



**DELINEASI RESERVOAR HIDROKARBON PADA DATA SEISMIK
PRE-STACK TIME MIGRATION (PSTM) MENGGUNAKAN
*ATRIBUT AMPLITUDE VERSUS OFFSET (AVO)***

SKRIPSI

Oleh

MIRANTY JD

NIM 121810201041

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2016



**DELINEASI RESERVOAR HIDROKARBON PADA DATA SEISMIK
PRE-STACK TIME MIGRATION (PSTM) MENGGUNAKAN
*ATRIBUT AMPLITUDE VERSUS OFFSET (AVO)***

SKRIPSI

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

Oleh

MIRANTY JD

NIM 121810201041

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2016

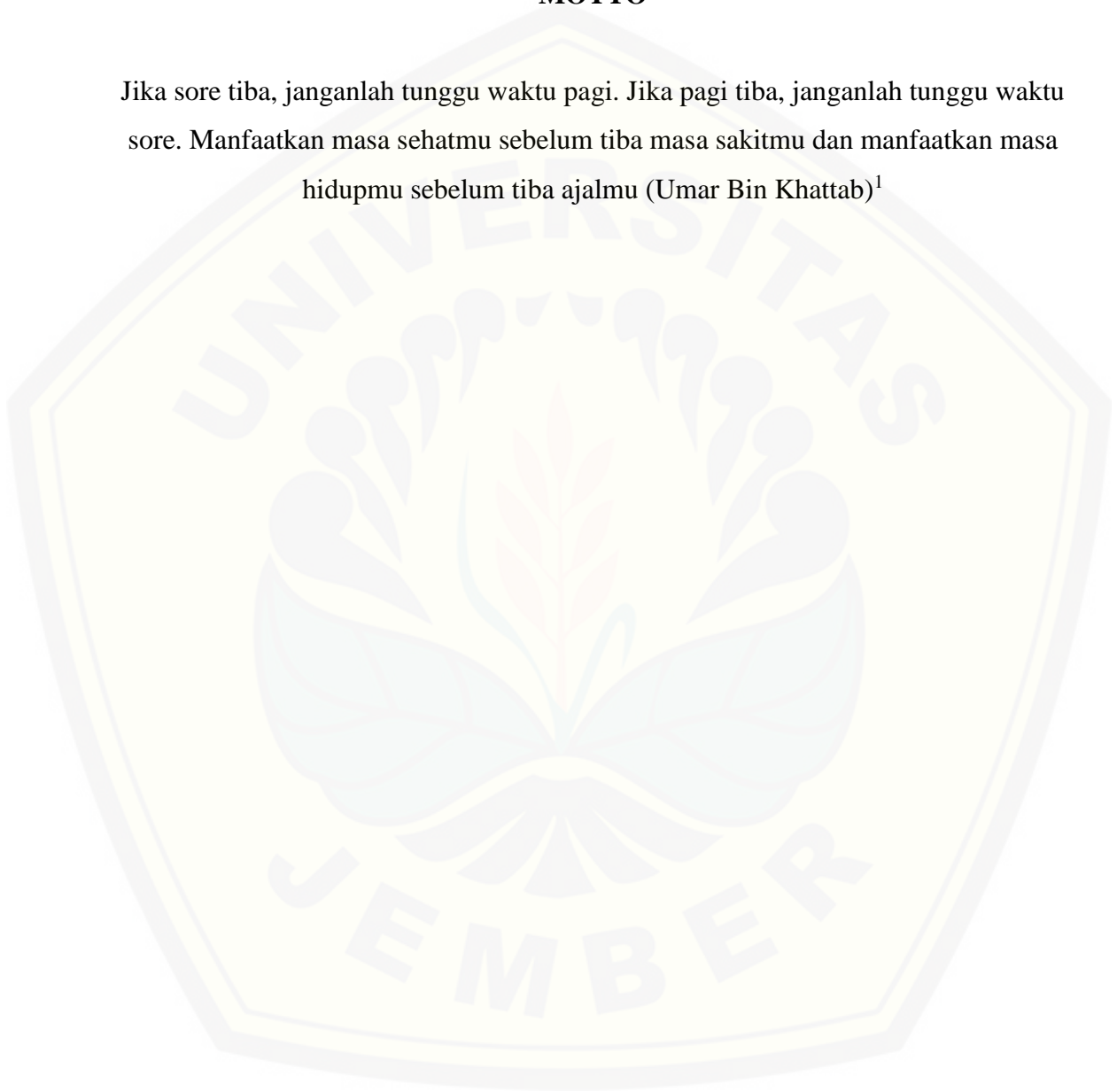
PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa syukur dan terima kasih untuk:

1. Kedua orang tua, Ibunda Mintarsih serta Ayahanda Rudy Haryanto tercinta, yang telah memberi kasih sayang, pengorbanan, semangat, dukungan semasa hidupnya;
2. Adinda Diah Indah Rini yang selalu memberi semangat;
3. Bapak dan Ibu Guru SD, SMP, SMA dan semua Dosen Jurusan Fisika yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya dengan penuh kesabaran;
4. Teman – teman seperjuangan *Lorentz*, 2012 yang telah memberikan semangat, dukungan, dan doa selama ini;
5. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTTO

Jika sore tiba, janganlah tunggu waktu pagi. Jika pagi tiba, janganlah tunggu waktu sore. Manfaatkan masa sehatmu sebelum tiba masa sakitmu dan manfaatkan masa hidupmu sebelum tiba ajalmu (Umar Bin Khattab)¹



¹ Yasir, M. 2011. *Jangan Hidup Jika Tak Memberi Manfaat*. Jakarta: Pustaka Al-Kautsar

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Miranty JD

NIM : 121810201041

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Delineasi Reservoir Hidrokarbon pada Data Seismik *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) Menggunakan Atribut *Amplitude Versus Offset* (AVO)" adalah karya bersama pembimbing, kecuali pengetikan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 19 September 2016

Yang menyatakan

Miranty JD

NIM. 121810201041

SKRIPSI

**DELINEASI RESERVOAR HIDROKARBON PADA DATA SEISMIK
PRE-STACK TIME MIGRATION (PSTM) MENGGUNAKAN ATRIBUT
*AMPLITUDE VERSUS OFFSET (AVO)***

Oleh
Miranty JD
NIM 121810201041

Pembimbing,

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

Dosen Pembimbing Anggota : Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phill. Ph.D.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Delineasi Reservoar Hidrokarbon Pada Data Seismik *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) Menggunakan Atribut *Amplitude Versus Offset* (AVO)” 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. 19741215 200212 1 001

Agung Tjahjo Nurgoho, S.Si., M.Phill, Ph. D.
NIP. 19681219 199402 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Drs. Sujito, Ph.D.
NIP. 19610204 198711 1 001

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.
NIP. 19811111 200501 2 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember,

Drs. Sujito, Ph.D
NIP. 19610204 198711 1 001

RINGKASAN

Delineasi Reservoir Hidrokarbon pada Data Seismik *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) Menggunakan Atribut *Amplitude Versus Offset* (AVO); Miranty JD, 121810201041, 2016; 74 halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Kebutuhan energi dunia pada masa sekarang terus mendominasi melalui penggunaan energi fosil. Perkembangan teknologi memunculkan proses eksplorasi energi fosil baik di darat (*onshore*) maupun di laut (*offshore*) melalui aplikasi metode geofisika. Metode geofisika merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui geometri struktur patahan yang menghambat aliran fluida bawah permukaan melalui aplikasi metode seismik. Aplikasi metode seismik dapat menggunakan beberapa parameter fisis sebagai acuan pengamatan prospektif reservoir melalui perubahan nilai porositas, densitas, impedansi akustik, maupun *gamma ray* yang terdapat pada batuan. Selain menggunakan parameter fisis tersebut, identifikasi reservoir hidrokarbon secara akurat dilakukan dengan menggunakan atribut *Amplitude Versus Offset* (AVO).

Penelitian sebelumnya dengan menggunakan atribut AVO menunjukkan pada lapisan *sand #2* Formasi Mississauga berdasarkan klasifikasi Castagna terbukti mengandung hidrokarbon kelas I (perbedaan pasir pada zona impedansi tinggi). Penelitian bertujuan untuk menentukan zona prospektif reservoir hidrokarbon pada data seismik *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) hasil penelitian dokumentasi yang telah terkumpul pada <http://opendtect.org>. Penentuan prospektif reservoir hidrokarbon pada penelitian dilakukan guna mengembangkan zona prospektif reservoir hidrokarbon baru melalui identifikasi litologi pasir dan aplikasi atribut AVO pada lapangan eksplorasi Penobscot karena luasnya daerah eksplorasi.

Penelitian dilakukan melalui pembentukan *horizon* baru pada hasil krosplot antara log impedansi akustik – *gamma ray*, densitas – *gamma ray*, dan porositas – *gamma ray* pada data sumur. Aplikasi inversi *gamma ray* sebagai variabel tambahan

pada data sumur dan data seismik akan menjadi acuan dalam penentuan zona prospektif reservoir hidrokarbon yang terbentuk. Penentuan zona prospektif reservoir hidrokarbon akan melalui analisa dengan memberikan predikat pada zona hasil inversi *gamma ray* melalui pembentukan *gridline* pada *horizon* baru yang telah terbentuk. Kemudian, aplikasi atribut AVO sebagai variabel utama dilakukan melalui klasifikasi Castagna guna sinkronisasi hasil berdasarkan litologi yang muncul pada *inline*.

Berdasarkan keseluruhan variabel penelitian diperoleh tiga buah *horizon* baru yaitu L-30 GR-AI, 4-Hor-D, dan B-41 GR-AI yang terletak pada *range* vertikal 1900 – 2300 *ms* yang terletak di sekitar Formasi Mississauga. Aplikasi variabel tambahan melalui inversi *gamma ray* pada masing – masing *horizon* menunjukkan dua buah zona prospektif reservoir hidrokarbon yaitu Zona I dan Zona II. Zona prospektif reservoir hidrokarbon yang terbentuk memiliki predikat ‘sedikit berpotensi’ pada Zona I sebesar 4.23% dan Zona II sebesar 3.88% pada *horizon* 4-Hor-D, serta pada Zona II *horizon* B-41 GR-AI sebesar 3.09%. Sedangkan predikat ‘berpotensi’ memiliki persentase Zona I dan Zona II sebesar 6.88% dan 9.96% pada *horizon* L-30 GR-AI, serta pada Zona I *horizon* B-41 GR-AI sebesar 6.88%. Sementara, berdasarkan klasifikasi Castagna pada variabel utama aplikasi atribut AVO tergolong dalam AVO kelas I. Hal tersebut terbukti dengan adanya impedansi akustik *overlapping* antara lapisan yang disinyalir batuan pasir dengan serpih pada bagian atas maupun bawahnya. Zona prospektif reservoir hidrokarbon baru pada penelitian selanjutnya perlu untuk mengkonversi data seismik secara *time to depth* guna memperoleh posisi reservoir yang bersesuaian dengan litologi di lapangan eksplorasi. Serta pada data penelitian perlu untuk melakukan pengamatan lebih lanjut melalui identifikasi litologi dan fluida menggunakan atribut Lambda Mu-Rho. Oleh karena itu, diharapkan dengan menerapkan konversi *time to depth* dan atribut Lambda Mu-Rho pada data penelitian harapannya identifikasi prospektif reservoir hidrokarbon akan memberikan hasil interpretasi yang lebih akurat sehingga mampu menjadi acuan dalam penentuan zona prospektif reservoir hidrokarbon pada Lapangan Penobscot.

PRAKATA

Alhamdulillah, Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Delineasi Reservoir Hidrokarbon pada Data Seismik *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) Menggunakan Atribut *Amplitude Versus Offset* (AVO)”. Skripsi ini disusun guna memenuhi syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini peneliti mendapat bimbingan, pengarahan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Sujito, Ph.D, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Drs. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si. dan Agung Tjahjo Nurgoho, S.Si., M.Phil. Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Anggota skripsi yang telah memberikan banyak kesabaran, dukungan serta bimbingan, waktu dan tenaga demi kesempurnaan skripsi ini;
4. Drs. Sujito, Ph.D dan Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Dosen Penguji II skripsi yang telah memberikan masukan dan meluangkan waktu serta pikirannya dalam selama proses penyelesaian skripsi ini.
5. seluruh dosen Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember yang dengan ikhlas memberikan ilmu selama perkuliahan;
6. seluruh karyawan dan staff Fakultas Matematika Universitas Jember yang telah menyediakan waktu dan tenaga demi kelancaran dalam penyelesaian skripsi ini;
7. Ibunda Mintarsih, Ayahanda Rudy Haryanto, Ananda Diah Indah Rini, Kakek, dan Nenek yang telah memberikan doa dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini;

8. Mohammad Luki Firmansah, S.T., yang terus meluangkan waktu dan tenaganya untuk memberikan doa dan semangat selama proses perkuliahan;
9. teman – teman terdekat Sri Indariyatul Masruroh, Rika Yuli Ratnasari, dan Elsa Yuli Kurniawati, yang selalu meluangkan waktu dengan memberikan hiburan disela proses penyelesaian skripsi;
10. teman – teman seperjuangan di Klub Seismik Harik Muhandis, Illavi Pebrian Praseti, Winda Ekasari, Yustiana, Nurul Fajriyah, Himmah Khasanah, Aisyatin Maslulah, Sandy Tri Radianto, dan Fitri Khoiriyah yang tidak enggan untuk terus membagi ilmunya;
11. teman – teman serta Dosen Pembimbing PKM dan PHBD, Bapak Supriyadi, S.Si., M.Si, Ernik Dwi Safitri, Elok Hidayah, Muhammad Sukron Ali, Avkarina Agustin, Yulia Kusumawardani, Zaenul Muzaki, dan Yudhistira Mei Kristanto, yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan projek sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik tanpa hambatan;
12. teman – teman seperjuangan *Lorentz* 2012 yang telah memberikan doa dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini;
13. teman – teman HIMAFI MIPA Universitas Jember periode 2014/2015 dan 2015/2016 yang telah memberikan banyak pengalaman dalam berorganisasi;
14. teman – teman anggota, alumni, dan pengurus inti FORMASI Jawa Timur 2015/2016 yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian skripsi ini;
15. seluruh pihak yang membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Segala kritik dan saran yang membangun sangat peneliti harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca sekalian.

Jember, 19 September 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
RINGKASAN	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Geologi	7
2.1.1 Geologi Regional Lapangan Eksplorasi	8
2.1.2 Statigrafi Regional Lapangan Eksplorasi	10
2.1.3 <i>Petroleum System</i> Cekungan Scotia.....	12
2.1.4 Ekspresi Bawah Permukaan Penelitian Sebelumnya.....	13
2.2 Konsep Dasar Eksplorasi Seismik Refleksi	14
2.3 Sifat Fisika Batuan	15
2.3.1 <i>Gamma Ray</i>	15
2.3.2 Impedansi Akustik	15
2.3.3 Densitas	16
2.3.4 <i>Porositas</i>	16

2.3.5	Seismik Inversi Deterministik dan Probabilistik	17
2.3.6	<i>Amplitude Versus Offset (AVO)</i>	17
BAB 3. METODE PENELITIAN	.....	24
3.1 Data Penelitian	.....	24
3.1.1	Data Primer	24
3.1.2	Data Sekunder	26
3.2 Skema Kerja Penelitian	.....	27
3.2.1	Persiapan Data	27
3.2.2	Pengolahan Data	32
3.2.3	Analisa Data	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	40
4.1 Hasil dan Pembahasan	.....	40
4.1.1	Pengolahan Data Sumur	40
4.1.2	Inversi <i>Gamma Ray</i> pada horizon, inline, dan <i>crossline</i>	46
4.1.3	Inversi <i>Gamma Ray</i> pada Data Sumur	53
4.1.4	Pengolahan AVO	54
BAB 5. PENUTUP	.....	59
5.1 Kesimpulan	.....	59
5.2 Saran	.....	59
DAFTAR PUSTAKA	.....	60
LAMPIRAN	.....	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Informasi Sumur L-30 dan Sumur B-41	25
3.2 Analisa Hasil Krosplot	36
3.3 Analisa Hasil Perhitungan Prospek Luasan Volume Reservoir Hidrokarbon	38
4.1 Peta Hasil Zona Prospektif Reservoir Hidrokarbon	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Lapangan Penobscot, Nova Scotia – Kanada	7
2.2 Sub-Cekungan Shelburne, La Have <i>Platform</i> , Sable dan Sub-Cekungan Abenaki, Banquereau <i>Platform</i> , Orpheus Graben, dan Sub-Cekungan Laurentian	8
2.3 Cekungan Scotia pada Super Benua Pangea	9
2.4 Skema Cekungan Scotia dan Penyusunnya	9
2.5 Stratigrafi Umum Cekungan Scotia	12
2.6 Ilustrasi Metode Seismik Refleksi	14
2.7 Impedansi (Merah) dengan Koefisien Refleksi (Hitam)	15
2.8 Refleksi dan Transmisi Gelombang P	18
2.9 Hubungan <i>Offset</i> dengan Sudut Datang (θ) dan Sinyal Datang Terekam dalam Titik <i>Reflector</i> yang Sama	20
2.10 Model Dasar Anomali AVO	21
2.11 Klasifikasi Anomali AVO	21
3.1 <i>Base Map</i> Data Seismik Melalui <i>Opendtect</i>	25
3.2 Posisi Data <i>Marker</i> pada Sumur L-30	26
3.3 Skema Kerja Penelitian secara Umum	27
3.4 Tahap Persiapan Data	27
3.5 Koefisien Korelasi Sumur L-30	28
3.6 Koefisien Koresali Sumur B-41	28
3.7 Proses Memunculkan Data <i>Normal Move Out</i> (NMO)	29
3.8 Data <i>Normal Move Out</i> (NMO) pada <i>Work Area</i>	30
3.15 (a) Proses Pengolahan Data <i>Pre-Stack</i> ; (b) Proses <i>Mute</i> pada <i>Top Mute</i> ...	33

3.9	(a) Proses <i>Mute</i> ; (b) <i>Outer Mute</i> pada <i>Inline</i> 1300	31
3.10	<i>Super Gather</i> pada <i>Inline</i> 1300	31
3.11	Diagram Alir Proses Penelitian AVO dan Krosplot Data Sumur	32
3.12	Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Impedansi Akustik pada Sumur L-30	33
3.13	Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Densitas pada Sumur L-30	33
3.14	Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Porositas pada Sumur L-30.....	33
3.15	Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Impedansi Akustik pada Sumur B-41	34
3.16	Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Densitas pada Sumur B-41	34
3.17	Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Porositas pada Sumur B-41	34
3.18	Klasifikasi Krosplot <i>Intercept</i> vs <i>Gradient</i>	39
4.1	Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Impedansi Akustik pada <i>Inline</i> 1177 Sumur L-30	40
4.2	Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Impedansi Akustik pada <i>Inline</i> 1329 Sumur B-41	40
4.3	<i>Horizon</i> Baru Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Impedansi Akustik Sumur L-30	41
4.4	<i>Horizon</i> Baru Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Impedansi Akustik Sumur B-41	41
4.5	Model Awal <i>Horizon</i> L-30 GR-AI Hasil Krosplot Sumur L-30	42
4.6	Model Awal <i>Horizon</i> B-41 GR-AI Hasil Krosplot Sumur B-41	42
4.7	Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Densitas pada <i>inline</i> 1177 Sumur L-30	43
4.8	Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Densitas pada <i>inline</i> 1329 Sumur B-41	43
4.9	<i>Horizon</i> Baru Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Densitas Sumur L-30	44
4.10	<i>Horizon</i> Baru Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Densitas Sumur B-41	44
4.11	Model Awal <i>Horizon</i> B-41 GR-Densitas Hasil Krosplot Sumur L-30	44
4.12	Model Awal <i>Horizon</i> B-41 GR-Densitas Hasil Krosplot Sumur B-41	44
4.13	Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Porositas pada <i>inline</i> 1177 Sumur –L-30 ...	45
4.14	Hasil Krosplot <i>Gamma Ray</i> – Porositas pada <i>inline</i> 1329 Sumur B-41	45

4.15	Model Awal <i>Horizon 4-Hor-D</i>	46
4.16	Model Awal <i>Horizon 3-Hor-C</i>	47
4.17	Rekonstruksi Inversi <i>Gamma Ray</i> pada <i>Horizon L-30 GR-AI</i>	48
4.18	Rekonstruksi Inversi <i>Gamma Ray</i> pada <i>Horizon 4-Hor-D</i>	48
4.19	Rekonstruksi Inversi <i>Gamma Ray</i> pada <i>Horizon B-41 GR-AI</i>	48
4.20	Rekonstruksi Inversi <i>Gamma Ray</i> pada <i>Horizon L-30 GR-Porosity</i>	49
4.21	Rekonstruksi Inversi <i>Gamma Ray</i> pada <i>Horizon B-41 GR-Densitas</i>	51
4.22	Rekonstruksi Inversi <i>Gamma Ray</i> pada <i>Horizon 3-Hor-C</i>	51
4.23	Rekonstruksi Inversi <i>Gamma Ray</i> pada <i>Inline 1500</i>	51
4.24	Rekonstruksi Inversi <i>Gamma Ray</i> pada <i>Crossline 1441 Sekitar Zona I</i>	52
4.25	Rekonstruksi Inversi <i>Gamma Ray</i> pada <i>Crossline 1241 Sekitar Zona II</i>	52
4.26	Delineasi Persebaran <i>Gamma Ray</i> Sumur L-30	54
4.27	Delineasi Persebaran <i>Gamma Ray</i> Sumur B—41	55
4.28	Proses Ekstraksi Nilai Atribut <i>AVO Intercept</i> dan <i>AVO Gradient</i>	55
4.29	Hasil Krosplot Atribut <i>AVO Intercept</i> dan <i>AVO Gradien</i> pada Kelas I ...	55
4.30	Hasil Krosplot Atribut <i>AVO Intercept</i> dan <i>AVO Gradien</i> pada Kelas II .	55
4.31	Hasil Krosplot Atribut <i>AVO Intercept</i> dan <i>AVO Gradien</i> pada Kelas III	56
4.32	Hasil Krosplot Atribut <i>AVO Intercept</i> dan <i>AVO Gradien</i> pada Kelas IV	56
4.33	Delineasi Persebaran Impedansi Akustik Sumur L-30	57
4.34	Delineasi Persebaran Impedansi Akustik Sumur B-41	57

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi fosil mendominasi ketersediaan kebutuhan energi dunia dimasa sekarang. Tercatat 25 tahun terakhir 82% kebutuhan energi primer dunia terpenuhi oleh energi fosil. Peran serta energi fosil (minyak bumi, gas alam, dan batu bara) dalam berbagai kegiatan ekonomi hingga kini masih belum tergantikan. Tercatat kontribusi bahan bakar fosil dalam bauran energi sebesar 94% yang terdiri atas 47% minyak bumi, 21% gas bumi, dan 26% batu bara (Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2012). Berdasarkan pemaparan di atas kebutuhan akan energi fosil yang terus meningkat menjadi penyebab berkembangnya eksplorasi sumber energi fosil. Yusuf dan Romli (2012) menyatakan bahwa minyak bumi dan gas alam sebagai sumber energi fosil yang telah dieksploitasi memiliki indikator geologi yang semakin terbatas. Perkembangan teknologi memunculkan informasi persebaran energi fosil yang dapat ditemukan baik di daratan (*onshore*) maupun di lautan (*offshore*) guna mengatasi keterbatasan yang terjadi di lapangan eksplorasi.

Perkembangan teknologi banyak memunculkan beragam variasi metode geofisika. Metode geofisika kerap kali diaplikasikan dalam eksplorasi karena dianggap mampu mendelineasi kondisi bawah permukaan secara lateral dengan baik. Keberadaan hidrokarbon dapat diselidiki dengan menganalisa struktur geologi melalui identifikasi reservoir menggunakan metode geofisika. Beberapa jenis metode geofisika yang sering digunakan dalam eksplorasi yaitu metode magnetik, gravitasi dan seismik (Santosa *et al.*, 2012). Berdasarkan ketiga metode tersebut metode seismik diasumsikan paling sesuai untuk memetakan geometri struktur patahan yang mungkin menghambat aliran fluida bawah permukaan. Metode seismik juga mampu mengidentifikasi keberadaan hidrokarbon dalam kegiatan eksplorasi. Penggunaan metode seismik juga diaplikasikan untuk memprediksi litologi bawah permukaan guna mengidentifikasi parameter fisis batuan reservoir (Hudha *et al.*, 2014). Adapun parameter fisis yang

mampu menjadi acuan dalam menunjukkan prospektif reservoir dapat diamati berdasarkan besar perubahan porositas batuan, densitas, impedansi akustik, dan nilai *log gamma ray* melalui korelasi data sumur serta data seismik yang didapat dari kegiatan eksplorasi. Prinsip *log gamma ray* berupa perekaman keradioaktivitasan berasal dari tiga unsur radioaktif dalam batuan yaitu Uranium-U, Thorium-Th, dan Potasium-K yang secara kontinu memancar dalam bentuk pulsa energi radiasi tinggi (Harsono, 1997). *Gamma ray* ini menembus batuan dan terdeteksi dalam bentuk pulsa listrik. Parameter yang direkam berupa jumlah pulsa yang tercatat per satuan waktu. *Log gamma ray* dalam aplikasi stratigrafi dan geologi minyak bumi digunakan sebagai 'log lempung' untuk membedakan antara lempung dan formasi batuan serta untuk mengevaluasi proporsi lempung dalam formasi batuan. Pada data sumur, sumber radioaktif dari pancaran *gamma ray* mampu memberikan informasi mengenai *log densitas* dan *log porositas* (Schlumberger, 1989). Sementara *log impedansi akustik* diperoleh dari *log densitas* dan waktu penjalaran sumber pada jarak tertentu di formasi batuan (Sukmono, 2002).

AVO merupakan teknik untuk memvalidasi amplitudo anomali pada data seismik berdasarkan kehadiran gas pada reservoir (Ostrander, 1982). Amplitudo anomali muncul akibat penurunan koefisien refleksi gelombang seismik secara drastis dari puncak lapisan yang mengandung gas bila dibandingkan dengan koefisien refleksi lapisan sekitar. Cara kerja metode AVO yaitu mengamati titik pantul yang sama dengan asumsi bahwa setiap energi dari sumber akan diterima oleh penerima dengan *offset* tertentu (Fahrullah, 2014). Castagna *et al.* (1998), menyebutkan AVO sebagai jenis atribut yang dikembangkan untuk menambah parameter fisis guna mengidentifikasi reservoir hidrokarbon secara akurat. Identifikasi reservoir hidrokarbon dilakukan dengan mengklasifikasi anomali AVO (Wibisono, 2009). Ruherford dan William (1989) menyatakan klasifikasi anomali AVO terbagi atas tiga kelas utama, yang kemudian disempurnakan oleh Castagna dengan menambahkan satu kelas lagi. Hingga kini klasifikasi yang sudah disempurnakan Castagna menjadi acuan dalam mengamati anomali AVO guna mengidentifikasi reservoir hidrokarbon (Castagna *et al.*, 1998).

Agustiani (2015) menunjukkan, zona prospektif hidrokarbon di formasi Mississauga melalui identifikasi patahan yang terbentuk sepanjang *horizon sand #D* (*sand #4*). Terdapat adanya patahan pada arah Barat Laut ke Tenggara dengan menggunakan atribut *similarity variance*, atribut *smooth similarity*, atribut *similarity*, atribut *dip variance*, atribut *smoothed sip of maximum similarity*, dan atribut *atribut dip of maximum similarity* dimana patahan umumnya mampu dijadikan acuan dalam eksplorasi hidrokarbon. Sementara Fahrullah (2014) menunjukkan, penelitian di sekitar *inline* 1075 - 1500 dan *crossline* 1010 – 1480 zona target lapisan gas alam pada lapisan *sand #2* pada formasi yang sama terbukti mengandung hidrokarbon kelas I (perbedaan pasir pada zona impedansi tinggi) berdasarkan klasifikasi Castagna menggunakan AVO. Penelitian tersebut menghasilkan zona prospektif baru yaitu zona II dan zona III di samping zona prospektif pada sumur L-30. Parameter fisis yang terdapat pada data sumur lapangan Penobscot menunjukkan prospektif hidrokarbon yang signifikan. Eksplorasi hidrokarbon di Lapangan Penobscot terdapat dua buah sumur yaitu sumur B-41 dan L-30. Berdasarkan kedua sumur tersebut hanya ditemukan satu sumur prospektif yang mampu menghasilkan minyak bumi dan gas alam yaitu sumur L-30 sementara sumur lainnya teridentifikasi sebagai sumur kering. Melalui penerapan atribut AVO penelitian telah terbukti mampu menunjukkan zona prospektif hidrokarbon pada pada formasi Missisauga (Hermawan, 2011).

Sejauh yang penulis ketahui atribut AVO masih baru diaplikasikan di area *horizon sand #1, sand #2, sand #3, dan sand #4* pada formasi Missisauga. Oleh karena itu, perlu dilakukan observasi lanjutan guna mengidentifikasi anomali reservoir hidrokarbon berdasarkan klasifikasi Castagna di area lain melalui pembentukan horizon baru. Pembentukan *horizon* baru tersebut nantinya digunakan untuk mengembangkan zona prospektif hidrokarbon lebih lanjut pada lapangan eksplorasi Penobscot mengingat area eksplorasi yang sangat luas. Penelitian dilakukan dengan pembentukan horizon baru berdasarkan pada anomali yang terbentuk antara krosplot *log impedansi akustik dengan log gamma ray*, krosplot *log gamma ray dengan log densitas*, serta krosplot antara *log gamma ray dengan log porositas* pada data sumur sebagai acuan untuk pengembangan zona prospektif hidrokarbon baru di suatu lapisan.

Dalam upaya memperkuat zona prospektif hidrokarbon maka perlu untuk menginversi nilai *gamma ray* terlebih dahulu pada sumur dan bidang *horizon* yang telah terbentuk. Penerapan inversi *gamma ray* juga akan dilakukan pada *inline*, dan *crossline* guna mensinkronkan hasil. Sementara itu, sangat penting untuk memberikan predikat pada suatu reservoir. Oleh karena itu, maka perlu untuk melakukan proses *gridline* pada bidang *horizon*.

Pengembangan zona prospektif hidrokarbon dilanjutkan dengan aplikasi atribut AVO. Melalui atribut AVO keberadaan hidrokarbon mampu dipisahkan berdasarkan validasi amplitudo anomali pada data seismik yang berasosiasi dengan kehadiran gas pada reservoir melalui respon amplitudo *intercept* dan *gradient* (Ostrander, 1982). Hasil dikaji lebih lanjut melalui keseuaian data geologi pada *marker* geologi regional sehingga interpretasi dari pengembangan zona prospektif baru dapat tervalidasi. *Inline* akan menjadi lokasi sesuai untuk interpretasi *mapping* anomali AVO. Sementara, pengamatan dilakukan sepanjang zona hasil krosplot data sumur dengan posisi horizon sebagai acuan. Sedangkan, pada AVO analisa hasil *mapping* anomali diidentifikasi melalui klasifikasi Castagna. *Mapping* anomali AVO dilakukan guna menentukan zona prospektif baru sebagai acuan dalam produksi hidrokarbon di masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dapat diselesaikan melalui tiga tahapan. Tahapan harus dilakukan secara runtut karena penelitian yang dilakukan saling berkesinambungan. Berikut tahapan perumusan masalah dari skripsi ini:

- a. Dalam upaya menentukan posisi *horizon* pada *range* vertical, berapa hasil krosplot data sumur menunjukkan zona prospektif reservoir hidrokarbon?
- b. Bagaimana hasil identifikasi predikat besar presentase zona prospektif reservoir hidrokarbon yang diperoleh pada *horizon* melalui observasi persebaran litologi pasir hasil rekonstruksi inversi *gamma ray*?
- c. Apakah persebaran litologi pasir data sumur dengan data seismik melalui inversi *gamma ray* pada *inline* dan *crossline* telah menunjukkan hasil yang bersesuaian?

- d. Bagaimana hasil penentuan kelas AVO berdasarkan klasifikasi Castagna guna mengidentifikasi reservoir pada data seismik?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian bertujuan untuk menentukan potensi zona hidrokarbon baru berdasarkan rumusan masalah. Berikut batasan masalah dari penelitian:

- a. Data sumur yang digunakan dalam penelitian yaitu sumur L-30 dan sumur B-41;
- b. Data sumur yang digunakan yaitu data *log gamma ray* (GR), *log bulk density* (RHOB), *log neutron porosity* (NPHI), dan impedansi akustik yang digunakan untuk menentukan anomali reservoir melalui krosplot antara impedansi akustik - *gamma ray*, *gamma ray* - densitas, serta *gamma ray* – porositas;
- c. Hasil krosplot sumur menjadi acuan *picking* untuk pembentukan *horizon* baru;
- d. Rekonstruksi litologi pasir digambarkan melalui inversi *gamma ray* guna memberikan informasi tambahan terkait prospektif hidrokarbon pada penampang sumur dan penampang seismik.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan dari penelitian delineasi reservoir hidrokarbon yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan posisi *horizon* sebagai zona prospektif reservoir hidrokarbon melalui krosplot data sumur;
2. Mengidentifikasi predikat pada zona prospektif reservoir hidrokarbon untuk masing – masing *horizon* berdasarkan besar presentase luasan yang diperoleh melalui observasi persebaran litologi pasir hasil rekonstruksi inversi *gamma ray*;
3. Mengetahui kesesuaian persebaran litologi pasir pada data sumur dengan data seismik melalui identifikasi hasil rekonstruksi inversi *gamma ray* pada *inline* dan *crossline*;
4. Menentukan kelas pada atribut AVO berdasarkan klasifikasi Castagna guna mengidentifikasi prospektif reservoir hidrokarbon.

1.5 Manfaat Penelitian

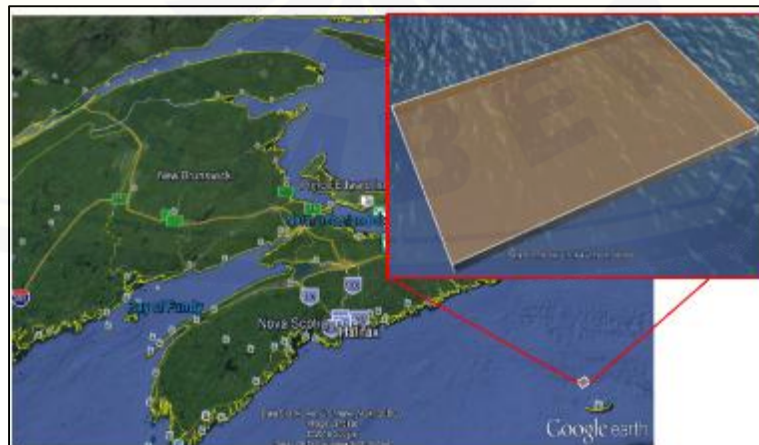
Pada masa mendatang penelitian harapannya mampu memberikan informasi mengenai kombinasi penggunaan atribut *Amplitude Versus Offset* (AVO) dengan inversi deterministik *gamma ray* untuk mengidentifikasi persebaran zona prospektif reservoir hidrokarbon. Selain itu, penelitian juga diharapkan mampu menjadi bahan masukan bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan penelitian serupa terutama dalam mengkarakterisasi reservoir hidrokarbon pada suatu lapisan.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Geologi

Sampai saat ini Nova Scotia - Kanada tetap menjadi wilayah yang gencar melakukan eksplorasi hidrokarbon. Tercatat sejak tahun 1959 terdapat 207 sumur yang telah dibor di wilayah tersebut. Lepas pantai Nova Scotia yang terdiri atas subcekungan Sable, Abenaki, dan Shelburne sepanjang penyimpanan karbonat Abenaki, serta wilayah lereng laut termasuk dalam area prospektif dalam eksplorasi hidrokarbon (CNSOPB, 2010). Pada Cekungan Scotia terdapat lapangan eksplorasi Penobscot disekitar Samudera Atlantik bagian utara, sebelah tenggara Propinsi Nova Scotia, Kanada. Pada Lapangan Penobscot terdapat sumur L-30 yang dibor oleh *Shell-Petro* Kanada tahun 1976 dengan kedalaman 4,237.5 meter pada 138 meter di bawah permukaan air. Pada sumur ini hidrokarbon ditemukan di empat lapisan pasir Missisauga Tengah. Pada daerah tersebut terdapat patahan antiklinin yang melewati bagian sumur L-30. Pengeboran kedua dilakukan oleh *Shell-Petro* Kanada pada tahun 1977 (sumur B-41). Sumur B-41 memiliki kedalaman mencapai 3414 meter pada 118 meter di bawah permukaan air. Akan tetapi, tidak ditemukan hidrokarbon pada sumur B-41. Pemetaan 3D pada sumur B-41 mengindikasikan bahwa tidak ditemukan adanya patahan pada lapisan yang dilalui oleh sumur B-41.

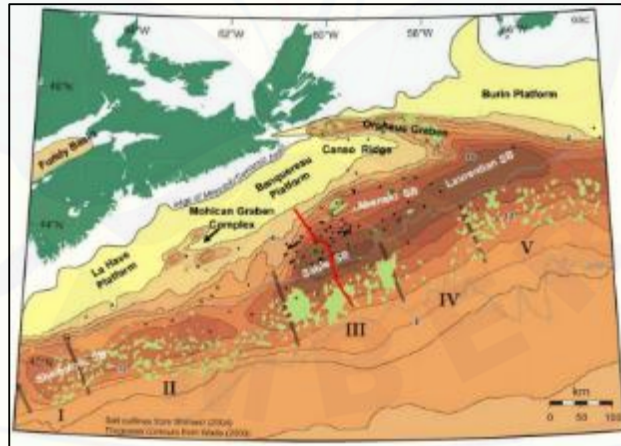


Gambar 2.1 Lapangan Penobscot, Nova Scotia - Kanada (Sumber: Google Earth, 2016)

Shell memberikan izin publikasi pada *Nova Scotian Resource Limited* (NSRL) atas prospek lapangan Penobscot tahun 1989. Pada saat itu, didapatkan data seismik seluas 66 km². Laporan interpretasi survey diselesaikan pada tahun 1991. Melalui program NS24-N011-001E survey terus dikumpulkan sejak 1980. Tujuan dari program yaitu penyediaan data secara digital agar data dapat digunakan secara umum tanpa biaya (CNSOPB, 2007). Lapangan eksplorasi Penobscot terletak pada 44°07'46" N/ 60°06'00" W tepatnya pada 25 km NW dari Pulau Sable dengan kedalaman air 50 – 150 meter (Opendtech, 2015).

2.1.1 Geologi Regional Lapangan Eksplorasi

Cekungan Scotia di lepas pantai Nova Scotia memiliki luas 300.000 km² dengan garis pantai sekitar 1200 km dari perbatasan Yarmouth Arch/ Amerika Serikat dari Barat Daya meninggalkan Avalon di Grand Banks – Newfoundland dari timur laut. Pada cekungan terdapat sub-cekungan lain serta dataran tinggi pembentuk topografi dari Barat Daya hingga Timur Laut yaitu: sub-cekungan Shelburne, punggung La Have, sub-cekungan Sable, dan sub-cekungan Abenaki. Punggung Banquereau, Orpheus Graben dan sub-cekungan Laurentian (Mukhopadhyay *et al.*, 2003).



Gambar 2.2 Sub-cekungan Shelburne, punggung La Have, Sable dan sub-cekungan Abenaki, punggung Banquereau, Orpheus Graben, dan sub-cekungan Laurentian (Sumber: Wade dan McLean, 1990)

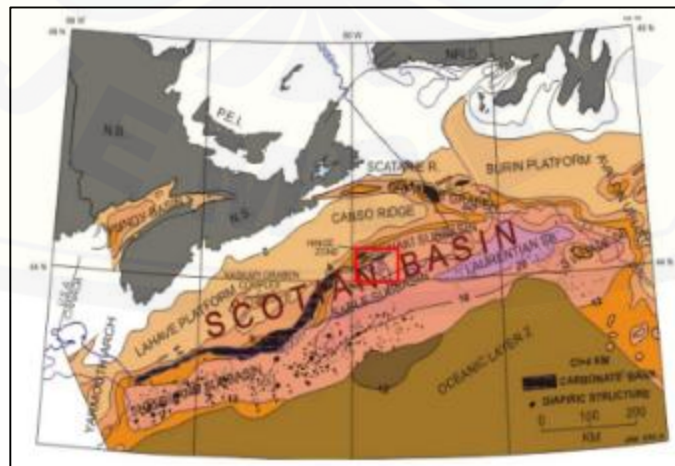
Selama retakan Pangea hingga pembentukan Atlantik Cekungan Scotia terbentuk pada daerah pinggiran benua. Retakan Pangea memisahkan Amerika Utara dengan Benua

Afrika terus berlangsung pada periode Triassic pertengahan mulai membentuk cekungan.



Gambar 2.3 Cekungan Scotia pada Super Benua Pangea (Sumber: Strange Sounds, 2013)

Mulanya cekungan berisi sedimen fluvial, lacustrine, dan intrusi batuan vulkanik. Lapisan tersebut termasuk dalam penumpukan paling awal yang mengisi cekungan. Pada Jurassic awal, batuan klasik dan karbonat mengisi cekungan secara bertahap hingga cekungan berkembang menjadi lautan sepenuhnya pada Jurassic pertengahan. Terbentuknya cekungan menjadi lautan sepenuhnya memicu terbentuknya susunan dataran aluvial, delta, dan karbonat pada cekungan.



Gambar 2.4 Skema Cekungan Scotia dan Penyusunnya (Natural Resources Kanada, 2010)

2.1.2 Statigrafi Regional Lapangan Eksplorasi

a. Formasi Eurydice

Deretan batu pasir merah tebal Triassic, batu lanau, dan batu serpih mengisi formasi Eurydice (formasi tertua) akibat regangan. Pada Graben Orpheus jenis formasi ini membentang sepanjang 600 m dengan ketebalan lapisan mencapai 3 km.

b. Formasi Argo

Formasi Argo berada di atas formasi Eurydice dan antar lapisan di pinggir cekungan mengandung garam. Distribusi garam pada cekungan menandakan bahwa mayoritas graben pada awal pengendapan terakumulasi akibat penguapan yang tebal.

c. Ketidakselarasan (*Unconformity*)

Akibat regangan pada menyebabkan ketidakselarasan yang signifikan pada Cekungan Scotia. Kondisi ini terjadi sekitar periode awal Jurassic. Ketidakselarasan ini dapat terlihat di sepanjang graben dangkal pada punggung La Have area benua yang relatif dangkal (Parker, 1997).

d. Formasi Iroquois dan Mohican

Formasi Iroquois dan Mohican berada di bawah lapisan Scotia menutupi ketidakselarasan. Formasi mengandung dolomit seusia dengan bagian bawah formasi Mohican pada punggung La Have. Ketebalan lapisan mencapai sekitar 800m.

e. Formasi Mic Mac dan Mohawk

Keberadaan formasi Mic Mac menutupi formasi Mohican. Kandungan formasi berupa klastik yang cukup tebal. Pada cekungan Scotia, formasi Mic Mac dan formasi lainnya yang ekuivalen seperti Abenaki, Mohawk, dan Verrill Canyon, berada pada periode Akhir-Pertengahan dan Akhir-*Jurassic*.

f. Formasi Verrill Canyon

Formasi Verrill Canyon berada pada periode Jurassic Tengah dan Awal Cretaceous. Formasi ini merupakan bagian dari laut dalam setara dengan formasi Mohawk, Abenaki, Mic Mac, dan Missisissauga. Kandungan utamanya berupa serpih dengan lapisan tipis dari batu karbonat, lanau, dan batu pasir. Formasi ini mengendap pada lingkungan prodelta, bagian luar lapisan, dan lereng benua dengan rentang ketebalan dari 360 meter di barat daya Cekungan hingga lebih dari 915 m di timur laut.

g. Formasi Laurentian

Sedimen Quaternary dari bagian Pliocene mengisi formasi Laurentian. Terdapat lebih dari 1500 m batu pasir, lanau, dan lempung mengisi lapisan paling tebal pada formasi Laurentian di luar lapisan benua dan daerah atas lereng.

h. Formasi Abenaki

Formasi Abenaki terbagi atas empat bagian: Scatarie, Misaine, Baccaro, dan Artimon. Formasi ini membentuk penyimpanan batuan karbonat kompleks. Batuan karbonat berkembang baik antara punggung La Have, Shelburne dan sub-cekungan Sable. Ketebalan maksimum pengeboran pada formasi ini mencapai 1644 m.

i. Formasi Missisauga

Formasi Missisauga tersebar sangat luas di Cekungan Scotia. Formasi ini memiliki berbagai variasi jenis lapisan maupun ketebalan. Melintasi punggung La Have, Burin dan perbukitan Cansi ketebalan formasi mencapai kurang dari 1000 m yang terdiri dari 60 – 80% batu pasir dengan beberapa bagian batuan karbonat di daerah barat daya. Pada sub-cekungan Sable, lebih dari 2770 m lapisan mengalami pengeboran di wilayah Pulau Sable dengan total ketebalan lapisan mencapai lebih dari 3 km. Formasi ini mengandung 30 – 50% batu pasir.

j. Formasi Logan Canyon

Formasi Logan Canyon memiliki distribusi serupa dengan Missisauga. Ketebalan lapisan formasi Logan Canyon mencapai ± 2.5 km. Formasi terbagi atas empat bagian dimana serpih mendominasi dua bagian lainnya.

k. Formasi Dawson Canyon

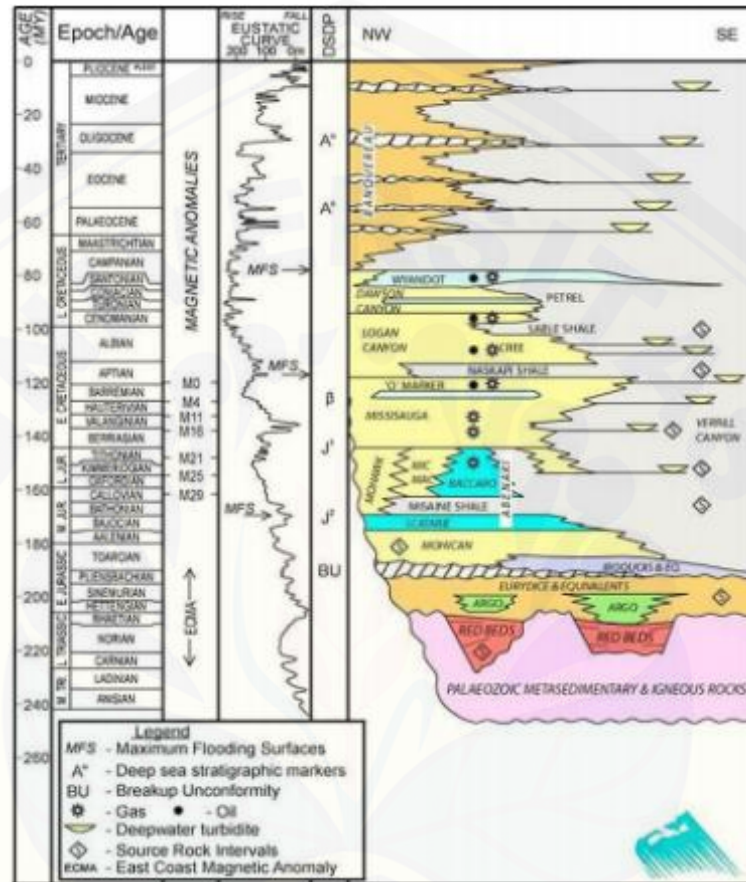
Serpih, kapur, dan sedikit batu karbonat mengendap melintasi Cekungan Scotia selama Akhir Cretaceous. Pengendapan ini menghasilkan formasi Dawson Canyon yang ketebalannya bervariasi hingga lebih dari 700 m di selatan sub-cekungan Whale.

l. Formasi Wyandot

Kapur, batuan kapur berlumpur, dan sedikit batuan karbonat mengisi formasi Wyandot. Ketebalannya mencapai kurang dari 50 m pada beberapa sumur di sekitar Pulau Sable hingga sekitar 400 m di sudut timur laut dari lapisan Scotia.

m. Formasi Banquereau

Formasi Banquereau memiliki sedimen di daerah atas Wyandot. Ketebalannya berkisar dari nol pada tepi cekungan hingga mencapai 4 km di daerah lereng benua. (CNSOPB, 2010)



Gambar 2.5 Stratigrafi Umum Cekungan Scotia (Sumber: Wade *et al.*, 1995)

2.1.3 Petroleum System Cekungan Scotia

a. Batuan induk

Pengenceran klastik yang ekstrim, lebih dari 95% dari analisis batuan induk lapisan Scotia berupa gas, condensate, dan light oil. Sebagian besar batuan induk hidrokarbon terbentuk dari periode Akhir Triassic hingga sekarang. Batuan induk terbentuk dari bahan organik laut yang terendapkan di dasar laut atau dilingkungan delta (Brown dan Kidston, 2003). Pada lapangan Penobscot batuan induk membentuk pada Akhir Triassic hingga Jurassic Tengah di formasi Abenaki dan Verill Canyon.

b. Reservoir dan Penutup

Prospek hidrokarbon lapangan Penobscot terletak pada formasi Missisauga Tengah. Pengeboran Penobscot L-30 yang produktif membuktikan prospek lapangan Penobscot (Clack dan Crane, 1992).

c. Migrasi

Minyak, *condensate*, dan gas yang terbentuk di Formasi Verrill Canyon bermigrasi melalui patahan besar Penobscot yang memecah struktur batu gamping Abenaki. Perpindahan fluida terjadi melalui patahan dan mengisi pori - pori batu pasir yang berada di formasi Missisauga Tengah (Brown dan Kidston, 2003).

2.1.4 Ekspresi Bawah Permukaan Berdasarkan Penelitian Sebelumnya

a. Karakterisasi menggunakan inversi Lamda Mu Rho pada formasi Missisauga

Pada tahun 1976 telah dilakukan pemboran sumur Penobscot L-30 oleh perusahaan minyak Shell-Petro Kanada dengan total kedalaman 4237.5 m pada kedalaman air 138 m. Analisa petrofisika mengindikasikan adanya *light oil*, *condensate*, dan gas pada tujuh lapisan batu pasir formasi Missisauga Tengah.

Analisa AVO pada *sand #1* dan *sand #2* menunjukkan adanya anomali AVO kelas III pada TWT 2000 ms dan kehadiran gas pada zona tersebut (Wibowo, 2012). Anomali AVO kelas III mempunyai AI lebih rendah dibandingkan penutup. Koefisien refleksi dari sudut datang normal memiliki nilai negatif dan semakin negatif dengan kenaikan *offset*. Pada data *stack* seismik, anomali kelas III mempunyai amplitudo dan reflektitas yang tinggi dikeseluruhan *offset*. Pasir tipe ini biasanya kurang terkompaksi dan terkonsolidasi. Anomali AVO kelas III ditandai dengan adanya *Brightspot* (refleksi amplitudo yang besar pada penampang *stack* ketika *stack* memperoleh amplitudo tinggi (Castagna *et al.*, 1998). Lamda-Rho pada zona tersebut diidentifikasi sebagai lapisan batupasir dengan porositas rendah. Sementara analisis Mu-Rho menunjukkan fluida berupa gas yang terdapat pada sumur L-30 (Wibowo, 2012).

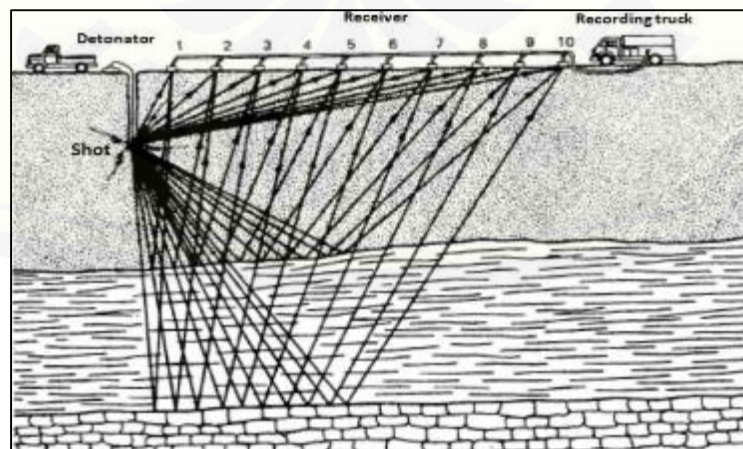
b. Karakterisasi menggunakan inversi impedansi akustik

Lapangan Penobscot memiliki prospek hidrokarbon pada formasi Missisauga dengan reservoirnya berupa batu pasir. Selain itu, pada zona tertentu diidentifikasi

terdapat hidrokarbon yang terjebak pada reservoir batu pasir Missisauga. Hal tersebut dibuktikan melalui nilai resistivitas yang tinggi pada setiap permukaan reservoir sebelum litologi berubah menjadi serpih. Penurunan resistivitas yang terjadi pada pertengahan reservoir diidentifikasi sebagai air yang mendorong hidrokarbon ke puncak reservoir pada *sand #3*, *sand #4*, dan *sand #5* (Waharasto, 2012).

2.2 Konsep Dasar Eksplorasi Seismik Refleksi

Mondol *et al.* (2010) menyatakan bahwa metode seismik refleksi bagian dari metode geofisika banyak diaplikasikan dalam eksplorasi hidrokarbon. Pencitraan seismik dapat diperoleh dengan merekam dan menganalisa gelombang suara yang merambat di tanah melalui pemanfaatan gelombang pantul (refleksi) dari batuan bawah permukaan. Pemanfaatan gelombang pantul dilakukan dengan mengirim sinyal dalam bentuk gelombang ke dalam bumi. Sinyal umumnya bersumber dari getaran yang dipancarkan melalui permukaan bumi. Adapun getaran yang digunakan sebagai sinyal pada eksplorasi di daratan (*onshore*) biasanya berupa ledakan dinamit, sedangkan pada eksplorasi di lautan (*offshore*) berupa *air gun*. Sinyal yang bersumber dari getaran akan memantul ketika melalui batas antara dua lapisan. Selanjutnya, sinyal pantul direkam oleh penerima (*geophone* atau *hydrophone*). Data yang terekam penerima berupa waktu tempuh gelombang pantul yang memberikan informasi cepat rambat gelombang pada lapisan. Selain cepat rambat gelombang terdapat variabel lain yang digunakan untuk menggambarkan lapisan seperti amplitudo, frekuensi, dan fasa gelombang.



Gambar 2.6 Ilustrasi Metode Seismik Refleksi (Sumber: Drijkoningen dan Verschuur, 2003)

2.3 Sifat Fisika Batuan

2.3.1 *Gamma Ray*

Log Gamma Ray merespon radiasi *gamma* alami formasi batuan (Elis dan Singer, 2008). *Log gamma ray* mencerminkan kandungan unsur radioaktif di formasi batuan. Hal ini disebabkan karena elemen radioaktif yang terkonsentrasi pada lempung dan serpih. Formasi batuan pasir dan gamping dengan kandungan material radioaktif rendah menyebabkan nilai *log gamma ray* menjadi rendah. *Gamma ray* diperoleh dari hasil gelombang elektromagnetik berenergi tinggi yang keluar secara spontan dari elemen radioaktif. Dalam melewati suatu materi, *gamma ray* bertumbukan dengan atom penyusun formasi. *Gamma ray* akan kehilangan energi setiap kali mengalami tumbukan. Setelah energinya menghilang, *gamma ray* diabsorpsi oleh atom formasi melalui efek fotolistrik (Ellis dan Singer, 2008). *Gamma ray* diabsorpsi secara bertahap dengan energi yang terus tereduksi setiap melewati formasi (Schlumberger, 1989).

2.3.2 Impedansi Akustik

Salah satu sifat akustik pada batuan yaitu impedansi akustik (Z), merupakan hubungan antara densitas (ρ) dan kecepatan gelombang (v) saat melewati batuan.

$$Z = \rho \cdot v \quad (2.1)$$

Dalam mengontrol impedansi akustik, kecepatan lebih diutamakan dibandingkan densitas (Sukmono, 2002). Hal ini terjadi karena densitas memiliki nilai yang nyaris sama antara batuan satu dengan lainnya sehingga cenderung mengalami penumpukan. Batuan kompak (porositas kecil) memiliki impedansi akustik lebih tinggi jika dibandingkan batuan yang tidak kompak (porositas besar) karena gelombang seismik mudah merambat melewati batuan dengan porositas kecil. Perbedaan impedansi akustik antara batuan satu dengan lainnya disebut dengan koefisien refleksi.



Gambar 2.9 Impedansi (Merah) dan Koefisien Refleksi (Hitam) (Sumber: Hermawan, 2011)

Nilai koefisien refleksi dapat bernilai positif maupun negatif bergantung pada nilai impedansi kedua medium. Koefisien refleksi merupakan perbandingan antara energi pantul dan energi datang yang dinyatakan dengan:

$$\text{Koefisien refleksi} = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2.2)$$

(Hermawan, 2011)

2.3.3 Densitas

Densitas merupakan perbandingan antara massa (kg) dengan volumenya (m^3). Log densitas merekam densitas *bulk* formasi batuan (Schlumberger, 1989). Densitas *bulk* merupakan densitas total dari batuan meliputi matriks padat dan fluida yang mengisi pori (Rider, 1996). Log Densitas diperoleh dari sumber radioaktif yang diarahkan ke dinding bor sehingga akan keluar *gamma ray* berenergi sedang ke dalam formasi. *Gamma ray* bertumbukan dengan elektron di dalam formasi. Setiap tumbukan, *gamma ray* kehilangan sebagian energi. Jenis interaksi ini dikenal dengan hamburan Compton. Hamburan *gamma ray* tersebut kemudian ditangkap oleh detektor yang ditempatkan dekat sumber *gamma ray*. Jumlah *gamma ray* yang kembali kemudian digunakan sebagai indikator densitas formasi (Schlumberger, 1989). Batuan akan mempunyai nilai densitas tertentu dan ini dapat digunakan untuk membedakan litologi. Efek dari densitas dapat dimodelkan dalam persamaan Wyllie:

$$\rho_b = \rho_m(1 - \phi) + \rho_w S_w \phi + \rho_{hc}(1 - S_w)\phi \quad (2.3)$$

Dimana: ρ_b = densitas bulk batuan S_w = saturasi air
 ρ_m = densitas matriks ρ_w = densitas air (mendekati 1 gr/cm^3)
 ρ_f = densitas fluida ρ_{hc} = densitas hidrokarbon
 ϕ = porositas batuan

(Russell, 1998)

2.3.4 Porositas

Penentuan porositas batuan dilakukan dengan menggunakan log neutron. Neutron merupakan bagian dari atom yang tidak memiliki muatan namun massanya

sama dengan inti hidrogen. *Log* ini mendeteksi keberadaan hidrogen di formasi batuan. Pada formasi dengan pori batuan berisi fluida, *log* neutron merefleksikan porositas berisi fluida (Schlumberger, 1989). Porositas total merupakan perbandingan antara volume pori batuan dengan volume totalnya.

$$\text{Porositas total } (\varphi) = \left(\frac{\text{Volume pori}}{\text{Volume totalnya}} \right) \times 100\% \quad (2.4)$$

Selain itu, terdapat juga porositas efektif yang didefinisikan sebagai perbandingan bagian dari volume pori dimana air masih bisa bersirkulasi terhadap volume total. Porositas efektif biasanya mempunyai nilai yang lebih kecil daripada rongga pori total.

$$\text{Porositas efektif } (\varphi) = \left(\frac{\text{Volume pori} - \text{pori bersirkulasi}}{\text{Volume totalnya}} \right) \times 100\% \quad (2.5)$$

(Russell, 1998)

2.3.5 Seismik Inversi Deterministik dan Probabilistik

Inversi data seismik dilakukan untuk membuat model reservoir hidrokarbon sehingga dapat dikarakterisasi dan dilakukan pengembangan. Pemodelan suatu reservoir biasanya selalu dilakukan dengan metode AVO yang diinterpretasi bersama dengan impedansi akustik untuk kemudian dianalisa berdasarkan sebaran statistiknya. Metode inversi seismik ini sendiri menggunakan dua pendekatan, yaitu deterministik dan probabilistik yang hasilnya berupa sebaran porositas, saturasi air, dan volume total batuan reservoir. Metode deterministik digunakan untuk menentukan suatu nilai secara kuantitatif yang selanjutnya akan digunakan dalam pertimbangan estimasi zona terbaik maupun zona yang kurang prospektif. Sedangkan, metode probabilistik digunakan untuk memberikan sebaran nilai data berdasarkan probabilitas nilai properties yang dihitung (Cooke dan Cant, 2010).

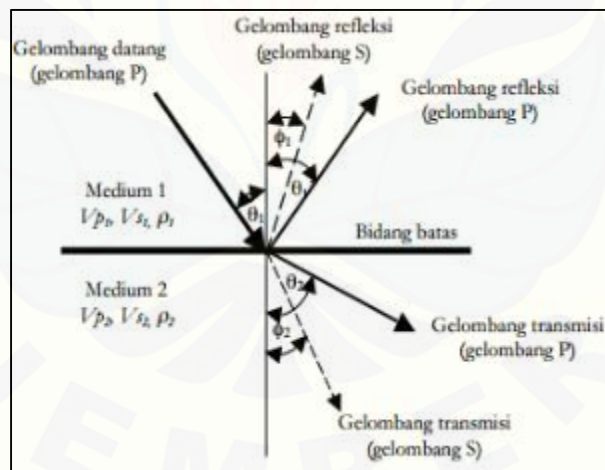
2.3.6 *Amplitude Versus Offset* (AVO)

Amplitude Versus Offset (AVO) merupakan teknik validasi amplitudo anomali pada seismik berasosiasi dengan kehadiran gas pada reservoir (Ostrander, 1982). Amplitudo anomali muncul akibat penurunan koefisien refleksi gelombang seismik

secara drastis dari puncak lapisan mengandung gas bila dibandingkan dengan koefisien refleksi lapisan sekitar *brightspot*. AVO muncul akibat adanya partisi energi pada bidang pemantul. Amplitudo dan energi yang terefleksikan tergantung pada sifat fisik diantara bidang pemantul. Sebagai konsekuensinya, koefisien refleksi menjadi fungsi dari kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang S (V_s), densitas (ρ) dari setiap lapisan serta sudut datang sinar seismik. Sudut datang, gelombang refleksi, dan transmisi pada batas lapisan ini mengikuti hukum Snellius (Haris, 2008).

Hukum Snellius menyatakan bahwa sudut refleksi selalu menunjukkan sudut yang sama dengan sudut datangnya. Sudut datang dan sudut pantul diukur dari batas normal antara dua lapisan dengan impedansi seismik berbeda (Gadallah dan Fisher, 2009). Menurut Bjorlykke (2010), gelombang suara menjalar di antara dasar sedimen dengan kecepatan berbeda, gelombang akan dibiaskan menurut hukum Snell:

$$\frac{\sin x_1}{\sin x_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2.6)$$



Gambar 2.8 Refleksi dan Transmisi Gelombang Datang (Sumber: Yilmaz, 2001)

Perumusan persamaan koefisien refleksi untuk sudut tidak normal dihitung berdasarkan konsep konservasi energi pada saat gelombang melewati bidang batas dengan kontinuitas tegangan dan pergeseran dalam sistem persamaan linier. Berikut persamaan Knot-Zeopritz:

$$\begin{bmatrix} \sin\theta_1 & \cos\varphi_1 & -\sin\theta_2 & \cos\varphi_2 \\ -\cos\theta_1 & \sin\varphi_1 & -\cos\theta_2 & -\sin\varphi_2 \\ \sin 2\theta_1 & \frac{\alpha_1}{\beta_1} \cos 2\varphi_1 & \frac{\rho_2 \alpha_1 \beta_2^2}{\rho_1 \alpha_2 \beta_1^2} \sin 2\varphi_2 & -\frac{\rho_2 \alpha_1 \beta_2}{\rho_1 \beta_1} \cos 2\varphi_2 \\ \cos 2\varphi_1 & -\frac{\beta_1}{\alpha_1} \sin 2\varphi_1 & -\frac{\rho_2 \alpha_2}{\rho_1 \alpha_1} \cos 2\varphi_2 & -\frac{\rho_2 \beta_2}{\rho_2 \alpha_1} \sin 2\varphi_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{PR} \\ A_{SR} \\ A_{PT} \\ A_{ST} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin\theta_1 \\ -\cos\theta_1 \\ \sin 2\theta_1 \\ -\cos 2\varphi_1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

dimana:

A_{PR} = koefisien refleksi gelombang P	φ_1 = sudut pantul gelombang S
A_{SR} = koefisien refleksi gelombang S	φ_2 = sudut bias gelombang S
A_{PT} = koefisien transmisi gelombang P	ρ = densitas
A_{ST} = koefisien transmisi gelombang S	α = kecepatan gelombang P
θ_1 = sudut datang gelombang P	β = kecepatan gelombang S
θ_2 = sudut bias gelombang P	

(Knot dan Zeoppritz dalam Haris, 2008)

Koefoed dalam Hermawan (2011) menyatakan bahwa, dalam kondisi tertentu koefisien refleksi dapat berubah secara ekstrim dengan perubahan sudut datang. Penelitian tersebut dilakukan melalui perhitungan dengan memberikan nilai perbandingan Possion (rasio Possion) yang berbeda pada dua lapisan yang saling berbatasan. Dari hasil penelitian Koefoed dapat disimpulkan:

- Koefisien refleksi berubah sebagai fungsi sudut datang.
- Perubahan koefisien refleksi terhadap sudut datang berbeda karakteristiknya untuk tiap formasi bergantung pada fisisnya.
- Prediksi litologi dan kurva koefisien refleksi memungkinkan untuk didefinisikan.

Bortfeld dalam Hermawan (2011) menyatakan bahwa, penggambaran pengaruh sifat fisis batuan terhadap amplitudo refleksi didapat melalui pendekatan persamaan Zeoppritz. Penelitian tersebut menitikberatkan pada aplikasi rasio Possion pada kondisi tertentu serta pada faktor yang mempengaruhi rekaman amplitudo sebagai fungsi *offset*.

- Rasio Possion mempengaruhi perubahan koefisien refleksi sebagai sudut datang.
- Analisa amplitudo refleksi sebagai fungsi *offset* dapat dikenali pada tipe pasir gas dan tidak menutupi kemungkinan pada jenis lainnya.

Persamaan Knot-Zeoppritz dalam analisis AVO terus mengalami modifikasi dan penyederhanaan. Shuey dalam Haris (2008) menyatakan, penyederhanaan perhitungan koefisien refleksi gelombang P dari persamaan Knot-Zeoppritz menjadi:

$$R(\theta) = R_0 + \left[A_0 R_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma)^2} \right] \sin^2\theta + \frac{1}{2} \frac{\Delta Vp}{Vp} (\tan^2\theta - \sin^2\theta) \quad (2.8)$$

dimana:

Vp = rata – rata kecepatan gelombang P

σ = perbandingan Possion

R_0 dan A_0 didefinisikan sebagai:

$$R_0 = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta Vp}{Vp} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \right] \quad (2.9)$$

$$A_0 = B - 2(1+B) \left(\frac{1-2\sigma}{1-\sigma} \right) \quad (2.10)$$

dimana:

$$B = \frac{\frac{\Delta Vp}{Vp}}{\left(\frac{\Delta Vp}{Vp} + \frac{\Delta\rho}{\rho} \right)} \quad (2.11)$$

dengan,

$$Vp = \frac{Vp_2 + Vp_1}{2}$$

$$\Delta Vp = Vp_2 - Vp_1$$

$$\rho = \frac{\rho_2 + \rho_1}{2}$$

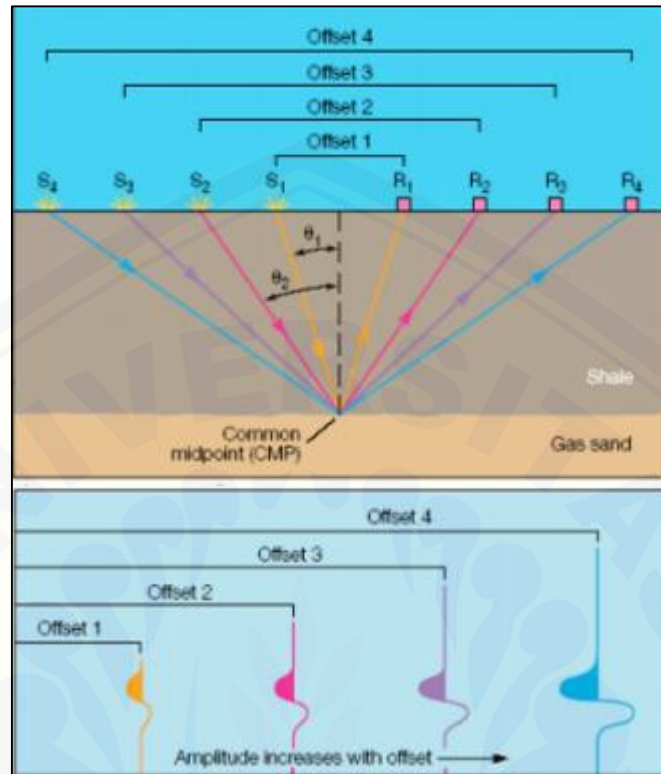
$$\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1$$

$$\sigma = \frac{\sigma_2 + \sigma_1}{2}$$

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$$

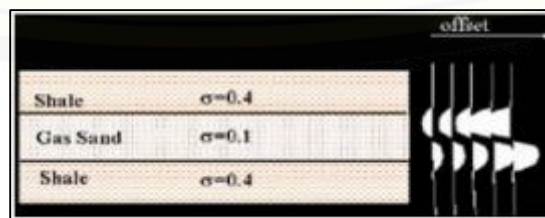
dimana, indeks 1 dan 2 menandakan lapisan atas dan bawah bidang (Haris, 2008).

Analisis AVO bertumpu pada perubahan amplitudo terpantul terhadap jarak sumber gelombang ke *geophone* penerima (*offset*). Dalam hal ini semakin besar jarak sumber *geophone* penerima (*offset*) semakin besar pula sudut datangnya (Haris, 2008).



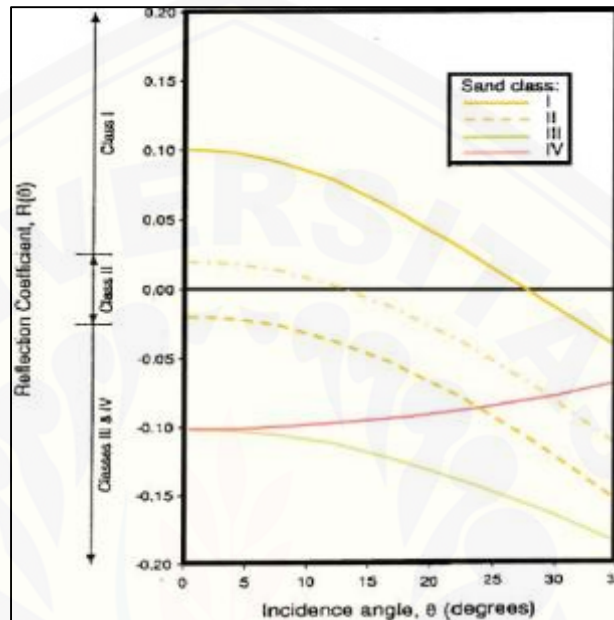
Gambar 2.9 Hubungan *Offset* dengan Sudut Datang (θ) dan Sinyal Datang Terekam dalam Titik *Reflector* yang Sama (Sumber: Chiburis *et al* dalam Septiani *et al.*, 2013)

Analisa AVO dilakukan dalam *Common Mid Point* (CMP) *gather*. CMP *gather* merupakan sekumpulan trace yang memiliki titik tengah yang sama. Sementara CMP *gather* pada reflector miring sbiasa disebut *Common Deep Point* (CDP) *gather*. Amplitudo setiap offset dalam *gather* diregresi secara linier untuk menyederhanakan hubungan amplitudo dengan *offset*. Dengan demikian, atribut AVO *intercept-gradient* dari garis yang menggambarkan respon amplitudo terhadap sudut datang. Analisa AVO dapat menggunakan model dasar 3 lapisan dengan rasio Poisson berbeda.



Gambar 2.10 Model Dasar Anomali AVO (Sumber: Castagna *et al.*, 1998)

Amplitudo berkumpulnya *offset* adalah refleksi negatif pada *offset* dekat dan lebih negatif jika *offset* jauh, digambarkan dengan nilai absolut dari kenaikan amplitudo terhadap bertambahnya *offset*. AVO terbagi atas:



Gambar 2.11 Klasifikasi Anomali AVO (Sumber: Castagna, 1997)

- Kelas I (perbedaan pasir pada zona impedansi tinggi), impedansi akustik (AI) lebih tinggi dibanding lapisan penutupnya. Koefisien refleksi sudut datang normal adalah positif pada atas batu pasir dan negatif pada dasar batu pasir.
- Kelas II (perbedaan pada pasir impedansi menengah), mempunyai harga AI yang sama dengan penutup. Koefisien refleksi dari sudut datang normal bernilai kecil (magnitudonya kurang dari 0.02) pada atas dan bawah pasir gas, tetapi amplitudo lebih besar daripada sekitarnya. Tipe pasir ini lebih kompak dan terkonsolidasi.
- Kelas III (perbedaan pada pasir impedansi rendah), mempunyai AI lebih rendah dibandingkan penutup. Pasir tipe ini biasanya kurang terkompaksi dan terkonsolidasi. Ciri kelas ini adanya peristiwa *Brightspot* (refleksi amplitudo) yang besar pada penampang *stack* ketika *stack* diperoleh amplitudo tinggi.

(Sumber: Rutherford dan Williams, 1989)

Castagna *et al.* (1998) mengajukan klasifikasi dari respon AVO berdasarkan pada posisi krosplot dari A (*intercept*) versus B (*gradient*). Klasifikasi Castagna identik dengan klasifikasi Rutherford and Williams (1989) untuk pasir gas kelas 1, kelas 2, dan kelas 3. Pada klasifikasi Castagna pasir gas kelas 3 dibagi lagi menjadi dua kelas yaitu kelas 3 dan kelas 4. Klasifikasi baru yang terbentuk yaitu:

- a. Kelas IV (perbedaan pada pasir impedansi rendah), pada data *stack* seismik berupa *brightspot* tetapi magnitudo refleksi turun dengan kenaikan *offset*. Batu pasir kelas IV biasanya muncul pada pasir berpori yang dibatasi oleh litologi dengan kecepatan gelombang seismik seperti serpih (contoh: kerikil atau batu kapur), batu endapan, pasir terkompaksi atau karbonat (Castagna *et al.*, 1998).

Atribut AVO digunakan untuk menganalisis perubahan amplitudo sinyal yang dipantulkan dengan bertambahnya *offset* (sudut datang). Analisis AVO terdiri atas:

- a. *Intercept* (A) merupakan besarnya amplitudo refleksi pada *offset* nol atau koefisien refleksi sudut datang normal ($\theta = 0$). Atribut ini menunjukkan perubahan litologi.
- b. *Gradient* (B) merupakan besarnya perubahan amplitudo relatif (A) dengan sinus kuadrat sudut datang ($\sin^2\theta$) atau *offset*. Atribut ini tidak memberikan informasi tentang kehadiran fluida pada formasi batuan melalui penambahan atau pengurangan amplitudo terhadap *offset*. Guna mengetahui pengaruhnya, atribut ini digunakan bersamaan dengan *intercept* (Hermawan, 2011).

Berdasarkan persamaan (2.8), *intercept* didefinisikan sebagai suku pertama sedangkan *gradient* sebagai suku kedua (Shuey dalam Haris, 2008).

$$R(\theta) = R_0 + \left[A_0 R_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1 - \sigma)^2} \right] \sin^2\theta + \dots \quad (2.12)$$

dimana:

$$R_0 = \textit{intercept} (A)$$

$$\left[A_0 R_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1 - \sigma)^2} \right] = \textit{gradient} (B)$$

(Haris, 2008)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

Data berupa data dokumentasi yang akan dijadikan sebagai data penelitian. Data diperoleh melalui <http://opendtect.org> yang disediakan untuk umum secara gratis melalui program NS24-N011-001E. Data terkumpul semenjak tahun 1980 atas ijin publikasi dari Shell pada tahun 1982. *Nova Scotian Resource Limited* (NSRL) memberikan izin publikasi untuk merancang laporan interpretasi bagi survey di lapangan Penobscot. Saat itu, laporan memperoleh data seismik seluas 66 km², termasuk di dalamnya terdapat data sintetik dan data konversi kedalaman yang melalui tahap penyelesaian sejak tahun 1991 (CNSOPB, 2007).

Lapangan Penobscot terdiri atas sumur L-30 yang dibor oleh Shell-Petro Kanada pada tahun 1976 hingga kedalaman 4,237.5 meter pada 138 meter di bawah permukaan air. Hidrokarbon ditemukan pada empat lapisan pasir di Missisauga Tengah dimana terdapat patahan antiklinin yang melewati bagian sumur L-30. Data eksplorasi berupa data seismik *Pre-Stack Time Migration* (PSTM). PSTM merupakan teknik migrasi data seismik yang diterapkan sebelum proses *stacking*. *Pre-Stack Time Migration* memberikan hasil berupa pencitraan struktur yang kompleks. Adapun data yang digunakan dalam penelitian yaitu sebagai berikut:

3.1.1 Data Primer

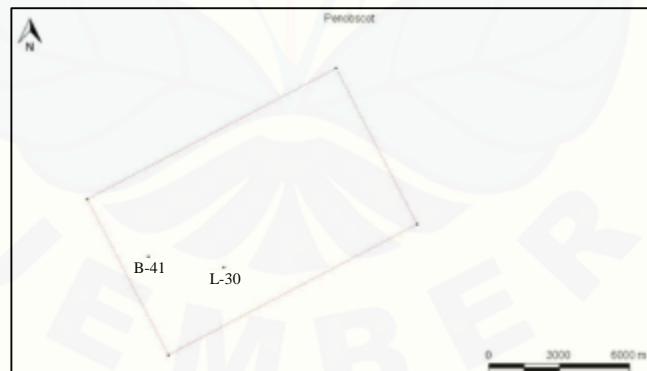
Data primer merupakan informasi yang terkumpul terutama untuk tujuan investigasi yang sedang dilakukan (Hendri, 2009). Pada penelitian data primer berupa data dokumentasi yang diperoleh melalui <http://opendtect.org> yang terdiri atas:

- a. Data *Log* Sumur, digunakan untuk mengidentifikasi kondisi lapisan bawah permukaan. Data *log* data sumur diperoleh melalui proses pengeboran sumur pada suatu area. Data ini akan digunakan sebagai parameter fisis dalam penelitian yaitu impedansi akustik, densitas, porositas, dan *gamma ray*. Dalam penelitian data *log*

sumur digunakan untuk memperoleh informasi lokasi penentuan *horizon* melalui krosplot pada sumur L-30 Lapangan Eksplorasi Penobscot. Berikut data sumur lapangan eksplorasi Penobscot:

Tabel 3. 1 Informasi Sumur L-30 dan Sumur B-41 (Sumber: Smith *et al.*, 2015)

	Penobscot B-41	Penobscot L-30
Koordinat X	731133.46	734338.86
Koordinat Y	48994307.87	4893837.87
<i>Inline</i>	1316	1284
<i>Xline</i>	1071	1046
CDP	16924	1493
Kedalaman Awal (m)	331.775	319.461
Kedalaman Akhir (m)	3444.158	4221.424
Kelly Bushing (KB)	0.0000	30.4495
Kedalaman (m)	3450	4251
Jenis Sumur	Kering	Minyak dan Gas



Gambar 3.1 Base Map Data Seismik Melalui Opendtect

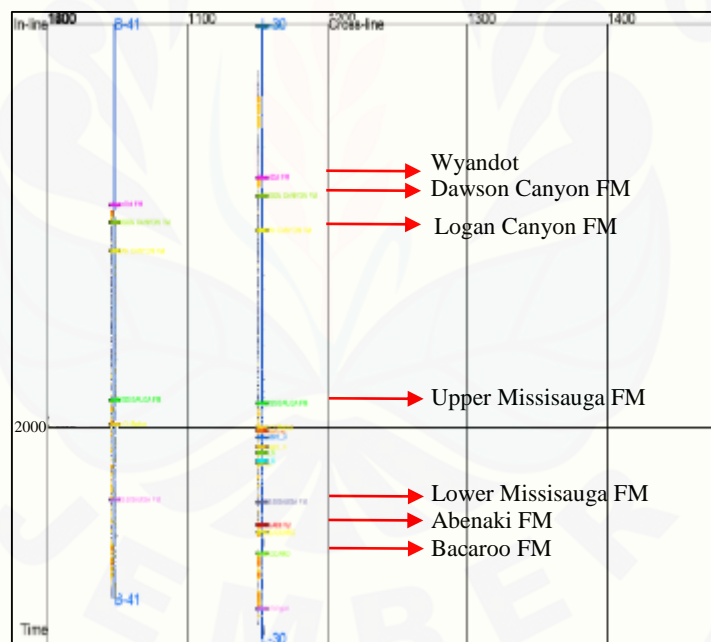
- b. Data Seismik, digunakan untuk interpretasi data seismik. Data seismik diperoleh melalui proses eksplorasi baik di daratan (*onshore*) maupun di lautan (*offshore*). Adapun jenis data yang digunakan yaitu data *pre-stack* dengan jumlah *inline* 601

(1000 – 1600) dengan jarak spasi 12.498, jumlah *xline* 482 (1000 – 1480) dengan jarak spasi 25.007. Hal tersebut digunakan untuk menentukan *picking horizon*.

3.1.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan informasi yang terkumpul bukan untuk kepentingan studi yang sedang dilakukan saat ini tetapi untuk beberapa tujuan lain (Hendri, 2009).

- a. Data *Marker* Geologi, digunakan untuk mengkorelasi lapisan dengan sumur. Data marker digunakan secara berdampingan dengan data sumur guna menunjukkan posisi lapisan batuan di suatu area. Pada penelitian data marker diaplikasikan ketika mencocokkan lokasi prospek hidrokarbon pada formasi batuan berdasarkan pada letak *marker* di sumur sehingga hasil dapat sesuai dengan kondisi geologi.

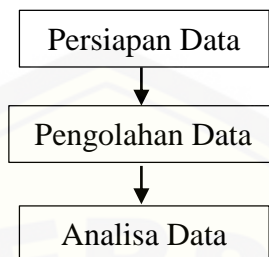


Gambar 3.2 Posisi Data *Marker* pada Sumur L-30 dan B-41

Lapisan formasi batuan yang muncul pada data *marker* sudah sesuai dengan stratigrafi yang terdapat pada **Gambar 2.5**. Formasi yang muncul pada gambar di atas sudah disesuaikan dengan kondisi litologi cekungan Scotia.

3.2 Skema Kerja Penelitian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan penelitian yaitu:

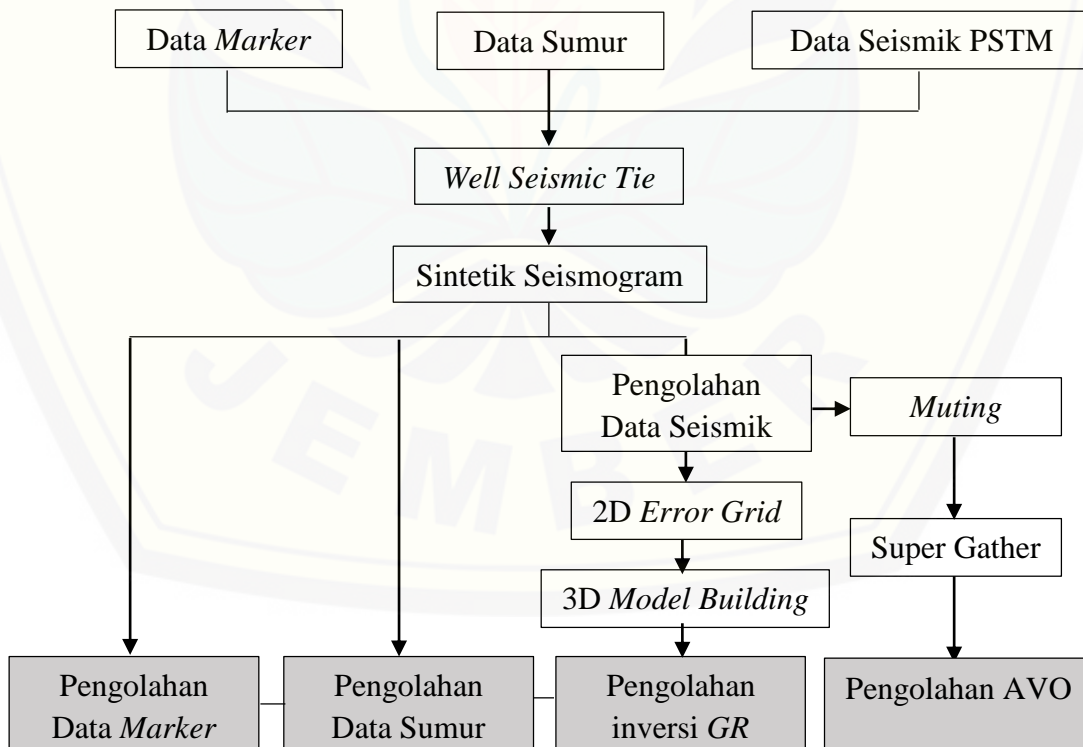


Gambar 3.3 Skema Kerja Penelitian secara Umum

3.2.1 Persiapan Data

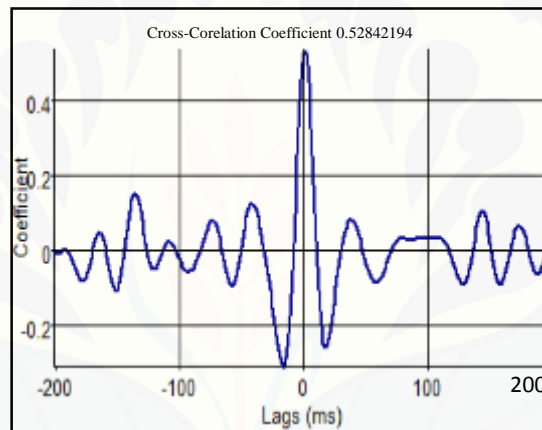
Data yang akan diolah perlu melalui proses penyesuaian guna didapatkan data yang sesuai dengan kondisi geologi. Data yang sudah dilokalisir perlu melalui tahapan verifikasi terlebih dahulu guna meningkatkan validasi terhadap hasil yang diperoleh.

Berikut proses persiapan data yang dilakukan dalam penelitian:

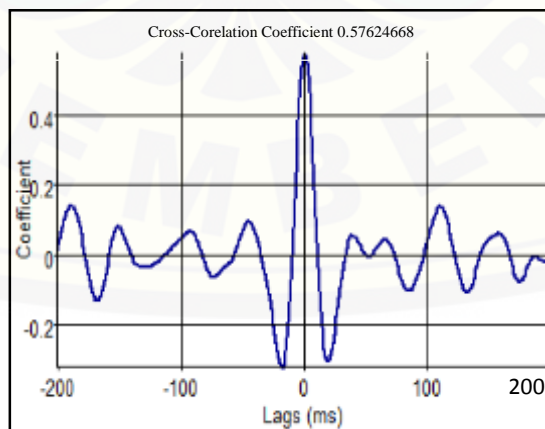


Gambar 3.4 Tahap Persiapan Data

- a. *Well Seismic Tie* merupakan tahapan untuk mengikatkan data sumur dengan data seismik. *Well Seismic Tie* digunakan untuk menempatkan bidang reflektor seismik pada kedalaman sebenarnya guna mengkorelasi informasi geologi dari data sumur dengan data seismik. Prinsip kerjanya yaitu mencocokkan bidang refleksi data seismik dengan sintetik seismogram yang bersesuaian dengan suatu bidang batas.
- b. Sintetik Seismogram merupakan hasil konvolusi antara deret koefisien refleksi dengan *wavelet*. Sintetik Seismogram berfungsi untuk mengidentifikasi *horizon* dengan geologi permukaan sumur pengeboran. Identifikasi formasi penampang seismik memungkinkan ditelusuri pada arah lateral melalui data seismik.



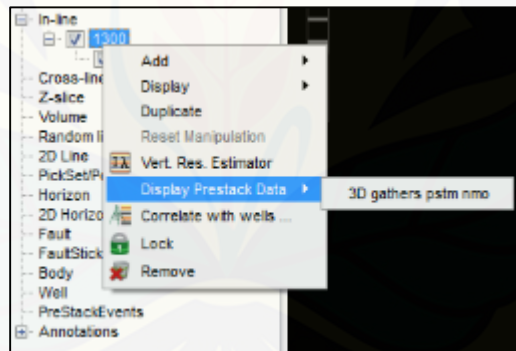
Gambar 3.5 Koefisien Korelasi Sumur L-30



Gambar 3.6 Koefisien Korelasi Sumur B-41

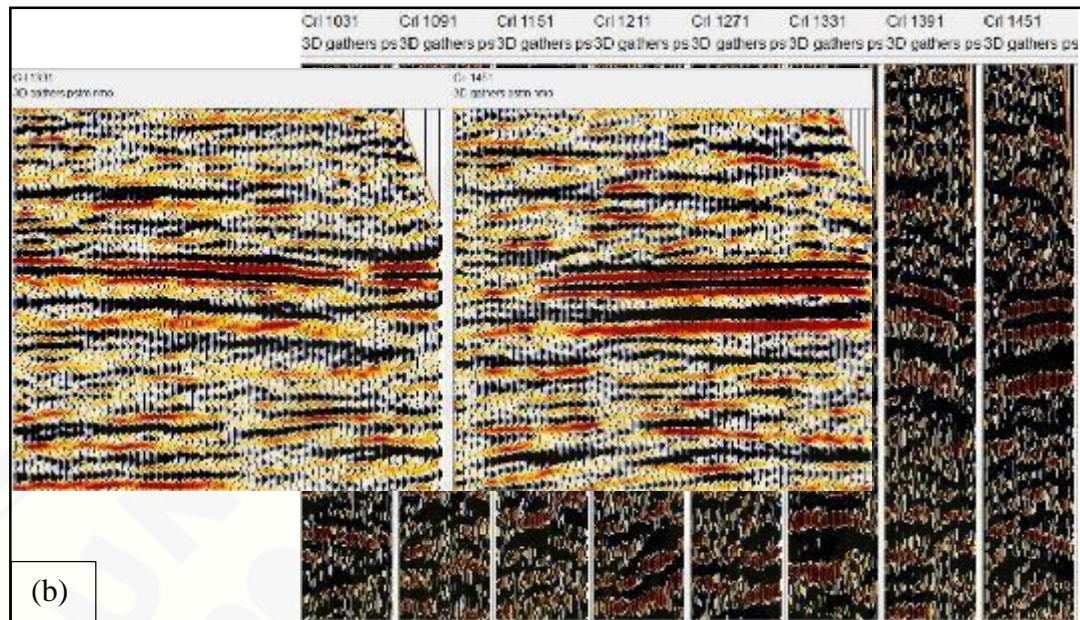
Well seismic tie memiliki nilai korelasi antara 0 – 1, semakin besar nilainya maka antara sintetik seismogram dengan data seismik akan semakin sesuai. Korelasi sumur L-30 (**Gambar 3.5**) memiliki nilai korelasi sebesar 0.52842194. Sementara pada Sumur B-41 (**Gambar 3.6**) memiliki nilai koefisien korelasi sebesar 0.57824668. Kedua hasil korelasi sudah mencapai standar nilai sesuai untuk digunakan dalam mengambil data, dengan demikian dapat dikatakan bahwa data sudah dapat dipergunakan sebagai acuan untuk interpretasi hasil.

- c. *2D Error Grid* merupakan tahap awal membangun inversi *gamma ray*.
- d. *3D Model Building*, dilakukan guna membuat nilai *gamma ray* menjadi inversi sehingga mampu menunjukkan litologi berpasir pada *horizon* dan *inline*.
- e. *Mute*, proses ini dilakukan melalui pembuangan sinyal noise yang tidak diinginkan dalam bentuk 2 dimensi.



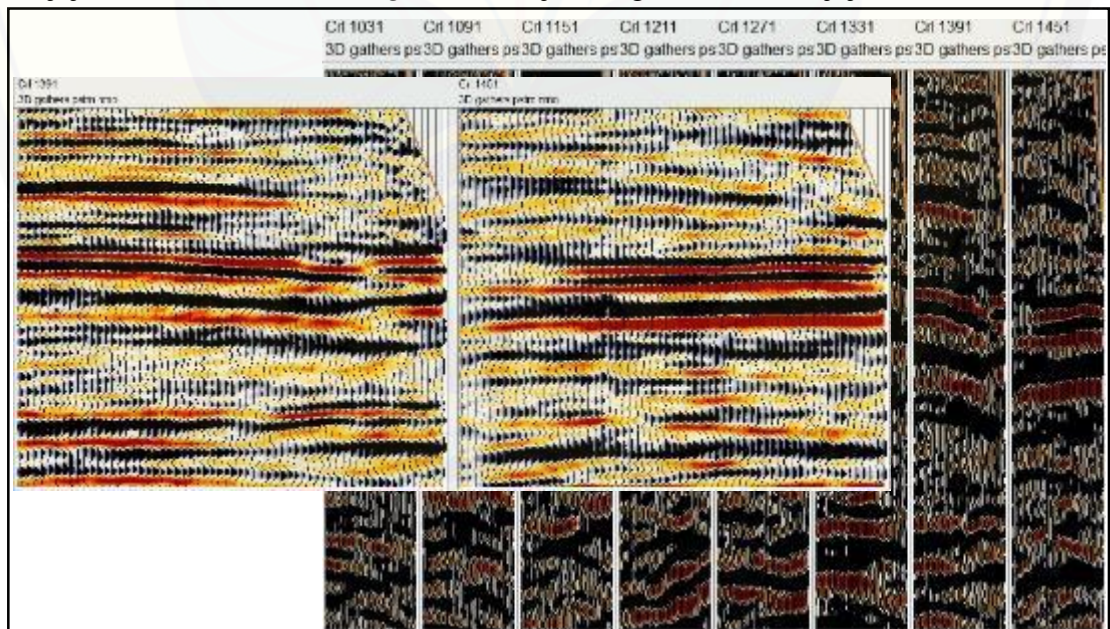
Gambar 3.7 Proses Memunculkan Data *Normal Move Out* (NMO)

Gambar 3.7 menunjukkan proses pemilihan sinyal *noise* yang akan dibuang melalui proses *mute* di setiap *trace* seismik pada *gather panel*. *Mute* dilakukan untuk menghilangkan efek '*stretching*'. Koreksi *Normal Move Out* (NMO) merupakan tahapan yang diterapkan guna mengoreksi adanya efek '*stretching*' yang menurunkan frekuensi disebabkan oleh jarak *offset* antara sumber gelombang seismik dengan *geophone* pada suatu *trace* yang berasal dari satu CMP (*Common Mid Point*) atau CDP (*Common Depth Point*). Satu titik CMP atau CDP akan terekam oleh



Gambar 3.9 (a) Proses *Mute*; (b) *Outer Mute* pada *Inline* 1300

f. *Super Gather* adalah penjumlahan beberapa CMP yang berdekatan guna meningkatkan S/N (*signal to noise ratio*). Proses dilakukan dengan analisa tiap jejak seismik dalam *CMP gather* dilanjut dengan meratakan jejak seismik.

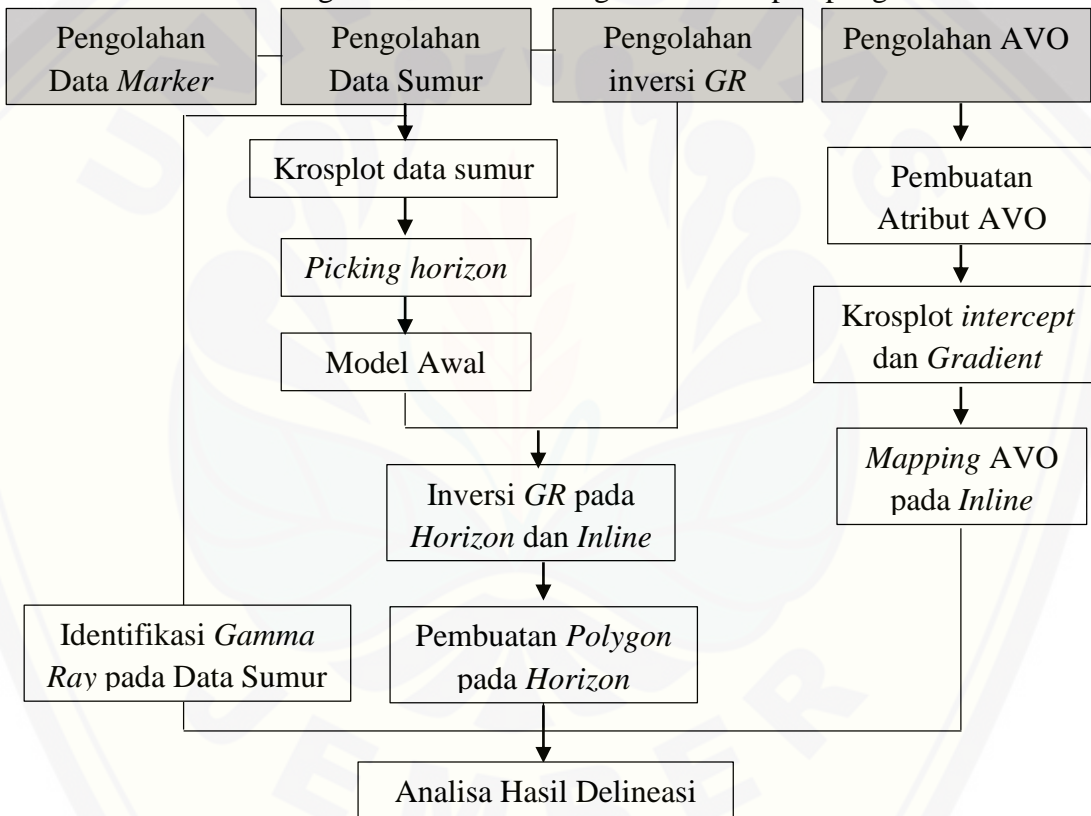


Gambar 3.10 *Super Gather* pada *Inline* 1300

Gather panel menampilkan *super gather* dari sejumlah CMP yang telah ditentukan. Super gather didapat dari sejumlah CMP yang masing-masing tracenya di-*stack*, sehingga menghasilkan hanya satu CMP gather. **Gambar 3.10** menunjukkan tampilan *super gather* pada beberapa *trace* seismik dengan hasil resolusi *trace* yang lebih baik.

3.2.2 Pengolahan Data

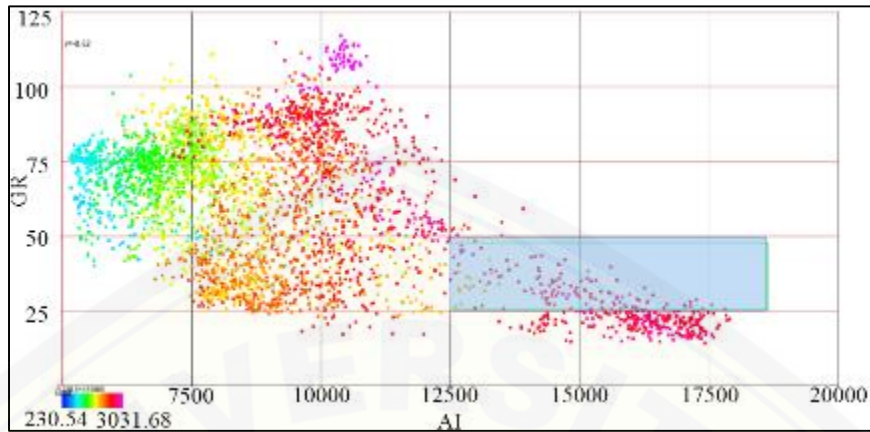
Kajian delineasi reservoir dalam penelitian melalui beberapa langkah yang divisualisasi melalui diagram alir. Berikut diagram alir tahapan pengolahan data:



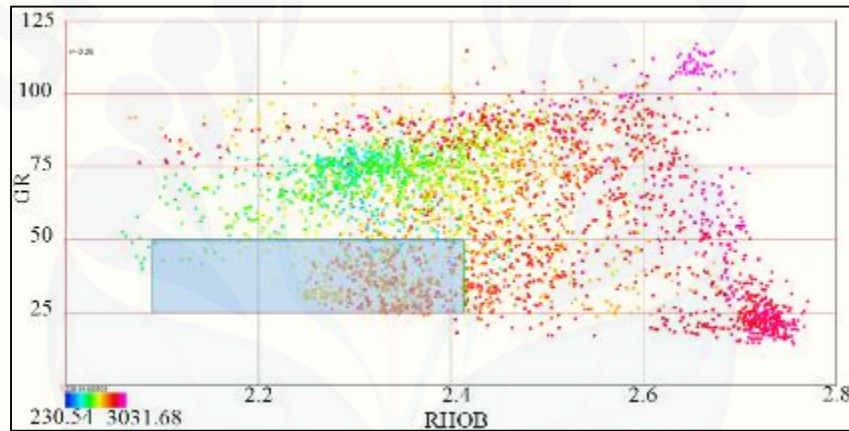
Gambar 3.11 Diagram Alir Proses Penelitian AVO dan Krosplot Data Sumur

Berdasarkan **Gambar 3.11** berikut pemaparan tiap proses pada diagram alir:

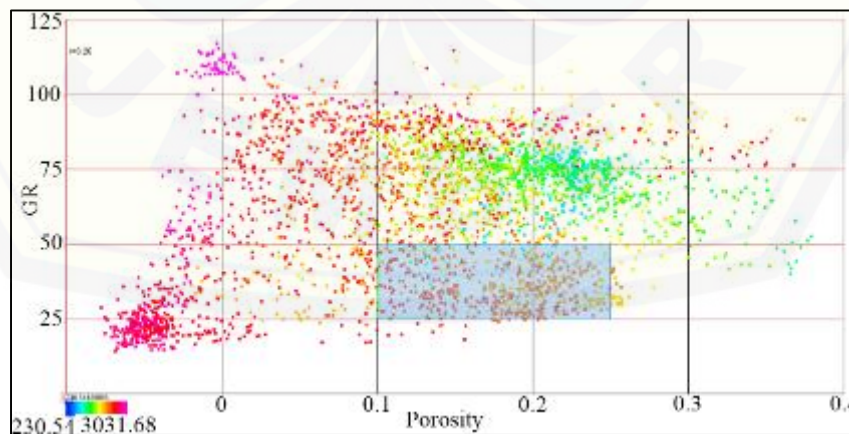
- a. Krosplot Data Sumur, dilakukan guna menentukan lapisan yang memiliki anomali sehingga mampu dijadikan zona untuk *picking horizon*.



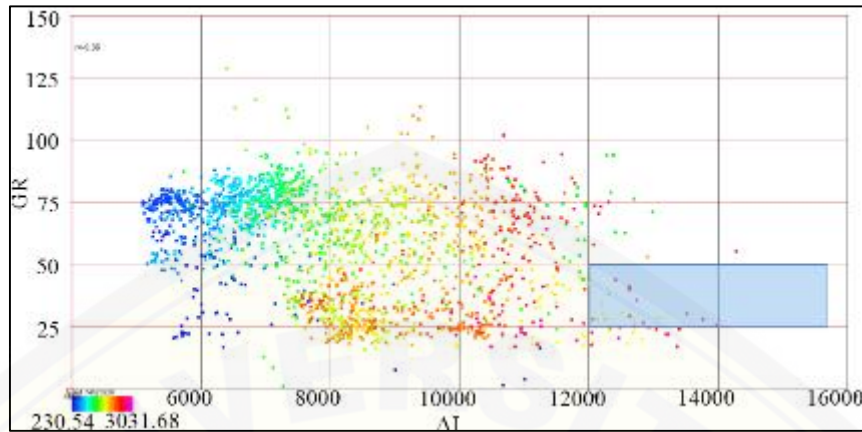
Gambar 3.12 Krosplot *Gamma Ray* – Impedansi Akustik pada Sumur L-30



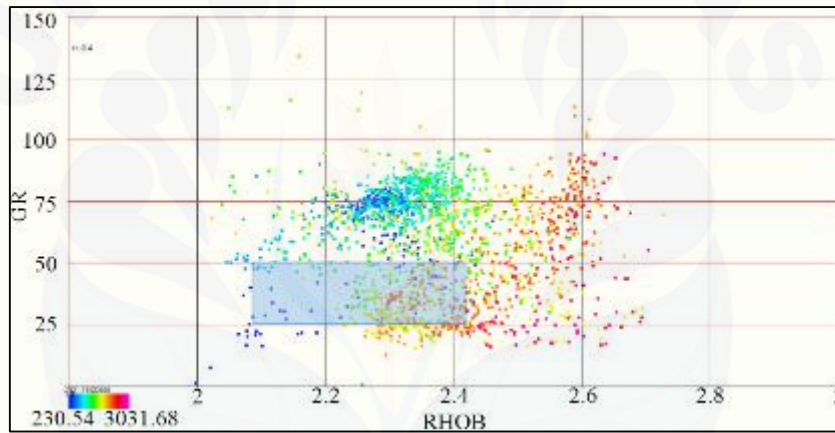
Gambar 3.13 Krosplot *Gamma Ray* – Densitas pada Sumur L-30



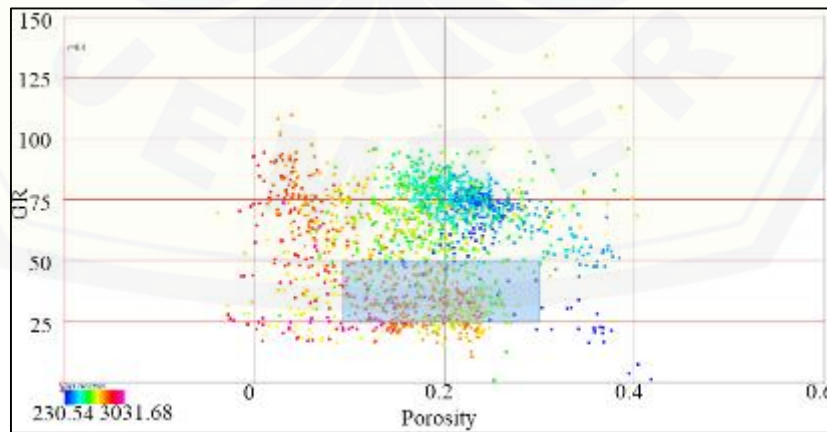
Gambar 3.14 Krosplot *Gamma Ray* – Porositas pada Sumur L-30



Gambar 3.15 Krosplot *Gamma Ray* – Impedansi Akustik pada Sumur B-41



Gambar 3.16 Krosplot *Gamma Ray* – Densitas pada Sumur B-41



Gambar 3.17 Krosplot *Gamma Ray* – Porositas pada Sumur B-41

Variasi warna pada krosplot muncul berdasarkan kedalaman formasi batuan ditinjau dari permukaan. Klasifikasi informasi warna secara kualitatif terdapat di bagian pojok kiri gambar. Warna yang menerangkan krosplot dikatakan semakin dangkal posisinya pada suatu formasi batuan pada *legend* ditunjukkan pada posisi paling kiri, sementara warna paling kanan menunjukkan lapisan formasi batuan yang semakin dalam. Penentuan *horizon* dilakukan melalui analisa krosplot berdasarkan kesesuaian nilai parameter fisis reservoir pada data sumur yang menunjukkan letak pasir pada formasi batuan (**Tabel 3.2**). Kotak berwarna biru pada **Gambar 3.12 - 3.17** menunjukkan anomali yang diasumsi mengandung pasir prospektif reservoir hidrokarbon.

- b. *Picking* Horizon, dilakukan dengan cara menarik garis kemenerusan sebuah lapisan pada masing – masing *inline* dan *crossline*.
- c. Model awal, pasca melakukan *picking* horizon maka akan didapatkan interpretasi geologi pada daerah penelitian. Adapun tujuan dari proses pemodelan awal yaitu untuk menentukan lokasi awal daerah yang diindikasikan memiliki hidrokarbon.
- d. Inversi *GR* pada *Horizon* dan *Inline*, dilakukan guna menambahkan variabel yang berfungsi sebagai parameter pembanding dengan memanfaatkan persebaran nilai *gamma ray* yang nantinya akan menunjukkan litologi pasir pada *horizon*.
- e. Pembuatan *Polygon* pada *Horizon*, dilakukan guna menentukan luasan volume prospek reservoir hidrokarbon pada *horizon*.
- f. Identifikasi *Gamma Ray* pada Data Sumur, dilakukan guna mencocokkan litologi berpasir dari data sumur dengan data seismik yang telah melalui proses inversi.
- g. Pembuatan Atribut AVO, dilakukan di lapisan zona target untuk memusatkan analisis di sekitaran lapisan target melalui *input* atribut.
- h. Krosplot *intercept* dan *gradient*, dilakukan untuk menentukan kelas guna mendapatkan lokasi reservoir hidrokarbon berdasarkan anomali AVO.
- i. *Mapping* Anomali AVO, dilakukan melalui identifikasi penentuan kelas mayoritas anomali yang muncul pada *inline*.

- j. Analisa Hasil Delineasi, dilakukan dengan mengidentifikasi kondisi reservoir berdasarkan kesesuaian hasil yang ditunjukkan oleh inversi *GR* pada *inline* dan *horizon* dengan *mapping* anomali *AVO*.

3.2.3 Analisa Data

a. Analisa Krosplot Data Sumur pada sumur L-30

Krosplot dilakukan guna memahami penggambaran reservoir sehingga didapatkan informasi mengenai kandungan fluida pada sumur. *Opentect* akan memunculkan hasil krosplot dari data dokumentasi secara menyeluruh. Sementara proses eksekusi data pada sumur hanya bisa dilakukan secara manual dengan memilih nilai yang memenuhi tiap parameter fisis guna menunjukkan keberadaan hidrokarbon di lapisan. Sebagai acuan krosplot yang diinterpretasi harus memenuhi kriteria berikut:

Tabel 3.2 Analisa Hasil Krosplot (Nasmy, 2011)

Parameter Fisis	Potensi Kandungan Lapisan	
	Pasir	<i>Shale</i>
Gamma Ray	25 – 50 GAPI	> 50 GAPI
Impedansi Akustik	$> 12,500 \left(\left(\frac{ft}{s} \right) * \left(\frac{g}{cc} \right) \right)$	$< 12,500 \left(\left(\frac{ft}{s} \right) * \left(\frac{g}{cc} \right) \right)$
Densitas	2.1 – 2.42 (g/cm^3)	2.46 – 2.7 (g/cm^3)
Porositas	0.100 – 0.260 <i>v/v</i>	0.260 – 0.450 <i>v/v</i>

Pasir selalu menjadi acuan utama dalam mengidentifikasi keberadaan reservoir. Pasir yang tertutup *shale* merupakan lokasi sesuai untuk menyimpan hidrokarbon. Keberadaan *shale* sebagai *cap* menyebabkan hidrokarbon terperangkap dan berkumpul dalam suatu reservoir. Setiap krosplot parameter fisis *gamma ray* – impedansi akustik, *gamma ray* - densitas, maupun *gamma ray* – porositas memiliki kewenangan untuk menjadi acuan dalam menentukan lokasi *picking horizon* melalui pengamatan keberadaan pasir dan penutup (*shale*). Akan tetapi, pasca menganalisa

hasil krosplot pada kedua sumur berdasarkan anomali pada parameter fisis, keberadaan hidrokarbon tidak serta merta dijadikan acuan untuk melakukan *picking*. Proses peninjauan lanjutan masih dibutuhkan guna membandingkan efisiensi lokasi *horizon* dalam kegiatan eksplorasi. Hasil krosplot data sumur akan muncul sepanjang sumur L-30 dan sumur B-41 dalam bentuk persebaran anomali yang terlokalisir secara vertikal. Keberadaan anomali yang didistribusi vertikal dapat menjadi acuan untuk menentukan keberadaan reservoir sepanjang lapisan sehingga bermanfaat dalam menentukan lokasi *picking*.

1. *Picking* tetap berlangsung meskipun hanya melibatkan satu pembanding yang memunculkan anomali sepanjang area sumur L-30 dan B-41. Hal tersebut dilakukan guna membandingkan akurasi dari tiap parameter fisis dalam memunculkan area prospek hidrokarbon di suatu lapisan.
2. *Picking horizon* dilakukan pada lapisan dekat permukaan. Hal ini disebabkan karena kegiatan eksplorasi cenderung menghabiskan biaya besar. Sehingga guna meminimalisir biaya dalam kegiatan eksplorasi, maka peletakan *horizon* baru difokuskan pada lapisan anomali sumur yang paling dekat dengan permukaan.

b. Analisa *Inversi Gamma Ray* pada *Horizon* dan *Inline*

Analisa inversi *gamma ray* dilakukan pada dua bidang yaitu pada:

1. Inversi *Gamma Ray* pada *Horizon*

Persebaran nilai *gamma ray* pada *horizon* umumnya membentuk suatu area terlokalisir, dimana area tersebut disinyalir sebagai suatu lokasi keberadaan reservoir hidrokarbon. Analisa keberadaan hidrokarbon ditunjukkan melalui *legend* yang menyatakan persebaran nilai *gamma ray*. Persebaran tersebut kemudian akan ditandai dengan menggunakan *polygon* guna mempaketkan area potensial untuk dihitung nilai luasan volumenya.

Tabel 3.3 Analisa Hasil Perhitungan Prospektif Reservoir Hidrokarbon

Analisa Kualitas	Keberadaan Reservoir pada Hasil Inversi <i>Gamma Ray</i>
Sedikit Berpotensi	Hasil inversi <i>gamma ray</i> pada <i>horizon</i> memenuhi $\leq 5\%$ luas seluruh area eksplorasi pada <i>grid</i> .
Berpotensi	Hasil inversi <i>gamma ray</i> pada <i>horizon</i> memenuhi antara 6% - 15% luas seluruh area eksplorasi pada <i>grid</i> .
Sangat Berpotensi	Hasil inversi <i>gamma ray</i> pada <i>horizon</i> memenuhi $\geq 16\%$ luas seluruh area eksplorasi pada <i>grid</i> .

2. Inversi *Gamma Ray* pada *Inline*

Pengamatan nilai persebaran *gamma ray* pada *inline* dilakukan sebagai pembandingan kesesuaian antara persebaran reservoir hidrokarbon. Analisa dilakukan dengan menempatkan *inline* pada posisi bersesuaian dengan *horizon* dan apabila kedua posisi menunjukkan litologi yang sesuai maka hasil dapat dikatakan akurat.

c. Identifikasi *Gamma Ray* pada Data Sumur

Analisa inversi *gamma ray* pada data sumur dilakukan dengan mencocokkan litologi berpasir sumur pada kedalaman yang dijadikan zona acuan penelitian. Kesesuaian akan dianalisa dengan hasil yang muncul pada inversi *gamma ray*.

d. Analisa AVO

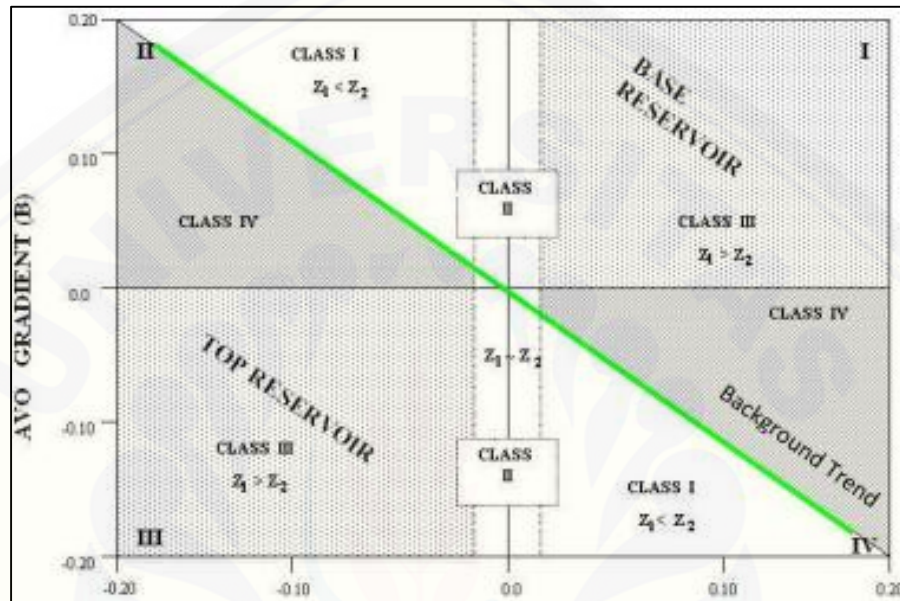
Analisa AVO dilakukan guna mengidentifikasi kelas melalui krosplot antara *intercept* dengan *gradient* guna mendapatkan zona yang rentan terhadap anomali. Analisa AVO dilakukan dengan identifikasi kandungan fluida reservoir melalui pembagian kelas berdasarkan klasifikasi Castagna yaitu:

1. Kelas I, impedansi akustik lebih tinggi dibanding lapisan penutupnya.
2. Kelas II, impedansi akustik sama dengan penutupnya.
3. Kelas III, impedansi akustik lebih rendah jika dibandingkan dengan penutupnya.

(Sumber: Rutherford dan Williams, 1989)

4. Kelas IV, terdapat *brightspot* pada data *stack* seismik tetapi magnitude refleksi turun dengan kenaikan *offset* (Castagna *et al.*, 1998).

Berikut penjelasan visual aplikasi klasifikasi Castagna dalam penelitian:



Gambar 3.18 Klasifikasi *Crossplot Intercept vs Gradient* (Sumber: Castagna *et al.*, 1998)

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- a. Pada formasi Mississauga terdapat *horizon* L-30 GR-AI, 4-Hor-D, dan B-41 GR-AI dengan *range* vertikal 1900 – 2300 *ms*. Sementara, *horizon* L-30 GR-Densitas, B-41 GR-Densitas, dan 3-Hor-C terletak antara formasi Dawson Canyon dan Logan Canyon dengan *range* vertikal 900 – 1100 *ms*.
- b. Reservoir hidrokarbon memiliki predikat ‘sedikit berpotensi’ dengan nilai persen Zona I sebesar 4.23%, Zona II sebesar 3.88% pada *horizon* 4-Hor-D, serta Zona II pada *horizon* B-41 GR-AI sebesar 3.09%. Sedangkan predikat ‘berpotensi’ memiliki nilai persen Zona I dan Zona II sebesar 6.88% dan 9.96% pada *horizon* L-30 GR-AI, serta pada Zona I *horizon* B-41 GR-AI sebesar 6.88%.
- c. Pada *range* vertikal 1900 – 2300 *ms* inversi menunjukkan litologi pasir dengan nilai *gamma ray* 29.744 – 50 *GAPI*. Sedangkan, *range* vertikal 900 – 1100 *ms* menunjukkan bahwa litologi serpih masih mendominasi area ini.
- d. Hasil analisa AVO daerah penelitian termasuk pada AVO kelas I yang terdiri atas *tight sand* yang terkonsolidasi ditunjukkan oleh impedansi akustik yang lebih tinggi daripada lapisan serpih yang mengapitnya.

5.2 Saran

Perlu melakukan penelitian lanjutan dengan mengkonversi data seismik menjadi *time to depth* guna memperoleh zona prospektif reservoir hidrokarbon yang sesuai dengan kondisi litologi sesungguhnya. Selain itu, penelitian selanjutnya juga perlu untuk mengaplikasikan atribut Lambda Mu-Rho guna memisahkan litologi reservoir dengan fluida yang terkandung di dalamnya sehingga dapat lebih akurat dalam memprediksi zona prospektif reservoir hidrokarbon pada Lapangan Penobscot.

DAFTAR PUSTAKA**Buku**

- Bjorlykke, K (ed.). 2010. *Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics*. Norway: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Castagna, J. P. 1997. *Principles of AVO Crossplotting*. Oklahoma: Leading edge.
- Drijkoningen, G. G. dan Verschuur, D., J. 2003. *Seismic Data Processing*. Netherland: Centre for Technical Geoscience (CTG) Delft University of Technology.
- Ellis, D. V. dan Singer, J. M. 2008. *Well Logging for Earth Scientist 2nd Edition*. Netherlands: Springer.
- Gadallah, M. R. dan Fisher, R. L. 2009. *Applied Seismology: A Comprehensive Guide to Seismic Theory and Application*. Oklahoma: Pennwell Corporation.
- Goodway, B. 2001. *AVO and Lamé Constant for Rock Parameterization and Fluid Detection*. Canadian Society of Exploration Geophysicist Recorded. Calgary: PanCanadian Petroleum Limited
- Harsono, A. 1997. *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*. Jakarta: Schlumberger Oilfield Services.
- Hendri, J. 2009. *Suplemen Kuliah: Riset Pemasaran*. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Koesoemadinata, R. P. 1980. *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Edisi kedua, Jilid 2. Bandung: Penerbit ITB.
- Mondol, N. H., Avseth, P., Fawad, M., dan Smith, T. 2010. *Vs Prediction in Unconsolidated Sands – Physical and Geological Control on Shear Wave Velocities*. 72nd Edition. Barcelona: EAGE Conference and Exhibition Incorporating SPE EUROPEC.
- Mukhopadhyay, Prasanta, K., Brown, D. E., Kidston, A. G., Bowman, T. D., Faber, J., dan Harvey, P. J. 2003. *Petroleum Systems of Deepwater Scotian Basin, Eastern Canada: Challenges for Finding Oil Versus Gas Provinces*. Texas: Offshore Technology Conference.

- Parker, S. P. (ed.). 1997. *Dictionary of Geology and Mineralogy*. New York: McGraw-Hill.
- Rider, M. 1996. *The Geological Interpretation of Well Logs 2nd Edition*. Malta: Interprint Ltd.
- Russel, B. H. 1998. *Introduction to Seismic Inversion Method*. Tulsa: Society of Exploration Geophysics.
- Schlumberger. 1989. *Log Interpretation Principles/ Application*. Texas: Schlumberger Educational Services.
- Sukmono, S. 2002. *Seismic Inversion and AVO Analysis for Reservoir characterization*. Bandung: Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Bandung.
- 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*. Nova Scotia:
- Yilmaz, O. 2001. *Seismic Data Analysis: Processing, Inversion and Interpretation*. Tulsa: Society of Exploration Geophysics.
- Yusuf, A. dan Romli, M. 2012. *Batuan Inti Penyimpan Minyak dan Gas Bumi*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak Dan Gas Bumi Lemigas.

Internet

- CNSOPB. 2007. *Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board. Exploration History*. <http://www.callforbids.cnsopb.ns.ca/2007/01/geology_parcell_exploration_history.html> [Diakses pada: 24 Maret 2016].
- CNSOPB. 2010. *Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board. Exploration History*. <<http://www.cnsopb.ns.ca/geoscience/geoscienceoverview/explorationhistory>> [Diakses pada: 12 Februari 2016].
- Opendtect. 2015. *Penobscot 3D - Survey*. <<https://opendtect.org/osr/pmwiki.php/Main/PENOBSCOT3DSABLEISLAND>> [Diakses pada: 17 Februari 2016].
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2012. *Minyak Bumi Mendominasi Bauran Energi Primer Dunia Hingga 2050*. <<http://esdm.go.id/berita/migas/40-migas/6024-minyak-bumi-mendominasi->

bauran-energi-primer-dunia-hingga-2050.html> [Diakses pada: 16 Maret 2016].

Smith, B. M, Makrides, C., dan Kendell, K. 2015. *Call for Bird NS15-1 – Exploration History, Geologic Setting, and Exploration Potential: Eastern Region*. <http://www.callforbids.ca/sites/default/files/inline/geological_geophysical_information_available_on_call_for_bids_ns15-1_0.pdf> [Diakses pada: 12 Maret 2016].

Strange Sounds. 2013. *Pangea? Yes, An Amazing Contemporary Geopolitical Map of Pangea*. <<http://strangesounds.org/2013/06/where-did-you-live-on-pangea-amazing-contemporary-geopolitical-pangea-map.html>> [Diakses pada: 20 Maret 2016].

Jurnal

Brown, D. E. dan Kidston, A. G., 2003, *Petroleum Systems of Deepwater Scotian Basin, Eastern Canada: Challenges for Finding Oil Versus Gas Provinces*, Global Geoenergy Research Ltd. Kanada.

Castagna, J. P., Swan, Herbet, W., Foster, dan Douglas, J. 1998. *Framework for AVO Gradient and Intercept Interpretation*. Journal of Geophysics, Vol. **63**. No. **3**.

Clack, W. J. F. dan Crane, J.D.T. 1992. *Penobscot Prospect: Geological Evaluation and Oil Reserve Estimates*. Nova Scotia Resources Ltd.

Cooke, D., Cant, J. 2010. *Model Based Seismic Inversion: Comparing Deterministic and Probabilistic Approaches*. Journal of Geophysics. Vol. **35** No. **4**. CSEG Recorder.

Hudha, S. N., Harmoko, U., Widada, S., Yusuf, D. H., Gatot Y., Sahid. 2014. *Penentuan Struktur Bawah Permukaan dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi di Lapangan Panas Bumi Diwak dan Derekan, Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang*. Youngster Physics Journal, Vol. **3** (3): 263 - 268.

Marten, R., Shann, M., Mika, J., Rothe, S., dan Quist, Y. 2004. *Seismic Challenges of Developing The Pre-Pliocene Akhen Field, Offshore Nile Delta. The Leading Edge* **23**. Journal of Geophysics. Vol. **23**. No. **4**.

Ostrander, W. J. 1982. *Plane Wave Reflection Coefficients for Gas Sands at Nonnormal Angles of Incidence*. Journal of Geophysics, Vol. **10**.

- Rutherford, S. R. dan William, R. H. 1989. *Amplitude Versus Offset Variation in Gas Sands*. Journal of Geophysics, Vol. 6.
- Santosa, B. J., Mashui, Sutrisno, W. T., Wafi, A., Salim, R., Armi, R. 2012. *Interpretasi Metode Magnetik untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan di Sekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri*. Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA) ISSN: 2087-9942. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Septiani, R, Danusaputro, H., dan Pramudito, D. 2013. *Identifikasi Persebaran Hidrokarbon pada Kronglomerat Formasi Jatibarang Menggunakan Analisis Inversi AVO (Amplitude Versus Offset)*. Youngster Physics Journal, Vol. 5.
- Wade, J. A., MacLean, B.C., dan Williams, G.L. 1995. *Mesozoic and Cenozoic Stratigraphy, Eastern Scotian Shelf: New Interpretation*, Canada. Journal Earth Science. Vol: 32.

Skripsi/ Tesis

- Agustiani, R. 2015. "Atribut Seismik untuk Penentuan Karakterisasi Reservoir Batu Pasir Studi Kasus pada Lapangan Eksplorasi Kanada". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Fahrullah, W. 2014. "Deteksi Persebaran Reservoir Pasir Gas Menggunakan Analisis Amplitudo Versus Offset (AVO) Data Seismik 3D PSTM Penobscot, Kanada". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Haris, A. 2008. "Komputasi Geofisika". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- Hermawan, A. D. 2011. "Inversi AVO Simultan dan Analisa Lambda Mu Rho untuk Mengidentifikasi Litologi dan Jenis Fluida: Studi Kasus Lapangan Penobscot, Kanada". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Nasmy, H. 2011. "Inversi Lambda Mu Rho untuk Memetakan Penyebaran Litologi dan Hidrokarbon pada Formasi Menggala Lapangan "X4" Cekungan Sumatera Tengah". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Waharasto, P. 2012. "Evaluasi Prospektivitas Menggunakan Pendekatan Impedansi Akustik: Studi Kasus Lapangan Penobscot, Nova Scotia, Kanada". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.

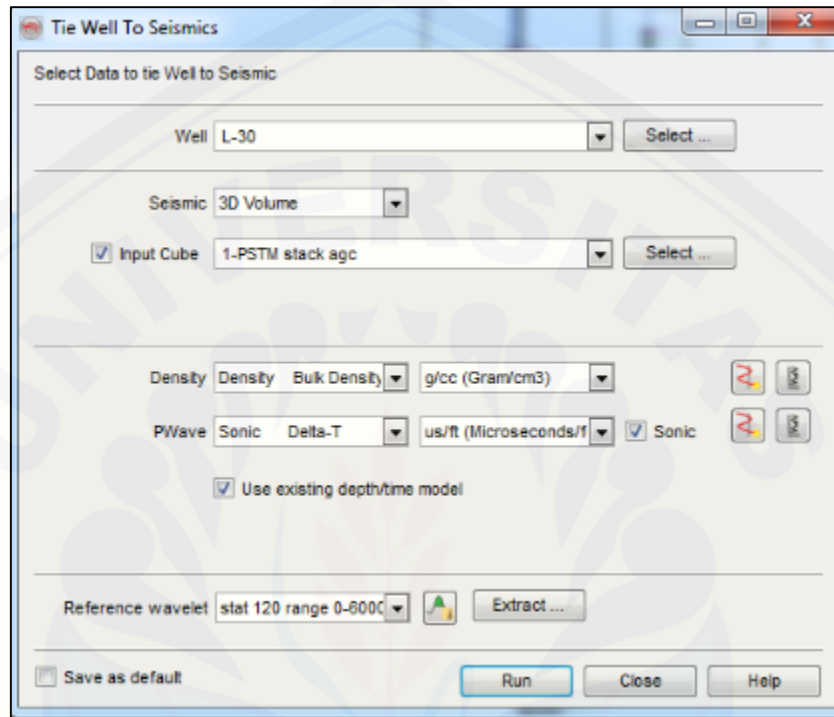
Wibisono, E. 2009. "Analisis dan Inversi AVO Simultaneous untuk Mengekstrak Sifat Fisika Batuan: Studi Kasus Batupasir Formasi Gumai pada Sub Cekungan Jambi". Tidak Diterbitkan. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.

Wibowo, R. A. 2012. "Karakterisasi Reservoir dengan Parameter Fisika Reservoir ("Lamda-Mu-Rho"): Studi Kasus Lapangan Penobscot, Canada". Tidak Diterbitkan. Thesis. Depok: Universitas Indonesia.

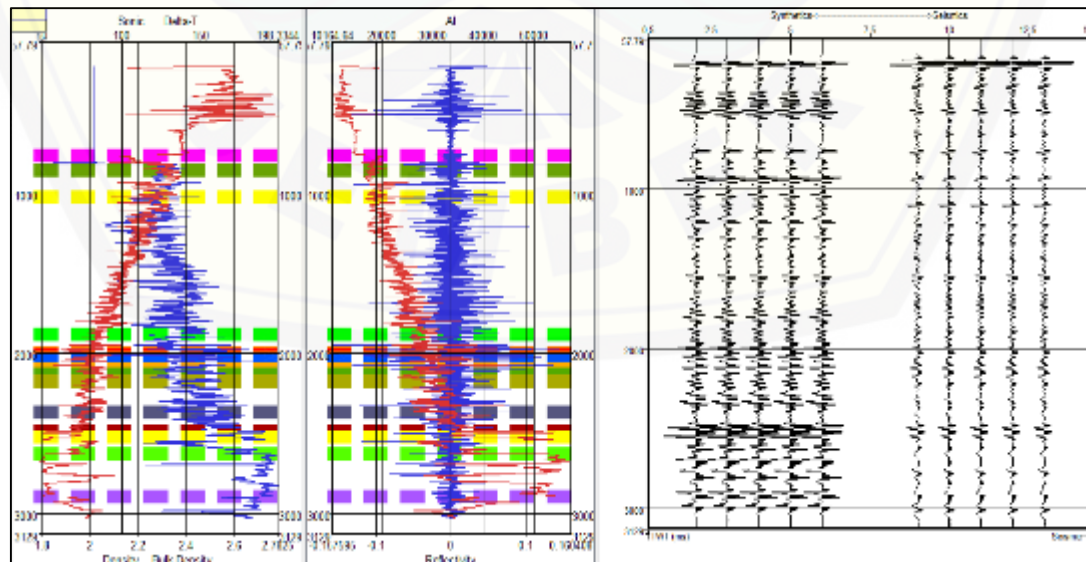


LAMPIRAN A. PERSIAPAN PENGOLAHAN DATA

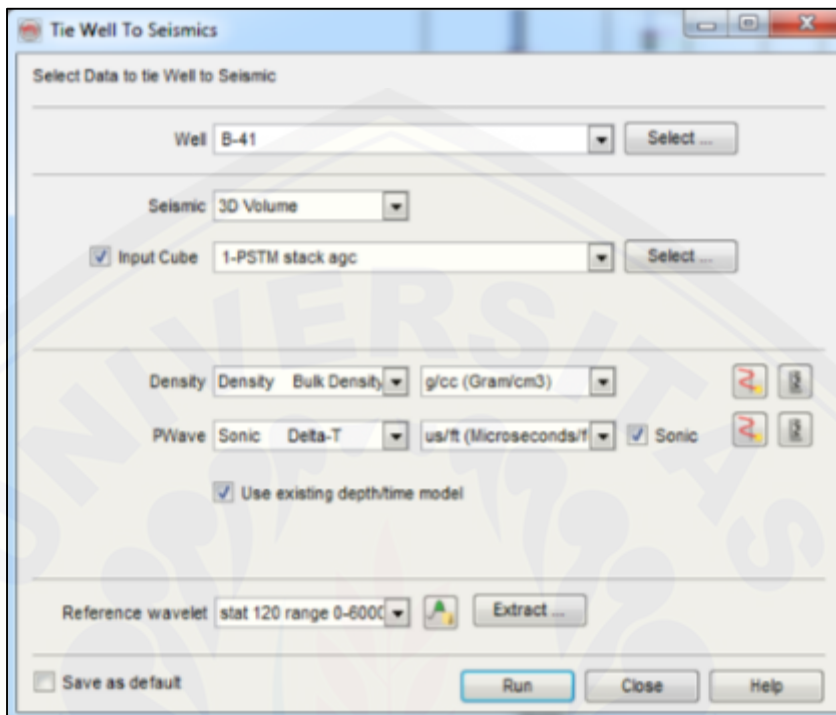
A.1. Proses Pembuatan Sintetik Seismogram Sumur L-30



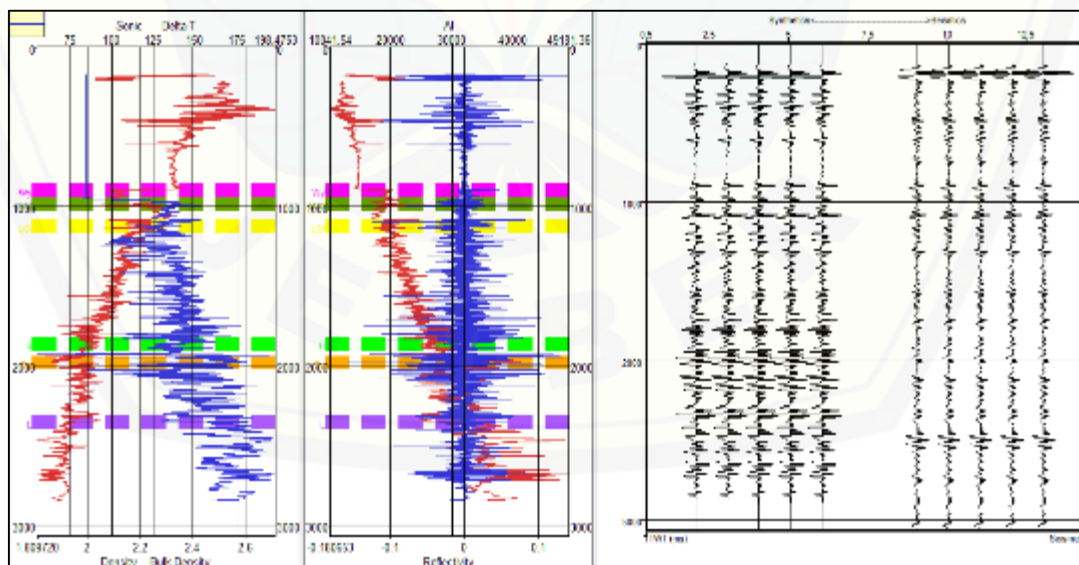
A.2 Sintetik seismogram untuk Sumur L-30



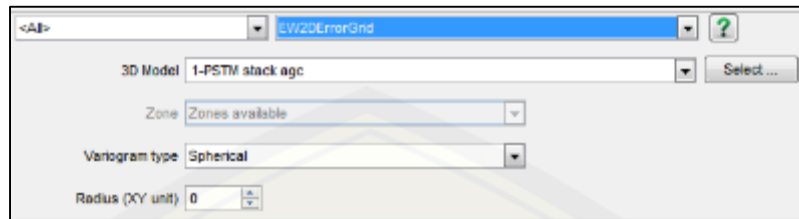
A.3 Proses Pembuatan Sintetik Seismogram Sumur B-41



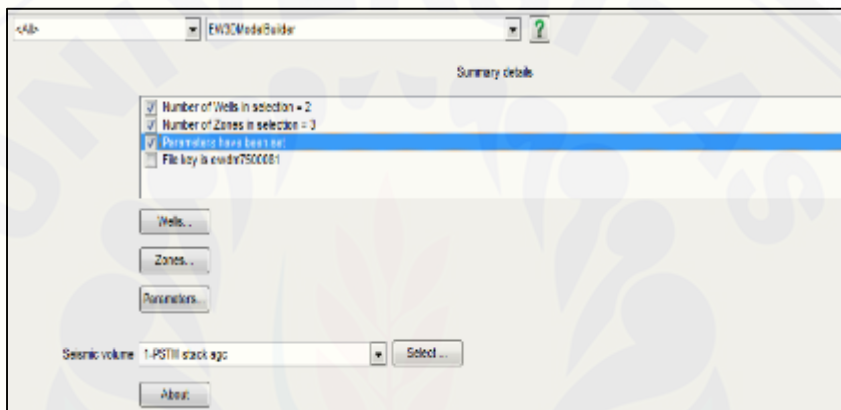
A.4 Sintetik seismogram pada Sumur B-41



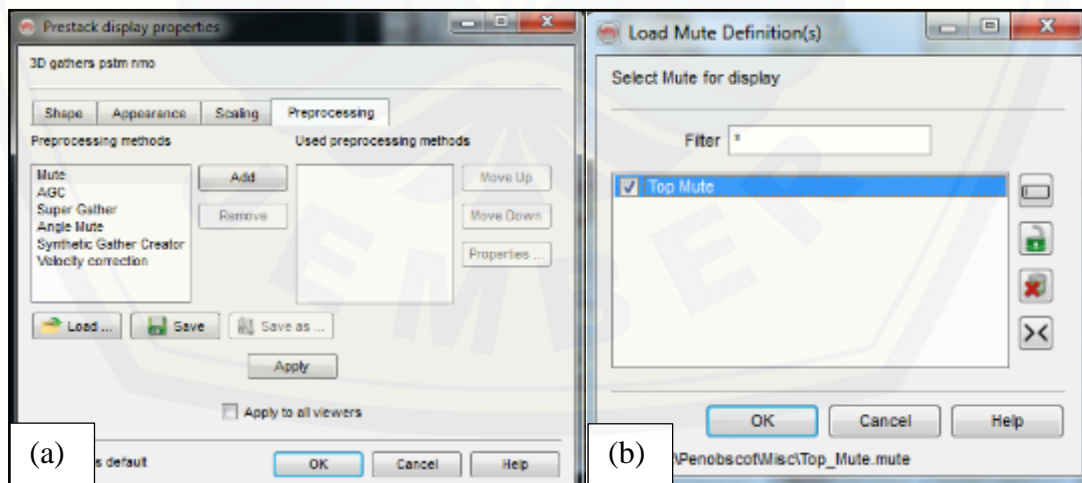
A.5 Pembuatan 2D Error Grid



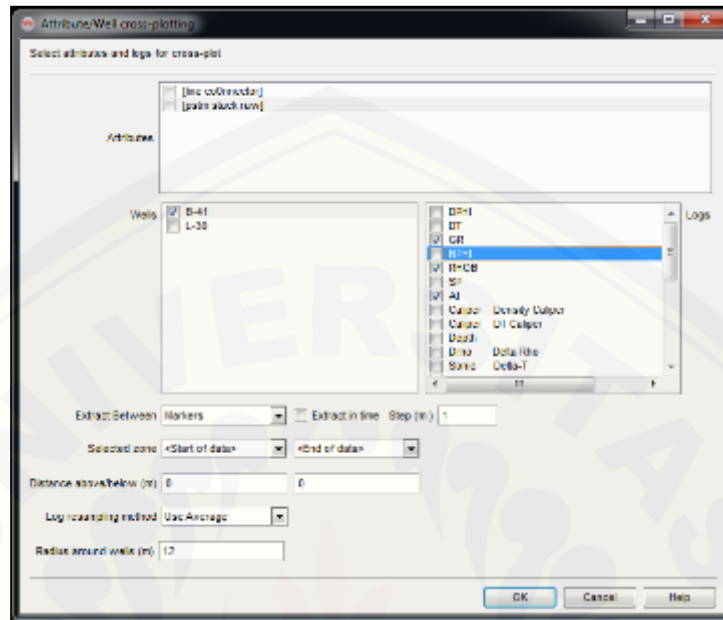
A.6 Pembuatan 3D Model Building



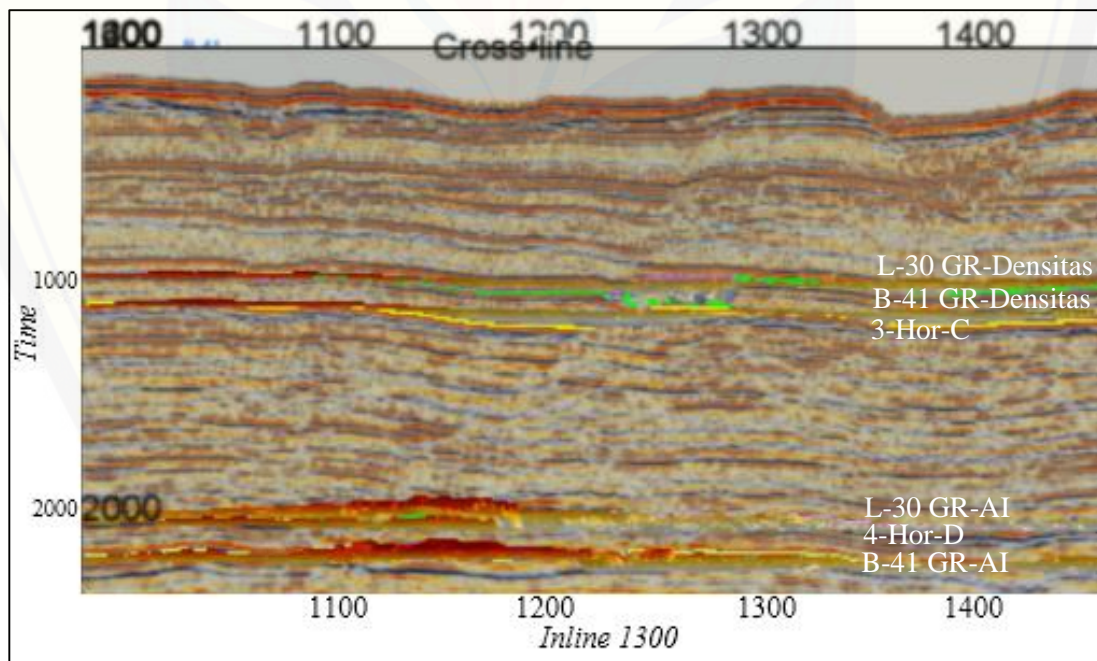
A.7 (a) Proses Pengolahan Data Pre-Stack; (b) Proses Mute pada Top Mute

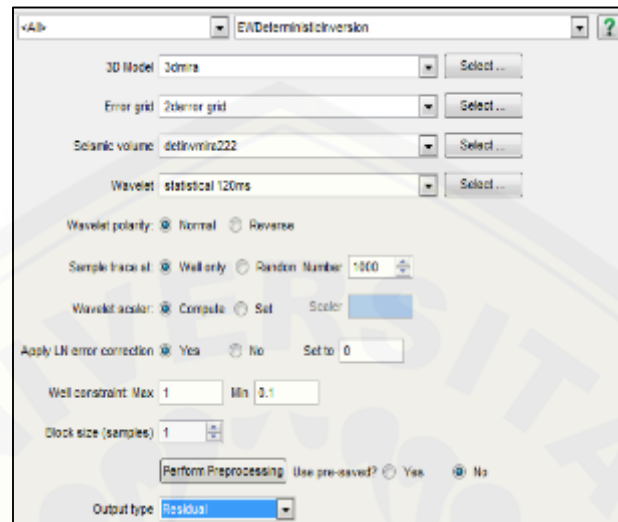


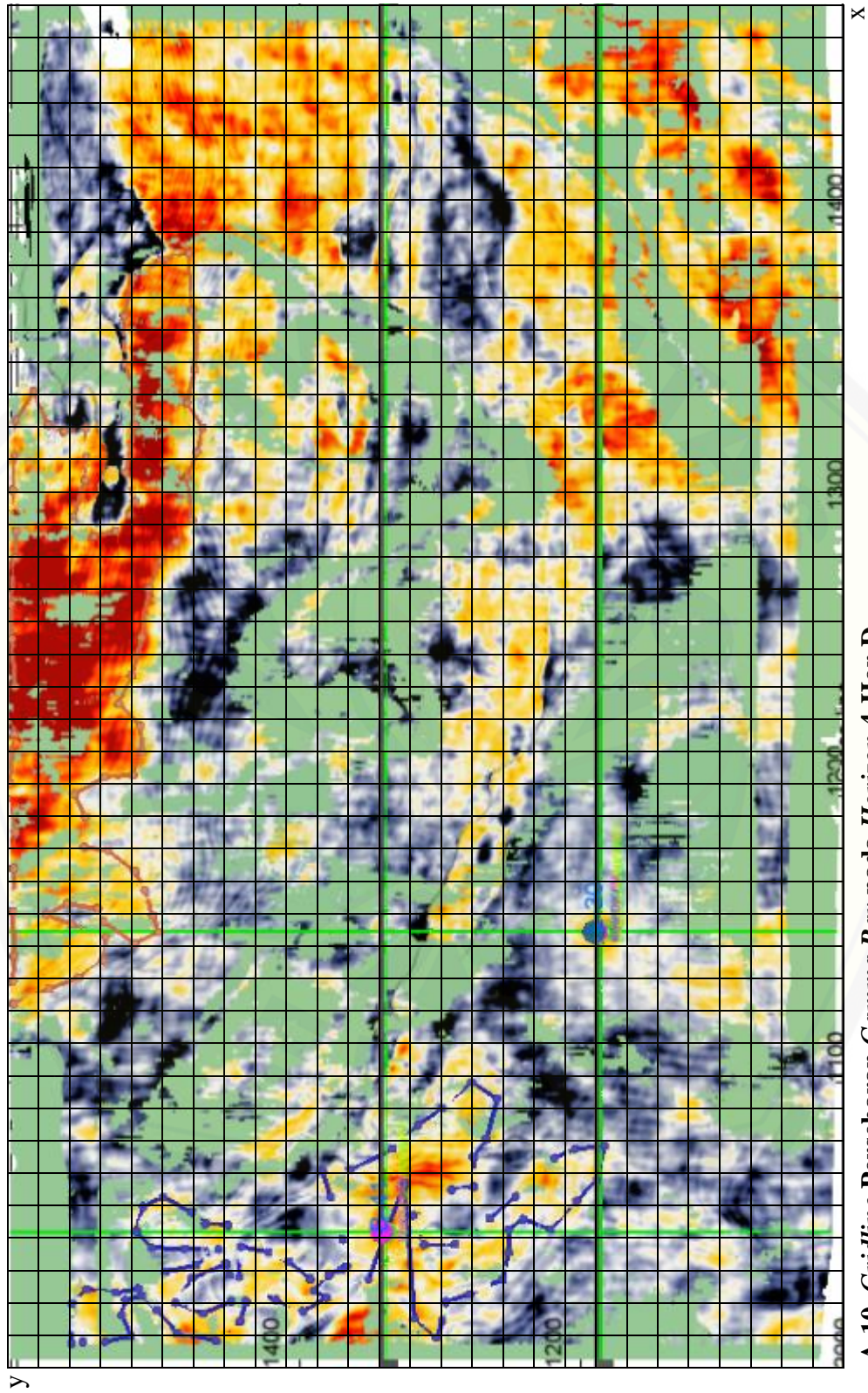
A.8 Input Data Gamma Ray, Impedansi Akustik, Densitas, dan Porositas



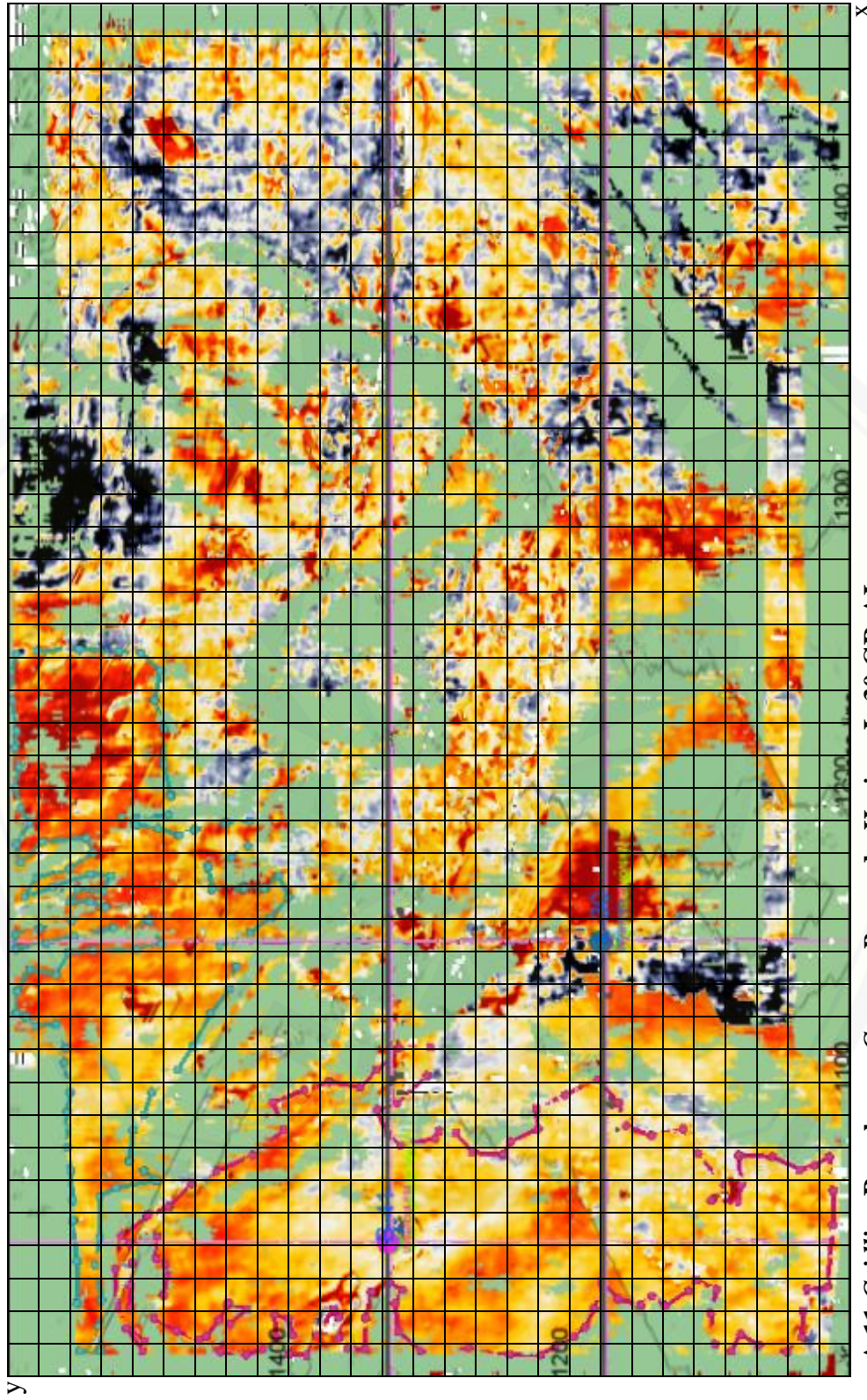
A.9 Posisi Horizon baru pada Inline



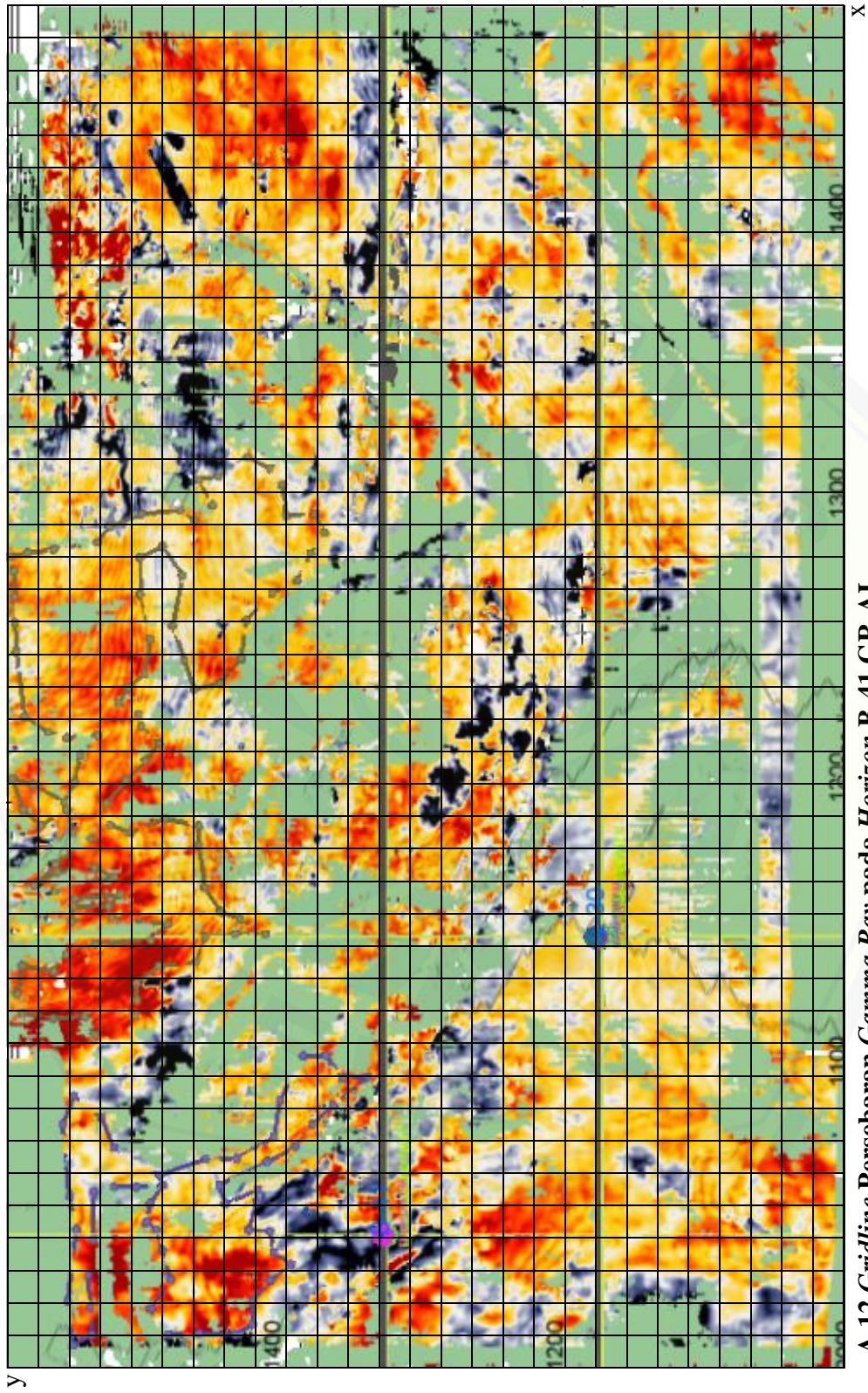
A.10 Pembuatan Atribut Rekonstruksi Inversi *Gamma Ray*



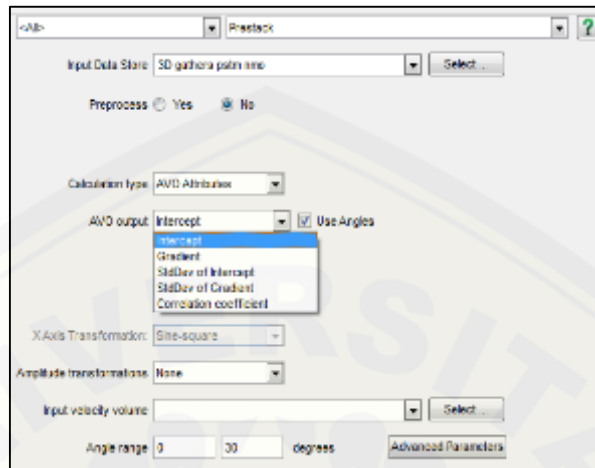
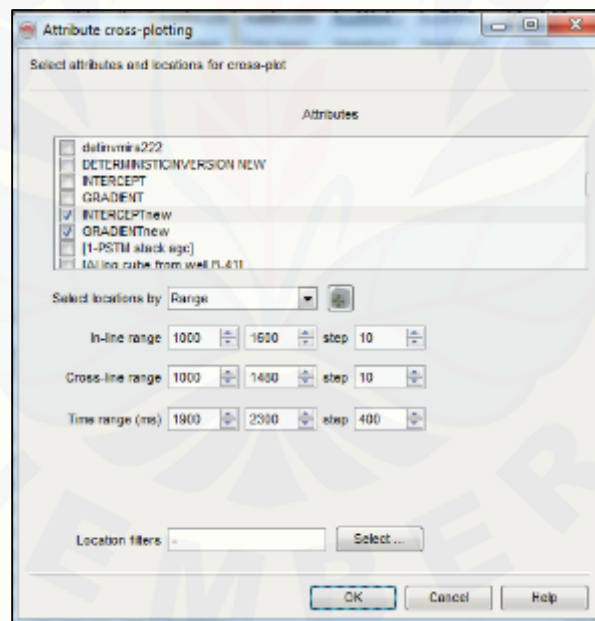
A.10 Gridline Persebaran Gamma Ray pada Horizon 4-Hor-D



A.11 Gridline Persebaran Gamma Ray pada Horizon L-30 GR-AI



A.12 Gridline Persebaran Gamma Ray pada Horizon B-41 GR-AI

A.13 Proses Pembuatan Atribut AVO *Intercept* dan AVO *Gradient***A.14 Proses Ekstraksi Nilai Atribut AVO *Intercept* dan AVO *Gradient***

LAMPIRAN B. HASIL PERHITUNGAN**B.1. Perhitungan Gridline**

$$\text{Persen Anomali} = \frac{\sum P_i}{N} \times 100\%$$

dimana:

P_i = Pulse Basis (0 = outside; 1 = inside)

$i = 1 \dots N$

1. Luas horizon 4-Hor-D

$$\text{Zona I} = \frac{48}{1134} \times 100\% = 4.23\%$$

$$\text{Zona II} = \frac{44}{1134} \times 100\% = 3.88\%$$

2. Luas horizon L-30 GR-AI

$$\text{Zona I} = \frac{78}{1134} \times 100\% = 6.88\%$$

$$\text{Zona II} = \frac{113}{1134} \times 100\% = 9.96\%$$

3. Luas horizon B-41 GR-AI

$$\text{Zona I} = \frac{78}{1134} \times 100\% = 6.88\%$$

$$\text{Zona II} = \frac{35}{1134} \times 100\% = 3.09\%$$