



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS DEKOMPOSISI SPEKTRAL UNTUK  
IDENTIFIKASI PENYEBARAN LATERAL LAPISAN  
TIPIS BATUBARA MENGGUNAKAN METODE  
*CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM (CWT)***

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
Magister Sains**

**TESIS**

**KEMALA PERGINA**

**0906576523**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM PASCASARJANA FISIKA  
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOAR  
JAKARTA  
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 : **Kemala Pergina**

NPM : **0906576523**

Tanda Tangan :



Tanggal : **Juli 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

JUDUL : **ANALISIS DEKOMPOSISI SPEKTRAL UNTUK IDENTIFIKASI PENYEBARAN LATERAL LAPISAN TIPIS BATUBARA MENGGUNAKAN METODE *CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM (CWT)***

NAMA : Kemala Pergina

NPM : 0906576523

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

### DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang : Dr. rer. Nat. Abdul Harris (  )

Pembimbing : Prof. Dr. Suprayitno Munadi (  )

Penguji : Dr. rer. Nat. Abdul Harris (  )

Penguji : Dr. Waluyo (  )

Penguji : Dr. Ricky Adi Wibowo (  )

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 09 Juli 2011

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillahirobbil'alamin atas selesainya penulisan tesis ini. Tiada sesuatu yang dapat terjadi tanpa campur tangan-Nya. Karena itu tidak pernah saya berhenti bersyukur kepada Allah SWT yang telah memudahkan segala urusan selama proses pembuatan tesis ini. Saya pun tidak lupa untuk mengucapkan terima kasih kepada :

1. Alm. Papa, Mama, Kakak Sisi, Babang Eki, anaku Khai, atas segala bentuk support, doa yang tak henti-henti telah diberikan selama penulis mengerjakan tesis.
2. Manda dan Anti, Keluarga Buaran, Uncu, Pak Wing, Dek Liz, Abang Anzha, Meo, beserta seluruh keluarga Yunus dan Abbas, atas seluruh dukungan dan doa yang telah diberikan.
3. Bapak Prof. Suprajitno yang telah meluangkan banyak waktu dan ilmu, serta kesabaran selama penulis melakukan bimbingan.
4. Team Lemigas, Rosi dan khususnya Mas Humbang yang tanpa henti-henti membagikan ilmunya dan selalu sabar menghadapi pertanyaan-pertanyaan dari penulis selama pengerjaan tesis ini.
5. Para penguji Pak Harris, Pak Ricky dan Pak Waluyo, yang memberikan masukan-masukan sebagai penambah ilmu yang sangat membantu penulis untuk terus berkembang.
6. Teman-teman seperjuangan S2 "Sastra Bumi" Geofisika Reservoir UI angkatan 2009, atas semua bentuk dukungan dan perjuangan bersama menghadapi 2 tahun yang seru ini.
7. My besties, Triha, Tara, Bebeq, yang selalu memberi dukungan kepada penulis dalam menjalani perkuliahan dan pengerjaan tesis ini.
8. Bayu Adiat, yang selalu setia dan sabar dalam mendampingi penulis selama mengerjakan tesis.
9. Teman-teman Geotech System Indonesia, atas dukungan dan doanya kepada penulis ketika sedang mengerjakan tesis ini. Terutama Pak Bos Alam, atas pengertian dan dukungannya.

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Kemala Pergina  
NPM : 0906576523  
Program Studi : Geofisika Reservoar  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Tesis

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

### **ANALISIS DEKOMPOSISI SPEKTRAL UNTUK IDENTIFIKASI PENYEBARAN LATERAL LAPISAN TIPIS BATUBARA MENGUNAKAN METODE *CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM* (*CWT*)**

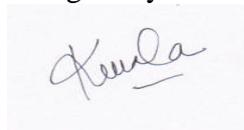
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti  
Noneklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan,  
mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database),  
merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya  
selama tetap mencantumkan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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 09 Juli 2011

Yang menyatakan



( Kemala Pergina )

## Abstrak

Nama : Kemala Pergina  
Program studi : Geofisika Reservoar  
Judul : Analisis Dekomposisi Spektral Untuk Identifikasi  
Penyebaran Lateral Lapisan Tipis Batubara Menggunakan  
Metode *Continuous Wavelet Transform (CWT)*

Dekomposisi Spektral adalah metode yang menghasilkan ekspresi dari sebuah tras seismik pada domain waktu-frekuensi yang digunakan untuk menunjukkan broadband dari data seismik menjadi komponen frekuensinya. Analisis dari komponen spektra individu frekuensi ini dapat menunjukkan informasi geologi yang dibutuhkan lebih baik apabila dibandingkan dengan analisis data broadband secara konvensional. Selain itu dapat juga digunakan untuk mengestimasi lapisan tipis batubara yang memiliki *temporal thickness* lebih kecil dari  $\frac{1}{4} \lambda$ . Ketebalan lapisan tipis batubara diwujudkan sebagai uraian dari rekaman spektrumnya. Metode yang digunakan dalam pengolahan data dekomposisi spektral ini adalah metode *Continuous Wavelet Transform (CWT)* yang menghasilkan domain waktu-frekuensi yang dapat menghasilkan resolusi gambaran seismik yang lebih baik dalam domain waktu-frekuensi.

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah 17 lintasan data seismik 2D dan 2 data sumur yang memiliki data checkshot. Hasil akhir yang diperoleh adalah peta estimasi penyebaran lateral lapisan tipis batubara dari lapangan “B” pada Cekungan Sumatra Selatan dengan menggunakan Dekomposisi Spektral dengan metode CWT. Pada hasil akhir diperoleh lapisan batubara yang potensial di bagian tengah dan selatan daerah penelitian.

**Kata kunci** : Dekomposisi Spektral, Continous Wavelet Transform (CWT), Lapisan Tipis Batubara.

## *Abstract*

Name : Kemala Pergina  
Study Program : Geophysics Reservoir  
Title : Spectral Decomposition Analysis to Identify Lateral  
Distribution of Coal Seam Using Continuous Wavelet  
Transform (CWT)

*Spectral Decomposition is one of methods that decompose seismic trace in to time-frequency domain to demonstrate the seismic broadband data become its time-frequency. Time-frequency analysis and its component showing geologic features better than another conventional broadband data analysis. Spectral Decomposition is also used for estimating of coal seam that has temporal thickness less than  $\frac{1}{4} \lambda$ . The thickness coal seam is manifested as its spectrum. The spectral decomposition algorithm that is used is Continuous Wavelet Transform (CWT) in time-frequency domain that yielding better seismic resolution in time-frekuensi domain.*

*This study used 17 lines of 2D seismic data and 2 well data that each has a checkshot data. This work produced map of lateral distribution of coal seam at the field "B" in South Sumatra Basin. The result show that the most potential coal seam is from the centre and north from study area.*

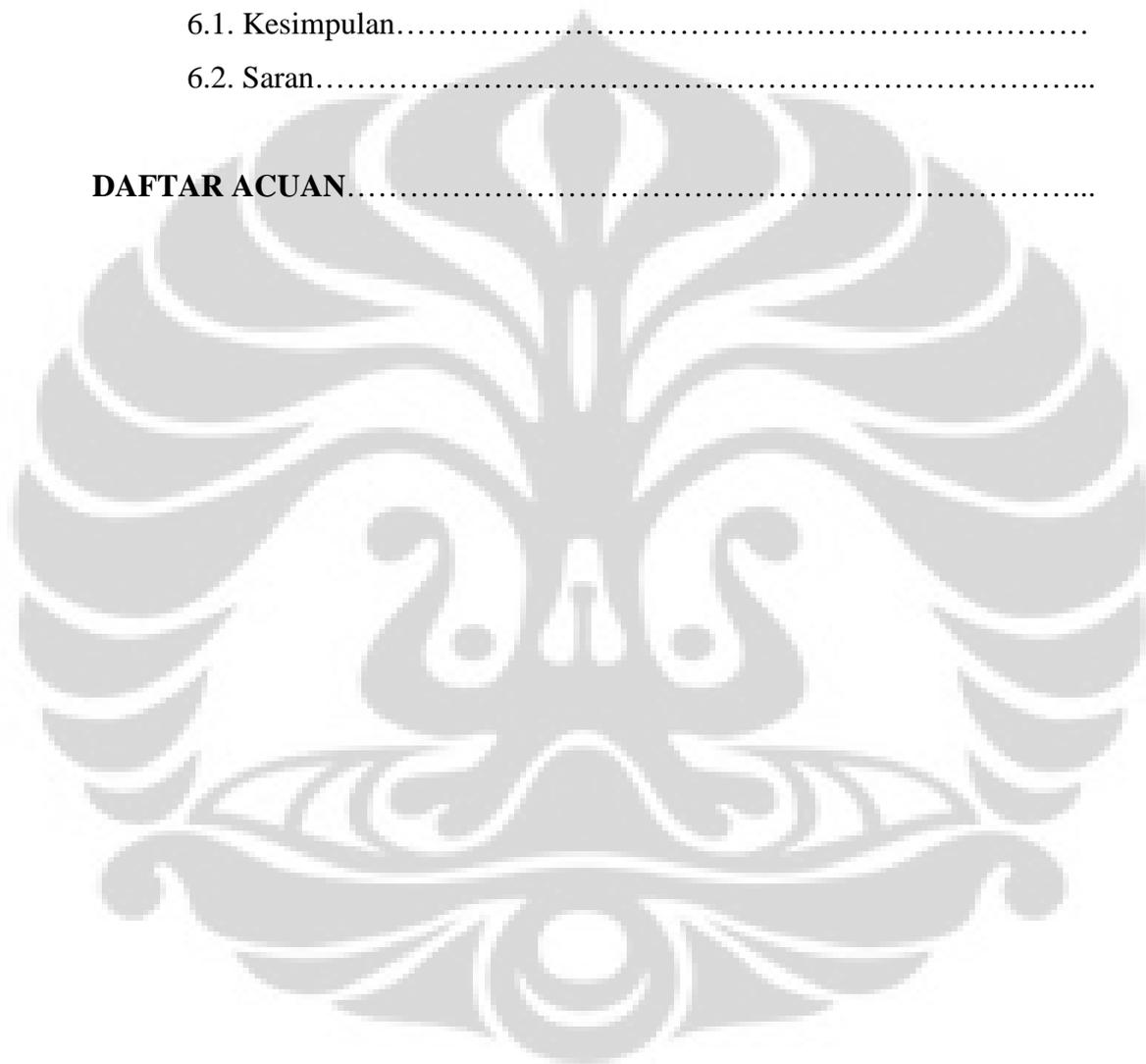
**Key words:** *Spectral Decomposition, Continuous Wavelet Transform (CWT), Coal Seam.*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN ORISINALITAS</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Pembatasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
<b>BAB 2 GEOLOGI REGIONAL</b> .....	6
2.1. Geologi Regional Cekungan Sumatra Selatan.....	6
2.1.1. Stratigrafi Regional Cekungan Sumatra Utara.....	6
2.1.2. Kerangka Tektonik Cekungan Sumatra Utara.....	10
2.2. Studi Geologi Daerah Penelitian.....	11
2.2.1. Stratigrafi Daerah Penelitian.....	11
2.2.2. Struktur Daerah Penelitian.....	14
2.3. Definisi Dan Konsep Dasar Endapan Batubara.....	17
2.4. Batubara di Daerah Penelitian.....	18

<b>BAB 3 TEORI DASAR DEKOMPOSISI SPEKTRAL</b> .....	20
3.1. Metode <i>Spectral Decomposition</i> .....	24
3.1.1. Short Time Fourier Transform (STFT).....	24
3.1.2. Hilbert Huang Transform-Empirical Mode Decomposition (HHT-EMD).....	25
3.1.3. Matching Pursuit Decomposition (MPD).....	26
3.2. Continuous Wavelet Transform (CWT).....	26
3.2.1. Skala ( $s$ ).....	30
3.2.2. Translasi ( $\tau$ ).....	31
3.2.3. Mother Wavelet (Kompleks Morlet Wavelet).....	32
3.3. Estimasi ketebalan lapisan batu bara.....	33
<b>BAB 4 PENGOLAHAN DATA DAN INTERPRETASI</b> .....	38
4.1. Data.....	38
4.1.1. Data Seismik.....	38
4.1.2. Data Sumur.....	39
4.2. Pengolahan Data.....	40
4.2.1. Data Seismik.....	40
4.2.1.1. Interpretasi Horison.....	40
4.2.2. Data Sumur.....	41
4.2.2.1. Korelasi Data Sumur.....	41
4.2.2.2. Menentukan Objek Data.....	42
4.2.2.3. Menentukan <i>Time Depth</i> Data.....	43
4.2.3. Pengikatan Data Seismik Terhadap Sumur.....	44
4.3. Pengolahan Data Dekomposisi Spektral.....	45
4.3.1. Pengolahan Data Seismik.....	45
4.3.2. Frekuensi tuning.....	47
4.3.3. Estimasi Ketebalan Lapisan Batubara.....	49
<b>BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	51
5.1. Analisis Data.....	51
5.1.1. Analisis Hasil Interpretasi Data Seismik.....	51

5.1.2. Analisis Hasil Interpretasi Data Sumur.....	53
5.1.3. Analisis Estimasi Ketebalan Lapisan Batubara.....	53
5.2. Hasil Pemetaan Lapisan Batubara Pada Lapangan B.....	56
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>62</b>
6.1. Kesimpulan.....	62
6.2. Saran.....	64
<b>DAFTAR ACUAN.....</b>	<b>65</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar. 1.1</b>	Diagram alir metodologi penelitian .....	4
<b>Gambar. 2.1</b>	Kolom Stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan .....	9
<b>Gambar. 2.2</b>	Peta Fisiografi Sumatra .....	11
<b>Gambar. 2.3</b>	Kolom Stratigrafi Cekungan Palembang Selatan .....	15
<b>Gambar. 2.4</b>	Skema pembentukan batubara .....	18
<b>Gambar. 3.1</b>	Efek frekuensi tuning pada peta permukaan .....	21
<b>Gambar. 3.2</b>	Dekomposisi Spektral pada model membaji .....	23
<b>Gambar. 3.3</b>	Spektral Amplitudo .....	24
<b>Gambar. 3.4</b>	Skema diagram hubungan ketidakpastian dengan waktu-frekuensi dalam STFT .....	26
<b>Gambar. 3.5</b>	Skema diagram hubungan ketidakpastian dengan waktu-frekuensi dalam CWT... ..	26
<b>Gambar. 3.6</b>	Skala wavelet .....	31
<b>Gambar. 3.7</b>	Translasi Wavelet .....	31
<b>Gambar. 3.8</b>	Morlet Wavelet dalam fungsi waktu dan frekuensi .....	33
<b>Gambar. 3.9</b>	Model geologi (pembajian) yang berupa pelapisan pasir yang ketebalannya menipis ke arah kiri.....	34
<b>Gambar. 3.10</b>	Tras seismik hasil konvolusi deret koefisien refleksi.....	35
<b>Gambar. 3.11</b>	Tras seismik menunjukkan tebal lapisan sebesar $\lambda/4$ .....	35
<b>Gambar. 3.12</b>	<i>Thin-Bed Tuning with Frequency Domain</i> .....	36
<b>Gambar. 3.13</b>	<i>Thin-Bed Tuning with Time Domain</i> .....	37
<b>Gambar. 4.1</b>	17 Lintasan seismik 2D pada daerah penelitian .....	38
<b>Gambar. 4.2</b>	Rekaman Log Gamma Ray .....	39
<b>Gambar. 4.3</b>	<i>Composite</i> lintasan seismik 2D.....	40
<b>Gambar. 4.4</b>	Korelasi sumur mawar dan sumur melati .....	41
<b>Gambar. 4.5</b>	Lapisan batubara sebagai objek penelitian .....	42
<b>Gambar. 4.6</b>	Kurva data checkshot untuk sumur Mawar .....	43
<b>Gambar. 4.7</b>	Proses shifting dalam well to tie seismik .....	44
<b>Gambar. 4.8</b>	Data seismik 2D lintasan L7 .....	46

<b>Gambar. 4.9</b>	Lintasan L7 hasil proses dekomposisi spektral (CWT) pada OpenDtect.....	47
<b>Gambar. 4.10</b>	Lintasan L7 hasil proses spektral dekomposisi (CWT) pada GGX .....	48
<b>Gambar. 4.11</b>	Spektrum Amplitudo pada L7.....	48
<b>Gambar. 5.1</b>	Hasil interpretasi pada seismik 2D lintasan L9.....	52
<b>Gambar. 5.2</b>	Hasil analisis dekomposisi spektral seismik 2D.....	55
<b>Gambar. 5.3</b>	Peta kontur waktu ( <i>time</i> ) struktur permukaan batubara di lapangan.....	56
<b>Gambar. 5.4</b>	Peta kontur kedalaman ( <i>depth</i> ) struktur permukaan batubara di lapangan B.....	57
<b>Gambar. 5.5</b>	Lingkungan pengendapan pembentukan batubara.....	58
<b>Gambar. 5.6</b>	Model lingkungan pengendapan sistem sungai meander .....	59
<b>Gambar. 5.7</b>	Peta estimasi ketebalan lapisan batubara di lapangan B.....	60

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 4.1** Hasil interpretasi horizon batubara pada tuning frekuensi dari data seismik yang telah dilakukan dekomposisi spektral (CWT)
- Lampiran 5.1** Hasil interpretasi pada data seismik 2D



## DAFTAR TABEL

**Tabel. 4.1** Estimasi ketebalan lapisan pada setiap line hasil interpretasi... 50



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar belakang

Dekomposisi Spektral biasa digunakan dalam pengolahan data seismik lanjut, seperti *digital filtering*, *spectral analysis* dan *signal analysis*. Akan tetapi aplikasinya dalam interpretasi data seismik baru dilakukan pada beberapa tahun terakhir (Johann dan Ragangin, 2003 ; Patyka et al., 1998; Bahorich et al., 2001). Metode yang pertama kali digunakan dalam Dekomposisi Spektral adalah *Short Time Fourier Transform (STFT)* (Cohen, 1995). Akan tetapi metode ini memiliki kelemahan dalam resolusi temporal dalam *fixed window*. Kemudian metode ini digantikan dengan metode Transformasi Wavelet yang dapat memproyeksikan sinyal dalam skala waktu. Metode ini juga memiliki kekurangan, yaitu memiliki keluaran dalam domain waktu, sehingga harus merubahnya kembali dalam domain frekuensi. S-transform (Stockwell, 1996) menggabungkan elemen-elemen dari Short Time Fourier Transform dan Wavelet Transform dengan cara merubah bentuk S-transform 'wavelet' (Pinnegar and Manshina, 2003). Walaupun S-transform dapat menghasilkan berbagai analisis resolusi dan informasi frekuensi, akan tetapi Gaussian Window tidak dapat digunakan untuk keseluruhan sinyal. Metode yang lain adalah *Matching Pursuit Decomposition (MPD)* (Mallat and Zhang, 1993). Metode ini dapat menghasilkan resolusi yang lebih baik dibandingkan dengan metode-metode sebelumnya, namun dengan menggunakan fungsi dan rumus yang lebih rumit.

Dari metode-metode yang digunakan dalam Dekomposisi Spektral ini, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada penelitian ini akan digunakan metode *Continuous Wavelet Transform (CWT)* untuk mengidentifikasi lapisan tipis pada batubara serta penyebarannya secara lateral.

## 1.2 Permasalahan

Dalam pengolahan data seismik, hasil yang diinginkan adalah kualitas data yang baik, sehingga dapat menginterpretasikan gambaran lapisan bawah permukaan menyerupai keadaan sebenarnya. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat mengindikasikan adanya lapisan-lapisan reservoir yang potensial.

Hasil pengolahan data 2D seismik pada lapangan “B” Cekungan Sumatra Selatan secara konvensional, belum menunjukkan resolusi yang baik untuk dapat menginterpretasikan lapisan tipis batubara serta penyebarannya secara lateral.

Dekomposisi Spektral dapat mengekstrak dengan detail susunan stratigrafik yang dapat membantu memperbaiki interpretasi geologi seismik. Konsep dari Dekomposisi Spektral adalah sebuah refleksi dari lapisan tipis memiliki ekspresi karakteristik pada domain frekuensi yang mengindikasikan ketebalan lapisan temporal.

Dengan kata lain, semakin tinggi frekuensi menggambarkan semakin tipis lapisan, dan semakin rendah frekuensi menggambarkan semakin tebal lapisannya.

## 1.3 Tujuan penelitian

Penelitian ini dilakukan karena permasalahan yang telah disebutkan diatas. Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat peta kontur ketebalan batubara dengan cara menginterpretasikan horison batubara dan menghitung estimasi ketebalan lapisan batubara dengan menggunakan dekomposisi spektral dengan metode Continuous Wavelet Transform (CWT).

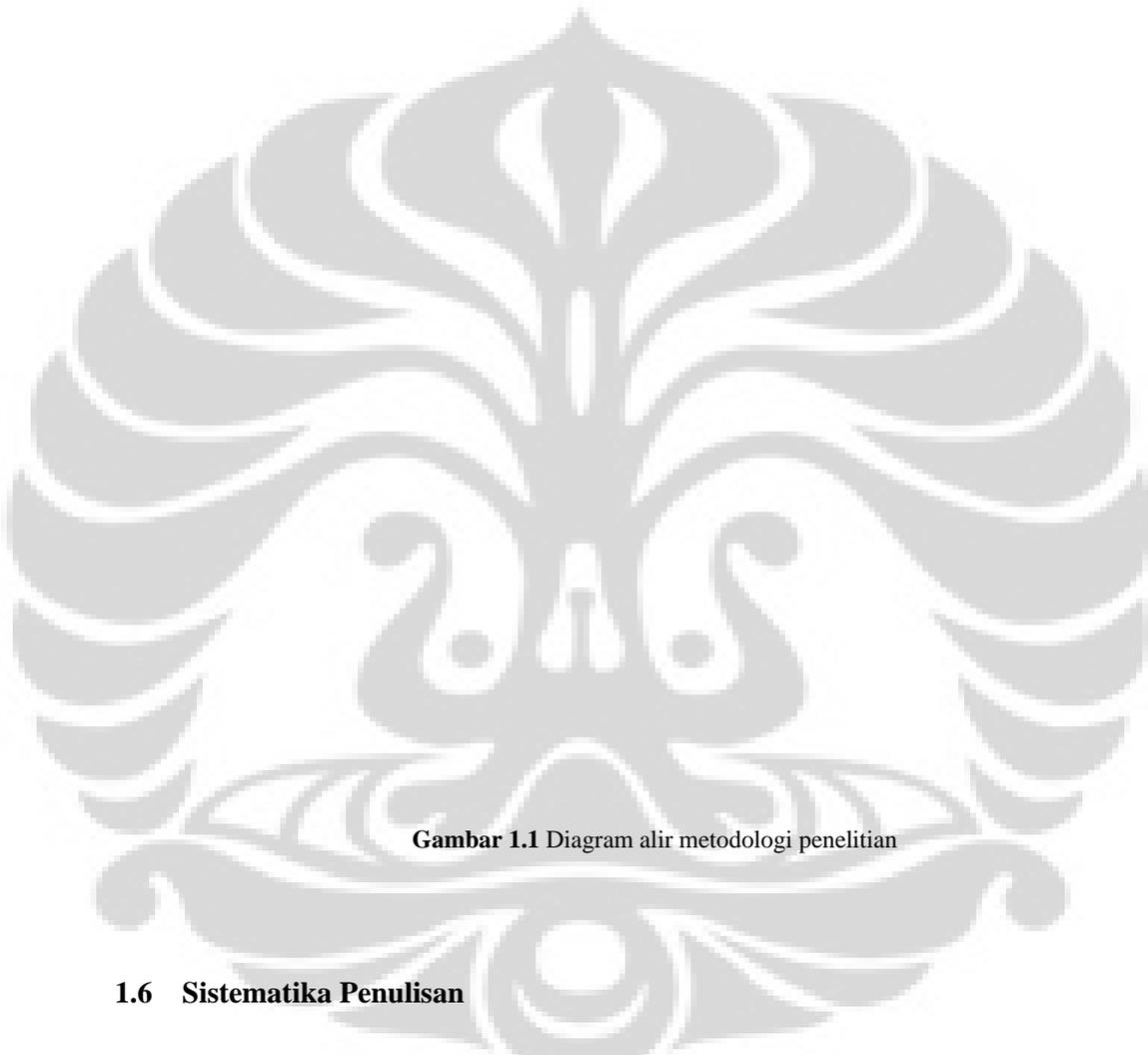
#### **1.4 Hasil yang diharapkan**

Hasil penelitian yang diharapkan adalah :

1. Resolusi gambaran seismik yang lebih baik pada penampang seismik untuk identifikasi lapisan tipis.
2. Adanya perubahan yang signifikan pada gambaran penampang seismik dalam penentuan lapisan tipis pada batubara.
3. Pemetaan penyebaran lapisan tipis batubara secara lateral.

#### **1.5 Metodologi**

Penelitian ini menggunakan 2 data sumur, yaitu sumur mawar dan sumur melati. Dan memiliki 17 lintasan data Seismik 2D yang terdapat pada lapangan B. Data-data sumur tersebut kemudian dilakukan pengikatan dengan data seismik menggunakan data checkshot yang diperoleh dari data sumur tersebut. Interpretasi horison meliputi lapisan batubara yang berada pada formasi Muara Enim. Data-data yang telah disebutkan di atas merupakan data input untuk melakukan proses pada dekomposisi spektral untuk interpretasi pada penelitian ini. Tahap pengerjaan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dijelaskan lebih rinci pada diagram yang terdapat pada Gambar 1.1. berikut ini :



**Gambar 1.1** Diagram alir metodologi penelitian

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan tesis ini dibagi dalam beberapa urutan materi pembahasan yang saling berkaitan dan dirangkum dalam 6 Bab.

Pembahasan yang pertama adalah pendahuluan yang terdiri dari latar belakang masalah, maksud dan tujuan penelitian, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan. Pembahasan ini terangkum dalam Bab 1.

Pembahasan yang kedua adalah pembahasan mengenai geologi regional pada daerah penelitian, yaitu pada Cekungan Sumatra Selatan. Pembahasan ini merangkum struktur dan stratigrafi regional Cekungan Sumatra Selatan, geologi dari daerah penelitian serta definisi dan konsep dasar batubara yang dirangkum dalam Bab 2.

Pembahasan yang ketiga adalah pembahasan yang mencakup teori dasar dekomposisi spektral berupa konsep dasar dekomposisi spektral, Continuous Wavelet Transform, dan Estimasi ketebalan lapisan batubara, yang kemudian dirangkum dalam Bab 3.

Pembahasan yang ke empat adalah pengolahan data dan interpretasi. Pembahasan ini membahas data dan pengolahannya, yaitu berupa data seismik, data sumur, Interpretasi horison, pengikatan data sumur, korelasi data sumur, penentuan Time-Depth data, dan pengolahan data spektral dekomposisi, yang semuanya terangkum pada Bab 4.

Pembahasan yang kelima adalah Analisis dan pembahasan dari pengolahan data pada Bab 4, yang kemudian terangkum dalam Bab 5.

Pembahasan yang keenam adalah kesimpulan dan saran. Pada bab ini menjelaskan mengenai beberapa hal yang merupakan ringkasan dari keseluruhan penelitian beserta saran – saran yang diharapkan dapat menjadi masukan bagi kelanjutan dari penelitian ini. Keseluruhan kesimpulan dan saran ini terangkum dalam dalam Bab 6.

## BAB 2

### GEOLOGI REGIONAL

#### 2.1. Geologi Regional Cekungan Sumatra Selatan

Daerah penelitian ini merupakan bagian dari Cekungan Sumatera Selatan dimana cekungan ini terletak diantara Paparan Sunda pada sebelah timur laut dan jalur tektonik Bukit Barisan di sebelah baratdaya. Sedangkan batas cekungan disebelah barat laut dan barat adalah *Tigapuluh High*, dan sebelah tenggara maupun timur dibatasi oleh daerah *Lampung High*.

Cekungan Sumatera Selatan merupakan cekungan busur belakang (*back arc basin*) yang terbentuk akibat interaksi antara Lempeng Hindia-Australia dengan Lempeng Mikro Sunda. Cekungan ini dibagi menjadi 3 sub-cekungan, yaitu Sub-Cekungan Jambi atau Palembang Utara yang menjorok ke selatan, Sub-Cekungan Palembang Tengah, Sub-Cekungan Palembang Selatan atau disebut juga Kompleks Palembang Selatan.

##### 2.1.1. Stratigrafi Regional Cekungan Sumatra Selatan

Kerangka stratigrafi daerah cekungan Sumatera Selatan pada umumnya dikenal satu daur besar (*megacycle*) terdiri dari fase transgresi yang diikuti oleh fase regresi. Formasi Lahat yang terbentuk sebelum transgresi utama pada umumnya merupakan sedimen non marin. Formasi yang terbentuk pada fase transgresi adalah : Formasi Talang Akar, Baturaja, dan Gumai, Sedangkan yang terbentuk pada fase regresi adalah Formasi Air Benakat, Muara Enim dan Kasai.

Stratigrafi Regional Cekungan Sumatera Selatan menurut Spyrut 1956, dalam studi Pulungono 1986 yang dimodifikasi oleh De Blow, 1969; Coster, 1974 dan Vail, dkk, 1986 dalam studi sitompul, dkk, 1992, secara umum tersusun dari satuan yang tertua ke satuan termuda (Gambar 2.1), sebagai berikut:

1. Kelompok batuan Pra Tersier

Menurut Gafoer dan Pardede ( 1998 ), kelompok batuan ini merupakan kelompok Bancuh ( *mélange* ) yang berasal dari tumbukan Lempeng Samudra Hindia dan Lempeng Asia Tenggara, yang terbagi atas:

- Satuan malihan, terdiri dari philit, sekis, marmer dan kwarzit
- Satuan batuan gunung api terdiri dari tufa litik
- Satuan batuan granitoid yang merupakan batuan asal kontinen
- Satuan batuan ofiolit yang merupakan batuan asal kerak samudra, terdiri dari basalt, metabasalt, rijang, batulempung dan batu lumpur gampingan.

2. Formasi Lahat/Lemat

Formasi Lahat terdiri atas dua anggota batuan, klastik dan klastik halus. Ketebalan formasi ini berkisar 200 – 760 m, dengan umur Paleosen hingga Oligosen bawah dengan lingkungan pengendapan darat –transisi.

3. Formasi Talang Akar

Formasi Talang Akar diendapkan di atas Formasi Lahat secara selaras, tetapi secara setempat dijumpai pula hubungan yang tidak selaras. Pada kondisi Formasi Lahat tidak berkembang, Formasi Talang Akar diendapkan langsung secara tidak selaras di atas batuan dasar Pra-Tersier. Bagian bawah dari formasi ini mempunyai tipe sedimen fluvial-deltaik dan makin keatas berubah menjadi kondisi endapan laut. Bagian bawah umumnya terdiri dari batu pasir kasar, sangat kasar selang seling dengan serpih dan batubara yang disebut *Gritsand Member*, dengan ketebalan 200 –550m. Bagian atas umumnya terdiri dari batu pasir sedang halus selang seling dengan serpih dan batubara, yang disebut *Transitional Member*, dengan ketebalan sekitar 300m, formasi ini berumur Miosen Bawah bagian atas.

#### 4. Formasi Baturaja

Formasi Baturaja diendapkan selaras diatas Formasi Talang Akar dan terdiri dari batu gamping terumbu dan batu gamping klastik yang diendapkan selama Miosen Tengah. Ketebalan rata-rata berkisar 60 –70 m dan di beberapa tempat bisa mencapai 200 m. Umur formasi ini diperkirakan Miosen Bawah bagian atas.

#### 5. Formasi Gumai

Formasi Gumai terdiri dari serpih, batu gamping dan serpih napalan yang kaya akan fosil foraminifera. Formasi ini diendapkan pada kondisi transgresi didalam Cekungan Sumatra Selatan dan tersebar secara luas. Ketebalan berkisar 150 – 500 m di dalam antiklinorium Limau-Pendopo dan diduga mencapai 2500 m di daerah Lematang.

#### 6. Formasi Air Benakat

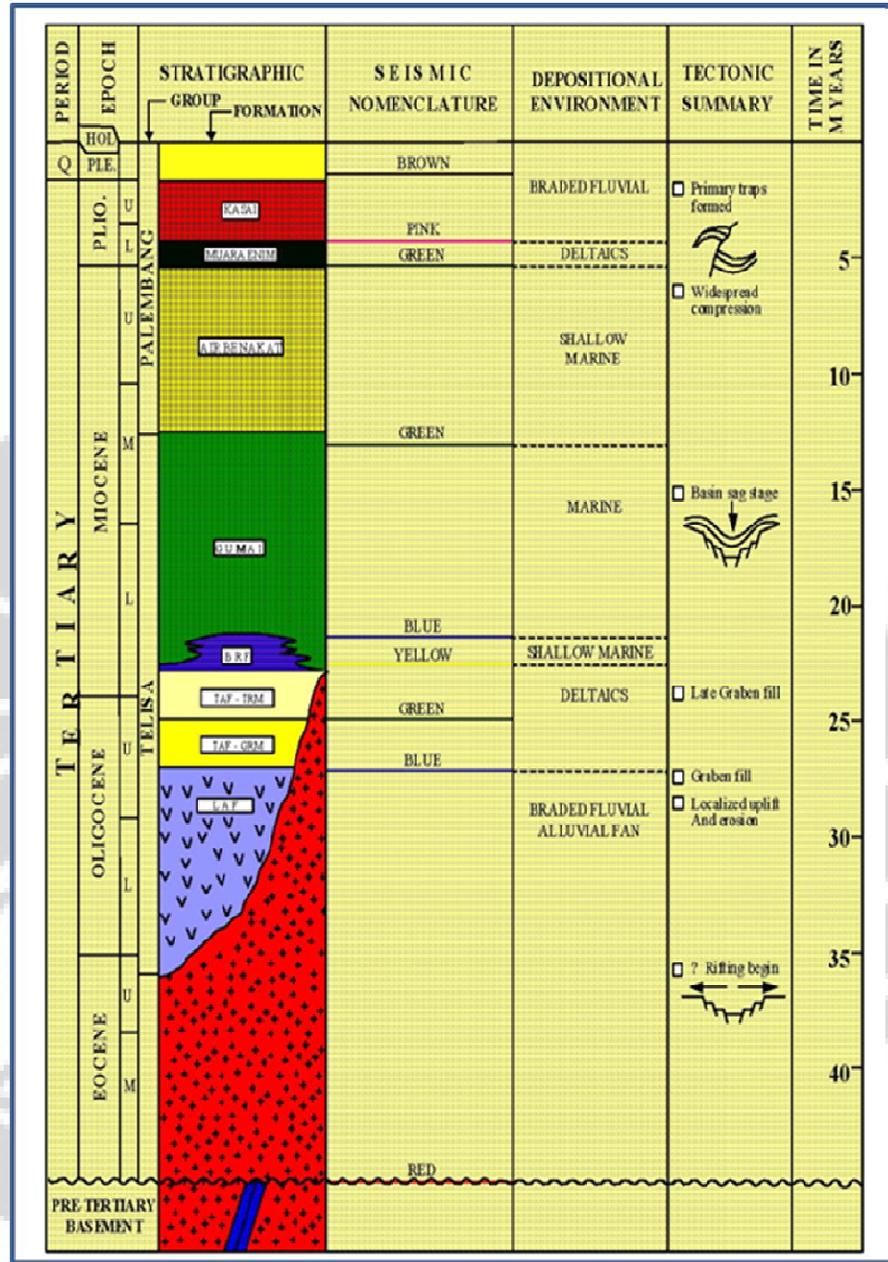
Formasi ini diendapkan selama fase regresi pada Miosen Tengah – Miosen Akhir terutama terdiri batu lempung dengan kandungan fosil foraminifera dan makin keatas batu pasir sering dijumpai sebagai sisipan. Ketebalannya berkisar 100-1000 m.

#### 7. Formasi Muara Enim

Formasi ini terdiri dari batu lempung, serpih, batu pasir dan beberapa lapisan Batubara. Diendapkan pada lingkungan laut dangkal, transisi hingga darat dengan ketebalan berkisar 450 – 750 m. Umur formasi ini Miosen Akhir hingga Pliosen Awal.

#### 8. Formasi Kasai

Formasi Kasai diendapkan pada fase akhir regresi pada lingkungan fluvial sampai transisi dan terdiri dari tuff, batuapung, batu pasir tufaan dan batu lempung tufaan. Umur dari Formasi Kasai ini adalah Pliosen Akhir hingga Pleistosen.



Gambar 2.1 Kolom Stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan (Ardhyastuti, 2010)

### 2.1.2. Kerangka Tektonik Cekungan Sumatera Selatan

Di dalam daerah cekungan terdapat daerah peninggian batuan dasar pra tersier dan berbagai depresi. Perbedaan relief dalam batuan dasar ini diperkirakan karena pematahan dasar dalam bongkah-bongkah. Hal ini sangat ditentukan oleh adanya Depresi Lematang di Cekungan Palembang, yang jelas dibatasi oleh jalur patahan dari Pendopo- Antiklinorium dan Patahan Lahat di sebelah barat laut dari Paparan Kikim.

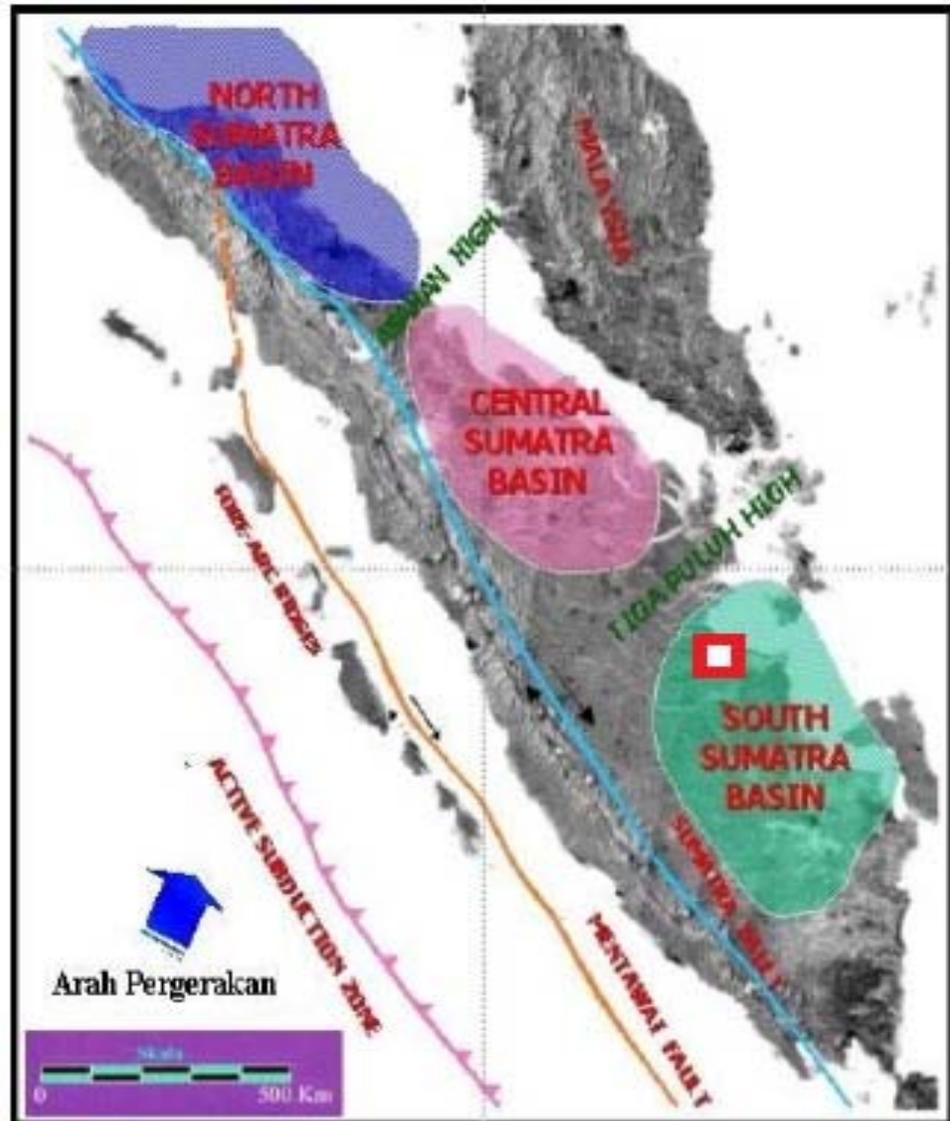
Cekungan Sumatera Selatan dan Cekungan Sumatera Tengah merupakan satu cekungan besar yang dipisahkan oleh Pegunungan Tigapuluh. Cekungan ini terbentuk akibat adanya pergerakan ulang sesar bongkah pada batuan pra tersier serta diikuti oleh kegiatan vulkanik.

Daerah cekungan Sumatera Selatan dibagi menjadi depresi Jambi di utara, Sub Cekungan Palembang Tengah dan Sub Cekungan Palembang Selatan atau Depresi Lematang, masing-masing dipisahkan oleh tinggian batuan dasar (*“basement”*).

Di daerah Sumatera Selatan terdapat 3 (tiga) antiklinorium utama, dari selatan ke utara: Antiklinorium Muara Enim, Antiklinorium Pendopo Benakat dan Antiklinorium Palembang.

Pensesaaran batuan dasar mengontrol sedimen selama paleogen. Stratigrafi normal memperlihatkan bahwa pembentukan batubara hampir bersamaan dengan pembentukan sedimen tersier. Endapan batubara potensial sedemikian jauh hanya terdapat pada pertengahan siklus regresi mulai dari akhir Formasi Benakat dan diakhiri oleh pengendapan Formasi Kasai. Lapisan batubara terdapat pada horizon anggota Formasi Muara Enim dari bawah keatas

Struktur geologi yang berkembang akibat gaya tegasan yang bekerja dengan arah barat-daya – timur laut membentuk lipatan dan sesar. Struktur lipatan membentuk antiklinorium Pendopo-Benakat. Jurus umum masing-masing antiklin dan sinklin berarah Baratlaut – Tenggara yang sesuai dengan arah memanjang Pulau Sumatera, seperti pada gambar 2.2 di bawah ini :



Gambar 2.2 Peta Fisiografi Sumatra (Heidrick dan Aulia, 1993)

## 2.2. Studi Geologi Daerah Penelitian

### 2.2.1. Stratigrafi Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak pada Cekungan Sumatra Selatan tepatnya pada lapisan batubara dari Formasi Muara Enim. Rangkaian sedimen tertier pada cekungan Sumatra Selatan terutama endapan Paleogen masih tidak kuat. Ini disebabkan karena bukan sedimen laut yang mendominasi selama pengendapan Paleogen yang menyebabkan kesulitan untuk penentuan umur. De Coster (1974)

dan Sarjono et al,1989, menyimpulkan terdapat dua grup sedimen Tertier, yaitu grup Telisa dan grup Palembang (Gambar.2.3).

### **Group Telisa**

Batuan sedimen pada group Telisa adalah diendapkan secara tidak selaras diatas basement. Group ini ditandai oleh pengendapan penghalusan kearah atas (*fining upward*) merupakan pembentukan Formasi Lahat , Formasi Talang Akar dan Formasi Gumai.

Group Telisa dibagi ke dalam empat formasi, yaitu, Formasi Lahat / Lemat, Formasi Talang Akar, Formasi Batu Raja, dan Formasi Gumai.

Formasi Lahat merupakan sedimen unconformity terhadap basement. Pada bagian bawah terdiri pasir tufaan, dan tufa, sedangkan pada bagian atas terdiri dari serpih Benakat. Umur dari Formasi Lahat adalah *Eocene - Oligocene* denan lingkungan pengendapan darat seperti endapan alluvial (Coster ,1974) dan formasi ini diinterpretasikan berumur *Paleocene – Oligocene* (Gafoer, Cobrie dan Purnomo, 1986).

Bagian bawah Formasi Talang Akar (*Gritsand Member*) terendapkan diatas Formasi Lahat secara tidak selaras. Bagian atas bagian dari formasi Talang Akar terdiri dari serpih, batu gamping dan batupasir mengandung lapisan batubara. Lapisan ini mengandung foraminifera, *pyrite* dan *glauconite*. Formasi Talang Akar tersedimentasikan selama *Late Oligocene – Early Miocene*, dan lingkungan pengendapannya adalah zona transisi. Bagian atas dari formasi Talang Akar secara berangsur-angsur tersedimentasikan pada lingkungan laut terbuka dan dibentuknya gamping karbonat dan batu gamping pasiran pada formasi Batu Raja.

Formasi Baturaja tersingkap dengan jelas sebadai *outcrop* pada sub cekungan Palembang terutama di kota Baturaja. Formasi ini terendapkan secara selaras di atas formasi Talang Akar. Sedimen terdiri dari batu karang karbonat dan batu gamping klastik selama *Mid-Middle Miocene*. Formasi Baturaja merupakan sebuah reservoir hidrokarbon baik.

Formasi Gumai adalah sedimen di atas formasi Baturaja bagian atas selama *maximum flooding surface* pada Cekungan Sumatra Selatan, terdiri dari serpih, batu gamping serta perselingan batu gamping dan batupasir yang mengandung foraminifera yang cukup banyak. Formasi ini berumur *Mid Miocene* dengan lingkungan pengendapan laut terbuka. Ketebalan maksimum ditemukan di sub Cekungan Jambi pada 1170 - 1650 m (di Graben Kenali Asam).

### **Group Palembang**

Sedimen Group Palembang berbeda dengan sedimen group Telisa. Lingkungan pengendapan laut sampai darat. Beberapa penulis menyatakan bahwa lingkungan sedimen merubah dari laut dalam terbuka di formasi Gumai ke arah laut dangkal pada formasi Air Benakat.

Pembangunan dari group ini berhubungan dengan orogenesis *Mid Miocene* yang disebabkan pengangkatan Bukit Barisan. Group Palembang dapat dibagi ke dalam 3 formasi, yaitu:

#### **1. Formasi Air Benakat**

Formasi Air Benakat tersedimentasikan selama regresi *Mid Miocene* – *Late Miocene*. Sedimen terdiri dari perselingan batupasir dan batulanau yang mengandung *glauconite*, *limonite* dan foraminifera besar. Sedimen terlihat pada periode regresi selama *Mid Miocene* dari laut dalam (formasi Gumai) ke arah transisi laut dangkal.

#### **2. Formasi Muara Enim**

Formasi Muara Enim ditandai oleh pembentukan dari lapisan batubara. Terdiri dari batu lempung, pasir tuffa dan lapisan batubara. Pada umumnya sedimen ini terendapkan dari laut dangkal ke arah lingkungan litoral. Bagian bawah dari formasi ini mengandung *mollusca*, sedangkan bagian atas perselingan batu lempung hijau, batupasir dan batubara. Berlimpahnya silifikasi kayu dapat ditemukan di formasi ini. Ketebalan dari formasi ini antara 450 - 750m ditemukan di Kampung Minyak dan Muara Enim. Umur dari formasi ini adalah

*Late Miocene –Early Pliocene*, lingkungan pengendapan adalah laut dangkal sampai zona transisi (Sarjono et al, 1989), dan di formasi Muara Enim ini lapisan batubara sebagai objek penelitian.

### 3. Formasi Kasasi

Formasi Kasasi adalah sedimen diendapkan secara selaras di atas formasi Muara Enim. Ini terdiri dari perselingan antara konglomerat, pasir tufaan, tufa dan lempung tufaan yang mengandung *mollusca* darat dan silifikasi kayu. Ketebalan dari formasi ini adalah 430 - 1000m. Tufa pada Gunung Gumai sangat berlimpah, yang menandakan aktivitas vulkanik selama *Late Pliocene*.

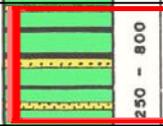
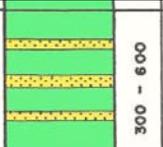
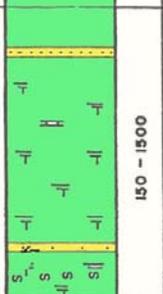
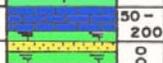
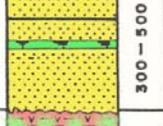
Umur formasi Kasasi adalah *Late Miocene – Pliocene* yang tersedimentasikan pada lingkungan *non marine* dan terkait dengan periode regresi. Pada akhir dari sedimentasi, formasi ini ditandakan oleh tekanan tektonik yang menyebabkan pengangkatan dan pelipatan sedimen Tertier.

#### 2.2.2. Struktur Daerah Penelitian

Daerah penelitian terdapat pada bagian atas dari Cekungan Sumatera Selatan. Bagian utara terdapat pedataran tinggi Sembilan dan sebelah selatan adalah dataran rendah yang dibatasi oleh patahan normal dengan arah NNW-ENE.

Selama waktu Tersier, evolusi struktur di daerah penelitian terjadi paling tidak pada tiga phase. Tahap pertama adalah ekstensi yang mana terjadi sejak *Paleocene* sampai *Early Miocene*. Tahap ini diikuti oleh formasi dari patahan normal dan grabens yang kemudian terisi oleh endapan sedimen *Eocene – Early Miocene*. Struktur patahan dan graben yang mempunyai arah timur-barat mempunyai indikasi patahan pada basement. Sesar-sesar ini kemungkinannya dimulai dari umur *Yura-Late Cretaceous* (Kapur).

Sedimen tua (Formasi Lemat) adalah hanya ditemukan pada bagian Selatan dari daerah penelitian (dari data mata bor sumur mawar) , sedangkan ke arah yang lain sedimen ini terendapkan di atas basement.

AGE	FORMATION	LITHOLOGY	THICKNESS ( M )	DESCRIPTION	ENVIRONMENT		
					TERIS-TRIAL	LITTO RAL	WERETIC
PLEISTOCEN	KASAI (KAF)	V V V V	200	Tuff, tuffaceous sandstone and clay			
PLIOCENE	MUARAENIM (MEF)		250 - 800	Claystone intercalation with sandstone coal and siltstone			
	AIRBENAKAT (ABF)		300 - 600	Claystone intercalation with sandstone and siltstone			
MIOCENE	GUMAI (GUF)		150 - 1500	Claystone intercalation with sandstone and siltstone			
	BATURAJA		50 - 200	Limestone			
OLIGOCENE	TALANGAKAR (TAF)		100-300	Interbedded sandstone and shale			
	LAHAT (LAF)		300 - 500	Coarse to very coarse sandstone intercalation with shale and coal			
	LAHAT (LAF)		200 - 760	Tuffaceous , shale, siltstone Tuff , sandstone, agglomerate , breccia			
PRE TERTIARY	BASEMENT (BSM)			Granite , quartzite , phyllite , slate			

**Gambar 2.3** Kolom Stratigrafi Cekungan Palembang Selatan (Sarjono et.al.,1989), Kotak berwarna merah merupakan target batubara di daerah penelitian.

Sedimentasi dari Formasi Talang Akar (*Oligocene*) dan Baturaja hingga awal *Miocene* terjadi secara homogen di daerah ini. Hanya ke arah utara pada bagian dari formasi Baturaja terendapkan secara onlap di atas formasi Talang Akar. Ini menandai selama *Early Miocene*, bagian utara daerah penelitian merupakan dataran tinggi.

Tahan ekstensi di daerah ini ditandai oleh penurunan dari lapisan setelah sedimentasi formasi Baturaja pada dataran rendah. Ini ditandai oleh ketebalan lapisan dari sedimen jika dibandingkan dengan sedimen pada zona tinggi.

Pada akhir *Early Miocene* sampai *Early Pliocene* mengembangkan patahan normal dan memisahkan diantara patahan tersebut merupakan perkembangan sesar dengan kecenderungan yang sama. Ini ditandai oleh pembentukan ketebalan sedimen dari formasi Telisa kearah Selatan. Di periode ini beberapa lokasi pada cekungan Sumatera Selatan ditandai oleh gejala awal tekanan, sementara di daerah penelitian formasi Telisa tidak ditemukan.

Periode *Mio-Pliocene* merupakan tekanan secara regional, di daerah penelitian secara signifikan ditandakan oleh formasi dari tagangan dan normal *strike-slip faults* dengan arah WNW-ESE. Kemungkinan bahwa sesar ini adalah pengaktifan kembali dari sesar tua. Di periode ini perkembangan sesar yang sedimentasi bagian atas dari formasi Telisa.

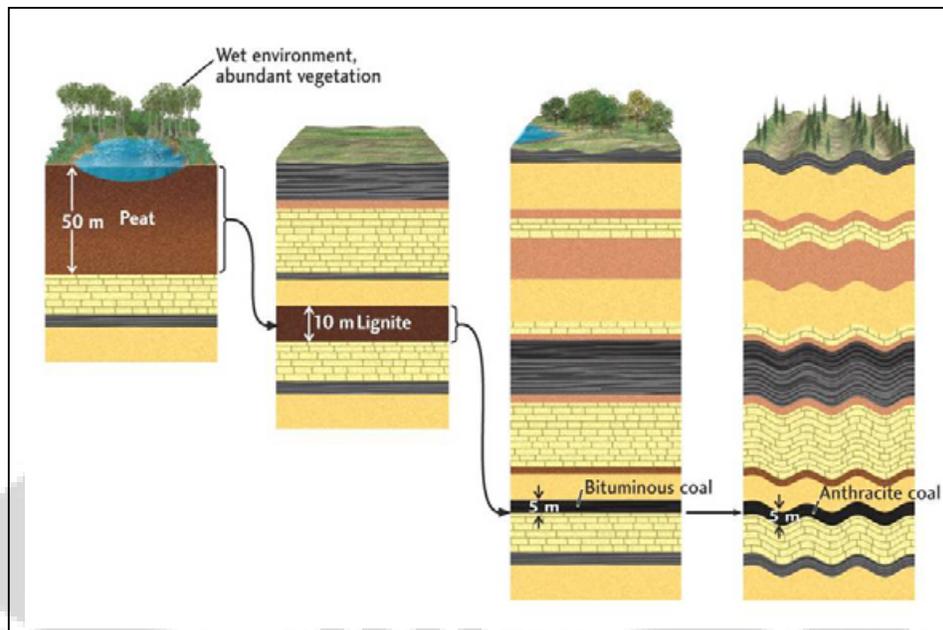
Kompresi mungkin berkepanjangan dan klimaksnya selama periode *Plio-Pleistocene* dan menyebabkan perlipatan pada beberapa formasi yang sudah ada. Sebagai tambahan reverse fault juga dibentuk seperti dapat diamati pada bagian selatan dari daerah penelitian dimana melibatkan keseluruhan unit batuan di area ini.

### 2.3. Definisi dan Konsep Dasar Endapan Batubara

Secara definisi : batubara adalah batuan sedimen yang berasal dari material organik (organoclastic sedimentary rock), dapat dibakar dan memiliki kandungan utama berupa C, H, O.

Secara proses (geneses) : batubara adalah lapisan yang merupakan hasil akumulasi tumbuhan dan material organik pada suatu lingkungan pengendapan tertentu, yang disebabkan oleh proses *syn-sedimentary* dan *post-sedimentary*, sehingga menghasilkan rank dan tipe tertentu.

Batubara merupakan batuan sedimen nonklastik. Batuan sedimen non klastik didefinisikan sebagai batuan sedimen terbentuk oleh proses kimia, biologi atau biokimia pada permukaan bumi tanpa mengalami proses erosi dan pengendapan seperti batuan sedimen klastik dan selanjutnya mengalami proses penguburan, pengompakan diteruskan dengan coalifikasi. Coalifikasi merupakan proses transformasi material organik menjadi bentuk material organik yang lain yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya. Dari tumpukan material organik kemudian tertransformasi menjadi *peat*, *lignite*, *sub-bituminious*, *bituminious*, *antrachite* dan *graphite*, yang umumnya disebut tingkatan/*rank* batubara, seperti pada gambar 2.4. Coalifikasi juga menghasilkan produk samping berupa air dan gas. Dari proses coalifikasi ini dapat diketahui bahwa semua batubara mengandung gas.



**Gambar 2.4** Skema pembentukan batubara dari tumpukan material organik kemudian tertransformasi menjadi *peat*, *lignite*, *sub-bituminous*, *bituminous*, *antrachite* dan *graphite* (Ardhyastuti, 2010)

#### 2.4. Batubara di Daerah Penelitian

Daerah penelitian di Cekungan Sumatra Selatan tepatnya di formasi Muara Enim. Pada sumur Mawar yang berada di *onshore* Cekungan Sumatra Selatan terdapat beberapa lapisan batubara dan berada di kedalaman antara 75m-160m. Dari hasil rekaman logging dan hasil dari mata bor lapisan batubara sebagai objek penelitian berada pada kedalaman 138 m dengan ketebalan 10 meter. Pada sumur Melati terdapat lapisan batubara pada kedalaman 204 – 207 m.

Penelitian dilakukan pada data seismik 2D tidak lebih dari 400 m hasil inti bor dan termasuk pada Formasi Muara Enim yaitu group Palembang bawah. Formasi Muara Enim merupakan formasi pembawa batubara yang diendapkan sebagai kelanjutan dari fase regresi. Lingkungan pengendapan batubara terjadi dari sedimentasi perulangan kumpulan endapan delta sampai fluviatil pada akhir pengendapan batubara. Formasi ini terdiri dari batu lempung (*claystone*), pasir (*sandstone*), *tuffaceous* dan lapisan batubara . Pada umumnya rangkaian sedimen

ini ditandai dengan pengkasaran kearah atas (*coarsening up*) yang merupakan pengendapan sedimen laut dangkal ke arah lingkungan litoral. Ditandai dengan bagian bawah mengandung *Mollusca* dan bagian atas terdiri dari batulempung hijau, batupasir dan batubara. Ketebalan dari formasi ini antara 450 - 750m dan berumur *Late Miocene* sampai *Early Pliocene* dengan lingkungan pengendapan laut dangkal ke zona transisi. Berdasarkan hasil dari inti bor, batubara berwarna hitam kecoklatan, struktur kayu, (*woody streak*), *brittle*, *earthy*, *pytic*, *non calcareous*. Berdasarkan klasifikasi SNI 1998, batubara ini tergolong batubara coklat keras (*Hard Brown coal*) berjenis lignitik.



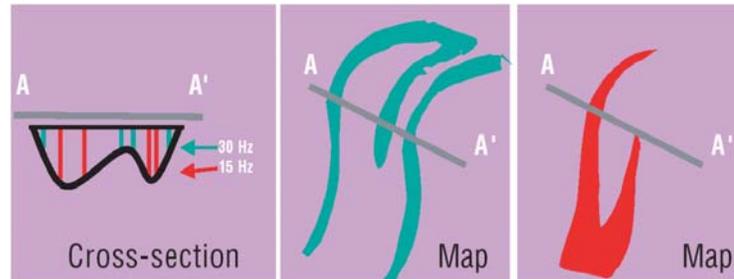
## BAB 3

### TEORI DASAR

Penampang seismik merupakan gambaran yang kompleks dari refleksi-refleksi, efek tuning, atenuasi, absorpsi, dsb. Hal ini mengartikan bahwa data yang kita peroleh bukanlah seutuhnya data yang kita inginkan, sehingga mengakibatkan sulitnya mengidentifikasi bentuk stratigrafik pada penampang seismik. Dengan menggunakan *spectral decomposition*, broadband data pada seismik dapat di dekomposisikan menjadi spectrum dan komponen frekuensi. Analisa dari spektrum frekuensi dan komponen individu frekuensi ini dapat menunjukkan informasi-informasi yang diperlukan dan lebih baik dari pada analisa data broadband secara konvensional.

Pada eksplorasi seismik, sebuah wavelet seismik merupakan perpaduan dari gelombang yang berbeda-beda, yang masing-masingnya memiliki frekuensi yang spesifik. Prinsip ini berkembang menjadi analisa permukaan gelombang yang biasa ditemukan pada eksplorasi seimik dan dikenal juga sebagai efek tuning.

Aplikasi dari prinsip ini dapat dilihat pada model geologi berikut ini (Gambar. 3.1). Dapat disimpulkan bahwa lapisan tebal memiliki spektrum frekuensi yang lebar, tanpa frekuensi yang tinggi, sedangkan lapisan tipis memiliki spektrum frekuensi tidak lebar dan memiliki frekuensi tinggi.

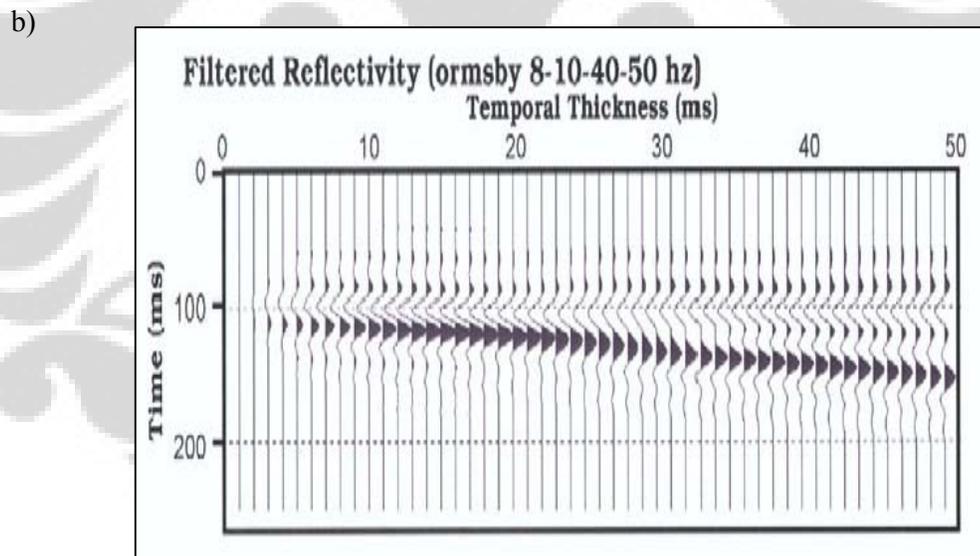
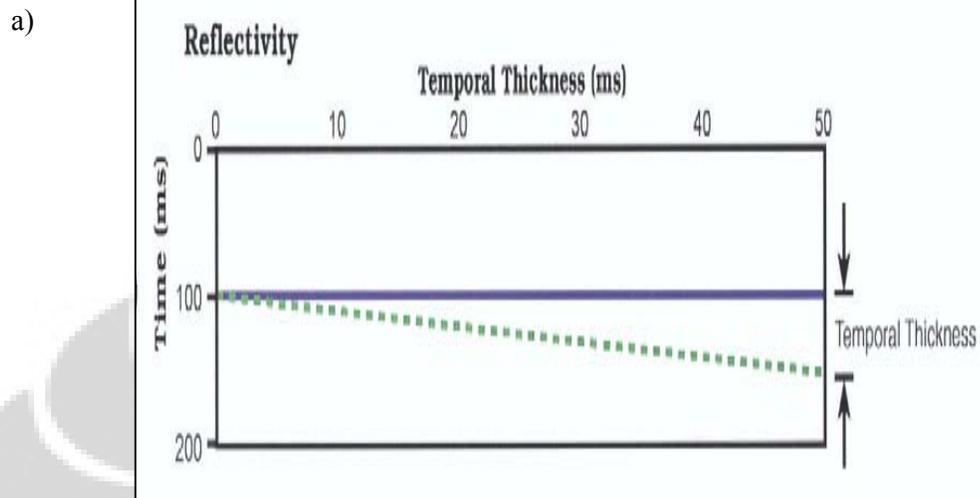


**Gambar. 3.1** Efek frekuensi tuning pada peta permukaan (Laughlin.et.al, 2003)

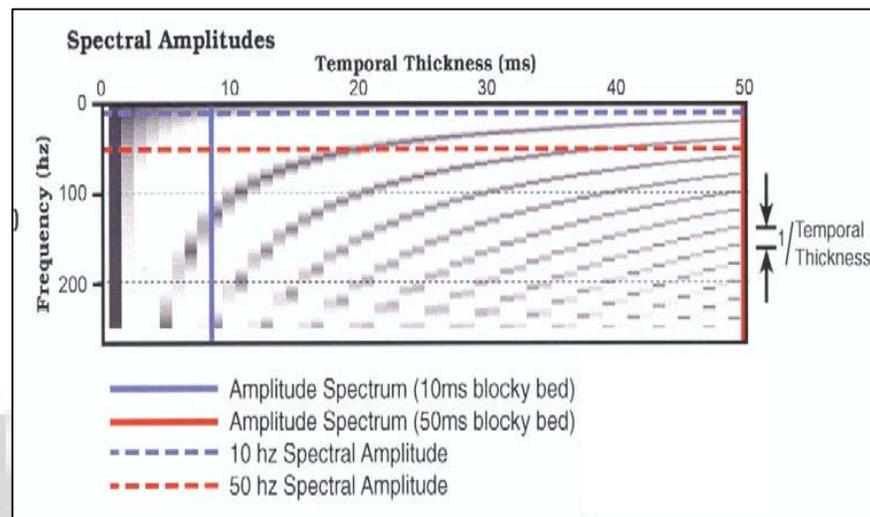
Lapisan tipis dipetakan pada gambar berwarna hijau. Berdasarkan prinsip spectral decomposition, apabila lapisan tipis ditunjukkan pada frekuensi tuning 30 Hz, maka lapisan tebal, yang ditunjukkan oleh gambar berwarna merah diatas, akan muncul pada frekuensi tuning lebih kecil 30 Hz. Hal ini menunjukkan perbedaan frekuensi tuning mendefinisikan struktur yang berbeda-beda. Pada gambaran berwarna hijau menjabarkan proses dari spectral decomposition.

Gambar. 3.2 mendemonstrasikan gambaran lain yang berhubungan dengan *spectral decomposition*. Dalam kasus ini digunakan model yang membaji. Dapat dilihat bahwa ketebalan temporal dalam domain waktu lebih baik ditunjukkan dengan domain frekuensi. Contohnya adalah top dan bottom pada lapisan dipisahkan per 10 ms, maka pada domain frekuensi, akan dipisahkan per  $1/10 \text{ ms} = 100\text{cps}$ . Apabila kita mengambil contoh yang lebih kecil lagi, misalnya adalah 4 ms, maka pembagian dalam domain frekuensi menjadi  $1/4 \text{ ms} = 250 \text{ cps}$ . Ini mengartikan bahwa semakin kecil pembagian pada domain waktu, maka semakin lebar pembagian pada domain frekuensinya dan begitu juga sebaliknya.

Hubungan ini dapat dilihat pada kurva garis berikut ini (Gambar. 3.2).



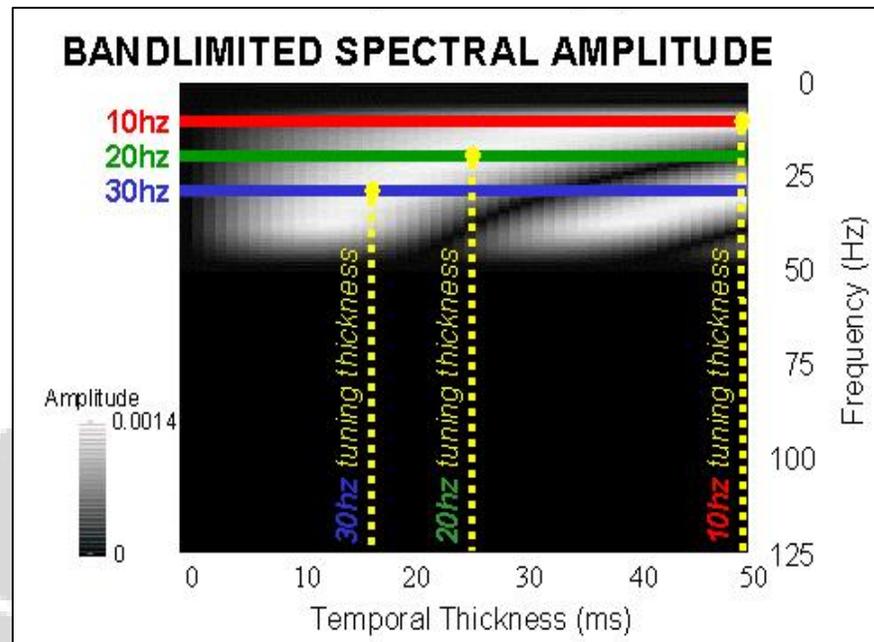
c)



**Gambar. 3.2** Dekomposisi Spektral pada model membaji (a). Reflektifitas model membaji. (b). Seismik sintetik dari gambar 2a. (c). Spektrum Amplitude fungsi dari ketebalan temporal dan frekuensi (Partyka, 1999)

Pada ketebalan lebih kecil dari seperempat panjang gelombang, amplitudo wavelet seismik menghasilkan resultan amplitudo yang bergantung pada ketebalan dari lapisan tipis dan ditunjukkan sebagai *notch*. Frekuensi puncak mengacu pada nilai frekuensi yang diperlihatkan pada amplitudo maksimum, dan amplitudo maksimum ini adalah puncak dari amplitudonya.

Gambar. 3.3 menggambarkan puncak amplitud yang berhubungan dengan frekuensi dominan dari wavelet. Garis berwarna biru memiliki frekuensi 30 Hz, menunjukkan ketebalan tuning terkecil, yaitu 17 ms. Garis berwarna hijau dengan frekuensi 20 Hz merupakan ketebalan tuning sedang, yaitu 25 ms. Dan garis yang berwarna merah menunjukkan frekuensi 10 Hz adalah ketebalan tuning terbesar, yaitu 50 ms.



Gambar. 3.3 Spektra Amplitudo (Munadi, 2010)

### 3.1. Metode Spectral Decomposition

Ada beberapa penggunaan metode pada *spectral decomposition* yang sering digunakan dalam analisa seismik eksplorasi, diantaranya adalah Short Time Fourier Transform (STFT), Continuous Wavelet Transform (CWT), Matching Pursuit Decomposition (MPD), dan Empirical Mode Decomposition. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan, serta memiliki aplikasi yang berbeda-beda sesuai metode yang digunakannya.

#### 3.1.1 Short Time Fourier Transform (STFT)

Pada STFT, spektrum waktu-frekuensi dihasilkan dengan menggunakan Fourier transform berdasarkan pemilihan time window. Ketika sinyal seismik ditransformasikan menjadi domain frekuensi dengan Fourier Transform, seluruh karakter frekuensi

yang ada diaplikasikan. Transformasi ini tidak disarankan untuk menganalisa sinyal non-stationary (Sinha et al.,2005). Pada metode ini, seismogram dipisahkan dengan dengan banyak fungsi window. Fourier transform dari window seismogram ini kemudian dikomputasikan. Dan proses ini diulangi dengan perubahan window dalam domain waktu.

### **3.1.2 Hilbert Huang Transform-Empirical Mode Decomposition (HHT-EMD)**

EMD menghasilkan time series menjadi beberapa subsinyal, yang masing-masingnya adalah input pada time-frekuensi yang sama melalui Hilbert transform. HHT digunakan pada refleksi data seismic untuk :

1. Memperkirakan kemampuan EMD dan HHT untuk menentukan informasi geologi yang dibutuhkan dalam domain waktu dan waktu-frekuensi.
2. Menggunakan instantaneous attributes untuk mengembangkan filter yang sangat baik untuk kemajuan rasio signal-to-noise.

EMD adalah teknik dekomposisi dimana hanya komplikatif sinyal yang dapat didekomposisikan menjadi nilai mutlak dari komponen frekuensi tinggi dan frekuensi rendah dengan proses yang dikenal sebagai sifting. Komponen ini disebut Intrinsic Mode Function (IMF). IMF ini merupakan turunan dari Hilbert Transform dan menjadi suatu fungsi. IMF ini memiliki nilai zero-crossing dan extrema yang sama dan nilai dari yang lebih tinggi maupun yang lebih rendah dari nilai amplop adalah nol.

### 3.1.3 Matching Pursuit Decomposition (MPD)

Pada MPD hasil yang diperoleh lebih baik dari pada metode STFT dan CWT seperti yang disebutkan di atas. Dimana MPD, seperti halnya CWT menggunakan fungsi dasar dari skala, translasi dan modulasi dari fungsi window, hanya saja dengan fungsi dan persamaan yang lebih rumit. Sehingga pada metode MPD dihasilkan resolusi waktu-frekuensi yang lebih baik dari metode STFT dan CWT, hanya saja dibutuhkan proses komputasi yang lebih intensif.

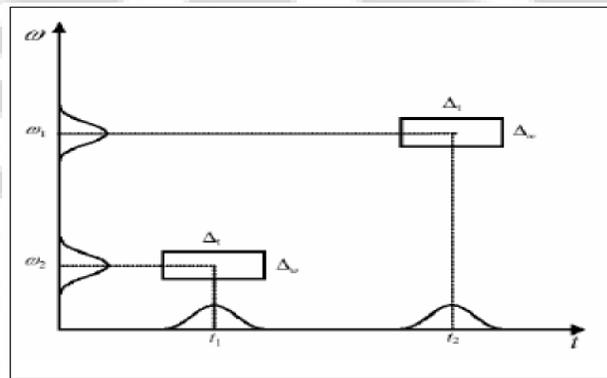
Penelitian ini akan menggunakan metode Continuous Wavelet Transform (CWT) pada dekomposisi spektral yang diaplikasikan pada data seismik 2D. Oleh karena itu metode CWT ini akan dibahas lebih rinci pada sub bab berikut ini.

### 3.2. Continuous Wavelet Transform (CWT)

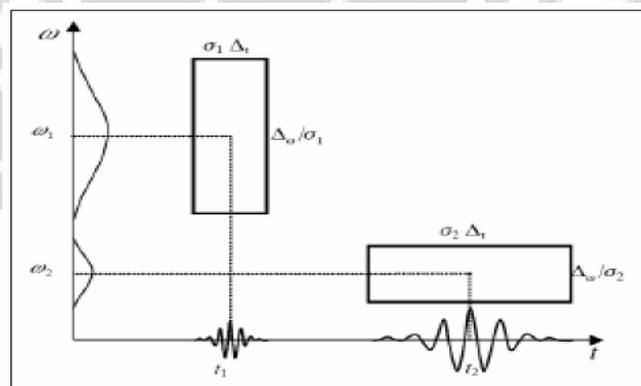
Metode CWT ini dikembangkan dengan tujuan sebagai alternatif untuk mengatasi masalah resolusi pada metode STFT. Analisa wavelet memiliki cara kerja yang sama dengan analisa STFT, yang mana sinyal diperbanyak dengan sebuah fungsi yang sama dengan fungsi jendela pada STFT, dan transformasi dihitung terpisah untuk nilai sinyal yang berbeda.

Pada metode STFT dibutuhkan lebar window yang baik. Sehingga apabila bentuk sinyal sesuai dengan lebar window, maka analisa STFT akan menghasilkan gambaran pada domain waktu-frekuensi yang baik. Akan tetapi pada praktek di lapangan, bentuk sinyal seismik dengan menggunakan STFT kurang baik dalam menghasilkan gambaran pada domain waktu-frekuensi. Kesulitan yang mendasar dalam menganalisa sinyal *non-stationary* yaitu pada pengaturan lebar window yang mempengaruhi resolusi waktu-frekuensi.

Pada Gambar 3.4 menjelaskan hubungan ketidakpastian dengan resolusi waktu-frekuensi dengan menggunakan STFT. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, kelemahan dari metode STFT adalah keterbatasan penentuan lebar window yang tepat untuk menghasilkan resolusi yang baik. Untuk mengatasi keterbatasan ini, para ilmuwan menemukan metode CWT dengan skema diagram hubungan ketidakpastian dalam time-frekuensi. Gambar 3.5 menunjukkan bahwa penentuan lebar window pada metode CWT dapat diatasi sehingga resolusi time-frekuensi lebih baik, meskipun pada frekuensi rendah dan tinggi. (Mallat,1993 ; Goswami dan Chan, 1999).



**Gambar. 3.4** Skema diagram hubungan ketidakpastian dengan waktu-frekuensi dalam STFT (Matlab, 2009)



**Gambar. 3.5** Skema diagram hubungan ketidakpastian dengan waktu-frekuensi dalam CWT (Matlab, 2009)

Terdapat 2 perbedaan yang cukup mendasar pada STFT dan CWT, yaitu:

1. Pada CWT tidak diperlukannya transformasi fourier pada sinyal jendela. Karenanya sebuah nilai puncak akan terlihat pada sebuah sinusoida.
2. Lebar jendela pada CWT berubah seiring dengan transformasi pada setiap komponen spektral

Resolusi pada STFT tidak seragam pada keseluruhan penampang waktu-frekuensi. CWT memiliki resolusi waktu yang lebih baik pada frekuensi tinggi, akan tetapi resolusi frekuensinya kurang baik. Sedangkan pada frekuensi rendah, CWT menghasilkan resolusi frekuensi dan waktu yang lebih baik.

Pada CWT, wavelet diskalakan dalam bentuk perubahan waktu terhadap frekuensi. Sebuah wavelet mengartikan fungsi dari energi dengan mean nol berdasarkan rentan Hilbert. Dengan skala dan transformasi wavelet ini, dapat dihasilkan kumpulan wavelet yang merupakan fungsi dari parameter skala dan parameter translasi. Apabila kumpulan wavelet telah ditentukan, maka CWT dalam skala dan translasi bisa ditentukan pula.

Wavelet didefinisikan sebagai fungsi  $\psi(t) \in L^2(R)$  dengan zero mean yang terletak pada frekuensi dan waktu :

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (3.1)$$

Dengan melakukan dilatasi dan translasi pada wavelet akan menghasilkan family wavelet :

$$\psi_{\sigma,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{\sigma}} \psi\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) \quad (3.2)$$

dimana  $\sigma, \tau \in \mathbb{R}, \sigma \neq 0$

$\sigma$  = Parameter dilatasi yang berhubungan dengan skala

$\tau$  = Parameter translasi

dengan catatan wavelet telah dinormalisasi,  $|\psi| = 1$

CWT didefinisikan sebagai perkalian family wavelet  $\psi_{\sigma, \tau}(t)$  dengan sinyal  $f(t)$ , dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

$$F_{\psi}(\sigma, \tau) = \{f(t), \psi_{\sigma, \tau}(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{|\sigma|}} \bar{\psi}\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) dt \quad (3.3)$$

dimana  $\bar{\psi}$  adalah komplek conjugate  $\psi$

Dalam memilih skala dan parameter translasi, persamaan 3.2 dipilih secara acak sesuai dengan kebutuhan. Untuk membuat kembali fungsi  $f(t)$  dari transformasi wavelet menggunakan cara “Resolution of Identity” yang juga dikenal sebagai Calderon’s identity (Daubechies, 1992), dapat dilihat sebagai berikut :

$$f(t) = \frac{1}{C_{\psi}} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F_{\psi}(\sigma, \tau) \psi_{\sigma}\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) \frac{d\sigma d\tau}{\sqrt{|\sigma|^3}} \quad (3.4)$$

Inverse transform yang ada mengharuskan analisa wavelet yang memenuhi “admissibility condition” sebagai berikut :

$$C_{\psi} = 2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\bar{\psi}(\omega)|^2}{\omega} d\omega < \infty \quad (3.5)$$

Dengan kata lain CWT diidentifikasi sebagai persamaan berikut :

$$CWT_x^{\psi}(\tau, s) = \Psi_x^{\psi}(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (3.6)$$

dimana :  $\tau$  adalah tranlasi

$s$  adalah skala

$\psi^*(t)$  adalah *mother wavelet*

Dari persamaan (3.6) di atas dapat dilihat, transformasi sinyal pada CWT merupakan fungsi dari 2 variabel, yaitu tau ( $\tau$ ) dan  $s$ , dimana tau melambangkan translasi, dan  $s$  merupakan skala. Dan  $\psi(t)$ , adalah fungsi transformasi yang disebut juga sebagai wavelet ibu (*mother wavelet*), yang merupakan sebuah *prototype* untuk menghasilkan fungsi jendela lainnya.

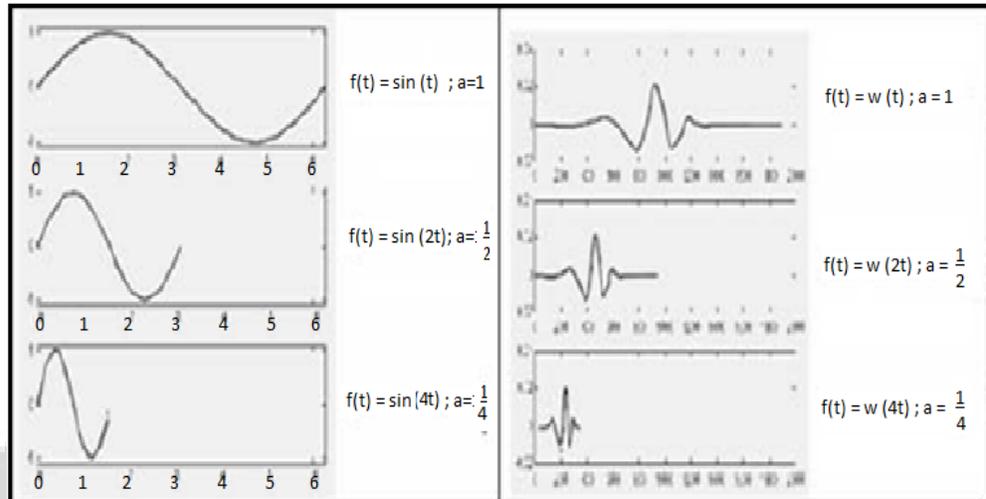
### 3.2.1 Skala ( $s$ )

Skala pada analisa wavelet serupa dengan skala pada peta. Pada peta, skala yang besar menjabarkan penampakan secara global yang tidak terlalu rinci, dan skala kecil menghasilkan penampakan yang lebih rinci. Pada wavelet analisis ini, skala besar (frekuensi rendah) memberikan informasi sinyal secara global, sedangkan skala kecil (frekuensi tinggi) menunjukkan informasi rinci dari sesuatu yang tak terlihat sebelumnya pada sinyal yang ada.

Skala yang besar berhubungan dengan wavelet yang diregangkan. Semakin renggang wavelet maka akan semakin besar ruang yang akan dikorelasikan. Sehingga akan dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa hubungan antara skala wavelet dengan frekuensi dalam analisa wavelet adalah :

- Skala rendah – kompresi wavelet – frekuensi tinggi-bandwidth lebar
- Skala tinggi – perenggangan wavelet – frekuensi rendah-bandwidth sempit

Seperti yang telah dibahas sebelumnya bahwa analisa wavelet akan menghasilkan tampilan skala waktu dari sinyal. Skala wavelet secara sederhana bermakna perenggangan atau penekanan wavelet yang secara visual akan diterangkan pada gambar dibawah ini :

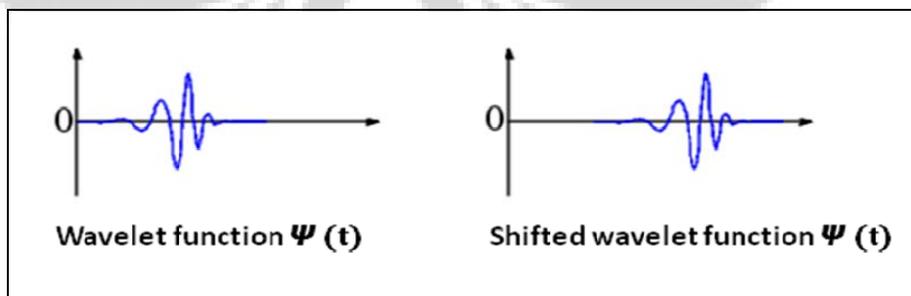


Gambar 3.6 Skala wavelet (MatLab, 2009)

### 3.2.2 Translasi ( $\tau$ )

Translasi ( $\tau$ ) bekerja seperti pada STFT, yaitu berhubungan dengan posisi dari jendela yang digeser sesuai sinyal yang ada. Translasi ini menghasilkan informasi waktu pada domain transformasi. Bagaimanapun kita tidak memiliki parameter frekuensi disini seperti pada STFT.

Pengertian dari posisi berarti pergeseran pada arah tertentu. Apabila dijabarkan secara matematis fungsi delay  $f(t)$  sejauh  $k$  adalah  $f(t-k)$ . Seperti dapat dilihat pada Gambar 3.7 di bawah ini :



Gambar 3.7 Translasi Wavelet (MatLab, 2009)

### 3.2.3 Mother Wavelet (Kompleks Morlet Wavelet)

Wavelet yang baik adalah wavelet yang memiliki rata-rata nol, nonortogonal dan simetri. Pada penggunaannya, yang paling sering digunakan dalam metode CWT adalah Morlet Wavelet. Demikian pula pada penelitian ini, wavelet yang digunakan adalah wavelet Morlet sesuai penggunaannya pada software Opendtect.

Morlet Wavelet merupakan wavelet yang memiliki fungsi window Gaussian kompleks sinusoid pada domain waktu dan frekuensi. Fungsi wavelet yang ada merupakan fungsi wavelet yang kompleks, karenanya transformasi wavelet yang dihasilkan juga kompleks. Dalam pembahasan ini yang digunakan adalah Wavelet kompleks Morlet yang dapat diberikan dengan persamaan :

$$\psi(t) = e^{-\frac{t^2}{2c^2}} e^{i2\pi f_0 t} \quad (3.7)$$

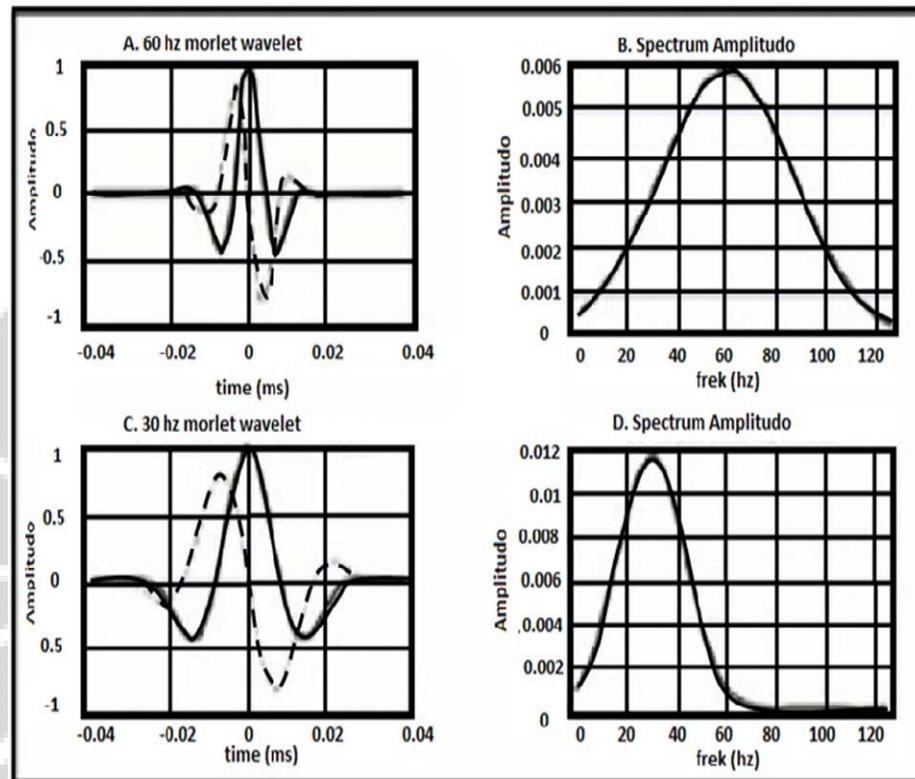
Persamaan 3.7 diatas merupakan fungsi dalam domain waktu, dimana  $t$  adalah waktu,  $f_0$  adalah parameter frekuensi dan  $c$  adalah damping parameter dalam unit waktu. Dalam domain frekuensi, Wavelet kompleks Morlet dapat difungsikan seperti persamaan 3.8 dibawah ini, dimana faktor normalisasi disini dapat diabaikan dan tanda bintang (\*) melambangkan konvolusi :

$$\psi(f) = e^{-\frac{(cf)^2}{2}} * \delta(f - f_0) \quad (3.8)$$

Pada perbandingan persamaan 3.7 dan 3.8 terlihat adanya karakterisasi resolusi CWT. Damping parameter ( $c$ ) mengontrol kecepatan wavelet dalam domain waktu dan spektrum domain frekuensi menjadi nol. Begitu fungsi waktu bertambah ( $c$  bernilai besar), maka nilai frekuensi berkurang, dan demikian pula sebaliknya.

Gambar 3.8 dibawah ini merupakan gambaran wavelet yang memiliki nilai damping parameter ( $c$ ) didasarkan pada invers dua kali

frekuensi tengah wavelet. Dengan menggunakan nilai ini akan memunculkan wavelet yang setara dengan dua kali periodenya.



**Gambar 3.8** Morlet Wavelet dalam fungsi waktu dan frekuensi (MatLab, 2009)

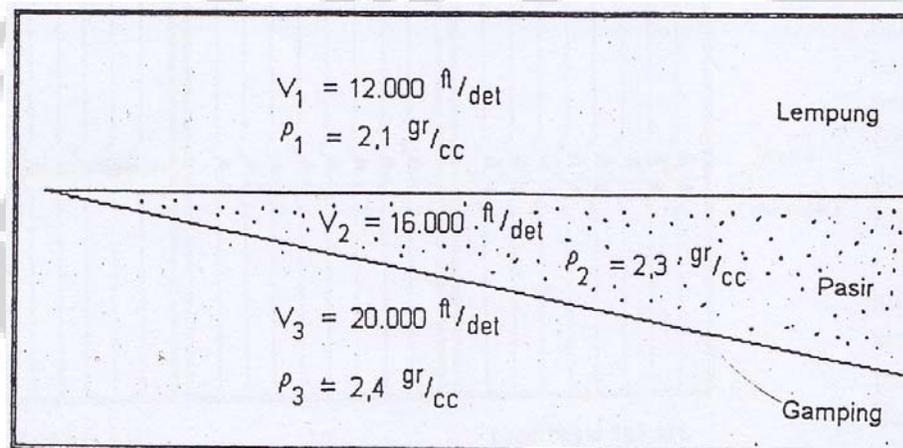
### 3.3. Estimasi ketebalan lapisan batu bara

Studi mengenai hubungan antara ketebalan lapisan, panjang gelombang dan resolusi ketebalan lapisan pertama kali dipelajari oleh Ricker (1953). Dan studi model oleh Meissner dan Meixner (1969) memperlihatkan bahwa lapisan tipis dapat merubah sinyal seismik yang disebabkan interferensi antara refleksi primer dan refleksi perulangan dari dua atau lebih bidang batas.

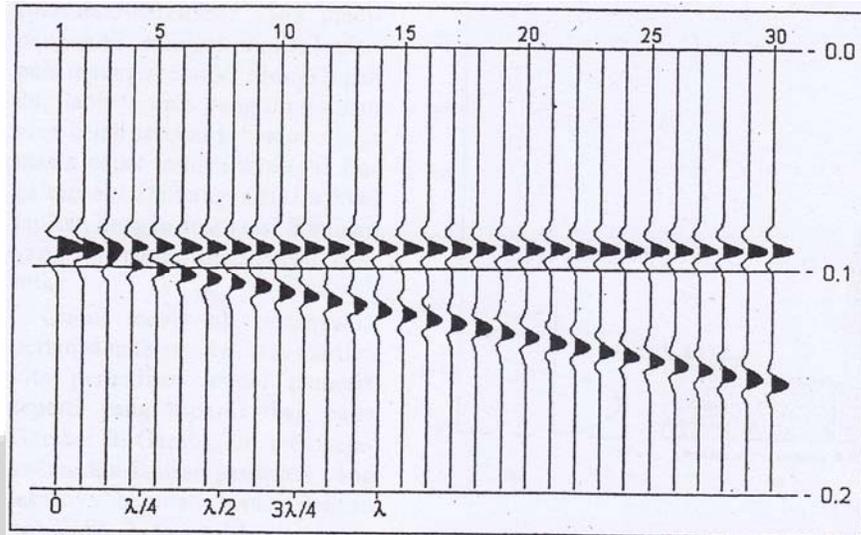
Lapisan dengan ketebalan diatas batas resolusi mengakibatkan tidak terjadinya interferensi (tuning). Sedangkan untuk lapisan dengan

ketebalan dibawah resolusi (lebih kecil dari seperempat panjang gelombang) informasi ketebalan lapisan ditandai dalam bentuk amplitudo kombinasi refleksi atau interferensi pantulan dari batas atas dan batas bawah lapisan (Widess, 1973). Pada ketebalan lapisan yang sangat tipis terjadi interferensi wavelet yang dapat berakibat memperlemah atau memperkuat amplitudo koefisien refleksi. Proses interferensi ini yang disebut dengan tuning.

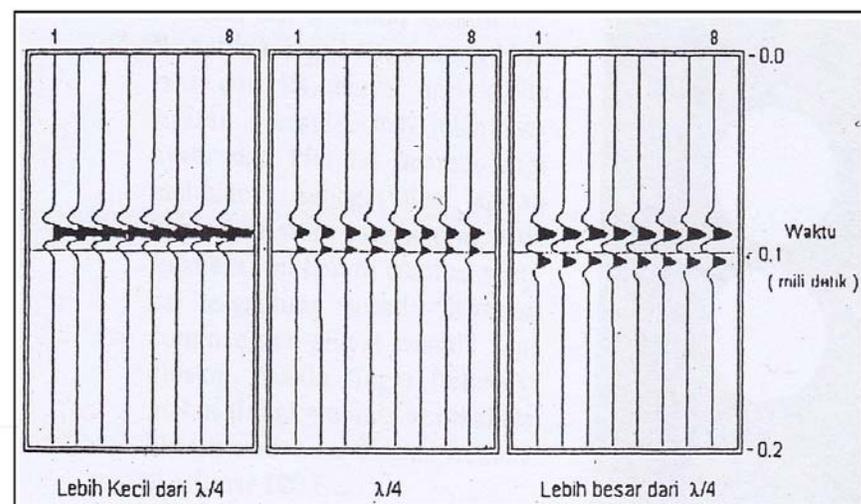
Gambar-gambar di bawah ini menjelaskan model pembajian yang berupa lapisan yang ketebalannya menipis ke arah kiri (Gambar 3.9). Trace seismik hasil konvolusi deret koefisien refleksi berdasarkan model geologi dengan Ricker berfrekuensi dominan 60 Hz ditunjukkan pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11. Gambar tersebut menunjukkan tebal lapisan sebesar  $\lambda/4$  sebagai batas refleksi gelombang seismik yang masih tampak terpisah, bila lebih tipis (lebih kecil dari  $\lambda/4$ ), sinyal terpantul yang berasal dari bagian atas dan bagian bawah lapisan tersebut menyatu menjadi satu gelombang.



**Gambar 3.9** Model geologi (pembajian) yang berupa pelapisan pasir yang ketebalannya menipis ke arah kiri (Munadi, 1995)



**Gambar. 3.10** Tras seismik hasil konvolusi deret koefisien refleksi berdasarkan model geologi pada Gambar 3.9 (Munadi, 1995)

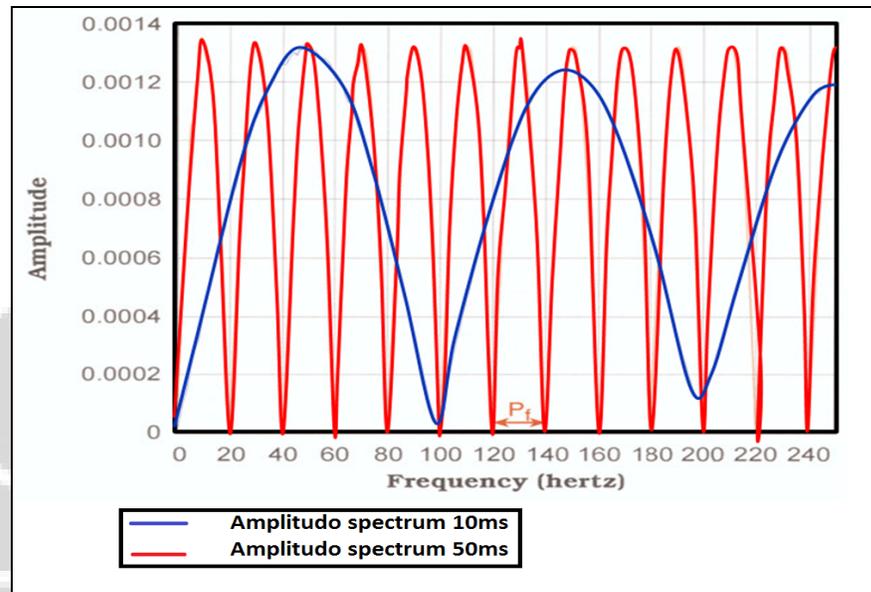


**Gambar. 3.11** Tras seismik menunjukkan tebal lapisan sebesar  $\lambda/4$  (Munadi, 1995)

Ketebalan lapisan model baji menentukan periode dari “notches” didalam spektrum amplitudo yang digambarkan pada domain frekuensi (Gambar 3.12).

$$P_f = \frac{1}{t} \quad (3.9)$$

dimana  $P_f$  adalah periode dari notch spektrum amplitudo pada domain frekuensi (Hz), dan  $t$  adalah ketebalan dari lapisan tipis.

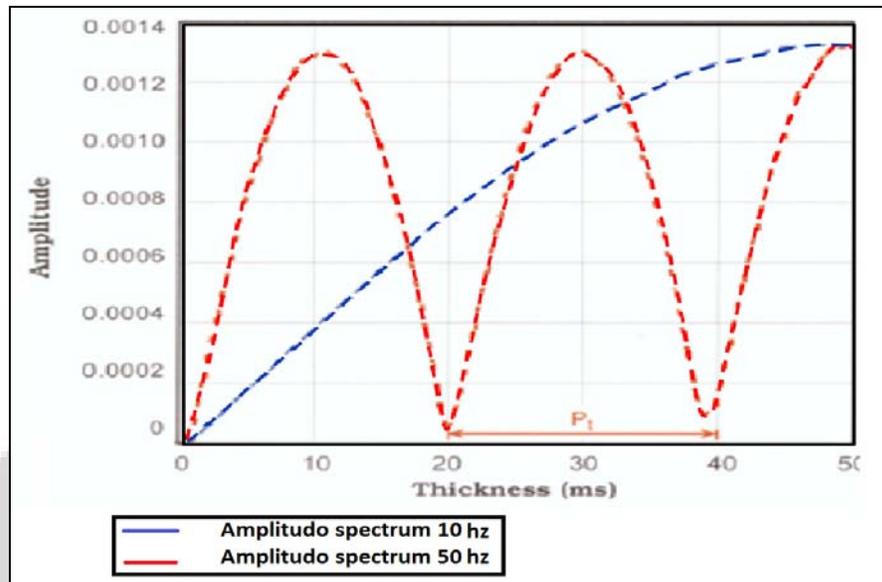


**Gambar 3.12** *Thin-Bed Tuning with Frequency Domain* (Partyka, 1999)

Dengan sudut pandang lain dapat diilustrasikan bahwa nilai dari komponen frekuensi menentukan periode dari “notches” didalam spektrum amplitudo dengan domain waktu (Gambar 3.13).

$$P_t = \frac{1}{f} \quad (3.10)$$

dimana  $P_t$  adalah periode dari *notch* spektrum amplitudo pada domain waktu dan  $f$  adalah frekuensi Fourier diskrit.



**Gambar 3.13** *Thin-Bed Tuning with Time Domain* (Partyka, 1999)

Estimasi ketebalan temporal (Partyka,1999) dapat juga dikerjakan dengan persamaan berikut :

$$\frac{1}{2 * \text{frequency}_{1\text{st-dominant}}} = \text{Ketebalan temporal} \quad (3.11)$$

Dan persamaan yang digunakan untuk menentukan ketebalan sesungguhnya (Partyka,1999) adalah :

$$\text{Ketebalan lapisan} = V_{\text{interval}} \times \frac{\text{Ketebalan Temporal}}{2} \quad (3.12)$$

Sedangkan untuk Lapisan tipis (Landmark,2003), ketebalan tuning ( $\Delta Z$ ) dapat dihitung dengan persamaan seperti berikut ini :

$$\Delta Z \text{ tuning} = V / (4 * f) = (T/2) * V \quad (3.13)$$

dimana  $\lambda$  = *wavelength*

T = *2-way time*

V = *velocity*

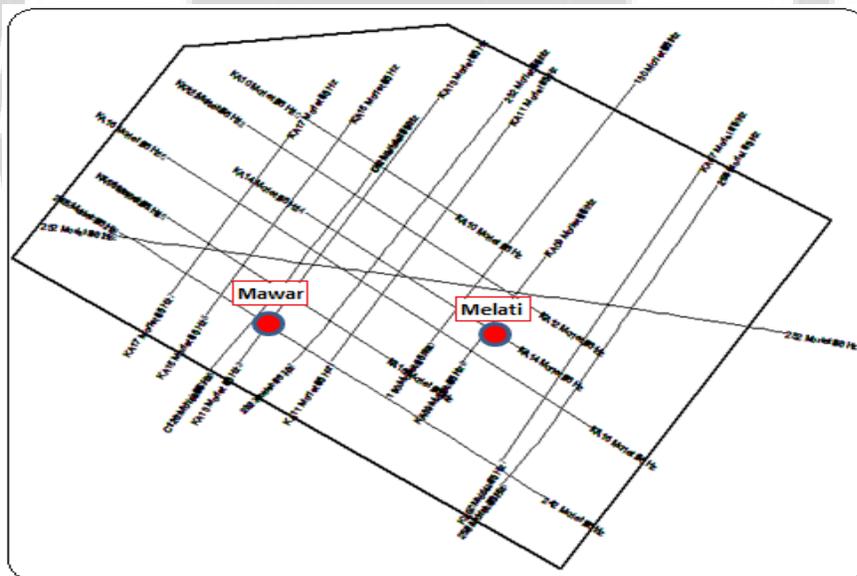
## BAB 4

### PENGOLAHAN DATA DAN INTERPRETASI

#### 4.1. Data

##### 4.1.1. Data Seismik

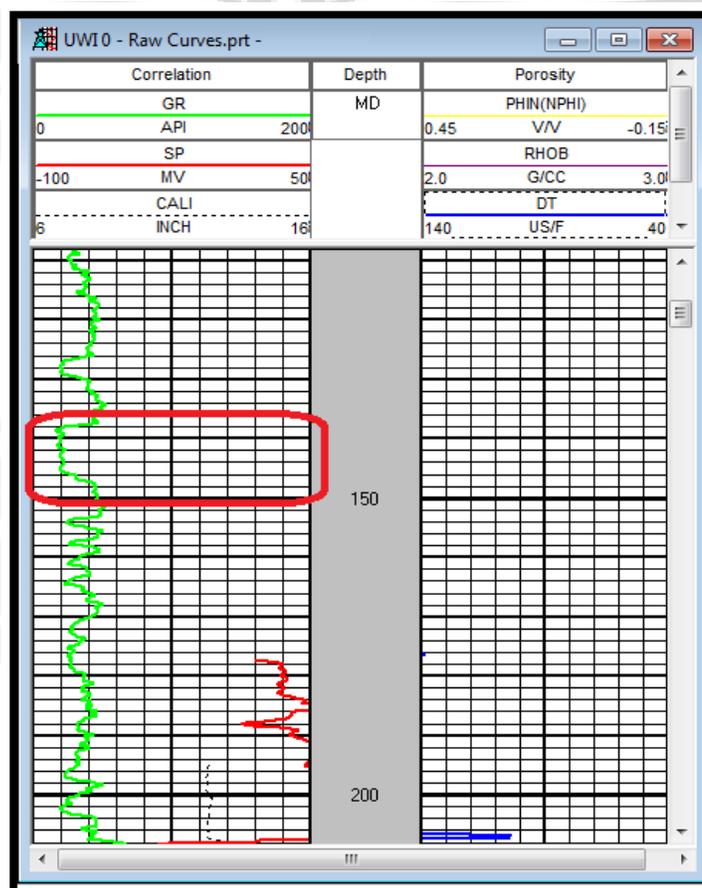
Daerah penelitian terdiri dari 17 lintasan seismik 2D seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini. Lintasan ini terdiri dari 6 lintasan dari data lama (1996) dan 11 lintasan baru (2007). Data seismik berupa data dengan format SEG-Y yang telah di *post stack*. Kemudian pada data seismik ini dilakukan penarikan horizon batubara. Pada data lintasan seismik yang lama, ditemukan sedikit kesulitan dalam menginterpretasikan horizon batubara. Hal ini dikarenakan pada lintasan tersebut memiliki reflektor seismik kurang baik. Sebagai objek penelitian adalah lapisan batubara di lapangan B pada kedalaman antara 100 meter sampai 400 meter dan dilakukan pengamatan secara interpretatif dengan menggunakan data 2 buah sumur sebagai kontrolnya.



**Gambar. 4.1.** 17 Lintasan seismik 2D pada daerah penelitian

#### 4.1.2. Data Sumur

Pada penelitian ini terdapat 2 data sumur, yaitu sumur Mawar dan Melati. Kedua sumur ini merupakan sumur yang memiliki data checkshot, sehingga dapat dilakukan *well seismic tie* pada data sumur dan seismik. Dari hasil analisa rekaman log Gamma Ray yang menunjukkan nilai 19-39 API, dan pengeboran inti pada sumur Mawar terdapat endapan lapisan batubara pada kedalaman 75-160 m. Dari data sumur terlihat adanya 11 lapisan batubara dengan ketebalan 2-10 m. Lapisan batubara sebagai objek penelitian terdapat pada sumur Mawar dengan ketebalan 10 m pada kedalaman 138m-148 m, seperti yang terlihat pada gambar 4.2 di bawah ini.



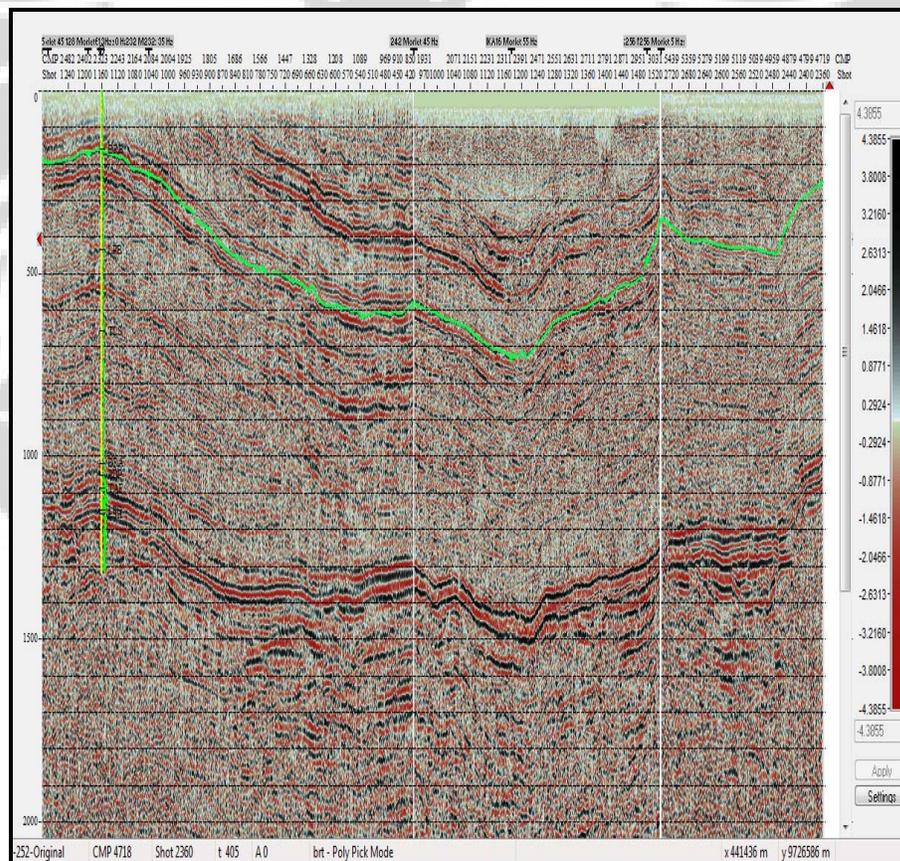
**Gambar. 4.2.** Rekaman Log Gamma Ray, lingkaran warna merah menunjukkan lapisan batubara sebagai objek penelitian.

## 4.2. Pengolahan Data

### 4.2.1. Data Seismik

#### 4.2.1.1. Interpretasi Horizon

Interpretasi horizon dilakukan dengan menggunakan software *Geographix (Seisvision)*, dan dari hasil *well tie* seismik dan grafik konversi domain kedalaman terhadap domain waktu maka didapat lapisan batubara yang dijadikan patokan sebagai penarikan horizon batubara. Sebelum dilakukan penarikan horizon batubara, masing-masing line seismik dilakukan *shifting* untuk saling korelasi antara line lintasan seismik 2D, hal ini dilakukan untuk pensejajaran dari horizon yang sama berdasarkan kesamaan karakter seismik. Dibawah ini adalah gambar dari *composite 3* lintasan seismik 2D.

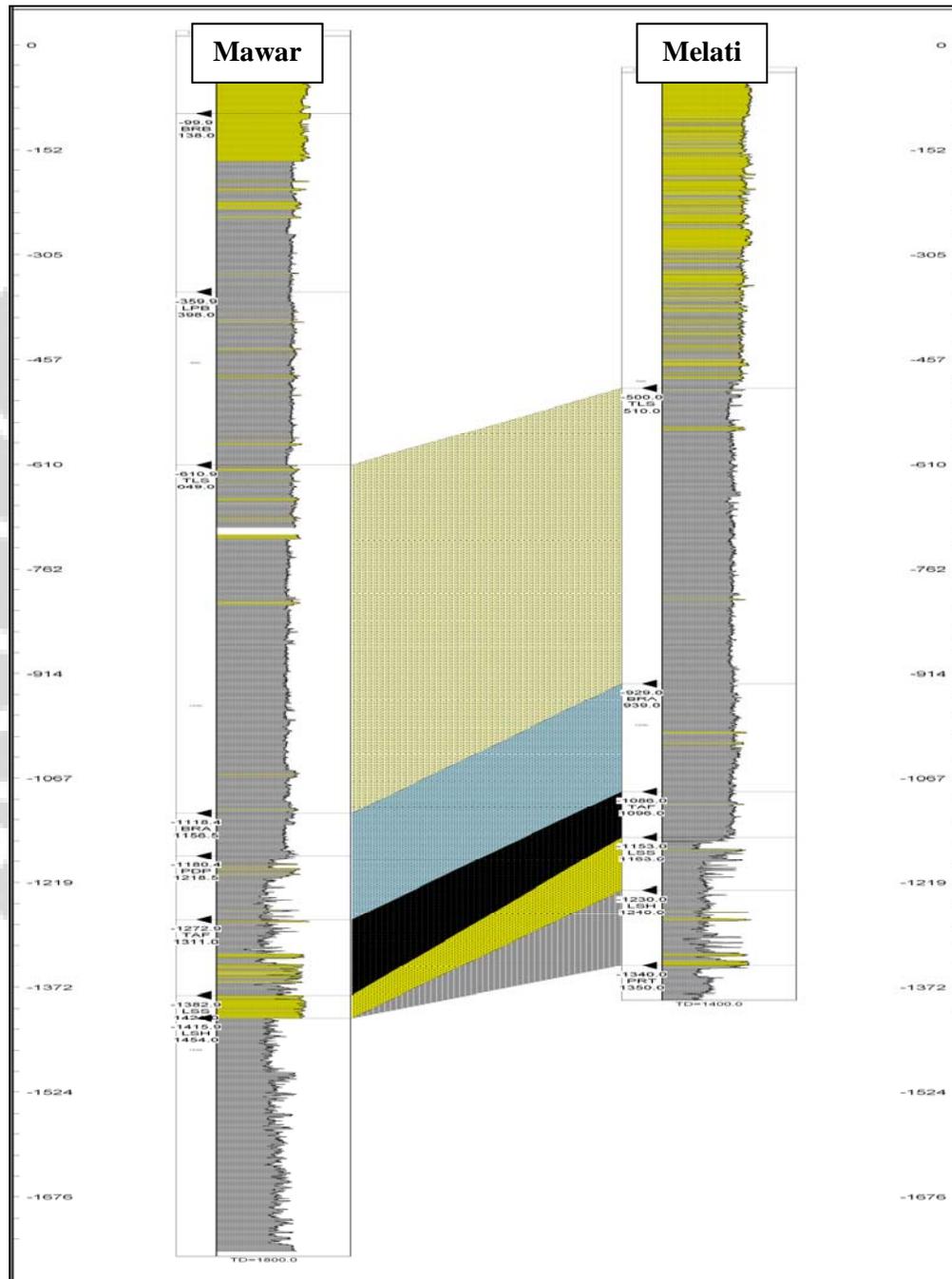


**Gambar. 4.3** *Composite* lintasan seismik 2D ; L1, L2 dan L3

## 4.2.2. Data Sumur

### 4.2.2.1. Korelasi Data Sumur

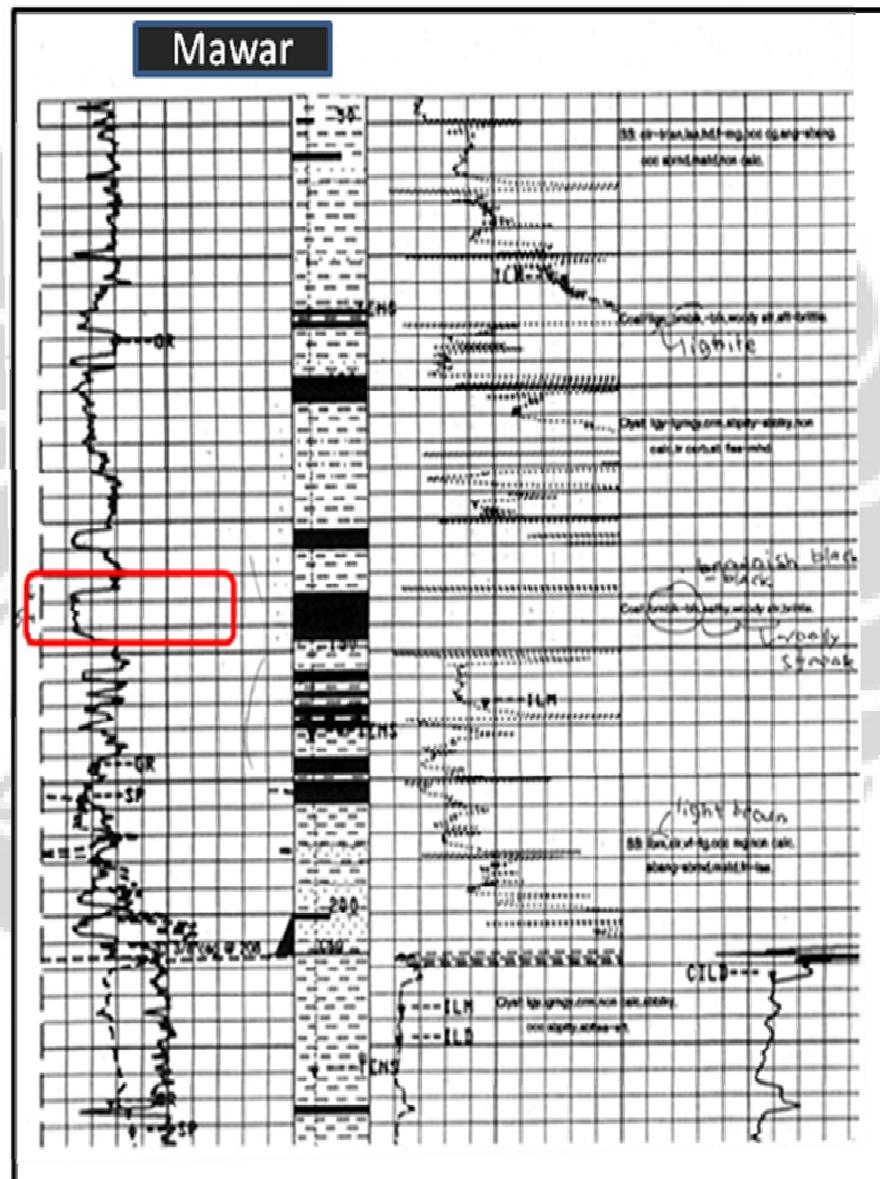
Hasil korelasi kedua data sumur, yaitu sumur mawar dan sumur melati dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini :



Gambar. 4.4 Korelasi sumur mawar dan sumur melati

#### 4.2.2.2. Menentukan Objek Data

Objek pada penelitian ini berupa lapisan batubara dengan ketebalan 10 meter terdapat pada sumur Mawar dengan kedalaman 138 meter – 148 meter. Gambar 4.4 dibawah ini menunjukkan lapisan batubara sebagai objek penelitian dari hasil rekaman logging dan pemboran inti.



Gambar. 4.5 Lapisan batubara sebagai objek penelitian pada kedalaman 138 – 148 m (Ardhyastuti, 2010)

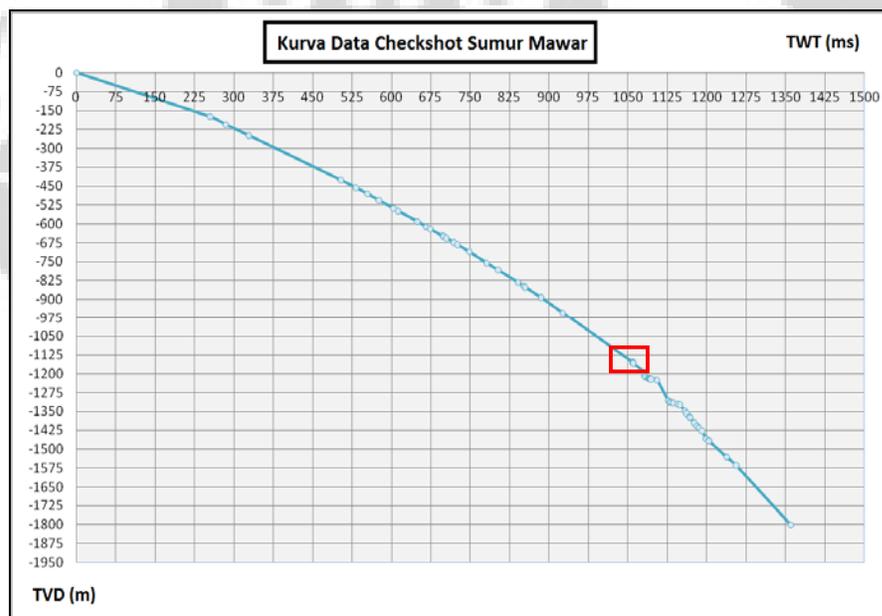
#### 4.2.2.3. Menentukan *Time Depth Data*

Data checkshot dari sumur Mawar digunakan untuk konversi log pada domain kedalaman terhadap domain waktu. Konversi domain kedalaman ini penting dalam mengerjakan data seismik karena data seismik dikerjakan dalam domain waktu dan dibutuhkan dalam meng-*tie* seismik untuk mengkorelasikan dengan data log sumur.

Pada gambar grafik di bawah ini menunjukkan lapisan batubara sebagai objek penelitian berada pada kedalaman 138 meter yang telah dikonversikan menjadi 198 ms.

Pada Gambar 4.5. menggambarkan kurva data checkshot untuk sumur Mawar. Titik merah menunjukkan interval lapisan batubara sebagai objek penelitian. Dari data checkshot ini diperoleh nilai velocity interval yaitu sebesar :

$$\text{Velocity interval} = \frac{1152,14 \text{ m}}{(1058,52/2)\text{ms}} = 2,176 \text{ m/ms} = 2.176 \text{ m/s}$$



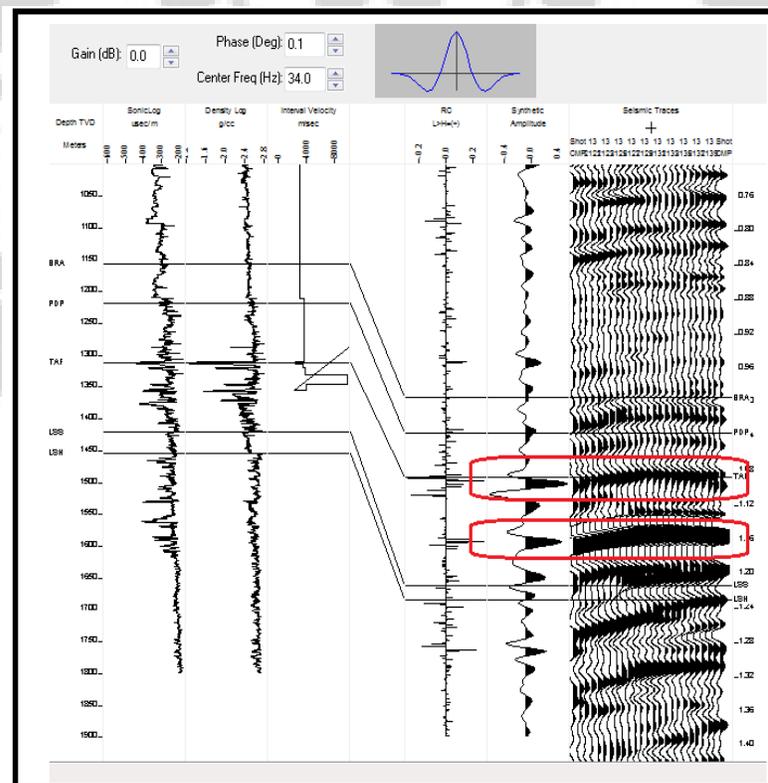
**Gambar. 4.6** Kurva data checkshot untuk sumur Mawar (warna merah menunjukkan interval lapisan batubara sebagai objek penelitian)

### 4.2.3. Pengikatan Data Seismik Terhadap sumur (*well-seismic tie*)

Proses untuk melakukan interpretasi horison seismik (skala dan waktu) pada posisi kedalaman yang sebenarnya dan agar data seismik tersebut dapat dikorelasikan dengan data geologi lainnya yang umumnya diplot pada skala kedalaman. Dalam melakukan well to tie seismik yang pertama tama harus dilakukan adalah ekstraksi wavelet, dalam pengerjaan ini penulis memakai metoda statistikal, dimana tipe fase yang dipakai adalah tipe *constant phase* dan untuk korelasi waktu terhadap kedalaman (*time-depth curve*) digunakan data *checkshot*.

Hal yang penting yang harus dikerjakan sebelum interpretasi seismik adalah membuat seismogram sintetis. Menyamakan model wavelet dari seismogram sintetis dengan wavelet sumur dan mengkorelasikannya.

Dalam pengerjaan well seismik tie penulis menggunakan software GeoGraphix (GGX). Setelah wavelet sesuai maka dilakukan shifting antara *synthetic trace* dan *composite trace* pada data seismik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dibawah ini



**Gambar. 4.7** Proses shifting dalam well totie seismik pada data seismik L1 dan Sumur Mawar

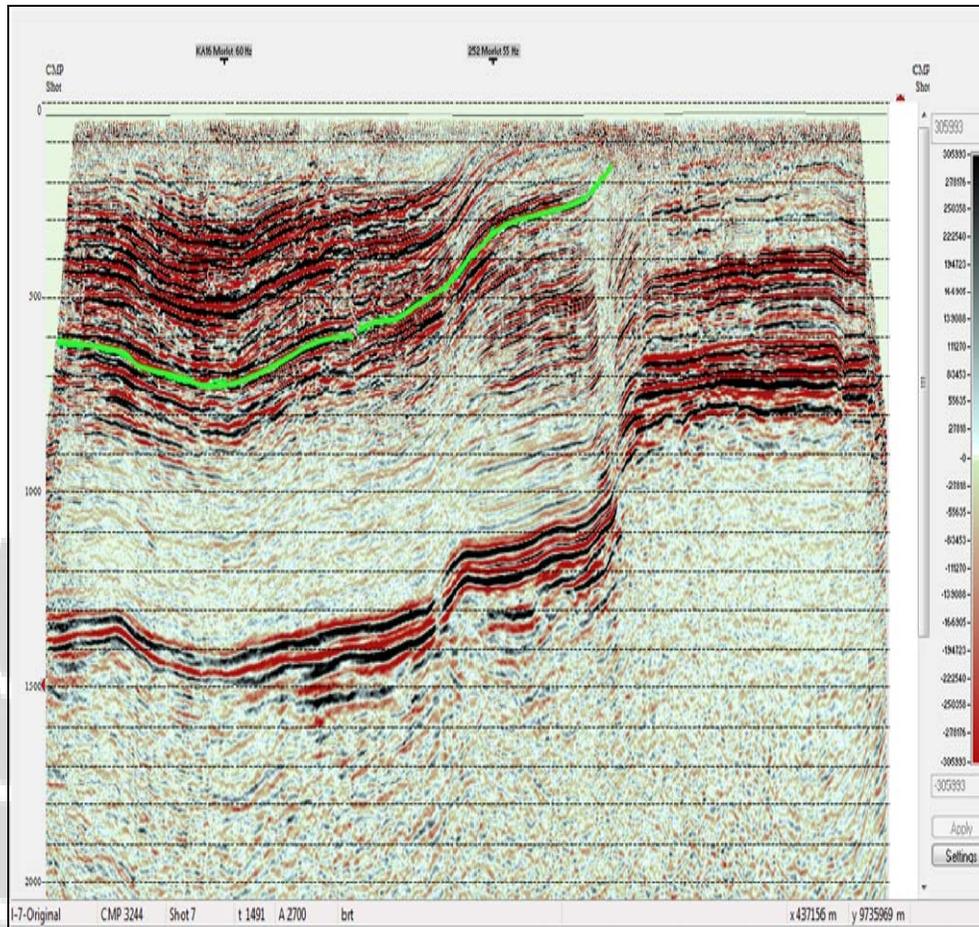
### 4.3. Pengolahan Data Dekomposisi Spektral

#### 4.3.1 Pengolahan Data Seismik

Seperti telah singung didepan, di bab ini akan dibahas mengenai pengolahan data untuk estimasi ketebalan dan penyebaran lapisan tipis batubara menggunakan metoda dekomposisi spektral. Metode dekomposisi spectral yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Continuous Wavelet Transform (CWT) yang dijalankan pada software Opendtect. Berikut ini akan dibahas mengenai pengolahan data seismik 2D dalam aplikasinya pada opendtect.

Data yang diolah sebagai data real berupa data SEGY sebanyak 17 lintasan yang sudah diinterpretasi horizon batubara sebagai objek penelitian. Dekomposisi spektral yang dilakukan yaitu metoda CWT untuk menentukan ketebalan dari lapisan batubara. Prinsip utama dari metoda ini adalah dengan mentransformasi data seismik 2D kedalam time-frekuensi domain. Hasilnya adalah berupa layer-layer spektrum yang berbeda beda. Spektrum amplitudo dipercaya merepresentasikan variasi ketebalan lapisan sebagai fungsi waktu sedangkan fasa spektrum memberikan indikasi ketidakselarasan geologi secara vertical maupun lateral.

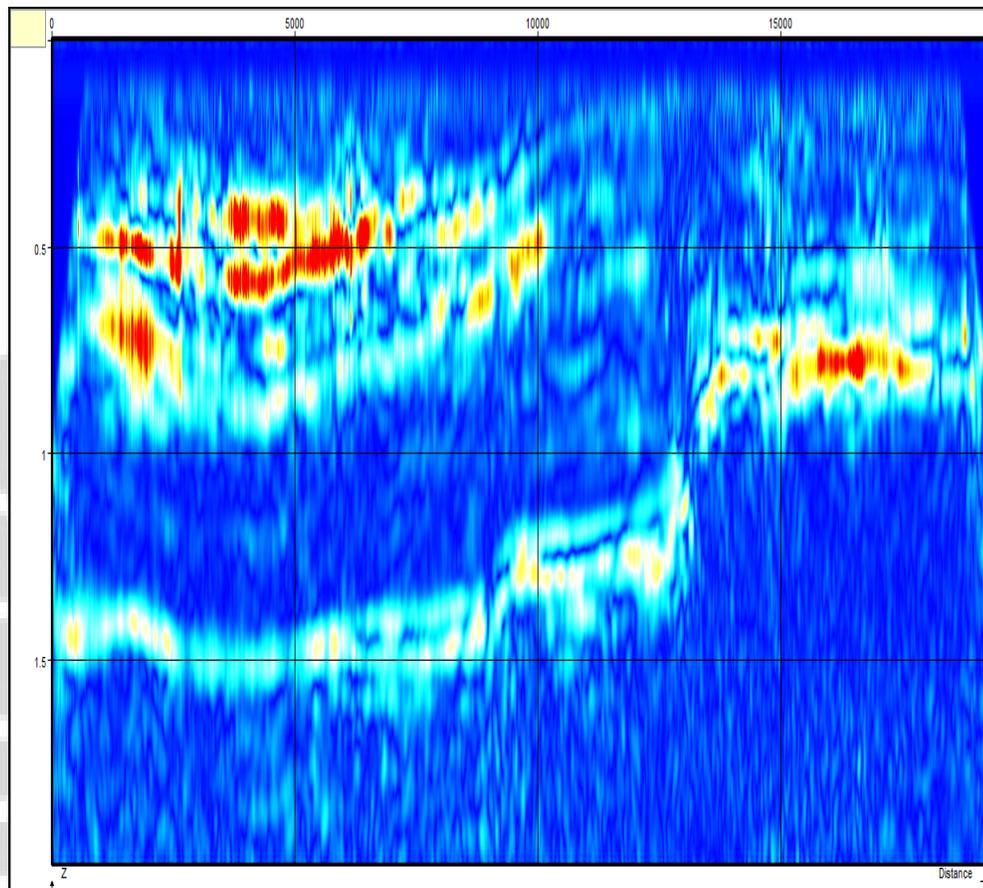
Gambar 4.8 berikut ini merupakan lintasan L7 yang telah dilakukan pemilihan horizon pada lapisan batubara. Interpretasi dilakukan pada ke 17 lintasan. Hasil pickingan horizon pada keseluruhan lintasan dapat dilihat pada lampiran 5.1.



**Gambar. 4.8** Data seismik 2D lintasan L7, garis hijau menunjukkan horizon batubara.

Interpretasi dilakukan pada software Geographix (GGX). Sedangkan dalam pengolahan data Dekomposisi Spektral (CWT), software yang digunakan adalah OpenDtect. Penulis melakukan loading data SEG-Y di kedua software tersebut. Kemudian hasil pengolahan data SEG-Y yang telah dilakukan dekomposisi spektral pada OpenDtect, dikeluarkan dari OpenDtect. Data SEG-Y hasil CWT tersebut kemudian di masukkan ke dalam software GGX untuk kemudian dilakukan interpretasi.

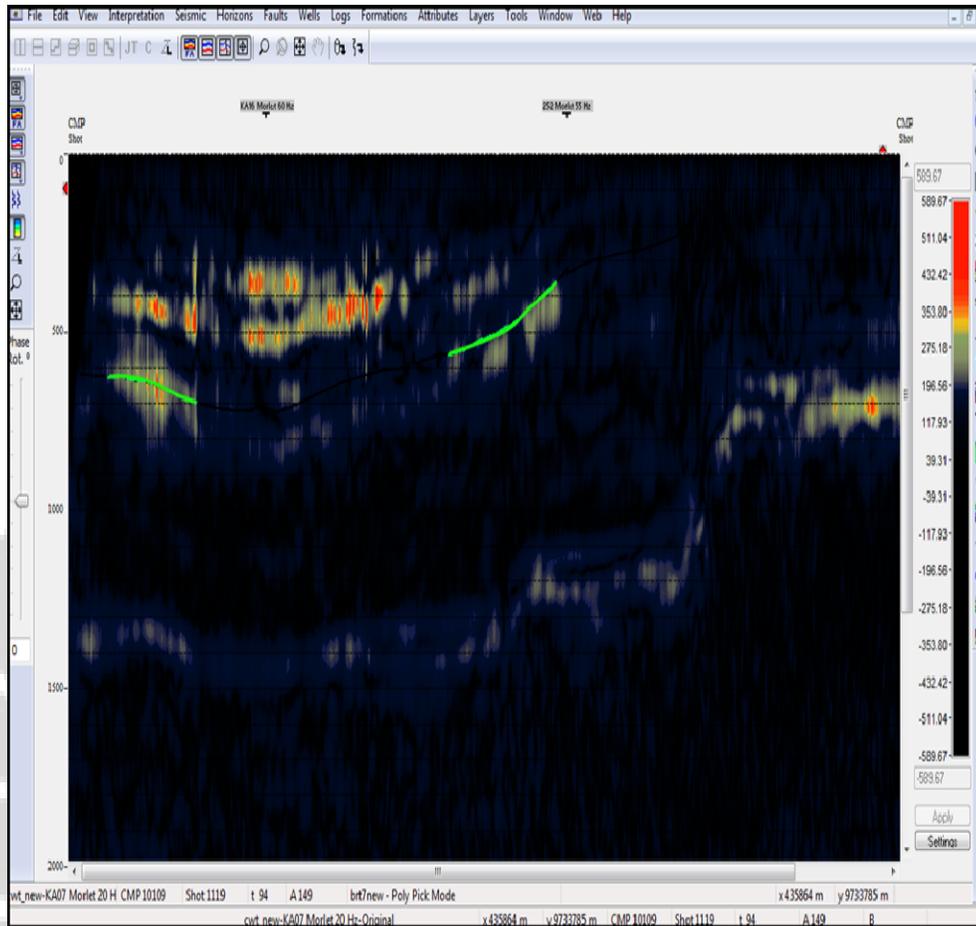
Pada Gambar 4.9 merupakan lintasan L7 pada OpenDtect hasil proses spektral dekomposisi (CWT) yang kemudian di-*export* dan di-*import* kembali ke dalam GGX seperti pada Gambar 4.10.



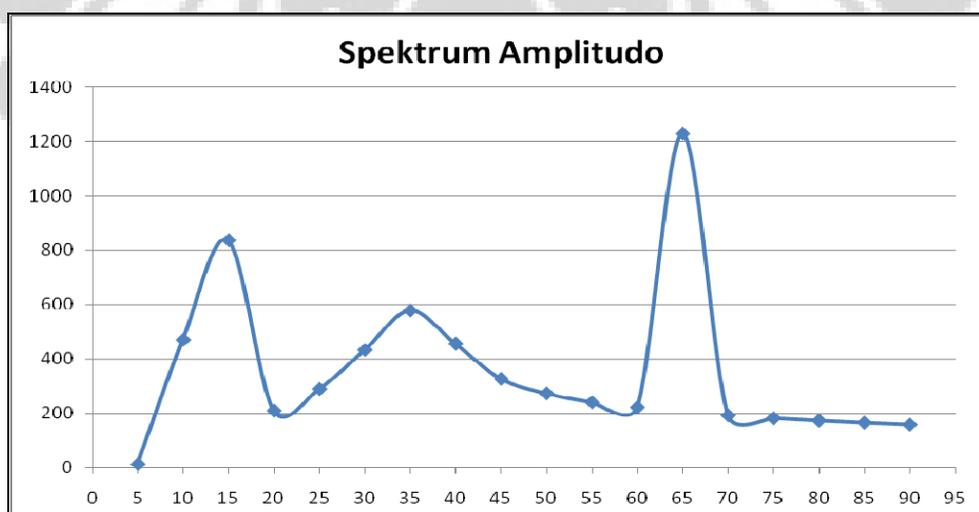
**Gambar. 4.9** Lintasan L7 hasil proses dekomposisi spektral (CWT) frekuensi 20 Hz pada OpenDtect.

### 4.3.2 Frekuensi Tuning

Langkah selanjutnya dari proses ini adalah menentukan frekuensi tuning dari spektrum amplitudo. Interpretasi dilakukan pada event frekuensi yang dipercaya mewakili lapisan batubara. Pada Gambar 4.11 dapat dilihat lintasan L7 memiliki tuning frekuensi 20 Hz. Pada penelitian ini diasumsikan tuning frekuensi berada pada puncak pertama dari data spektrum amplitudo.



**Gambar. 4.10** Lintasan L7 hasil proses spektral dekomposisi(CWT) frekuensi 40 Hz pada GGX.



**Gambar. 4.11** Spektrum Amplitudo pada lintasan L7 hasil interpretasi.

Didalam terminologi dekomposisi spektral, frekuensi dimana target terlihat dengan jelas yang disebut dengan *Tuning Frequency*, dan penentuan *Tuning Frequency* ini bersifat *interpretative*.

#### 4.3.3 Estimasi ketebalan lapisan batubara

Lapisan tipis memiliki spektrum refleksi yang lebih besar dari pada wavelet spektrum amplitudo sumbernya. Pada refleksi spektrum amplitudo dari tebalnya lapisan dijumpai beberapa *notch* (tukikan) yang memiliki hubungan pada jarak antar *notch* dengan ketebalan temporal dari sebuah lapisan tipis. Apabila dijumpai pada refleksi spektrum amplitudo hanya satu notch, maka yang digunakan adalah frekuensi puncak yang paling pertama. Pada penelitian ini, persamaan yang digunakan dalam penentuan ketebalan lapisan batubara adalah persamaan menurut Partyka, dkk (1999), seperti pada persamaan 3.11 dan 3.12 pada bab 3 sebelumnya.

Frekuensi puncak pertama merupakan gambaran dari tuning frekuensi. Tuning frekuensi secara keseluruhan adalah gambaran dari ketebalan temporal. Dalam penelitian ini kita harus menentukan tuning frekuensi dari lapisan batubara pada setiap lintasan seismik. Lintasan seismik dengan tuning frekuensi mengindikasikan keberadaan dari lapisan batubara. Pada lintasan yang tidak terdapat tuning, maka mengindikasikan tidak terdapat keberadaan lapisan batubara pada lintasan ini. Dan begitu pula sebaliknya, apabila pada lintasan tersebut terdapat tuning, maka diindikasikan adanya lapisan batubara pada lintasan tersebut.

Pada Tabel 4.1 di bawah ini dapat dilihat hasil perhitungan estimasi ketebalan pada lapisan hasil interpretasi menggunakan software *Microsoft Excel*. Setiap lintasan diwakili oleh beberapa titik pada hasil interpretasi lapisan batubara. Kemudian ditentukan tuning frekuensi ( $f_p$ ), *temporal thickness* ( $tt$ ) dan ketebalannya (*thickness*).

Lintasan	x	y	fp (hz)	tt (s)	thickness (m)
L1	412518.3	9729296.3	20	0.013	11.48
L1	415587.9	9727033.7	20	0.013	11.48
L1	418934.1	9724622.8	30	0.008	7.65
L1	425288.8	9720129.9	20	0.013	11.48
L2	428513.3	9719547.7	20	0.013	11.48
L2	430994.0	9723452.0	20	0.013	11.48
L2	432947.6	9726688.2	20	0.013	11.48
L5	417421.1	9725586.1	25	0.010	9.19
L5	418501.0	9727040.6	25	0.010	9.19
L5	419778.0	9728896.0	25	0.010	9.19
L5	422712.6	9733234.1	25	0.010	9.19
L6	414420.1	9726689.2	20	0.013	11.48
L6	416475.7	9729477.6	25	0.010	9.19
L6	417235.4	9730651.0	25	0.010	9.19
L7	428795.3	9721849.3	65	0.004	3.53
L7	430559.8	9724831.0	15	0.017	15.31
L7	432103.0	9727438.4	15	0.017	15.31
L7	432991.6	9728934.2	15	0.017	15.31
L9	425879.7	9725757.1	65	0.004	3.53
L9	426208.6	9726240.9	65	0.004	3.53
L9	426453.1	9726600.6	65	0.004	3.53
L12	427447.3	9729009.5	15	0.017	15.31
L12	428074.5	9728545.8	15	0.017	15.31
L12	428667.0	9728110.2	65	0.004	3.53
L18	418059.8	9727724.4	70	0.004	3.28
L18	418422.2	9727457.6	70	0.004	3.28
L18	420837.9	9725679.0	65	0.004	3.53

**Tabel. 4.1** Estimasi ketebalan lapisan pada setiap line hasil interpretasi

## **BAB 5**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1. Analisis Data**

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis dari interpretasi data seismik dan data sumur. Kemudian hasil dari analisis dan interpretasi dari data seismik dan sumur ini digunakan untuk estimasi ketebalan lapisan batubara dengan hasil pengolahan data menggunakan metode CWT, dimana prosesnya telah dijabarkan pada Bab 4. Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil akhir dari proses yang telah dijelaskan pada Bab 4 sebelumnya.

##### **5.1.1. Analisis Hasil Interpretasi Data Seismik**

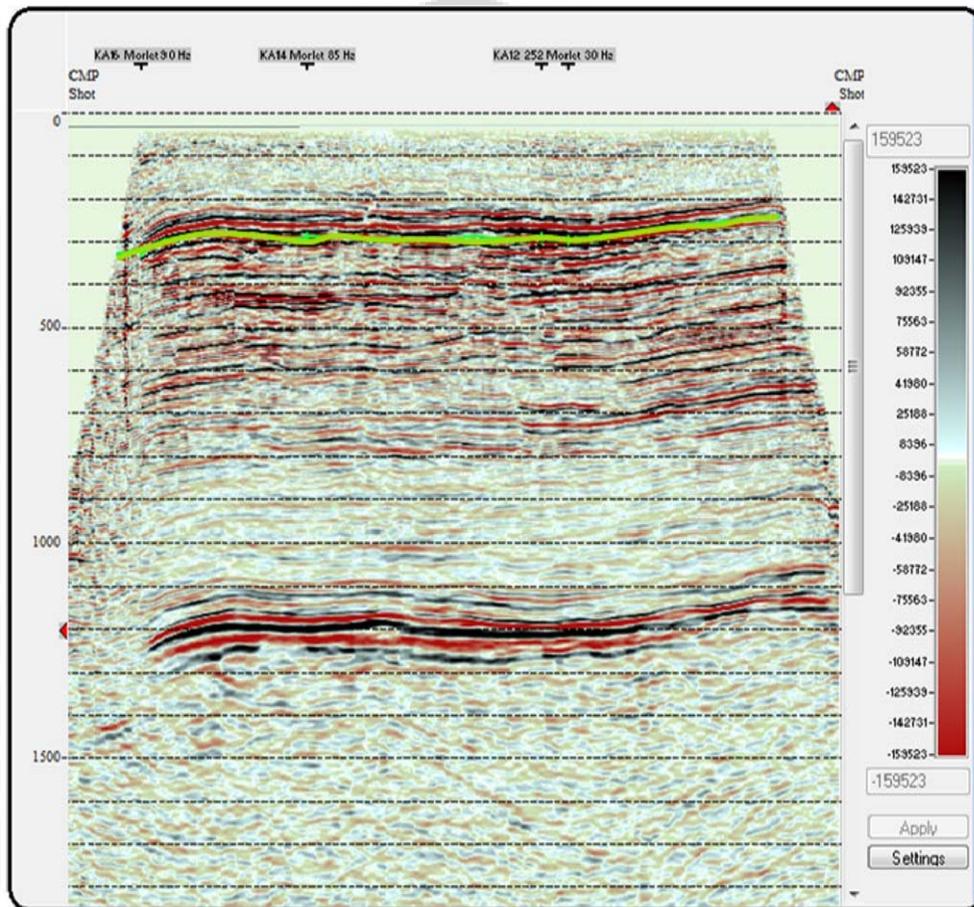
Pada Bab 4 telah dibahas mengenai interpretasi yang dilakukan pada 17 lintasan data seismik 2D. Hasil interpretasi pada ke-17 lintasan dapat dilihat pada Lampiran 5.1.

Data seismik terdiri dari 17 lintasan yang terdiri dari 11 lintasan baru (2007) dan 6 lintasan lama (1996). Pada data lintasan lama, interpretasi pada horizon batubara mengalami kesulitan, dikarenakan resolusi yang kurang baik pada penampang seismik. Sedangkan pada data baru resolusi seismik pada penampang cenderung lebih baik, sehingga mempermudah penulis dalam penentuan horizon batubara.

Dari hasil interpretasi horizon pada data seismik 2D yang telah dilakukan terlihat kehadiran lapisan batubara terdapat pada kedalaman 0-738 ms. Pada beberapa lintasan, lapisan batubara tidak terlihat dan tidak terjadi kemenerusan. Hal ini mungkin diakibatkan karena kehadiran beberapa patahan-patahan besar yang menyebabkan ketidakmenerusan dan pengangkatan pada lapisan batubara. Lapisan batubara menghilang pada bagian utara daerah penelitian dari lapangan B.

Pada Gambar. 5.1 dapat dilihat hasil interpretasi pada data seismik real di lintasan L9. Lintasan L9 merupakan salah satu dari line yang baru, sehingga resolusi pada penampang seismik lebih baik dibandingkan seismik yang lama.

Gambar 5.1 berikut ini hasil interpretasi dari lapisan batubara pada lintasan seismik L9 :



**Gambar. 5.1** Hasil interpretasi pada seismik 2D lintasan L9

### 5.1.2. Analisis Hasil Interpretasi Data Sumur

Dari hasil pengolahan data sumur, diperoleh adanya beberapa lapisan formasi, yaitu pada sumur mawar terdapat Formasi Palembang pada bagian atas dan diikuti oleh Formasi Telisa, Baturaja, Pendopo, Talang Akar, dan Lemat. Formasi Palembang ditemukan pada kedalaman 0-649 m. Formasi Telisa pada kedalaman mencapai 649-1165 m. Formasi Baturaja pada kedalaman 1165-1218 m, Formasi Pendopo pada kedalaman 1218-1311 m. Formasi Talang Akar pada kedalaman 1311-1421 m dan batas atas Formasi lemat pada kedalaman 1421 m. Dari data Well Report dan studi sebelumnya, diketahui bahwa pada daerah sinar terdapat lapisan batubara pada Formasi Palembang dengan kedalaman 138-148 m yang menjadi target pada penelitian ini.

Pada data sumur melati, terdapat beberapa lapisan formasi yang sama dengan sumur mawar, yaitu Formasi Palembang, Telisa, Baturaja, Talang akar, Lemat dan terdapat Formasi Pre Tertian. Formasi Palembang terdapat pada lapisan atas yaitu pada kedalaman diatas 510 m. Diikuti dengan Formasi Telisa dengan batas atas lapisan pada kedalaman 510 m, dan batas atas pada Formasi Baturaja yaitu 939 m, Formasi Talang Akar pada 1096, pada Formasi Lemat 1163 m dan pada Formasi Pretertian yaitu 1350 m. Pada sumur melati ini, lapisan batubara terdapat pada Formasi Palembang yaitu pada kedalaman 204-207 m.

### 5.1.3. Analisis Estimasi Ketebalan dan Penerusan Lapisan Batubara

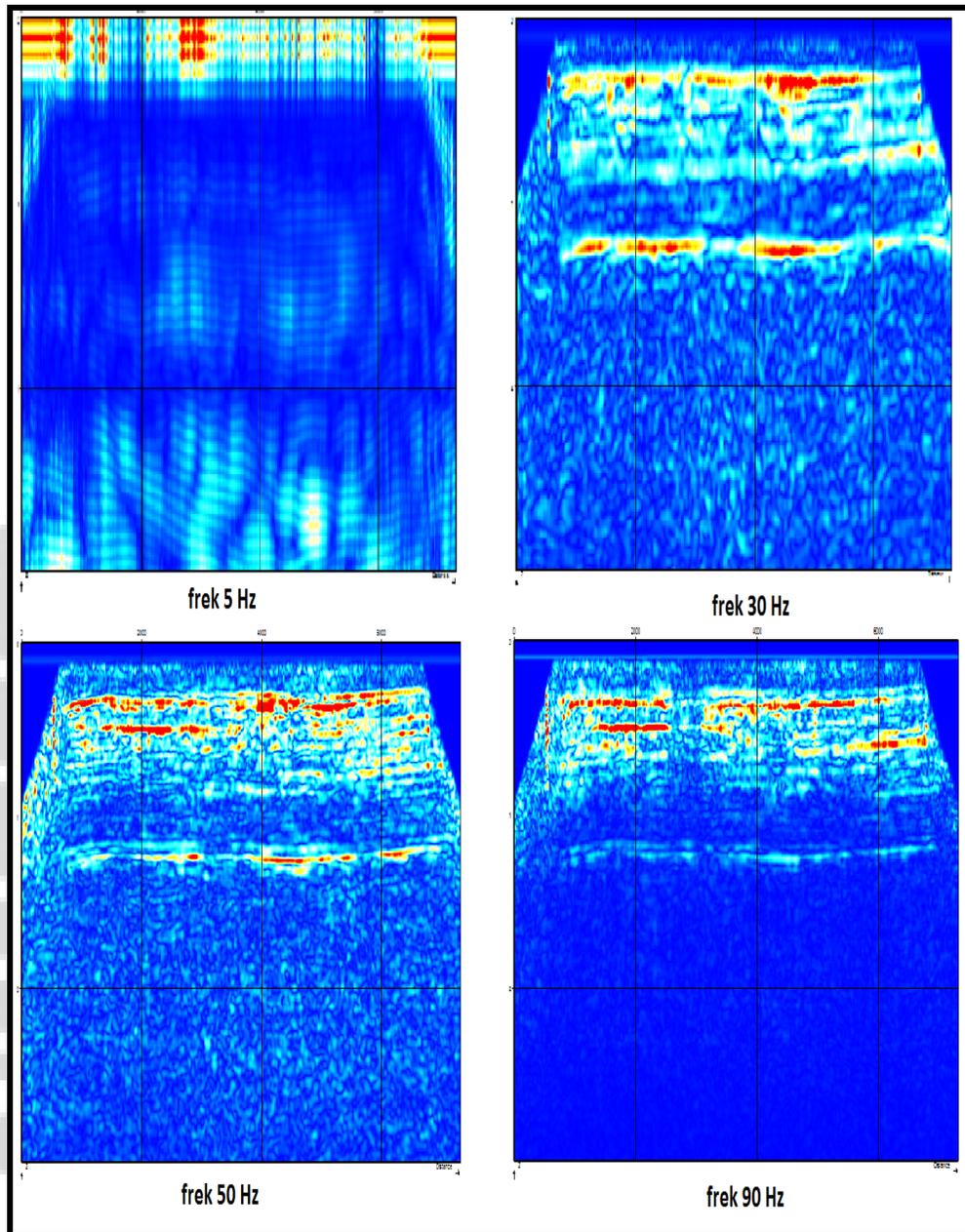
Metoda spektral dekomposisi mengaplikasikan transformasi wavelet pada keseluruhan data seismik untuk mendapatkan informasi dalam domain frekuensi, sehingga thickness pada domain waktu (*time domain*) menjadi *time thickness* pada domain frekuensi (*frequency domain*). Dengan demikian, distribusi lateral lapisan tipis bisa diketahui dengan mudah.

Dari hasil pengolahan data yang dilakukan dengan metoda dekomposisi spektral (CWT), lapisan batubara pada horizon tertentu didapatkan lapisan batubara dengan ketebalan maksimum kurang lebih 16 meter. Penulis mengambil maksimum ketebalan lapisan batubara dari tuning frekuensi yaitu berdasarkan frekuensi puncak pertama dominan, dengan velocity interval batubara adalah 1837 m/s berdasarkan data checksot yang ada.

Hasil aplikasi dari dekomposisi spektral berupa nilai frekuensi dan ketebalan lapisan batubara, kemudian hasil data tersebut dipetakan penyebaran secara lateral berupa kontur dengan metoda *kriging* menggunakan modul Geotlas pada software GeoGraphix.

Keseluruhan hasil data tuning frekuensi pada pengolahan data hasil spektral dekomposisi dengan metode CWT dapat dilihat pada Lampiran 4.1. Pengolahan data dilakukan pada seluruh line seismik yang terdapat lapisan batubara dengan interval frekuensi 5 Hz, 0-90 Hz.

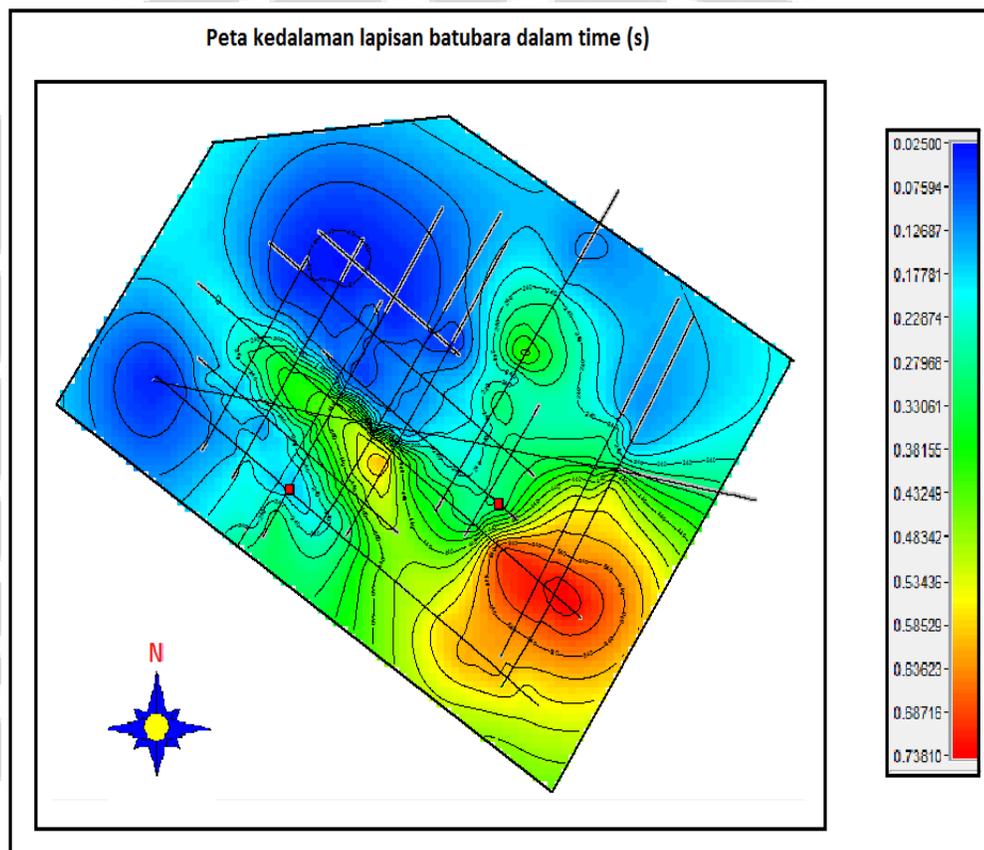
Gambar 5.2 berikut ini merupakan hasil pengolahan data hasil CWT pada OpenDtect di lintasan 9 pada frekuensi 5 Hz, 30 Hz, 50 Hz dan 90 Hz dalam kedalaman 3000 ms (3s). Dari hasil proses CWT pada OpenDtect dapat dilihat perubahan nilai amplitudo pada line 9 disetiap frekuensinya. Semakin tinggi nilai frekuensi semakin tajam sebaran nilai amplitudo yang tinggi. Hal ini mencerminkan sebaran lapisan tipis pada frekuensi tinggi. Dan lapisan yang lebih tebal digambarkan oleh frekuensi yang lebih rendah.



**Gambar. 5.2** Hasil analisis dekomposisi spektral seismik 2D yang menunjukkan nilai frekuensi

## 5.2. Hasil Pemetaan Lapisan Batubara pada Lapangan B

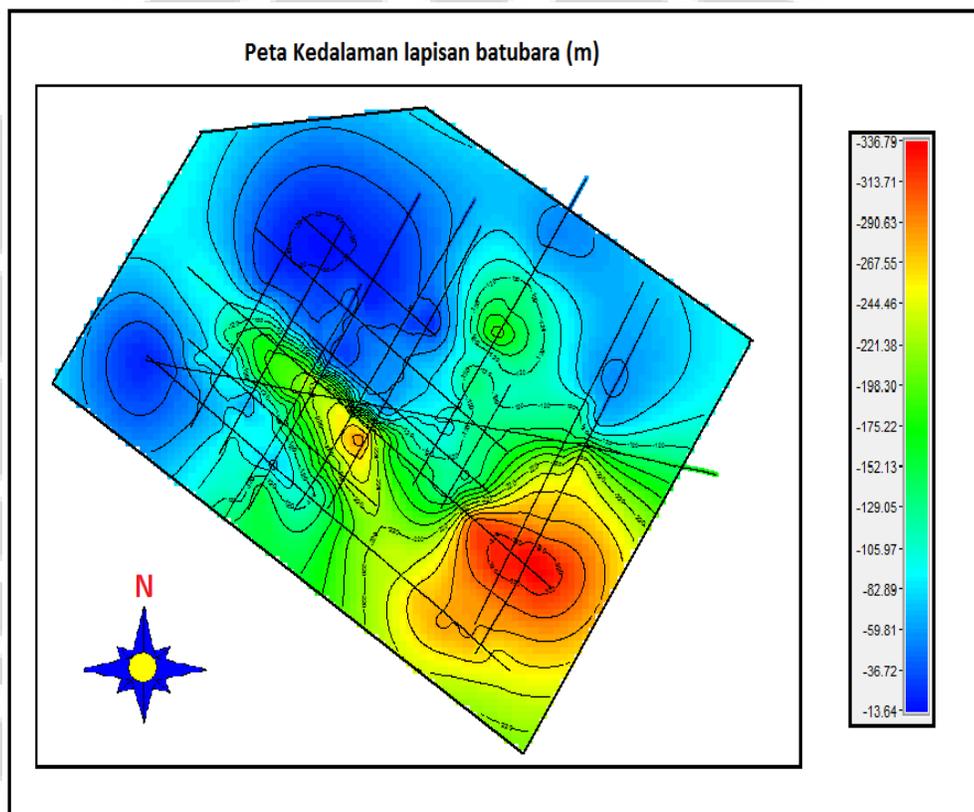
Hasil terakhir dari dekomposisi spektral dan interpretasi dari objek lapisan tipis batubara berupa ketebalan yang kemudian dipetakan dalam bentuk kontur ketebalan lapisan batubara tersebut. Dari hasil interpretasi seismik pada zona kajian, maka diperoleh peta kontur waktu (*time*) struktur permukaan lapisan batubara, kontur kedalaman struktur permukaan lapisan batubara, dan kontur ketebalan lapisan batubara, seperti pada Gambar 5.3, 5.4 dan 5.5



**Gambar. 5.3** Peta kontur waktu (*time*) struktur permukaan batubara di lapangan B, menunjukkan pendangkalan ke arah Barat Laut.

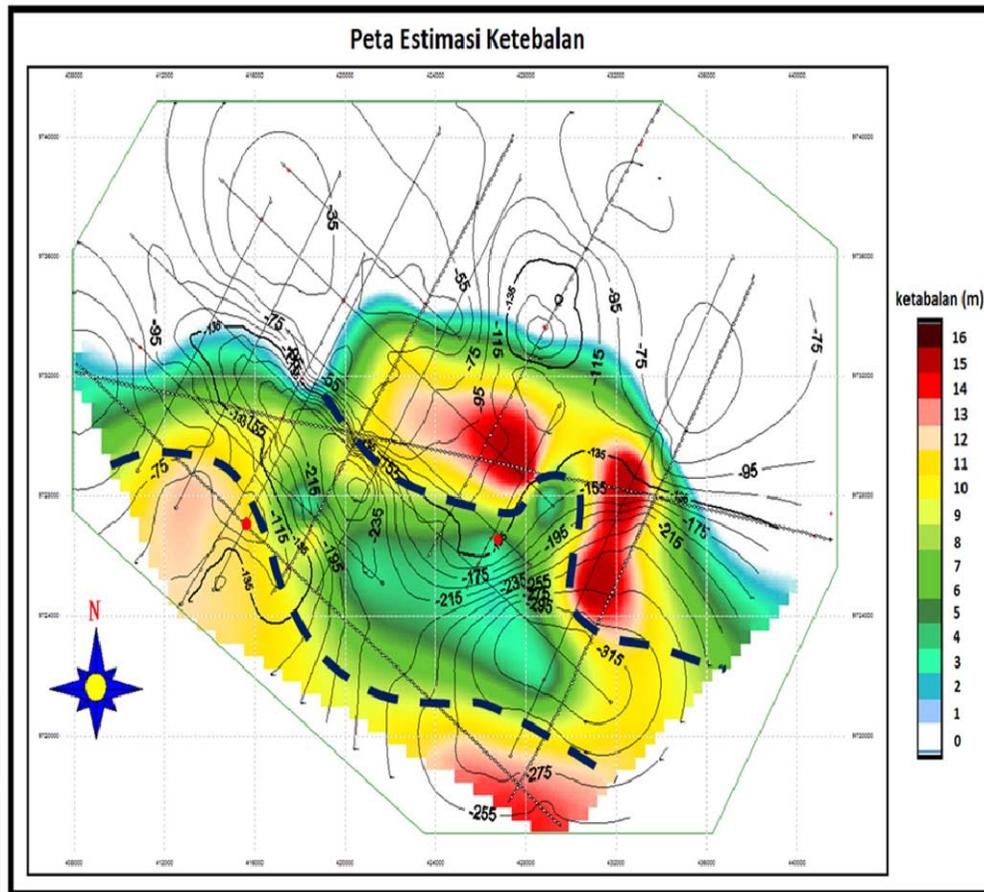
Dari kontur waktu pada struktur permukaan lapisan batubara di lapangan “B” mengalami pendangkalan ke arah Barat Laut. Gambar 5.3 di atas merupakan peta kontur waktu pada struktur permukaan lapisan batubara, dimana warna kuning sampai merah menunjukkan zona dalam, warna hijau zona menengah dan warna biru menunjukkan zona dangkal.

Pada Gambar 5.4 berikut ini, dapat dilihat kedalaman lapisan batubara berada pada kedalaman berkisar antara 0-340 m.



**Gambar. 5.4** Peta kontur kedalaman (*depth*) struktur permukaan batubara di lapangan B, menunjukkan pendangkalan ke arah Barat Laut.

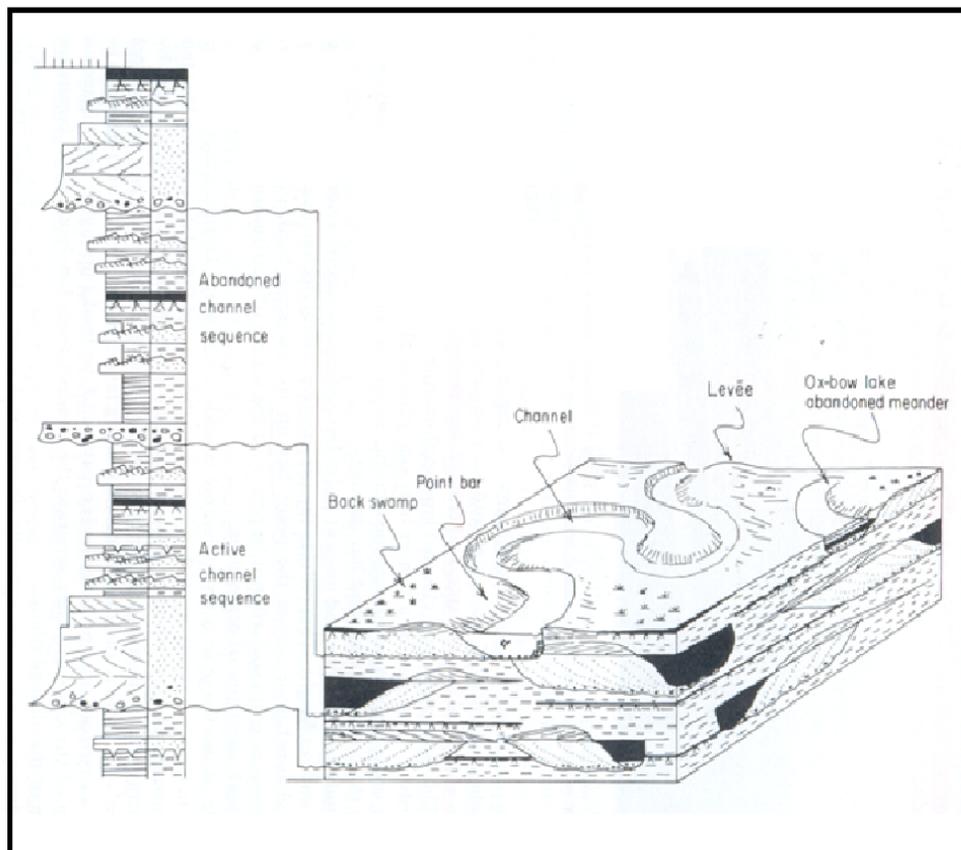
Pada Gambar. 5.5 berikut ini dapat dilihat peta sebaran batubara dengan estimasi ketebalan yang telah dilakukan pada beberapa titik seperti yang tercantum pada Tabel.4.1 sebelumnya.



**Gambar 5.5** Lingkungan pengendapan pembentukan batubara

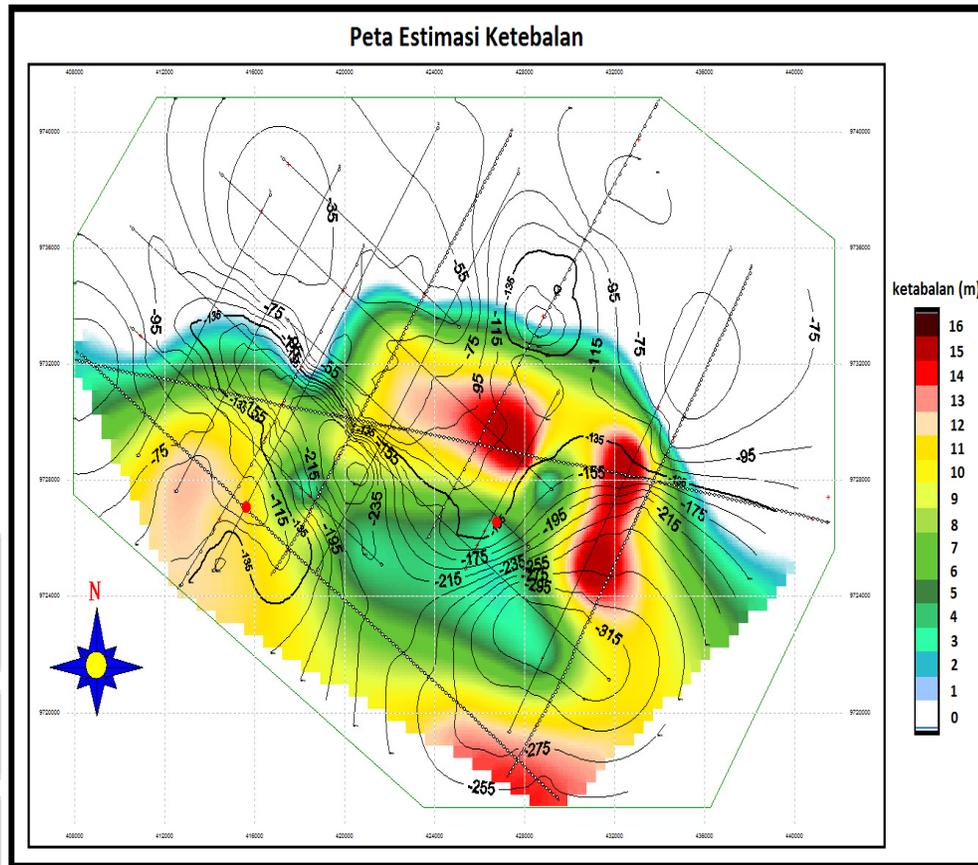
Dari konfigurasi peta ketebalan lapisan batubara, terlihat adanya penebalan yang membentuk suatu lengkungan yang diinterpretasikan sebagai endapan hasil dari proses fluvial. Lapisan batubara juga menghilang pada beberapa daerah dari penelitian dikarenakan terjadinya pengangkatan pada lapisan akibat adanya patahan-patahan besar, sehingga lapisan batubara hilang dan sebagian muncul ke permukaan.

Garis putus-putus berwarna biru pada Gambar 5.5 diinterpretasikan sebagai bentuk chanel dari sistem meander. Dimana pada bagian belakang point bar terdapat rawa tempat penumpukan material organik yang kemudian menjadi bahan pembentukan batubara. Sehingga pada bagian tersebut batubara dapat terdeposisi dengan baik. Hal ini mengacu pada model fasies dari Selley, 1998, pada sungai meandering seperti yang terlihat pada Gambar 5.6. berikut ini :



**Gambar 5.6** Model lingkungan pengendapan sistem sungai meander (Selley,1998)

Ketebalan lapisan batubara pada daerah penelitian berkisar antara 0-16 meter. Pada Gambar 5.7 berikut ini menunjukkan bahwa ketebalan batubara sangat bervariasi. Pada bagian tengah daerah penelitian terdapat zona dengan ketebalan maksimum, yaitu berkisar antara 15,7 m. Sedangkan lapisan tipis terlihat pada bagian selatan daerah penelitian, yaitu dengan ketebalan lapisan batubara berkisar antara 0-3 m.



**Gambar. 5.7** Peta estimasi ketebalan lapisan batubara di lapangan B.

Ketebalan pada daerah sumur mawar menunjukkan nilai 9-10 m. Hal ini hampir menyerupai data sumur yang ada, yaitu berkisar kurang lebih 10 m. Begitu juga pada sumur melati, dimana hasil estimasi ketebalan yang diperoleh adalah berkisar antara 2-3 m. Menurut data sumur yang ada, pada sumur melati terdapat batubara dengan ketebalan 3 m. Kedua data sumur ini menjadi kontrol dalam estimasi ketebalan lapisan tipis pada lapisan batubara ini. Dan dapat disimpulkan bahwa hasil estimasi ketebalan pada lapisan batubara ini hampir mendekati data sumur yang ada. Akan tetapi kekurangan dari penelitian ini adalah hanya dilakukan pada dua data sumur saja, sehingga kontrol pada daerah yang lain kurang baik.

Dari hasil estimasi ketebalan ini diperoleh nilai perkiraan volume dari batubara yang ada dengan menggunakan software GGX adalah 2.691.405.198.75 m<sup>3</sup> dengan luas area dari batubara tersebut berkisar 330.959.611.76 m<sup>2</sup>. Dengan daerah paling potensial berada pada bagian tengah dari daerah penelitian.



## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal, diantaranya adalah sebagai berikut:

- Kontur waktu (*time*) struktur permukaan pada lapisan batubara di lapangan B dibagi menjadi tiga zona, yaitu zona dalam, menengah dan dangkal serta mengalami pendangkalan kearah Barat Laut, dengan kedalaman 0-758 ms.
- Dari hasil pengolahan data yang dilakukan dengan metoda dekomposisi spektral (CWT), lapisan batubara pada horizon tertentu didapatkan lapisan ketebalan batubara dengan ketebalan berkisar antara 0-16 m. Kemudian dipetakan penyebarannya dengan kontur ketebalan dengan menggunakan software GeoGraphix.
- Dari hasil estimasi ketebalan ini diperoleh nilai perkiraan volume batubara yaitu sebesar  $2.691.405.198.75 \text{ m}^3$  dengan luas area berkisar  $330.959.611.76 \text{ m}^2$ .
- Pengolahan data seismik dengan spektral dekomposisi metode CWT sangat membantu dalam interpretasi penentuan ketebalan lapisan tipis pada batubara di lapangan "B".
- Hasil estimasi ketebalan pada lapisan batubara pada lapangan "B" bersifat interpretative, dimana hasil yang diperoleh sangat bergantung dari penentuan lapisan batubara dari interpretasi horizon.

- Hasil akhir dari dekomposisi spektral dan interpretasi dari objek lapisan tipis batubara dari Formasi Muara Enim berupa ketebalan yang kemudian dipetakan dalam bentuk kontur ketebalan lapisan batubara tersebut. Dari interpretasi seismik pada zona kajian seperti terlihat dalam kontur ketebalan batubara, menunjukkan bahwa ketebalan batubara sangat bervariasi, dan terdapat ketebalan maksimum yaitu pada bagian tengah dari daerah penelitian.



## 6.2. Saran

- Sebaiknya dilakukan survei seismik 3D untuk mendapatkan kerapatan data yang lebih baik, sehingga penelusuran penyebaran lateral lapisan batubara lebih akurat.
- Pada penelitian ini hanya terdapat 2 data sumur sebagai kontrol kesesuaian data hasil estimasi dan data sebenarnya, semakin banyak data sumur diharapkan dapat membuat kontrol keakuratan data yang lebih baik lagi.
- Sebaiknya dilakukan metoda lain juga untuk mendeteksi lapisan tipis untuk mendapatkan studi perbandingan dengan metoda dekomposisi spektral CWT.

## Daftar Acuan

- Ardhyastuti, S., 2010, Estimasi Penyebaran Lateral Lapisan Tipis Batubara di Lapangan “X” Menggunakan Metode Dekomposisi Spektral, Universitas Indonesia
- Castagna, J.P. and Sun, S., 2006, *Comparison of spectral decomposition methods* : First Break, vol.24, pp.75-79.
- Hedrick, T.L, and Aulia, K. 1993. *A Structural and Tectonic Model of the Coastal Plains Block, Central Sumatra Basin, Indonesia Petroleum Association, Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Annual Convention*, Jakarta 1993, 1, 285-317.
- Kishore, M., Sharma, S., Kumar, B., and Srivastava A., 2006. *An approach to net thickness estimation using spectral decomposition*, Geohorizons, January, pp.58-61
- Partyka, G., Gridley, J. And Lopez, J., 1999, *Interpretation applications of spectral decomposition in reservoir characterization*, The Leading Edge, March, pp.353-360.
- Partyka, G., 2001. *Seismic thickness estimation : three Approaches*, *Proceedings and Cons. 71th Annual International Meeting, SEG, Expanded Abstract*, p.503-506.
- Laughlin, K., Garossino, P., and Partyka, G. 2003. *Spectral Decomposition for Seismic Stratigraphic Patterns*. Geophysical Corner.
- Mallat, S., 1999, *A Wavelet Tour of Signal Processing*.
- Munadi, S., 2000, *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi*, Buku Ajar, FMIPA-UI.
- Munadi, S., 1995, *Seismologi Eksplorasi*, Buku Ajar, FMIPA-UI .
- Munadi, S., 2003, *Pengantar memahami transformasi Fourier*, Buku Ajar, FMIPA-UI
- Munadi, S., and Purba, H., 2010, *Spectral decomposition Made Simple*, HAGI Annual Meeting.
- Sarjono, S., and Sardjito, 1989, *Hydrocarbon source rock identification in the South Palembang sub-basin: Proceedings Indonesian Petroleum Association Eighteenth Annual Convention*, p. 427-467.

Selley, R. C., 1998, *Elements of Petroleum Geology*. 2<sup>nd</sup>, Academic Press, San Diego, CA.

Sinha, S., Partha, S., Routh, P.S., Anno, P.D. and Castagna, J.P., 2005, *Spectral Decomposition of Seismic Data with Continuous-Wavelet Transform*, *Geophysics*.

Widess, M.B, 1973, *How thin is a thin bed ?*, *Geophysics*.

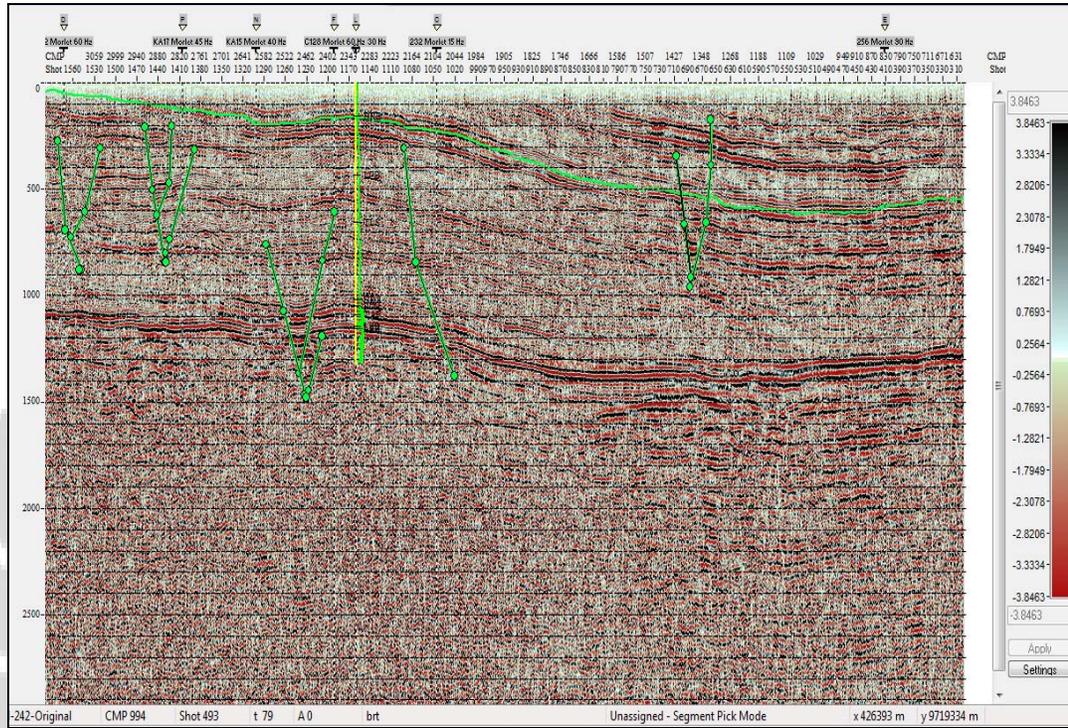




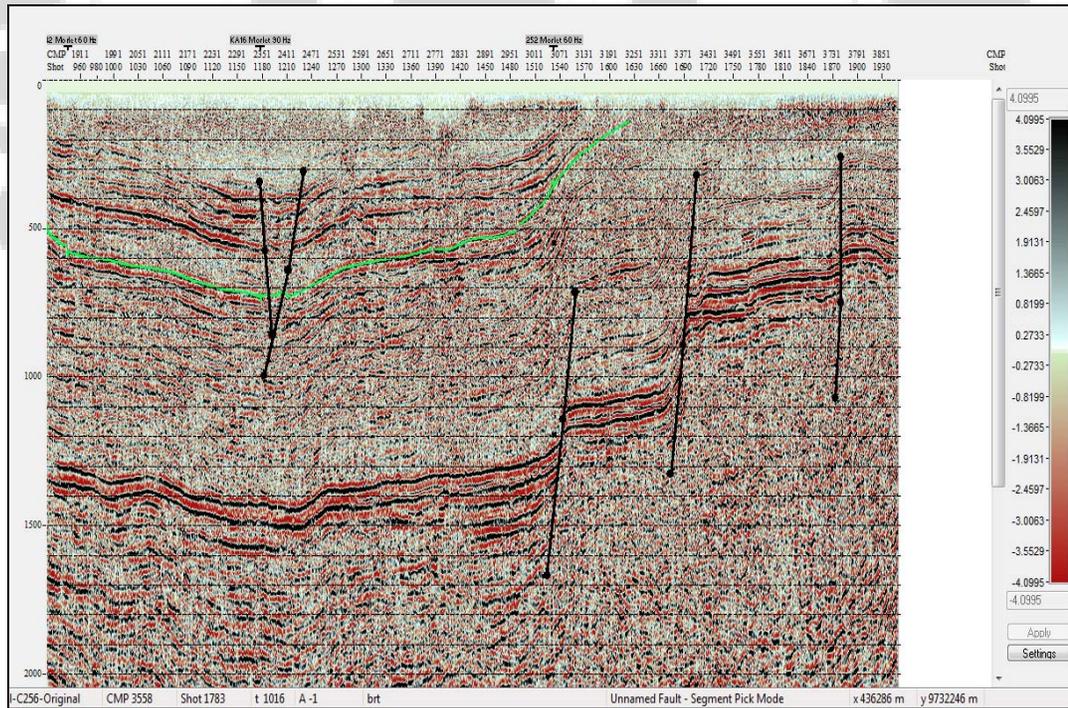
# LAMPIRAN

## Lampiran 5.1 Hasil interpretasi pada data seismik 2D

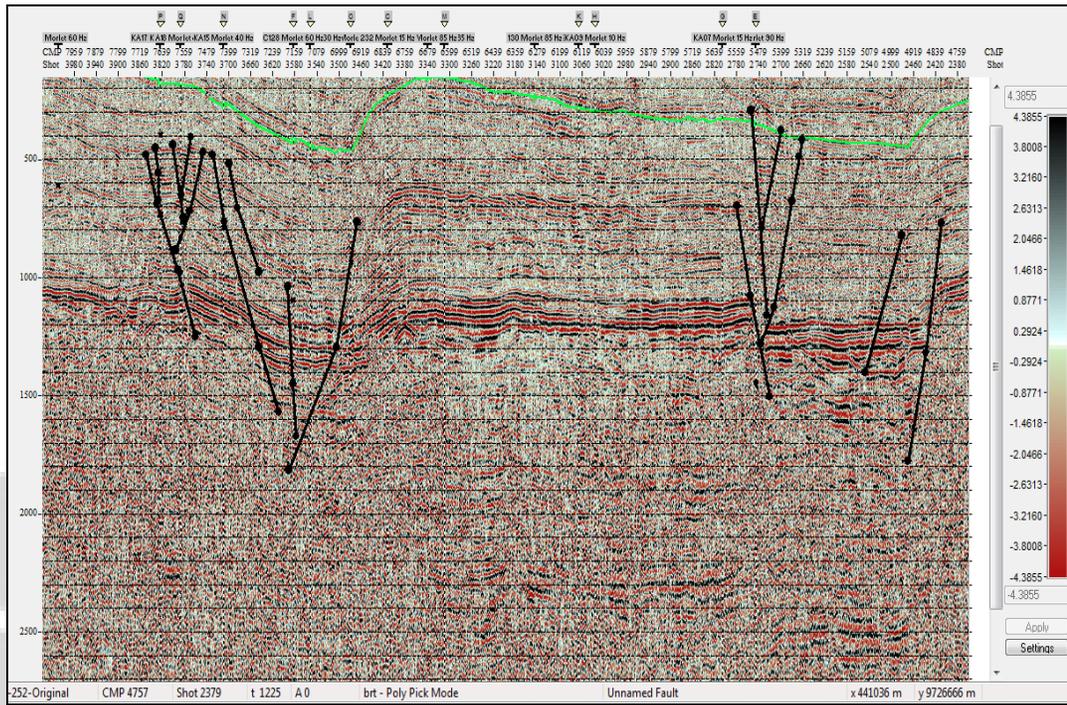
### Lintasan L1



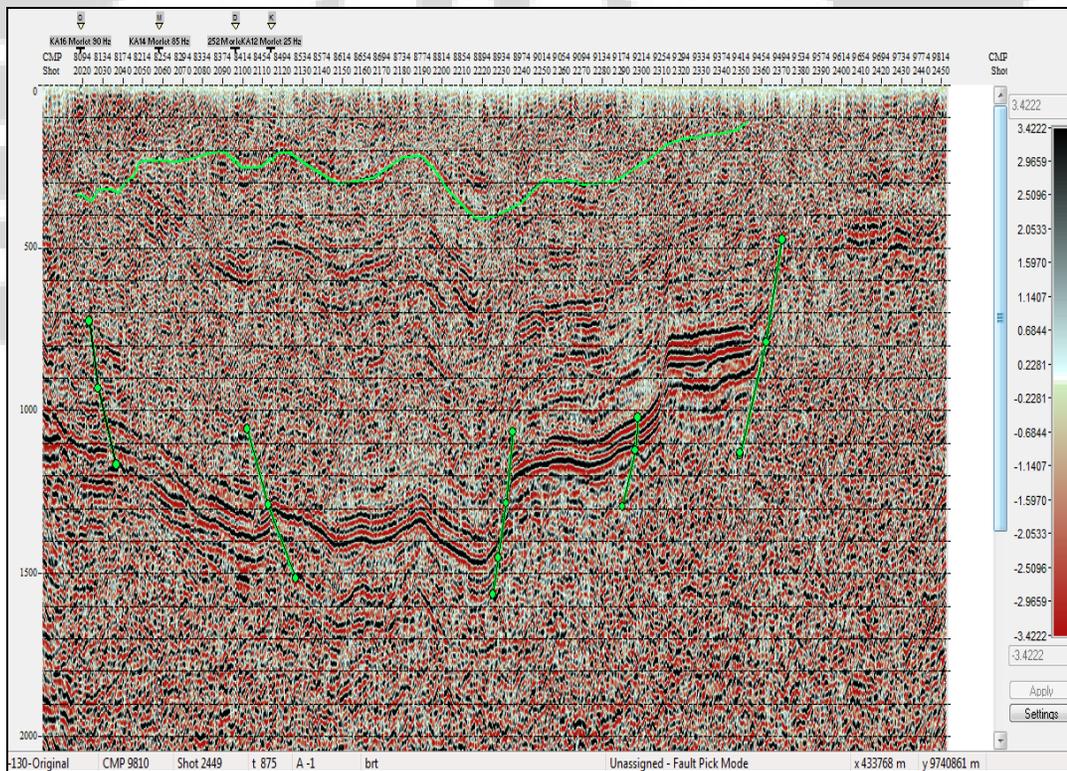
### Lintasan L2



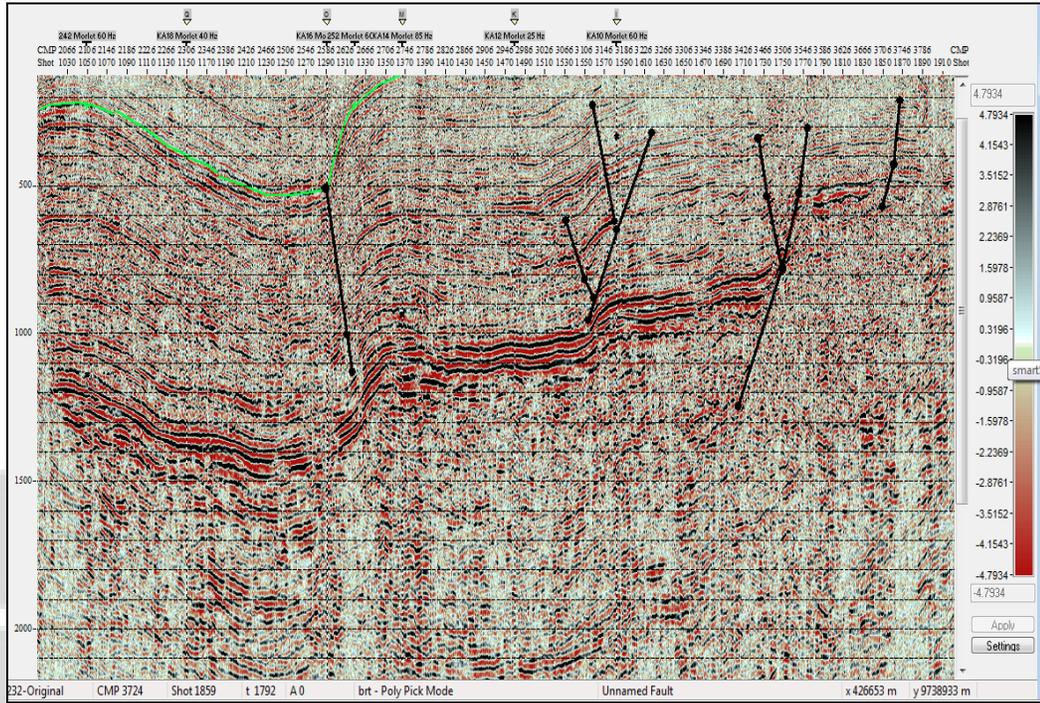
### Lintasan L3



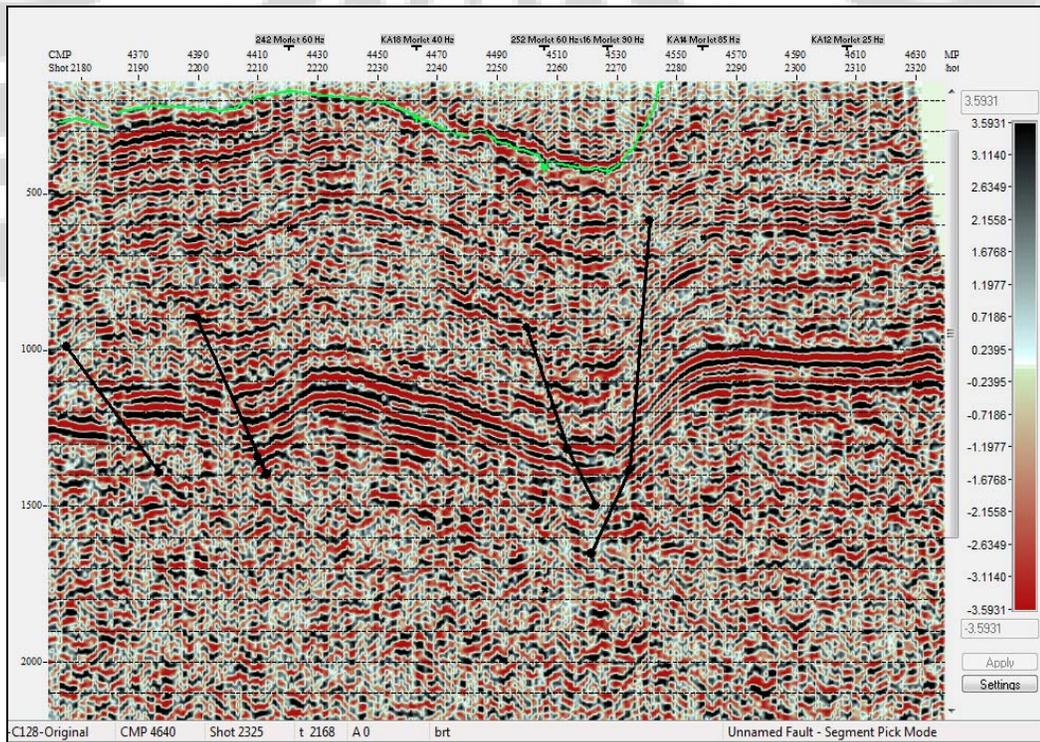
### Lintasan L4



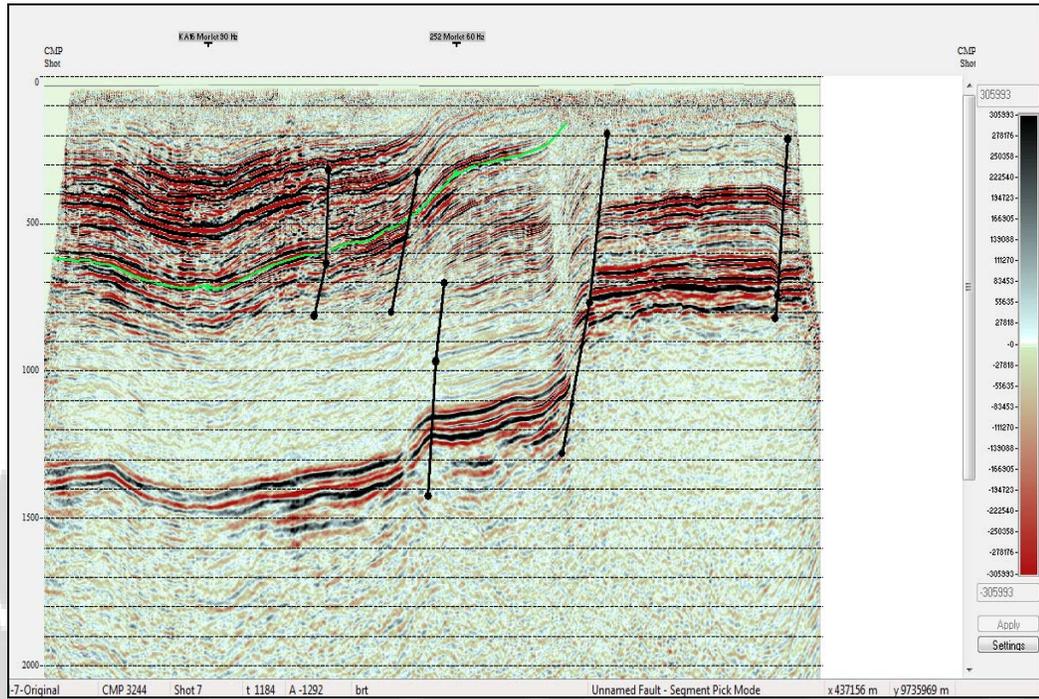
intasan L5



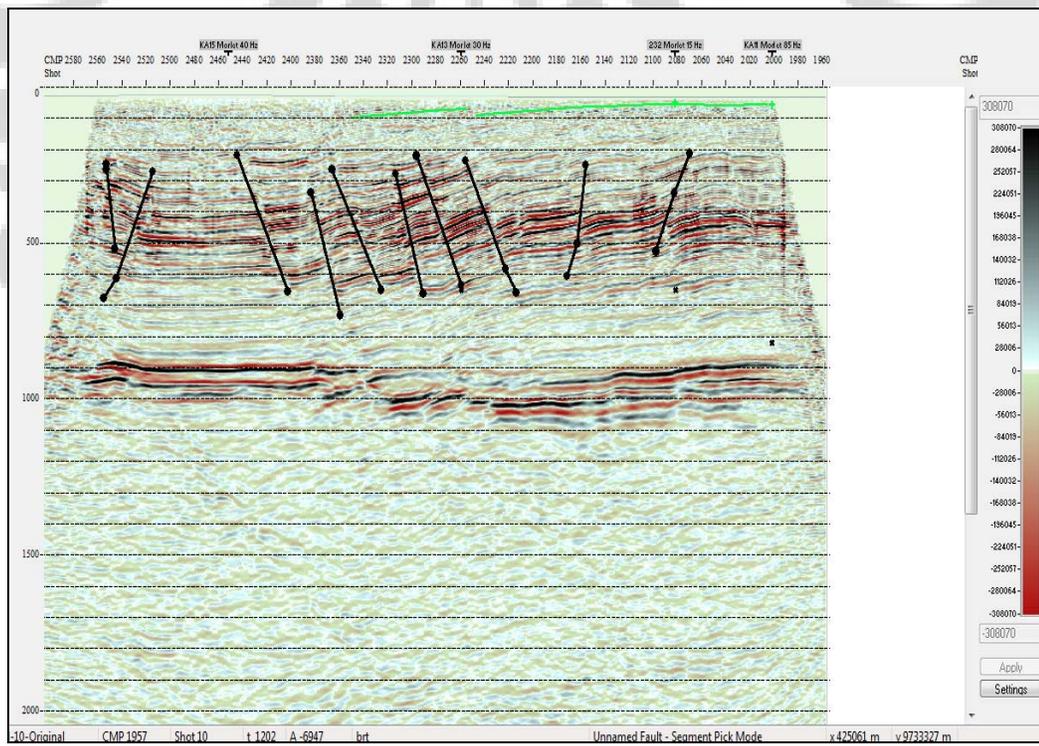
Lintasan L6



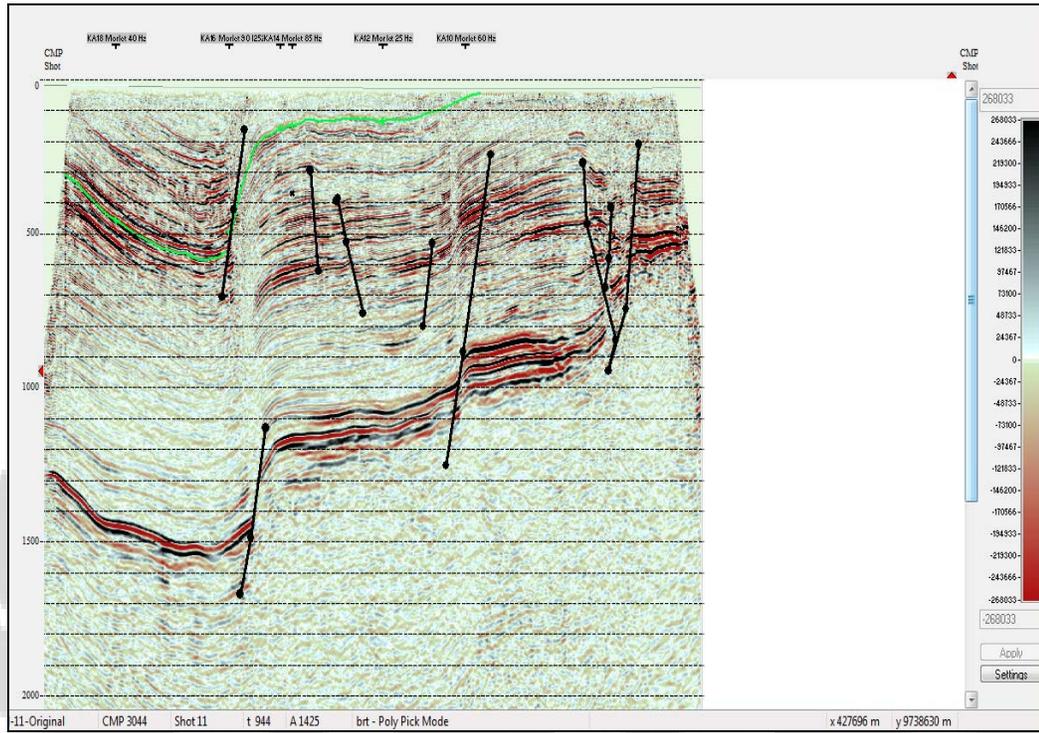
## Lintasan L7



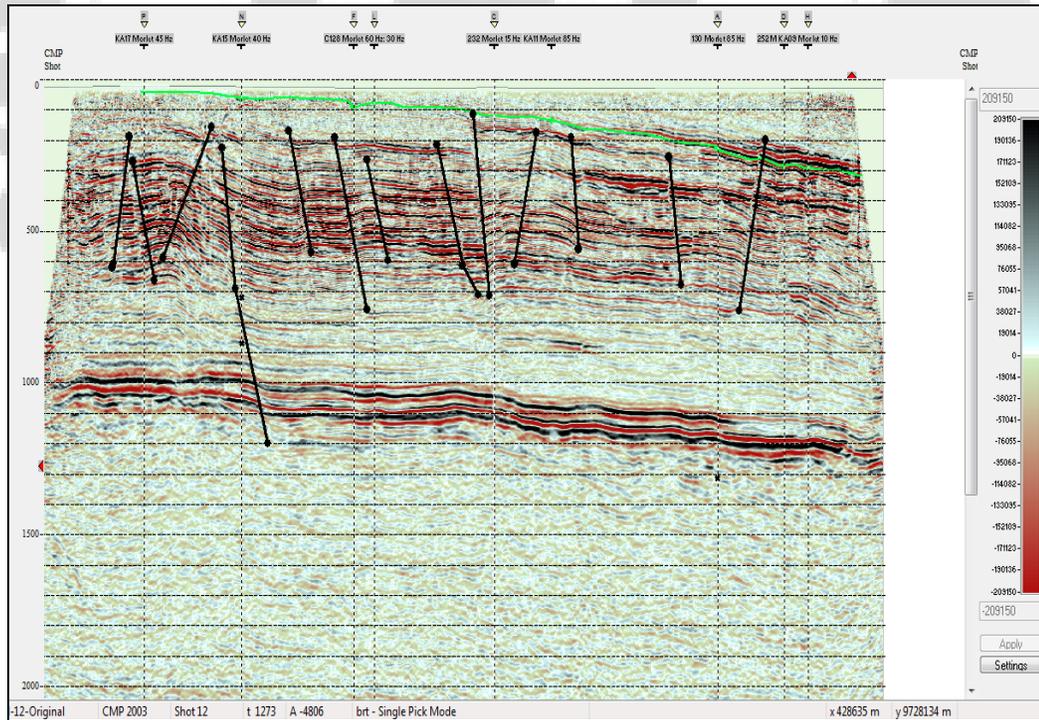
## Lintasan L10



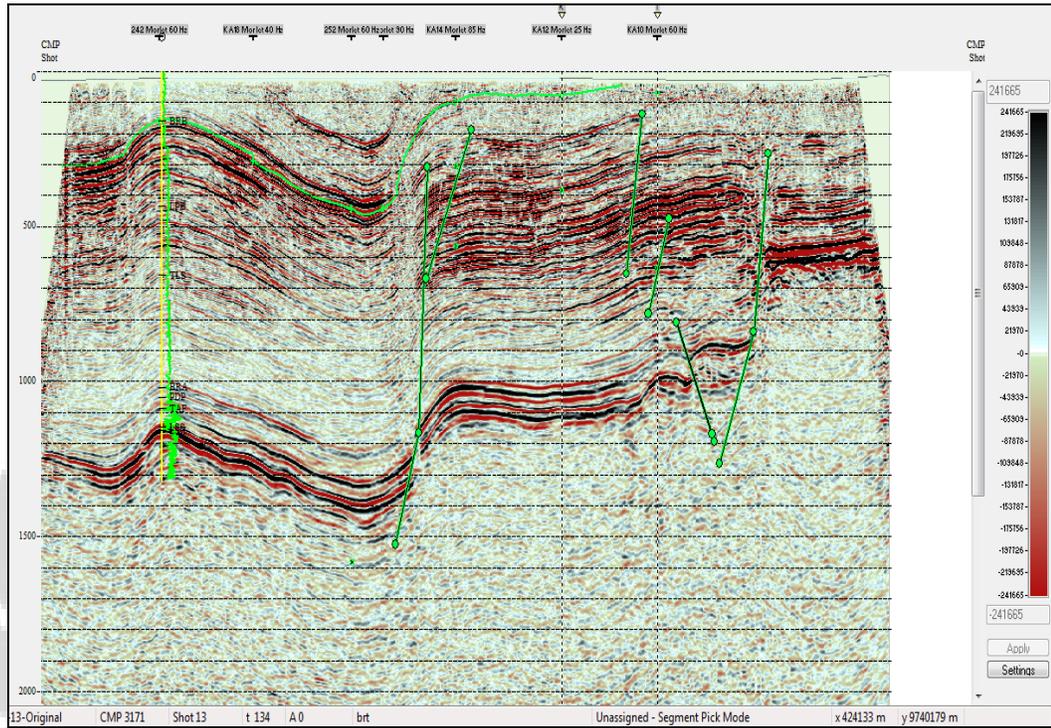
## Lintasan L11



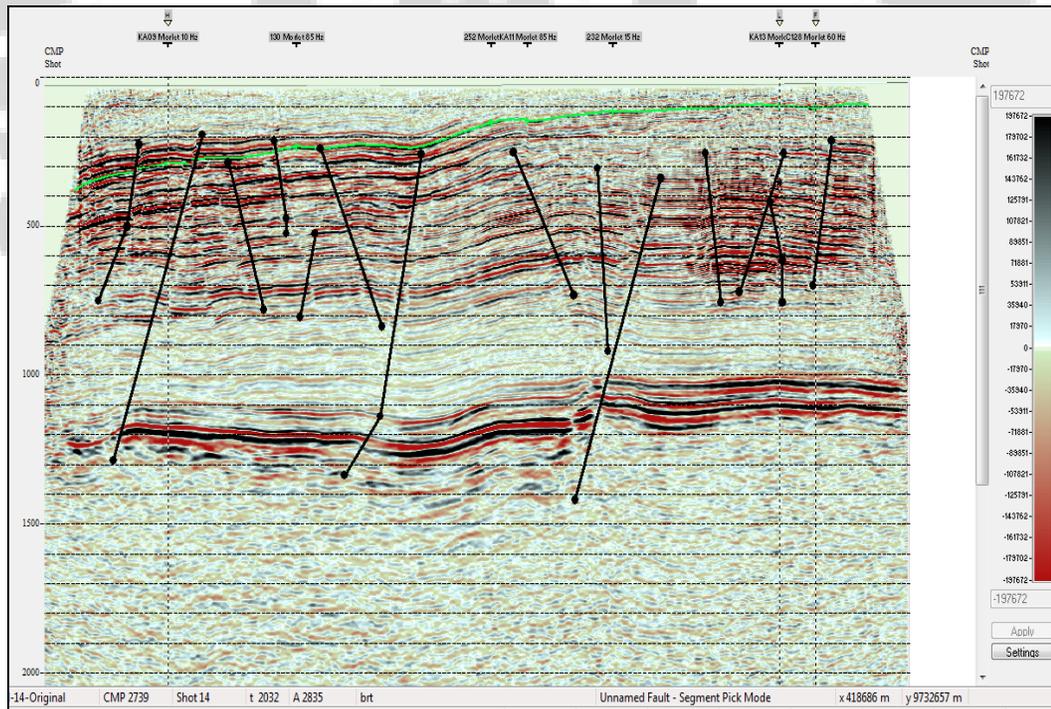
## Lintasan L12



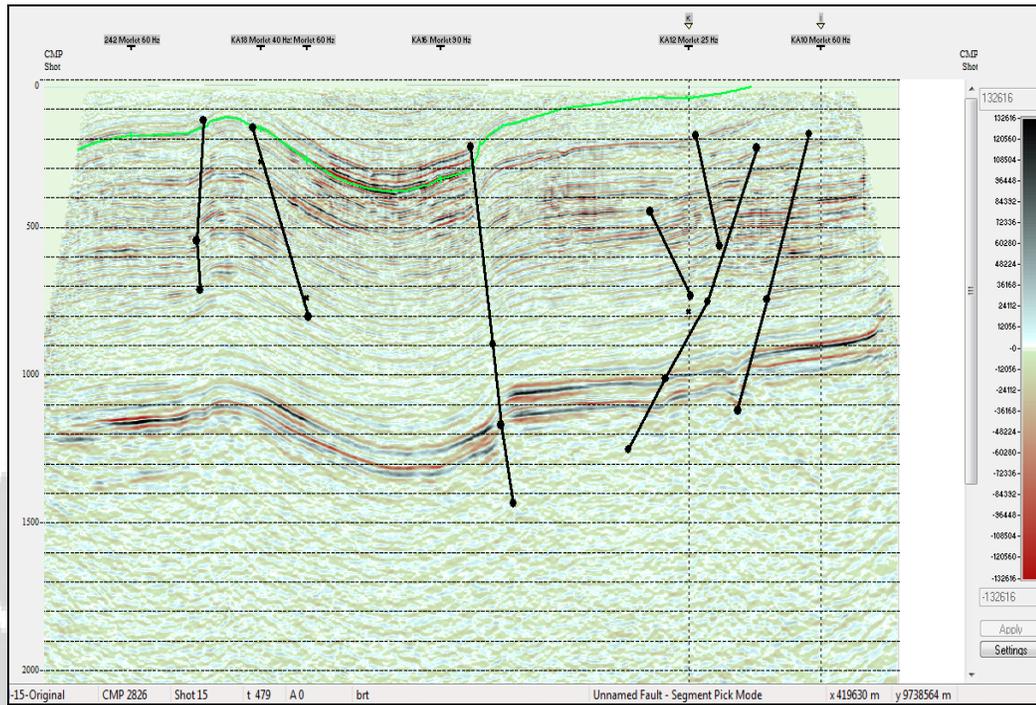
### Lintasan L13



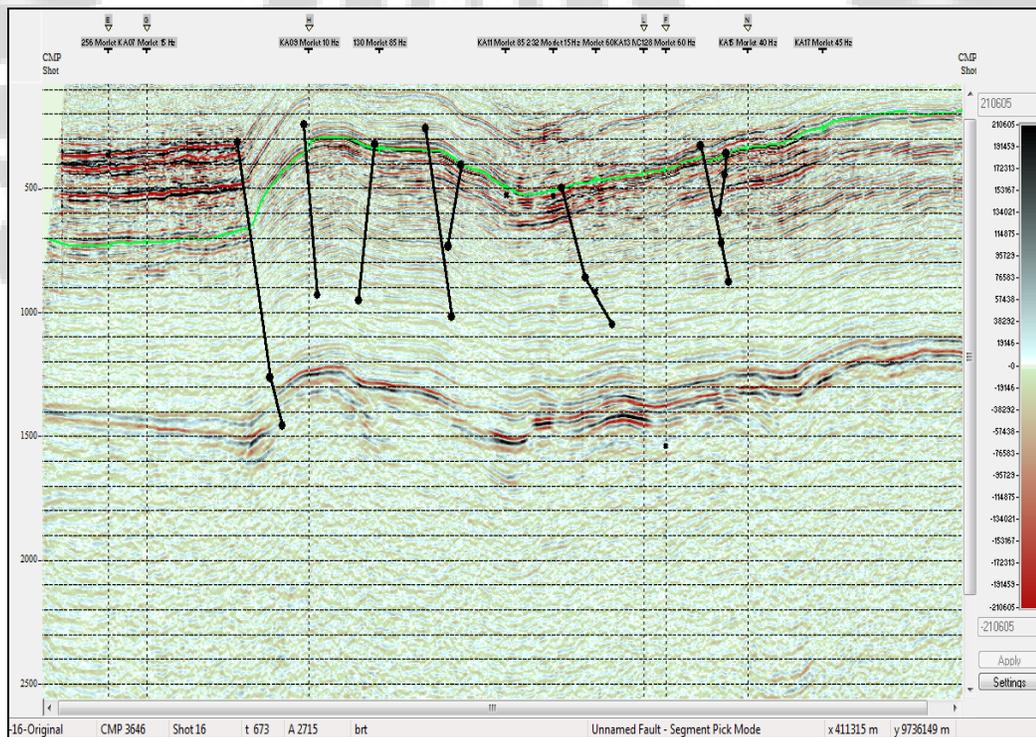
### Lintasan L14



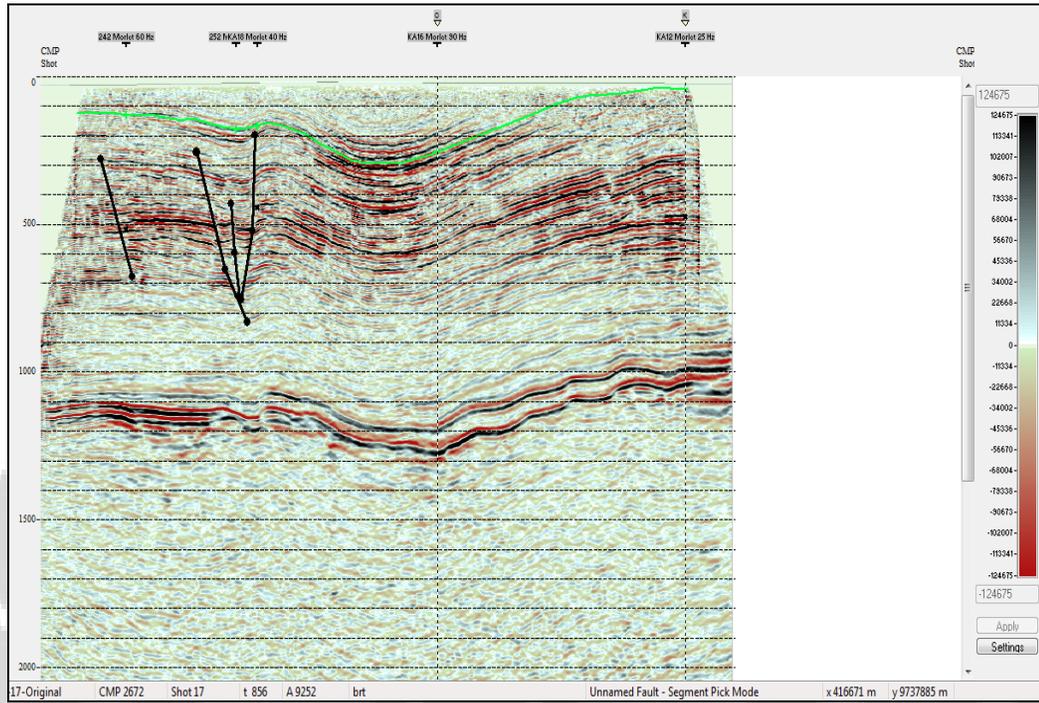
## Lintasan L15



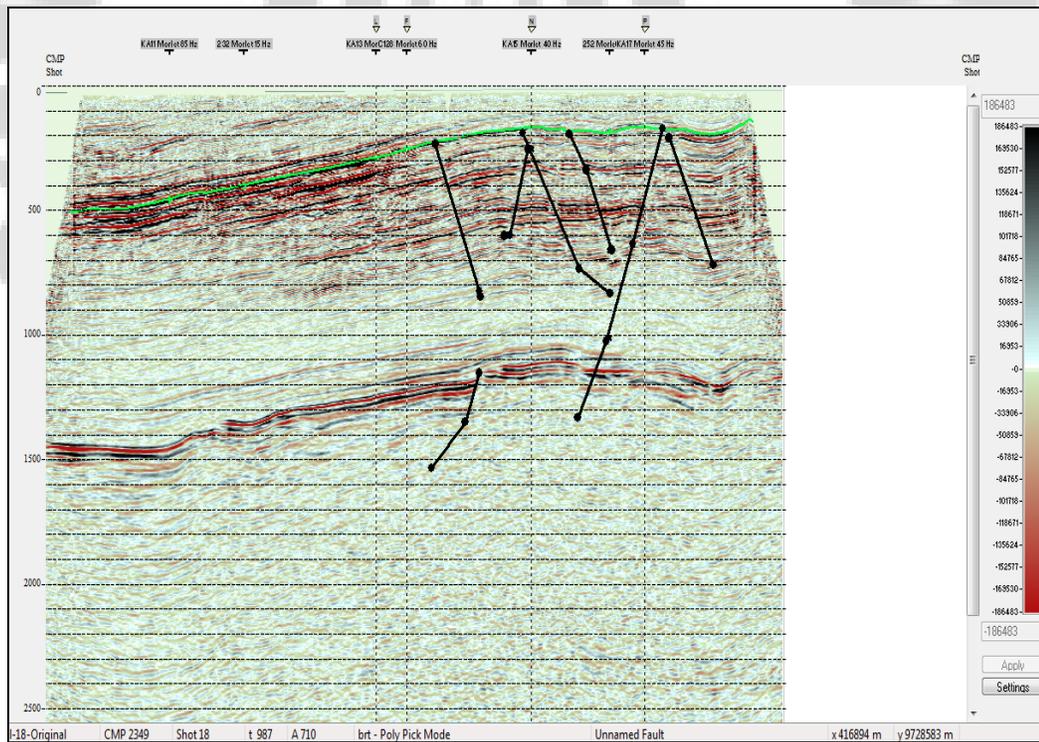
## Lintasan L16



## Lintasan L17

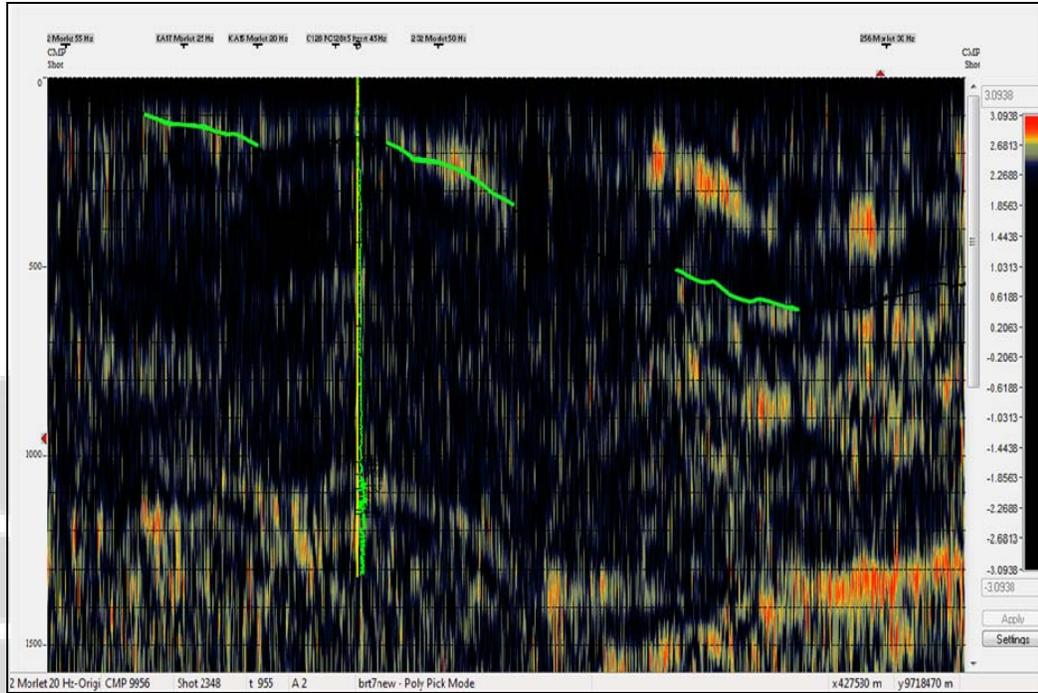


## Lintasan L18

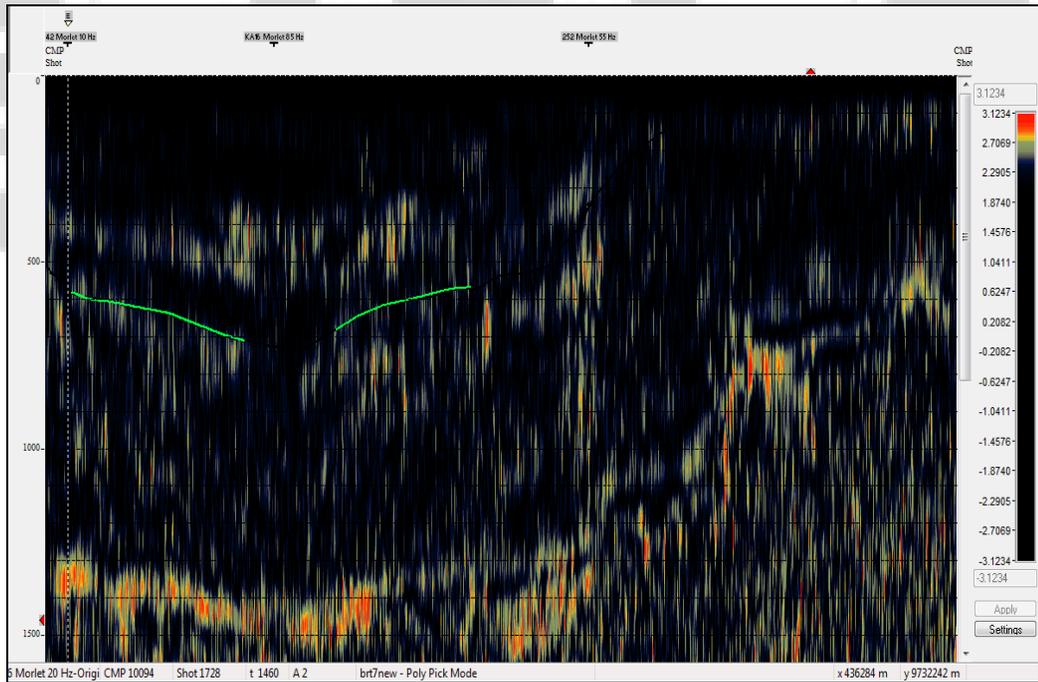


**Lampiran 4.1** Hasil interpretasi horizon batubara pada tuning frekuensi dari data seismik yang telah dilakukan dekomposisi spektral (CWT).

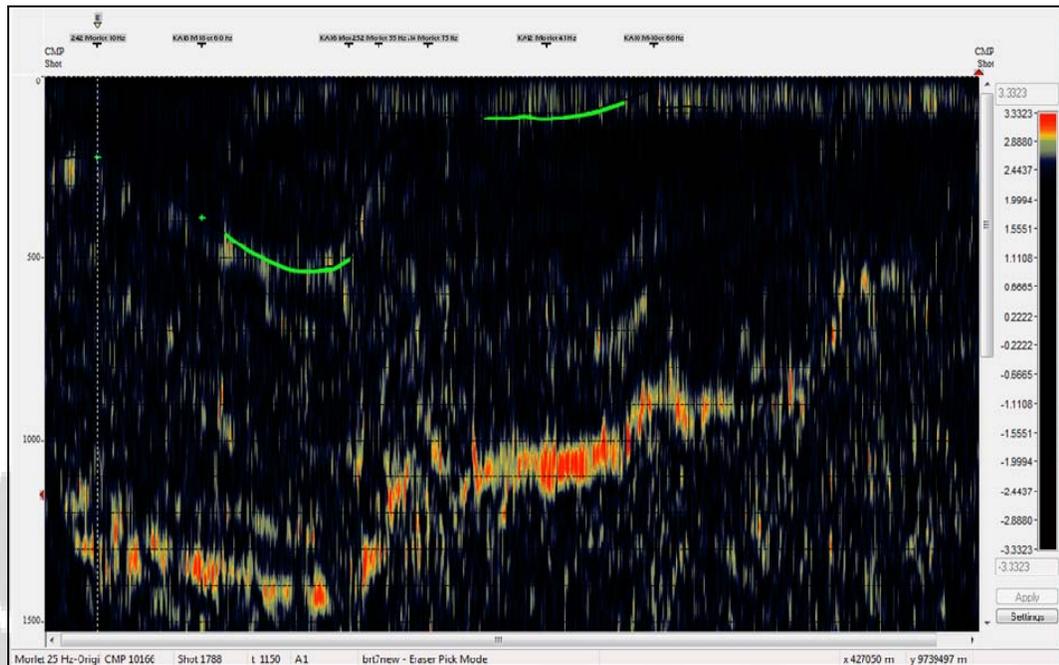
Lintasan L1 pada tuning frekuensi 20 Hz



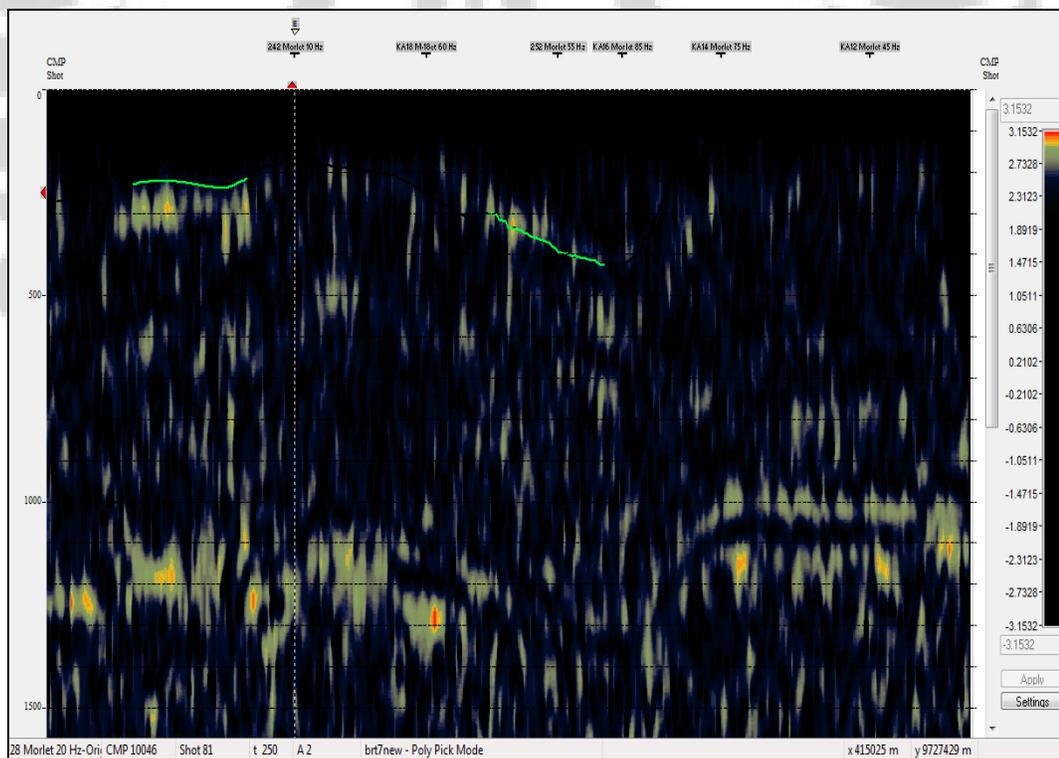
Lintasan L2 pada tuning frekuensi 20 Hz



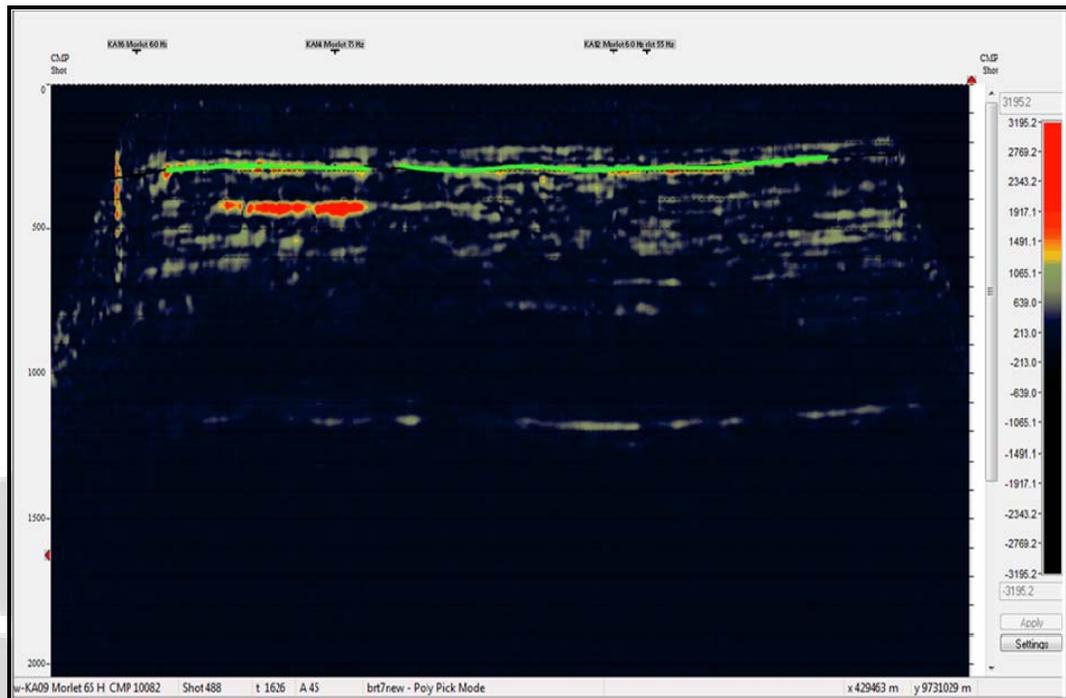
Lintasan L5 pada tuning frekuensi 25 Hz



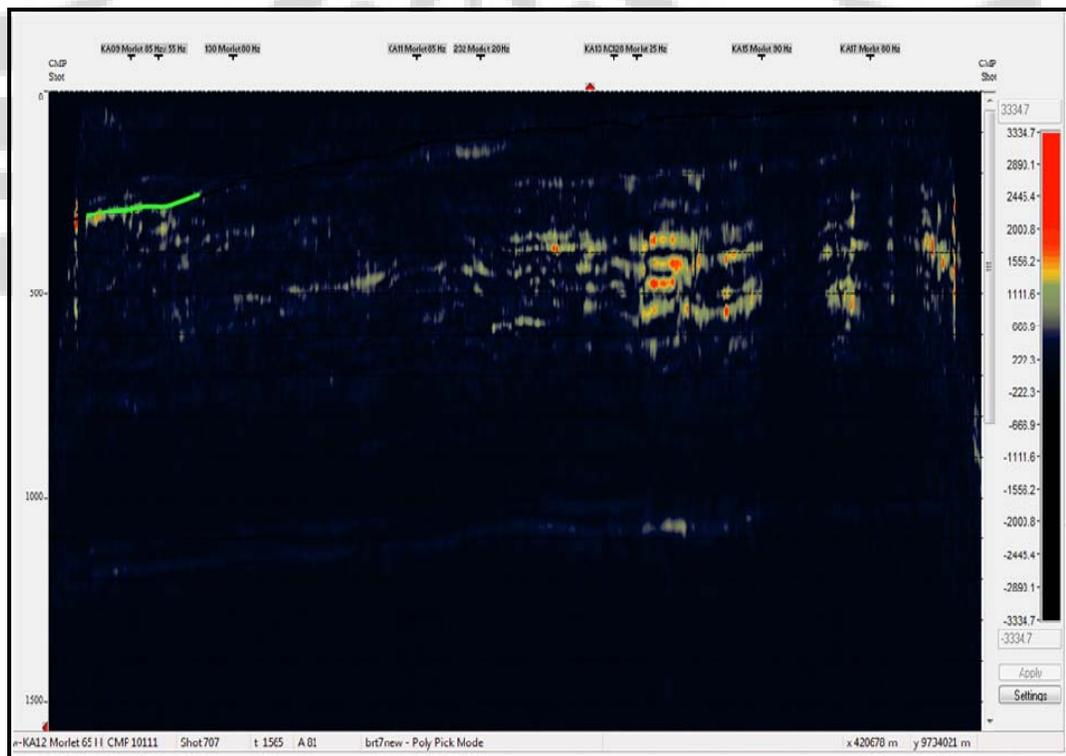
Lintasan L6 pada tuning frekuensi 20 Hz



Lintasan L9 pada tuning frekuensi 65 Hz



Lintasan L12 pada tuning frekuensi 65 Hz



Lintasan L18 pada tuning frekuensi 70 Hz

