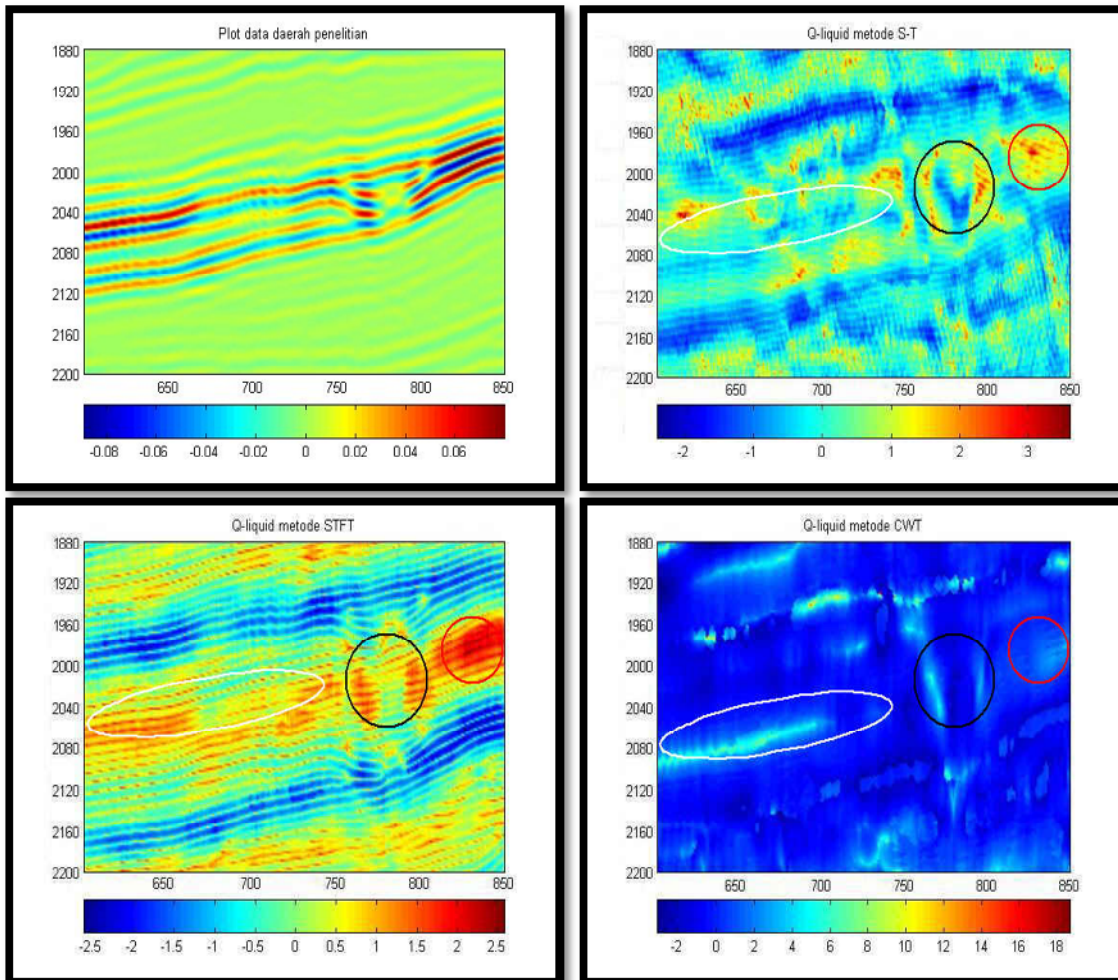
Gambar 4.1 Peta Time-Frekuensi pada trace sintetik dengan variation frekuensi 0-100 Hz (a) Trace sintetik (b) metode *S-Transform*, (c) metode STFT, (d) metode CWT.

Pada keluaran metode *S-Transform* mampu menampilkan kontras warna yang baik untuk mempetakan setiap perubahan nilai frekuensi dengan resolusi yang tinggi, resolusi yang lebih rendah ditampilkan pada keluaran metode CWT tetapi masih sangat jelas untuk melihat setiap perubahan nilai frekuensinya, sedangkan resolusi yang paling rendah jika dibandingkan dari 3 metode tersebut yaitu keluaran STFT walaupun tetap dapat menampilkan peta Time-Frekuensi pada ujicoba sebuah data trace sintetik.

4.2 Analisis WEA Pada Data model Marmousi2 2D

4.2.1 Penampang *Q-liquid* metode *S-Transform*, STFT dan CWT

Dalam analisis WEA keluaran akhir yang dihasilkan yaitu berupa penampang *Q-liquid* dan *Q-gas*. Perhitungan dengan cara melakukan fitting kurva pada Wavelet Sesaatnya yang telah dihasilkan dari 3 metode analisis spektrum sinyal. Gambar (4.2) merupakan hasil yang diperoleh untuk penampang *Q-liquid* menggunakan data model Marmousi2 pada daerah penelitian dengan trace number 600 sampai 850 dengan kedalaman yang diukur pada time 1880-2200ms.



Gambar 4.2 Data penelitian (kiri atas), penampang *Q-liquid* hasil metode *S-Transform* (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)

Pada penampang *Q-liquid* hasil keluaran metode *S-Transform* memperlihatkan pola penyebaran *Q-liquid* didaerah channel dan mampu dipetakan dengan baik. Setiap perubahan nilai dari yang tinggi dan yang rendah digambarkan dengan jelas, dalam hal ini keluaran metode *S-Transform* mampu menghasilkan tingkat resolusi yang cukup baik. Pada daerah target dengan trace number 810-840 (diberikan mark warna merah) terlihat bahwa harga amplitudo *Q-liquid* yang tinggi dan pada range trace number 760-800 (mark warna hitam) memiliki nilai amplitudo *Q-liquid* yang lebih rendah, tetapi dapat menggambarkan perubahan struktur pada tersebut yang ditampilkan dengan baik dengan menunjukkan keberadaan penyebaran *Q-liquid* pada daerah ini. Hal serupa diperlihatkan pada daerah trace number 600-720 (diberikan mark warna putih) dimana penyebaran *Q-liquid* dapat ditampilkan dengan baik, pemisahan disetiap perubahan nilai *Q-liquid* diperlihatkan dengan perubahan kontras warna sangat jelas.

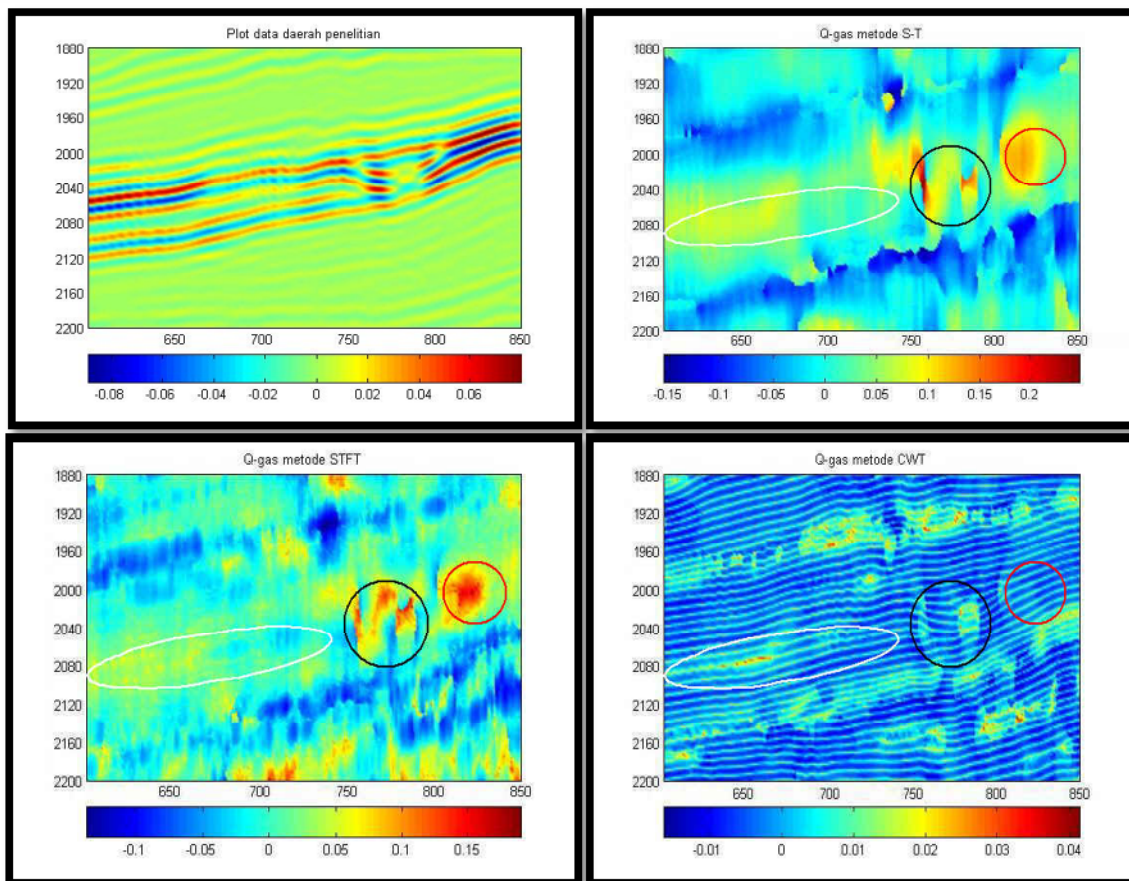
Pada penampang *Q-liquid* keluaran metode STFT disepanjang daerah target juga memperlihatkan penyebaran *Q-liquid* yang baik disetiap perubahan nilainya. Pola penyebarannya digambarkan mirip dengan yang dihasilkan metode *S-Transform* walaupun penyebaran *Q-liquid* pada daerah channel terlihat lebih besar. Pada daerah penelitian dengan trace number 760-800 (diberikan mark warna merah) memiliki nilai *Q-liquid* dengan pola penyebaran lebih besar dari keluaran hasil metode *S-Transform*, hal yang sama ditampilkan pada daerah yang diberikan tanda (mark warna hitam dan putih) disini terlihat bahwa resolusi lebih baik ditampilkan oleh metode *S-Transform* hal tersebut dikarenakan metode STFT mempunyai masalah dengan penentuan lebar *window* yang digunakan dalam proses membuat peta Time-Frekuensi.

Plot penampang *Q-liquid* keluaran metode CWT memperlihatkan daerah penelitian dengan pola penyebaran *Q-liquid* yang mirip dengan metode STFT dan *S-Transform* tetapi disini digambarkan dengan distribusi yang sangat minim dimana gambaran setiap perubahan struktur pada daerah (diberikan mark warna hitam) yang ditampilkan dengan keberadaan *Q-liquid* pada daerah ini hanya dapat digambarkan dengan penyebaran yang lebih sedikit jika dikomparasi dengan hasil keluaran metode STFT dan *S-Transform*, dimana hasil keluaran dua metode tersebut dapat memberikan penyebaran *Q-liquid* yang lebih besar. Hal yang sama juga diperlihatkan pada daerah

(mark warna putih dan merah) disini diperoleh nilai amplitudo yang sangat lemah. Tetapi jika diperhatikan dari hasil *Q-liquid* keluaran metode CWT ini masih mampu menggambarkan keberadaan *Q-liquid* disepanjang daerah penelitian yang pada keluaran metode *S-Transform* dan STFT dapat digambarkan dengan tegas. Hasil yang diperoleh dari keluaran metode CWT mungkin saja dapat memberikan tingkat resolusi yang baik hal ini terjadi jika dalam pengolahannya dapat ditentukan pemilihan Wavelet yang tepat beserta parameternya karena pada prosesnya metode ini menggunakan perkalian Wavelet sehingga dapat menghasilkan peta Time-Frekuensi dengan resolusi yang baik.

4.2.2 Penampang *Q-gas* metode *S-Transform*, STFT dan CWT

Gambar (4.3) merupakan penampang *Q-gas* hasil keluaran 3 metode analisis spektrum sinyal menggunakan data model Marmousi2. Untuk keluaran metode *S-Transform* pada trace number 760-800 (mark warna hitam) dimana sebuah pola perubahan struktur ditampilkan dengan memperlihatkan nilai *Q-gas* yang tinggi, hal yang sama juga terlihat disepanjang daerah target (mark warna merah dan putih) dengan menampilkan pola penyebaran *Q-gas* yang besar.



Gambar 4.3 Data penelitian (kiri atas), penampang Q -gas hasil metode S -Transform (kanan atas), STFT (kiri bawah) dan CWT (kanan bawah)

Pola penyebaran Q -gas yang dihasilkan dari keluaran metode STFT memperlihatkan harga Q -gas yang besar pada daerah yang sama dengan hasil keluaran metode S -Transform yaitu ditampilkan pada trace number 760-800 (diberikan mark warna hitam) dimana daerah ini terdapat ketidakterusan horizon dan terjadi perubahan struktur, disini keberadaan Q -gas ditampilkan dengan membuat kontras perubahan nilai sehingga mampu menggambarkan daerah ini dengan jelas. Hal yang sama juga ditampilkan pada daerah (diberikan mark warna merah), tetapi pada trace number 600-780 (diberikan mark putih) penyebaran Q -gas dapat ditampilkan dengan jelas dari hasil keluaran metode S -Transform, sedangkan hasil keluaran metode STFT memperlihatkan keberadaan Q -gas yang lemah. Hasil visual dengan menggunakan metode STFT ini tetap mampu memberikan harga Q -gas yang baik meskipun pola

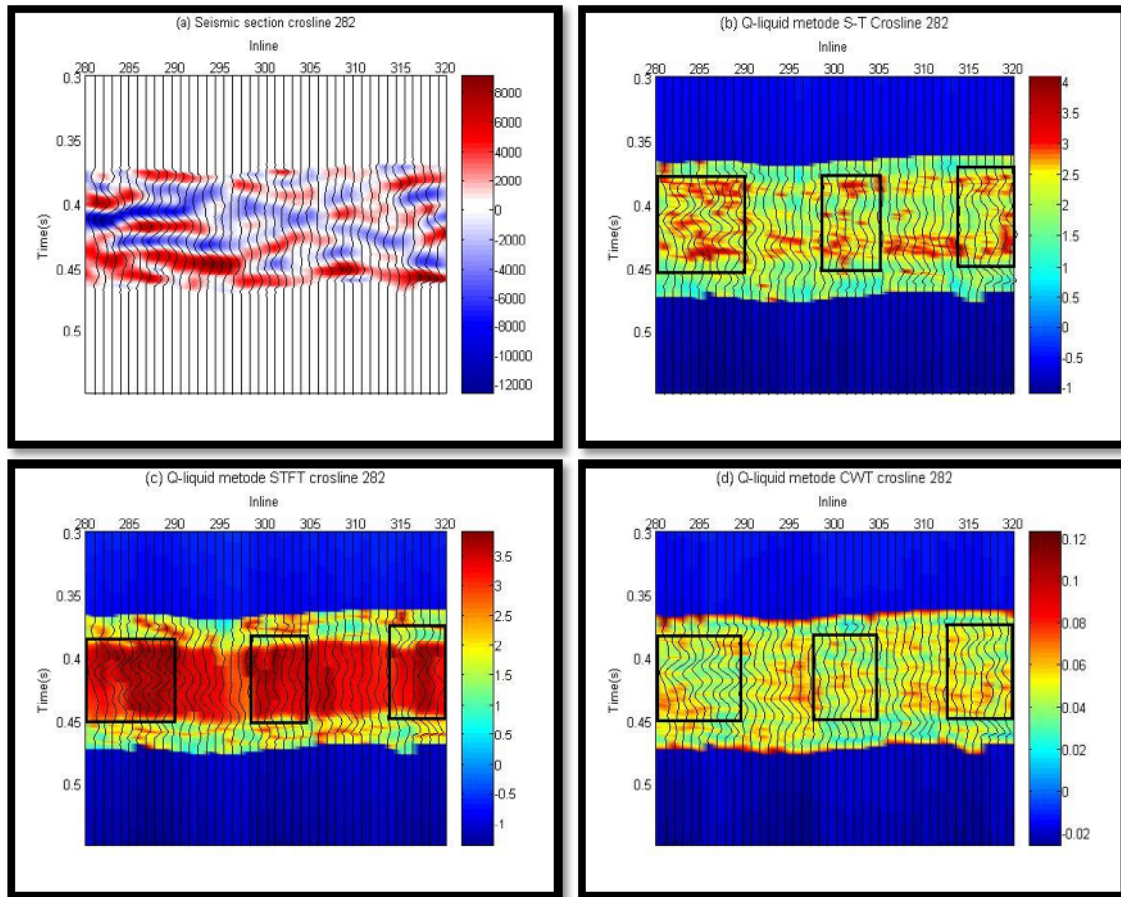
penyebarannya tidak sebesar hasil keluaran metode *S-Transform* tetapi secara umum memiliki pola penyebaran *Q-gas* yang sama.

Pada gambar plot penampang *Q-gas* hasil keluaran metode CWT, pola channel daerah target penelitian digambarkan sedikit lebih tegas dari nilai *Q-liquid*-nya tetapi masih kurang jelas jika dibandingkan dengan hasil *Q-gas* keluaran STFT dan *S-Transform*. Hasil metode CWT pada daerah penelitian (Mark warna merah) terlihat sangat lemah untuk menampilkan keberadaan nilai *Q-gas*-nya sedangkan pada daerah tersebut diberikan nilai amplitudo *Q-gas* yang tinggi dari keluaran metode STFT dan *S-Transform*. Pada daerah penelitian (mark warna hitam) juga memperoleh nilai *Q-gas* yang kecil jika dikomparasi dengan kedua metode *S-Transform* dan STFT, tetapi pada daerah penelitian (mark warna putih) nilai amplitudo *Q-gas* ditunjukkan lebih baik dari pada hasil keluaran metode STFT disini terlihat jelas dapat menampilkan keberadaan nilai *Q-gas* yang tinggi dan tipis.

4.3 Analisis WEA Menggunakan Data Lapangan 3D

4.3.1 Penampang *Q-liquid* slice crosline 282 metode *S-Transform*, STFT dan CWT

Berdasarkan hasil analisis WEA dengan menggunakan data lapangan format 3D secara umum dapat menggambarkan distribusi penyebaran *Q-liquid* dan *Q-gas* yang dapat dikorelasikan antara hasil analisis WEA menggunakan 3 metode analisa spektrum sinyal. Pada gambar (4.4) menampilkan harga amplitudo penyebaran *Q-liquid* yang lebih rendah dengan memperlihatkan perubahan kontras warna yang lebih banyak pada keluaran metode *S-Transform* bila dibandingkan dengan hasil keluaran metode STFT. Hasil ini memperlihatkan bahwa metode *S-Transform* dapat menampilkan resolusi yang lebih tinggi. Pada hasil keluaran metode CWT pola penyebaran *Q-liquid* terlihat lebih sedikit hal ini dikarenakan metode CWT dalam proses pengolahan data menggunakan perkalian Wavelet untuk menghasilkan *windowing* yang tepat dari pada metode STFT sehingga dapat meningkatkan resolusi yang lebih baik

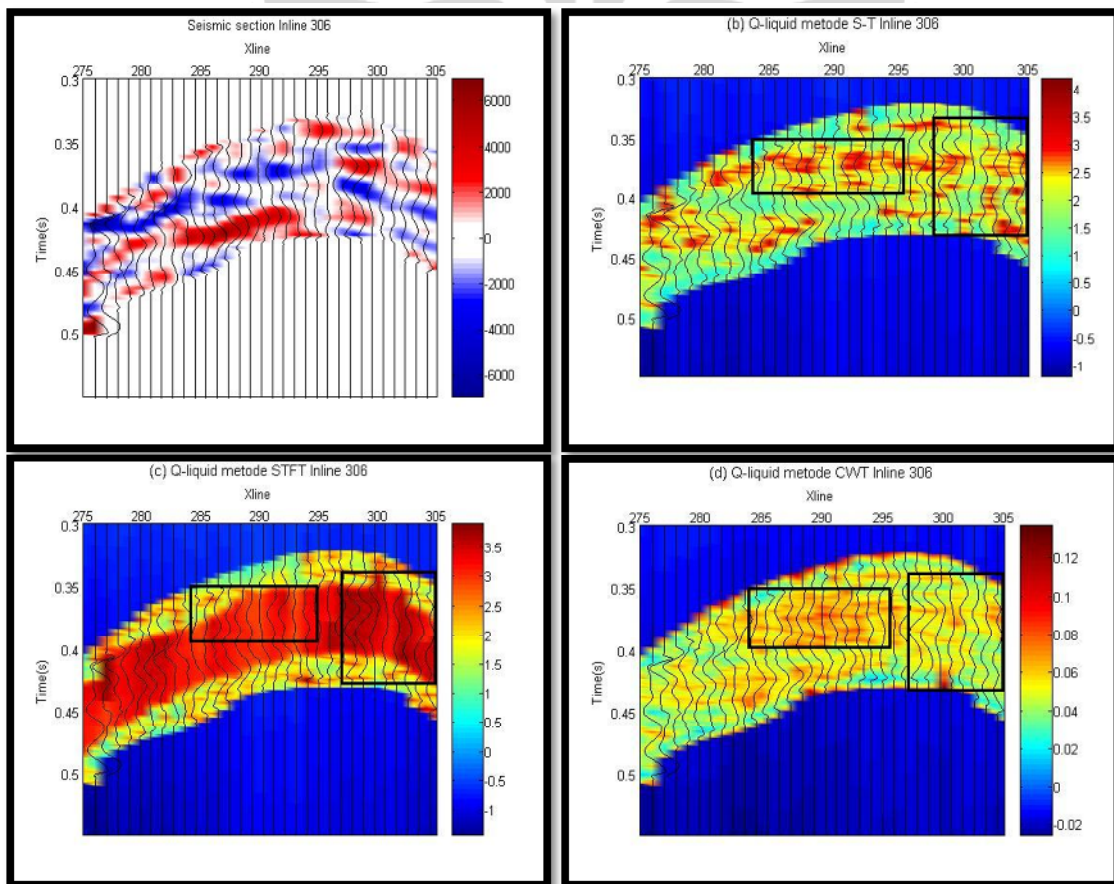


Gambar 4.4 Penampang *Q-liquid* slice crossline 282 (a) Data Penelitian, (b) Metode *S-Transform*, (c) Metode STFT, (d) Metode CWT.

Nilai *Q-liquid* yang cukup tinggi pada keluaran 3 metode dapat ditampilkan pada ketiga daerah yang diberikan mark hitam. Pada ketiga daerah ini memperlihatkan hasil metode *S-Transform* lebih baik dalam menggambarkan pola penyebaran *Q-liquid* dari pada hasil metode STFT, dimana pemetaan distribusi *Q-liquid* di setiap lapisan daerah tersebut dapat diperlihatkan, hal yang sama terjadi pada hasil keluaran metode CWT dimana nilai *Q-liquid* yang tipis pada lapisan didaerah ini dapat dipetakan dengan baik. Komparasi dari ketiga gambar menggambarkan pola penyebaran *Q-liquid* dengan tingkat resolusi yang lebih baik pada keluaran metode *S-Transform* kemudian resolusi cukup baik ditampilkan metode CWT sedangkan nilai *Q-liquid* yang ditampilkan metode STFT terlihat sangat besar dan *blocky*.

4.3.2 Penampang *Q-liquid* slice Inline 306 metode *S-Transform*, STFT dan CWT

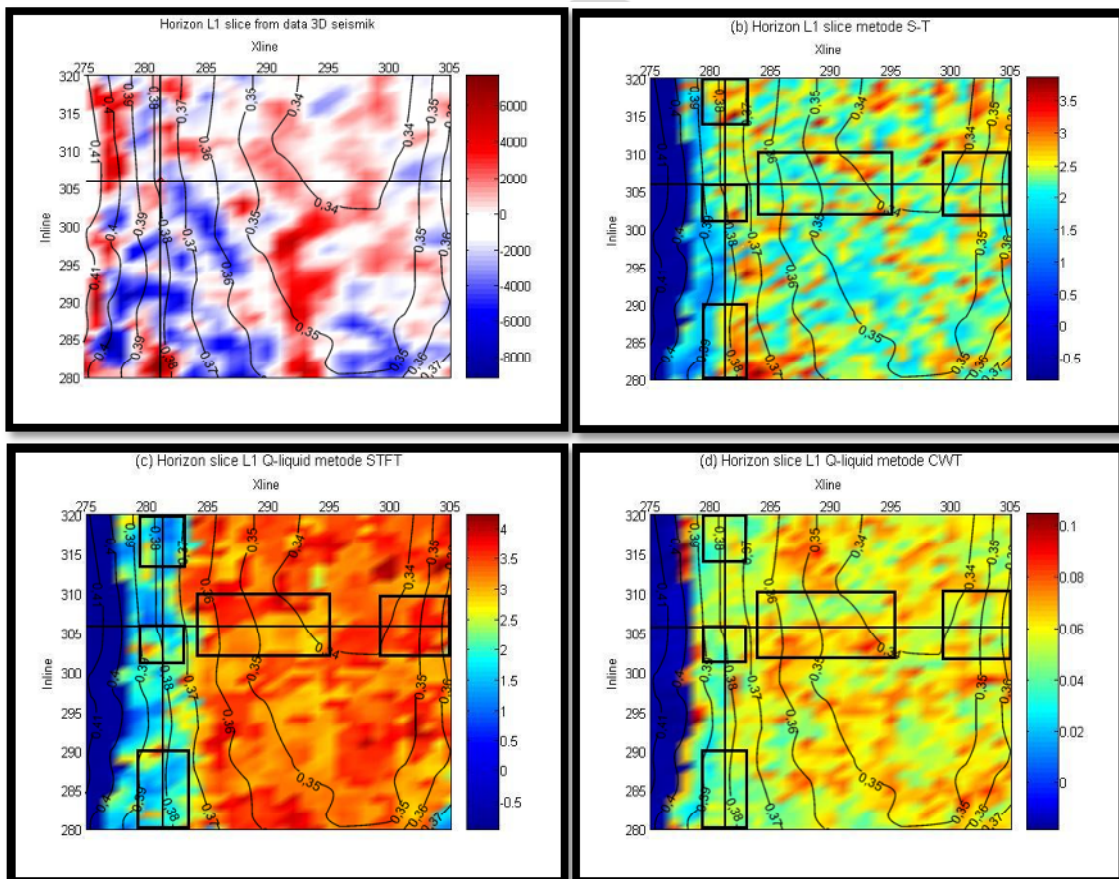
Metode STFT dalam menganalisis spektrum sinyal didalam pengolahannya dapat mentransformasi gelombang dalam bentuk peta Time-Frekuensi dengan memiliki kelemahan yaitu masalah *windowing*, sehingga informasi waktu lokal tidak dapat diberikan secara tepat atau dapat menurunkan resolusi pada saat frekuensi tinggi jika dibandingkan dengan hasil keluaran metode *S-Transform* dan CWT, dalam hal ini meskipun nilai *Q-liquid* dapat digambarkan dengan tegas tetapi tidak lebih sempurna untuk mempetakan daerah lapisan tipis. Pada hasil penelitian ini, metode *S-Transform* dan CWT mampu menampilkan resolusi yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode STFT seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Penampang *Q-liquid* slice Inline 306 (a) Data Penelitian, (b) Metode *S-Transform*, (c) Metode STFT, (d) Metode CWT.

4.3.3 Penampang *Q-liquid* Horizon slice L1 metode *S-Transform*, STFT dan CWT

Horizon slice L1 dibuat untuk melihat sebaran *Q-liquid* dibawah batas atas daerah target penelitian. Pada Gambar (4.6) plot penampang *Q-liquid* menampilkan distribusi penyebaran yang tinggi dan diperlihatkan pada daerah yang diberikan mark warna hitam dimana pada penampang hasil keluaran metode *S-Transform* terlihat konsentrasi pola penyebaran nilai *Q-liquid* yang cukup besar dengan tingkat resolusi yang baik.



Gambar 4.6 Penampang *Q-liquid* Horizon slice L1 (a) Data Penelitian, (b) Metode *S-Transform*, (c) Metode STFT, (d) Metode CWT.

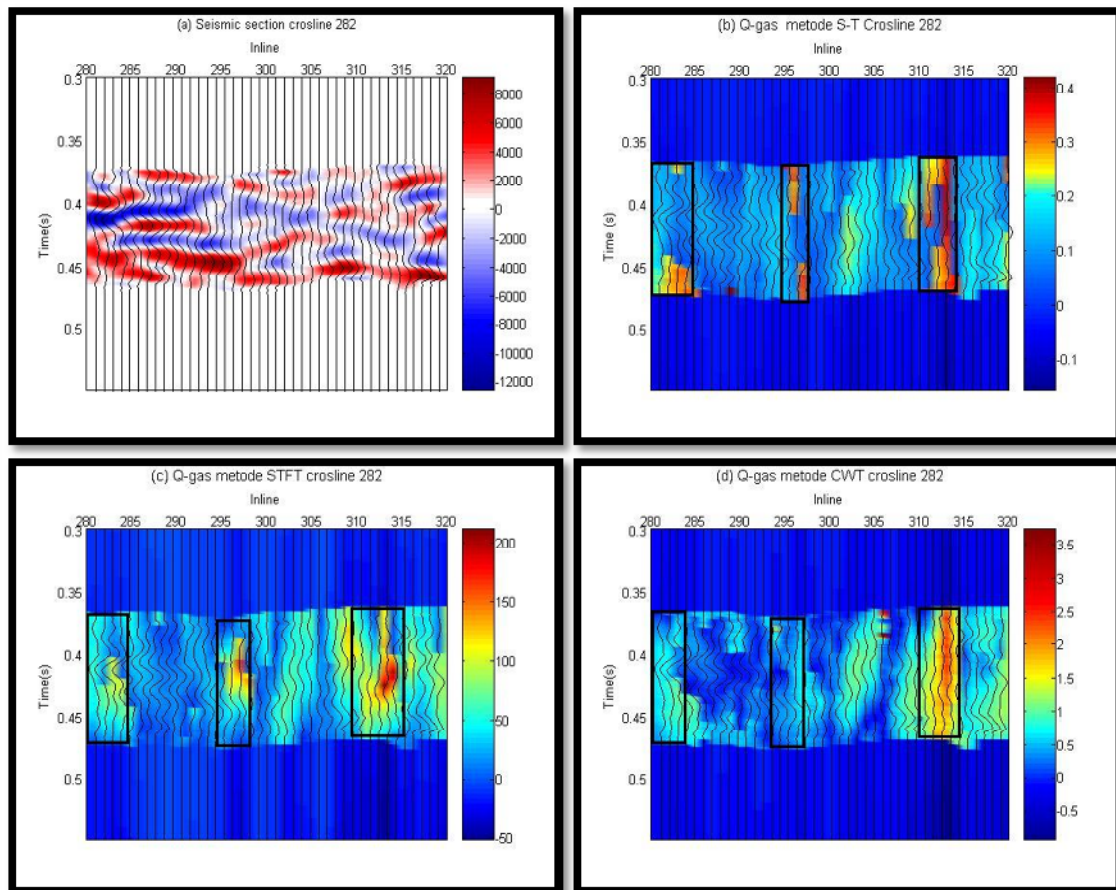
Pada penampang keluaran metode STFT mampu menghasilkan kontras warna dengan tegas, tetapi pada hasil keluaran metode CWT sebaran *Q-liquid* terlihat lebih sedikit tentunya mirip dengan hasil keluaran metode *S-Transform*. Hasil *Q-liquid* keluaran metode *S-Transform* dan CWT disini memperlihatkan resolusi yang tinggi

sehingga pada daerah yang memiliki nilai amplitudo *Q-liquid* yang tinggi dengan yang lebih rendah mampu dipisahkan dengan baik. Meskipun demikian pola penyebaran *Q-liquid* yang digambarkan hasil metode STFT secara umum memiliki persamaan jika dikorelasikan dari hasil keluaran metode *S-Transform* dan CWT.

4.3.4 Penampang *Q-gas slice crosline 282* metode *S-Transform*, STFT dan CWT

Pada penampang *Q-gas* yang dihasilkan 3 metode analisis spektrum sinyal menggambarkan pola penyebaran secara lateral dengan jelas antara hasil dari ketiganya. Pada gambar (4.7) hasil keluaran metode *S-Transform* memperlihatkan warna merah terang yang menandakan harga amplitudo *Q-gas* yang besar dan digambarkan dengan tegas, tetapi pada hasil keluaran CWT terlihat sedikit lebih tipis, begitu juga pada hasil keluaran metode STFT.

Nilai *Q-gas* hasil keluaran metode *S-Transform* dapat menampilkan warna yang tajam begitu juga pada CWT, hal ini dikarenakan hasil keluaran metode ini memiliki tingkat resolusi yang lebih baik sehingga mampu memperlihatkan setiap perubahan nilai frekuensi pada saat proses pengolahan untuk menghasilkan peta Time-Frekuensi. Jika dihubungkan secara umum pola penyebaran nilai *Q-gas* yang dihasilkan dari ketiga metode dapat dihubungkan dengan baik dan penyebaran *Q-gas* terkonsentrasi pada daerah yang diberikan mark warna hitam.

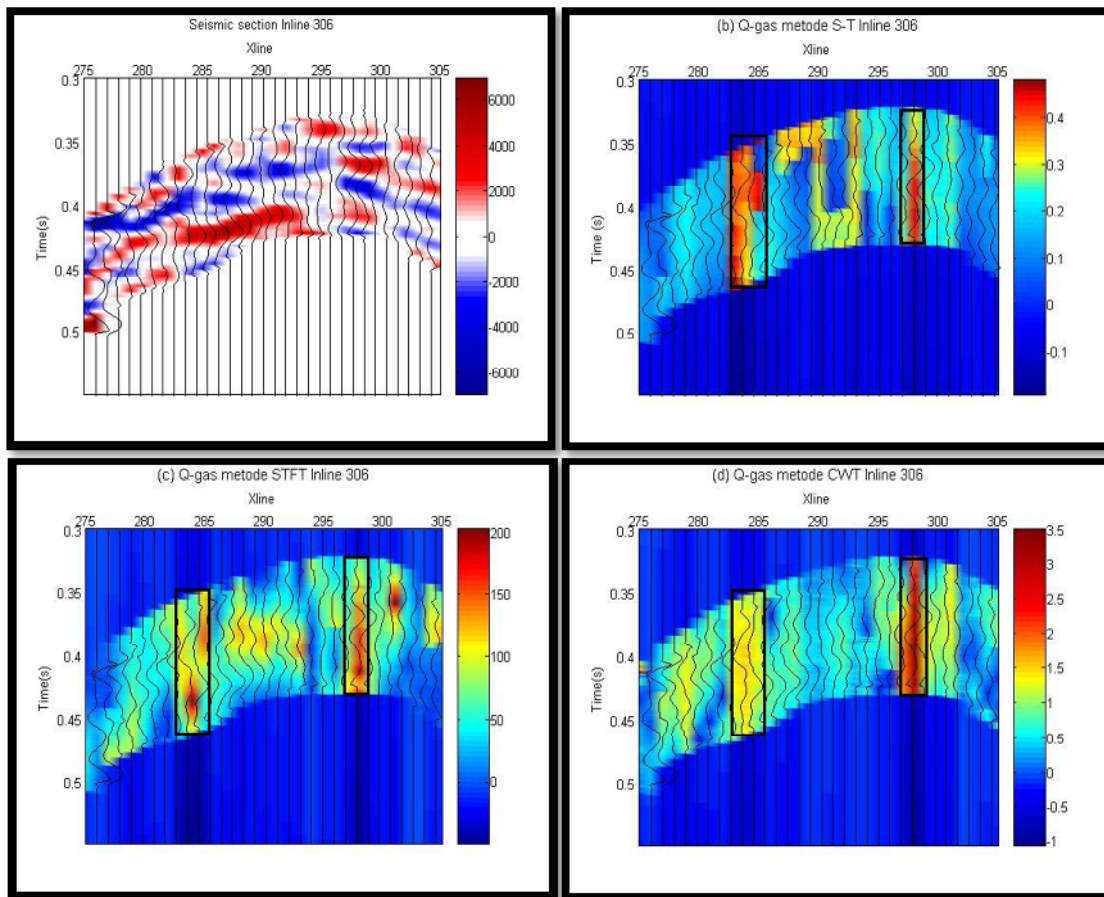


Gambar 4.7 Penampang Q -gas slice crossline 282 (a) Data Penelitian, (b) Metode S -Transform, (c) Metode STFT, (d) Metode CWT

4.3.5 Penampang Q -gas slice Inline 306 metode S -Transform, STFT dan CWT

Pada gambar (4.8) pola penyebaran Q -gas ditampilkan pada daerah dimana nilai amplitudo yang tinggi dan tajam dihasilkan oleh keluaran metode S -Transform dan STFT dimana kontras warna digambarkan dengan sangat baik tetapi pada metode CWT diperlihatkan dengan kontras warna yang lebih rendah, meskipun demikian tetap dapat menampilkan dengan jelas nilai Q -gas-nya.

Daerah yang diberikan (mark warna hitam) pada keluaran metode S -Transform memperlihatkan informasi penyebaran Q -gas dengan nilai amplitudo tinggi yang ditandai dengan warna merah terang, begitu juga dengan gambar yang dihasilkan dari metode STFT dan CWT.



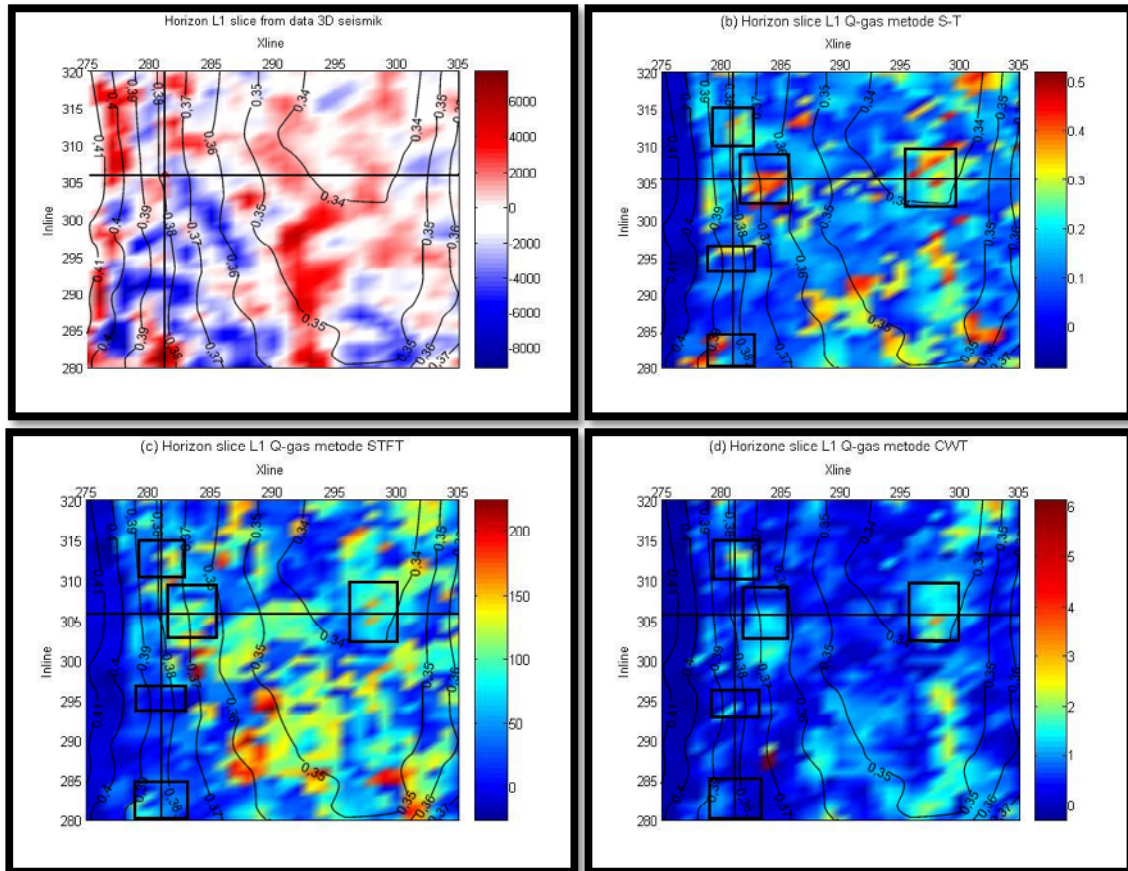
Gambar 4.8 Penampang Q -gas slice crossline 282 (a) Data Penelitian, (b) Metode S -Transform, (c) Metode STFT, (d) Metode CWT

4.3.6 Penampang Q -gas Horizon slice L1 metode S -Transform, STFT dan CWT

Pada daerah yang diberikan mark warna hitam, kontras warna yang menandakan penyebaran Q -gas ditampilkan cukup jelas dari hasil keluaran 3 metode analisis spektrum sinyal dimana daerah ini menandakan adanya akumulasi Q -gas. Pada Gambar 4.9 hasil yang didapat pada keluaran metode S -Transform menggambarkan nilai amplitudo Q -gas yang tegas dengan perubahan warna yang jelas sehingga memudahkan proses interpretasi.

Metode CWT dalam pengolahan analisis spektrum sinyal memiliki hubungan berbanding terbalik antara frekuensi dan skala sehingga pada penentuan level skala

yang digunakan jika semakin besar maka nilai frekuensi yang dihasilkan akan kecil dan begitu juga sebaliknya jika level skala rendah maka nilai frekuensi keluaran metode CWT akan besar, dengan demikian hubungan ini dapat meningkatkan resolusi yang lebih baik.



Gambar 4.9 Penampang Q -gas slice horizon L1 (a) Data Penelitian, (b) Metode S -Transform, (c) Metode STFT, (d) Metode CWT

4.4 Komparasi Analisis Spektrum Sinyal Metode *S-Transform*, STFT dan CWT untuk Aplikasi WEA

Konsep dasar analisis spektrum sinyal dari metode STFT, CWT dan *S-Transform* antara ketiganya mempunyai fungsi yang sama yaitu dapat bekerja pada analisis spektrum sinyal gelombang nonstasioner seperti sinyal seismik, tetapi masing-masing metode dalam proses mengolah data berbeda serta memperlakukan sinyal yang diolah tidaklah sama sehingga perbedaan tersebut membawa hasil keluaran yang berbeda pula dari masing-masing metode tersebut. Begitu juga ketika keluarannya diaplikasikan pada analisis WEA dapat membuat perbedaan yang cukup signifikan untuk menghasilkan penampang *Q-liquid* dan *Q-gas*.

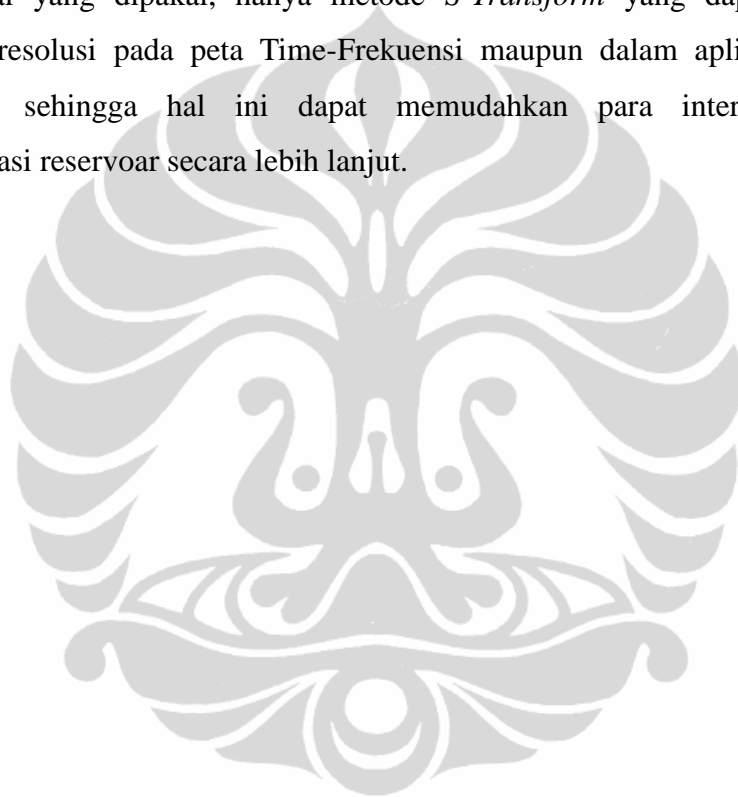
Pada metode STFT sangat rentan terhadap pemilihan lebar *window*, nilai parameter lebar *window* ditentukan dengan cara menentukan panjangnya *window* di setiap waktu lokal-nya. Ketika lebar *window* memproses frekuensi nonstasioner dengan harga yang sama barang tentu terdapat ketidakcocokan *windowing* pada nilai frekuensi tertentu. Lebar *window* seharusnya sesuai dengan harga frekuensi yang akan dipetakan, sehingga apabila mengalami ketidakcocokan, hal ini dapat menimbulkan kontras frekuensi yang besar atau *blocky* pada peta Time-Frekuensi, dan akhirnya dapat memberikan resolusi yang rendah jika diaplikasikan pada analisis WEA sehingga dapat menyulitkan interpretasi.

Dengan melakukan suatu perkalian Wavelet metode CWT adalah solusi masalah *windowing* dari metode STFT sehingga resolusi yang baik tentu akan didapatkan. Dalam metode CWT penentuan level skala yang digunakan berpengaruh pada kontras perubahan nilai frekuensi atau hasil keluarannya, selain itu pemilihan Wavelet dan penentuan parameter frekuensi tengah yang tepat juga mempunyai pengaruh yang signifikan untuk menghasilkan peta Time-Frekuensi. Pada metode CWT jika diaplikasikan dalam analisis WEA dapat memberikan tingkat resolusi yang lebih baik dari hasil keluaran metode STFT.

Didalam proses pengolahan analisis spektrum sinyal, metode *S-Transform* bergantung pada panjangnya data input yang akan diolah, banyaknya data disepanjang waktu disetiap tracenya dan digunakan suatu perkalian *Gaussian Window* pada setiap

perubahan nilai frekuensi yang diperoleh. Hal ini dapat membawa pengaruh nilai faktor skala disetiap frekuensi keluaran dalam setiap windownya, dengan demikian hasil metode ini mampu memisahkan nilai frekuensi tinggi dan yang rendah pada peta Time-Frekuensi. Jika diaplikasikan pada analisis WEA akan diperoleh hasil resolusi yang sangat baik.

Akhirnya dalam penelitian ini dengan menggunakan 3 metode analisis spektrum sinyal yang dipakai, hanya metode *S-Transform* yang dapat dipercaya meningkatkan resolusi pada peta Time-Frekuensi maupun dalam aplikasinya pada analisis WEA sehingga hal ini dapat memudahkan para interpreter untuk mengkarakterisasi reservoir secara lebih lanjut.



BAB 5

KESIMPULAN

Dengan melihat hasil penelitian secara umum pola penyebaran *Q-liquid* dan *Q-gas* yang dihasilkan 3 metode analisis spektrum sinyal dapat dikorelasikan dan memiliki distribusi penyebaran yang mirip antara ketiganya, dan tentu saja kontras warna atau tingkat resolusi yang dihasilkan berbeda. Hal tersebut dikarenakan karakteristik 3 metode ini didalam pengolahannya membawa pengaruh disetiap nilai *Q-liquid* dan *Q-gas* pada plot penampang akhir jika diaplikasikan dalam analisis WEA.

Penelitian ini mengantarkan kesimpulan yaitu hasil metode STFT memberikan resolusi yang rendah pada keluaran peta Time-Frekuensi, sehingga pada metode ini dalam aplikasi analisis WEA memperlihatkan distribusi penyebaran *Q-liquid* dan *Q-gas* yang sangat besar atau *blocky*, dengan demikian dapat menyulitkan proses interpretasi. Pada hasil keluaran metode CWT mampu menghasilkan peta Time-Frekuensi dengan resolusi yang lebih baik, dan jika diaplikasikan pada analisis WEA, metode CWT ini dapat memperlihatkan distribusi penyebaran *Q-liquid* dan *Q-gas* yang lebih jelas.

Dari ketiga metode analisis spektrum sinyal, yang dapat memberikan tingkat resolusi paling baik untuk peta Time-Frekuensi yaitu metode *S-Transform*, dimana metode ini mampu menampilkan distribusi penyebaran *Q-liquid* dan *Q-gas* yang sangat jelas dan tegas pada aplikasinya dalam analisis WEA.

DAFTAR ACUAN

1. Anggraini,A., 2007, *Analisis Atenuasi Energy (WEA) Wavelet Untuk Deteksi Hidrokarbon Langsung.*, Institut Teknologi Bandung., Tesis.
2. Goloshubin,G.M., Korneev, V.A., 2000, *Seismic Low Frequency Effect for Fluid Saturated Porous Media: SEG 70th Annual International Meeting Expanded Abstracts*, 976-979.
3. Haris,Abd., 2008, *Komputasi Geofisika.*, FMIPA UI., Depok.
4. Johnston, D.H., and Toksoz, M.N., (Eds), 1981, *Seismic Waves Attenuation*, Geophysics. Reprint series, No.2, SEG, Tulsa.
5. Kumar,p. and Foufoula,E., 1994, *Wavelet in Geophysics*, Academic Press Inc.
6. Linchman,E., Peters,S.W., Squyres,D.H., 2003, *Direct Hydrocarbon Detection by Wavelet Energy Absorption*, Oil and Gas Journal.
7. Linchman,E., 1999, *Phase Inversion Deconvolution for Surface Consistent Processing and Multiple Attenuation*, SEG 69th Annual Meeting Expanded Abstract.
8. Munadi,Suprajitno., 2000, *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi.*, FMIPA UI., Depok.
9. Munadi,Suprajitno., 2003, *Pengantar Memahami Transformasi Fourier.*, FMIPA UI., Depok.
10. Sinha, Satish, Partha S. Routh, Phil D. Anno, and John P. Castagna, 2005, *Spectral Decomposition of Seismic Data with Continuous-Wavelet Transform*, Geophysics, Vol.70,No.6,p.19-25.
11. Stockwell,R.G., Mansinha,L., and Lowe,R.P., 1996, *Localization of the complex spectrum: the S transform*, IEEE Trans. Signal Process., vol. 44,no. 4, pp. 998–1001.
12. Torrence,C., and Compo,G.P., 1998, *A practical Guide to Wavelet Analysis*. Bull. Amer. Metroer. Soc., Volume 79, Halaman 61-78.
13. Winkler,K., Nur,A., 1982, *Seismic Attenuation Effect of Pore Fluids and Frictional Sliding*, Geophysics Vol.47,1-15.



```

%===== Listing program calculate Q-liquid dan Q-gas Data 2d =====
%===== copyright Cakra nurjaya =====
%===== 2011 =====
close all;
clear all;
clc;
[filename pathname]=uigetfile('*.sgy','Load SEGY Data');
file=[pathname filename];
[data_all, sampint, texthead] = alreadsegy(file,'texthead','yes');
time=0:sampint:(size(data_all,1)-1)*sampint;
%===== picking interest zone =====
trc_interest = input('Input trace interest (awal:akhir) = ');
trc_target=input('Input trace target (awal:akhir) = ');;
time_target=input('Input time (awal:akhir) = ');;
data_interest = data_all(:,trc_interest);
data_target = data_interest(:,trc_target);
%===== Pengolahan WEA =====
for ntrc=1:1:size(data_target,2);
    seis=data_target(:,ntrc);
    disp(['sampling data trace number = ',num2str(ntrc)]);
%===== resample Time =====
    rseis = interp(seis,2);
    rseis_all(:,ntrc) = rseis(time_target,:);
    disp(['Transform data trace number = ',num2str(ntrc)]);
%===== Analisis Spektrum =====
%===== select operator =====
%===== (1) calculate STFT =====
    [rcstft,tstft,fstft] = funcSTFT(rseis,sampint);
    rmodulus=(abs(rcstft))';
    f_spec=fstft;
    disp(['Proses Qgas trace number = ',num2str(ntrc)]);
    i=1;
    v_tg=[]; v_qg=[];
    v_tl=[]; v_ql=[];
    for time_n=time_target;
%===== (2) calculate CWT =====
        [rccwt,f_spec] = funcCWT(rseis,sampint);
        rmodulus=(abs(rccwt))';
        disp(['Proses Qgas trace number = ',num2str(ntrc)]);
        i=1;
        v_tg=[]; v_qg=[];
        v_tl=[]; v_ql=[];
        for time_n=time_target;
%===== (3) calculate S-Transform =====
            [rcst,fst] = funcST(rseis,sampint);
            rmodulus=(abs(rcst))';
            f_spec=fst;
            disp(['Proses Qgas trace number = ',num2str(ntrc)]);
            i=1;
            v_tg=[]; v_qg=[];
            v_tl=[]; v_ql=[];
            for time_n=time_target;
%===== Smoothing Data =====
                sm_spec=smooth(abs(rmodulus(time_n,:)),0.1,'rlowess');
                sm_spec=sm_spec';
%===== calculate Q-gas =====
                [v_Qgas] = funcQgas(f_spec,sm_spec);
                Qgas(i,ntrc) = v_Qgas;
                v_tg=[v_tg time_n]; v_qg=[v_qg v_Qgas];
%===== calculate Q-Liquid =====
                [v_Qliquid] = funcQliquid(f_spec,sm_spec);
                Qliquid(i,ntrc) = v_Qliquid;
                v_tl=[v_tl time_n]; v_ql=[v_ql v_Qliquid];
                disp(['Proses Qgas dan Qliquid trace number = ',num2str(ntrc),' :
time number= ',num2str(i)]);
                i=i+1;
            end
        end
    end
end

```

```

end;
%===== lookfor summary Q-gas on all trace =====
Qgastotal(:, ntrc)=v_qg';
%===== lookfor summary Q-liquid On all trace =====
Qliquidtotal(:, ntrc)=v_ql';
%===== trend Q-gas (background Q-gas) =====
trend_fit_gas=pol yfi t(v_tl, abs(v_qg), 1);
trend_val_gas=pol yval (trend_fit_gas, v_tl);
%===== corecti on Q-gas wi th Q-gasbackground (Q-gas Fi nal) =====
y_gas=(abs(v_qg)-trend_val_gas);
z_gas=detrend(y_gas, 'linear');
%===== trend Q-liquid =====
trend_fit_liquid=pol yfi t(v_tl, abs(v_ql), 1);
trend_val_liquid=pol yval (trend_fit_liquid, v_tl);
y_liquid=(abs(v_ql)-trend_val_liquid);
z_liquid= detrend(y_liquid, 'linear');
%===== gas =====
Qgasbackgroud(:, ntrc)=trend_val_gas';
Qgasfi nal(:, ntrc)=z_gas';
%===== liquid =====
Qliquidbackgroud(:, ntrc)=trend_val_liquid';
Qliquidfi nal(:, ntrc)=z_liquid';
disp(['fini sh proses trace number = ', num2str(ntrc)]);
end;
%===== plot Seis =====
figure(1);
plotseis(rseis_all, time_target);
title('Plot Data Seis mi c');
axis([min(trc_target) max(trc_target) -inf inf]);
%===== plot Q-gas =====
figure(2);
pcolor(trc_target, time_target, Qgasfi nal);
title('Q-gas fi nal');
set(gca, 'Ydi r', 'reverse');
colorbar('SouthOutsi de');
colormap(jet);
shadi ng interp;
%===== plot Q-liquid =====
figure(3);
pcolor(trc_target, time_target, Qliquidfi nal);
title('Q-liquid fi nal');
set(gca, 'Ydi r', 'reverse');
colorbar('SouthOutsi de');
colormap(jet);
shadi ng interp;

```

```

%===== listing program calculate Q-liquid dan Q-gas Data 3 =====
%===== copyright Cakra nurjaya =====
%===== 2011 =====
close all
clear all;
clc;
data_seggy=read_seggy_file('Data_3d_Lapangan_X');
data=data_seggy.traces;
sampint=data_seggy.step/1000;
LL=(max(data_seggy.headers(6,:))-min(data_seggy.headers(6,:)))+1;
XL=(max(data_seggy.headers(7,:))-min(data_seggy.headers(7,:)))+1;
%===== resample Time =====
for ntrc=1:size(data,2);
    rseis = interp(data(:,ntrc),2);
    rseis_all(:,ntrc) = rseis;
%===== Analisis Spektrum =====
%===== select operator =====
%===== (1) calculate STFT =====
    [rcstft,tstft,fstft] = funcSTFT(rseis,sampint);
    rmodulus=(abs(rcstft))';
    f_spec=fstft;
    i=1;
    v_tg=[]; v_qg=[];
    v_tl=[]; v_ql=[];
    for time_n=1:size(rseis,1);
%===== (2) calculate CWT =====
        [rccwt,fcwt] = funcCWT(rseis,sampint);
        rmodulus=(abs(rccwt))';
        f_spec=fcwt;
        i=1;
        v_tg=[]; v_qg=[];
        v_tl=[]; v_ql=[];
        for time_n=1:size(rseis,1);
%===== (3) calculate S-transform =====
            [rcst,fst] = funcST(rseis,sampint);
            rmodulus=(abs(rcst))';
            f_spec=fst;
            i=1;
            v_tg=[]; v_qg=[];
            v_tl=[]; v_ql=[];
            for time_n=1:size(rseis,1);
%===== Smoothing Data =====
                sm_spec=smooth(abs(rmodulus(time_n,:)),0.1,'rloess'); sm_spec=sm_spec';
%===== calculate Q-gas =====
                [v_Qgas] = funcQgas(f_spec,sm_spec);
                Qgas(i,ntrc) = v_Qgas;
%===== calculate Q-Liquid =====
                [v_Qliquid] = funcQliquid(f_spec,sm_spec);
                Qliquid(i,ntrc) = v_Qliquid;
                disp(['Proses trace ke = ',num2str(ntrc),' : time ke = ',num2str(i)]);
                v_tg=[v_tg time_n]; v_qg=[v_qg v_Qgas];
                v_tl=[v_tl time_n]; v_ql=[v_ql v_Qliquid];
                i=i+1;
            end;
%===== lookfor summary Q-gas on all trace =====
            Qgastotal(:,ntrc)=v_qg';
%===== lookfor summary Q-liquid on all trace =====
            Qliquidtotal(:,ntrc)=v_ql';
%===== trend Q-gas (background Q-gas) =====
            trend_fit_gas=polynomial(v_tl,abs(v_qg),1);
            trend_val_gas=polyval(trend_fit_gas,v_tl);
%===== corection Q-gas dgn Q-gasbackground (Q-gas Final) =====
            y_gas=(abs(v_qg)-trend_val_gas);
            z_gas=detrend(y_gas,'linear');

```

```

%===== trend Q-liquid =====
trend_fit_liquid=polynomial(v_tl, abs(v_ql), 1);
trend_val_liquid=polynomial(trend_fit_liquid, v_tl);
y_liquid=(abs(v_ql)-trend_val_liquid);
z_liquid = detrend(y_liquid, 'linear');
%===== Q-gas =====
Qgasbackground(:, ntrc)=trend_val_gas';
Qgasfinal(:, ntrc)=z_gas';
%===== Q-liquid =====
Qliquidbackground(:, ntrc)=trend_val_liquid';
Qliquidfinal(:, ntrc)=z_liquid';
disp(['finish proses trace number = ', num2str(ntrc)]);
end;
%===== plotting data 3d =====
x_sllice=fix(XL/2);
y_sllice=fix(IL/2);
z_sllice=fix(size(data, 1));
lenT=fix(size(rseis_all, 1));
data3d = reshape(rseis_all, [lenT XL IL]);
[z, x, y] = slice(data3d);
[vx, vy, vz] = meshgrid(1:x, 1:y, 1:z);
for m=1:z
    for j=1:x
        for k=1:y
            d3(k, j, m)=data3d(m, j, k);
        end;
    end;
end;
figure(1);
slice(vx, vy, vz, d3, [1 x], [1 y], [1 z]);
title('Data 3D');
xlabel('Inline');
ylabel('Crossline');
zlabel('Time');
set(gca, 'ZDir', 'reverse');
colorbar('vert');
shading interp;
rotate3d on;
figure(2);
slice(vx, vy, vz, d3, x_sllice, y_sllice, z_sllice);
title('Data 3D Slicing');
xlabel('Inline');
ylabel('Crossline');
zlabel('Time');
set(gca, 'ZDir', 'reverse');
colorbar('vert');
shading interp;
rotate3d on;
%===== plot Qgas =====
lenT=fix(size(Qgasfinal, 1));
data3d = reshape(Qgasfinal, [lenT XL IL]);
[z, x, y] = slice(data3d);
[vx, vy, vz] = meshgrid(1:x, 1:y, 1:z);
for m=1:z
    for j=1:x
        for k=1:y
            d3(k, j, m)=data3d(m, j, k);
        end;
    end;
end;
figure(3);
slice(vx, vy, vz, d3, [1 x], [1 y], [1 z]);
title('Q-gas final');
xlabel('Inline');
ylabel('Crossline');

```

```

zlabel('Time');
set(gca,'ZDir','reverse')
colorbar('vert');
shading interp;
rotate3d on;
figure(4);
slice(vx,vy,vz,d3,x_slice,y_slice,z_slice);
title('Q-gas final Slicing');
xlabel('Inline');
ylabel('Crossline');
zlabel('Time');
set(gca,'ZDir','reverse')
colorbar('vert');
shading interp;
rotate3d on;
%===== plot Q-liquid =====
lenT=size(Qliquidfinal,1);
data3d = reshape(Qliquidfinal,[lenT XL IL]);
[z,x,y] = size(data3d);
[vx,vy,vz] = meshgrid(1:x,1:y,1:z);
for m=1:z
    for j=1:x
        for k=1:y
            d3(k,j,m)=data3d(m,j,k);
        end;
    end;
end;
figure(5);
slice(vx,vy,vz,d3,[1 x],[1 y],[1 z]);
title('Q-liquid final');
xlabel('Inline');
ylabel('Crossline');
zlabel('Time');
set(gca,'ZDir','reverse')
colorbar('vert');
shading interp;
rotate3d on;
figure(6);
slice(vx,vy,vz,d3,x_slice,y_slice,z_slice);
title('Q-liquid final Slicing');
xlabel('Inline');
ylabel('Crossline');
zlabel('Time');
set(gca,'ZDir','reverse')
colorbar('vert');
shading interp;
rotate3d on;

```

```

%===== Listing Function =====
%===== copyright Cakra nurjaya =====
%===== 2010 =====

%===== (1) Function calculate Q-gas =====
function [v_Qgas] = funcQgas(v_frekw, v_smoothed)
[f_max, f_dom] = max(v_smoothed);
A=v_smoothed(1: f_dom);
F=v_frekw(1: f_dom);
rA=find(A~=0);
rF=find(F~=0);
fi_xl dx=intersect(rA', rF', 'rows');
A=A(fi_xl dx);
F=F(fi_xl dx);
if length(fi_xl dx)~=0
    cFitt=pol yfit(F, log(A), 1);
    v_Qgas=cFitt(1);
else
    v_Qgas=0;
end;

%===== (2) Function calculate Q-Liquid =====
function [v_Qliquid] = funcQliquid(v_frekw, v_smoothed)
[f_max, f_dom] = max(v_smoothed);
A=v_smoothed(f_dom: length(v_smoothed));
F=v_frekw(f_dom: length(v_smoothed));
rA=find(A~=0);
rF=find(F~=0);
fi_xl dx=intersect(rA', rF', 'rows');
A=A(fi_xl dx);
F=F(fi_xl dx);
if length(fi_xl dx)~=0
    cFitt=pol yfit(log(F), log(A), 1);
    v_Qliquid=cFitt(1);
else
    v_Qliquid=0;
end;

%===== (3) Function STFT =====
function [v_stft, f_stft, t_stft] = funcSTFT(rseis, sampint)
N=length(rseis);
maxfreq = fix(N/2);
f=ceil(maxfreq/(sampint*N));
t=1:N; frek=2*f;
hlength=floor(N/32);
hlength=hlength+1-rem(hlength, 2);
h=ttfbwindow(hlength, 'Gauss');
[v_stft, f_stft, t_stft]=tfrstft(rseis, t, frek, h);
for idx=1: f;
    tmp1(idx, :) = v_stft(idx, :);
    tmp2(idx, :) = t_stft(idx, :);
end;
v_stft=tmp1;
t_stft=tmp2;

%===== (4) Function CWT =====
function [v_cwt, v_frekw] = funcCWT(rseis, sampl ingrate)
a_maxi = 6;
a=(1: 1: (2^a_maxi));
v_frekw=scal 2frq(a, 'cmor1-1', sampl ingrate*2);
v_cwt=cwt(rseis, a, 'cmor1-1');

%===== (5) Function S-Transform =====
function [st, f] = funcST(timeseries, sampl ingrate)
factor = 1;
freqsampl ingrate=1;
mi nfreq = 0;
maxfreq = fix(length(timeseries)/2);
spe_nel ements =ceil((maxfreq - mi nfreq+1)/freqsampl ingrate) ;

```

```

f=(minfreq+[0: spe_nel ements-1]*freqsampl ingrate)/(sampl ingrate*length(ti me
series));
n=length(ti meseri es);
vector_fft=fft(ti meseri es);
vector_fft=[vector_fft, vector_fft];
st=zeros(ceil ((maxfreq - mi nfreq+1)/freqsampl ingrate), n);
if mi nfreq == 0
    st(1, :) = mean(ti meseri es)*(1&[1: 1: n]);
else
    st(1, :)=i fft(vector_fft(mi nfreq+1: mi nfreq+n). *g_wi ndow(n, mi nfreq, factor));
end
for p=freqsampl ingrate: freqsampl ingrate: (maxfreq-mi nfreq)
    st(p/freqsampl ingrate+1, :)=i fft(vector_fft(mi nfreq+p+1: mi nfreq+p+n). *g_wi ndow(n, mi
nfreq+p, factor));
end

```

