



UNIVERSITAS INDONESIA

**DETEKSI *OVERPRESSURE* DENGAN MENGGUNAKAN
ATRIBUT AVO : STUDI KASUS DI CEKUNGAN SUMATRA
UTARA**

TESIS

**DEDI DJUNAEDI
0806420890**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JAKARTA
MEI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**DETEKSI *OVERPRESSURE* DENGAN MENGGUNAKAN
ATRIBUT AVO : STUDI KASUS DI CEKUNGAN SUMATRA
UTARA**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains**

**DEDI DJUNAEDI
0806420890**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
KEKHUSUSAN GEOFISIKA RESERVOIR
JAKARTA
MEI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Dedi Djunaedi

NPM : 0806420890

Tanda Tangan : 

Tanggal : 7 Mei 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Deteksi *Overpressure* dengan Menggunakan Atribut
AVO: Studi Kasus di Cekungan Sumatra Utara

Nama : Dedi Djunaedi

Program Studi : Magister Fisika

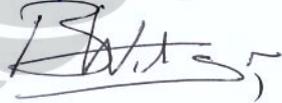
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Geofisika Reservoir, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. rer. nat Abdul Haris ()

Penguji : Prof. Dr. Suprajitno Munadi ()

Penguji : Dr. Ricky Adi Wibowo ()

Penguji : Dr. Bambang Widarsono ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 7 Mei 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT. atas limpahan nikmat taufik dan hidayah-Nya. Alhamdulillah kami ucapkan atas selesainya penulisan dan pembuatan tesis ini.

Tujuan utama penulisan tesis ini adalah untuk memenuhi syarat menyelesaikan program pascasarjana di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Indonesia, Program Studi Kekhususan Geofisika Reservoir. Di samping itu, kami juga berharap semoga tesis ini bisa bermanfaat bagi siapa saja pembaca yang berminat dengan topik bahasan ini dan mengembangkannya.

Dalam kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. rer. nat. Abdul Haris yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian tesis ini,
2. Prof. Dr. Suprayitno Munadi yang juga telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian tesis ini,
3. Dr. Ricky Adi Wibowo dan Dr. Bambang Widarsono sebagai dosen penguji yang sudah meluangkan waktu untuk melakukan pengujian dan memberikan masukan dan saran yang sangat bermanfaat untuk perbaikan tesis ini,
4. Seluruh Dosen Universitas Indonesia, khususnya di bidang studi Geofisika Reservoir, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan tentang dunia perminyakan secara menyeluruh sehingga bisa menambah terbuka cakrawala pengetahuan kami di bidang tersebut,
5. PT. Medco E&P Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk mengikuti program pascasarjana sesuai dengan minat,
6. Ibu, Ayah (Almarhum) – semoga Beliau selalu mendapat tempat terbaik dalam pandangan Allah SWT. – dan kedua mertua kami yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan dan do'a supaya kami selalu berada dalam kebaikan,
7. Istri dan anak-anak kami yang telah dengan ikhlas memberikan dukungan dan sebagian waktunya untuk digunakan mengikuti perkuliahan pada program pascasarjana sampai dengan selesai,

8. Lilik Lasono, atas kebaikan dan kesabarannya selalu mengajak pergi dan pulang kuliah bersama selama masa kuliah dan saran-sarannya selama masa pembuatan tesis,
9. Didiek Bhudy Prabowo, Yudi Yanto, Danar Yudhatama, Miftahurrahman, dan Ferry Faris Baskaraputra, yang banyak memberikan bantuan dan sumbang saran terhadap penyelesaian tesis ini,
10. Rekan-rekan di lingkungan rumah, di lingkungan perkuliahan, dan di lingkungan kerja yang secara langsung atau tidak langsung terus memberikan dukungan untuk bisa menyelesaikan program ini tepat waktu.

Akhir kata, sebagai manusia biasa yang tidak luput dari kekurangan dan ketidak-sempurnaan, kami menyadari tentu ada tulisan dalam tesis ini yang kurang tetapi luput dari pengamatan. Oleh karena itu, sumbang saran dan kritik yang membangun untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan ini selanjutnya sangat kami harapkan.

Jakarta, Mei 2011

Dedi Djunaedi

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

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

Nama : Dedi Djunaedi
NIM : 0806420890
Program Studi : Magister Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

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

**Deteksi *Overpressure* dengan Menggunakan Atribut AVO: Studi Kasus di
Cekungan Sumatra Utara**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 7 Mei 2011

Yang menyatakan,



Dedi Djunaedi

ABSTRAK

Nama : Dedi Djunaedi
Program Studi : Magister Fisika
Judul : Deteksi *Overpressure* dengan Menggunakan Atribut AVO: Studi Kasus di Cekungan Sumatra Utara

Memprediksi keberadaan *overpressure* bawah permukaan bisa dilakukan dengan menggunakan data sumur atau data seismik. Adanya deviasi dari nilai-nilai resistivitas, densitas, porositas, dan kecepatan interval terhadap tren normal pada data sumur merupakan ciri-ciri dari keberadaan *overpressure*. Deviasi kecepatan interval digunakan untuk mendeteksi *overpressure* pada data seismik.

Dalam tesis ini, penggunaan kecepatan interval dari data seismik yang diturunkan dengan menggunakan metode AVO dilakukan untuk mendeteksi keberadaan zona *overpressure*. Untuk menghasilkan perhitungan kecepatan yang lebih baik, sebelumnya dilakukan pengolahan terhadap data seismik. Dengan menggunakan persamaan empiris Eaton untuk mentransformasi kecepatan menjadi tekanan pori, distribusi tekanan pori diperoleh dan deteksi *overpressure* bisa dilakukan. Aplikasi deteksi *overpressure* dilakukan pada data seismik seluas 126 km² di Cekungan Sumatra Utara. Hasil deteksi memperlihatkan bahwa di Cekungan Sumatra Utara *overpressure* terdeteksi pada Formasi Baong dengan besar nilai tekanan ekuivalen antara 14 – 16 ppg.

Kata kunci:

Kecepatan, *Overpressure*, AVO

ABSTRACT

Name : Dedi Djunaedi
Study Program : Master Degree of Physics
Title : Overpressure Detection By Using AVO Attribute: Case Study in the North Sumatra Basin

Predicting the presence of overpressure in the subsurface can be performed using well or seismic data. A deviation of resistivity, density, porosity, and interval velocity value from the normal trend in the well data are the characteristics of the existence of overpressure. Interval velocity deviation, which is extracted from seismic data, is used to detect overpressure.

In this thesis, the use of interval velocity derived from seismic data using AVO methods, is performed to detect the presence of overpressure zone. In order to produce a better velocity computation, the basic seismic data processing is applied. Pore pressure estimation is performed by using an empirical Eaton's equation to transform the velocity to pore pressure. Based on the calculated pore pressure then overpressure zone can be identified. This work is applied to 3D seismic data covering 126 km² in the North Sumatra Basin. The results show that overpressure is identified in the Baong Formation with equivalent pressure value between 14 – 16 ppg.

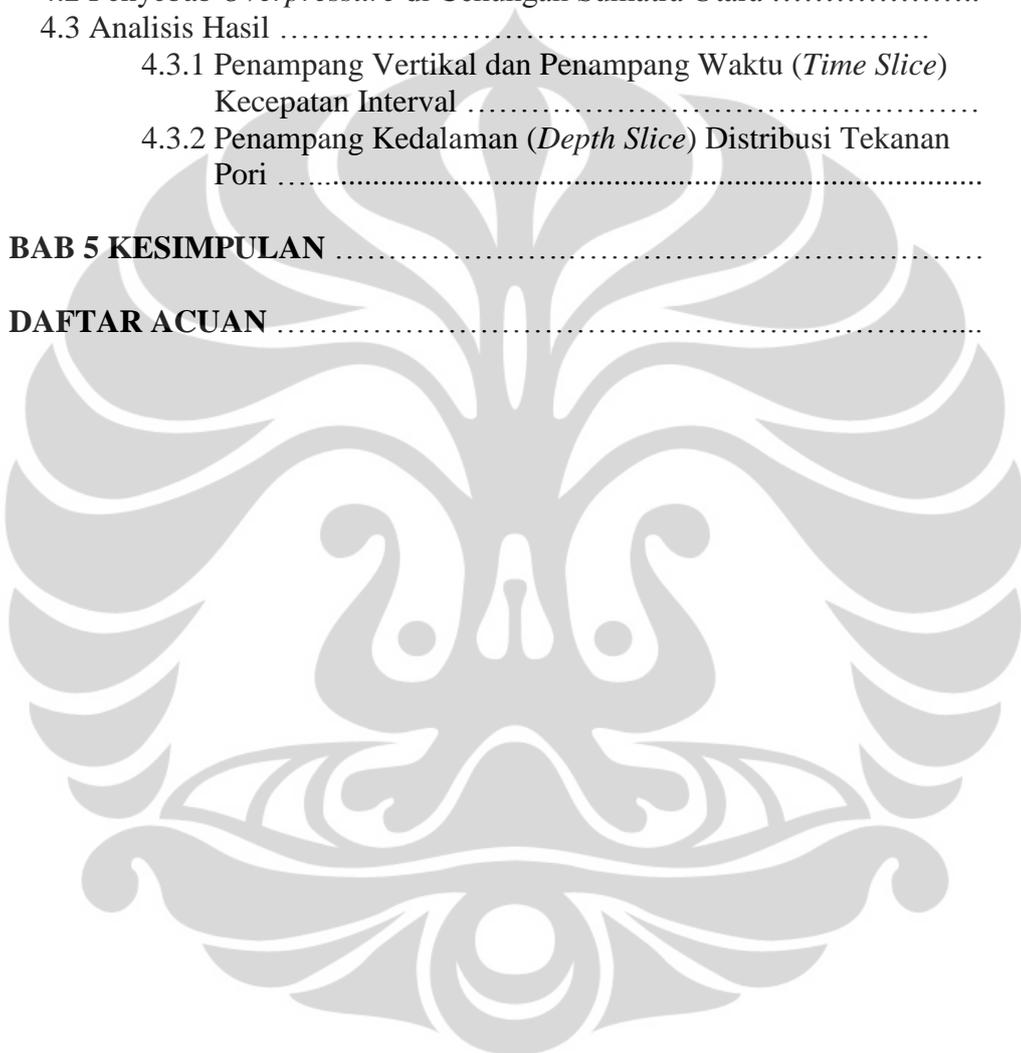
Key Words:

Velocity, Overpressure, AVO

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Pembatasan Masalah	2
1.5 Metode Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TEORI DASAR	4
2.1 Konsep Tekanan	4
2.2 <i>Overpressure</i>	6
2.3 Penyebab <i>Overpressure</i>	7
2.3.1 <i>Undercompaction</i>	7
2.3.2 Ekspansi Fluida	7
2.3.3 Sementasi	8
2.4 Deteksi <i>Overpressure</i>	8
2.4.1 Menggunakan Data Sumur	8
2.4.2 Menggunakan Data Seismik	8
2.4.3 Menggunakan Kombinasi antara Data Sumur dan Data Seismik	9
2.5 Hubungan Kecepatan dengan Tekanan Pori	9
2.6 Penurunan Kecepatan Menggunakan Metode AVO	10
BAB 3 PENGOLAHAN DATA	14
3.1 Ketersediaan Data	14
3.2 Pengolahan Data Seismik	15
3.2.1 Data Seismic Pre-STM Gathers	15
3.2.2 <i>Muting</i>	16
3.2.3 Filter Domain Frekuensi	17
3.2.4 Atenuasi Noise Random	18
3.3 Penurunan Kecepatan dari Data Seismik	18
3.4 Analisis Data Sumur	22
3.4.1 Tekanan Hidrostatik	24
3.4.2 Tekanan <i>Overburden</i>	25
3.4.3 <i>Normal Compaction Trend</i> (Tren Kompaksi Normal)	25

3.4.4 Transformasi Kecepatan Menjadi Tekanan Pori	26
3.4.5 Kalibrasi Tekanan Pori dari Data Sumur terhadap <i>Mud weight</i>	26
3.5 Koreksi Kecepatan Seismik Terhadap Kecepatan Sumur	27
3.6 Diagram Alir Proses Perhitungan Tekanan Pori	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Geologi Regional	31
4.2 Penyebab <i>Overpressure</i> di Cekungan Sumatra Utara	32
4.3 Analisis Hasil	33
4.3.1 Penampang Vertikal dan Penampang Waktu (<i>Time Slice</i>) Kecepatan Interval	34
4.3.2 Penampang Kedalaman (<i>Depth Slice</i>) Distribusi Tekanan Pori	40
BAB 5 KESIMPULAN	45
DAFTAR ACUAN	46



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemahaman terhadap karakteristik sifat-sifat fisik batuan atau fluida dalam formasi bawah permukaan, merupakan pengetahuan yang sangat penting pada eksplorasi minyak dan gas bumi. Kaitannya dengan kegiatan pengeboran, pengetahuan atas sifat-sifat fisik batuan atau fluida tersebut, bisa membantu mendeteksi keberadaan zona *overpressure* sehingga risiko kecelakaan pengeboran bisa dihindari, metode pengeboran bisa lebih tepat, dan tindakan penanggulangan yang perlu dilakukan selama pengeboran bisa disiapkan lebih baik.

Keberadaan zona *overpressure* dari prediksi tekanan pori bisa dilakukan dengan mempelajari deviasi sifat-sifat fisik formasi dari tren normalnya. Data sumur hasil pengeboran, memberikan informasi cukup banyak untuk mendeteksi adanya zona *overpressure* tersebut. Biasanya, nilai-nilai log densitas dan log resistivitas, memiliki simpangan lebih besar dari tren normal, sementara log sonik memberikan nilai kecepatan interval yang konstan atau mengecil dari tren normal.

Meskipun bisa memprediksi dengan akurat, informasi data sumur hanya bisa diperoleh setelah pengeboran dilakukan dan bersifat lokal serta hanya satu dimensi. Sementara itu, mendeteksi *overpressure* sebelum dilakukan pengeboran lebih bermanfaat untuk persiapan dan perencanaan pengeboran yang lebih baik. Oleh karena itu, untuk menutupi keterbatasan data sumur di atas, metode seismik refleksi bisa digunakan untuk kepentingan deteksi *overpressure* sebelum dilakukan pengeboran dan mencakup area yang lebih luas.

Ditinjau dari data seismik, untuk kedalaman yang sama, pada zona *overpressure* kecepatan dan impedansi akustik memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan dan impedansi akustik di zona tekanan normal. Dengan menggunakan sifat kecepatan inilah, prediksi zona *overpressure* bisa dilakukan dengan menggunakan data seismik, dan dalam tesis ini dibahas cara-cara melakukan prediksi tekanan pori yang diturunkan dari kecepatan seismik 3D, khususnya di Cekungan Sumatra Utara.

1.2 Permasalahan

Distribusi tekanan pori di daerah penelitian merupakan masalah yang perlu diketahui secara lebih baik sebelum dilakukan pengeboran mengingat adanya indikasi zona *overpressure* yang terdeteksi dengan jelas pada data sumur di kisaran kedalaman 2000 meter.

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui sebaran zona *overpressure* dari data seismik 3D. Lebih lanjut, informasi ini akan digunakan untuk menghindari bencana pengeboran dan memilih teknologi pengeboran yang lebih tepat.

1.4 Pembatasan Masalah

Prediksi distribusi tekanan pori dalam tesis ini hanya akan diaplikasikan terhadap data real seismik 3D seluas kurang lebih 126 km² dan divalidasi dengan menggunakan dua sumur X1 dan X2 dengan menggunakan penurunan kecepatan menggunakan metode AVO.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah dengan menggunakan software ProMAX dan Hampson Russell dengan lisensi PT. Medco E&P Indonesia. Tahapan-tahapan pengolahan data bisa diuraikan sebagai berikut

1. Melakukan pengolahan terhadap data seismik, seperti muting, bandpass filtering, dan random noise atenuasi,
2. Melakukan penurunan kecepatan interval dari data seismik,
3. Melakukan analisis data sumur, diantaranya menentukan zona *overpressure*, menghitung tekanan hidrostatik dan overburden, dan menghitung tren kompaksi normal,
4. Memprediksi tekanan pori menggunakan persamaan Eaton,
5. Melakukan kalibrasi hasil prediksi terhadap data sumur.

1.6 Sistematika Penulisan

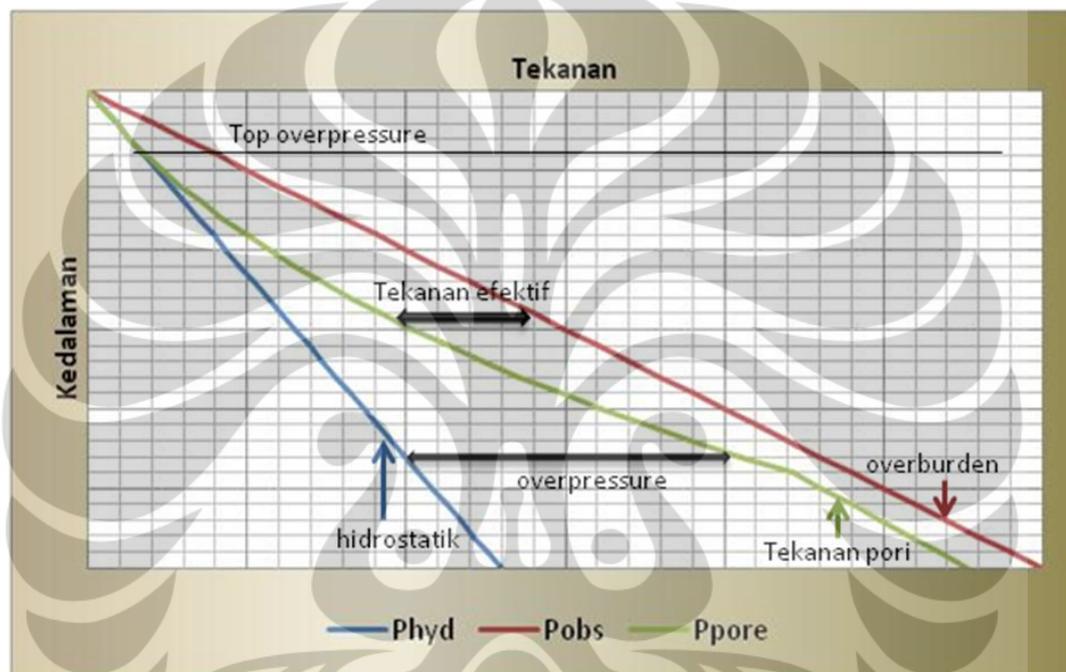
Penulisan tesis terbagi ke dalam 5 bab yang masing-masing terdiri atas sub-bab sub-bab untuk memperjelas masing-masing bagian. Penulisan bab-bab tersebut adalah sebagai berikut.

Bab satu menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, permasalahan dan tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian, serta sistematika penulisan. Dilanjutkan pada bab dua dengan uraian mengenai teori-teori dasar dan persamaan-persamaan matematika tekanan, metode penurunan kecepatan interval dari data seismik dengan pendekatan AVO, serta bagaimana menurunkan perhitungan tekanan pori dari kecepatan interval yang diperoleh dari data seismik tersebut. Pada bab tiga penulisan dimulai dengan pengolahan data seismik, perhitungan tekanan hidrostatik dan overburden, dan perhitungan tekanan pori, dan ditutup dengan uraian mengenai cara mengkalibrasi tekanan pori hasil perhitungan terhadap data sumur. Penulisan ditutup pada bab empat dan lima dengan pembahasan mengenai hasil pengolahan data serta kesimpulan.

BAB 2 TEORI DASAR

2.1 Konsep Tekanan

Untuk mengerti mengenai konsep tekanan, ilustrasi kartun kurva hubungan tekanan terhadap kedalaman ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kartun yang menunjukkan kurva hubungan tekanan terhadap kedalaman. warna biru adalah tekanan hidrostatik, warna merah adalah tekanan *overburden*, dan warna hijau adalah tekanan pori (Bruce and Bowers, 2002)

Garis biru pada gambar 2.1 menunjukkan tekanan hidrostatik, P_h , yaitu tekanan yang disebabkan oleh berat fluida dalam kolom, dirumuskan sebagai:

$$P_h = \rho_f g z \quad (2-1)$$

dimana z , ρ_f dan g berturut-turut adalah tinggi kolom, densitas fluida, dan percepatan gravitasi. Kemiringan garis biru adalah 0.433 psi/ft untuk *fresh water* dan antara 0.45 – 0.465 untuk air formasi. Dari persamaan di atas terlihat bahwa tekanan hidrostatik hanya dipengaruhi oleh densitas dan kedalaman kolom fluida

tetapi tidak dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk *cross section* kolom fluida. Dalam sistem SI, satuan tekanan adalah Pascal (disingkat Pa), sedangkan dalam sistem British satuannya adalah pounds per square inch (disingkat psi). Hubungan kedua satuan tersebut adalah $1 \text{ Pa} = 1,45 \times 10^{-4} \text{ psi} = \text{N/m}^2$.

Garis merah pada gambar 2.1 menunjukkan tekanan *overburden*, S , yaitu tekanan yang disebabkan oleh kombinasi dari berat matriks batuan dan fluida dalam pori yang terletak di atas formasi yang diukur.

$$S = g \int \rho_b(z) dz \quad (2-2)$$

dimana ρ_b adalah *bulk density* besarnya tergantung pada kedalaman dengan ρ_b memenuhi persamaan berikut.

$$\rho_b = \phi \rho_f + (1 - \phi) \rho_g \quad (2-3)$$

ϕ , ρ_f , dan ρ_g berturut-turut adalah porositas, densitas fluida dalam pori, dan densitas matriks. Secara umum, garis merah pada gambar 2.1 memiliki kemiringan yang mendekati 1 psi/ft. Akan tetapi, kemiringan sebenarnya tergantung dari nilai densitas. Karena densitas biasanya naik terhadap kedalaman, tekanan *overburden* pun meningkat terhadap kedalaman. Tekanan *overburden* biasa disebut juga tekanan geostatik atau tekanan lithostatik.

Kurva berwarna hijau pada gambar 2.1 menunjukkan tekanan pori atau tekanan formasi, P , yaitu tekanan fluida yang bekerja dalam ruang berpori (porositas) dalam batuan. Besar tekanan pori bisa lebih dari tekanan hidrostatik. Titik mulai terjadinya deviasi nilai tekanan pori dari garis tekanan hidrostatik disebut top dari *overpressure*.

Dua definisi penting sehubungan dengan gambar 2.1 di atas adalah: nilai kurva tekanan pori yang lebih besar dari garis tekanan hidrostatik disebut sebagai *overpressure*. Ini mengandung arti bahwa setiap tekanan pori yang memiliki nilai yang lebih besar dari tekanan hidrostatiknya dikategorikan sebagai *overpressure*. Definisi kedua adalah tekanan efektif atau disebut juga tekanan diferensial, σ ,

adalah tekanan yang bekerja pada framework batuan padat (*solid rock framework*), yaitu selisih antara tekanan *overburden*, S, dan tekanan pori, P,

$$\sigma = S - P \quad (2-4)$$

Pada gambar 2.1 di atas, tekanan efektif adalah lebar ruang di antara kurva tekanan pori dengan garis tekanan *overburden*. Tekanan efektif adalah tekanan yang mengontrol perilaku kompaksi sedimen.

Konsep lain yang bisa diterangkan dari gambar 2.1 adalah bahwa nilai tekanan pori tidak bisa lebih dari tekanan *overburden*. Ketika besar tekanan pori mendekati besarnya tekanan *overburden*, akan terjadi *fracture* pada formasi yang akan melepaskan fluida dan tekanan.

Dari gambar 2.1 terlihat bahwa, pada tekanan pori normal, tekanan efektif akan semakin besar terhadap kedalaman. Nilai-nilai kecepatan sonik, densitas, dan resistivitas pada tekanan normal secara umum akan naik terhadap kedalaman. Perilaku sifat batuan sebagai fungsi dari kedalaman di bawah tekanan pori normal disebut sebagai *Normal Compaction Trend* (NCT).

Gradien tekanan adalah perubahan tekanan terhadap kedalaman. Biasanya dinyatakan dalam sistem satuan British, pounds per square inch per foot (disingkat psi/ft), dimana kedalaman dinyatakan dalam feet (kaki). Hal yang perlu selalu diingat adalah tekanan absolut (tekanan) dan gradien tekanan (perubahan tekanan) mempunyai pengertian berbeda. Tekanan absolut adalah nilai tekanan pada suatu kedalaman tertentu sedangkan gradien tekanan adalah gambaran bagaimana tekanan berubah terhadap perubahan kecil kedalaman. Pada skala terkecil, gradien adalah kemiringan kurva tekanan terhadap kedalaman.

2.2 Overpressure

Sebagaimana telah disebutkan pada bagian awal dari bab ini, *overpressure* didefinisikan sebagai “Setiap tekanan pori yang memiliki nilai lebih besar dari tekanan hidrostatiknya”. Definisi lain *overpressure* bila dipandang dari sudut dinamika penjalaran fluida di bawah permukaan, adalah ketidak-mampuan fluida untuk membebaskan diri dari dalam formasi untuk menciptakan keseimbangan hidrostatik.

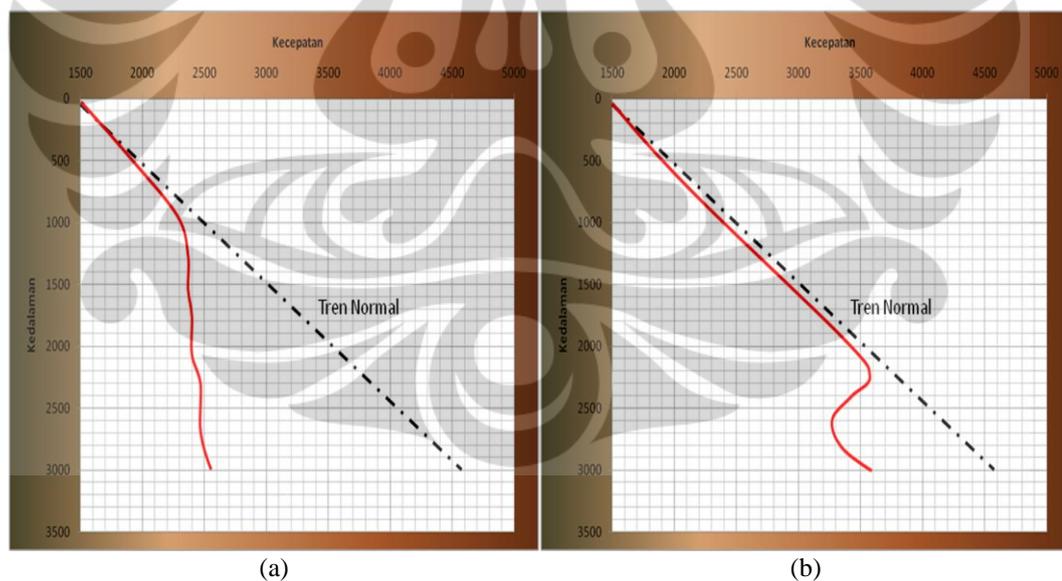
2.3 Penyebab *Overpressure*

Apabila selama proses pengendapan kondisi tekanan adalah normal, tekanan efektif secara berkesinambungan akan meningkat terhadap kedalaman. Akan tetapi apabila tekanan dipengaruhi oleh adanya *undercompaction*, ekspansi fluida, dan sementasi, maka tekanan pori akan meningkat dan menyebabkan terjadinya *overpressure*.

2.3.1 *Undercompaction*

Overpressure sering terjadi apabila fluida dalam pori terperangkap dalam formasi dengan permeabilitas rendah termampatkan oleh berat sedimen baru yang terendapkan. Proses *overpressure* seperti ini dikenal sebagai *undercompaction* atau *compaction disequilibrium* (ketidakseimbangan kompaksi).

Undercompaction tidak menyebabkan tekanan efektif menurun. Tetapi hanya ‘membekukan’ tekanan efektif terhadap waktu. Dalam plot kecepatan terhadap kedalaman akan muncul sebagai kecepatan *plateau*. Gambar 2.2 (a) memperlihatkan tipikal kurva kecepatan terhadap kedalaman untuk kasus *overpressure* yang disebabkan oleh *undercompaction*.



Gambar 2.2 Profile kecepatan zona *overpressure* yang disebabkan oleh mekanisme (a) *undercompaction* dan (b) ekspansi fluida (Bowers, 1995).

2.3.2 Ekspansi Fluida

Overpressure juga bisa disebabkan oleh mekanisme ekspansi fluida seperti pemanasan, pematangan hidrokarbon (hydrocarbon maturation), charging dari

zone-zone lain, dan ekspansi dari air inter-granular selama lempung berdiagenesis. Disini, tekanan dihasilkan dari matriks batuan yang membatasi fluida dalam pori ketika fluida berusaha untuk memperbesar volumenya.

Tidak seperti *undercompaction*, ekspansi fluida bisa menyebabkan tekanan pori meningkat dengan laju lebih cepat dari tekanan *overburden*. Hal ini memaksa tekanan efektif menurun selama proses pengendapan berlangsung, yang menciptakan kecepatan reversal (gambar 2.2 (b)).

2.3.3 Sementasi

Ekspansi fluida bisa saja bukan satu-satunya alasan bahwa kecepatan menjadi reversal, sementasi juga bisa menjadi factor penyebabnya. Akan tetapi, diperlukan analisis yang rumit untuk memastikan bahwa *overpressure* diakibatkan oleh proses sementasi, bahkan dengan menggunakan analisis petrografik pun masih sulit untuk memisahkan antara efek ekspansi fluida dengan sementasi. Yang bisa dikatakan bahwa, sementasi bisa menjadi penyebab *overpressure* yang diakibatkan oleh ekspansi fluida karena sementasi meningkatkan batasan matriks batuan dari fluida dalam pori.

2.4 Deteksi *Overpressure*

2.4.1 Menggunakan Data Sumur

Perubahan tekanan pori bisa dikenali dari hasil pengukuran data-data sumur yang biasa digunakan, seperti log sonik, resistivitas, densitas, dan porositas. Log sonik akan mendeteksi transit time yang lebih lama dari tren normal, log resistivitas akan menunjukkan nilai resistivitas yang lebih besar dari tren normal, log densitas akan menunjukkan pengukuran densitas yang lebih rendah dari tren normal, dan log porositas akan menunjukkan pembacaan yang lebih rendah dari tren normalnya. Dengan menggunakan log-log tersebut, gejala *overpressure* bisa terdeteksi dengan baik.

2.4.2 Menggunakan Data Seismik

Deteksi keberadaan zona *overpressure* juga bisa dilakukan dengan menggunakan data seismik. Pendeteksian tekanan pori dari data seismik adalah

dengan menggunakan kecepatan interval yang diperoleh dari hasil pengolahan data seismik dengan menggunakan kaidah-kaidah pengolahan data yang ada.

Sebagaimana pada data log, kecepatan seismik juga akan mengalami deviasi dari tren normal apabila masuk ke dalam zona *overpressure*. Akan tetapi, hal penting yang perlu diperhatikan untuk melakukan ini adalah bahwa analisis kecepatan harus lebih detail daripada analisis kecepatan untuk kepentingan *seismic imaging* sehingga perubahan kecepatan mendadak bisa terdeteksi dan direkam untuk digunakan dalam proses prediksi.

2.4.3 Menggunakan Kombinasi antara Data Sumur dan Data Seismik

Mendeteksi *overpressure* menggunakan data sumur dan data seismik secara terpisah memiliki kelemahannya masing-masing. Deteksi menggunakan data sumur cukup akurat tetapi terbatas pada skala spasial yang sangat terbatas dan bersifat satu dimensi. Sementara, deteksi menggunakan data seismik memiliki jangkauan yang cukup luas dan bisa tiga dimensi, tetapi nilai prediksi yang diperoleh akan sangat ambigu karena tidak ada nilai acuan akurat yang bisa digunakan sebagai referensi. Mengkombinasikan kedua data dalam prediksi *overpressure* akan memiliki kelebihan yang cukup banyak karena prediksi bisa dalam lingkup tiga dimensi dan bisa lebih akurat karena menggunakan informasi dari data-data sumur sebagai referensi.

2.5 Hubungan Kecepatan dengan Tekanan Pori

Untuk memprediksi nilai tekanan pori dari kecepatan interval, pendekatan yang sering digunakan adalah persamaan empiris Eaton.

Menurut Eaton,

$$P_p = P_{obs} - (P_{obs} - P_{hyd}) * \left(\frac{V_i}{V_n} \right)^n \quad (2-5)$$

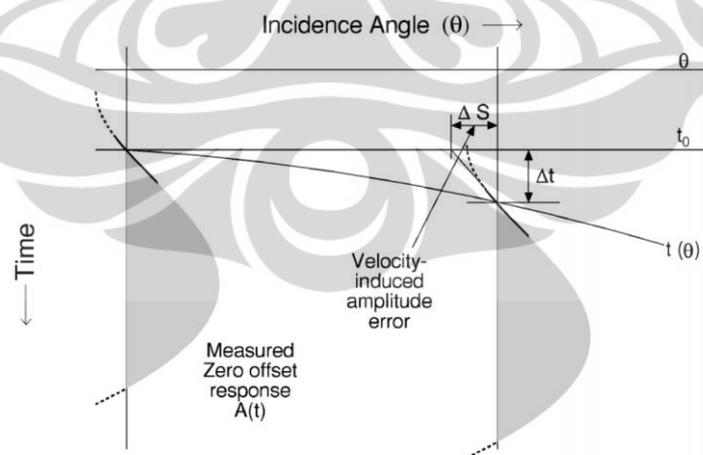
dimana P_p adalah tekanan pori yang diprediksi, P_{obs} adalah tekanan *overburden*, P_{hyd} adalah tekanan hidrostatik, V_i adalah kecepatan interval (seismik data), dan V_n adalah kecepatan normal *compacted shale* diturunkan dari data sumur. Nilai n pada persamaan ditentukan dengan melakukan pencocokan terhadap data-data sumur seperti *mud weight*.

P_{obs} , P_{hyd} , dan V_n secara empiris diturunkan dari data sumur yang bersangkutan sedangkan V_i , yaitu kecepatan interval diperoleh dari data seismik. Dari persamaan di atas terlihat bahwa metode Eaton mentransformasi langsung data kecepatan menjadi data tekanan pori.

2.6 Penurunan Kecepatan dengan Menggunakan Metode AVO

Dalam tesis ini, penurunan perhitungan kecepatan menggunakan metode yang dikenalkan oleh Herbert W. Swan pada tahun 2001 dalam makalahnya yang diberi judul ‘Velocities from amplitude variation with Offset’. Metode ini pada dasarnya adalah metode pemilihan kecepatan secara otomatis untuk mengoreksi kesalahan kecil dari kecepatan yang dilakukan secara manual (picking). Metode ini akan akurat apabila kesalahan pemilihan kecepatan secara manual kurang dari atau sama dengan dua persen (2%) (Swan, 2001).

Cara kerja metode AVO adalah dengan melakukan pencocokan kurva terhadap data yang sudah dikoreksi NMO di setiap sample dengan menggunakan metode *least square* untuk memperoleh nilai *intercept* dan gradiennya. Pendekatan gelombang yang digunakan adalah pendekatan gelombang sebagai garis lurus sehingga koreksi kecepatan cukup dengan menggunakan kecepatan rms.



Gambar 2.3 Kesalahan kecil kecepatan stacking sepanjang kurva $t(\theta)$ dan menghasilkan misalignment (Δt) dan variasi amplitude (ΔS) (Swan, 2001)

Gambar 2.3 menggambarkan data yang tidak memiliki efek AVO, tetapi memiliki kesalahan kecil pada kecepatan stackingnya. Ketidaklurusan (*misalignment*) terhadap waktu Δt sebagai fungsi dari offset-receiver x , kecepatan rms V , waktu tempuh zero offset t_o , dan kesalahan kecepatan ΔV adalah:

$$\Delta t = \sqrt{\left(\frac{x}{V + \Delta V}\right)^2 + t_o^2} - \sqrt{\left(\frac{x}{V}\right)^2 + t_o^2} \quad (2-6)$$

yang bisa diselesaikan menjadi

$$\Delta t \approx \frac{-x^2 \Delta V}{V^2 \sqrt{x^2 + (t_o V)^2}} = -t_o \sin \theta \tan \theta \frac{\Delta V}{V} \quad (2-7)$$

dimana θ adalah sudut datang efektif, yang diberikan oleh $\tan^{-1}[x/Vt_o]$.

Apabila diasumsikan bahwa variasi $\Delta V/V$ jauh lebih lambat dibandingkan variasi $A(t)$, maka variasi amplitudo yang disebabkan oleh misalignment waktu Δt diberikan oleh

$$\Delta S \approx -t_o A'(t) \sin \theta \tan \theta \frac{\Delta V}{V} \quad (2-8)$$

dimana $A'(t)$ adalah turunan terhadap waktu dari respons zero offset. Terlihat bahwa fungsi dengan variabel yang bergantung terhadap sudut ini sangat sesuai dengan fungsi variasi yang dihasilkan oleh gradien AVO, yaitu $\sin^2 \theta$. Oleh karena itu, kemudian *velocity induced gradient error* sebanding dengan turunan data zero offset.

Data seismik, seperti respons zero offset $A(t)$, bisa dianggap sebagai hasil kali dari modulasi gelombang real, $A_m(t)$, dengan gelombang pembawa yang memiliki frekuensi tinggi, $\cos[\omega_o t + \phi(t)]$, dimana ω_o dan $\phi(t)$ adalah frekuensi dominan dan fasa gelombang pembawa. Data yang sama bisa juga diasumsikan sebagai bagian real dari tras seismik kompleks, $A_m(t)e^{j[\omega_o t + \phi(t)]}$. Serupa dengan ini, gradien AVO estimasi juga bisa dianggap sebagai bagian real dari representasi tras kompleks ini, $B_m(t)e^{j[\omega_o t + \phi(t)]}$.

Representasi lain dari zero offset (*intercept*) dan gradien AVO adalah menganggapnya sebagai hasil dari transformasi Hilbert, sehingga membentuk estimasi analitis, $A_a(t)$ dan $B_a(t)$. Representasi kompleks dan analitis ekuivalen jika $A_m(t)e^{i\phi(t)}$ memiliki komponen spektral tidak lebih besar dari ω_o .

Dari persamaan (2-8), gradien estimasi analitis apabila ada kesalahan kecepatan sebesar ΔV adalah

$$B_a(t, \Delta V) = B_a(t) - tA'_a(t)\left(\frac{\Delta V}{V}\right) \quad (2-9)$$

dimana $B_a(t)$ adalah gradien analitis tanpa kesalahan kecepatan. Dengan melakukan substitusi representasi modulasi gelombang pembawa yang ekuivalen terhadap zero offset tras analitis, dan dengan mengingat bahwa gelombang pembawa bervariasi jauh lebih cepat dibandingkan terhadap amplop ataupun fasa, maka diperoleh persamaan

$$B_a(t, \Delta V) = B_a(t) - t \frac{d}{dt} \{A_m(t)e^{i[\omega_o t + \phi(t)]}\} \left(\frac{\Delta V}{V}\right) \quad (2-10)$$

$$B_a(t, \Delta V) \approx B_a(t) - i\omega_o t A_m(t) e^{j[\omega_o t + \phi(t)]} \left(\frac{\Delta V}{V}\right) \quad (2-11)$$

$$B_a(t, \Delta V) \approx B_a(t) - i\omega_o t A_a(t) \left(\frac{\Delta V}{V}\right) \quad (2-12)$$

Komponen kecepatan pada persamaan (2-12) adalah bilangan imajiner, menunjukkan bahwa gradien berada pada fasa kuadratur terhadap respons zero offset.

Apabila konjugat gradien analitis dikalikan dengan $A_a(t)$, maka efek kecepatan bisa dipisahkan dari efek AVO sesungguhnya:

$$A_a(t)B_a^*(t, \Delta V) = A_a(t)[B_a(t) - i\omega_o t \left(\frac{\Delta V}{V}\right) A_a(t)]^* \quad (2-13)$$

$$A_a(t)B_a^*(t, \Delta V) = A_a(t)B_a^* + i\omega_o t \left(\frac{\Delta V}{V}\right) |A_a(t)|^2 \quad (2-14)$$

Komponen kesalahan kecepatan terpisah pada bagian imajiner dari $A_a(t)B_a^*(t, \Delta V)$, disebut sebagai 'residual velocity indicator' (RVI), sedangkan efek AVO terpisah pada bagian real, disebut sebagai 'hydrocarbon indicator' (HCI). Kedua indikator di atas tidak tergantung terhadap fase dari data original.

Karena adanya noise dan ambiguitas lainnya, koreksi kecepatan berdasarkan RVI tidak dilakukan secara local melainkan harus dirata-ratakan terhadap window data 2D atau 3D di sekitar titik analisis. Dengan menggunakan perata-rataan statistic $\langle \dots \rangle$ di sepanjang window ini, RVI digantikan oleh bagian imajiner koefisien korelasi kompleks sebagai berikut.

$$r = \frac{\langle A_a B_a^* \rangle}{\sqrt{\langle |A_a|^2 \rangle \langle |B_a|^2 \rangle}} \quad (2-15)$$

dan koreksi fractional kecepatan menjadi,

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{1}{\omega_o t} \sqrt{\frac{\langle |B_a|^2 \rangle}{\langle |A_a|^2 \rangle}} \text{Im}\{r\} \quad (2-16)$$

Cara lain menuliskannya adalah

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{1}{\omega_o t} \frac{\text{Im}\{A_a B_a^*\}}{\langle |A_a|^2 \rangle} \quad (2-17)$$

BAB 3 PENGOLAHAN DATA

Langkah-langkah pengolahan data secara umum terbagi kedalam empat bagian: pengolahan data seismik, penurunan kecepatan interval dari data seismik, perhitungan tekanan pori dari data sumur, dan kalibrasi data seismik terhadap data sumur. Data seismik yang dikalibrasi terhadap data sumur adalah data kecepatan interval. Tujuan kalibrasi adalah untuk memperoleh tren kecepatan seismik pada skala yang sama dengan data sumur. Langkah-langkah pengolahan ini akan dibahas pada bagian selanjutnya dari bab ini.

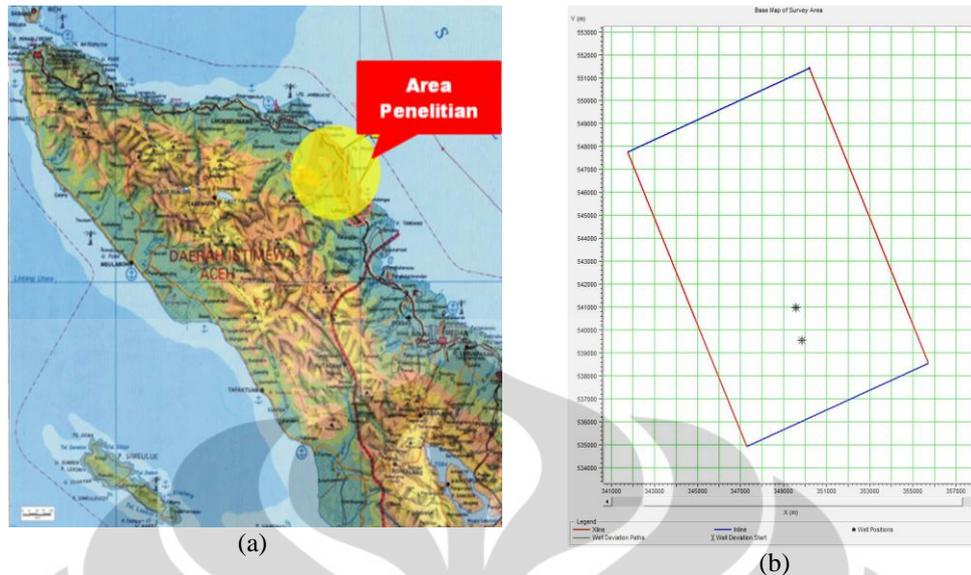
3.1 Ketersediaan Data

Sebelum melakukan pengolahan data, pemilihan dan pemeriksaan kelayakan data yang akan digunakan dalam penelitian dilakukan terlebih dahulu, baik berupa data seismik, data-data sumur, kecepatan stacking, dan lain-lain. Selengkapnya, data-data yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Peta daerah penelitian di daerah konsesi PT Medco E&P Indonesia di Cekungan Sumatra Utara. Peta ini menunjukkan wilayah yang diteliti. Luasan area dan posisi sumur yang ada di daerah penelitian ditunjukkan oleh gambar 3.1,
2. Data seismik 3D Pre Stack Time Migration (Pre-STM) *gathers* di seluruh area penelitian seluas kurang lebih 126 km²,
3. Data kecepatan *stacking* dari seismik 3D dengan interval 500 x 500 m,
4. Data sumur, terdiri atas 2 sumur (Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Data sumur yang digunakan di daerah penelitian

No.	Nama	GR	LLD	NPHI	RHOB	P-Wave
1	X1	√	√	√	√	√
2	X2	√				√



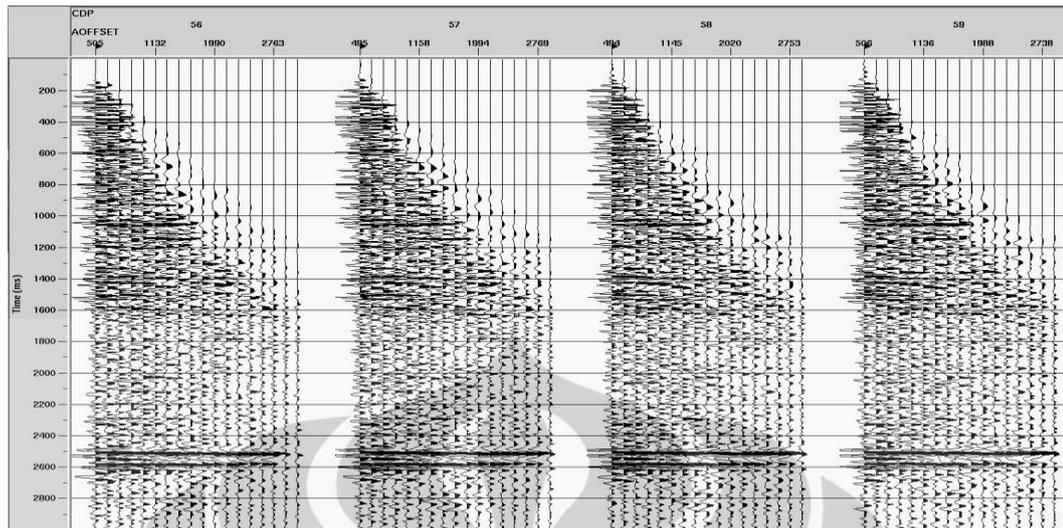
Gambar 3.1 Peta lokasi penelitian dan luas area penelitian. (a) Peta daerah penelitian di Sumatar bagian utara dan (b) luasan area beserta dua sumur yang digunakan dalam penelitian, X1 (selatan) dan X2 (utara).

3.2 Pengolahan Data Seismik

Secara umum, tujuan dari pengolahan data seismik adalah meningkatkan kualitas data sehingga diharapkan perhitungan kecepatan menjadi lebih akurat.

3.2.1 Data Seismik Pre-STM Gathers

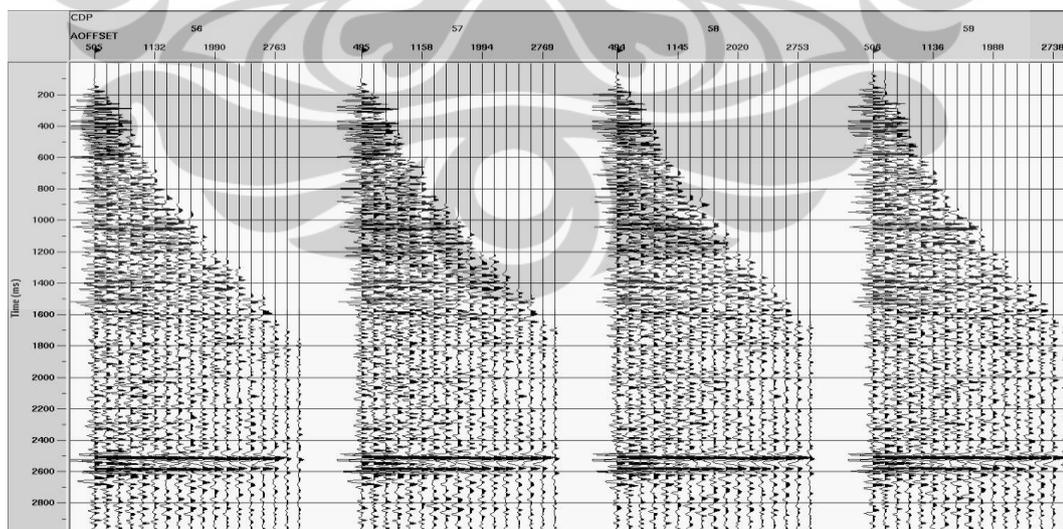
Sebagaimana disebutkan pada pendahuluan bab ini, data seismik yang digunakan dalam penelitian ini adalah data seismik 3D CDP gathers yang sudah diproses sampai dengan Pre-STM, dan sudah dikoreksi Normal Moveout (NMO). Luas data 3D yang digunakan adalah 126 km^2 dengan jumlah *inline* dan *xline* berturut-turut adalah 560 dan 368. Panjang offset data adalah dari 350 meter sampai dengan 2950 meter dengan jarak antar offset 100 m. Panjang perekaman data adalah 5 detik dengan sampling interval 2 milidetik. Pada inline 431 xline 201 dan inline 374 xline 189 data seismik berimpit dengan data sumur. Gambar 3.2 menunjukkan Pre-STM gathers yang diambil pada CDP 56 – 59. Secara umum, data memiliki kualitas yang masih rendah ditunjukkan oleh adanya kandungan frekuensi rendah dan noise random yang masih banyak. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan supaya ada peningkatan kualitas melalui *muting*, filtering, dan atenuasi noise random.



Gambar 3.2 CDP Gathers masukan. CDP gathers sebelum dilakukan pengolahan apapun, berupa CDP gathers Pre-STM yang sudah dikoreksi Normal Move Out

3.2.2 Muting

Sebagaimana disebutkan di depan bahwa data masukan masih memiliki noise frekuensi rendah. Untuk menghilangkan efek tersebut perlu dilakukan *muting* yaitu memotong tras seismik pada bagian yang mengandung frekuensi rendah tadi sehingga data bebas dari noise tersebut ketika melakukan perhitungan kecepatan. Gambar 3.3 menunjukkan CDP gathers yang sudah di-mute.

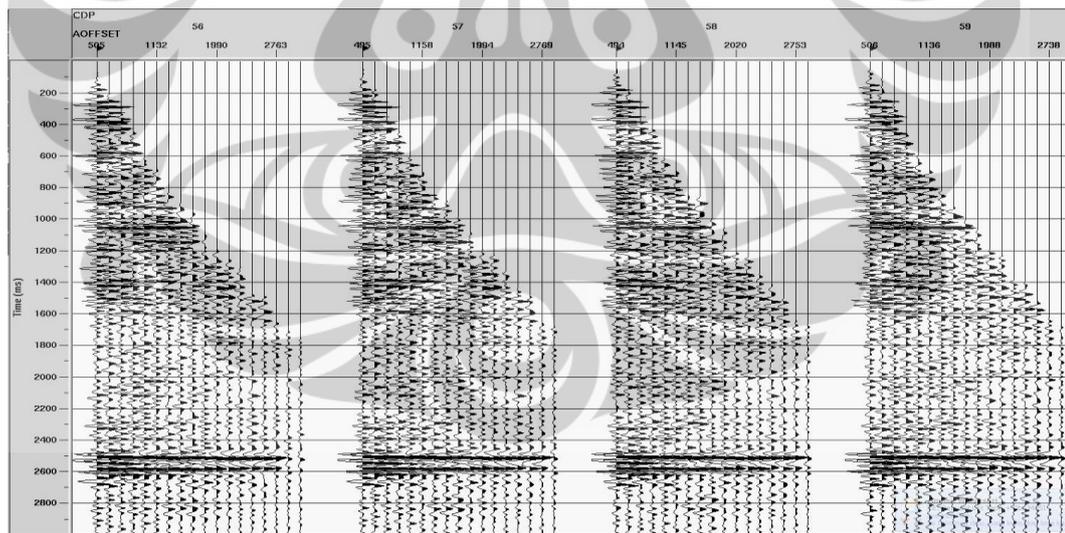


Gambar 3.3 Aplikasi mute terhadap CDP gathers. Tampak bahwa noise dengan frekuensi rendah sudah hilang setelah diaplikasikan *muting* terhadap CDP gathers masukan.

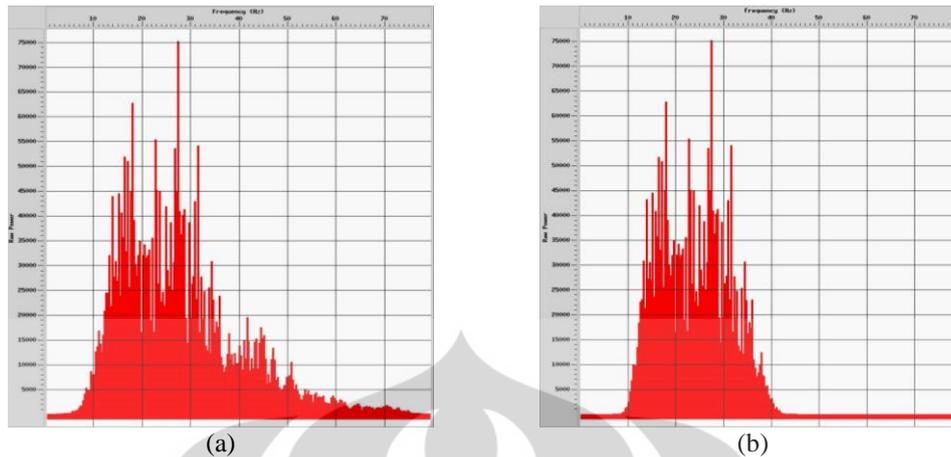
3.2.3 Filter Domain Frekuensi

Filter domain frekuensi adalah suatu proses pemisahan data berdasarkan kandungan frekuensinya. Untuk data seismik di daerah penelitian, filter frekuensi digunakan untuk menghilangkan noise frekuensi tinggi sehingga kemenerusan data sepanjang offset dalam suatu CDP gathers bisa lebih menunjukkan adanya efek AVO yang bebas dari adanya gangguan noise, yang bisa mengubah nilai amplitudo apabila tidak dihilangkan.

Ada dua metode filter frekuensi dengan menggunakan tipe bandpass dalam software pengolah data ProMAX, yaitu metode Hanning dan Butterworth. Di sini digunakan filter bandpass yang menggunakan metode Butterworth, dimana masukan berupa frekuensi tapis bawah (low cut) beserta kemiringannya dan frekuensi tapis atas (high cut) beserta kemiringannya. Kemiringan dinyatakan dalam dB/Octave. Disini digunakan filter 10-18-40-72 yang artinya data masukan di-filter dengan menggunakan tapis bawah 10 Hz dengan kemiringan 18 dB/Octave dan tapis atas dengan menggunakan kemiringan 72 dB/octave. Gambar 3.4 menunjukkan CDP gathers yang sudah di-bandpass beserta analisis frekuensinya.



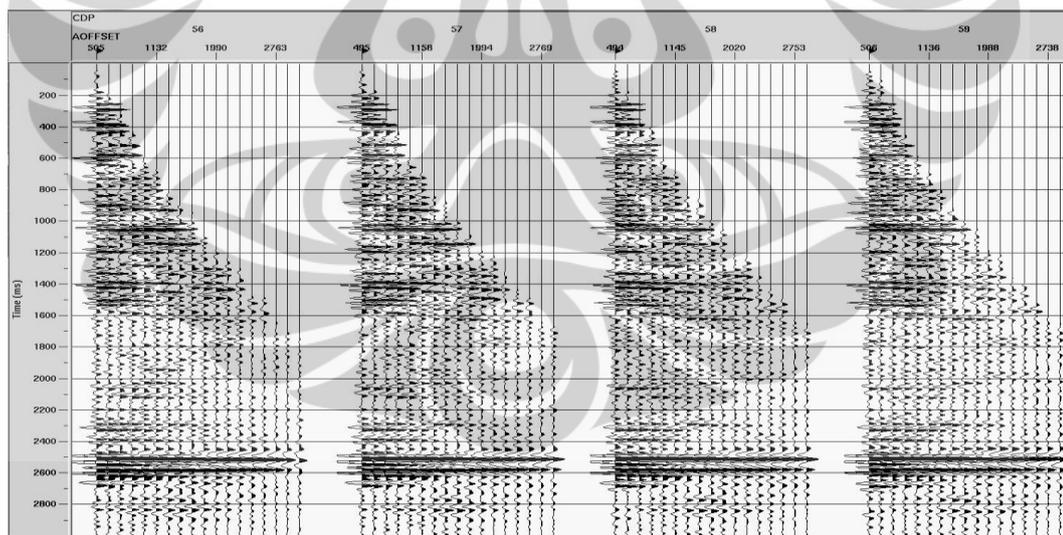
Gambar 3.4 Aplikasi filter frekuensi Butterworth 10-18-40-72 terhadap CDP gathers dan analisis spektrumnya CDP gathers setelah diaplikasikan Filter,



Gambar 3.5 Spektrum frekuensi sebelum (a) dan setelah (b) dilakukan filtering.

3.2.4 Atenuasi Noise Random

Untuk meningkatkan kontinuitas reflektor dan mengatenuasi noise random yang masih tersisa setelah dilakukan pemilteran dalam domain frekuensi, terhadap data seismik dilakukan enhancement lain, yaitu Fx Deconvolution, yaitu proses penghilangan noise random dalam domain F-X. Gambar 3.6 menunjukkan CDP gathers setelah dilakukan Fx Deconvolution.



(a)

Gambar 3. 6 Aplikasi atenuasi noise random terhadap CDP gathers. (a) CDP gathers setelah diaplikasikan atenuasi noise random Fx Deconvolution.

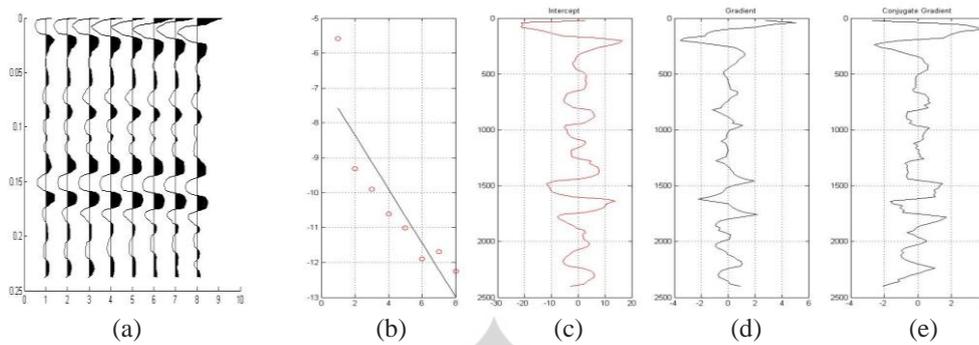
3.3 Penurunan Kecepatan dari Data Seismik

Penurunan kecepatan dilakukan menggunakan software ProMAX, yaitu menggunakan suatu modul pengolah data yang disebut AVEL. Secara garis besar

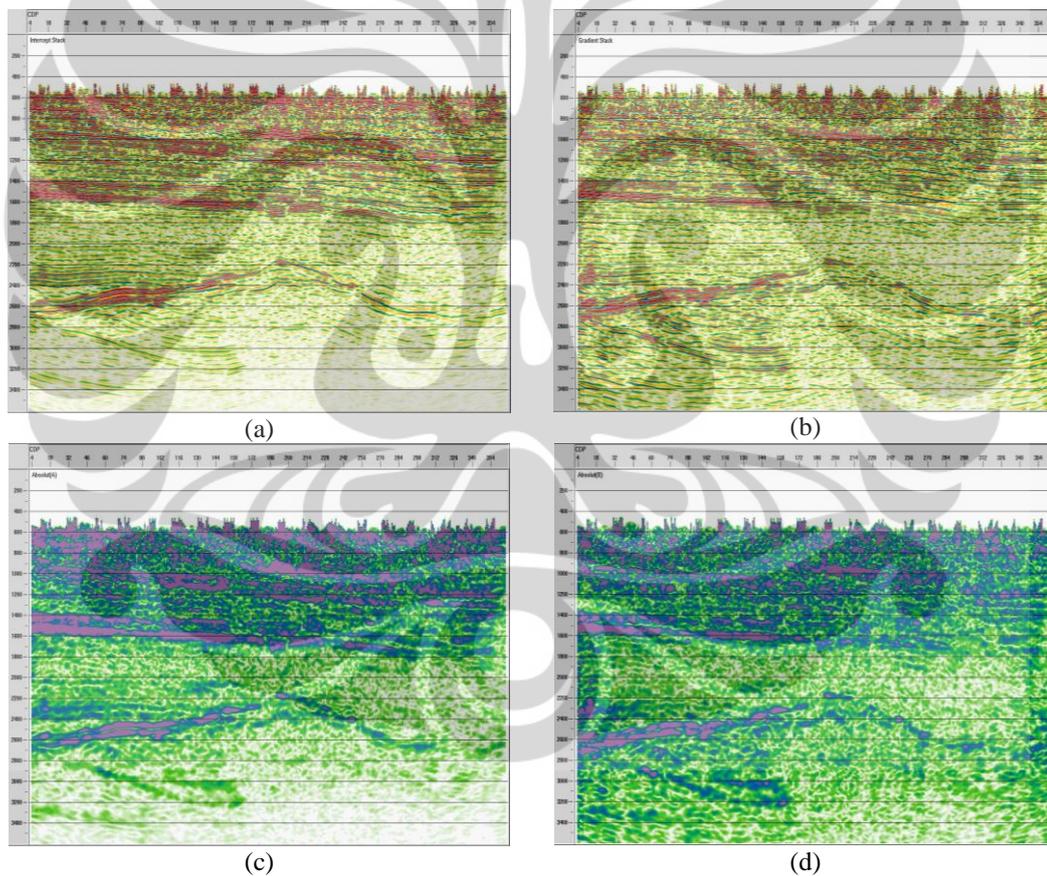
penurunan kecepatan yang dilakukan oleh software AVEL bisa diterangkan sebagai berikut.

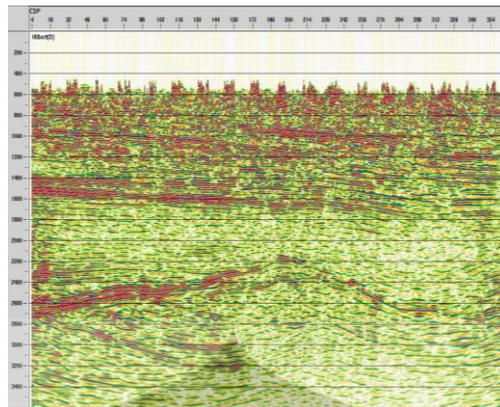
Untuk setiap sampel waktu dalam setiap tras seismik yang sudah dikoreksi NMO, nilai intercept dan gradient dihitung menggunakan metode least square. Selanjutnya, berdasarkan nilai-nilai intercept dan gradient tersebut dihitung nilai kuadratur gradient, kuadrat intercept dan kuadrat gradient, dan perbandingan error kecepatan yang terjadi terhadap koreksi NMO-nya dengan menggunakan persamaan (2-15) dan (2-16). Akhirnya, nilai koreksi tadi ditambahkan terhadap koreksi NMO yang sudah ada.

Gambar 3.7 menunjukkan proses penurunan nilai intercept dan gradient dari setiap tras seismik. Gambar 3.7 (a) adalah sampel tras seismik yang akan dihitung nilai-nilai atribut AVO-nya. Gambar 3.7 (b) adalah sampel data pada time 0.15 beserta persamaan garis yang dihasilkan. Nilai intercept adalah adalah perpotongan antara garis yang dihasilkan oleh persamaan least square dengan sumbu x, yaitu pada $x=0$, dalam hal ini nilainya adalah -7. Sementara, gradient adalah kemiringan garis tersebut, atau secara fisis adalah perubahan nilai amplitud terhadap offset, dalam hal ini nilainya adalah negatif. Hasil perhitungan menunjukkan gradient yang diperoleh adalah -1,6. Gambar 3.7 (c) – 3.7 (e) adalah nilai-nilai intercept, gradient, dan kuadratur gradient dari seluruh sampel yang diperoleh dengan menggunakan perhitungan yang sama seperti pada sampel pada time 0.15. Kuadratur gradient diperoleh dengan melakukan transformasi Hilbert terhadap data gradient. Gambar 3.8 menunjukkan nilai-nilai intercept, gradient, dan kuadratur gradient yang diturunkan dari satu inline data seismik. Terlihat bahwa secara umum besar nilai amplitudo kelima atribut memiliki pola yang sama.



Gambar 3.7 Ilustrasi proses penurunan nilai intercept dan gradien dari data seismik yang sudah dikoreksi NMO. (a) Satu CDP gathers yang sudah dikoreksi NMO, (b) satu sample CDP gathers di time 0.15 beserta persamaan garis yang diperoleh untuk menentukan nilai intercept gradient-nya, (c) nilai-nilai intercept, (d) nilai-nilai gradient, dan (e) nilai-nilai conjugate (kuadratur) gradient untuk seluruh sampel CDP gathers tersebut. Dengan menggunakan persamaan (2-15) dan (2-16), nilai NMO yang baru hasil penurunan dari data seismik bisa diperoleh.

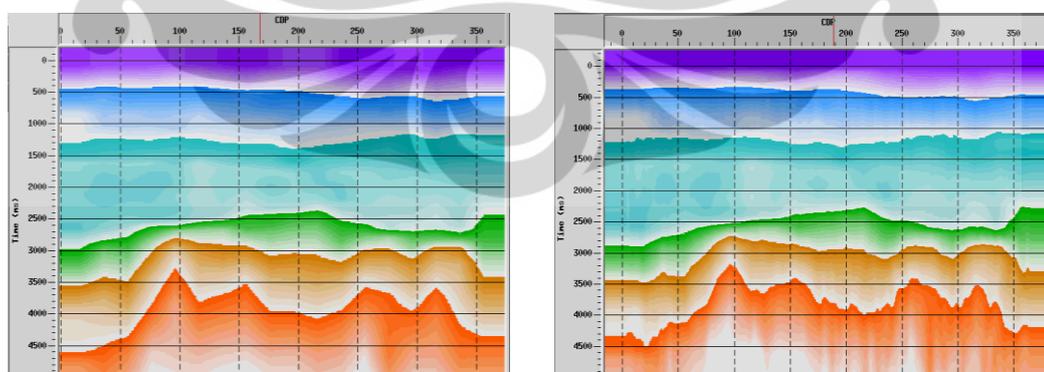




(e)

Gambar 3.8 Penampang seismik hasil pengolahan AVO. Nilai-nilai (a) intercept, (b) gradient, (c) kuadrat intercept, (d) kuadrat gradient, dan (e) kuadratur gradient, yang diturunkan dari salah satu inline dari seismik di area penelitian.

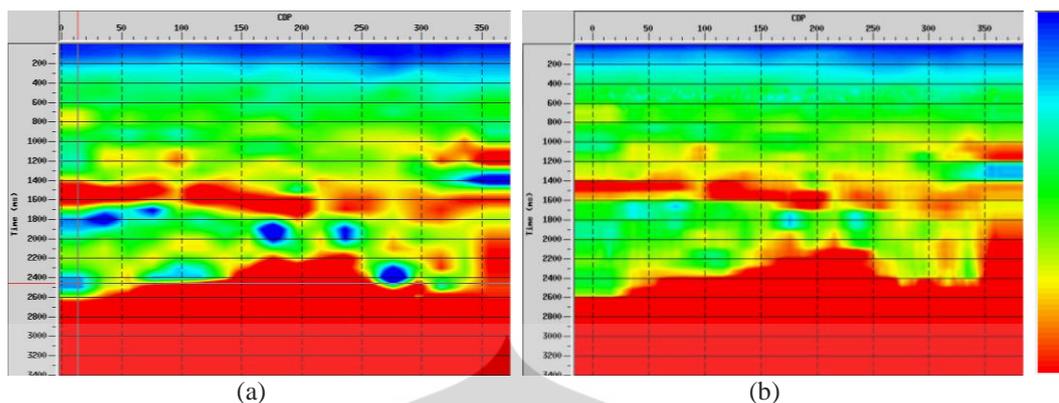
Gambar 3.9 dan 3.10 menunjukkan kecepatan rms dan kecepatan interval sebelum dan sesudah dilakukan koreksi AVO. Dari gambar tersebut bisa kita lihat bahwa perubahan nilai kecepatan rms setelah dilakukan penurunan menggunakan metode AVO tidak terlalu terlihat. Tren kecepatan sebelum dan sesudah dilakukan perhitungan dengan metode AVO tetap sama, tetapi detail nilai kecepatan mengalami perubahan. Sebaliknya, penampang kecepatan interval menunjukkan adanya perbedaan yang jelas antara sebelum dan sesudah dilakukan perhitungan dengan metode AVO. Meskipun menunjukkan tren yang sama, beberapa nilai kecepatan, khususnya pada zona antara 1600 – 2400 milliseconds telah mengalami koreksi.



(a)

(b)

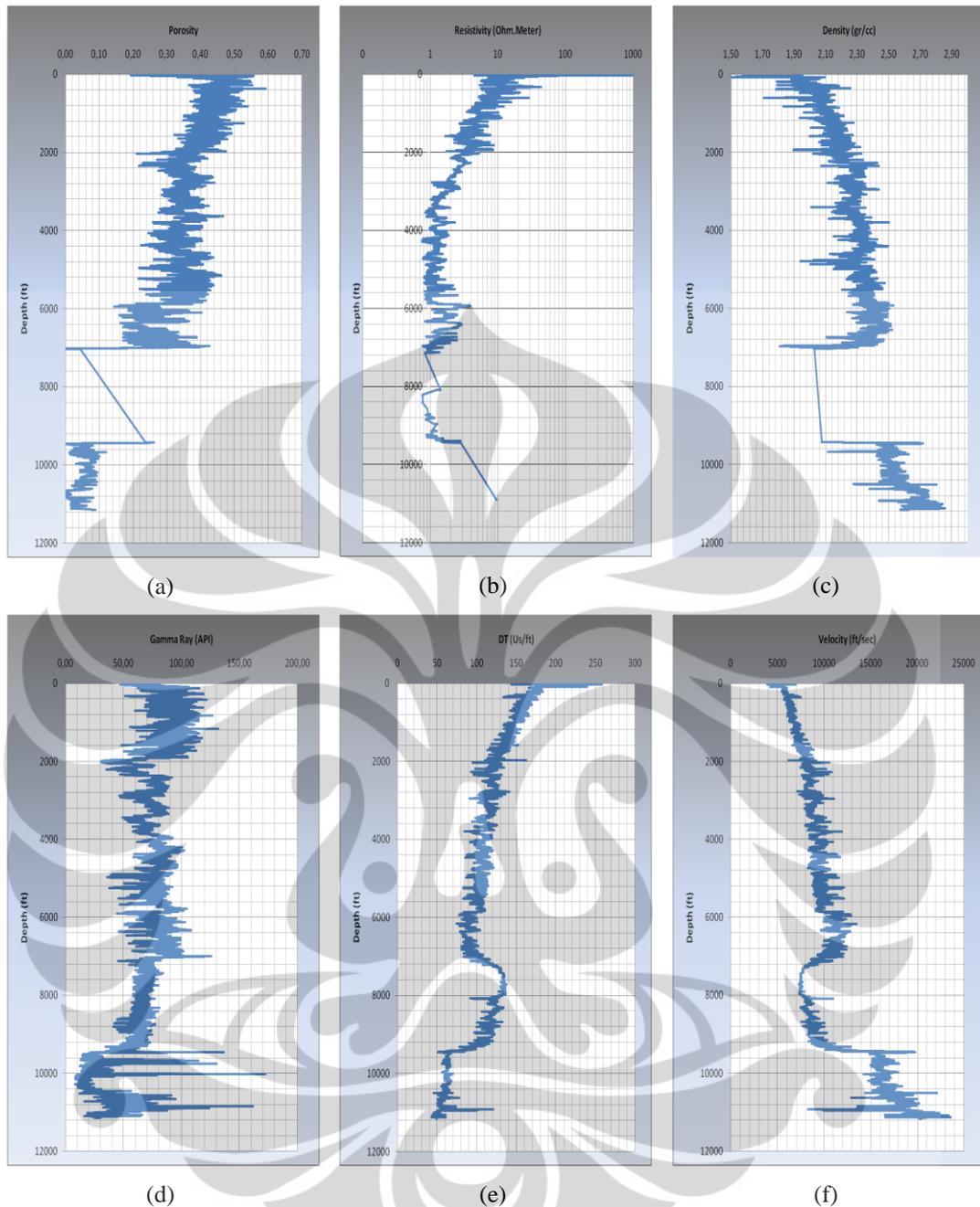
Gambar 3.9 Perbandingan kecepatan rms sebelum dan sesudah dilakukan koreksi AVO. (a) Kecepatan rms sebelum dilakukan penurunan kecepatan dan (b) setelah dilakukan penurunan kecepatan menggunakan metode AVO



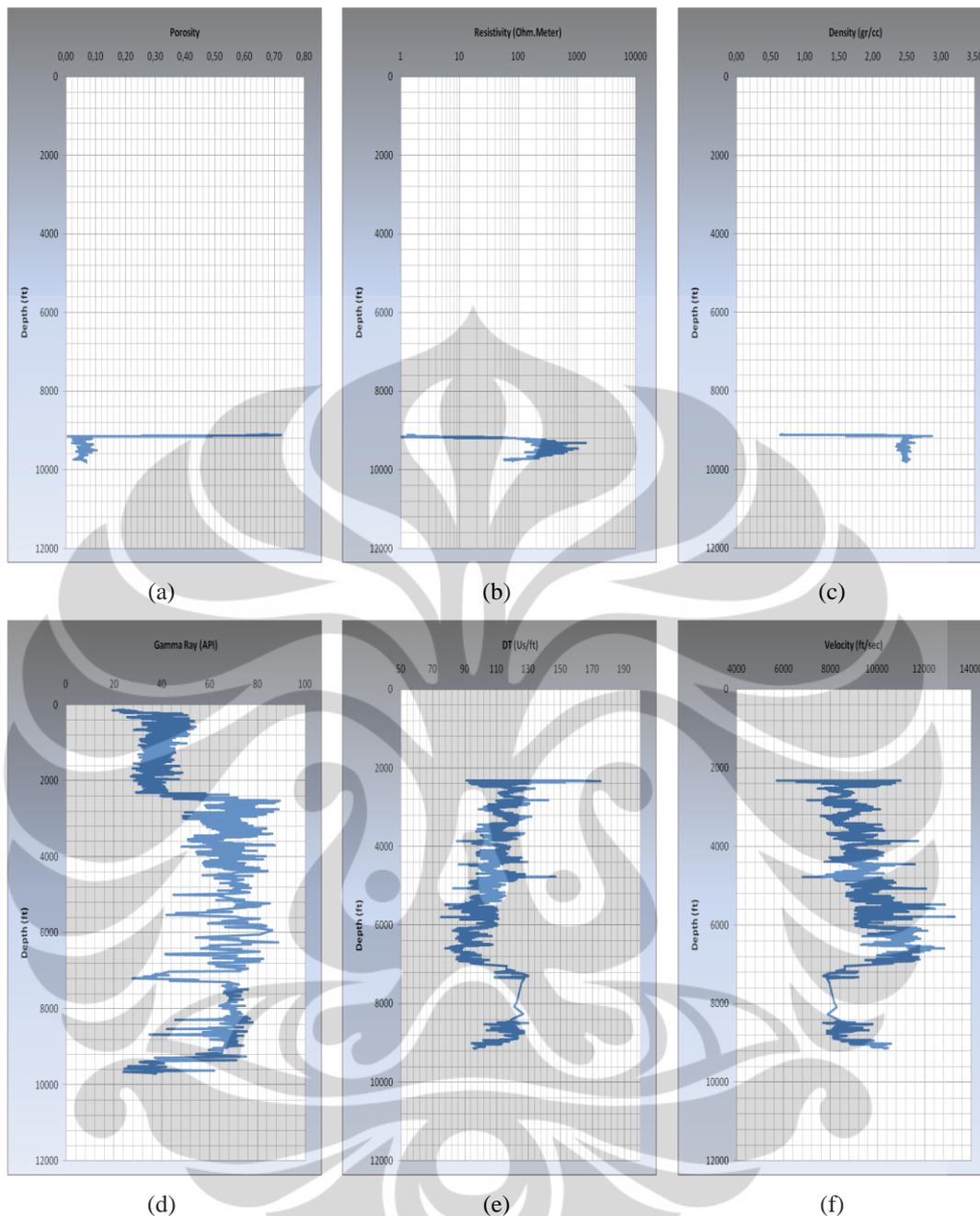
Gambar 3.10 Perbandingan kecepatan interval sebelum dan sesudah dilakukan koreksi AVO. Kecepatan interval (a) sebelum dan (b) setelah dilakukan penurunan kecepatan menggunakan metode AVO. Skala warna adalah dari 2000 m/s – 4000 m/s

3.4 Analisis Data Sumur

Berdasarkan data-data sumur di Cekungan Sumatra Utara, bisa terlihat dengan jelas bahwa *overpressure* terjadi di wilayah ini. Hal ini terlihat jelas dari data sumur X1, antara lain nilai sonik yang menunjukkan pengukuran dengan nilai transit time lebih besar dari tren normal di atas dan bawahnya di area tersebut. Hal ini diperkuat oleh data yang menunjukkan penggunaan *mud weight* yang lebih besar dari zona normal pressure. Nilai mudweight ditunjukkan pada proses kalibrasi perhitungan tekanan pori. Nilai-nilai porositas, densitas, dan resistivitas tidak bisa diperoleh selama pengeboran karena pada zona tersebut sumur di-casing. Gambar 3.11 menunjukkan data-data sumur X1. Sementara itu pada sumur X2, zona *overpressure* hanya bisa dikenali dari data sonik, yang menunjukkan gejala yang sama dengan sumur X1, yaitu adanya nilai transit time lebih besar dari pengukuran atas dan bawahnya (Gambar 3.12). Nilai-nilai porositas, densitas, dan resistivitas hanya diukur pada kedalaman antara 9000 – 10000 kaki.



Gambar 3.11 Data-data porositas, resistivitas, densitas, gamma ray, dan sonik dari sumur X1. Data sumur di atas menunjukkan adanya anomali pada kedalaman di sekitar 6400 kaki. Nilai log sonik menunjukkan transit time yang lebih besar dari tren normal, yang diinterpretasi sebagai zona *overpressure*.



Gambar 3.12 Data-data porositas, resistivitas, densitas, gamma ray, dan sonik dari sumur X2. Data sumur di atas menunjukkan adanya anomali pada kedalaman di sekitar 6400 kaki. Nilai log sonik menunjukkan delay time yang lebih besar dari tren normal, yang diinterpretasi sebagai zona *overpressure*.

3.4.1 Tekanan Hidrostatik

Sebagaimana disebutkan pada bab 2, tekanan hidrostatik adalah tekanan yang disebabkan oleh berat fluida dalam kolom yang tembus dari permukaan sampai dengan formasi yang diselidiki. Dalam studi ini besarnya diasumsikan adalah

$$P_{hyd} = \rho_w D = 0,433 D \quad (3-1)$$

dimana ρ_w adalah densitas air spesifik dan D adalah kedalaman.

3.4.2 Tekanan *Overburden*

Dalam studi ini tekanan *overburden* diasumsikan memiliki gradien tekanan sebesar 1 psi/ft, sehingga nilai tekanan *overburden* bisa disederhanakan dalam rumus berikut.

$$P_{obs} = gradient * D = D \quad (3-2)$$

dengan D adalah kedalaman.

3.4.3 *Normal Compaction Trend* (Tren Kompaksi Normal)

Dari data sumur bisa terlihat bahwa hubungan nilai kecepatan interval terhadap kedalaman adalah berbanding lurus. Nilai kecepatan interval yang mengalami deviasi negatif (nilai kecepatan lebih rendah daripada kecepatan normal) dari hubungan di atas menunjukkan adanya zona *overpressure*. Nilai hasil perhitungan yang memprediksi nilai kecepatan apabila tidak ada zona *overpressure* disebut sebagai nilai kecepatan NCT. Kecepatan NCT diturunkan dengan menghilangkan efek dari adanya zona *overpressure*. Gambar 3.13 menunjukkan data sumur beserta garis NCT dari data tersebut. Nilai NCT digunakan untuk menghitung kecepatan normal apabila tidak ada deviasi kecepatan. Selanjutnya nilai ini digunakan untuk menghitung tekanan pori.

Hal yang perlu diperhatikan ketika melakukan perhitungan NCT adalah sebaiknya data yang dilibatkan dalam perhitungan terbebas dari adanya formasi non-shale. Di samping itu, data yang memiliki deviasi yang dianalisis sebagai zona *overpressure* pun harus dibuang. Dalam kasus ini, data sumur sudah menunjukkan kecepatan yang hanya berada pada zona shale sehingga tinggal membuang data pada zona *overpressure*.

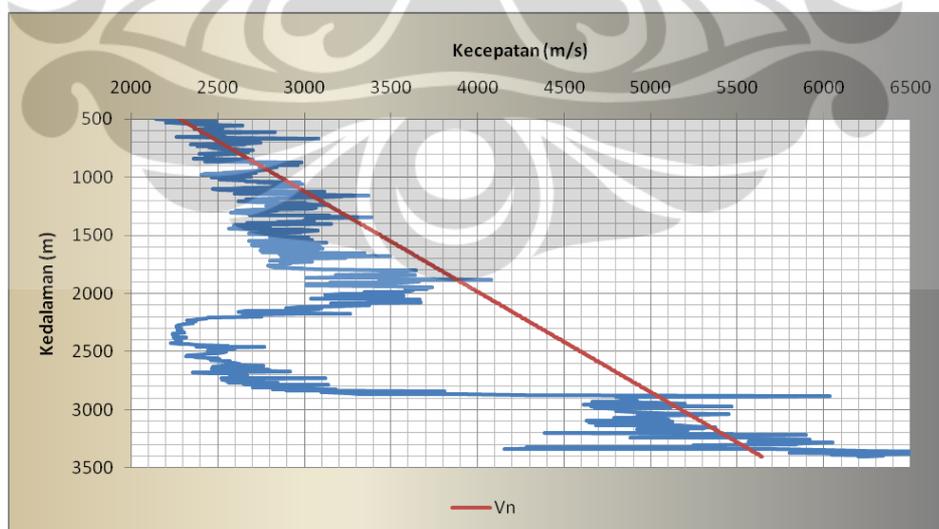
3.4.4 Transformasi Kecepatan Menjadi Tekanan Pori

Setelah memperoleh data yang lengkap, selanjutnya perhitungan tekanan pori dilakukan. Salah satu metode yang bisa langsung menghitung tekanan pori dari kecepatan interval adalah metode Eaton. Persamaan yang digunakan untuk prediksi tersebut adalah persamaan (2-5).

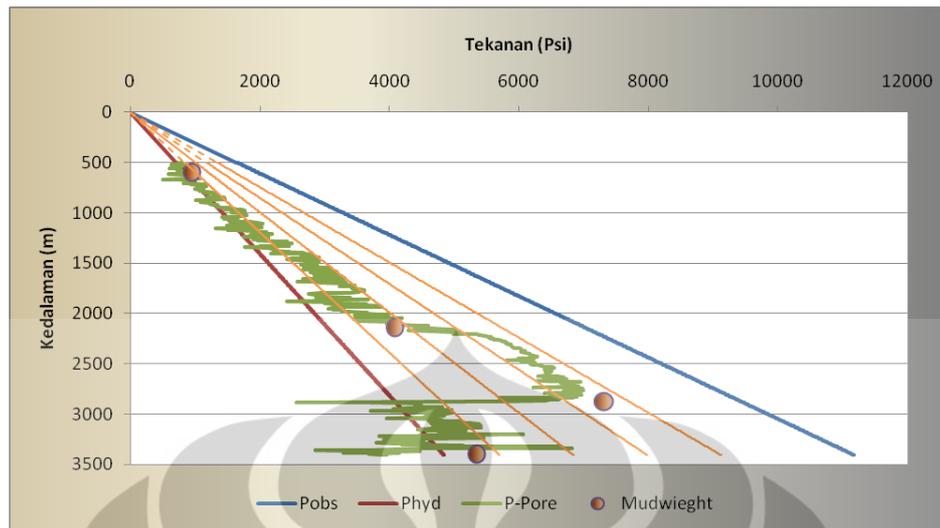
3.4.5 Kalibrasi Tekanan Pori dari Data Sumur terhadap *Mud weight*

Kalibrasi merupakan salah satu langkah paling penting setelah melakukan prediksi tekanan pori. Dalam penelitian ini data yang digunakan untuk mengkalibrasi adalah data *mud weight*. Pencocokan dilakukan dengan membandingkan secara langsung kurva tekanan pori hasil perhitungan terhadap nilai *mud weight* pada kedalaman yang sama.

Pada penelitian ini, perhitungan NCT, perhitungan tekanan pori, dan pencarian pangkat yang paling sesuai untuk persamaan Eaton dicari secara bersamaan. Persamaan NCT yang dihasilkan adalah $y=1.158x+1700$, dengan y adalah kecepatan interval dalam satuan m/s dan x adalah kedalaman dalam meter, sedangkan nilai pangkat dari persamaan Eaton yang diperoleh adalah $n=1.4$. Gambar 3.14 menunjukkan kurva perhitungan tekanan pori yang sudah dikalibrari dengan nilai *mudweight* yang digunakan selama proses pengeboran. Terlihat bahwa zona *overpressure* berada di antara garis *mud weight* 14 dan 16 ppg.



Gambar 3.13 Kecepatan interval data sumur (warna biru) beserta tren normalnya (warna coklat).



Gambar 3.14 Profil tekanan pori yang diturunkan dengan menggunakan persamaan Eaton yang sudah dikoreksi terhadap nilai *mud weight* dari sumur. Trend kecepatan normal yang digunakan adalah seperti yang ada pada gambar 3.13. Garis merah menunjukkan tekanan hidrostatik, garis biru menunjukkan tekanan *overburden* dan garis-garis warna kuning menunjukkan garis ekuivalen *mud weight* yang nilainya dari kiri ke kanan berturut-turut 10, 12, 14, dan 16 ppg.

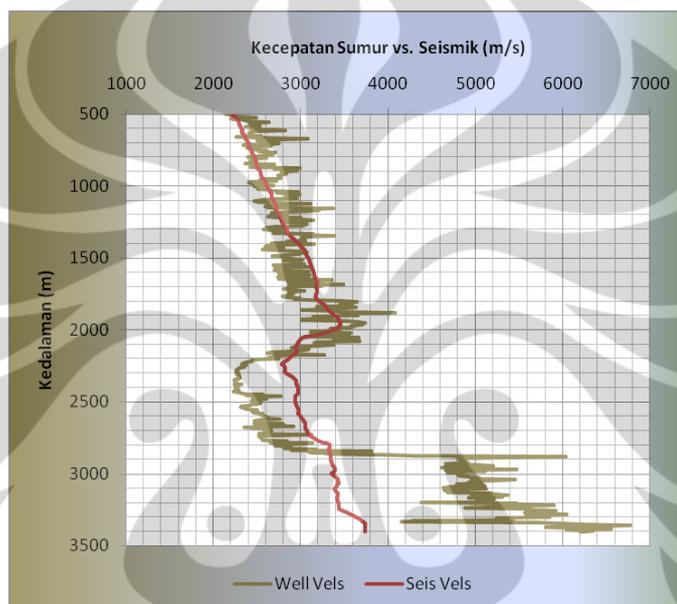
3.5 Koreksi Kecepatan Seismik Terhadap Kecepatan Sumur

Untuk memprediksi tekanan pori dari data seismik, perlu dilakukan koreksi kecepatan seismik terhadap kecepatan sumur, sehingga skala kecepatan menjadi sama. Gambar 3.15 menunjukkan perbandingan antara kecepatan sumur dengan kecepatan seismik. Dari hasil tersebut bisa kita peroleh data bahwa di atas zona *overpressure* kecepatan seismik mendekati kecepatan sumur dengan sangat baik, pada zona *overpressure* meskipun bisa mendefinisikan kecepatan reversal dengan baik, skala nilai kecepatan seismik masih lebih besar dari kecepatan sumur, dan di bawah zona *overpressure* kecepatan seismik tidak bisa kembali ke nilai kecepatan normalnya sehingga mempunyai nilai yang jauh lebih rendah dari kecepatan sumur.

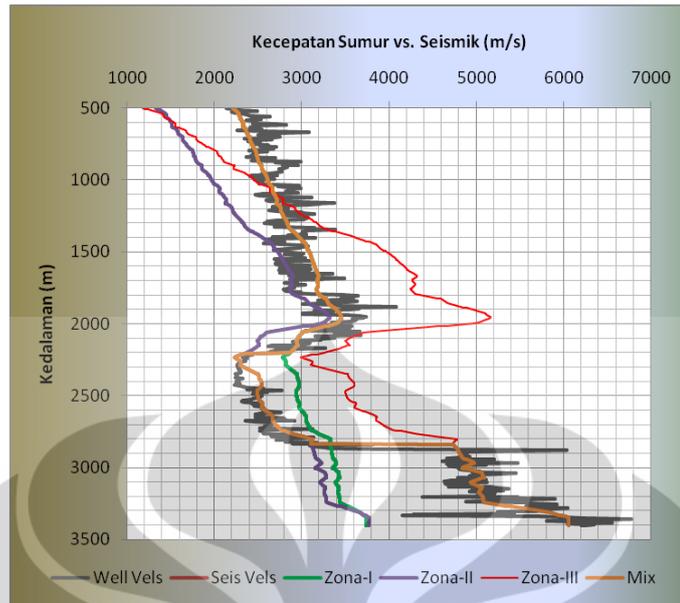
Karena adanya ketidakcocokan antara data sumur dengan data seismik di atas, di sini dicoba dilakukan koreksi terhadap data seismik yang dibagi ke dalam tiga zona, di atas *over pressure* (zona-I), pada zona *overpressure* (zona-II), dan di bawah zona *overpressure* (zona-III) (Lihat Gambar 3.15). Koreksi antar zona ini menunjukkan kecocokan pada zona-zona yang dikoreksi, tetapi tidak memberikan kecocokan pada zona lainnya. Idealnya, ketiga koreksi tersebut digabungkan menjadi satu zona (Mix) yang memiliki kecocokan sangat baik.

Akan tetapi, secara teknis, hal ini sulit untuk diaplikasikan pada data 3D karena tidak ada batasan yang jelas antar zona pada data seismik. Oleh karena itu, dalam tesis ini koreksi hanya dilakukan pada zona *overpressure* sehingga nilai kecepatan seismik pada zona tersebut mempunyai skala yang sama dengan kecepatan sumur. Dengan kata lain, koreksi yang dilakukan adalah koreksi terhadap zona II.

Dengan menggunakan semua parameter di atas, perhitungan tekanan pori selanjutnya bisa dilakukan terhadap data seismik.



Gambar 3.15 Perbandingan antara kecepatan sumur (abu-abu) dan kecepatan seismik (coklat),

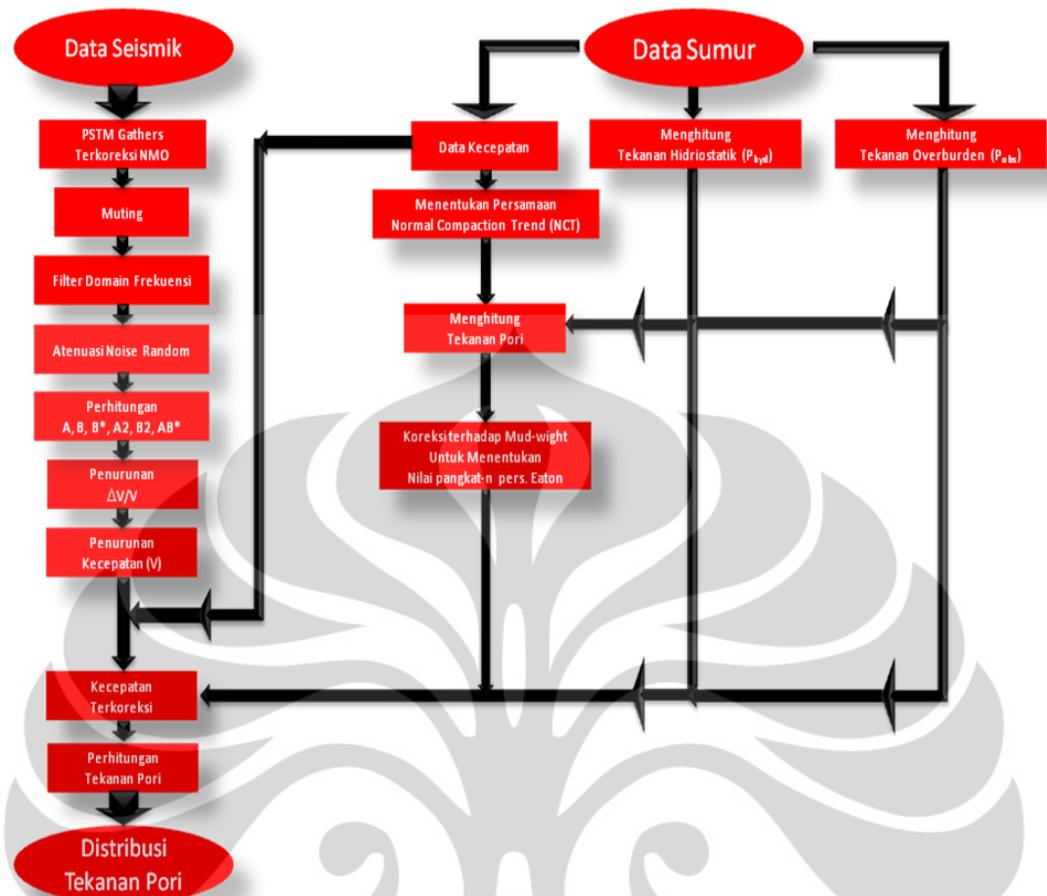


Gambar 3.16 Koreksi yang dilakukan terhadap data seismik untuk bisa mendekati data sumur.

Warna merah adalah pendekatan yang dilakukan apabila pengacu pada zona di bawah *overpressure*, warna biru adalah pendekatan mengacu pada zona *overpressure*, warna hijau apabila pendekatan mengacu pada zona di atas *over pressure*, dan warna coklat adalah pendekatan apabila mengkombinasikan ketiga titik reference awal.

3.6 Diagram Alir Proses Perhitungan Tekanan Pori

Setelah lengkap diuraikan cara penurunan tekanan pori pada bab 3 di atas, berikut diagram alir selengkapnya untuk melakukan pengolahan data seismik menjadi tekanan pori.

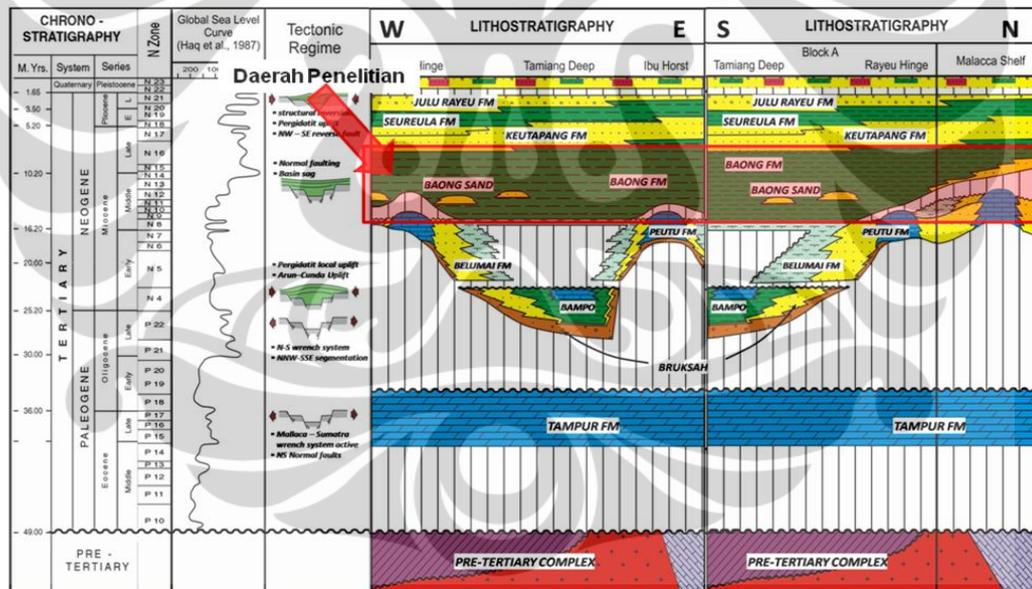


Gambar 3.17 Alur pengerjaan yang digunakan untuk melakukan prediksi distribusi tekanan pori di daerah penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Geologi Regional

Gambar 4.1 menunjukkan sejarah pembentukan di Cekungan Sumatra Utara. Pembentukan berumur Tersier dimulai dari zaman Late Eocene dimana segmentasi blok batuan mulai terbentuk (rifting) dan terjadi patahan yang kemudian membentuk horst dan graben berarah utara selatan. Pada kondisi ini terendapkan sedimen tebal yang berasal dari arah benua dan *marginal marine clastic*, yang disebut dengan formasi Bruksah, sedangkan bagian dalam dari cekungan diendapkan *marine shale* (Bampo shale). Seiring dengan pengendapan ini diendapkan juga reservoir karbonat yang berasal dari timbunan foraminifera dan tumbuh secara lokal, cenderung memiliki porositas yang jelek (formasi batugamping Bampo).



Gambar 4.1 Kolom stratigrafi yang menunjukkan sejarah pembentukan di Cekungan Sumatra. Zona penelitian ditunjukkan oleh kotak berwarna merah.

Pada umur Late Early Miocene, fase rifting mulai berhenti berganti fase post-rift sedimen yang terendapkan berupa marine shelf sand dengan pelamparan-luas (Belumai), dengan *source* berasal dari Malaka Platform, terendapkan pada bagian selatan dan barat. Pada umur Late Early Miocene ini juga, transgresi laut

global terjadi di sebagian besar basin. Pada kondisi ini pengendapan klastik berhenti sedangkan pengendapan batugamping dan lempung (Peutu) menjadi lebih dominan, dengan terumbu berkembang pada tinggian dan *kalkarius shale* terakumulasi pada rendahan cekungan. Batuan terumbu Formasi Peutu ini tumbuh pada Malaka Platform dan sepanjang tinggian. Terumbu-terumbu ini memiliki porositas yang lebih baik karena sempat mengalami pengangkatan dan terekspos ke permukaan.

Memasuki umur Middle Miocene diendapkan Formasi Baong yang terdiri atas lempung tebal dan seragam. Lempung tersebut merupakan ciri dari transgressi maksimum air laut dan penurunan cekungan. Formasi Keutapang, Seurula, dan Julu Rayeu yang terendapkan diatas Formasi Baong dominan batupasir dan lempung yang berasal dari naiknya Bukit Barisan.

4.2. Penyebab *Overpressure* di Cekungan Sumatra Utara

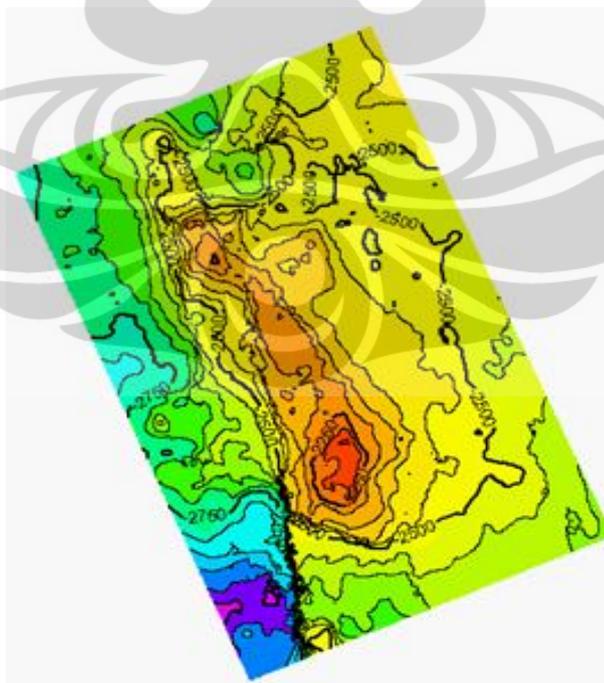
Menurut Aziz dan Bolt, 1984, ada dua hal utama yang dipercaya menyebabkan terjadinya *overpressure* di Cekungan Sumatra Utara. Pertama adalah pengendapan yang sangat cepat dan masif dari Baong shales ditambah dengan gradient geothermal yang tinggi dan kedua adalah penurunan (*subsidence*) yang cepat sehingga air dalam formasi terperangkap dan tidak sempat terperas keluar. Kecepatan penurunan dari bagian tengah basin pada umur Middle Miocene sama dengan rata-rata 1000-ft/ juta tahun, dan mencapai ketebalan 20.000 ft. Pengangkatan Bukit Barisan mensuplai sedimen dalam jumlah besar ke timur dan utara dari area basin. Oleh karena itu, hal ini berkontribusi terhadap *overpressure* akibat dari efek *overloading* terhadap sedimen Middle Miocene yang berada di bawahnya.

Aspek penting lain penyebab *overpressure*, masih menurut Aziz dan Bolt, adalah diagenesis dari mineral lempung. Hasil studi menunjukkan bahwa smactite berubah menjadi silica jenis lain akibat temperature tinggi, khususnya illite. Perubahan ini terjadi bersamaan dengan pengompaksian (*dewatering*) dari lempung. Pembentukan illite yang bersamaan dengan *dewatering* menghalangi pori-pori sehingga tidak sepenuhnya air bisa keluar dari formasi dan menambah kandungan air formasi sebesar 10%. Terhalangnya fluida/air dari formasi

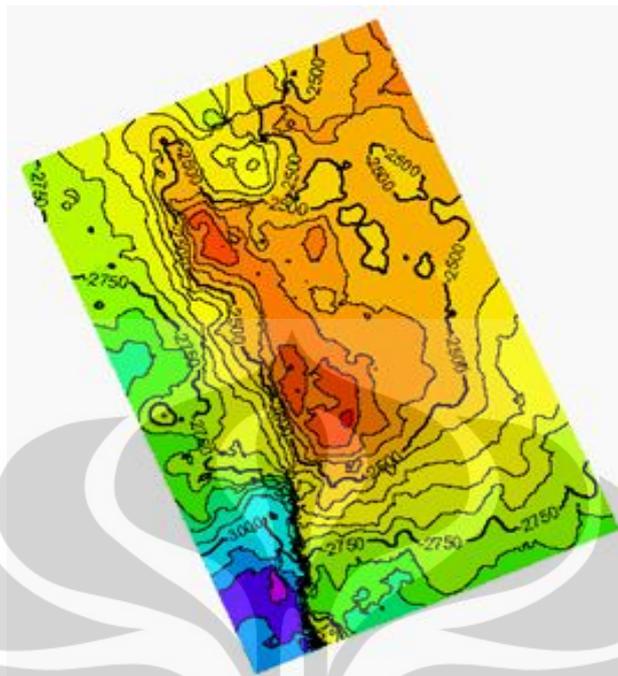
bersamaan dengan proses penambahan overburden yang terus menerus sehingga tekanan dalam formasi lempung menjadi tinggi.

4.3. Analisis Hasil

Gambar 4.2 adalah peta struktur dalam domain waktu dan kedalaman dari Formasi Peutu yang merupakan daerah prospek dengan formasi batu gamping. Warna merah menunjukkan tinggian, sedangkan warna biru menunjukkan rendahan. Tampak bahwa tinggian yang merupakan perangkap struktur berada pada sentral dari area yang diinterpretasi. Ke arah barat laut dan timur laut struktur menurun dan di bagian selatan ada patahan minor yang hanya membelah sebagian dari area penelitian. Peta kedalaman menunjukkan kemiripan dengan peta waktu dengan sedikit perbedaan pada arah utara yang memiliki struktur cenderung lebih tinggi daripada domain waktunya serta dalam arah tenggara dengan kemiringan lebih besar. Di atas Formasi Peutu adalah Formasi Baong dimana gejala *overpressure* terdeteksi pada data sumur. Pada kajian ini akan dianalisis, bagaimana distribusi tekanan pori dari Formasi Baong tersebut baik secara vertikal maupun secara horizontal.



(a)



(b)

Gambar 4.2 Peta struktur Formasi Peutu (a) domain waktu dan (b) domain kedalaman di daerah penelitian

4.3.1 Penampang Vertikal dan Penampang Waktu (Time Slice) Kecepatan Interval

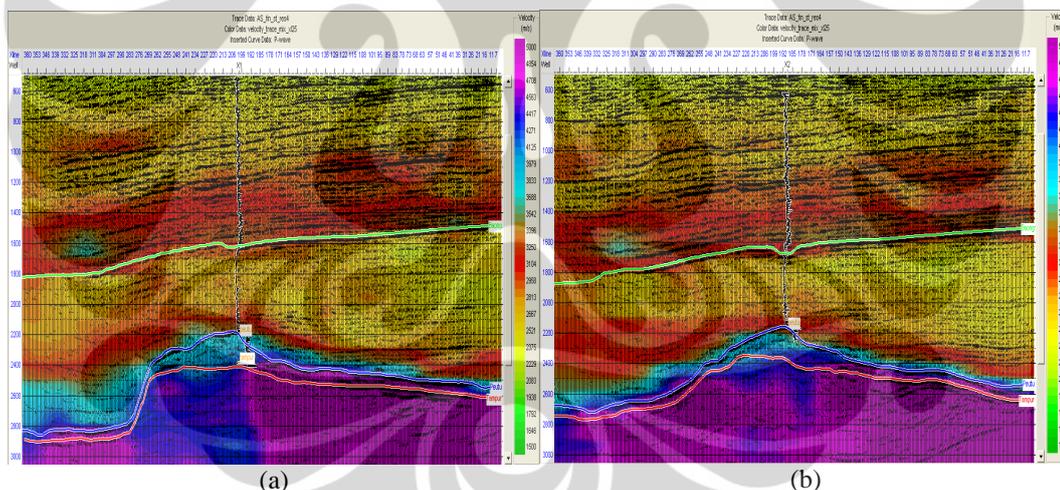
Sebagaimana sudah diulas pada bab sebelumnya, kecepatan seismik yang digunakan dalam penelitian ini adalah kecepatan rms yang diperoleh dari hasil picking manual yang dikoreksi dengan menggunakan metode AVO. Perhitungan kecepatan rms menjadi kecepatan interval menggunakan metode fungsi smoothing yang mampu menghasilkan fungsi kecepatan interval yang tidak mengandung perubahan mendadak ketika kecepatan mengalami perubahan (Manual ProMAX). Selanjutnya, hasil tersebut digunakan untuk memprediksi tekanan pori dengan metode pengolahan seperti diterangkan pada bab 3. Hasil pengolahan dan analisis adalah seperti di bawah ini.

Gambar 4.3 menunjukkan penampang seismik (*wiggle*) yang di-overlay dengan data sumur (kurva) dan kecepatan interval (warna). Kurva sumur adalah kurva log sonik. *Overpressure* terjadi pada Formasi Baong, yaitu persis berada di antara horizon Baong dan horizon Peutu pada interpretasi tersebut. Ini ditunjukkan oleh log sonik yang mengalami deviasi ke kiri, yaitu kecepatan interval lebih

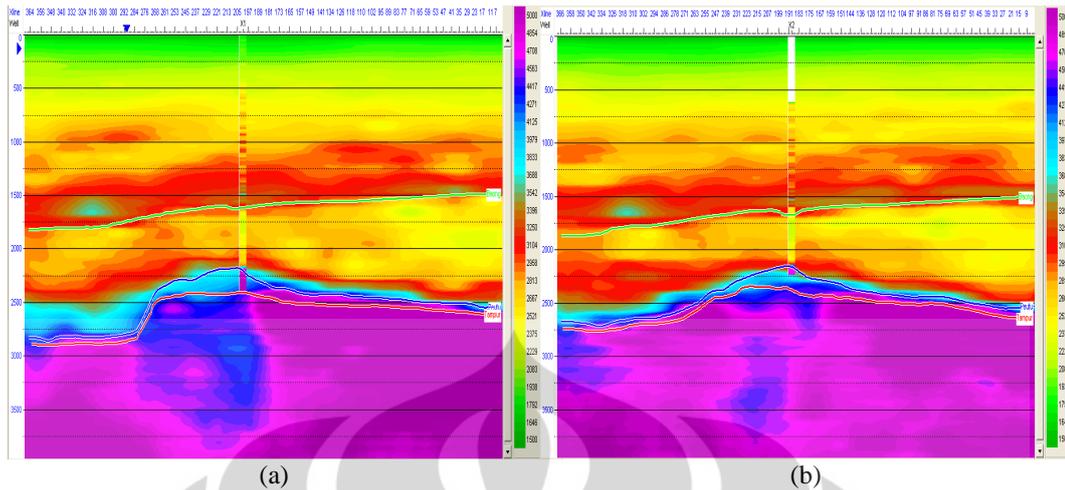
rendah dari tren normal. Formasi Baong adalah lempung tebal sedangkan Formasi Peutu adalah batugamping dan merupakan reservoir di daerah ini.

Gambar 4.4 menunjukkan overlay kecepatan interval antara data seismik dengan data sumur pada *inline* 374 dan *inline* 431 yang berimpit dengan sumur X1 dan X2. Dari kedua penampang tersebut terlihat kecocokan nilai kecepatan interval data sumur dan data seismik, yaitu adanya penurunan nilai kecepatan pada Formasi Baong. Gambar 4.5 menunjukkan overlay kecepatan interval antara data seismic dan data sumur dalam arah *crossline*.

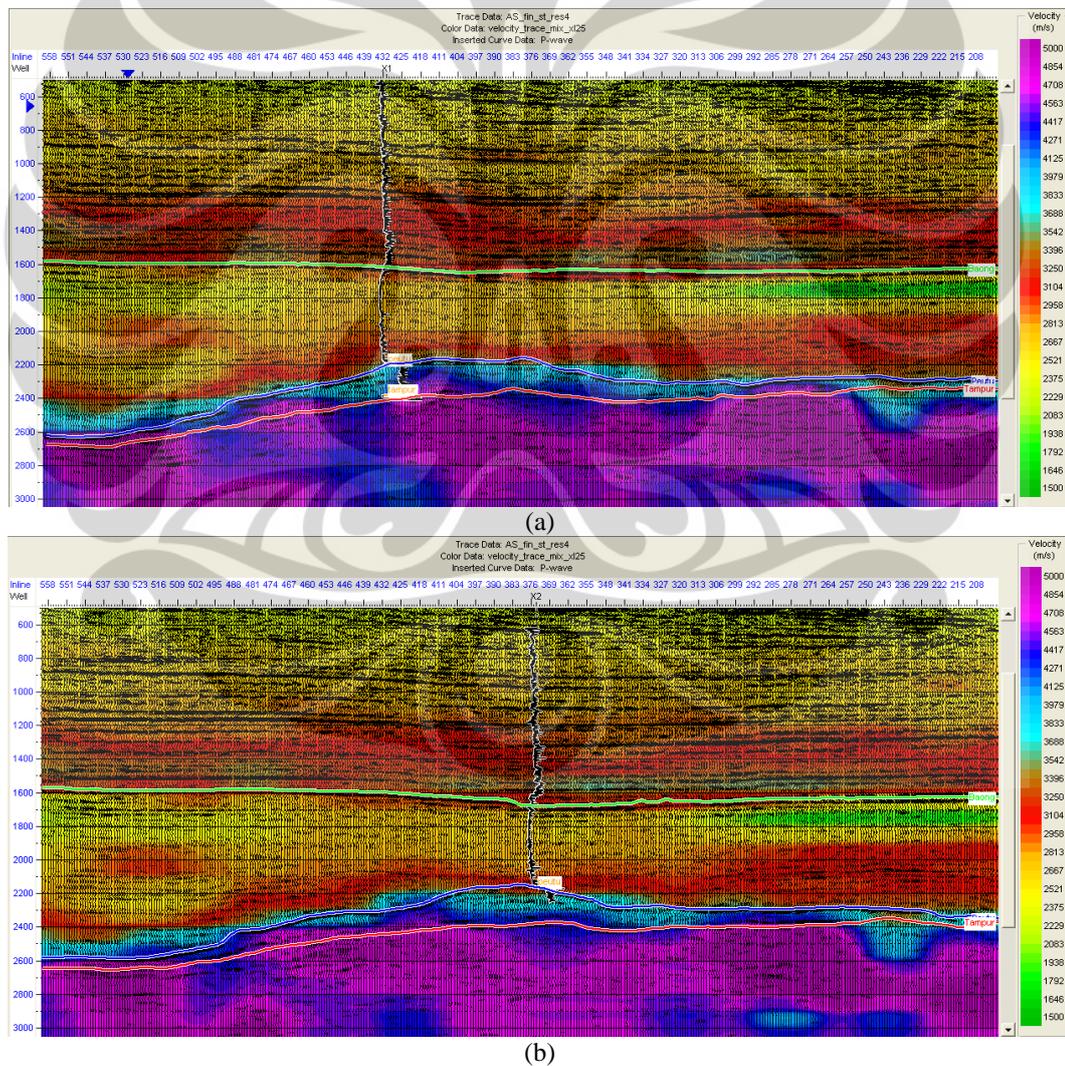
Gambar 4.3, 4.4, dan 4.5 juga menunjukkan bahwa penampang kecepatan interval dari dari seismik menunjukkan tren yang sama dengan penampang seismiknya sepanjang Formasi Baong di bagian timur penampang, ditunjukkan oleh warna kuning pada penampang kecepatan tersebut, sedangkan pada bagian barat nilai kecepatan lebih cepat kembali ke tren normal dibandingkan dengan penampang seismiknya. Ini ditunjukkan oleh nilai kecepatan normal yang berada di atas interpretasi Formasi Peutu.



Gambar 4.3 Penampang seismik beserta hasil interpretasinya di-overlay dengan log sumur dan kecepatan interval, (a) pada *inline* 431 di-overlay dengan sumur X1 dan (b) pada *inline* 374 dioverlay dengan sumur X2



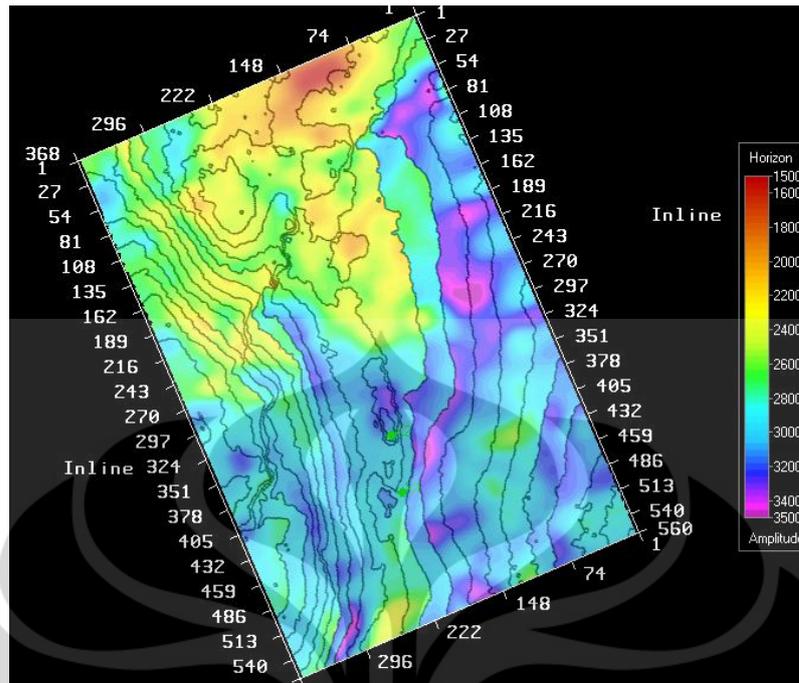
Gambar 4.4 Penampang kecepatan interval (a) pada inline 431 dan (b) pada inline 374 yang di-overlay dengan data sonik dari sumur di X1 dan X2



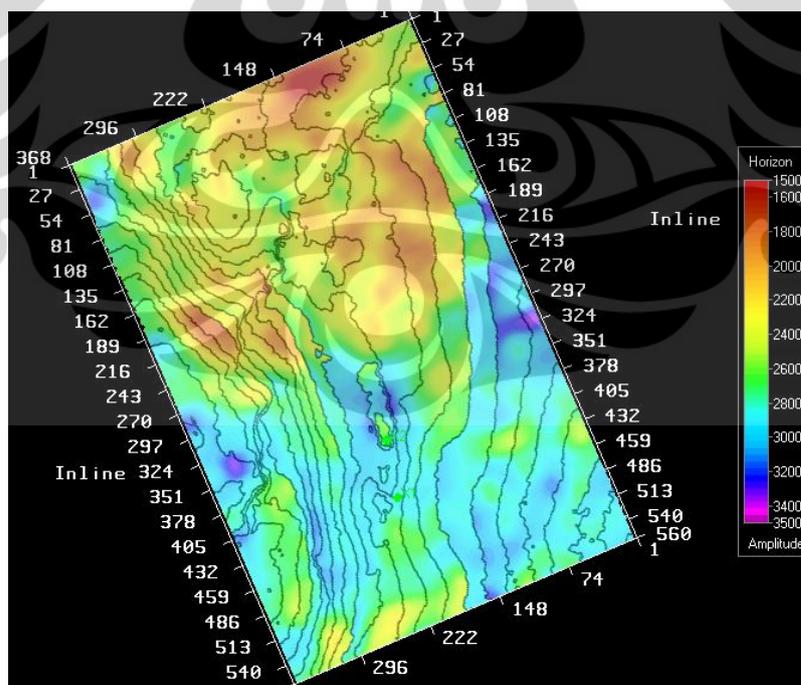
Gambar 4.5 Penampang seismik beserta hasil interpretasinya di-overlay dengan log sumur dan kecepatan interval, (a) pada xline 189 overlay dengan sumur X1 dan (b) pada inline 201 overlay dengan sumur X2

Gambar 4.6 menunjukkan distribusi kecepatan interval pada top Formasi Baong, ditunjukkan oleh warna, yang dioverlay dengan peta struktur Formasi Baong, yang ditunjukkan oleh garis-garis kontur. Skala warna menunjukkan nilai kecepatan interval pada Formasi Baong. Warna merah menunjukkan nilai kecepatan rendah dan warna ungu menunjukkan nilai kecepatan tinggi. Formasi Baong, secara struktur menunjukkan bahwa dari arah utara ke selatan memiliki struktur semakin meninggi. Sementara itu, secara kecepatan terlihat bahwa pada Formasi Baong, distribusi kecepatan rendah terjadi pada bagian utara daerah penelitian dengan distribusi kecepatan dibatasi oleh struktur. Hal ini diperkirakan berhubungan dengan nilai tekanan pori yang lebih besar di bagian utara tersebut yang diakibatkan oleh semakin dalamnya struktur Formasi Baong sehingga gradien geothermal lebih tinggi dan menyebabkan diagenesis lempung menjadi lebih tinggi.

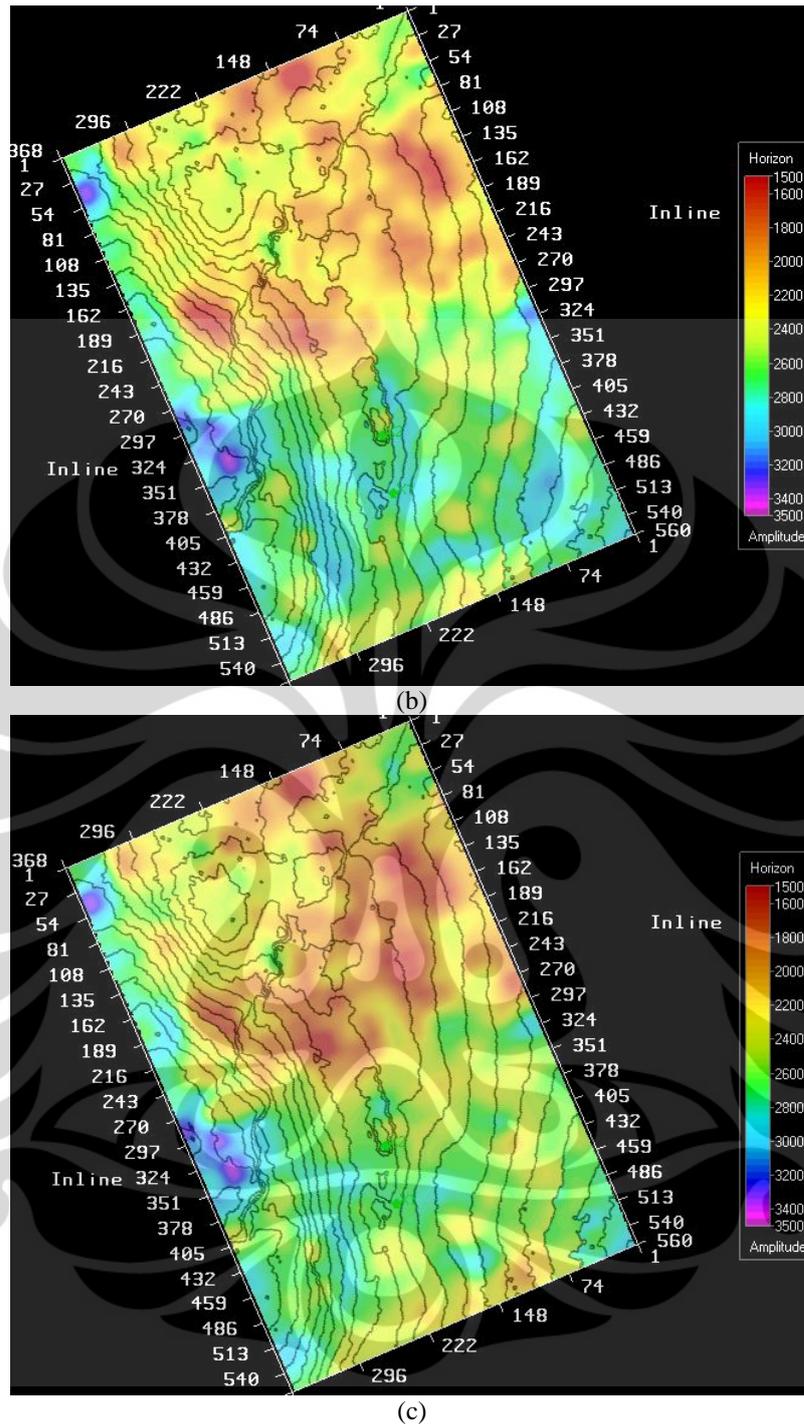
Gambar 4.7 menunjukkan evolusi penyebaran kecepatan interval di bawah Formasi Baong. Gambar 4.7 (a) adalah kecepatan interval yang berada pada 40 ms di bawah Formasi Baong. Distribusi kecepatan rendah yang ditunjukkan oleh warna merah – kuning memperlihatkan sebaran kecepatan rendah yang hampir mirip dengan kecepatan pada Formasi Baong, tetapi dengan sebaran sedikit meluas ke arah timur laut. Gambar 4.7 (b) adalah kecepatan interval yang berada pada 80 ms di bawah Formasi Baong. Pada kedalaman ini tampak bahwa hampir seluruh bagian utara daerah penelitian menunjukkan kecepatan yang rendah relatif terhadap bagian selatan. Hal ini sangat logis mengingat bagian utara memiliki struktur yang lebih rendah. Gambar 4.7 (c) adalah kecepatan interval yang berada pada 120 ms di bawah Formasi Baong. Pada kedalaman ini, kecepatan rendah mulai terjadi di bagian selatan daerah penelitian. Dari ketiga hasil di atas bisa kita simpulkan bahwa kecepatan rendah terjadi lebih dahulu di bagian utara baru setelah kedalaman 120 ms di bawah Formasi Baong, kecepatan rendah mulai terjadi pada bagian selatan.



Gambar 4.6 Peta struktur Formasi Baong di-overlay dengan kecepatan interval

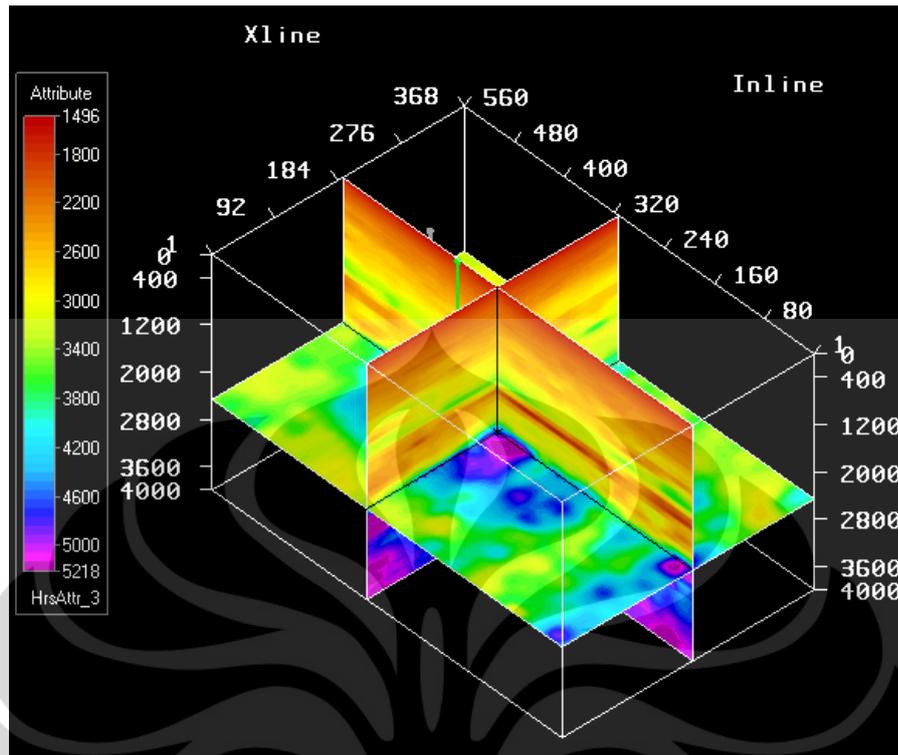


(a)



Gambar 4.7 Peta struktur Formasi Baong di-overlay dengan kecepatan interval di bawah Formasi sebesar (a) 40 ms, (b) 80 ms, dan (c) 120 ms.

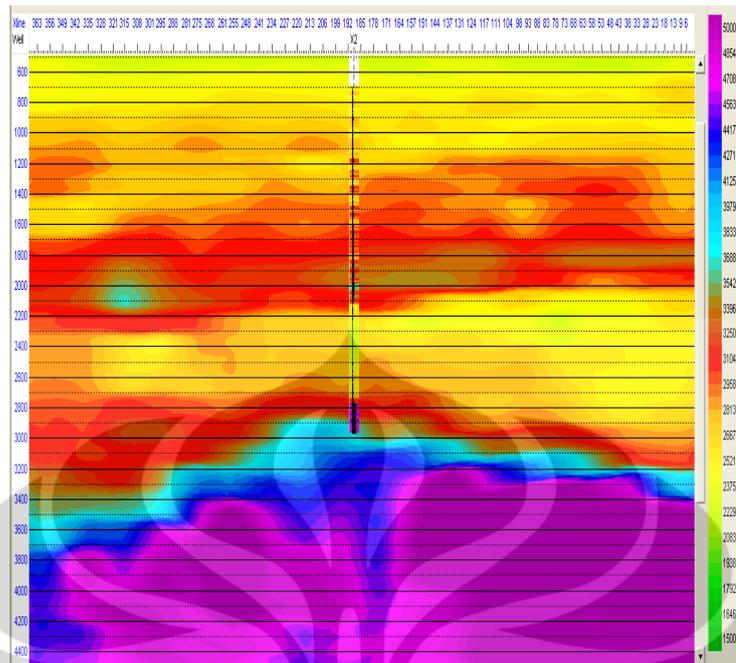
Gambar 4.8 menunjukkan distribusi kecepatan interval dalam volume 3D.



Gambar 4.8 Penampang kecepatan interval dalam tampilan volume 3D.

4.3.2 Penampang Kedalaman (Depth Slice) Distribusi Tekanan Pori

Untuk memperoleh distribusi tekanan pori, volume 3D kecepatan perlu ditransformasi terlebih dahulu dari domain waktu kedalam domain kedalaman, kemudian dicocokkan dengan kedalaman dari data sumur. Gambar 4.9 menunjukkan overlay penampang kecepatan seismik dengan kecepatan sumur. Kecocokan kedua data tersebut direpresentasikan oleh warna yang sama.



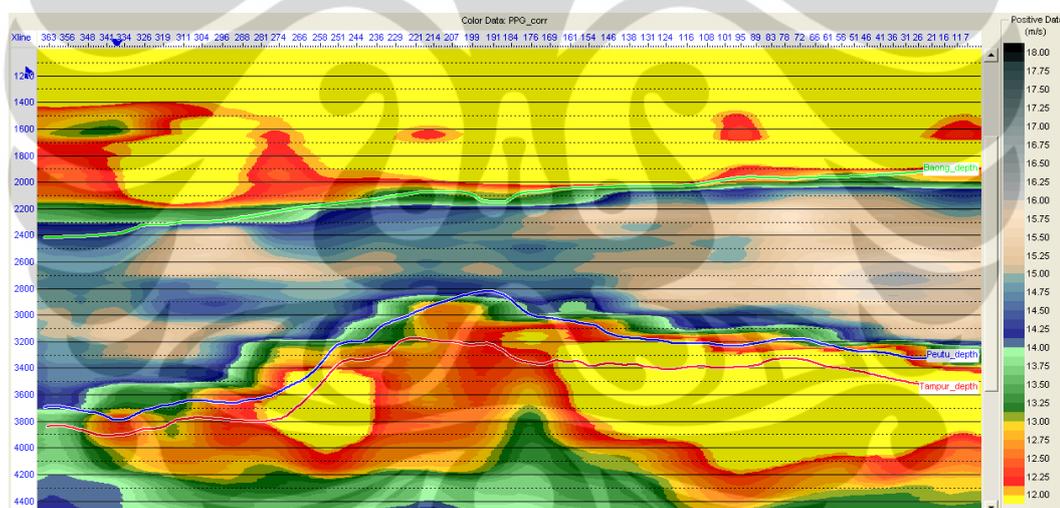
Gambar 4.9 Penampang kecepatan dalam domain kedalaman di-overlay dengan kecepatan dari data sumur

Setelah diperoleh kecocokan antara kecepatan seismik dengan kecepatan sumur selanjutnya dilakukan konversi volume kecepatan kedalam volume tekanan pori dengan menggunakan Persamaan Eaton. Untuk mempermudah analisis *overpressure*, tekanan dikonversi kedalam tekanan ekivalen dinyatakan dalam pound per gallon (ppg). Nilai tekanan ekivalen pada Formasi Baong dengan nilai di antara 14 dan 16 ppg diinterpretasi sebagai zona *overpressure*, sesuai dengan hasil yang diperoleh dari perhitungan pada sumur.

Gambar 4.10 menunjukkan penampang tekanan ekivalen. Skala warna menunjukkan bahwa warna kuning merepresentasikan tekanan pori ekivalen 0 – 12 ppg, graduasi warna merah ke kuning adalah tekanan pori ekivalen sebesar 12 – 13 ppg, dan graduasi warna abu-abu ke hitam adalah tekanan pori ekivalen dengan nilai lebih dari atau sama dengan 16 ppg. *Overpressure* sendiri ditunjukkan oleh graduasi warna biru untuk tekanan pori ekivalen 14 – 15 ppg dan graduasi warna coklat untuk tekanan pori ekivalen 15 – 16 ppg. Dari penampang tekanan terlihat bahwa di atas dan di bawah Formasi Baong, tekanan ekivalen berada pada nilai di antara 12 – 13 ppg. Sementara pada Formasi Baong nilai tekanan berada pada 14 – 16 ppg tetapi tersebar secara tidak homogen. Distribusi

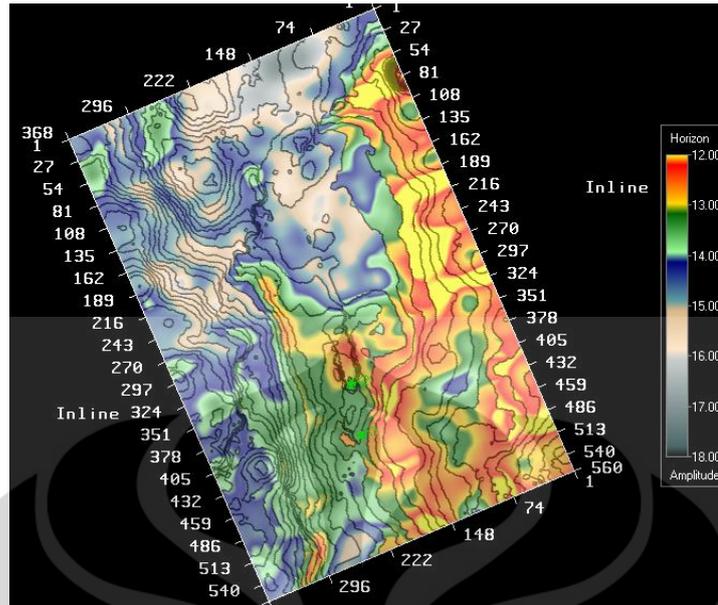
tekanan pori pada bagian barat memiliki nilai lebih besar, yaitu 15 – 16 ppg, sedangkan distribusi tekanan pori di bagian timur memiliki besar tekanan antara 14 – 16 ppg.

Perbedaan nilai tekanan pada pusat penampang gambar 4.10 dengan bagian barat diinterpretasi disebabkan oleh adanya perbedaan tekanan overburden yang dialami oleh kedua bagian tersebut ketika terjadi sedimentasi. Hal ini terindikasi oleh beda ketebalan formasi di kedua bagian tersebut, sehingga secara logis tekanan dari pusat penampang akan lebih kecil dari bagian barat karena jumlah fluida yang release lebih banyak akibat tekanan overburden yang lebih besar. Sementara itu, adanya nilai tekanan yang bervariasi di sebelah barat kemungkinan disebabkan oleh adanya noise sehingga perhitungan tekanan menjadi tidak akurat. Secara geologi, seharusnya tekanan sebelah barat akan sangat mirip dengan tekanan di sebelah timur dari penampang tersebut.



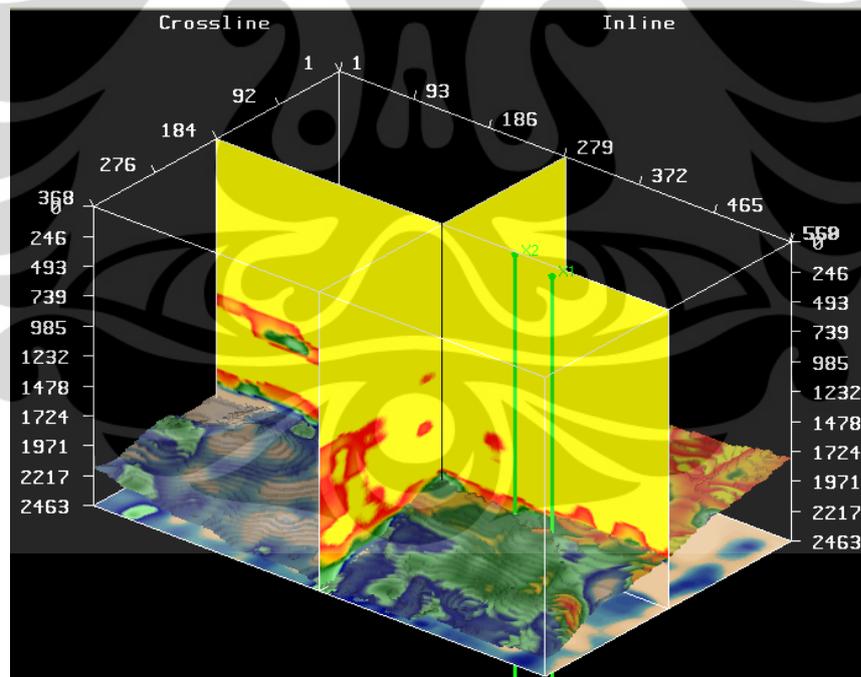
Gambar 4.10 Penampang tekanan ekuivalen di antara top Formasi Baong, Peutu, dan Tampur.

Map struktur pada Formasi Baong yang di-overlay dengan nilai tekanan pori ekuivalen ditunjukkan pada gambar 4.11. Skala warna sama seperti gambar 4.10. Dari penampang ini, terlihat bahwa pada Formasi Baong, *overpressure* tersebar di sebelah barat – utara daerah penelitian, ditunjukkan oleh warna biru sampai coklat, dengan tekanan pori ekuivalen berada pada 14 – 16 ppg. Sementara pada bagian selatan - timur laut, tekanan cenderung normal.



Gambar 4.11 Peta struktur Top Formasi Baong di-overlay dengan tekanan ekuivalen.

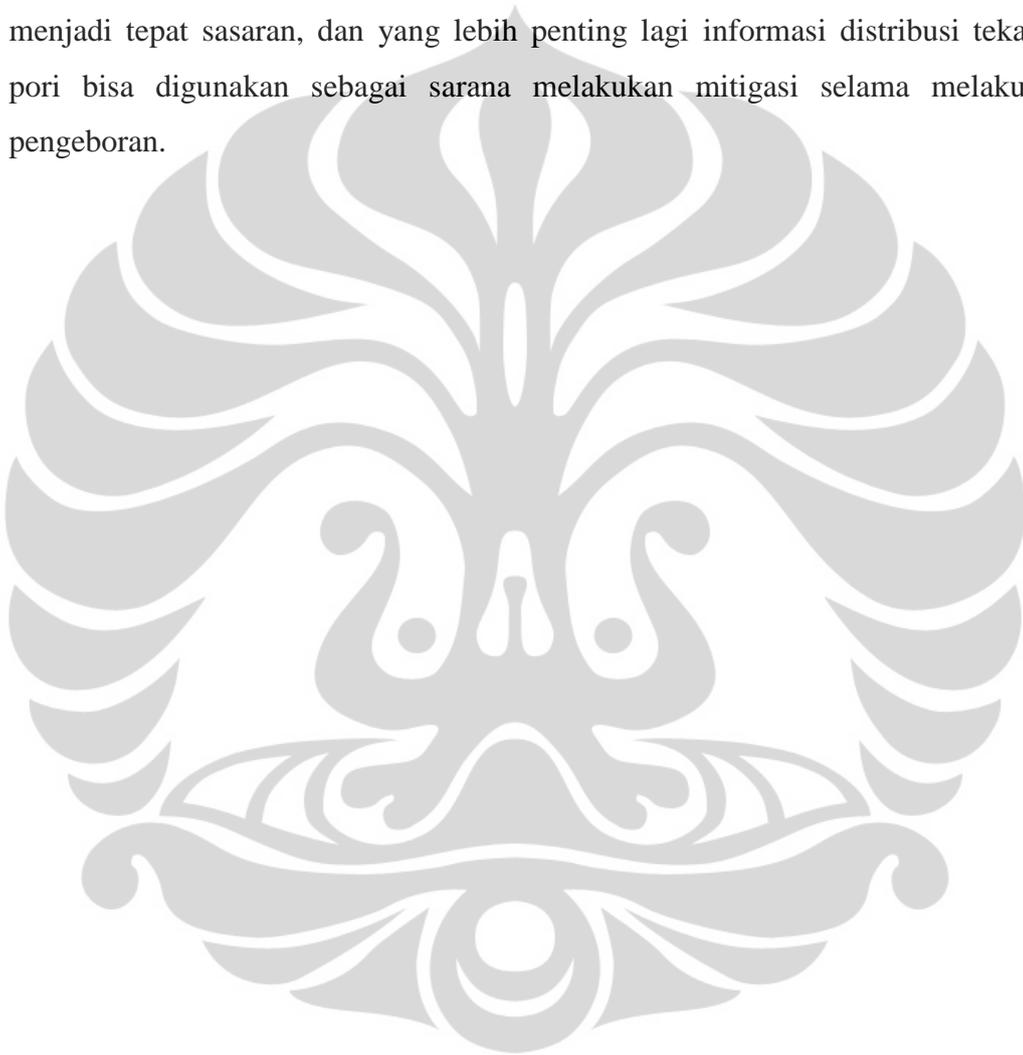
Gambar 4.12 menunjukkan distribusi tekanan dalam volume.



Gambar 4.12 Distribusi tekanan pori dalam volume

Dari hasil-hasil di atas, bisa disimpulkan bahwa pengolahan data sampai menjadi distribusi tekanan pori memberikan informasi detail mengenai keberadaan *overpressure* dan penyebarannya dalam volume di daerah penelitian,

misalnya, pada kedalaman berapa *overpressure* terjadi, berapa kira-kira tebal zona *overpressure*, dan sejauh mana sebaran *overpressure* di sekitar daerah interes masih ada. Dengan informasi ini, interpreter akan terbantu dalam menentukan lokasi pengeboran atau menentukan apakah pengeboran perlu dilakukan secara vertikal atau bahkan harus *deviated*, sedangkan drilling engineer terbantu dalam merencanakan pengeboran, sehingga teknologi pengeboran yang digunakan menjadi tepat sasaran, dan yang lebih penting lagi informasi distribusi tekanan pori bisa digunakan sebagai sarana melakukan mitigasi selama melakukan pengeboran.



BAB 5 KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut beberapa kesimpulan yang bisa diambil.

- a. Perhitungan kecepatan menggunakan metode AVO dipengaruhi oleh kualitas data dan kecepatan masukan, sehingga diperlukan pengolahan data sebelum dilakukan perhitungan kecepatan,
- b. Kecocokan kecepatan yang diturunkan dari metode AVO dengan kecepatan dari data sumur mencapai angka 57,1%, berada pada data awal perekaman sampai dengan sebelum terjadi *overpressure*, yaitu antara 0 ms – 1800 ms pada domain waktu atau 0 – 2000 meter pada domain kedalaman,
- c. Penurunan kecepatan dengan metode AVO bisa mendeteksi keberadaan *overpressure* dengan menunjukkan kecepatan yang lebih rendah dari tren normal, meskipun nilai kecepatan seismik masih lebih tinggi dari kecepatan sumur sekitar 27% (2800 m/s : 2200 m/s),
- d. Kecepatan hasil perhitungan dari data seismik perlu dikoreksi terhadap data sumur dengan menggunakan referensi kecepatan sumur pada zona *overpressure* sehingga perhitungan distribusi tekanan yang dihasilkan pada zona *overpressure* adalah tekanan yang sudah terkalibrasi.
- e. Daerah *overpressure* terletak pada Formasi Baong dengan besar tekanan ekuivalen antara 14 – 16 ppg.

DAFTAR ACUAN

- Aziz, A., Bolt, L. H., 1984, *Occurrence and Detection Of Abnormal Pressures from Geological and Drilling Data, North Sumatra*, IPA 13th Annual Convention Proceedings
- Bowers, G. L., February 2002, *Detecting High Overpressure*, The Leading Edge, p. 174 – 177
- Bruce, B., Bowers, G., February 2002, *Pore Pressure Terminology*, The Leading Edge, p. 170 – 173
- Chopra, S., Huffman, A., April, 2006, *Velocity Determination for Pore Pressure Prediction*, CSEG Recorder, p.29 – 46
- Cibin, P., Martera, M.D., Buia, M., Calcagni, D., Runcer, D. J., Talkan, T., October 2004, *What Seismic Velocity Field for Pore Pressure Prediction?*, SEG Int'l. Exposition and 74th Annual Meeting
- Dutta, N.C., November – December 2002, *Y2K Review Article: Geopressure Prediction Using Seismic Data: Current Status and The Road Ahead*, Geophysics vol. 67 No. 6, p. 2012 – 2041
- Huffman, A. R., February 2002, *The Future of Pore Pressure Prediction Using Geophysical Methods*, The Leading Edge, p. 199 – 205
- Kan, T. K., Swan, H. W., November – December 2001, *Geopressure Prediction from Automatically-Derived Seismic Velocity*, Geophysics Vol. 66 No.6, p.1937 - 1946
- Kumar, K. M., Ferguson, R. J., Ebron, D., Heppard, P., 2006, *Pore Pressure Prediction Using Eaton's Approach for PS-waves*, Society of Exploration Geophysicist
- Munadi, S., 2000, *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi*, Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia
- Pertamina BPPKA, *Petroleum Geology of Indonesian Basin: Principles, Methods, and Application Volume I North Sumatra Basin*, p. xv
- ProMAX® Reference, *AVO & Velocity Iteration (AVEL)*
- Sayers, C. M., Johnson, G. M., Denyer, G., July – August 2002, *Predrill Pore-Pressure Prediction Using Seismic Data*, Geophysics Vol. 67 No.4, p.1286 – 1292
- Shaker, S., December 2003, *The Controversial Pore Pressure Conversion Factor: PSI to PPG MWE*, The Leading Edge, p. 1223 – 1225
- Swan, H. W., November – December 2001, *Velocity from Amplitude Variation with Offset*, Geophysics Vol. 66 No.6, p.1935 - 1943

Swarbrick, R. E., Osborn, M. J., 1998, *Mechanisms that Generate Abnormal Pressure: An Overview*, AAPG Memoir 70, p. 13 – 34

Taner, M. T., Koehler, F., and Sheriff, R. E., 1979, *Complex Seismic Trace Analysis*, Geophysics, Vol. 44 No. 6, p. 1041 – 1063

Yu, G., June 2007, *High Density High Resolution Seal Capacity and Pore Pressure Prediction from 3D Seismic Data*, EAGE 69th Conference and Exhibition

