



**PENINGKATAN RESOLUSI DATA SEISMIK MENGGUNAKAN  
ATRIBUT DEKOMPOSISI SPEKTRAL PADA  
LAPANGAN EKSPLORASI CANADA**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Illavi Pebrian Prasetyi  
121810201027**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2016**



**PENINGKATAN RESOLUSI DATA SEISMIK MENGGUNAKAN  
ATRIBUT DEKOMPOSISI SPEKTRAL PADA  
LAPANGAN EKSPLORASI CANADA**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Studi pada Program Studi Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :

**Illavi Pebrian Praseti**  
**121810201027**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2016**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh cinta dan kasih teruntuk :

1. Kedua orang tua tercinta, Ibunda Sumi'atun dan Ayahanda Misranto; terkhusus untuk ibu, yang telah memberikan do'a, dukungan, bimbingan, segala pengorbanan dan cinta kasihnya untuk kesuksesan anak-anaknya, dan bapak yang selalu memberikan arahan dan dukungannya. Semoga beliau-beliau bangga atas pencapaian ini.
2. Rofiqi Sahari yang selalu memberikan semangat, support dan doanya serta selalu menemani dalam penyelesaian penulisan ini.
3. Semua keluarga besar yang telah memberikan dukungan dan partisipasinya dalam keberhasilan studi ini.
4. Guru dan dosen yang telah memberikan ilmu yang luar biasa kepada penulis.
5. Sahabat dan teman-teman yang selalu memberikan dukungan.
6. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

## MOTO

“Allah memberikan hikmah (ilmu yang berguna) kepada siapa yang dikehendakinya. Barang siapa yang mendapat hikmah itu sesungguhnya ia telah mendapat kebajikan yang banyak. Dan tiadalah yang menerima peringatan melainkan orang-orang yang berakal.”

(terjemahan Surat *Al-Baqarah* ayat 269)\*)

“...barang siapa memberikan petunjuk kebaikan, maka baginya akan mendapatkan ganjaran seperti ganjaran yang diterima oleh orang yang mengikutinya, dan tidak berkurang sedikitpun hal itu dari ganjaran orang tersebut ... \*\*)

---

\*Departemen Agama Republik Indonesia. 2006. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Surabaya: Duta Ilmu Surabaya.

\*\*Prihasmoro, H. 2007. *Ringkasan Kitab Hadist Shahih Imam Bukhari*. Jakarta: Pustaka at-Taqwa, PO.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Illavi Pebrian Praseti

NIM : 121810201027

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Peningkatan Resolusi Data Seismik Menggunakan Atribut Dekomposisi Spektral pada Lapangan Eksplorasi *Canada*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institut mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Agustus 2016

Yang menyatakan,

Illavi Pebrian Praseti

NIM 121810201027

**SKRIPSI**

**PENINGKATAN RESOLUSI DATA SEISMIK MENGGUNAKAN  
ATRIBUT DEKOMPOSISI SPEKTRAL PADA  
LAPANGAN EKSPLORASI *CANADA***

Oleh :

**Illavi Pebrian Prasetyi  
121810201027**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Peningkatan Resolusi Data Seismik Menggunakan Atribut Dekomposisi Spektral pada Lapangan Eksplorasi *Canada*” telah diuji dan disahkan pada:

hari :

tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si.  
NIP. 19741215200212 1 001

Dr. Artoto Arkundato, S.Si, M.Si.  
NIP. 19691225199903 1 001

Dosen Penguji I,

Dosen Penguji II,

Drs. Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 19620311198702 1 001

Supriyadi, S.Si., M.Si..  
NIP. 19820424200604 1 003

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP. 196102041987111001

## RINGKASAN

**Peningkatan Resolusi Data Seismik Menggunakan Atribut Dekomposisi Spektral pada Lapangan Eksplorasi *Canada***; Illavi Pebrian Praseti, 121810201027; 2016; 72 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Metode seismik adalah salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang mekanik atau elastik sebagai sumber yang menjalar ke dalam bumi. Dengan data seismik maka dapat mencitrakan kondisi geologi dan gambaran yang cukup baik tentang bawah permukaan bumi. Data seismik konvensional biasanya terkontaminasi oleh *noise* yang koheren. Atribut seismik efektif dalam mengekstraksi data yang mengandung *noise* menjadi lebih dipertajam. Atribut seismik merupakan suatu transformasi matematis data tras seismik yang mempresentasikan besaran waktu, amplitudo, fase, frekuensi, dan atenuasi.

Data seismik yang memiliki resolusi tinggi sangat penting digunakan untuk menggambarkan reservoir hidrokarbon secara detail dan akurat. Pada data seismik konvensional, lebar frekuensi yang tersedia adalah terbatas dan tidak dapat memetakan lapisan-lapisan tipis yang terlihat pada data sumur. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode untuk meningkatkan resolusi data seismik untuk dapat melihat pemisahan lapisan-lapisan tipis supaya lebih terlihat sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Kualitas data seismik yang baik akan membantu pekerjaan pemrosesan data dan meningkatkan ketelitian dalam interpretasi data seismik. Proses peningkatan resolusi data seismik pada dasarnya memiliki berbagai metode. Penggunaan metode yang dipilih biasanya disesuaikan dengan data seismik dan *software* yang digunakan, serta pertimbangan dari waktu pengerjaan dan/atau biaya yang dianggarkan. Kunci meningkatkan kualitas data

ini terletak pada perlakuan yang dilakukan agar dapat meningkatkan frekuensi dan juga spektrum amplitudo pada data.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Komputasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember terhadap data studi kasus pada Lapangan Eksplorasi *Canada*. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui efektivitas dari dekomposisi spektral dengan menggunakan metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT) dalam upaya meningkatkan resolusi data seismik dengan analisa *wavelet* pada frekuensi tertentu berdasarkan data seismik dan data sumur pada lapisan di Lapangan Eksplorasi Penobscot. Pada penelitian ini menggunakan atribut dekomposisi spektral dengan metode CWT. Metode CWT memanfaatkan suatu jenis *wavelet* untuk analisis sinyal dalam kawasan waktu-frekuensi untuk memperoleh resolusi yang tinggi yaitu dengan mendilatasi *wavelet* menggunakan skala tertentu dan mentranslasi *wavelet* dengan faktor translasi tertentu. *Wavelet* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Wavelet* Morlet dan *Wavelet* Gaussian. Dalam penelitian ini, ekstraksi atribut dekomposisi spektral dilakukan pada beberapa nilai frekuensi, hal ini dimaksudkan untuk melihat spektrum amplitudo pada tiap frekuensi yang dipilih. Pemilihan frekuensi didasarkan pada perubahan spektrum amplitudo yang mencerminkan gambaran geologi pada zona target.

Berdasarkan penampang atribut seismik yang diperoleh, dapat menunjukkan adanya pengaruh frekuensi terhadap resolusi yang dihasilkan. Dari hasil CWT pada data seismik didapatkan bahwa pada zona target semakin tinggi frekuensi yang diberikan maka resolusi yang dicapai juga semakin tinggi. Pada data seismik daerah penelitian Penobscot pada *inline* 1180, pemisahan lapisan tipis terjadi pada *tuning frequency* 51 Hz dengan menggunakan *wavelet* Morlet. Pada *inline* 1230, pemisahan lapisan tipis terjadi pada *tuning frequency* 64 Hz dengan menggunakan *wavelet* Morlet dan pada *inline* 1230 pemisahan lapisan tipis terjadi pada *tuning frequency* 64 Hz dengan menggunakan *wavelet* Morlet.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Peningkatan Resolusi Data Seismik Menggunakan Atribut Dekomposisi Spektral pada Lapangan Eksplorasi *Canada*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Studi (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Penyusunan karya tulis ini telah mendapatkan bimbingan dan pengarahan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak membantu dan meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam membantu penulisan skripsi ini;
2. Drs Yuda Cahyoargo Hariadi, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji I dan Supriyadi, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah banyak memberikan masukan yang membangun dalam keberhasilan penulisan skripsi ini;
3. Seluruh dosen Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember yang dengan ikhlas telah memberikan ilmu dan pengetahuan selama perkuliahan;
4. Seluruh staf di Lingkungan FMIPA Universitas Jember yang telah memberikan waktunya demi kelancaran skripsi ini;
5. Kedua orang tua tercinta, penyemangat tercinta, adik tersayang dan seluruh keluarga besar atas semangat dan motivasinya untuk keberhasilan skripsi ini;
6. Teman-teman seperjuangan LORENTZ'12 Fisika yang telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi;

7. Teman-teman group Alim Elok, Nurul, Ruli dan Winda yang selalu ada dalam suka duka, yang selalu memberikan motivasi, doa, dukungan, support, dan ilmunya;
8. Teman-teman satu tim Geo Seimik Harik, Hima, Luluk, Miranti, Nurul, Ruli, Sandy, Winda, Yusti yang telah memberi motivasi dan semangat serta mau berbagi ilmu;
9. Teman-teman kos Een, Yuli, Shoimah, Rani, Risa, dan lainnya yang telah memberi motivasi dan semangat serta membantu demi kelancaran penulisan skripsi ini;
10. Teman-teman MSM KRAMAT seperantauan Hamid, Yayuk dan Een yang telah memberikan bantuan dalam tercapainya penulisan skripsi ini;
11. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam kesempatan ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis menerima segala kritik dan saran dari pembaca sekalian. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Jember, Agustus 2016

Penulis

**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	5
<b>1.3 Batasan Masalah Penelitian</b> .....	6
<b>1.4 Tujuan</b> .....	6
<b>1.5 Manfaat</b> .....	6
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
<b>2.1 Tinjauan Geologi</b> .....	7
2.1.1 Geologi Regional Lapangan Eksplorasi Penobscot .....	7
2.1.2 Statigrafi Regional Lapangan Eksplorasi Penobscot .....	9
<b>2.2 Konsep Dasar Eksplorasi Seismik</b> .....	13
<b>2.3 Prinsip Dasar Perambatan Gelombang Seismik</b> .....	15

<b>2.4 Data Survey Seismik 3D</b> .....	18
2.4.1 Data Seismik .....	18
2.4.2 Data Log Sumur .....	19
<b>2.5 Survey Checkshot</b> .....	21
<b>2.6 Resolusi Seismik</b> .....	22
2.6.1 Resolusi Vertikal .....	22
2.6.2 Resolusi Lateral/Horizontal .....	23
<b>2.7 Atribut Seismik</b> .....	24
2.7.1 Dekomposisi Spektral .....	25
2.7.2 <i>Wavelet</i> .....	26
2.7.3 Transformasi <i>Wavelet</i> Kontinyu.....	29
<b>2.8 Peningkatan Resolusi Data Seismik</b> .....	35
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	38
<b>3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian</b> .....	38
<b>3.2 Alat dan Bahan</b> .....	38
<b>3.3 Skema Kerja Penelitian</b> .....	39
<b>3.4 Prosedur Penelitian</b> .....	41
3.4.1 Studi Literatur .....	41
3.4.2 Input Data .....	41
3.4.3 <i>Well Seismic Tie</i> .....	42
3.4.4 Proses Peningkatan Resolusi .....	43
3.4.5 Analisa Data.....	48
<b>BAB 4. Hasil dan Pembahasan</b> .....	49
<b>4.1 Hasil</b> .....	49
<b>4.2 Pembahasan</b> .....	60
<b>BAB 5. Penutup</b> .....	65
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	65
<b>5.2 Saran</b> .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	66

<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	71
<b>LAMPIRAN</b> .....	74



DAFTAR GAMBAR

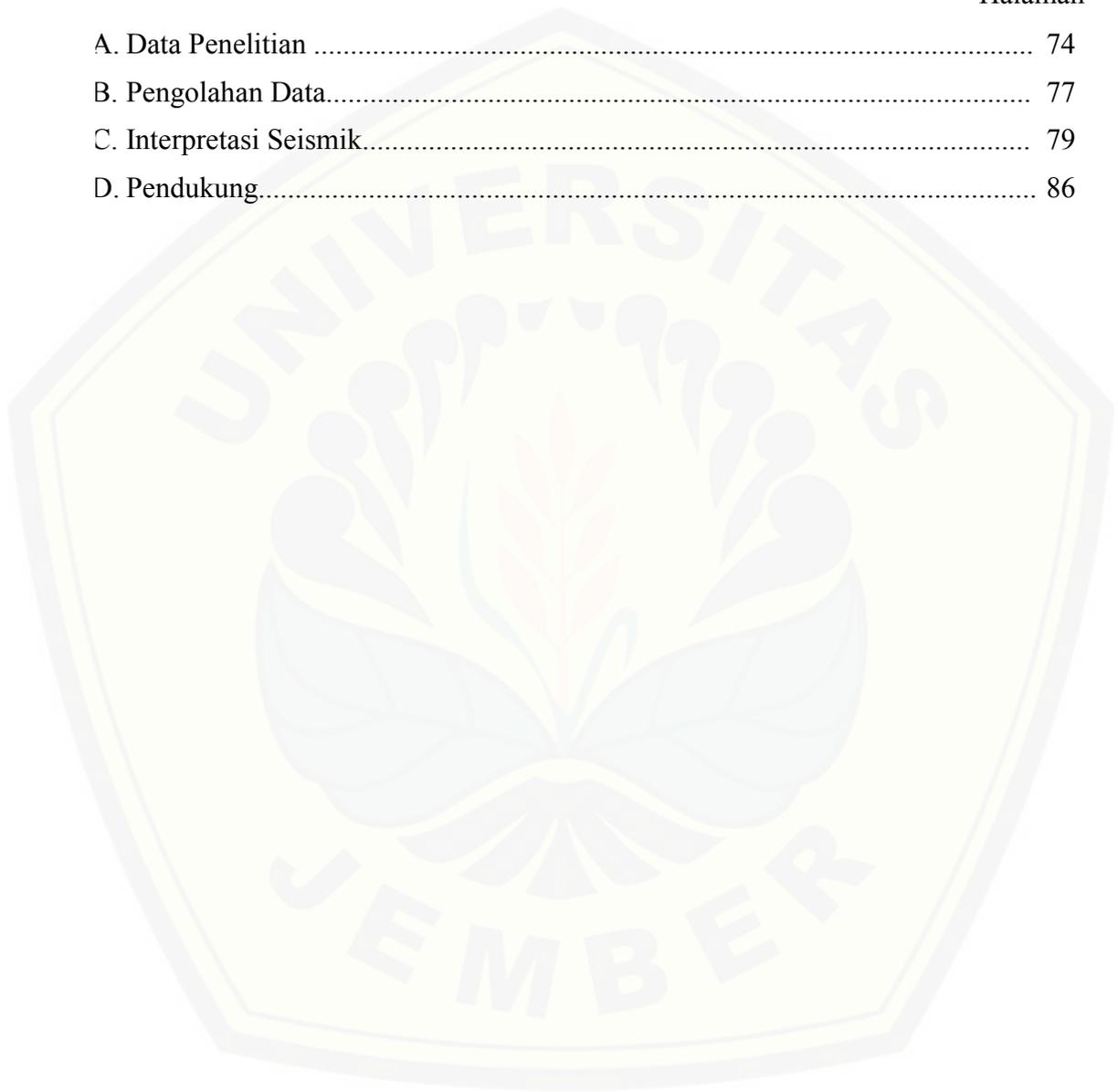
	Halaman
2.1 Lapangan Eksplorasi Penobscot.....	7
2.2 Sub-cekungan Shelbume, La Have Palatform, Sable dan Sub-cekungan Abenaki, Banquereau Palatform, Orpheus Graben dan Sub-cekungan Laurentian .....	8
2.3 Statigrafi Umum Lapangan Eksplorasi Penobscot .....	12
2.4 Refleksi dan Refraksi .....	14
2.5 Metode Seismik Refleksi.....	14
2.6 Pemantulan dan Pembiasan pada Bidang Batas Dua Medium untuk Gelombang P.....	16
2.7 Prinsip Huygen .....	17
2.8 Penggambaran Prinsip Fermat .....	17
2.9 Bagian Vertikal 3D.....	19
2.10 Ilustrasi akuisisi survey <i>checkshot</i> .....	21
2.11 Klasifikasi Atribut Seismik.....	24
2.12 <i>Wavelet</i> fasa nol dengan frekuensi 20, 30, dan 40 Hz.....	26
2.13 Tipikal <i>wavelet</i> fase minimum dan fase nol.....	29
2.14 Ilustrasi transformasi dengan transformasi <i>wavelet</i> kontinyu yang menghasilkan komponen <i>wavelet</i> dari skala dan posisi.....	30
2.15 Fungsi Skala dan Fungsi <i>Wavelet</i> “Morlet” .....	32
2.16 Fungsi skala dan fungsi <i>wavelet</i> “Gaussian”.....	33
2.17 Grafik nilai frekuensi pusat masing-masing jenis <i>wavelet</i> .....	33
2.18 Penampang data seismik dengan CWT pada frekuensi 40 Hz.....	34
2.19 Penampang data seismik dengan CWT pada frekuensi 60 Hz.....	34
2.20 Penampang data seismik dengan CWT pada frekuensi 80 Hz.....	35
2.21 Efek penambahan komponen frekuensi yang semakin tinggi dan	36

frekuensi yang semakin rendah terhadap <i>wavelet</i> seismik.....	
2.22 Bagian <i>main lobe</i> dan <i>side lobe</i> dari sebuah <i>wavelet</i> fasa nol.....	37
2.23 Perbandingan penampang data seismik dengan lebar <i>bandwidth</i> yang berbeda.....	37
3.1 Diagram Alir Proses Pengerjaan dalam Penelitian.....	40
3.2 Input data seismik pada <i>software Opendtect</i> .....	41
3.3 Tampilan pada <i>Opendtect</i> ketika menerapkan attribut dekomposisi spektral.....	45
3.4 Grafik hubungan frekuensi terhadap amplitudo (spektrum amplitudo) pada inline 1180.....	46
3.5 Grafik hubungan frekuensi terhadap amplitudo (spektrum amplitudo) pada inline 1230.....	47
3.6 Grafik hubungan frekuensi terhadap amplitudo (spektrum amplitudo) pada inline 1300.....	47
4.1 Penampang seismik konvensional <i>inline</i> 1180.....	50
4.2 Penampang spektral <i>inline</i> 1180 pada frekuensi 2 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	50
4.3 Penampang spektral <i>inline</i> 1180 pada frekuensi 2 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	51
4.4 Penampang spektral <i>inline</i> 1180 pada frekuensi 25 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	51
4.5 Penampang spektral <i>inline</i> 1180 pada frekuensi 25 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	51
4.6 Penampang spektral <i>inline</i> 1180 pada frekuensi 31 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	52
4.7 Penampang spektral <i>inline</i> 1180 pada frekuensi 31 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	52
4.8 Penampang spektral <i>inline</i> 1180 pada frekuensi 51 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	52
4.9 Penampang spektral <i>inline</i> 1180 pada frekuensi 51 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	53
4.10 Penampang seismik konvensional <i>inline</i> 1230.....	53
4.11 Penampang spektral <i>inline</i> 1230 pada frekuensi 2 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	54
4.12 Penampang spektral <i>inline</i> 1230 pada frekuensi 2 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	54
4.13 Penampang spektral <i>inline</i> 1230 pada frekuensi 22 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	54
4.14 Penampang spektral <i>inline</i> 1230 pada frekuensi 22 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	55
4.15 Penampang spektral <i>inline</i> 1230 pada frekuensi 33 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	55

4.16	Penampang spektral <i>inline</i> 1230 pada frekuensi 33 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	55
4.17	Penampang spektral <i>inline</i> 1230 pada frekuensi 64 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	56
4.18	Penampang spektral <i>inline</i> 1230 pada frekuensi 64 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	56
4.19	Penampang seismik konvensional <i>inline</i> 1300.....	57
4.20	Penampang spektral <i>inline</i> 1300 pada frekuensi 2 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	57
4.21	Penampang spektral <i>inline</i> 1300 pada frekuensi 2 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	57
4.22	Penampang spektral <i>inline</i> 1300 pada frekuensi 22 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	58
4.23	Penampang spektral <i>inline</i> 1300 pada frekuensi 22 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	58
4.24	Penampang spektral <i>inline</i> 1300 pada frekuensi 33 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	58
4.25	Penampang spektral <i>inline</i> 1300 pada frekuensi 33 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	59
4.26	Penampang spektral <i>inline</i> 1300 pada frekuensi 64 Hz dengan <i>Wavelet</i> Morlet.....	59
4.27	Penampang spektral <i>inline</i> 1300 pada frekuensi 64 Hz dengan <i>Wavelet</i> Gaussian.....	59

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A. Data Penelitian .....	74
B. Pengolahan Data.....	77
C. Interpretasi Seismik.....	79
D. Pendukung.....	86



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu sumber kekayaan alam yang sangat penting adalah minyak bumi. Minyak bumi mempunyai peranan khusus karena bukan semata-mata bersifat bahan galian, tetapi juga sebagai bahan bakar. Minyak bumi merupakan bahan bakar yang terbuat dari fosil, karena dibentuk dari sisa binatang dan tumbuhan laut kecil atau organisme-organisme yang telah punah berjuta-juta tahun yang lalu yang mengalami proses kimia-fisika (Makhrani, 2012). Sumber eksplorasi minyak yang sudah ada semakin menipis, sehingga perlu dilakukan eksplorasi sumber minyak baru. Eksplorasi dengan metode konvensional membutuhkan biaya yang tinggi dan hasilnya tidak maksimal sehingga diperlukan metode survey yang tepat.

Peran geofisikawan sangatlah penting dalam membantu serta meningkatkan produksi minyak dan gas. Geofisikawan perlu secara kritis mengetahui metode yang tepat untuk menggambarkan keadaan bawah tanah daerah eksplorasi. Minyak dan gas banyak terdapat di daerah geologis atau cekungan yang terisi oleh batuan sedimen. Oleh karena itu metode seismik merupakan metode yang utama yang harus digunakan pada lapangan eksplorasi minyak dan gas. Menurut Badley (1985) metode seismik adalah salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang mekanik atau elastik sebagai sumber yang menjalar ke dalam bumi. Dengan data seismik maka dapat mencitrakan kondisi geologi dan gambaran yang cukup baik tentang bawah permukaan bumi. Data seismik juga perlu didukung oleh data geologi serta data log sumur. Hal ini diperlukan karena data seismik memiliki kelemahan yaitu resolusi vertikal yang minim, meskipun cakupan data seismik sangat luas. Sebaliknya data log memiliki resolusi vertikal yang sangat tinggi, akan tetapi sempit untuk cakupan luasnya.

Integrasi metode tersebut akan saling mengisi sehingga kekurangan yang ada sebelumnya dapat diatasi (Waharasto, 2012). Data sumur merupakan data yang membantu memberikan informasi tentang karakter litologi dimana proses pengambilannya untuk mendapatkan rekaman log yang detail mengenai formasi geologi yang terpenetrasi dalam lubang bor. Kombinasi dari data seismik dan sumur dapat memberikan informasi yang sangat penting untuk mengurangi biaya operasional dari suatu lapangan (Sherrif dan Geldart 1995).

Data seismik konvensional biasanya terkontaminasi oleh *noise* yang koheren. Secara praktik, atribut seismik adalah efektif dalam mengekstraksi data yang mengandung *noise* menjadi lebih dipertajam (Firiah, 2009). Atribut seismik merupakan suatu transformasi matematis data tras seismik yang mempresentasikan besaran waktu, amplitudo, fase, frekuensi, dan atenuasi. Atribut seismik juga dinyatakan sebagai sifat kualitatif dan deskriptif data seismik yang dapat ditampilkan dalam skala yang sama dengan data aslinya (Brown, 2004).

Pada lapisan sedimen yang terpisah, apabila daya resolusinya kurang bagus, maka hasil yang tampak pada penampang seismik akan berupa lapisan yang tidak terpisah sehingga akan sulit dalam menginterpretasi adanya lapisan-lapisan tipis yang terdapat pada penampang tersebut. Data seismik yang memiliki resolusi tinggi sangat penting digunakan untuk menggambarkan reservoir hidrokarbon secara detail dan akurat. Pada data seismik konvensional, lebar frekuensi yang tersedia adalah terbatas dan tidak dapat memetakan lapisan-lapisan tipis yang terlihat pada data sumur. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode untuk meningkatkan resolusi data seismik untuk dapat melihat pemisahan tersebut supaya lapisan-lapisan tipis akan lebih terlihat sesuai dengan keadaan yang sebenarnya (Satrio, 2013). Kualitas data seismik yang baik akan membantu pekerjaan pemrosesan data dan meningkatkan ketelitian dalam interpretasi data seismik sehingga didapatkan penampang seismik yang benar-benar mencitrakan kondisi geologi bawah permukaan (Polikar, 1999).

Proses peningkatan resolusi data seismik pada dasarnya memiliki berbagai metode. Penggunaan metode tersebut biasanya disesuaikan dengan data seismik dan *software* yang digunakan, serta pertimbangan dari waktu pengerjaan dan/atau biaya yang dianggarkan. Ketika faktor waktu dan biaya yang diberikan cukup minim, pemilihan metode yang cepat dan tanpa mengeluarkan biaya menjadi alternatif yang tepat. Berdasarkan studi literatur tentang macam-macam metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas data seismik, metode yang dapat digunakan diantaranya adalah metode *stationary wavelet transform*, *spectral balancing*, *spectral blueing*, *common reflection surface* dan *spectral Decomposition*. Dari hasil yang diperlihatkan kelima metode ini dapat meningkatkan kualitas data seismik baik dalam memisahkan dua lapisan yang berdekatan, kemenerusan lapisan secara horizontal dan juga menghilangkan pengaruh *noise* pada data. Kunci meningkatkan kualitas data ini terletak pada perlakuan yang dilakukan agar dapat meningkatkan frekuensi dan juga spektrum amplitudo pada data.

Penelitian mengenai peningkatan resolusi data seismik dilakukan oleh Satrio (2013). Satrio melakukan peningkatan resolusi data seismik melalui teknik peningkatan frekuensi tinggi dengan memanfaatkan data VSP (*Vertical Seismic Profiling*). Prinsip dasar dari peningkatan ini yaitu membagi nilai frekuensi tinggi yang dimiliki oleh VSP terhadap nilai frekuensi rendah dari data seismik asli yang kemudian diaplikasikan ke data seismik. Hasil menunjukkan refleksi yang lebih detail, lebar frekuensi data seismik yang meningkat, serta lapisan tipis yang terlihat pada data sumur.

Fitriah (2009), juga melakukan penelitian mengenai aplikasi dekomposisi spektral untuk meningkatkan resolusi data seismik 2D pada lapisan tipis batubara. Hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi maka pemisahan lapisan tipis yang dapat dilakukan semakin baik. Pada data seismik real 2D, pemisahan lapisan tipis pada batubara terjadi pada *tuning frequency* 80 Hz dengan menggunakan *wavelet* Symlet-2.

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan Fitriah, maka penulis menggunakan dekomposisi spektral dalam meningkatkan resolusi data seismik. Dekomposisi spektral dapat mengkarakterisasi respon seismik pada frekuensi tertentu, dan juga dapat digunakan untuk menapis data, menghilangkan sinyal-sinyal yang tidak diinginkan atau meningkatkan mutu kualitas data. Atribut yang terdapat pada dekomposisi spektral yaitu frekuensi dan apabila diaplikasikan pada data seismik menghasilkan output spektrum amplitudo (Partyka dkk, 1999). Pada dekomposisi spektral sendiri terdapat 2 metode yaitu *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Continuous Wavelet Transform* (CWT). Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu CWT karena dapat memberikan representasi *Time-Frequency* secara terlokalisasi dan menyeluruh. Sedangkan representasi sinyal dengan menggunakan transformasi fourier memiliki kekurangan jika diaplikasikan untuk kasus sinyal non stasioner dimana komponen spektralnya sensitif terhadap perubahan waktu. Dengan transformasi fourier diperoleh informasi spektrum dari sinyal asli dalam domain frekuensi dimana dengan representasi tersebut tidak mengindikasikan lokalisasi frekuensi-waktu dalam bentuk komponen spektral. Sehingga singularitas dari sinyal asli tidak tercover (Polikar, 1999).

Proses analisis sinyal dalam kawasan waktu-frekuensi, supaya diperoleh resolusi yang berharga konstan maka dipergunakan suatu jenis “*wavelet*” untuk analisis sinyal dalam kawasan waktu-frekuensi. Proses analisis waktu frekuensi dikerjakan dengan cara mengkonvolusi sinyal dengan *wavelet*. Pada proses analisis waktu frekuensi, resolusi frekuensi diperoleh dengan mendilatasi *wavelet* menggunakan skala tertentu dan resolusi waktu diperoleh dengan mentranslasi *wavelet* dengan faktor translasi tertentu (Daubechies, 1992). Kombinasi penentuan nilai skala dan nilai translasi dalam proses analisis waktu frekuensi berbasis CWT akan memberikan hasil analisis yang mempunyai resolusi yang tinggi. *Wavelet* yang dipergunakan pada penelitian ini adalah *wavelet* Morlet dan *wavelet* Gaussian.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa terhadap peningkatan resolusi data seismik menggunakan transformasi *wavelet* Morlet dan *wavelet* Gaussian dengan frekuensi tertentu. Frekuensi yang digunakan diambil dari *peak* spektrum amplitudo di zona target. Hasil analisis tersebut dapat dipergunakan untuk mencitrakan kondisi geologi dan gambaran yang cukup baik tentang bawah permukaan bumi sehingga dapat menggambarkan keberadaan reservoir hidrokarbon secara detail dan akurat. Penggunaan data sumur pada penelitian ini yaitu untuk proses pengikatan dengan data seismik sehingga data seismik dan data sumur berada pada kedalaman yang sebenarnya.

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dimana penulis tidak mengambil data secara langsung di lapangan tetapi menggunakan data mentah yang sudah ada. Data yang digunakan yaitu data ekspolarasi Penobscot (data seismik *pre-stack* 2D dan 3D) pada daerah cekungan Nova Scotia yang memiliki dua buah data sumur, yaitu sumur-1 (B-41) dan sumur-2 (L-30). Data tersebut milik perusahaan *Nova Scotia Departement of Energy* dan *Canada Nova Scotia Offshore Petroleum Board* yang dipublikasikan oleh *Opendtect.org* (Opendtect, 2009). *Software* yang digunakan pada penelitian yaitu *software opendtect* dan dari perhitungan *software* ini akan dapat diketahui dan dianalisis serta disimpulkan mengenai efektivitas dari dekomposisi spektral terhadap peningkatan resolusi data seismik menggunakan metode CWT.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan di atas, maka diperoleh perumusan masalah pada penelitian ini yaitu bagaimana peningkatan resolusi data seismik konvensional menggunakan dekomposisi spektral dengan analisa *wavelet* terhadap kualitas penampang seismik untuk daerah penelitian lapangan Penobscot?

### 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada beberapa aspek kajian utama untuk mempermudah dalam proses penelitian yang akan dilakukan diantaranya sebagai berikut :

- a. Metode yang digunakan yaitu CWT.
- b. Jenis *wavelet* yang digunakan yaitu *wavelet* Morlet dan *wavelet* Gaussian.
- c. Studi ini difokuskan pada peningkatan resolusi penampang lapisan yang ada pada daerah atau zona target dengan analisa *wavelet* pada frekuensi yang ditentukan oleh spektrum amplitudonya.
- d. *Software* yang digunakan yaitu *software Opendtect*.

### 1.4 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang menjadi dasar dilakukannya penelitian ini, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas dari dekomposisi spektral dengan menggunakan metode CWT dalam upaya untuk meningkatkan resolusi data seismik dengan analisa *wavelet* pada frekuensi tertentu berdasarkan data seismik dan data sumur pada lapisan di Lapangan Eksplorasi Penobscot. Dengan meningkatnya resolusi maka diharapkan dapat melihat pemisahan lapisan-lapisan tipis dengan lebih baik sehingga dapat menggambarkan reservoir secara detail dan akurat.

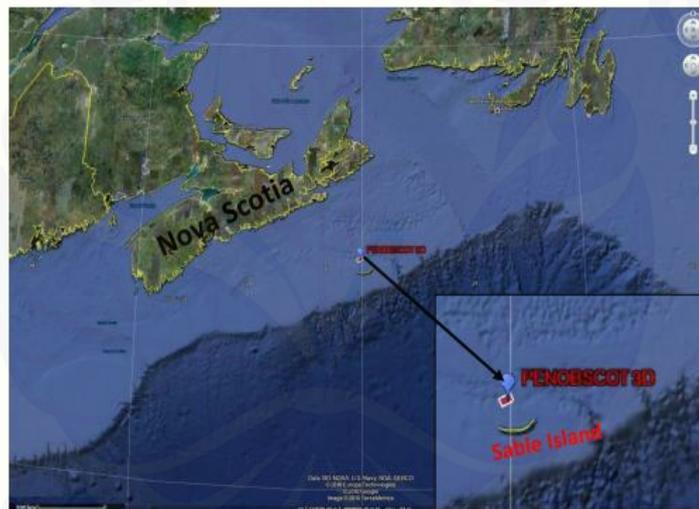
### 1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini diantaranya yaitu memberikan informasi mengenai penggunaan dekomposisi spektral untuk meningkatkan resolusi data seismik dan mengetahui penampang seismik yang lebih jelas dan akurat sehingga informasi yang diperoleh berupa gambaran struktur bawah permukaan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Selain itu sebagai bahan masukan bagi peneliti lain dalam mengembangkan penelitian mengenai peningkatan resolusi data seismik.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tinjauan Geologi Daerah Penelitian

Lapangan Penobscot berada pada sebelah Tenggara Propinsi Nova Scotia, Kanada. Eksplorasi pada Cekungan Scotian dimulai sejak 1959 dan saat ini berjumlah 207 sumur yang telah dibor. Lepas Pantai Nova Scotia memiliki sejumlah besar lahan lepas pantai yang prospektif. Lahan tersebut terletak pada Sub-Cekungan Sable, Abenaki dan Shelburne, sepanjang *Carbonate Bank* Abenaki, serta wilayah Lereng laut dalam (CNSOPB, 2010).



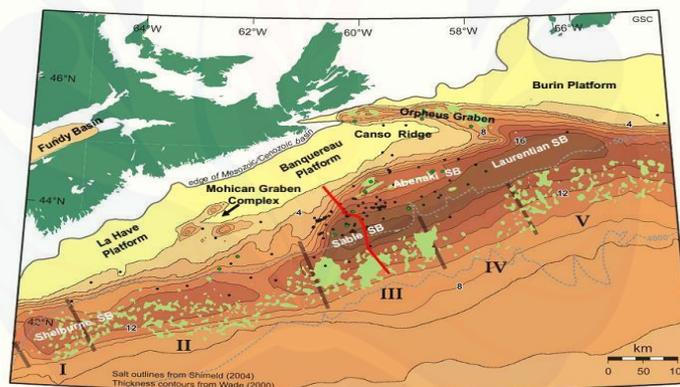
Gambar 2.1 Lapangan Eksplorasi Penobscot (Sumber: Google Earth, 2015)

#### 2.1.1 Geologi Regional Lapangan Eksplorasi

Cekungan Scotia berlokasi di wilayah lepas pantai Nova Scotia yang membentang 1.200 km dari Busur Yarmouth/perbatasan Amerika Serikat di barat daya sampai dengan Avalon Uplift Newfoundland di timur laut. Dengan rata rata lebar 250 km, total luas dari cekungan Scotia ini diperkirakan 300.000 km<sup>2</sup>. Setengah dari cekungan berada pada landasan benua masa sekarang dengan

kedalaman kurang 200 m di bawah permukaan laut dan setengahnya lagi berada pada lereng kontinental dengan kedalaman dari 200 m hingga di atas 4.000 m di bawah permukaan laut (CNSOPB, 2010).

Cekungan Scotia terbentuk pada daerah tepi benua pasif yang berkembang setelah perioda keretakan di Amerika Utara dan terpisahnya dari benua Afrika selama perioda terpecahnya Pangea (Gambar 2.2). Cekungan Scotia terdiri atas serangkaian struktur landasan dan *deponcentres*, dari barat daya ke timur laut mereka adalah Subcekungan *Shelburne*, landasan *La Have*, Sable dan Subcekungan Abenaki, landasan *Banquereau*, *Orpheus Graben* dan Sub-Cekungan Laurentian (Gambar 2.2). Landasan dan cekungan ini dibatasi oleh zona rekahan samudera yang memanjang dari daratan hingga ke kerak samudera (Welsink dkk., 1990).



Gambar 2.2 Sub-cekungan *Shelburne*, landasan *La Have*, Sable dan Sub cekungan Abenaki, Landasan *Banquereau*, *Orpheus Graben* dan Sub-cekungan Laurentian (Sumber : Wade dan McLean, 1990).

Kenaikan permukaan air laut disertai terjadinya pembentukan landasan karbonat, mengakibatkan lingkungan karbonat ditutupi oleh serpih. yang kemudian terbentuk kembali pada periode Jurassic akhir. Pengendapan pada periode Cretaceous didominasi oleh serangkaian batu pasir yang tebal dari tipe *deltaic*, *strand plain*, *carbonate shoal*, dan suksesi paparan laut dangkal. Fluktuatif relative permukaan air laut pada periode Tersier mengakibatkan

ketidakselarasan pada lapisan sedimen. Lapisan tersebut tererosi oleh aliran fluvial yang membawa sedimen menuju ke *abyssal plain*. Pada periode Kuartar, terdapat deposit sedimen laut dan glacial pada bagian luar paparan (Wade dkk, 1995).

### 2.1.2 Stratigrafi Lapangan Eksplorasi

Prospek Penobscot secara umum terdapat pada basin Scotia yang terletak di Paparan Scotia. Basin Scotia tersebut terdiri dari batuan sedimen *Mesozoic-Cenozoic* hingga kedalaman 16 km yang terendapkan selama retakan Pangea hingga pembentukan Atlantik Utara. Selama retakan Triassic, lapisan paling awal terendapkan dan berisi batuan klastik kontinen merah dan evaporit. Dengan transisi ke dasar laut dan menyebar pada Jurasik awal, retakan basin secara bertahap terisi oleh batuan klastik dan karbonat. Terbentuknya susunan alluvial plain, delta, dan fasies karbonat dipicu oleh kondisi yang sepenuhnya berupa lautan dan berkembang pada Jurasik tengah. Pengendapan *Cretaceous* akhir dan *Cretaceous* awal didominasi oleh batu serpih transgresif, batu gamping, dan batu kapur. Selama *Paleosen* dan *Neosen*, fluktuasi relatif permukaan air laut membentuk campuran batu pasir dan batu serpih yang diselingi batuan klastik kasar dan karbonat laut. Lapisan tersebut juga dilapisi oleh *glaciomarine silts* dan sedimen lautan yang terendapkan selama Kuartar (CNSOPB, 2010).

Stratigrafi pada Cekungan Scotia terbagi ke dalam beberapa formasi diantaranya : Banquereau, Wyandot, Dawson Canyon, Missisauga dan Abenaki (Gambar 2.3). Selama Jurassik tengah sampai Cretaceous awal, pengendapan karbonat mendominasi pada wilayah batas Antlantik Utara, dapat dilihat pada periode tersebut level laut global secara periodik meningkat. Berikut merupakan beberapa formasi pada lapangan eksplorasi :

#### a. Formasi Dawson Canyon

Serpihan batu laut, batu kapur, dan sejumlah kecil batu gamping terendapkan di seluruh basin Scotia selama *Cretaceous* akhir. Unit

transgresif pertamanya adalah Formasi Dawson Canyon yang memiliki variasi ketebalan dari 700 m lebih di bagian subbasin *SouthWhale* dan bagian paparan Scotia kira-kira 200 m pada *Canso Ridge* dan sekitar 100 m di bagian luar kulit subbasin.

b. Formasi Wyandot

Formasi Wyandot tersusun dari batu kapur, tanah bahan semen, dan sedikit batu gamping. Ketebalannya bervariasi antara kurang dari 50 m di Pulau Sable dan sekitar 400 m di sebelah Tenggara tepi Paparan Scotia, tetapi hilang secara besar-besaran pada basin karena erosi Tersier. Di bawah bagian luar paparan dan lereng, di atas Formasi Wyandot sering ditandai adanya ketidaksesuaian yang bertumpukan dengan sedimen Tersier.

c. Formasi Logan Canyon

Logan Canyon memiliki ketebalan sekitar 2.5 km dan dibagi menjadi empat bagian yang dua diantaranya didominasi oleh batuan serpih. Formasi ini mirip dengan turbidit jauh atau batuan serpih pada serpihan batu daratan pendek.

d. Formasi Missisauga

Formasi Missisauga tersebar luas pada basin Scotia yang bervariasi secara fasies dan ketebalan. Di seluruh landasan *LaHave*, landasan *Burin*, dan bukit *Canso*, ketebalannya mencapai 1.000 m dan berisi 60 hingga 80 % batuan pasir dengan beberapa fasies batu gamping lokal pada bagian Barat Daya.

e. Formasi Abenaki

Formasi Abenaki dibagi menjadi empat bagian : Scatarie, Misaine, Baccaro, dan Artimon. Formasi ini terbentuk dari batuan gamping khusus yang memiliki sekuens seismik yang kompleks dan menonjol. Bagian paling baik yang bisa dikembangkan dari formasi ini adalah pada zona hinge antara landasan *LaHave*, subbasin *Shelburne*, dan bagian lembah pulau.

f. Formasi Eurydice

Formasi Eurydice merupakan Formasi tertua dari sekuen *synrift* yang berisi deretan tebal Batu Pasir Merah Triassic, Batu Lanau, dan Batu Serpih. *Graben Orpheus*, tempat terdapatnya Formasi Eurydice, dilakukan pengeboran hampir sepanjang 600 m dan berdasarkan data seismik ketebalannya diindikasikan mencapai 3 km.

g. Formasi Argo

Formasi Argo berada di atas Formasi Eurydice dengan kandungan utamanya berupa garam. Distribusi garam pada Cekungan Scotia menandakan bahwa mayoritas graben pada awal pengendapan mengakumulasi sekuen evaporit yang tebal.

h. Ketidakselarasan

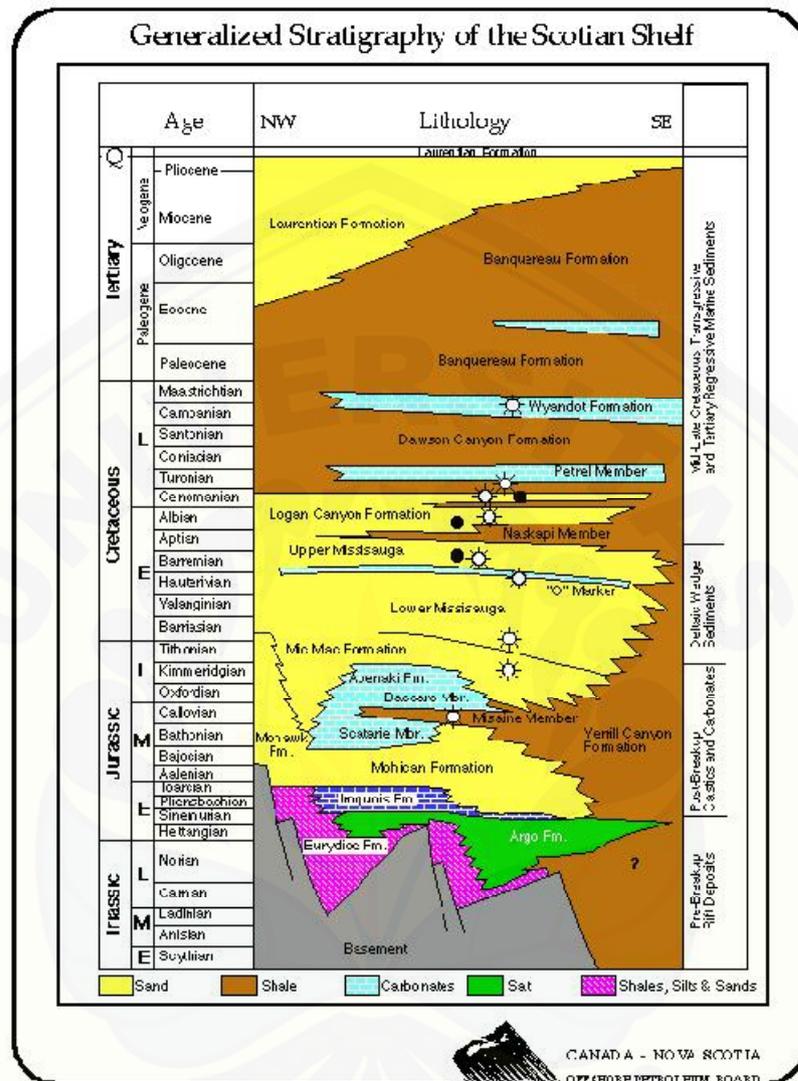
Ketidakselarasan yang sangat signifikan, ketidakselarasan, muncul diantara sekuen *Synrift* dan *Post rift* pada Cekungan Scotia. Diperkirakan terjadi pada periode awal Jurassic. Ketidakselarasan ini dapat terlihat di sepanjang graben dangkal pada landasan *LaHave*.

i. Formasi Iroquois dan Mohican

Formasi Iroquois dan Mohican menutupi ketidakselarasan di bawah landas Scotia. Formasi Iroquois, dengan kandungan utamanya berupa batuan dolomite, seusia dengan bagian bawah dari Formasi Mohican pada landasan *La Have* dimana ketebalan maksimum mencapai sekitar 800 m.

j. Formasi Mic Mac dan Mohawk.

Formasi Mic Mac memiliki ketebalan sekitar 6 km pada Sub-Cekungan Laurentian hingga tepi pengendapan sepanjang landasan *La Have* dan landasan *Burin*. Daerah tenggara Pulau Sable terdiri atas batu pasir, batuan serpih, dan karbonat yang saling *interbedding* dengan ketebalan 4 sampai 5 km. Sedang Formasi Mohawk terdiri dari batu pasir felspatik dan batu lumpur yang *interbedding* dengan batu serpih dan batu gamping.



Gambar 2.3 Statigrafi Umum Lapangan Eksplorasi Penobscot (Sumber : Nova Scotia Departement of Energy, 2011(lihat lampiran D))

k. Formasi Verrill Canyon

Pada Formasi Verrill Canyon, kandungan utamanya berupa batu serpih dengan lapisan tipis dari batu karbonat, lanau, dan batu pasir. Formasi ini mengendap pada lingkungan prodelta, bagian luar landas dan pada lereng benua dengan ketebalan sekitar 360 m di barat daya Cekungan Scotia hingga lebih dari 915 m di daerah timur laut.

l. Formasi Banquereau

Formasi Banquereau memiliki sedimen di daerah Top Wyandot. Ketebalannya sekitar nol hingga 4 km di tepi cekungan pada daerah lereng benua.

m. Formasi Laurentian

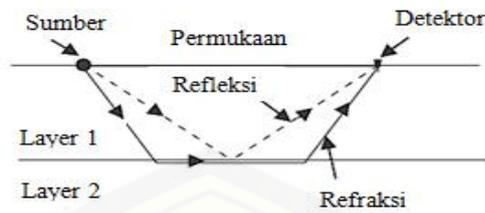
Formasi Laurentian merupakan pengendapan sedimen dari sedimen *Quaternary* dan bagian *Pliocene*. Pada sisi tertebalnya, di sepanjang daerah luar landas benua dan daerah atas lereng, terdapat lebih dari 1.500 m batu pasir laut, lanau dan lempung.

(CNSOPB, 2010).

## 2.2 Konsep Dasar Eksplorasi Seismik

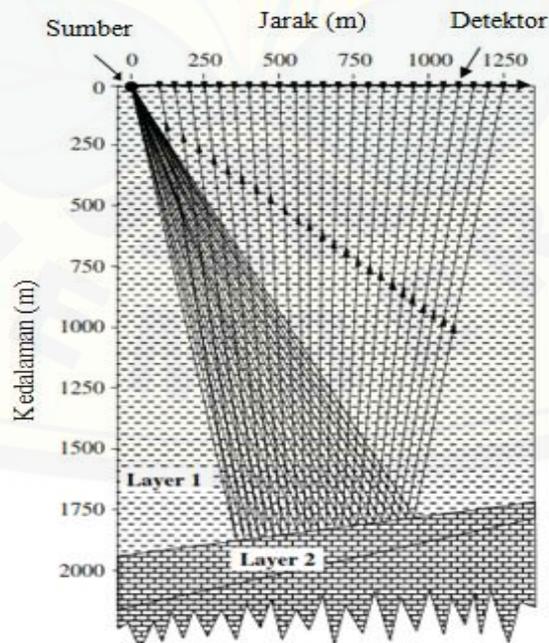
Seismik eksplorasi yang lebih lanjut disebut metode seismik merupakan teknik yang handal untuk mencitrakan kondisi bawah permukaan mulai dari skala sentimeter sampai kilometer dengan menggunakan gelombang seismik. Melalui studi perambatan gelombang akustik ke dalam lapisan bumi dan dimana dalam perambatannya gelombang seismik akan dipantulkan balik ke permukaan dan diterima oleh penerima. Dari informasi yang direkam oleh penerima, dapat mempelajari struktur, stratigrafi dan jenis batuan dari bumi (Haris, 2006).

Terdapat dua bagian antara sumber dan penerima dengan pemfokusan tertentu yaitu refleksi dan refraksi. Lapisan 1 dan 2 (Gambar 2.4) dengan jenis batuan yang berbeda, dengan tingkat dimana gelombang seismik menjalar (akustik atau kecepatan seismik), dan densitas (massa per satuan volume). Beberapa energi dipantulkan kembali ke permukaan di lapisan 1 dan beberapa ditransmisikan ke lapisan 2, ketika gelombang seismik mengenai batas antara lapisan 1 dan 2. Jika kecepatan seismik dari lapisan 2 lebih cepat daripada lapisan 1, akan terdapat sudut dimana gelombang seismik yang ditransmisikan akan dibengkokkan atau dibiarkan untuk menjalar sepanjang batas antar lapisan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4 (Gadallah dan Fisher, 2009).



Gambar 2.4 Refleksi dan Refraksi (Sumber: Gadallah dan Fisher, 2009)

Metode seismik refleksi merupakan sebuah metode geofisika yang memanfaatkan gelombang pantul dari batuan yang berada di bawah permukaan. Caranya yaitu dengan mengirimkan gelombang akustik yang dikirimkan ke dalam bumi (Badley, 1985). Respon batuan terhadap gelombang yang datang akan berbeda-beda tergantung sifat fisik batuan yang meliputi densitas, porositas, umur batuan, kepadatan, dan kedalaman batuan. Gelombang yang dipantulkan akan ditangkap oleh geofon di permukaan dan diteruskan ke instrumen untuk direkam. Hasil rekaman akan mendapatkan penampang seismik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Metode Seismik Refleksi (Sumber : Gadallah dan Fisher, 2009)

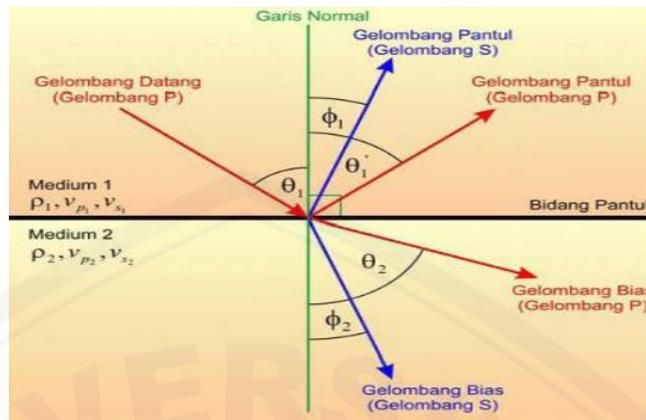
Brown (2004) menyatakan bahwa data yang didapatkan dari pengukuran seismik adalah waktu tempuh gelombang. Dari data tersebut akan diperoleh kecepatan rambat gelombang. Selain hal tersebut variabel lain yang dapat dimanfaatkan ialah amplitudo, frekuensi dan fasa gelombang. Metode seismik refleksi dimanfaatkan untuk keperluan eksplorasi perminyakan ataupun mendeteksi struktur per lapisan tanah.

### 2.3 Prinsip Dasar Perambatan Gelombang Seismik

Perambatan gelombang di bawah permukaan bumi dikontrol oleh hukum-hukum fisika antara lain :

#### a. Hukum Snellius

Perambatan gelombang seismik dari medium satu ke medium lain yang mempunyai sifat fisik yang berbeda seperti kecepatan dan densitas akan mengalami perubahan arah ketika melewati bidang batas antar medium. Suatu gelombang yang datang pada bidang batas dua media yang sifat fisiknya berbeda akan dibiaskan jika sudut datang lebih atau sama dengan sudut kritisnya dan akan dipantulkan jika sudut datang lebih besar dari sudut kritis. Sudut kritis adalah sudut datang yang menyebabkan gelombang dibiaskan  $90^\circ$ . Jika suatu berkas gelombang P yang datang mengenai permukaan bidang batas antara dua medium yang berbeda, maka sebagian energi gelombang tersebut akan dipantulkan sebagai gelombang P dan gelombang S, dan sebagian lagi akan dibiaskan sebagai gelombang P dan gelombang S, seperti yang diilustrasikan pada gambar di bawah 2.6 :



Gambar 2.6 Pemantulan dan pembiasan pada bidang batas dua medium untuk gelombang P (Sumber : Bhatia, 1986).

Lintasan gelombang tersebut mengikuti hukum Snellius, yaitu :

$$\frac{\sin \theta_1}{V_{P1}} = \frac{\sin \theta'_1}{V_{P1}} = \frac{\sin \theta_2}{V_{P2}} = \frac{\sin \phi_1}{V_{S1}} = \frac{\sin \phi_2}{V_{S1}} = p \quad (2.1)$$

dengan :

$\theta_1$  = Sudut datang gelombang P (rad)

$\theta'_1$  dan  $\theta_2$  = Sudut pantul dan sudut bias gelombang P (rad)

$\phi_1$  dan  $\phi_2$  = Sudut pantul dan sudut bias gelombang S (rad)

$V_{P1}$  dan  $V_{P2}$  = Kecepatan gelombang P pada medium pertama dan kedua (m/s)

$V_{S1}$  dan  $V_{S2}$  = Kecepatan gelombang P pada medium pertama dan kedua (m/s)

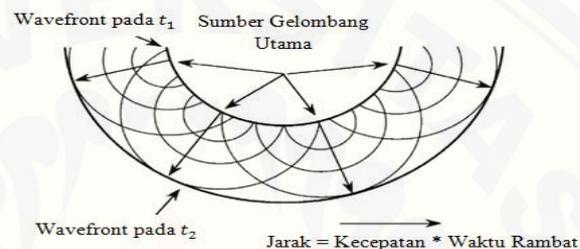
$p$  = Parameter gelombang

$\theta'_1$  =  $\theta_1$  (rad)

#### b. Prinsip Huygens

Prinsip Huygens merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk menggambarkan penjarangan gelombang yang berada di bawah permukaan. Prinsip ini menyatakan bahwa setiap titik pada muka gelombang bertindak sebagai sumber baru untuk muka gelombang berikutnya. Jadi jika

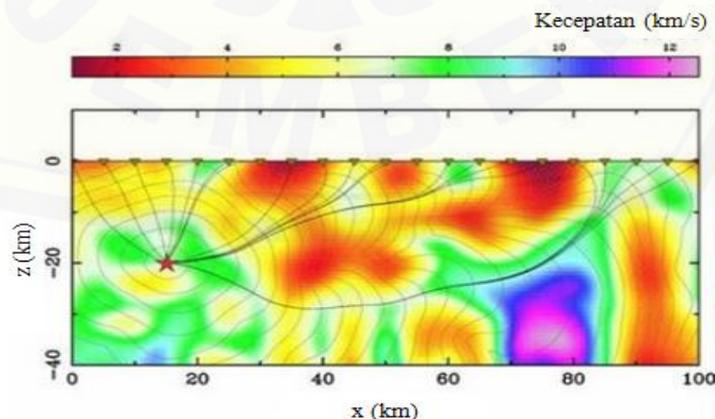
diketahui terdapat suatu muka gelombang  $x$  pada waktu  $t$  yang dihasilkan dari suatu sumber  $S$ , maka untuk mendapatkan muka gelombang dengan waktu  $t + \Delta t$ , dapat dilakukan dengan cara membuat lingkaran-lingkaran *wavelet* sekunder dengan jari-jari  $v\Delta t$  yang dibuat dari setiap titik pada muka gelombang  $x$  dan kemudian membuat garis-garis singgungnya sepanjang lintasan tersebut sehingga diperoleh muka gelombang baru dengan waktu  $t + \Delta t$  (Sheriff dan Geldart, 1995).



Gambar 2.7 Prinsip Huygen (Sumber : Sheriff dan Geldart, 1995)

### c. Prinsip Fermat

Prinsip Fermat (Gambar 2.8) menyatakan bahwa jika sebuah gelombang merambat dari satu titik ke titik yang lain maka gelombang tersebut akan memilih jejak yang tercepat. Kata tercepat memberikan penekanan bahwa jejak yang akan dilalui oleh sebuah gelombang adalah jejak yang secara waktu tercepat bukan yang terpendek secara jarak.



Gambar 2.8 Penggambaran Prinsip Fermat (Sumber : Gadallah dan Fisher, 2009)

Dengan demikian jika gelombang melewati sebuah medium yang memiliki variasi kecepatan gelombang seismik, maka gelombang tersebut akan cenderung melalui zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona-zona kecepatan rendah (Gadallah dan Fisher, 2009).

## 2.4 Data Survey Seismik

### 2.4.1 Data Seismik

Penampang seismik 2D merupakan penampang melintang dari benda 3D yang merupakan objek geologi bawah permukaan. Seismik 2D mengandung sinyal dari semua arah termasuk yang di luar bidang penampang, akan tetapi migrasi 2D biasanya mengasumsikan bahwa sinyal yang terekam berasal dari bidang penampang itu sendiri. Sinyal tersebut, terkadang dapat dikenali, tapi sering mengakibatkan kesalahan pengikatan pada rekaman seismik 2D termigrasi. Oleh karena kelemahan-kelemahan tersebut maka pada tahun 1970 mulai dikemukakan konsep survei seismik 3D yang dipelopori oleh Walton (1972), Bone, dkk (1976) (Brown, 2003).

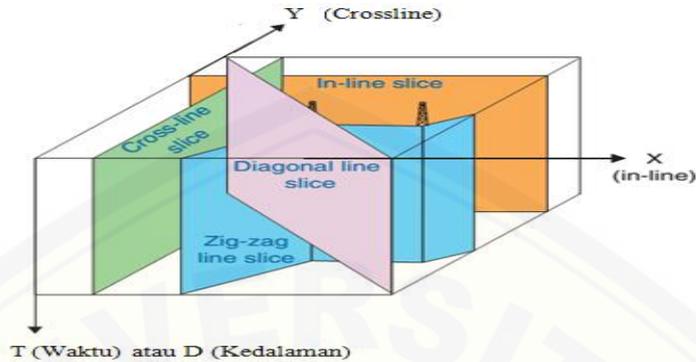
Selama dua dekade terakhir seismik 3D telah berkembang secara signifikan di banyak perusahaan minyak utama. Survei 3D meningkat secara eksponensial 1990-1996 untuk menutupi sebagian dari ladang lepas pantai mereka. Seismik 3D mungkin telah mengurangi ketidakpastian dalam eksplorasi dan produksi minyak dan gas. (Cordsen *et al.*, 2000). Data 3D sesuai dengan data volume seismik di mana jejak *Common Mid Point* (CMP) berada di koordinat (  $x$  ,  $y$  ) dari bidang vertikal dari garis seismik.

Data volume 3D merupakan hasil dari pengolahan data (Gambar 2.9). itu merupakan volume migrasi yang diperoleh setelah prnyortiran data dalam *Common Mid Point* (CMP) dan tumpukan data.

Data berkumpul dalam koordinat (  $x$  ,  $y$  ,  $z$  ) dengan :

- Pada koordinat OX yaitu arah *inline*
- Pada koordinat OY yaitu arah *crossline*

- Pada koordinat OZ yaitu *two way time* (TWT) atau kedalaman.



Gambar 2.9 Bagian vertikal 3D (Sumber : Chaouch dan Mari, 2006)

Interpreter seismik 3D bekerja dengan sebuah data volume. Normalnya itu selesai dengan mempelajari beberapa diantaranya dari bagian tiga orthogonal yang melewati suatu volume. Interpreter struktur membutuhkan kemampuan memutuskan kapan menggunakan penampang horizontal dan kapan menggunakan irisan vertikal dalam perjalanan sebuah kegiatan interpretasi menyeluruh. Oleh karenanya, konsep volume sangat penting dalam interpretasi seismik 3D yang dilakukan melalui potongan-potongan data volume pada data tersebut (Gambar 2.9) (Brown, 2004). Potongan vertikal pada arah pergerakan lintasan disebut *inline*, titik spasi antar *inline* disebut *line*. Sedangkan potongan vertikal tegak lurus terhadap lintasan disebut *crossline*, titik spasi antar *crossline* disebut *trace*. Potongan horisontal disebut sebagai penampang horisontal atau potongan waktu (*time slice*). Potongan sepanjang horison yang telah diinterpretasi disebut sebagai horizon *slice* (Chaouch dan Mari, 2006).

#### 2.4.2 Data Log Sumur

Data log adalah grafik kedalaman (atau waktu), dari satu set data yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan di dalam sebuah sumur (Harsono, 1997). Adapun parameter sifat-sifat fisik yang diukur antara kelistrikan, radioaktivitas, perambatan suara batuan. Parameter sifat-sifat fisik

tersebut dapat diinterpretasikan secara kualitatif mengenai litologi dan jenis fluida pada formasi yang tertembus sumur serta secara kuantitatif yang meliputi ketebalan, porositas dan kejenuhan hidrokarbon (Rider, 2002).

Tersedia dua data sumur untuk daerah tersebut, yaitu sumur L-30 dan sumur B-41. Semua sumur tersebut dilengkapi dengan data *marker* stratigrafi lapisan bawah permukaan. Selain itu, juga dilengkapi dengan log *sonic* ( $V_p$ ), densitas ( $\rho$ ), dan *gamma-ray*. Pada penelitian ini, data sumur dan data *marker* dikhususkan untuk mengikat data seismik yang bertujuan untuk mengkorelasikan dan mengestimasi stratigrafi bawah permukaan bumi. Proses pengikatan data seismik dengan data sumur dilakukan dengan menggunakan log densitas dan log *P-wave sonic*.

- Log Densitas

Log densitas disebut sebagai hasil pengukuran dari densitas elektron dalam batuan. Prinsipnya adalah dipancarkannya sinar gamma dengan intensitas tertentu oleh pemancar di dalam batuan, selanjutnya partikel sinar gamma akan bertumbukan dengan elektron-elektron dalam batuan. Makin banyak elektron berarti makin padat batuan tersebut sehingga sinar gamma yang kembali akan berkurang intensitasnya.

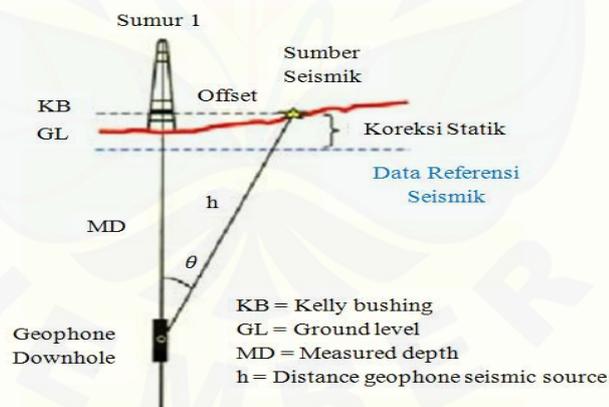
- Log Sonik

Log sonik disebut sebagai hasil pengukuran waktu yang diperlukan gelombang suara (energi akustik) untuk melintasi suatu batuan dengan ketebalan tertentu. Waktu yang diperlukan ini tergantung pada jenis porositas batuan. Log sonik bersama dengan log densitas digunakan untuk menentukan nilai koefisien refleksi yang diperlukan dalam pembuatan sintetik seismogram (Harsono, 1997).

## 2.5 Survey *Checkshot*

Menurut Veeken (2007) data *checkshot* merupakan komponen penting dalam interpretasi seismik khususnya *well seismic tie* yang bertindak sebagai penerjemah domain kedalaman data-data sumur ke dalam domain waktunya data seismik. Sebenarnya penerjemahan domain kedalaman ke dalam domain waktu dapat dilakukan oleh data sumur yaitu log sonic. Log sonic berupa pengukuran transit time yang disingkat DT dapat diubah menjadi log kecepatan sonic. Kecepatan sonic inilah yang mampu menerjemahkan domain kedalaman ke dalam domain waktu. Akan tetapi, kecepatan sonic dalam *well seismic tie* mempunyai beberapa kelemahan sehingga masih diperlukan data kecepatan lain yang diperoleh sebagaimana data seismik diperoleh yaitu data *checkshot*.

Tujuan dari survei *checkshot* adalah untuk mendapatkan hubungan domain waktu dan kedalaman yang digunakan untuk melakukan proses pengikatan data sumur dengan data seismik. Akuisisi data *checkshot* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.10 Ilustrasi akuisisi survey *checkshot* (Sumber : Veeken, 2007)

Pada prinsipnya survey *checkshot* sama seperti survey pada seismik, akan tetapi letak geofon pada *checkshot* diletakkan pada sumur. Sehingga didapatkan waktu *one way time* yang direkam oleh geofon pada kedalaman tertentu. Dari sinilah

dapat diketahui hubungan waktu penjalaran gelombang seismik pada sumur tersebut (Sukmono, 1999).

## 2.6 Resolusi Seismik

Resolusi didefinisikan sebagai kemampuan untuk memisahkan dua kenampakan yang sangat berdekatan. Resolusi menggambarkan jarak minimum antara dua reflektor yang dalam hal ini berupa batas perlapisan yang dapat dibedakan oleh gelombang seismik. Dalam interpretasi seismik resolusi terbagi menjadi dua arah resolusi yaitu resolusi vertikal dan resolusi horizontal. Resolusi horizontal memegang peranan penting dalam menentukan baik buruknya hasil interpretasi khususnya dalam hal identifikasi lapisan-lapisan batuan yang cukup tipis. Lapisan-lapisan tipis tersebut hanya dapat diamati secara akurat dengan resolusi seismik yang tinggi (Sukmono, 1999).

### 2.6.1 Resolusi Vertikal

Resolusi vertikal adalah kemampuan untuk memisahkan lapisan atas dengan lapisan bawahnya secara vertikal. Resolusi vertikal biasa dikenal dengan istilah *tuning thickness* dengan ketebalan  $\frac{1}{4}\lambda$  panjang gelombang, sedangkan jika ketebalannya kurang dari itu maka gabungan antara refleksi bidang bawah dan atas akan tampak seperti satu reflektor tunggal (Young, 2004). Frekuensi gelombang seismik lebih kecil dibandingkan frekuensi yang dihasilkan pada data *log* sumur, sehingga kemampuan perubahan seismik jauh lebih besar sekitar 100 kali lipat. Semakin kecil frekuensi dan kecepatan maka gelombang akan semakin besar. Panjang gelombang ( $\lambda$ ) tergantung pada kecepatan  $V$  dan frekuensi  $F$  seperti pada persamaan di bawah ini :

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.2)$$

Dimana :

$\lambda$  = Panjang gelombang (m)

$V$  = Kecepatan rata-rata (m/s)

$f$  = Frekuensi dominan seismik (Hz)

Dari persamaan di atas dapat diidentifikasi bahwa semakin kecil panjang gelombangnya, maka perlapisan yang dapat terdeteksi semakin kecil (Sheriff dan Geldart, 1995).

### 2.6.2 Resolusi Lateral/Horizontal

Resolusi lateral atau horizontal dikenal dengan zona fresnell yaitu bagian dari reflektor dimana energi dipantulkan ke *geophone* atau *hydrophone* setelah separuh siklus atau seperempat panjang gelombang setelah terjadinya refleksi pertama atau dapat pula diartikan sebagai lingkaran pada suatu bidang pantul dimana ukurannya tergantung pada kedalaman bidang pantul, kecepatan batuan dan frekuensi dominan seismik pada lapisan di atas bidang pantul (Vekeen, 2007).

$$r = \left(\frac{v}{2}\right) \sqrt{\frac{t}{f}} \quad (2.3)$$

Dimana :

$r$  = Radius zona Fresnel (m)

$z$  = kedalaman bidang pantul (m)

$v$  = rata-rata kecepatan (m/s)

$f$  = frekuensi dominan seismik (Hz)

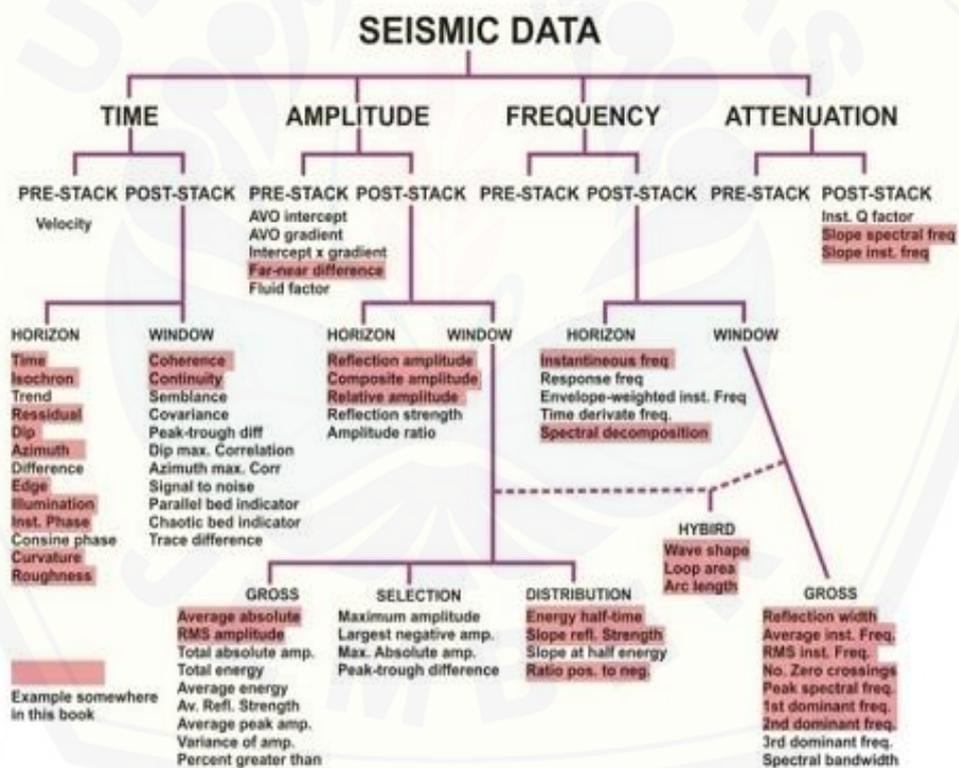
$t$  = *two way travel time* (TWT) (s)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa resolusi horizontal akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman, bertambahnya kecepatan rata-rata serta berkurangnya frekuensi dominan.

## 2.7 Atribut Seismik

Chen dan Sidney (1997) mendefinisikan atribut seismik sebagai semua informasi berupa besaran spesifik dari geometri, kinematika, dinamika atau statistik yang diperoleh dari data seismik, yang diperoleh melalui pengukuran langsung maupun logis atau berdasarkan pengalaman. Data seismik tidak selalu memberikan informasi parameter petrofisika atau geologi. Keberadaan log sumur dapat membantu memperlihatkan relasi antara data seismik dan parameter log, namun relasi ini sangat sulit ditentukan. Jika terdapat relasi antara parameter geologi dan atribut seismik pada suatu titik log sumur maka parameter geologi di luar titik log sumur ini dapat diekstrapolasi.



Gambar 2.11 Klasifikasi Atribut Seismik (Brown, 2002)

Atribut seismik (Brown, 2000) didefinisikan sebagai penurunan dari pengukuran seismik. Semua atribut seismik untuk horison dan formasi saling terkait, namun detail analisisnya berbeda yaitu pada informasi dasar gelombang

seismik dan penampilan hasilnya. Informasi dasar tersebut adalah waktu, amplitudo, frekuensi dan atenuasi (Gambar 2.11). Brown menggunakan informasi dasar tersebut sebagai dasar pengklasifikasian atribut seismik. Setiap atribut seismik memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pada sifat reservoir tertentu, beberapa atribut lebih sensitif dibandingkan dengan atribut lainnya, sedangkan atribut yang lain mungkin juga dapat menampilkan informasi bawah permukaan yang mula-mula tersembunyi menjadi lebih baik, atau bahkan dapat mendeteksi indikator hidrokarbon langsung.

### 2.7.1 Dekomposisi Spektral

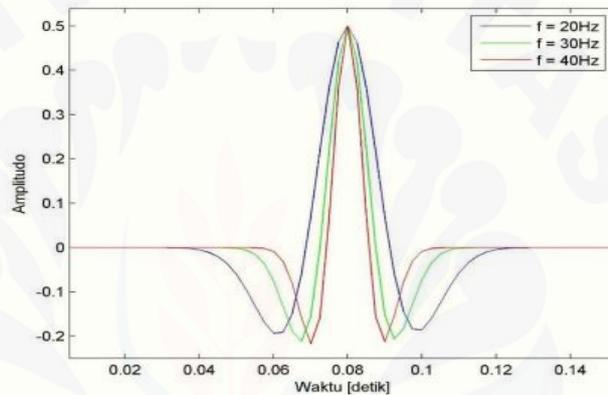
Konsep yang mendasari *spectral decomposition* adalah berdasarkan fakta bahwa suatu seismik refleksi dari lapisan batuan yang tipis (pada atau di bawah resolusi vertikal seismik) akan memberikan suatu respon karakteristik frekuensi tertentu. Jika frekuensi diasosiasikan dengan ketebalan pada bagian dari zona target maka hal tersebut dapat memberikan informasi gambaran yang lebih detail jika dibandingkan dengan *processing* seismik konvensional. Dengan menggunakan *spectral decomposition* maka dapat dilihat spektrum amplitudo dan fase ke dalam spesifik panjang gelombang (Telford *et al.*, 1976).

Dekomposisi spektral secara luas telah digunakan dalam interpretasi seismik. Ada beberapa yang digunakan, mulai dari yang terkenal seperti *Short Time Fourier Transform* (STFT) dan *Continuous Wavelet Transform* (CWT) sampai metode yang sedikit sering digunakan seperti *Matching Pursuit*, *S-Transform*, *Chirp Transform*, *Wavelet Packet Transform*, dan lain-lain. Masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan, tetapi semuanya dapat disederhanakan sebagai beberapa jenis operasi di antara data seismik dan fungsi serial kernel dengan bentuk persamaan tertutup. Kelebihan metode-metode ini yaitu kecepatan dan kemampuan untuk membalikkan kembali domain waktu original dari dekomposisi spektral. Kelemahannya yaitu tidak mungkin selalu cocok dengan data seismik. Metode yang dianjurkan yaitu serupa dengan CWT, sebagai ganti

penggunaan *wavelet* yang diperoleh dari persamaan matematika, dimana *wavelet* sebenarnya diekstraksi dari data seismik (Zhang, 2013).

### 2.7.2 Wavelet

Menurut (Veeken, 2007), *wavelet* adalah gelombang mini atau pulsa yang memiliki komponen amplitudo, panjang gelombang, frekuensi dan fasa. Dalam istilah praktis, *wavelet* dikenal dengan gelombang yang merepresentasikan satu reflektor yang terekam oleh satu geofon (Gambar 2.12).



Gambar 2.12 *Wavelet* fasa nol dengan frekuensi 20, 30, dan 40 Hz (Sumber : Veeken, 2007)

Sydney *et al.* (1998) mendefinisikan *wavelet* sebagai gelombang mini yang mempunyai kemampuan mengelompokkan energi citra dan terkonsentrasi pada sekelompok kecil koefisien, sedangkan kelompok koefisien lainnya hanya mengandung sedikit energi yang dapat dihilangkan tanpa mengurangi nilai informasinya. *Wavelet* juga didefinisikan sebagai alat analisis yang biasa digunakan untuk menyajikan data atau fungsi atau operator ke dalam komponen-komponen frekuensi yang berlainan, dan kemudian mengkaji setiap komponen dengan suatu resolusi yang sesuai dengan skalanya (Daubechies, 1995).

*Wavelet* merupakan sebuah fungsi variabel real  $t$ , diberi notasi  $\Psi_t$  dalam ruang fungsi  $L^2(R)$ . Fungsi ini dihasilkan oleh parameter dilatasi dan translasi yang dinyatakan dalam persamaan (Sinha *et al.*, 2005) :

$$\Psi_{a,b}^{(t)} = a^{-1/2} \left( \frac{t-b}{a} \right); a > 0, b \in \mathfrak{R} \quad (2.4)$$

$$\Psi_{j,k}^{(t)} = a^{j/2} (2^j t - k); j, k \in Z \quad (2.5)$$

Dimana :

$a$  = parameter dilatasi

$b$  = parameter translasi

$2j$  = parameter dilatasi

$k$  = parameter waktu atau lokasi ruang

$Z$  = mengkondisikan nilai  $j$  dan  $k$  bernilai integer

$\mathfrak{R}$  = mengkondisikan nilai  $a$  dan  $b$  bernilai real

Untuk persamaan pertama dikenalkan pertama kali oleh Grossman dan Morlet, sedangkan persamaan kedua dikenalkan oleh Daubechies. Transformasi *wavelet* menggunakan dua komponen penting dalam melakukan transformasi yakni fungsi skala dan fungsi *wavelet*. Fungsi skala disebut juga sebagai *Lowpass Filter*, sedangkan fungsi *wavelet* disebut juga sebagai *Highpass Filter*. Kedua fungsi ini digunakan pada saat transformasi *wavelet* dan inverse transformasi *wavelet*.

1. Fungsi *wavelet*

Fungsi *wavelet* disebut juga *highpass filter*, mengambil citra dengan gradiasi intensitas yang tinggi dan perbedaan intensitas yang rendah akan dikurangi atau dibuang.

2. Fungsi skala

Fungsi skala disebut juga *lowpass filter* yang mengambil citra dengan gradiasi intensitas yang halus dan perbedaan intensitas yang tinggi akan dikurangi atau dibuang.

Kedua komponen di atas dapat disebut sebagai *mother wavelet* yang harus memenuhi kondisi :

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(x) dx = 0 \quad (2.6)$$

Dalam sebuah *wavelet* ada 2 properti penting, diantaranya adalah polaritas dan fase.

Pada *wavelet* dikenal 2 jenis polaritas (Yilmaz, 2001) :

1. Polaritas normal : kenaikan impedansi akustik akan digambarkan sebagai lembah pada tras seismik.
2. Polaritas terbalik : kenaikan impedansi akustik akan digambarkan sebagai puncak pada tras seismik.

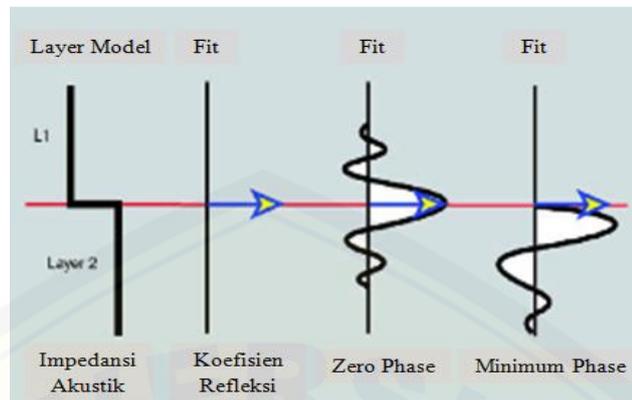
Pada *wavelet* terdapat 4 macam jenis fase :

1. Fase minimum
2. Fase nol
3. Fase maksimum, dan
4. Fase campuran

Tetapi yang sering digunakan adalah fase minimum dan fase nol.

Menurut Veeken (2007), ada dua bentuk dasar dari *wavelet* seismik dalam pengolahan data (Gambar 2.13) yaitu sebagai berikut :

- a. *Wavelet* fase minimum, dimana awal *wavelet* ini bertepatan dengan posisi yang tepat dari antarmuka bawah permukaan.
- b. *Wavelet* fase nol, dimana amplitudo maksimum *wavelet* ini bertepatan dengan antarmuka litologi.



Gambar 2.13 Tipikal *wavelet* fase minimum dan fase nol (Sumber : Veeken, 2007)

### 2.7.3 Transformasi *Wavelet* Kontinyu

Transformasi *wavelet* adalah suatu metode alternatif untuk mendekomposisi suatu sinyal dalam kawasan waktu ke dalam kawasan waktu-frekuensi dengan resolusi yang lebih baik dari *Short Time Fourier Transform* (STFT) (Chakraborty dan Okaya, 1995). Seperti halnya STFT, transformasi *wavelet* mentransformasi sinyal dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain waktu dan frekuensi (yang dalam hal ini dibentuk menjadi domain translasi dan skala). Translasi adalah sebuah bentuk transformasi dari domain waktu yang terkait dengan lokasi dari fungsi *window*, dimana *window* dipindahkan-pindahkan sepanjang sinyal yang masuk. Skala adalah bentuk transformasi dari frekuensi, dimana nilai skala berbanding terbalik dengan nilai frekuensi.

Informasi yang akan diperoleh dalam transformasi *wavelet* adalah representasi sinyal dalam ‘domain waktu’ ke dalam ‘domain waktu-frekuensi’. Proses yang dilakukan pertama kali adalah memilih *wavelet* ‘*mother wavelet*’ dan kemudian ‘*family wavelet*’ dengan cara mentranslasi dan mendilatasi *mother wavelet*. Proses yang kedua adalah mengintegrasikan perkalian antara *wavelet* dengan fungsi yang ditransformasi (Daubechies, 1995).

CWT merupakan proses konvolusi sinyal  $x(t)$  dengan sebuah fungsi *window*, fungsi *window* dapat berubah di setiap waktu dan skala yang berubah-

ubah. Fungsi window merupakan *mother wavelet* yang menjadi fungsi dasar dari *wavelet*. Secara matematis CWT dari suatu sinyal  $x(t)$  dapat diselesaikan dengan persamaan :

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \psi_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \psi^* \left( \frac{t-\tau}{s} \right) dt \quad (2.7)$$

Dimana  $s$  menunjukkan skala dengan nilainya berbanding terbalik dengan frekuensi ( $s > 0$ ),  $\tau$  adalah *time shift* yang menunjukkan pergeseran atau translasi *mother wavelet* dan  $\psi^* \left( \frac{t-\tau}{s} \right)$  menunjukkan *mother wavelet* (Blanco *et al.*, 1995). Dengan menggunakan parameter dilatasi/skala dan parameter translasi dimana dengan menggunakan harga  $s$  yang kecil pada persamaan (2.7) maka *wavelet* bertanggung jawab untuk lokalisasi frekuensi tinggi sedangkan untuk harga  $s$  yang besar maka *wavelet* berfungsi *vice versa*. Sedangkan parameter translasi ( $\tau$ ) bertanggung jawab dalam lokalisasi span area spektral dari frekuensi sinyal asli. Semakin besar dari harga  $\tau$  maka semakin besar span daerah spektrum yang tercover dari transformasi *wavelet*nya (Daubenchies, 1992).

Hasil dari CWT adalah koefisien *wavelet* yang merupakan fungsi skala dan posisi. Perkalian dari tiap koefisien dengan skala dan posisi yang tepat akan menghasilkan konstituent *wavelet* dari sinyal aslinya.



Gambar 2.14 Ilustrasi transformasi dengan transformasi *wavelet* kontinyu yang menghasilkan komponen *wavelet* dari skala dan posisi (Sumber : Helbert, 2007)

CWT merupakan salah satu metode alternatif dalam analisa sinyal. Pada CWT sinyal berdilatasi sesuai dengan prinsip bahwa frekuensi selalu berubah terhadap waktu. Perubahan terhadap waktu tersebut dapat meningkatkan atau menurunkan frekuensi, sehingga frekuensi bergeser antara frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Dengan demikian ketika resolusi frekuensi meningkat maka resolusi waktu menurun demikian juga sebaliknya. Transformasi *wavelet* menggunakan CWT dapat menghasilkan *window* waktu-frekuensi yang biasanya akan terbatas ketika diamati pada fenomena frekuensi tinggi dan melebar ketika analisa pada frekuensi rendah. Hasilnya resolusi waktu akan baik pada frekuensi tinggi dan resolusi frekuensi akan baik pada frekuensi rendah. Analisa ini akan tepat diterapkan pada sinyal dengan komposisi komponen frekuensi tinggi pada durasi yang singkat dan frekuensi rendah pada durasi tinggi (Helbert, 2007).

Terdapat beberapa jenis *wavelet* pada metode *Continuous Wavelet Transform*. Jenis *wavelet* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *wavelet Morlet* dan *Gaussian* :

a. Morlet

Menurut Blanco *et al.* (1995), *wavelet* Morlet merupakan fungsi dari Gaussian, yang termodulasi oleh eksponensial kompleks pada domain waktu dan frekuensi. Fungsi *mother wavelet* Morlet ditunjukkan dalam persamaan 2.10 berikut, dengan nilai  $\omega_0 = 2\pi f_0$  dan  $f_0 = 0.849$ .

$$\psi^*(t) = \pi^{-1/4} \cdot e^{-j\omega_0 t} \cdot e^{-t^2/2} \quad (2.8)$$

Dengan  $e^{-j\omega_0 t} = (\cos \omega_0 t - j \sin \omega_0 t)$  dan  $t = \left(\frac{t-\tau}{s}\right)$ . Untuk mengubah parameter skala menjadi frekuensi, maka digunakan persamaan 2.9 sebagai berikut :

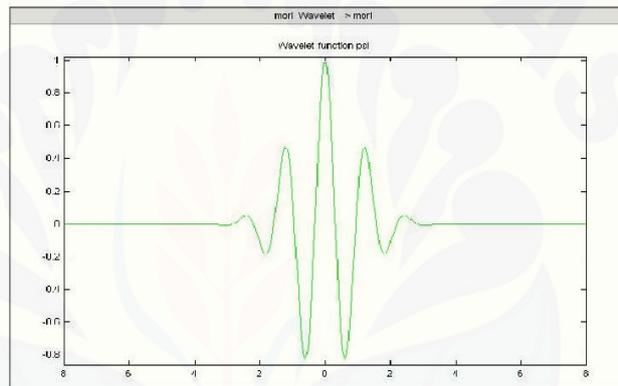
$$f = \frac{f_c}{S} \quad (2.9)$$

Dimana  $f_c = f_0 = 0.849$ ,  $f_c$  adalah frekuensi pusat *wavelet*.

Sifat-sifat Morlet antara lain :

- 1) Tidak bersifat *orthogonal*, biortogonal, dan tidak *compactly supported*.
- 2) Tidak mendukung transformasi *wavelet* diskrit.
- 3) Untuk transformasi *wavelet* kontinyu.
- 4) *Support width*-nya tak berhingga.
- 5) Efektivitasnya dari -4 hingga 4.
- 6) Bersifat simetris.

*Wavelet* Morlet dapat digambarkan seperti pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Fungsi skala dan fungsi *wavelet* “Morlet” (Sumber : Misiti *et al.*, 1996)

#### b. Gaussian (non-ortogonal)

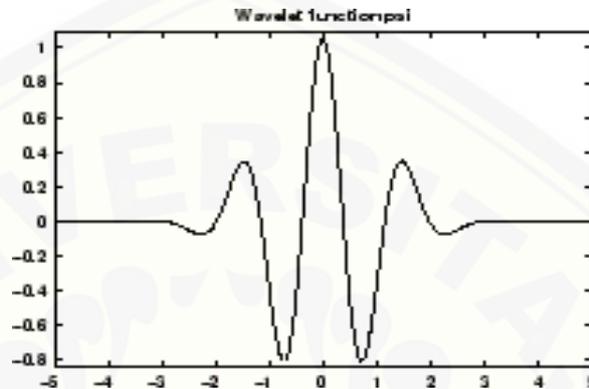
Jenis *wavelet* ini didefinisikan sebagai turunan dari fungsi kerapatan probabilitas Gaussian. *Wavelet* Gaussian dibangun dari fungsi gaussian  $f(x) = C_p e^{-x^2}$  dengan mengambil turunan  $p^{th}$  pada  $f$ . Integer  $p$  adalah parameter *wavelet* ini dan  $C_p$  sedemikian sehingga  $\|f^{(p)}\|^2 = 1$  dimana  $f^{(p)}$  merupakan turunan  $p^{th}$  pada  $f$ .

Sifat-sifatnya antara lain :

- 1) Tidak bersifat *orthogonal*, biortogonal, dan tidak *compactly supported*.
- 2) Tidak mendukung transformasi *wavelet* diskrit.

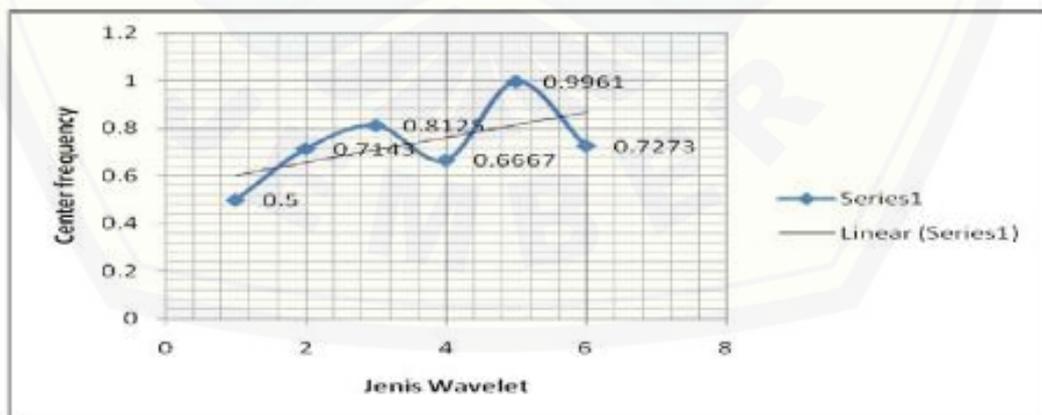
- 3) Untuk transformasi *wavelet* kontinu.
- 4) *Support width*-nya tak berhingga.
- 5) Bersifat simetris.

*Wavelet* Gaussian dapat digambarkan seperti pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Fungsi skala dan fungsi *wavelet* Gaussian (Sumber : Misiti *et al.*, 1996)

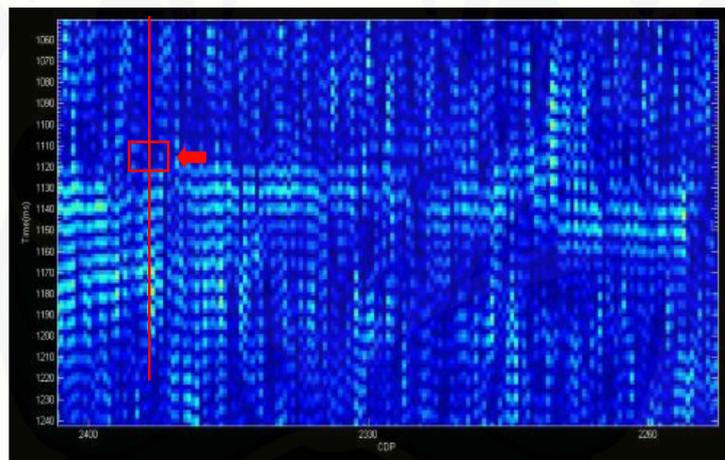
Masing-masing jenis *wavelet* dengan beberapa karakter yang dimilikinya akan memberikan pola hasil yang berbeda pada saat melihat hasil transformasi, karena pada saat melakukan transformasi *wavelet* melibatkan nilai dari frekuensi pusat dari masing-masing jenis *wavelet*. Perbedaan tersebut bisa dilihat pada gambar 2.17.



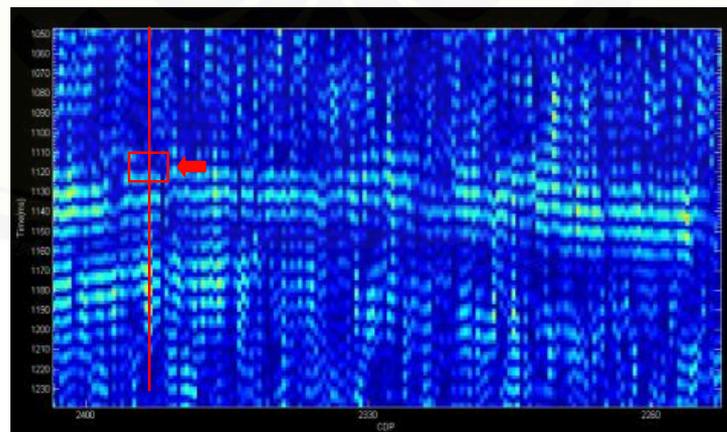
1. Cgau4 2. Db4 3. Morlet 4. Symlet 5. Haar 6. Coeflet

Gambar 2.17 Grafik nilai frekuensi pusat masing-masing jenis *wavelet* (Sumber : Toolbox wavemenu display *wavelet* matlab 7, 2016)

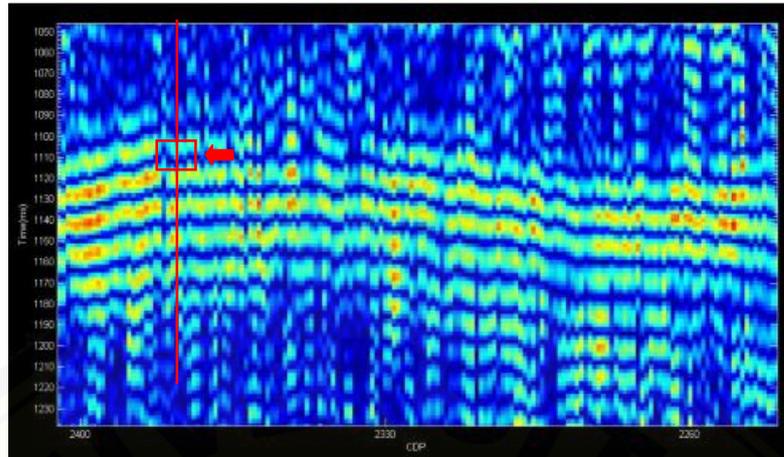
Metode dekomposisi spektral berbasis CWT telah digunakan secara luas. Fitriah (2009) dalam penelitiannya menggunakan dekomposisi spektral berbasis CWT untuk dapat melihat pemisahan antara dua lapisan batubara yang tipis pada penampang seismik 2D. Penampang seismik sebagai hasil dari dekomposisi spektral berbasis CWT diterapkan pada frekuensi 40, 60 dan 80 Hz dengan *time sample* 3s dan 50 CDP *trace*. Hasil yang didapatkan yaitu data seismik 2D dengan *time sample* 3s dan 50 CDP *trace* menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi maka pemisahan lapisan tipis yang dapat dilakukan semakin baik.



Gambar 2.18 Penampang data seismik dengan CWT pada frekuensi 40 Hz



Gambar 2.19 Penampang data seismik dengan CWT pada frekuensi 60 Hz

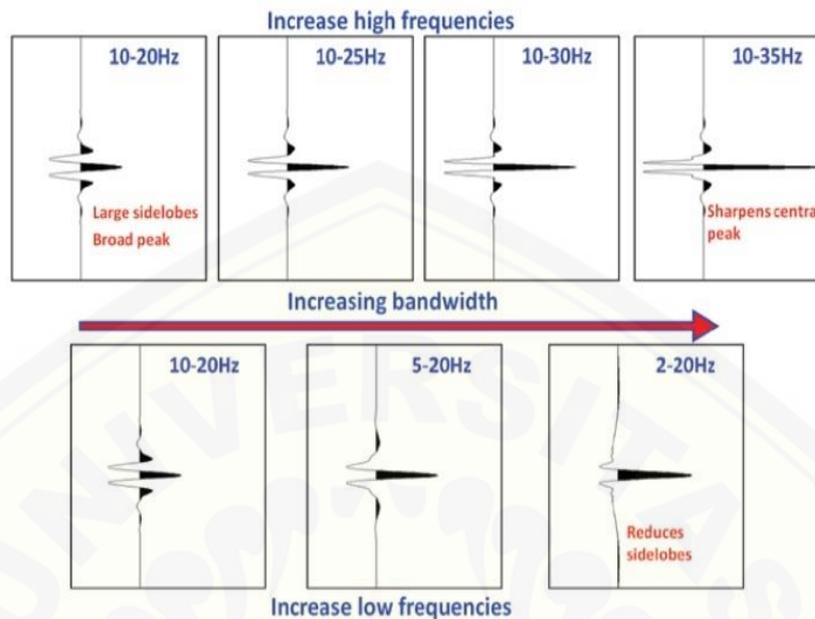


Gambar 2.20 Penampang data seismik dengan CWT pada frekuensi 80 Hz

Terlihat bahwa penampang data seismik pada frekuensi 80 Hz menggambarkan pemisahan lapisan tipis batubara dengan resolusi yang baik dibandingkan dengan frekuensi lainnya. *Channels* reservoir menampakan hidrokarbon yang terjebak pada *slice* horizon tersebut. Perbedaan yang tampak dari dua frekuensi lainnya adalah pada ketajaman resolusi gambar (Fitriah, 2009).

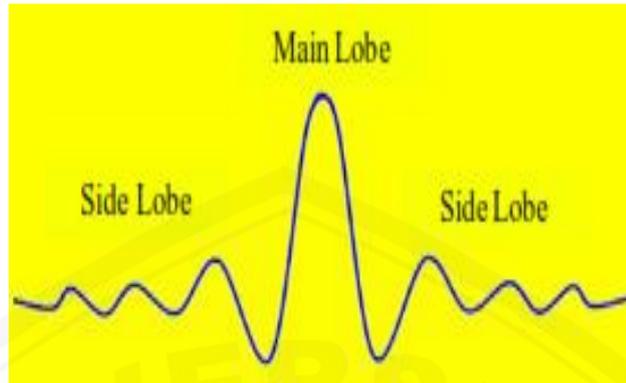
## 2.8 Peningkatan Resolusi Data Seismik

Peningkatan resolusi data seismik adalah salah satu penggunaan metode-metode yang telah berkembang untuk mempertajam resolusi seismik baik secara vertikal maupun resolusi secara horizontal. Semakin tinggi resolusi seismik maka penampang seismik yang dihasilkan memiliki kenampakan yang lebih tajam terutama efek pada dua lapisan yang berdekatan. Duval (2012) menyatakan bahwa penambahan komponen frekuensi yang semakin tinggi akan mempertajam (mempersempit) puncak pusat *wavelet* yang akan memberikan tingkat resolusi yang meningkat yang mampu memisahkan lapisan tipis, sedangkan penambahan komponen frekuensi yang semakin rendah akan mengurangi bentuk *sidelobe* pada *wavelet* (Gambar 2.21).



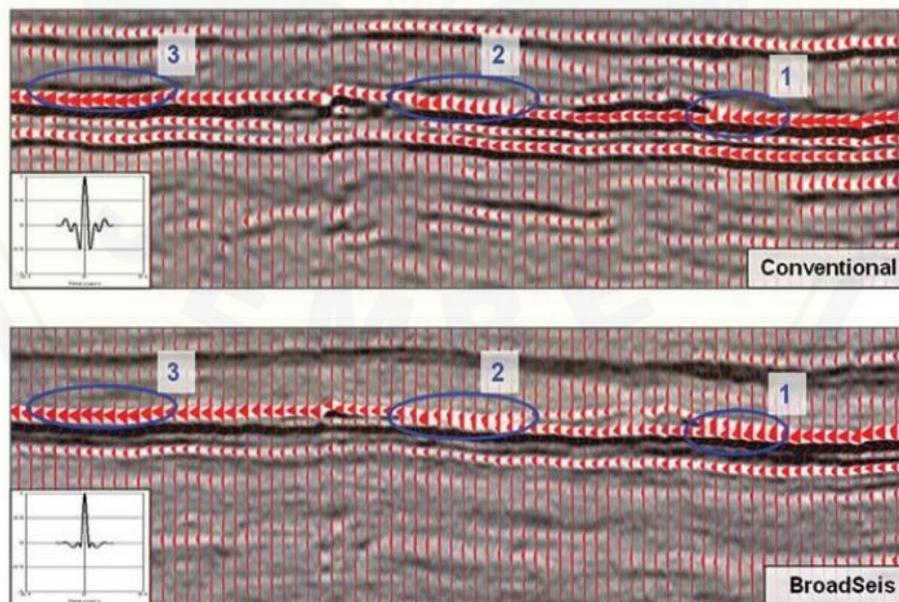
Gambar 2.21 Efek penambahan komponen frekuensi yang semakin tinggi dan frekuensi yang semakin rendah terhadap *wavelet* seismik (Sumber : Duval, 2012)

Pada gambar 2.21 terlihat bagaimana semakin tinggi frekuensi maka *wavelet* akan semakin sempit, sedangkan semakin rendah frekuensi maka jumlah *sidelobe* pada *wavelet* akan semakin berkurang sehingga dengan menghilangnya *sidelobe* ini berkontribusi besar pada penggambaran yang lebih baik pada kedalaman target dan variasi *facies* skala besar serta menghilangkan jejak semu resolusi tinggi. *Wavelet* yang ideal adalah *wavelet* yang memiliki bentuk sesempit mungkin seperti paku (lebar pita sangat lebar) yang akan mampu memberikan reflektor dengan sangat jelas pada interface batuan.(Abdullah 2007). *Wavelet* gelombang seiamik direpresentasikan oleh *main lobe* yaitu bagian utama dari sebuah *wavelet*, dan *side lobes* bagian samping dari sebuah *wavelet*. Suatu *wavelet* yang baik merupakan *wavelet* dengan jumlah *side lobe* yang minimal (sekecil mungkin) dan cukup dominan pada bagian *main lobe*-nya. Bagian *main lobe* dan *side lobe* dari sebuah *wavelet* fasa nol ditunjukkan pada gambar 2.23.



Gambar 2.22 Bagian *main lobe* dan *side lobe* dari sebuah *wavelet* fasa nol (Abdullah, 2007)

Gambar 2.23 menunjukkan perbedaan lebar *bandwidth* pada data seismik. Gambar tersebut menunjukkan bagaimana *pinch-out* (zona 1) dan *thin bed* (zona 2) pada data broadseis tidak mengalami fenomena tuning thickness seperti halnya yang ditunjukkan pada data seismik konvensional. Sedangkan zona 3 pada data broadseis tidak menunjukkan adanya interferensi *sidelobe* seperti yang ditunjukkan pada data seismik konvensional.



Gambar 2.23 Perbandingan penampang data seismik dengan lebar *bandwidth* yang berbeda (Sumber : Duval, 2012)

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai peningkatan resolusi data seismik menggunakan dekomposisi spektral pada Lapangan Eksplorasi Penobscot dilaksanakan pada bulan April 2016 sampai dengan Juni 2016 yang bertempat di Laboratorium Komputasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

### 3.2 Alat dan Bahan

Bahan atau data yang digunakan dalam penelitian dengan judul “Peningkatan Resolusi Data Seismik Menggunakan Atribut Dekomposisi Spektral pada Lapangan Eksplorasi *Canada*” meliputi :

1. Data Seismik, data seismik yang digunakan pada penelitian ini yaitu *data seismic time* 3D (data masukan primer dalam domain waktu) dengan rentang domain waktu sebesar 0 – 6.000 ms. Data seismik yang dilengkapi dengan *inline* pada arah timur-barat sebanyak 601 garis (1.000 – 1.600 garis) dengan jarak spasi 12.498 m dan *xline* pada arah utara-selatan sebanyak 482 garis (1.000 – 1.481 garis) dengan jarak spasi 25.007 m.
2. Data *Log* Sumur, data *log* sumur akan membantu memberikan informasi tentang karakter litologi di daerah penelitian.
3. Data *Marker*, digunakan untuk membantu dalam menentukan lapisan yang memiliki potensi ketersediaan hidrokarbon. Data *marker* dari tiap formasi telah tersedia, sehingga interpretasi yang dilakukan menggunakan acuan data *marker* formasi yang tersedia dengan beberapa tambahan *marker* formasi buatan untuk menunjang penelitian yang dilakukan.

Memberikan informasi mengenai posisi formasi dari zona target yang diambil dalam penelitian, sehingga dapat mengetahui kandungan yang berada pada formasi tersebut berdasarkan informasi stratigrafinya

4. Data *Check shot*, digunakan untuk mendapatkan hubungan antara waktu dan kedalaman (*time-depth curve*).

Peralatan yang digunakan terdiri dari :

1. Komputer yang digunakan untuk melakukan pengoperasian *software* dalam menunjang dan membantu penelitian, dengan spesifikasi :

Prosesor : Intel(R)core(TM) i5-3330 CPU @ 3.00GHz 3.00GHz.

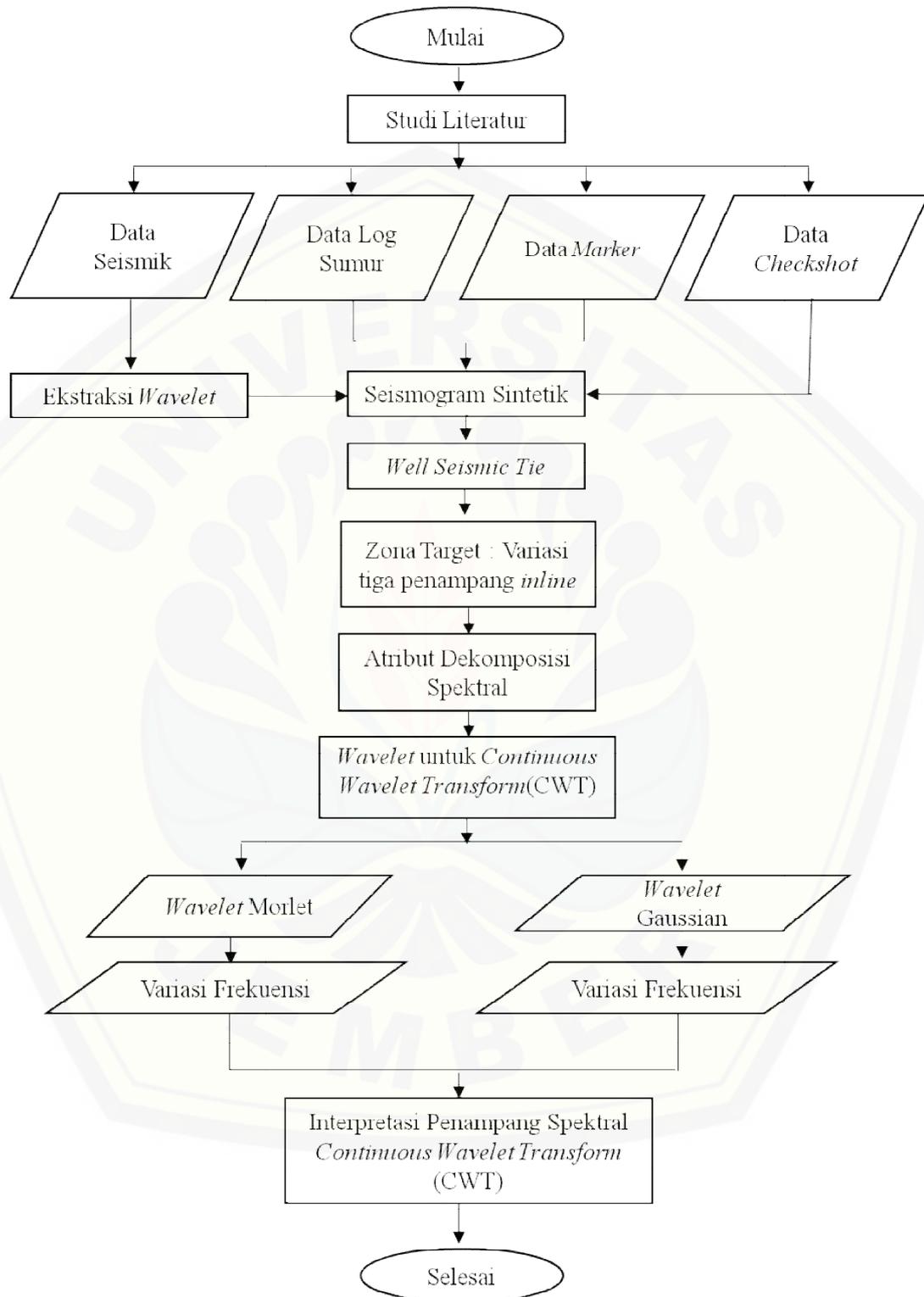
Memori : 8.00 GB (7.88 GB usable).

Sistem Operasi : 64-bit Operating System.

2. *Software Opentect* versi 5.0.9, merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah data dalam analisis dan interpretasi data seismik.

### 3.3 Skema Kerja Penelitian

Berdasarkan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian, perlu untuk mengetahui pemanfaatan alat dan bahan tersebut dalam tahapan pelaksanaan penelitian. Berikut skema kerja dari tahapan pelaksanaan penelitian tersebut :



Gambar 3.1 Diagram alir proses pengerjaan dalam Penelitian

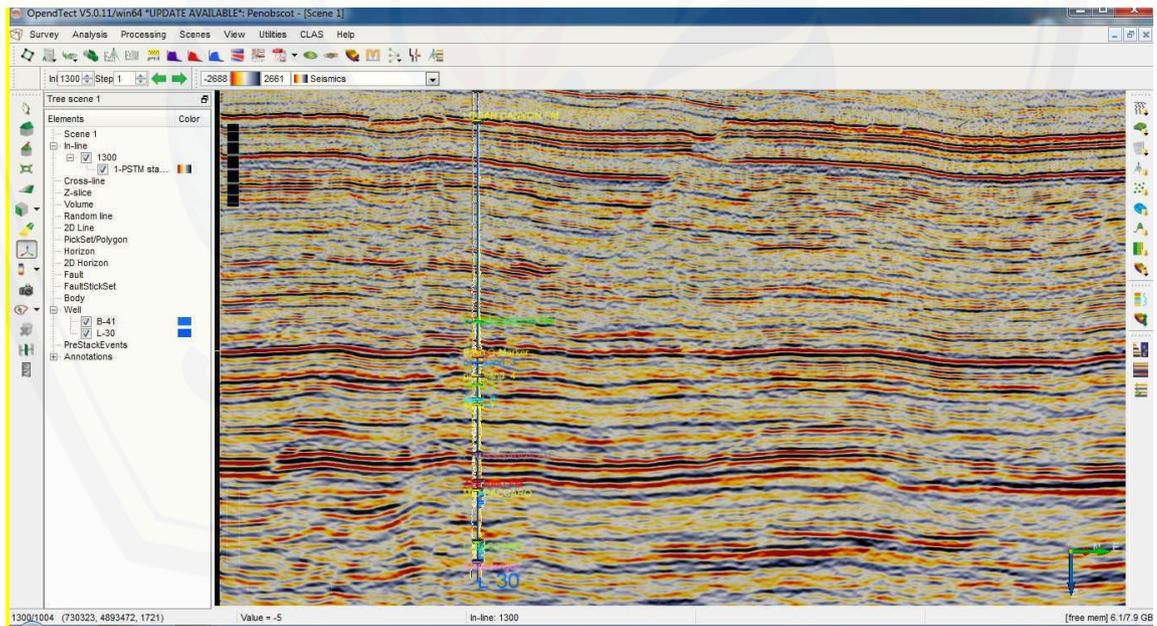
### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mencari referensi teori yang berhubungan dengan kasus atau permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian. Referensi ini dicari dari buku, jurnal, artikel, laporan penelitian dan situs-situs internet. Keluaran dari studi literatur ini adalah terkoleksinya referensi yang berhubungan dengan perumusan masalah.

#### 3.4.2 Input Data

Input data dilakukan dengan memasukkan data-data yang digunakan, seperti data seismik, data sumur, data *marker* dan data *checkshot*, ke dalam *software Opentect* untuk diolah yang kemudian akan menghasilkan penampang seismik dalam satuan waktu (ms) yang siap untuk diinterpretasikan.



Gambar 3.2 Input data pada *software Opentect*

### 3.4.3 *Well Seismic Tie*

*Well seismic tie* adalah proses pengikatan data sumur dengan data seismik. Proses ini dilakukan untuk menyamakan domain sumur dengan domain seismik, karena domain sumur adalah kedalaman dalam meter sedangkan domain seismik adalah waktu dalam satuan ms. Domain yang diubah adalah domain sumur, yang pada mulanya adalah kedalaman, diubah menjadi waktu. Tujuan akhir dari proses pengikatan ini adalah untuk mengetahui posisi atau *marker* geologi pada data seismik. Dalam melakukan *well seismic tie* pertama-tama harus dilakukan adalah ekstraksi *wavelet*, dimana tipe fase yang dipakai adalah fase nol. Metode ini dipilih karena menghasilkan *wavelet* dengan nilai korelasi yang lebih tinggi daripada metode lainnya pada saat melakukan *well seismic tie*. Karena yang diubah adalah domain data sumur, maka perlu dilakukan pembuatan seismogram sintetik untuk masing-masing sumur. Seismogram sintetik merupakan hasil dari koefisien refleksi yang dikonvolusikan dengan *wavelet*. Fase yang diperoleh dari proses ekstraksi ini akan menentukan posisi *picking horizon*. Untuk fase nol, posisi *picking horizon* dilakukan pada puncak atau palung, sedangkan untuk fase minimum, posisi *picking horizon* dilakukan pada *zero-cross*.

Seismogram sintetik sangat penting karena merupakan sarana untuk mengidentifikasi *horizon* seismik yang sesuai dengan geologi bawah permukaan yang diketahui dalam suatu sumur hidrokarbon (Munadi dan Pasaribu, 1984). Seismogram sintetik juga menggunakan beberapa data lainnya seperti data *checkshot*, data log sumur (log DT, log RHOB dan log GR) dan tras seismik. Pada proses ini, domain kedalaman dari data sumur diubah menjadi domain waktu dengan menggunakan data *checkshot*, untuk mempermudah proses *well seismic tie* atau pengikatan data seismik dan data sumur. Proses *well seismic tie* dapat dilihat pada lampiran B. Setelah dilakukan ekstraksi *wavelet* dan pembuatan seismogram sintetik, lalu dilakukanlah *well seismic tie*. *Well Seismic tie* dapat dikatakan relatif tepat apabila hasil korelasi antara tras seismik dengan tras sintetik mendekati atau sama dengan 1.

#### 3.4.4 Proses Peningkatan Resolusi Data Seismik

Besaran atau parameter yang harus diperhatikan dalam meningkatkan resolusi vertikal seismik yaitu kecepatan dan frekuensi. Karena tidak ada yang bisa dilakukan terhadap faktor kecepatan maka fokus lebih ditujukan pada faktor frekuensi (Copra dkk, 2006). Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fitriah (2009) diperoleh bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan maka resolusi yang dihasilkan akan semakin bagus dan sebaliknya. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas data seismik dengan meningkatkan frekuensi seismik. Metode yang digunakan dalam peningkatan resolusi pada penelitian ini yaitu dekomposisi spektral berbasis CWT.

Langkah dalam meningkatkan resolusi data seismik yaitu interpretasi data seismik. Interpretasi data dilakukan dengan cara melihat langsung penampang vertikal data seismik pada *inline* tertentu. Penampang seismik yang dihasilkan merupakan penampang dalam domain waktu, dan ini merupakan penampang seismik konvensional yang diperoleh sebelum melakukan proses peningkatan resolusi atau dilakukan penerapan atribut dekomposisi spektral berbasis CWT pada data seismik. *Well seismic tie* yang telah dilakukan, membuat kedua data memiliki kesamaan dari segi kedalaman target. *Marker* pada data sumur sudah dapat digunakan untuk *picking horizon* zona target pada data seismik. Berikut tahap interpretasi yang dilakukan pada penelitian ini, diantaranya:

##### a. Zona Target

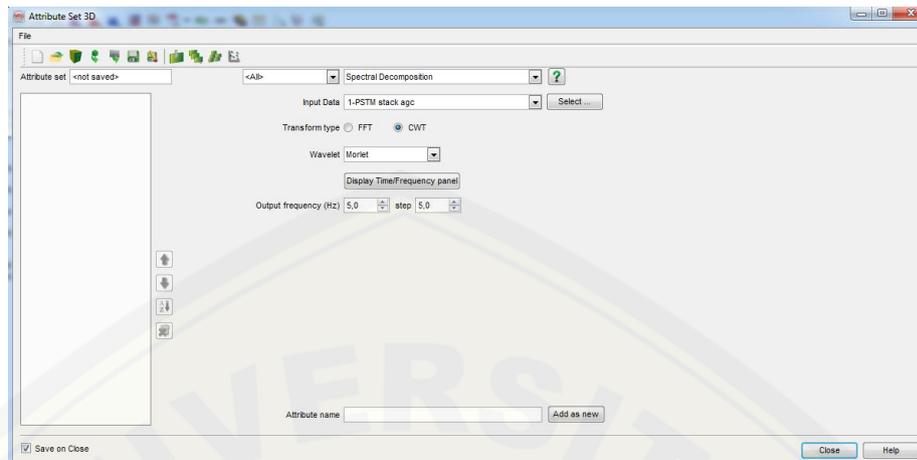
Zona target pada penelitian ini, setelah dilakukan *well seismic tie* yaitu berada pada kedalaman 1992 sampai 2532 ms dan penulis disini mengambil bagian *inline* dari data seismik 3D tersebut untuk diinterpretasi. Pada penelitian ini untuk mengetahui efektivitas dari dekomposisi spektral dalam meningkatkan resolusi data seismik, penulis menggunakan variasi 3 *inline* yaitu *inline* 1180, *inline* 1230 dan *inline* 1300. Zona target ditentukan berdasarkan kenampakan lapisan penampang seismik yang sangat berdekatan

sehingga terlihat seperti satu reflektor saja dan berdasarkan adanya *brightspot* yang mengindikasikan bahwa lapisan mempunyai amplitudo tinggi.

b. Aplikasi Atribut Dekomposisi Spektral

Pada penelitian ini, diterapkan atribut dekomposisi spektral berbasis CWT. Keuntungan metode CWT daripada *metode Fast Fourier Transform* (FFT) adalah CWT mempunyai kemampuan menggabungkan kenampakan informasi waktu dan frekuensi. CWT juga membedakan dirinya dari FFT dalam bentuk lebar *window*. Lebar pada *window* FFT diperbaiki ketika CWT menggunakan variabel *window* bergantung pada lebar frekuensi (Miao dan Moon, 1994). Domain CWT merupakan domain yang diperlukan untuk peningkatan resolusi *temporal* karena dapat mengoptimalkan resolusi waktu dan frekuensi. Dengan menganalisa data dengan domain CWT, maka dapat meningkatkan frekuensi rendah dan tinggi berdasarkan prediksi dan estimasi sinyal. Metode *Continuous Wavelet Transform* memanfaatkan suatu jenis *wavelet* untuk analisis sinyal dalam kawasan waktu-frekuensi untuk memperoleh resolusi yang tinggi. *Wavelet* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Wavelet* Morlet dan *Wavelet* Gaussian.

Setelah menentukan zona target daerah penelitian, selanjutnya dapat dilakukan *running* atribut dekomposisi spektral dengan metode CWT. CWT merupakan metode dekomposisi waktu-frekuensi (*time-frequency decomposition*) yang dikenal juga dengan dekomposisi spektral yang ditujukan untuk mengkarakterisasi respon seismik pada frekuensi tertentu.



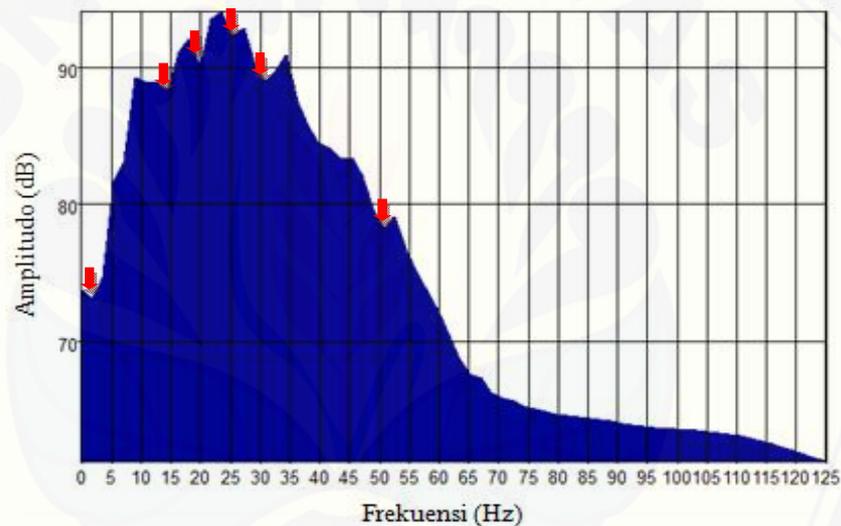
Gambar 3.3. Tampilan pada *Opendtect* ketika menerapkan atribut dekomposisi spektral

Dalam penelitian ini, ekstraksi atribut dekomposisi spektral dilakukan pada beberapa nilai frekuensi, hal ini dimaksudkan untuk melihat spektrum amplitudo pada tiap frekuensi yang dipilih. Pemilihan frekuensi didasarkan pada perubahan spektrum amplitudo yang mencerminkan gambaran geologi pada zona target. Dengan menggunakan dekomposisi spektral maka diharapkan dapat melihat fitur geologi di bawah ketebalan *tuning*. Tiap peta yang dihasilkan dari metode ini akan menonjolkan/memperjelas respon puncak amplitudo pada ketebalan lapisan yang berbeda (Partyka, 1999). Pada atribut dekomposisi spektral, detail tidaknya geometri penyebaran *channel* yang terbentuk tergantung pada kandungan frekuensi pada data seismik, semakin lebar kandungan frekuensinya semakin detail bentuk geometri *channel* yang terlihat, baik yang berada pada di atas atau di bawah resolusi vertikal gelombang seismik.

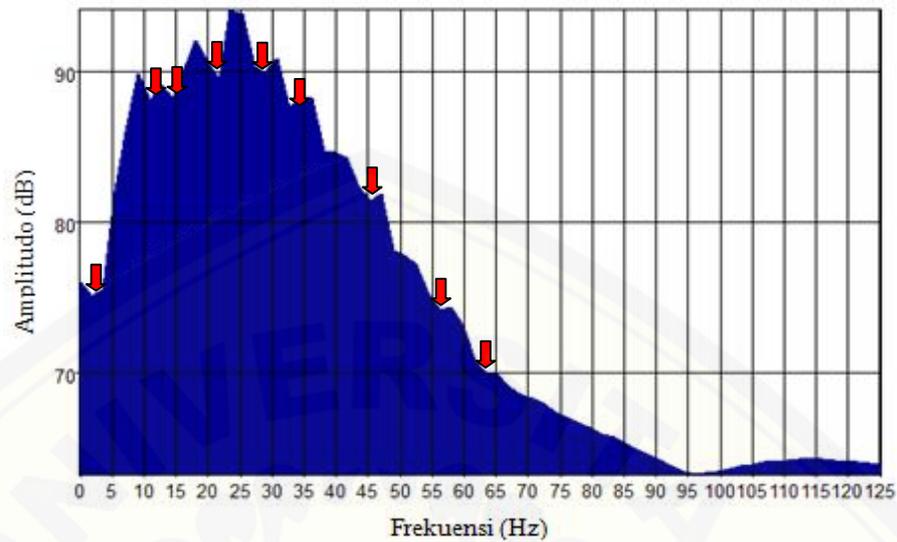
#### 1) Pemilihan *Wavelet* dan Pemilihan Frekuensi

Parameter-parameter yang dimasukkan adalah jenis *wavelet* dan variasi frekuensi. *Wavelet* yang digunakan yaitu *wavelet* Morlet dan *Wavelet* Gaussian. Pada masing-masing *wavelet* tersebut, dimasukkan nilai frekuensi. Pemilihan frekuensi berdasarkan spektrum amplitudo yang

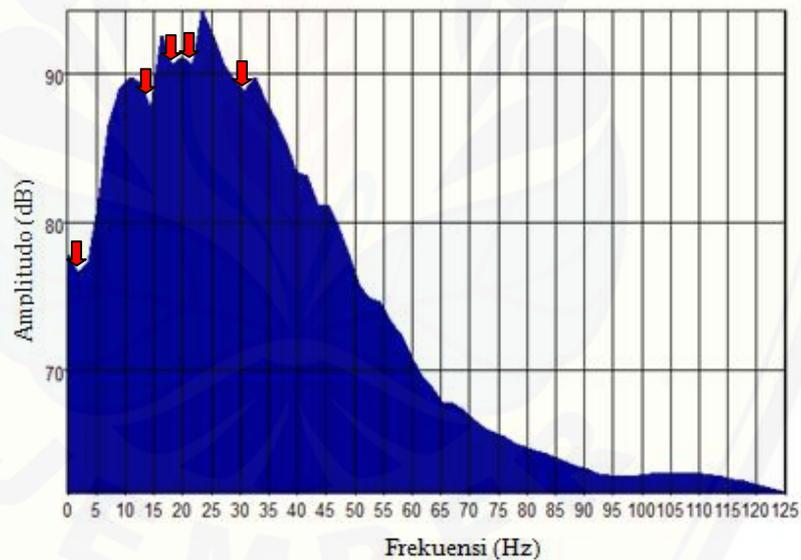
dihasilkan pada masing-masing target. Spektrum amplitudo yang ditunjukkan oleh masing-masing *inline* berbeda sehingga frekuensi yang digunakan juga berbeda. Pada penelitian ini frekuensi yang digunakan yaitu pada *inline* 1180 sebesar 2 Hz, 14 Hz, 20 Hz, 25 Hz, 31 Hz, 51 Hz. Pada *inline* 1230 sebesar 2 Hz, 11 Hz, 14 Hz, 22 Hz, 30 Hz, 33 Hz, 45 Hz, 56 Hz, 64 Hz, dan pada *inline* 1300 sebesar 2 Hz, 14 Hz, 18 Hz, 22 Hz, 31 Hz. Penentuan nilai frekuensi ini berdasarkan nilai frekuensi setelah frekuensi puncak atau disebut *tuning frequency*. *Tuning frequency* merupakan frekuensi dimana target terlihat dengan jelas (Castagna *et.al*, 2002).



Gambar 3.4 Grafik hubungan frekuensi terhadap amplitudo (Spektrum Amplitudo) pada *inline* 1180 kedalaman 1992 sampai 2532 ms



Gambar 3.5 Grafik hubungan frekuensi terhadap amplitudo (Spektrum Amplitudo) pada *inline* 1230 kedalaman 1992 sampai 2532 ms



Gambar 3.6 Grafik hubungan frekuensi terhadap amplitudo (Spektrum Amplitudo) pada *inline* 1300 kedalaman 1992 sampai 2532 ms

## 2) Running Atribut Dekomposisi Spektral berbasis CWT

Setelah dilakukan pemilihan *wavelet* dan dimasukkan nilai frekuensi, proses selanjutnya yaitu menerapkan metode CWT untuk melihat

pemisahan lapisan tipis dari frekuensi rendah ke frekuensi tinggi. CWT ditujukan untuk mengkarakterisasi respon seismik pada frekuensi tertentu. Hasil penerapan atribut ini, nantinya akan menunjukkan peningkatan resolusi berdasarkan kenaikan frekuensi. Dari frekuensi-frekuensi yang sudah diberikan di atas lalu dicari pada frekuensi berapakah lapisan tipis tersebut sudah mulai dapat terlihat terpisah, sehingga pada frekuensi dimana sudah terlihat pemisahan antara lapisan tersebut dinamakan *tuning* frekuensi.

#### 3.4.5 Analisa Data

Dari hasil penerapan atribut dekomposisi spektral berbasis CWT akan diperoleh penampang data seismik CWT dari frekuensi yang terendah hingga frekuensi tertinggi. Analisa peta atribut disini berkaitan dengan pemisahan lapisan-lapisan tipis yang ditandai dengan adanya anomali amplitudo pada penampang seismik tersebut. Pada analisa peta atribut ini akan diketahui pada jenis *wavelet* apa dan frekuensi berapa, lapisan-lapisan tipis pada penampang seismik yang terlihat tidak terpisah tetapi dengan menggunakan metode ini dapat terlihat terpisah. Peningkatan resolusi dianalisa dengan melihat persebaran amplitudo yang semakin tajam pada penampang spektral baik menggunakan *wavelet* Morlet dan *wavelet* Gaussian dan kesesuaian jenis *wavelet* dengan frekuensi tertentu dianalisis dengan mengidentifikasi kenampakan penampang seismik yang terlihat terpisah baik secara vertikal maupun secara lateral.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Hasil yang telah diperoleh pada penelitian ini, memberikan kesimpulan yaitu resolusi yang dihasilkan tergantung dari frekuensi dan *wavelet* yang digunakan. Dari hasil CWT pada data seismik diperoleh bahwa pada zona target, semakin tinggi frekuensi yang diberikan maka resolusi yang dicapai juga semakin tinggi. Pada *wavelet* Morlet, resolusi yang dihasilkan penampang spektral lebih baik pada frekuensi tinggi dibandingkan *wavelet* Gaussian. Pada data seismik daerah penelitian Penobscot pada *inline* 1180, pemisahan lapisan tipis terjadi pada *tuning frequency* 51 Hz dengan menggunakan *wavelet* Morlet. Pada *inline* 1230, pemisahan lapisan tipis terjadi pada *tuning frequency* 64 Hz dengan menggunakan *wavelet* Morlet dan pada *inline* 1300 pemisahan lapisan tipis terjadi pada *tuning frequency* 64 Hz dengan menggunakan *wavelet* Morlet.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk pelaksanaan penelitian ini untuk keberlanjutannya, diantaranya yaitu :

1. Dilakukan penelitian selanjutnya mengenai estimasi ketebalan dari lapisan-lapisan tipis tersebut dengan menggunakan dekomposisi spektral.
2. digunakan metode *Enhancement Seismic Resolution* yang lain sebagai pembanding seperti metode *stationary Wavelet Transform*, *Spectral Blueing*, *Spectral Balancing* dan *Common Reflection Surface*.

## DAFTAR PUSTAKA

### Buku

- Badley, M. E. 1985. *Practical seismic interpretation*. Boston : International Human Resources Development.
- Bhatia, A. B. dan Singh, R. N. 1986. *Mechanics of Deformable Media*. England : Adam Hilger Imprint, Bistol University of Sussex Press.
- Brown, A. R. 2002. *Seismic Attributes for Reservoir Characterization*. USA : Society of Exploration Geophysicist
- Brown, A. R. 2003. *Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data*. Texas: AAPG Memoir 42 dan SEG Investigations in Geophysics No.9.
- Brown, A. R. 2004. *Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. Sixth Edition*. USA: The American Association of Petroleum Geologists and the Society of Exploration Geophysicists.
- Cordsen, A., Galbraith, M. dan Peirce, J. 2000. *Planning land 3-D Seismic survey-SEG Series n09-Bob A. Hardage Ed.*
- Gadallah, M. R., dan Fisher, R. L. 2009. *Exploration Geophysics: An Introduction*. Norway: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Haris, A. 2006. *Seismik Eksplorasi*. Depok : Program Studi Geofisika Universitas Indonesia.
- Harsono, A. 1997. *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*. Jakarta : Schlumberger Oilfield Service Indonesia.
- Makhrani. 2012. *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Makassar: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin Makassar.
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., dan Poggi J. M. 1996. *Wavelet Toolbox User's Guide*. The MathWorks Inc., 24 Prime Park Way, Natick, MA 01760-1500

- Munadi dan Pasaribu. 1984. *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi*. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Munadi, S. 2000. *Aspek Fisis Seismology Eksplorasi*. Depok : program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA UI.
- Polikar, R. 1996. *The Wavelet Tutorial : Part III*. Robi Polikar Cyberdomain Pag.
- Rider, B. 2002. *The geological Interpretation of Well Logs Second Edition*. Scotland : Rider-French Consulting Ltd.
- Sidney, B. C., Gopinath, Ramesh, A., Guo, dan Haitao. 1998. *Introduction to Wavelets and Wavelet Transform : A Primer*. New Jersey : Prentice-Hall.
- Sheriff, R.E. dan Geldart, L.P. 1995. *Exploration Seismology 2<sup>nd</sup> Edition*. New York, USA : Cambridge University Press.
- Sukmono, S. 1999. *Interpretasi Seismik Refleksi*. Bandung : Geophysical Engineering, Bandung Institute of Technology.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. E. dan D. A. Keys. 1976. *Applied Geophysics*. New York : Cambridge University Press.
- Young, R. A. 2004. *A lab Manual of Seismic Reflection Processing*. Netherland : FAGE Publication University of Oklaboma.
- Yilmaz, O. 2001. *Seismic Data Processing*. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.

### **Jurnal**

- Castagna, J. P., Sun, S. J., dan Siegfried, R. W. 2002. *The Use of Spectral Decomposition as a Hydrokarbon Indicator*. Gas TIPS, Summer
- Chakraborty, A. dan Okaya, D. 1995. *Frequency-Time Decomposition of Seismic Data Using Wavelet Based Methods*. Geophysics, Vol. **60**. Hal. 1906-1916.
- Chaouch, A dan Mari, J.L. 2006. *3-D Land Seismic Surveys : Definition of Geophysical Parameters*. Rev. IFP, Vol. **61** No. 5.

- Chen, Q. dan Sydney, S. 1997. *Seismic Attribute Technology for Reservoir Forecasting and Monitoring*. The Leading Edge. May 1997.
- Chopra, S., Castagna, J., dan Portniaguine, O. 2006. *Seismic Resolution And Thin Bed Reflectivity Inversion*. CSEG RECORDER.
- Daubechies, I. 1992. *Ten Lecturer on Wavelet*. SIAM. Philadelphia, pennsylvania.
- Daubechies, I. 1995. *Ten Lecturer On Wavelets*. Capital City Press. Montpelier, Vermont.
- Duval, G. 2012. *How Broadband Can Unlock The Remaining Hydrocarbon Potential of The North Sea*. First Break Vol. **30**
- Partyka, G. J., Gridley, J., dan Lopez, J. 1999. *Interpretasional Applications of Spectral Decomposition in Reservoir Characterization*. The Leading Edge, Vol. **18**, 353-360.
- Nurchahya dan Brotopuspito. 2004. *Coherent Continuous Wavelet Transforms and Polarization Analysis of Multi Phase Earthquake*. Artikel IAGI.
- Rioul, O. dan Vetterli, M. 1991. *Wavelet dan Signal Processing*. IEEE Signal Proc. Magazine. Vol. No. **11**, pp. 14-38.
- Sinha, S., Routh, P.S., Anno, P.D, dan Castagna, J.P. 2005. *Spectral Decomposition of Seismic Data with Continuous-Wavelet Transform*. Geophysics, Vol. **70**. 19-25.
- Vail, P. R., Mitchum, R. M., Todd, J. M., Widmier, S., Thompson, J. B., Sangree, J. N., dan Bubb, W. G. 1997. *Seismic Stratigraphy and global changes of sea level, dalam Payton, C. E. (ed), Seismic Stratigraphy-application to hydrocarbon exploration*. AAPG Memoir 26
- Veeken, P. C.H. 2007. *Seismic Stratigraphy, Basin Analysis and Reservoir Characterization: Elsevier. Amsterdam. Seismic Exploration*. Vol. 37: 509.
- Wade, J. A., dan MacLean, B.C. 1990. *The geology of the southeastern margin of Canada: Aspects of the geology of the Scotian Basin from recent seismic and well data*. Chap. 5 in Keen, M. J., and Williams, G. L., (Eds.), Geology of Canada No.2 - Geology of the continental margin of eastern Canada. Geological Survey of Canada: 190-238.

Welsink, H.J., Dwyer, J. D., dan Knight, R.J. 2005. *Tectono-Stratigraphy of Passive Margin Off Nova Scotia, 1990 in : Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board, The Upper Jurassic Abenaki Formation Offshore Nova Scotia : A Seismic and Geologic Perspective.*

Zhang, R. 2013. *Spectral Decomposition with Real Seismic Wavelet.* Canada : Geomodeling Technology Corp.

### **Skripsi/Tesis**

Fitriah, N. 2009. *Aplikasi Dekomposisi Spektral untuk Peningkatan Resolusi Data Seismik pada Lapisan Tipis Batubara.* Tesis. Jakarta : Kekhususan Geofisika Reservoar, Program Pascasarjana, Fisika FMIPA , Universitas Indonesia.

Herbert, R. 2007. *Evaluasi Penerapan Transformasi Wavelet Kontinyu (CWT) untuk Pemodelan Lapisan Tipis Membaji.* Jakarta : Jurusan Geofisika, Universitas Indonesia

Satrio, P. 2013. *Peningkatan Resolusi Data Seismik dengan Menggunakan Data Vertical Seismic Profiling (VSP).* Skripsi. Bandung : Fakultas Teknik, Institut Teknologi Bandung.

Yuzariyadi, M. 2012. *Inversi Impedansi Akustik untuk Karakterisasi Reservoar pada Lapangan Mirza-Yurneli.* Skripsi. Lampung : Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Waharasto, P. 2012. *Evaluasi Prospektivitas Menggunakan Pendekatan Impedansi Akustik : Studi Kasus Lapangan Penobscot, Nova Scotia, Kanada.* Jakarta : Kekhususan Geofisika, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Indonesia.

### **Internet**

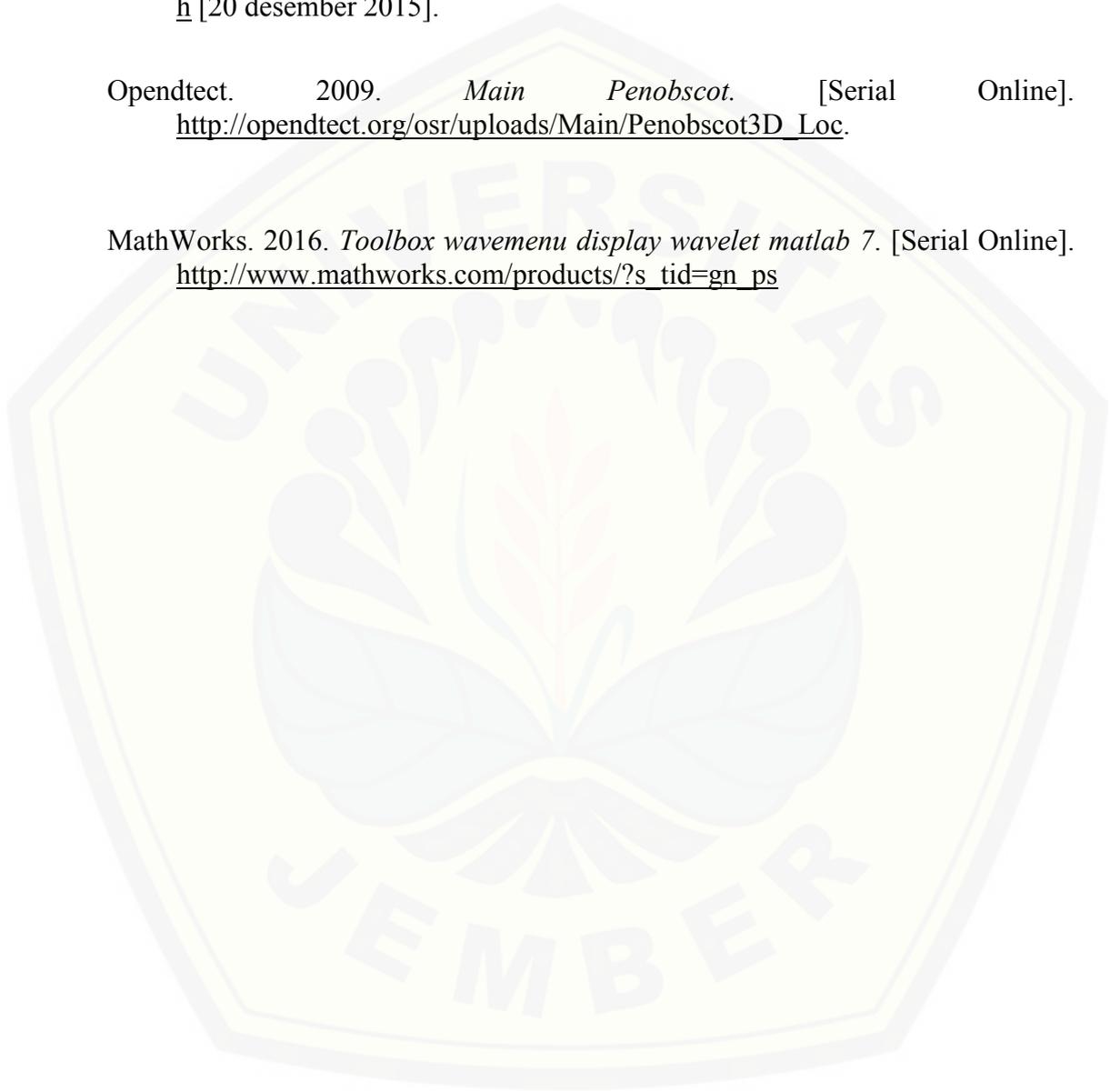
CNSOPB, 2010. *Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board.Exploration History.*<http://www.cnsopb.ns.ca/geoscience/geoscienceoverview/explorationhistory>.

CNSOPB. 2011. *Penobscot Petroleum System, Penobscot Structure.* <http://ammonitenovascotia.com>.

Google Earth. 2015. Nova-Scotia Canada.  
<http://www.bing.com/maps/default.aspx?q=NOVA+SCOTIA+CANADA&mkt=en&FORM=HDRSC4#Y3A9MC4wMDAwMDB+MC4wMDAwMDAmbHZsPTEmc3R5PXImcT1Ob3ZhJTlwU2NvdGhhJTJDJTlwS2FuYWRh> [20 desember 2015].

Opendtect. 2009. *Main Penobscot*. [Serial Online].  
[http://opendtect.org/osr/uploads/Main/Penobscot3D\\_Loc](http://opendtect.org/osr/uploads/Main/Penobscot3D_Loc).

MathWorks. 2016. *Toolbox wavemenu display wavelet matlab 7*. [Serial Online].  
[http://www.mathworks.com/products/?s\\_tid=gn\\_ps](http://www.mathworks.com/products/?s_tid=gn_ps)



## DAFTAR ISTILAH

Anomali	: penyimpangan terhadap sesuatu yang biasa atau normal dan telah menjadi kondisi umum atau mayoritas dalam suatu lingkungan tertentu
Atenuasi	: reduksi amplitudo dan intensitas gelombang dalam perjalanannya melewati medium
Atribut	: sebagai pengenaaan, penanda, yang diperlukan untuk memperjelas anomali yang tidak terlihat secara kasat mata pada data seismik biasa
Basin	: cekungan di dalam laut yang lebar dan luas.
<i>Bright spot</i>	: anomali amplitudo tinggi
<i>Data Checkshot</i>	: data olahan yang mmejadi pendukung dalam proses interpretasi, hal ini berkaitan dengan konversi waktu ke kedalaman
<i>Data Marker</i>	: data olahan yang menjadi pendukung dalam proses interpretasi, dalam hal ini batasan-batasan dari formasi yang telah diketahui litologinya
Dekomposisi	: proses perubahan menjadi bentuk yang lebih sederhana
Densitas	: ukuran kerapatan suatu zat yang dinyatakan banyak zat per satuan volume.
Eksplorasi	: istilah yang dipakai di dalam bidang geofisika untuk
Seismik	menerangkan aktifitas pencarian sumber daya alam dan mineral yang ada di bawah permukaan bumi dengan bantuan gelombang seismik

Efektivitas	: tingkat keberhasilan yang dapat dicapai dari suatu cara atau usaha tertentu sesuai dengan tujuan yang hendak dicapai
Fluvial	: bentuk lahan yang terjadi akibat pengaruh aktivitas aliran
Horizon	: garis yang membagi arah garis pandang ke dalam dua kategori
<i>Inline</i>	: lintasan lurus atau sejajar dengan garis pengambilan data
<i>Interbedding</i>	: terdapat di antara perlapisan atau terjadi di dalam plapisan sejajar dengan lapisan-lapisan lain yang batuanannya berbeda
Ketebalan <i>tuning</i>	: batas minimal ketebalan lapisan batuan yang mampu dilihat atau dibedakan oleh gelombang seismik.
Konvolusi	: cara untuk mengkombinasikan dua buah deret angka yang menghasilkan deret angka yang ketiga
Ketidakselarasan	: permukaan erosi atau non-deposisi yang memisahkan lapisan yang lebih muda dari yang lebih tua dan menggambarkan suatu rumpang waktu yang signifikan
Litologi	: deskripsi suatu batuan pada singkapan berdasarkan karakteristiknya, seperti warna, komposisi mineral dan ukuran butir (karakteristik fisik dari batuan)
Log	: suatu grafik kedalaman (bisa juga waktu), dari satu set data yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan di dalam sebuah sumur
<i>Logging</i>	: metode pengukuran besaran-besaran fisik batuan reservoir terhadap kedalaman lubang bor
Permeabilitas	: tingkatan kemampuan batuan meluluskan air (zat cair)
Reservoir	: suatu tempat atau wadah terakumulasinya suatu hidrokarbon
Resolusi	: kemampuan untuk memisahkan dua kenampakan yang sangat berdekatan

- Rifting* : satu istilah untuk menggambarkan proses ekstensional atau gaya tarikan di permukaan bumi, sebagai bentuk gejala tektonik divergen (pemisahan benua)
- Seismogram : proses pembuatan trace seismik dari konvolusi wavelet Sintetik dengan log reflektivitas
- Stratigrafi : suatu ilmu yang mempelajari tentang lapisan-lapisan batuan serta hubungan lapisan batuan itu dengan lapisan batuan yang lainnya yang bertujuan untuk mendapatkan pengetahuan tentang sejarah bumi.
- Temporal Thickness* : ketebalan dengan satuan waktu
- Tuning Frekuensi* : frekuensi dimana target terlihat lebih jelas
- Well-logging* : cara untuk mendapatkan rekaman log yang detail mengenai formasi geologi yang terpenetrasi dalam lubang bor
- window* : penampang seismik dalam satuan ms
- Zona Interest* : zona atau titik dimana suatu lapisan memiliki anomali tertentu sebagai karakter reservoir yang terdapat di lapisan tersebut

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A. DATA PENELITIAN

#### A1. DATA SURVEY

Negara : CANADA  
 Lokasi : Lepas Pantai Nova Scotia  
 Koordinat : 44° 07'46" N / 60 ° 06'00" W lihat di Google Earth

Tabel A.1 Data survey

1000.000	1000.000	731982.000	4890109.000	Penbscot stack data_agc
1000.000	1481.000	742640.000	4895683.000	Penbscot stack data_agc
1600.000	1000.000	728506.000	4896752.000	Penbscot stack data_agc

Gambar A.1 Input Data Seismik

#### A2. DATA SUMUR

```

VERS. 2.0 : CWLS Log ASCII Standard - version 2.0
WRAP. NO : One line per depth step
~WELL INFORMATION
#MNEMONIC .UNIT                                VALUE :DESCRIPTION
#-----
STRT      .M                                331.7750 :START DEPTH
STOP      .M                                3444.1577 :STOP DEPTH
STEP      .M                                0.1523 :STEP
NULL      .                                -999.2500 :NULL
COMP      .                                :COMPANY
WELL      .                                B-41 :WELL
FLD       .                                :FIELD
LOC       .                                UNKNOWN :LOCATION
CNTY      .                                UNKNOWN :LOCATION
STAT      .                                UNKNOWN :STATE
CTRY      .                                UNKNOWN :COUNTRY
SRVC      .                                UNKNOWN :SERVICE COMPANY
DATE      .                                :LOG DATE
API       .                                B-41 :API NUMBER
XCOORD   .                                731133.470000 :SURFACE X
YCOORD   .                                4894307.880000 :SURFACE Y
LAT       .                                -999.250000 :LATITUDE
LON       .                                -999.250000 :LONGITUDE
ELEV      .M                                -999.250000 :SURFACE ELEV
ELEV_TYPE .                                0.000000KB :ELEV TYPE
~CURVE INFORMATION
#MNEMONIC .UNIT                                API CODE: CURVE DESCRIPTION
#-----
DEPTH     .M                                : Measured Depth
DT        .                                UNKNOWN :
GR        .GAPI                            UNKNOWN :
ILM       .OHMM                            UNKNOWN :
NPHI      .V/V                             UNKNOWN :
RHOB      .                                UNKNOWN :
SP        .MV                             UNKNOWN :
    
```

Gambar A.2 Input data Sumur 1

```

VERS. 2.0 : CWLS Log ASCII Standard - version 2.0
WRAP. NO : One line per depth step
~WELL INFORMATION
#MNEMONIC .UNIT                                VALUE :DESCRIPTION
#-----
STRT      .M                                319.4610 :START DEPTH
STOP      .M                                4221.4243 :STOP DEPTH
STEP      .M                                0.1521 :STEP
NULL      .                                -999.2500 :NULL
COMP      .                                :COMPANY
WELL      .                                L-30 :WELL
FLD       .                                :FIELD
LOC       .                                UNKNOWN :LOCATION
CNTY      .                                UNKNOWN :LOCATION
STAT      .                                UNKNOWN :STATE
CTRY      .                                UNKNOWN :COUNTRY
SRVC      .                                UNKNOWN :SERVICE COMPANY
DATE      .                                :LOG DATE
API       .                                L-30 :API NUMBER
XCOORD    .                                734338.860000 :SURFACE X
YCOORD    .                                4893837.880000 :SURFACE Y
LAT        .                                -999.250000 :LATITUDE
LON        .                                -999.250000 :LONGITUDE
ELEV      .M                                -999.250000 :SURFACE ELEV
ELEV_TYPE .                                30.449500KB :ELEV TYPE
~CURVE INFORMATION
#MNEMONIC.UNIT                                API CODE: CURVE DESCRIPTION
#-----
DEPTH     .M                                : Measured Depth
DT        .                                UNKNOWN :
GR        .GAPI                            UNKNOWN :
ILM       .OHMM                            UNKNOWN :
NPHI      .V/V                             UNKNOWN :
RHOB      .                                UNKNOWN :
SP        .MV                             UNKNOWN :
    
```

Gambar A.3 Input data Sumur 2

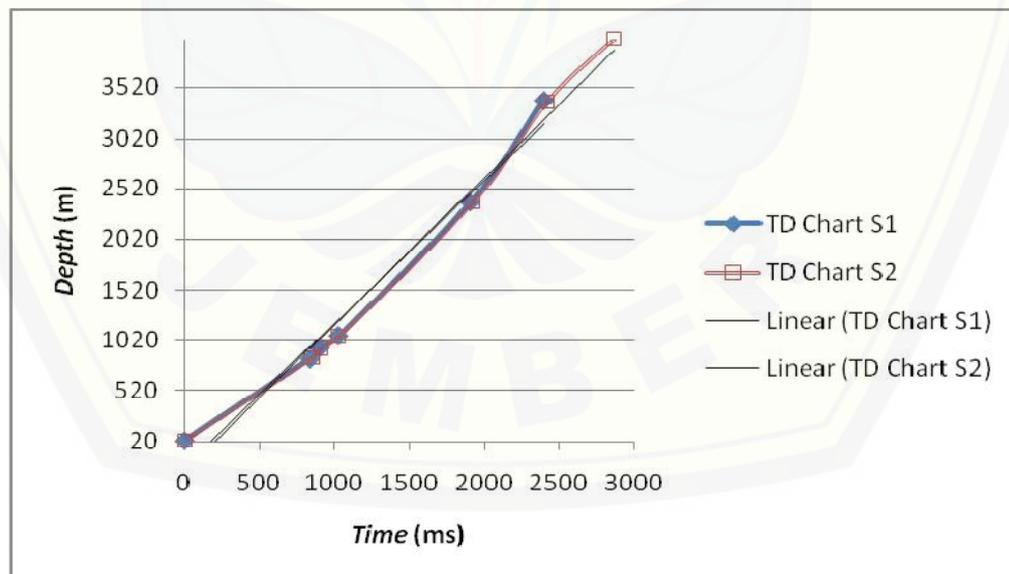
A3. DATA MARKER

	Name	MD (m)	TVD (m)	TVDSS (m)
<b>Marker 1</b>	Wyandot FM	858.62158203	858.62158203	828.72155762
<b>Marker 2</b>	DAWSON CANYON FM	986.11358643	986.11358643	955.21356201
<b>Marker 3</b>	LOGAN CANYON FM	1157.02075196	1157.02075196	1127.12072754
<b>Marker 4</b>	U. MISSISSAUGA FM	2246.9855957	2246.9855957	2217.08569336
<b>Marker 5</b>	Base O- Marker	2472.56103516	2472.56103516	2442.66113281
<b>Marker 6</b>	L. MISSISSAUGA FM	3190.64648438	3190.64648438	3160.74658203

(a)

	Name	MD (m)	TVD (m)	TVDSS (m)
<b>Marker 1</b>	Quaternary	167	167	137.1
<b>Marker 2</b>	Wyandot FM	867.15600586	867.15600586	837.25598145
<b>Marker 3</b>	DAWSON CANYON FM	984.50402832	984.50402832	954.60400391
<b>Marker 4</b>	LOGAN CANYON FM	1136.90405273	1136.90405273	1107.00402832
<b>Marker 5</b>	U. MISSISAUGA FM	2251.25292969	2251.25292969	2221.35302734
<b>Marker 6</b>	Base O- Marker	2469.20703125	2469.20703125	2439.30712891
<b>Marker 7</b>	Pay_sand_1-rft	2478	2478	2448.1
<b>Marker 8</b>	Pay_sand_2	2499	2499	2469.1
<b>Marker 9</b>	Pay_sand_3	2543	2543	2513.1
<b>Marker 10</b>	Pay_sand_4	2637	2637	2607.1
<b>Marker 11</b>	sand_5	2699	2699	2765.1
<b>Marker 12</b>	sand_6	2795	2795	2765.1
<b>Marker 13</b>	sand_7	2836	2835	2805.1
<b>Marker 14</b>	L. MISSISAUGA FM	3190.64648438	3190.64648438	3160.74658203
<b>Marker 15</b>	ABENAKI FM	3404.3112793	3404.3112793	3374.41137695
<b>Marker 16</b>	MID BACCARO	3485.08325195	3485.08325195	3455.18334961
<b>Marker 17</b>	L. BACCARO	3964.53369141	3964.53369141	3934.63378906
<b>Marker 18</b>	Shale tongue	4112.79980469	4112.79980469	4082.9

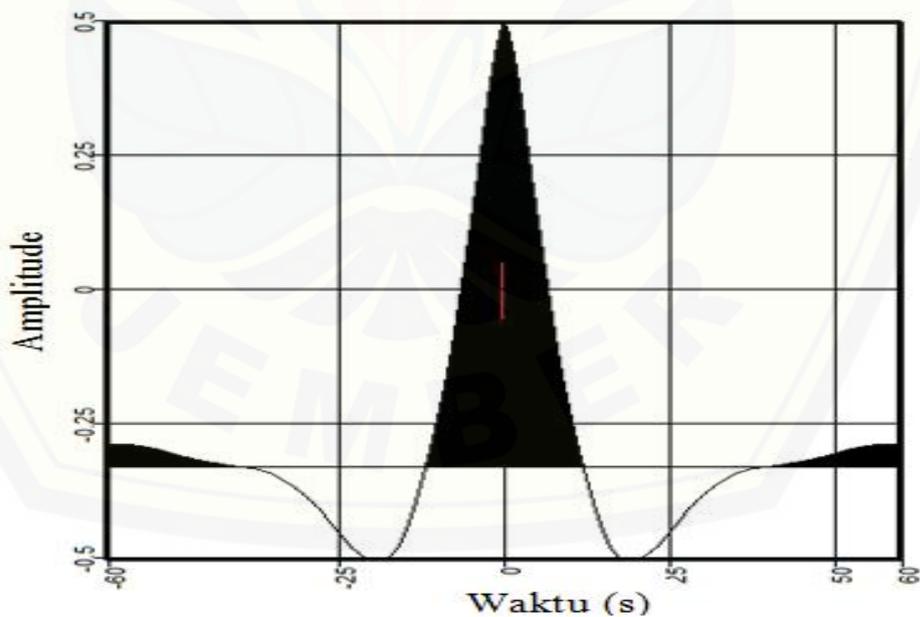
(b)

Gambar A.4 Input data *Marker* pada Sumur 1(a) dan Sumur 2(b)A4. DATA *CHECKSHOT*Gambar A.5 Data *Checkshot* dalam bentuk grafik *Time-Depth*

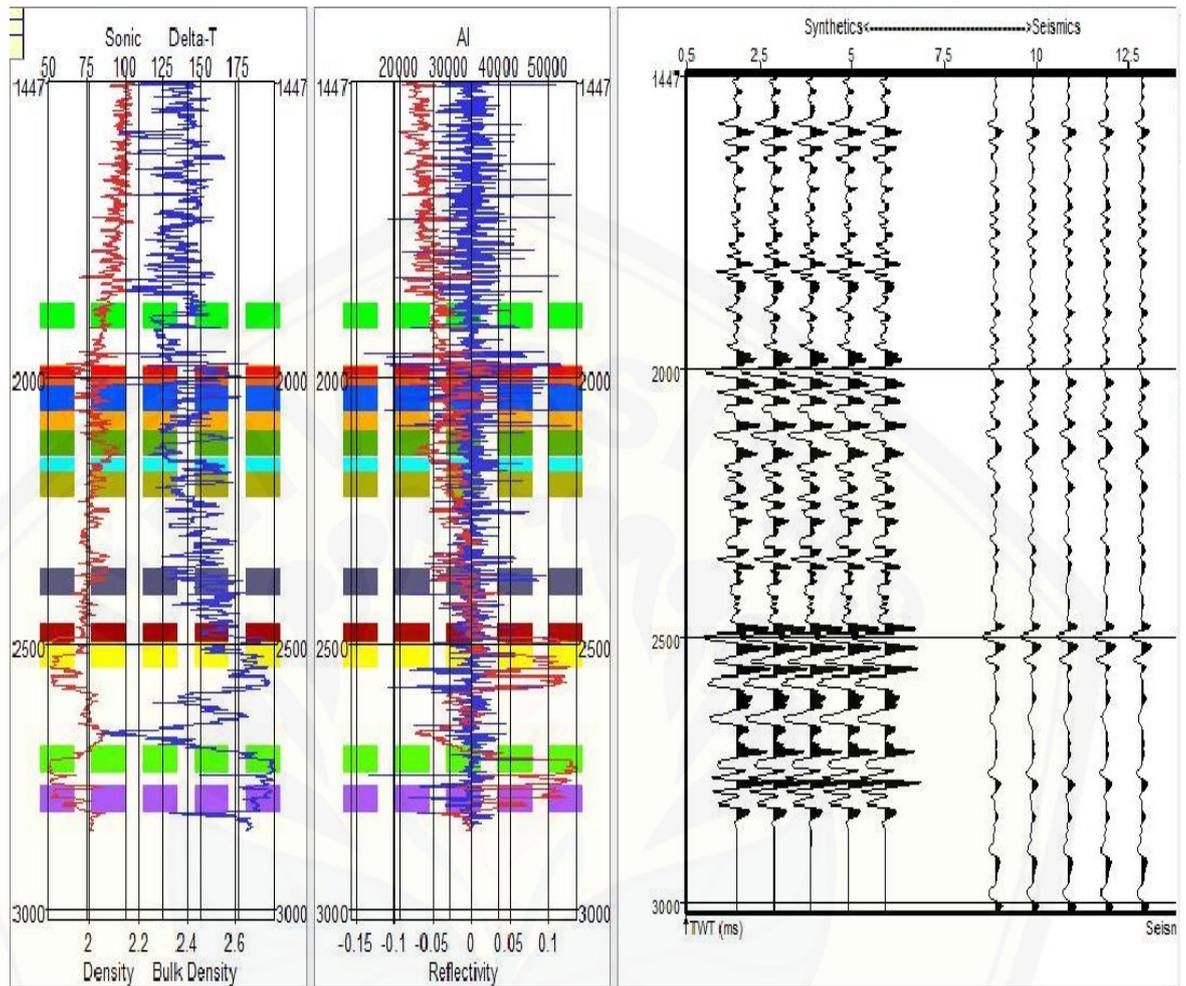
Sumur	Depth (m)	Time (ms)
S1	29.9	0
	828	837,619
	935	903,619
	1063	1023,619
	2380	1911,619
	3391	2400,619
S2	29.9	0
	837	859,171
	922	911,171
	1049	1025,171
	2378	1923,171
	3375	2418,171
	3990	2868,171

Gambar A.6 Input data *Checkshot* pada sumur 1 (S1) dan sumur 2 (S2)

#### LAMPIRAN B. PENGOLAHAN DATA

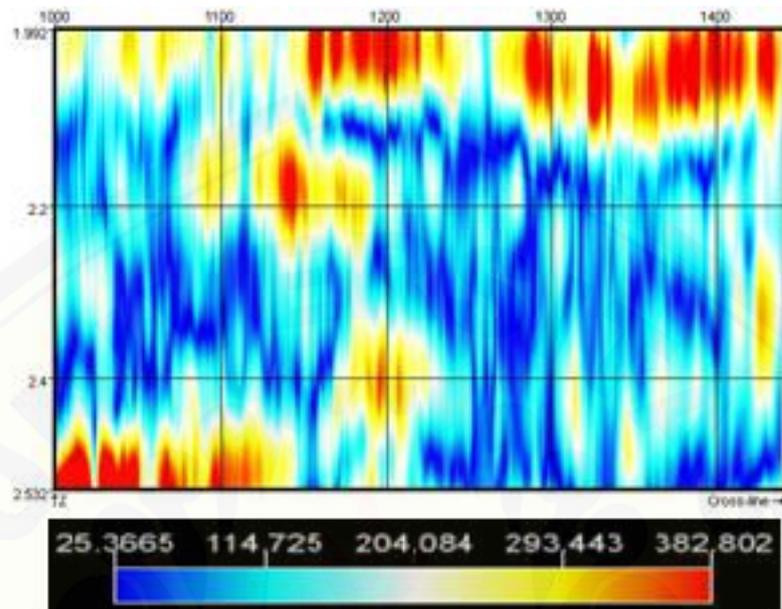
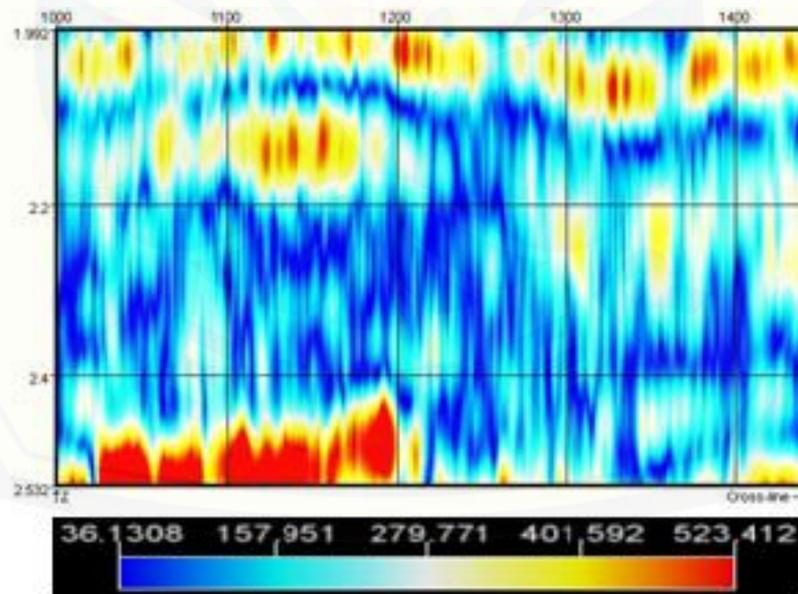


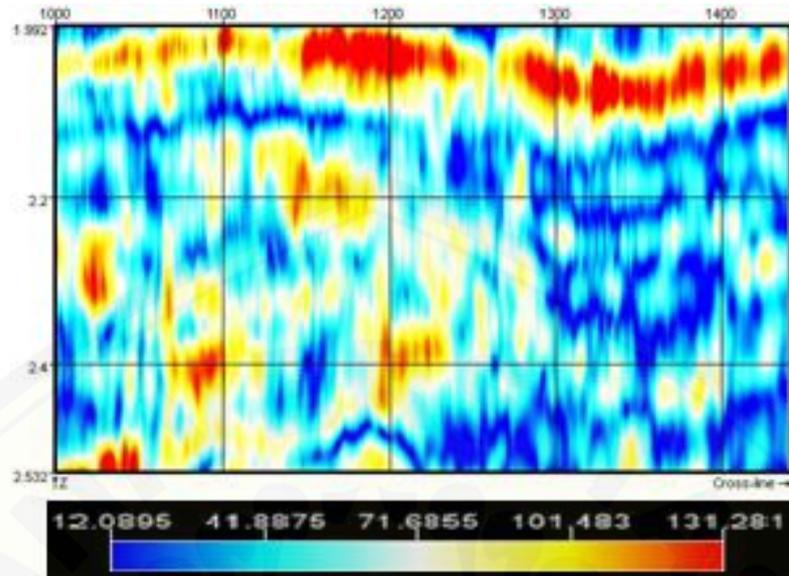
Gambar B.1 *Wavelet* hasil ekstraksi dari data seismik



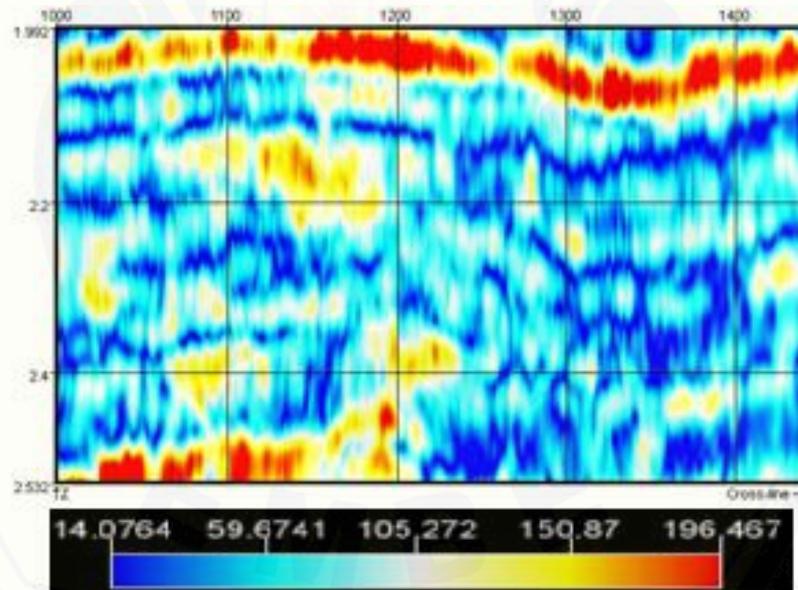
Gambar B.2 Well seismic tie pada sumur 1 (L-30)

## LAMPIRAN C. INTERPRETASI SEISMIK

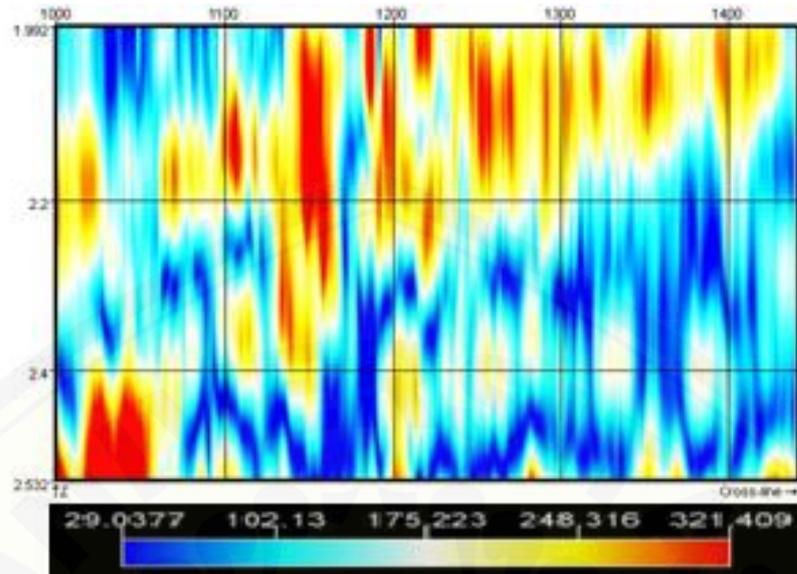
Gambar C.1 Penampang CWT *inline* 1180 dengan *wavelet* Morlet frekuensi 14 HzGambar C.2 Penampang CWT *inline* 1180 dengan *wavelet* Morlet frekuensi 20 Hz



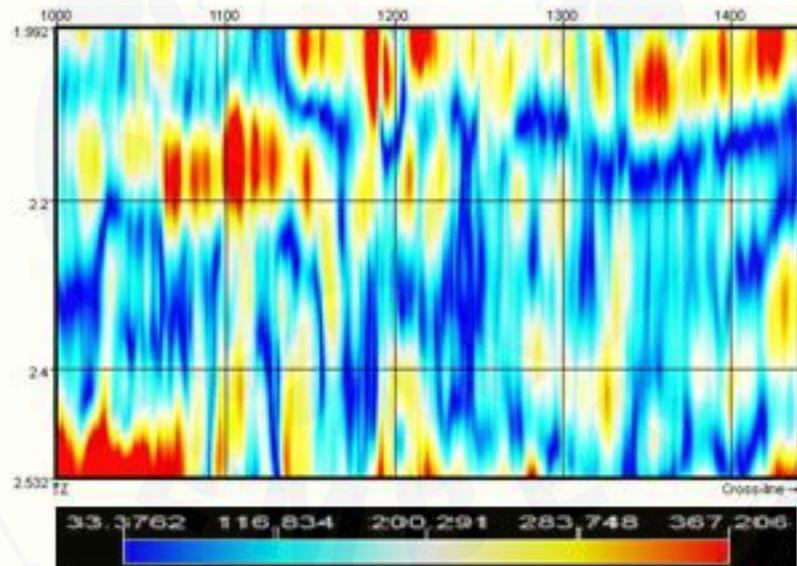
Gambar C.3 Penampang CWT *inline* 1180 dengan *wavelet* Gaussian frekuensi 14 Hz



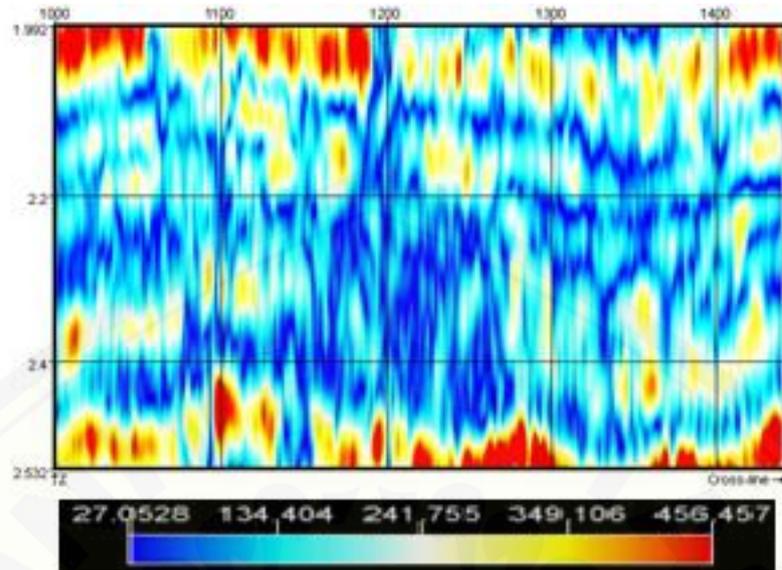
Gambar C.4 Penampang CWT *inline* 1180 dengan *wavelet* Gaussian frekuensi 20 Hz



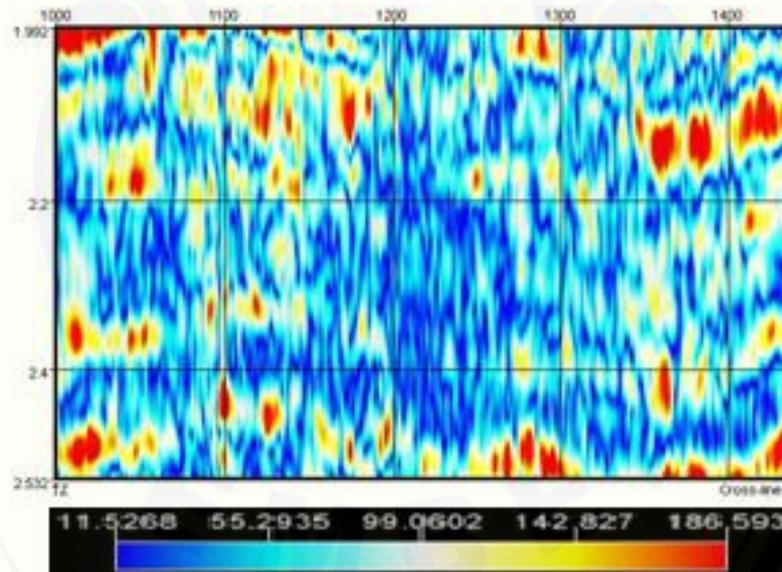
Gambar C.5 Penampang CWT *inline* 1230 dengan *wavelet* Morlet frekuensi 11 Hz



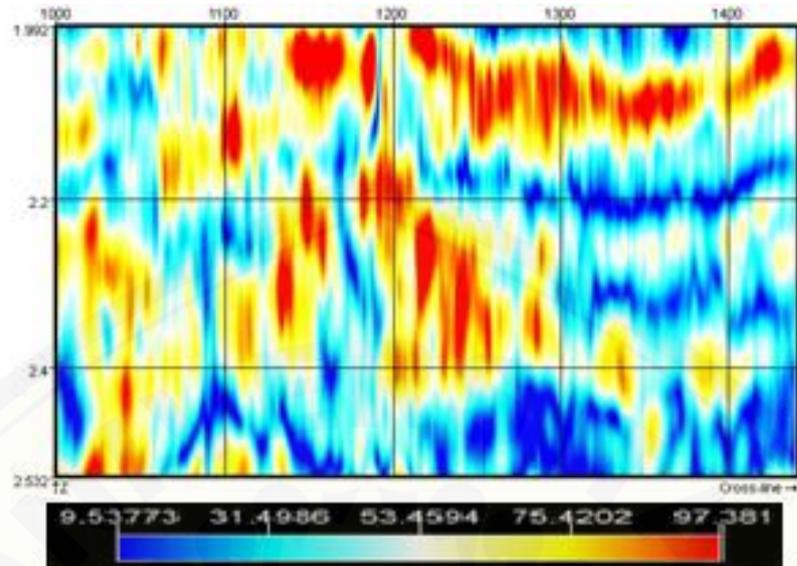
Gambar C.6 Penampang CWT *inline* 1230 dengan *wavelet* Morlet frekuensi 14 Hz



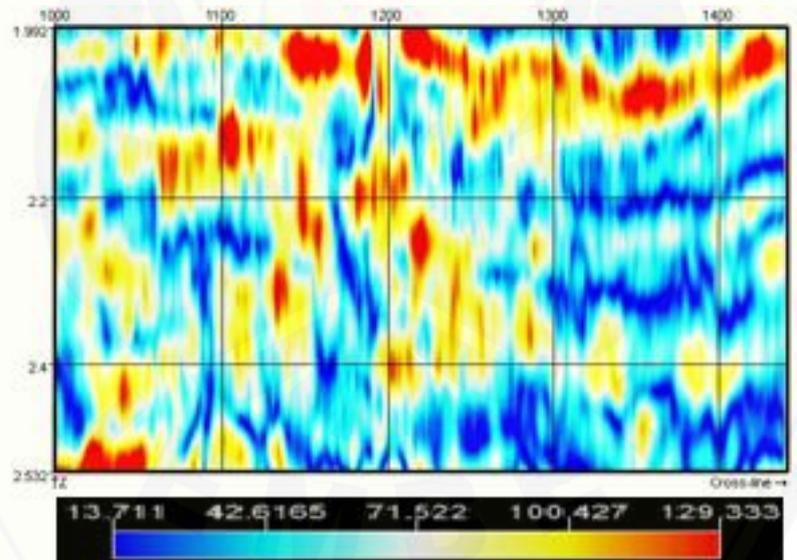
Gambar C.7 Penampang CWT *inline* 1230 dengan *wavelet* Morlet frekuensi 30 Hz



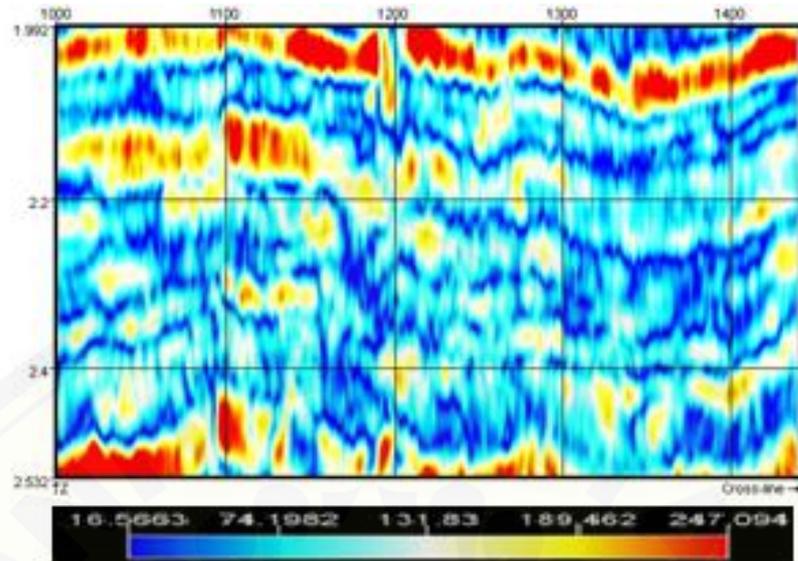
Gambar C.8 Penampang CWT *inline* 1230 dengan *wavelet* Morlet frekuensi 45 Hz



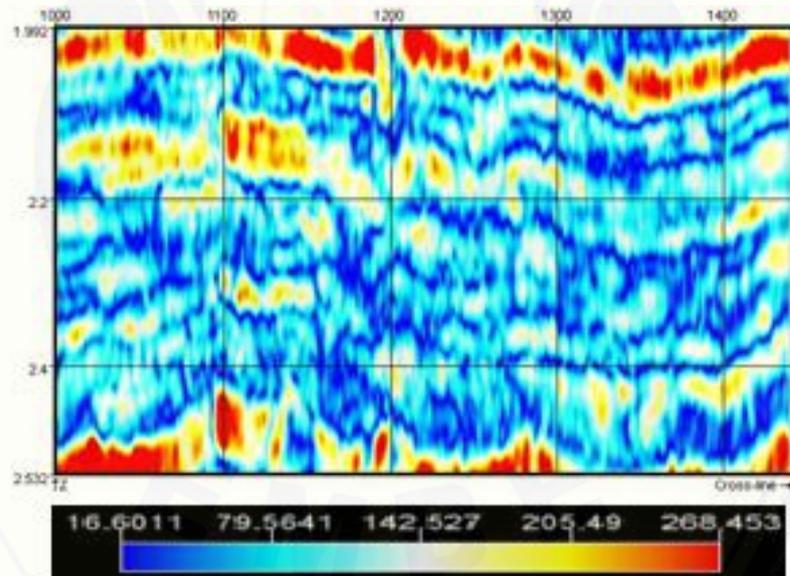
Gambar C.9 Penampang CWT *inline* 1230 dengan *wavelet* Gaussian frekuensi 11 Hz



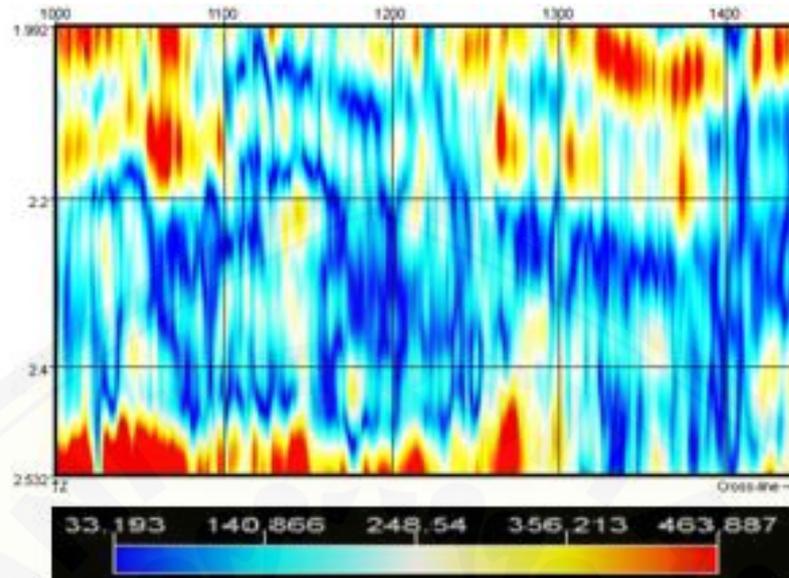
Gambar C.10 Penampang CWT *inline* 1230 dengan *wavelet* Gaussian frekuensi 14 Hz



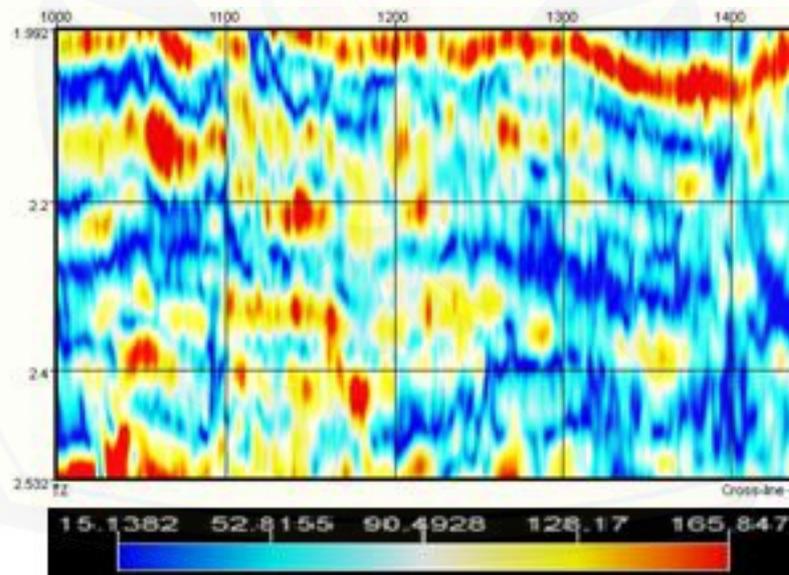
Gambar C.11 Penampang CWT *inline* 1230 dengan *wavelet* Gaussian frekuensi 30 Hz



Gambar C.12 Penampang CWT *inline* 1230 dengan *wavelet* Gaussian frekuensi 45 Hz

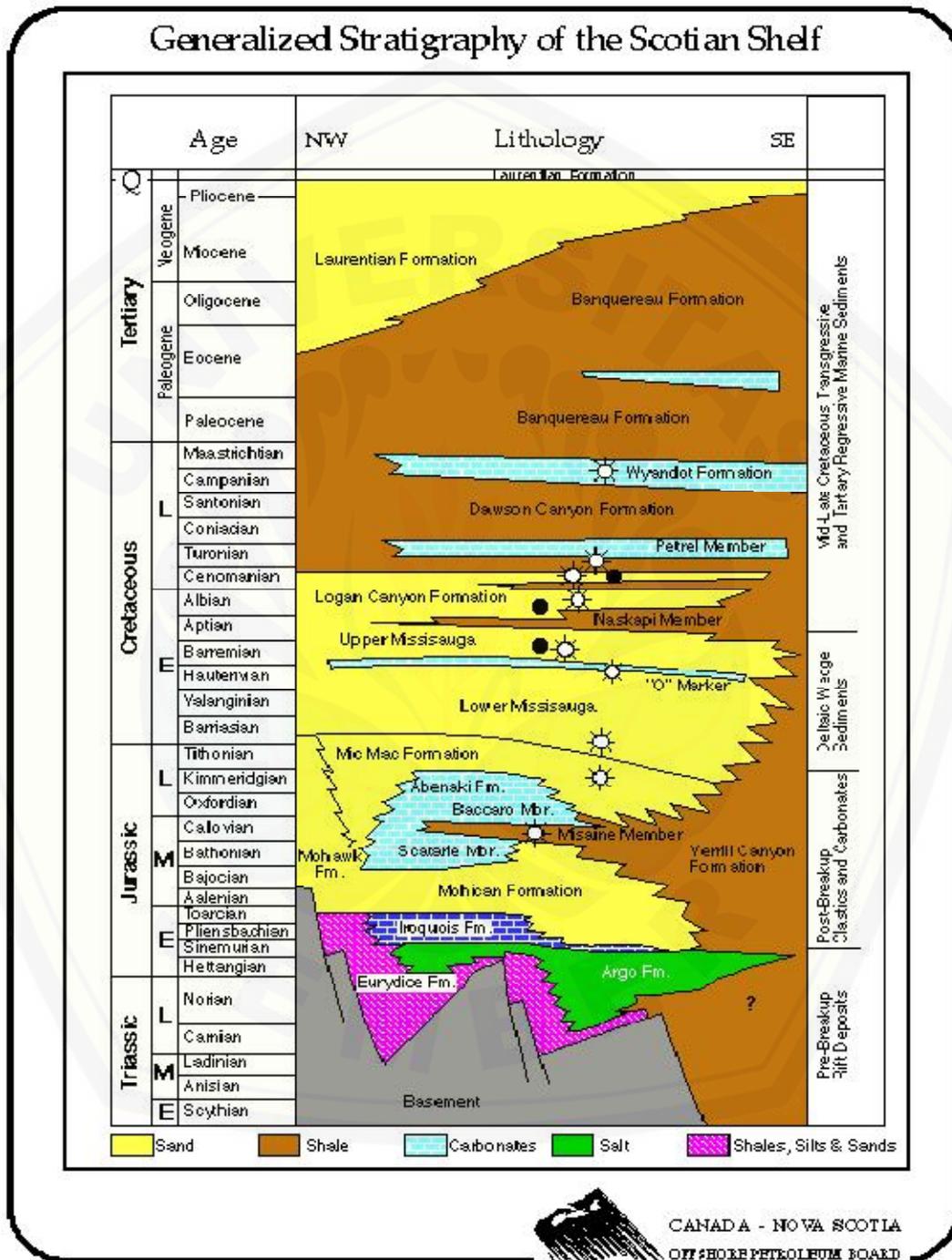


Gambar C.13 Penampang CWT *inline* 1300 dengan *wavelet* Morlet frekuensi 18 Hz



Gambar C.14 Penampang CWT *inline* 1300 dengan *wavelet* Gaussian frekuensi 18 Hz

LAMPIRAN D. PENDUKUNG



Gambar D.1 Statigrafi Umum Lapangan Eksplorasi Penobscot (Sumber : Nova Scotia Departement of Energy, 2011)