

Skripsi Geofisika

**ANALISIS AVO (AMPLITUDE VERSUS OFFSET) UNTUK EVALUASI
SUMUR L-30 PADA LAPANGAN PENOBSCOT, KANADA**



OLEH:

RICKY HENDRAWAN TUYUWALE

H22115315

PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

**ANALISIS AVO (AMPLITUDE VERSUS OFFSET) UNTUK EVALUASI
SUMUR L-30 PADA LAPANGAN PENOBSCOT, KANADA**

Skripsi ini untuk melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat memperoleh gelar sarjana
pada Program Studi Geofisika

Disusun dan diajukan oleh:

RICKY HENDRAWAN TUYUWALE

H22115315

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS AVO (AMPLITUDE VS OFFSET)
UNTUK EVALUASI SUMUR L-30 PADA LAPANGAN PENOBSCOT,
KANADA**

Disusun dan diajukan oleh:

**RICKY HENDRAWAN TUYUWALE
H22115315**

SKRIPSI

**Untuk memenuhi salah satu syarat ujian
Guna memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Pendidikan Sarjana, departemen Geofisika
Telah disetujui oleh Tim Pembimbing pada tanggal
Seperti tertera di bawah ini**

Makassar, 21 Oktober 2022

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama



Ir. Bambang Harimei, M.Si
NIP. 196105011991031003



Sabrianto Aswad, S.Si., M.T.
NIP. 197805242005011002

Mengetahui,

**Ketua Departemen Geofisika
FMIPA Universitas Hasanuddin**



Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ricky Hendrawan Tuyuwale
NIM : H22115315
Departemen : Geofisika
Judul Tugas Akhir : Analisis AVO (Amplitude Vs Offset) Untuk Evaluasi Sumur L-30
Pada Lapangan Penobscot, Kanada.

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Hasanuddin atau Lembaga Penelitian lain kecuali kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan, karya tulis ini merupakan murni dari gagasan dan penelitian saya sendiri, kecuali arahan tim pembimbing dan masukan tim penguji.

Makassar, 21 Oktober 2022

Yang Membuat Pernyataan,



RICKY HENDRAWAN TUYUWALE

Kata Pengantar

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat, kasih dan karunia yang diberikanNya selalu memberikan penulis kesehatan, kekuatan dan keberkahan disetiap proses, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian skripsi yang berjudul **“ANALISIS AVO (AMPLITUDE VERSUS OFFSET) UNTUK EVALUASI SUMUR L-30 PADA LAPANGAN PENOBSCOT, KANADA”**. Adapun skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat dalam manggapai Pendidikan Sarjana pada Fakultas MIPA Jurusan Geofisika Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini memiliki banyak kekurangan. Hal ini disebabkan karena keterbatasan kemampuan penulis dalam hal pengetahuan dan pengalaman. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun akan penulis terima dengan hati yang terbuka sebagai bahan perbaikan dan untuk menambah wawasan penulis di masa yang akan datang.

Begitu banyak lika liku, suka dan duka dalam proses yang harus dilalui dalam perjalanan penyelesaian skripsi ini. Namun, atas banyaknya dukungan dari berbagai pihak dan orang-orang baik yang tiada hentinya memberikan motivasi, doa, semangat, dan dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Penghargaan setinggi-tingginya penulis haturkan kepada kedua orang tua tersayang dan tercinta, Ibunda **Dina Jaeni Orié** dan Ayahanda **Yance Bernard Tuyuwale** atas doa, dukungan, dan perhatian yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis, terima kasih untuk selalu ada dan selalu berdoa untuk kelancaran segala urusan penulis, serta saudara dan saudari tersayang dan terkasih kakak **Chandra Yandhi Tuyuwale dan Pratiwi Intan Tuyuwale** terimakasih karena selalu menjaga dan memberi semangat penulis dari jauh dan **Opa Rudy Tuyuwale dan Oma Albertina Roreng** yang selalu menjadi penasihat dan pendengar yang baik disaat penulis sedang terpuruk, terima kasih banyak untuk tetap percaya dan mendukung penulis dalam keadaan apapun. Serta

seluruh keluarga besar yang selalu memberikan kasih sayang yang tulus, dukungan moril maupun doa yang tiada henti untuk penulis.

Pada kesempatan ini dengan segala kerendahan dan ketulusan hati, penulis ingin mengucapkan rasa Terima Kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Ir. Bambang Harimei, M.Si** selaku Pembimbing Utama yang selalu memberikan bimbingan dan motivasi serta mengajarkan penulis agar selalu ikhlas dalam memaknai setiap proses yang dilalui, selalu memberikan kata-kata positif kepada penulis sehingga penulis bisa kembali percaya diri dan selalu mendoakan anak-anaknya untuk menjadi orang yang baik, sukses dan selalu ingat berserah diri kepada Tuhan Yang Maha Esa.
2. **Bapak Sabrianto Aswad, S.Si, MT** selaku Pembimbing Pertama sekaligus Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan ilmu, bimbingan, nasihat dan motivasi yang luar biasa berarti bagi penulis untuk selalu menjadi pribadi yang bisa menyelesaikan masalah dan dapat menata hidup kembali dan perlahan bisa menyelesaikan kewajiban sedikit demi sedikit, banyak hal yang telah bapak berikan kepada penulis selama penyelesaian penelitian ini, hingga berakhir dalam sebuah tulisan Skripsi Geofisika.
3. Kepada bapak **Dr. Erfan, M.Si** dan bapak **Muh. Fawzy Ismullah., S.Si., M.T** selaku tim penguji yang senantiasa dengan ikhlas memberi saran dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih atas saran dan masukan yang sangat berarti bagi penulis.
4. Seluruh dosen pengajar di FMIPA Unhas yang telah memberikan ilmunya kepada Penulis.
5. Seluruh staff Fakultas MIPA, Jurusan Geofisika Unhas.
6. Teman-teman seperjuangan di Geofisika 2015.
7. Teman-teman serta adik-adik seperjuangan **Khaeria** dan **Riana** serta adik-adik Geofisika 2016.
8. Kepada saya sendiri yang tetap percaya dan bisa menyelesaikan skripsi ini, tidak secepat orang lain memang tapi cukup untuk menyadari bahwa saya

manusia dengan banyak emosi, yang tidak stabil, yang mudah patah, yang mempunyai akal, perasaan dan tidak lepas dari kesalahan dan masalah. Terima kasih diriku untuk tetap mau mencoba dan terus berkembang, saya yakin ini bukan akhir dari segalanya, terima kasih banyak **Ricky**.

9. Dan lain-lain yang tidak sempat saya sebutkan.

Semoga Allah merahmati kita dalam kebaikan-kebaikan ikhlas kita.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, sehingga dengan segala kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun untuk memperbaiki kekurangan yang ada (email: rickstuyuwale040398@gmail.com). Penulis pun tetap berharap agar tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Makassar, 21 September 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang Masalah	1
I.2 Batasan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Rumusan Masalah.....	3
I.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Tinjauan Geologi	4
II.1.1 Geologi Regional	4
II.1.2 Stratigrafi Lapangan Penobscot.....	6
II.2 <i>Petroleum System</i>	11
II.3 Jenis-Jenis Log.....	13
II.3.1 Log Gamma Ray (GR).....	13

II.3.2	Log Caliper	14
II.3.3	Log Densitas	15
II.3.4	Log Neutron.....	16
II.3.5	Log Sonik.....	17
II.3.6	Log Resistivitas.....	18
II.4	Analisis Petrofisika Batuan.....	20
II.5	Tinjauan Seismik	20
II.5.1	<i>Wavelet</i>	22
II.5.2	<i>Trace</i> Seismik	23
II.6	Sifat Fisika Batuan.....	24
II.6.1	<i>Poisson's Ratio</i>	24
II.6.2	Impedansi Akustik	25
II.7	<i>Amplitude Versus Offset (AVO)</i>	26
II.7.1	Prinsip Dasar AVO	26
II.7.2	Persamaan Zoeppritz.....	27
II.7.3	Attribut AVO	29
II.7.3.1	<i>Intercept (A)</i>	30
II.7.3.2	<i>Gradient (B)</i>	30
II.7.3.3	<i>Product (A*B)</i>	30
II.7.3.4	<i>Scaled Poisson's Ratio Change (aA+bB)</i>	30
BAB III METODE PENELITIAN		31
III.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	31
III.2	Data dan Peralatan	31
III.3	Persiapan dan Pengolahan Data.....	31

III.3.1	Deskripsi Data Seismik.....	31
III.3.2	Data Sumur	32
III.3.3	Data <i>Marker</i>	33
III.3.4	Data Horizon.....	34
III.3.5	Data <i>Checkshot</i>	34
III.4	Pengolahan Data	35
III.4.1	Pengolahan Data Sumur.....	35
III.4.2	Pengolahan Data Seismik	36
III.4.2.1	<i>Input</i> Data Sumur, <i>Checkshot</i> , <i>Marker</i> , dan Seismik	36
III.4.2.2	Pembuatan <i>Super Gather</i>	37
III.4.2.3	Ekstraksi <i>Wavelet</i>	37
III.4.2.4	Pembuatan Sintetik Seismogram.....	37
III.4.2.5	<i>Well to Seismic Tie</i>	38
III.4.2.6	<i>Angle Gather</i>	38
III.4.2.7	<i>Picking</i> Horizon.....	39
III.4.2.8	Analisis AVO	39
III.4.3	Digram Alir Penelitian.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		43
IV.1	Analisis Data Sumur Pada Zona Target.....	43
IV.1	Ekstraksi <i>Wavelet</i>	43
IV.1	Pembuatan <i>Super Gather</i>	45
IV.1	Pengikatan Data Sumur Ke Data Seismik (<i>Well to Seismic Tie</i>).....	45
IV.1	<i>Angle Gather</i>	47

IV.1	Pembuatan Sintetik Seismogram	49
IV.1	<i>Picking Horizon</i>	50
IV.8	<i>AVO Attribute Volume</i>	50
IV.8.1	<i>Intercept (A)</i>	51
IV.8.1	<i>Gradient (B)</i>	52
IV.8.1	<i>Product (A*B)</i>	53
IV.8.1	<i>Scaled Poisson's Ratio Change (aA+bB)</i>	54
IV.9	Analisis AVO.....	55
IV.10	<i>Crossplot AVO Attribute</i>	56
BAB V PENUTUP.....		57
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		60
LAMPIRAN.....		62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Cekungan Scotia dan penyusunnya	5
Gambar 2. 2 Kolom stratigrafi Paparan Scotia	7
Gambar 2. 3 Peta Isopach Formasi Missisauga	11
Gambar 2. 4 Interpretasi dari Kurva Log Caliper.....	15
Gambar 2. 5 <i>Borehole Environment</i>	18
Gambar 2. 6 Skema perambatan gelombang seismik pada lapisan bumi.....	21
Gambar 2. 7 Jenis-jenis <i>Wavelet</i>	23
Gambar 2. 8 Pembentukan <i>Trace</i> Seismik	24
Gambar 2. 9 Perambatan gelombang P dan gelombang S.....	25
Gambar 2. 10 Partisi energi gelombang seismik pada bidang <i>reflector</i>	27
Gambar 3. 1 Data CDP <i>gather</i> Lapangan Penboscot	36
Gambar 3. 2 Skema klasifikasi AVO Rutherford dan William yang dimodifikasi oleh Ross dan Kinman	40
Gambar 3. 3 Acuan menganalisis crossplot atribut AVO	41
Gambar 4. 1 Zona Target pada Sumur L-30.....	43
Gambar 4. 2 <i>Wavelet</i> hasil Ekstraksi Secara Statistikal dari data Seismik.....	44
Gambar 4. 3 Hasil Penampang <i>Super Gather</i>	45
Gambar 4. 4 Proses <i>Well to seismic tie</i>	46
Gambar 4. 5 Hasil Penampang <i>Angle Gather</i>	48
Gambar 4. 6 <i>Synthetic Gather</i> Penobscot L-30 Fungsi Zoeppritz Model <i>NMO Corrected</i>	49
Gambar 4. 7 Tampilan hasil <i>Picking horizon</i> dan <i>Picking Analisis</i>	50
Gambar 4. 8 Penampang Atribut Volume AVO <i>Intercept (A)</i>	51

Gambar 4. 9 Penampang Atribut Volume AVO <i>Gradient</i> (B).....	52
Gambar 4. 10 Penampang Atribut Volume AVO <i>Product</i> ($A*B$)	53
Gambar 4. 11 Penampang Atribut Volume AVO <i>Scaled Poisson's ratio change</i> ($aA+bB$)	54
Gambar 4. 12 Analisis AVO dengan menggunakan metode analisis gradien.....	55
Gambar 4. 13 <i>Crossplot AVO attribute (Intercept dan Gradient)</i>	56
Gambar 4. 14 Interpretasi <i>Crossplot AVO attribute (Intercept dan Gradient)</i>	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Informasi data sumur L-30 pada Lapangan Penobscot	32
Tabel 3.2 Data Marker Geologi Berdasarkan Top Formasi pada Lapangan Penobscot	33
Tabel 3.3 Data Horizon pada Lapangan Penobscot.....	34
Tabel 4.1 Perbandingan nilai korelasi yang diperoleh dari beberapa <i>wavelet</i> ...	47

ABSTRAK

Cekungan Scotian merupakan salah satu cekungan penghasil hidrokarbon yang berada di Nova Scotia, Kanada. Cekungan ini terdiri dari empat sub-cekungan dan tiga dataran tinggi yaitu: Shelburne *Sub-Basin*, La Have *Platform*, Sable dan Abenaki *Sub-Basins*, Banquereau *Platform*, Orpheus Graben dan Laurentian *Sub-Basin*. Lokasi pada penelitian ini yaitu Lapangan Penobscot pada Cekungan Scotian. Target pada penelitian berada pada Formasi Mississauga yang terbentuk dari *limestone*, *sandstone* yang memiliki sekuens seismik yang kompleks dan menonjol, serta *shale* dari bagian Cretaceous Formasi Verrill *Canyon*. Penelitian dilakukan dengan tujuan mengidentifikasi zona target serta mengidentifikasi kelas AVO target menggunakan metode Analisis AVO (Amplitude Vs Offset). Metode ini digunakan karena pada proses dapat menggambarkan batas lapisan pada batuan tetapi juga memberikan informasi karakter fisik pada batuan yang ada di bawah permukaan bumi. Penelitian ini menggunakan data seismik 2D *Pre-Stack Time Migration* (PSTM) dan satu data sumur. Berdasarkan hasil analisis AVO diidentifikasi zona target sumur L-30 merupakan bagian dari klasifikasi AVO kelas I yang merupakan *sand gas* yang memiliki nilai impedansi yang cukup tinggi.

Kata Kunci : Nova Scotia , Formasi Missisauga, Reservoir, Seismik, AVO.

ABSTRACT

The Scotian Basin is one of the hydrocarbon-producing basins in Nova Scotia, Canada. The basin consists of four sub-basins and three plateaus: Shelburne Sub-Basin, La Have Platform, Sable and Abenaki Sub-Basins, Banquereau Platform, Orpheus Graben and Laurentian Sub-Basins. The location of this research is Penobscot Field in the Scotian Basin. The targets in this study are the Mississauga Formation which is formed from limestone, sandstone which has a complex and prominent seismic sequence, and shale from the Cretaceous part of the Verrill Canyon Formation. The research was conducted with the aim of identifying the target zone and identifying the target AVO class using the AVO (Amplitude Vs Offset) Analysis method. This method is used because the process can describe the boundary layers in the rock but also provides information on the physical character of the rocks below the earth's surface. This study uses 2D Pre-Stack Time Migration (PSTM) seismic data and one well data. Based on the results of the AVO analysis, it was identified that the target zone of the L-30 well is part of the AVO class I classification which is a sand gas that has a fairly high impedance value.

Kata Kunci : Nova Scotia , Mississauga Formation, Reservoir, Seismic, AVO.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah

Minyak dan gas bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Dengan meningkatnya kebutuhan manusia maupun industri akan sumber daya energi terutama sumber energi migas dan berkurangnya cadangan migas yang tersedia, mendorong perusahaan migas untuk melakukan eksplorasi guna mencari sumber cadangan baru.

Dengan adanya pengembangan yang terus dilakukan dalam penelitian Geologi dan Geofisika, yang dapat menggambarkan potensi Gas. Di Indonesia, penelitian terus dikembangkan untuk mencapai keseimbangan antara konsumsi dan produksi Gas dalam negeri. Berbagai metode dan disiplin ilmu dapat dilakukan untuk melakukan pemetaan potensi Gas.

Salah satu pendekatan disiplin ilmu yang digunakan adalah petrofisika yang mengaplikasikan pendekatan geologi dan fisika batuan. Analisis petrofisika merupakan studi yang dilakukan untuk memperoleh sifat fisis batuan (reservoir) dan fluida, salah satu cara mendapatkan sifat fisis reservoir adalah dengan melakukan *well logging* pada sumur eksplorasi.

Metode *logging* berperan penting dalam suatu eksplorasi hidrokarbon dan Gas. Hasil metode *logging* adalah berupa kurva-kurva nilai parameter fisika yang dapat mendeskripsikan kondisi bawah permukaan. Kurva-kurva yang terekam secara kontinu sesuai dengan kedalaman lapisan. Hasil perekaman yang berupa kurva-kurva parameter fisika tersebut yang kemudian dilakukan analisis menggunakan analisis petrofisika. Parameter-parameter yang dimaksud adalah kandungan lempung, porositas, saturasi air, dan permeabilitas. Parameter-parameter tersebut

digunakan sebagai acuan untuk menentukan zona yang dianggap memiliki potensi Gas.

Untuk hasil Analisis Petrofisika yang lebih baik dilakukan lagi Variasi *amplitude* pada data seismik *pre-stack* yang lebih dikenal dengan istilah *Amplitude Versus Offset* (AVO). Analisis AVO ini mulai dikembangkan pada tahun 1984 oleh Ostrander. AVO sangat efektif untuk identifikasi litologi dan fluida pori. Analisis AVO menggunakan parameter petrofisika sampai saat ini banyak dikembangkan oleh para ahli, metode analisis AVO didasarkan pada variasi amplitudo seiring dengan *offset* (jarak antara sumber dan penerima) yang bertambah. Konsep ini didasarkan karena adanya anomali amplitudo refleksi, dengan adanya perubahan amplitudo gelombang terhadap perubahan jarak antara titik sumber dengan penerima (receiver). Sehingga dapat diketahui zona target termasuk dalam kategori AVO kelas I, II, III ataupun IV.

Metode AVO dapat memisahkan litologi reservoir dengan fluida yang dikandungnya dengan menganalisis kecepatan gelombang P (V_p) ketika melewati suatu fluida (Aki dan Richard, 1980). Salah satu parameter yang penting dalam analisis AVO adalah nilai *Poisson's ratio*. Nilai *Poisson's ratio* digunakan dalam mengenali kandungan fluida dalam batuan.

Sebelumnya, (Siti, 2019) telah menggunakan kedua metode dalam menyelesaikan Skripsinya di Universitas Brawijaya pada tahun 2019 pada cekungan Jawa Barat Utara. Harun, dkk (2020) pada *paper*-nya di tahun 2020 menggunakan Analisis *Amplitude Versus Offset* (AVO) menggunakan parameter Petrofisika Lambda Mu Rho (LMR) dan *Extended Elastic Impedance* (EEI) untuk karakterisasi reservoir karbonat yang mengandung gas pada cekungan Sumatera Selatan. Berdasarkan pada penelitian di atas akan dilanjutkan dengan menggunakan metode Analisis AVO pada lapangan Penobscot pada cekungan Scotian yang terletak di Kanada.

I.2 Batasan Masalah

1. Lokasi Penelitian berada pada lapangan Penobscot, Cekungan Scotian, Kanada.
2. Data sumur yang digunakan hanya sumur L-30.
3. Analisis AVO dilakukan pada zona reservoir menggunakan data *pre-stack time migration* seismik 2D.

I.3 Tujuan Penelitian

1. Mengidentifikasi litologi dan zona target berdasarkan analisis data log.
2. Menghasilkan Attribut analisis AVO yaitu *Gradient, Intercept, Product*, dan *Scaled Poisson's Ratio*.
3. Menerapkan analisis AVO dan Menginterpretasikan Hasil analisis AVO ke dalam Penampang dan Kurva mengenai Potensial Gas pada lapangan Penobscot, Cekungan Scotian.

I.4 Rumusan Masalah

1. Bagaimana dapat menentukan keberadaan Gas pada lapangan Penobscot?
2. Bagaimana Mengeksplorasi Gas dengan menggunakan Analisis AVO?

I.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat digunakan sebagai referensi oleh peneliti lain ketika memiliki adanya kesamaan ataupun adanya keterkaitan kasus yang diteliti.
2. Memberikan informasi mengenai karakteristik dari reservoir di lapangan Penobscot.
3. Mengetahui efektivitas metode AVO dalam menganalisis indikasi kandungan Gas pada zona reservoir.

BAB II

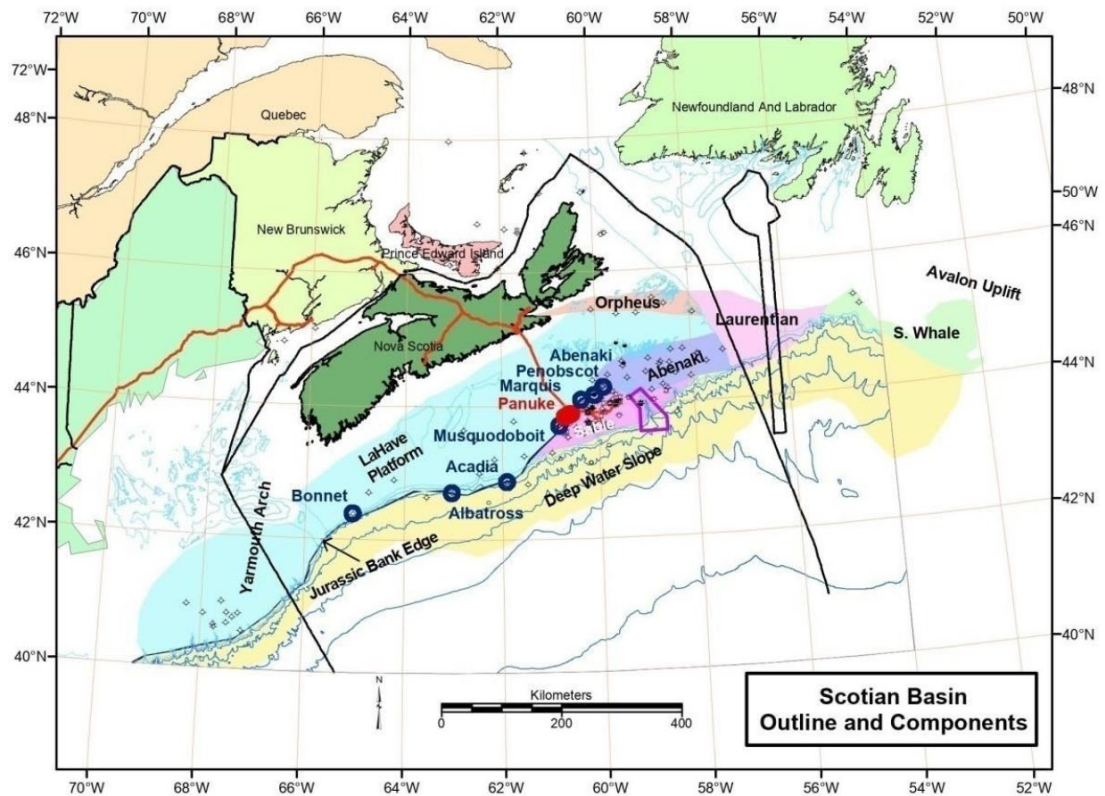
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Tinjauan Geologi

II.1.1 Geologi Regional

Cekungan Scotian merupakan cekungan hasil dari lempeng Amerika Utara yang terpisah dari lempeng Afrika selama pecahnya Pangea. Secara umum lapangan Penobscot berada pada cekungan Scotia. Cekungan Scotia terletak pada wilayah lepas pantai Nova scotia dengan total luas Sekitar 300.000 Km² dan panjang sekitar 1200 Km dari perbatasan Yarmouth Arch / Amerika Serikat pada posisi Barat Daya ke *Uplift Avalon* di *Grand Banks – Newfoundland* pada posisi timur laut. Cekungan ini terdiri dari empat sub-cekungan dan tiga dataran tinggi yang membentuk topografi tinggian hingga rendahan dari Barat Daya ke Timur Laut: *Shelburne Sub-Basin*, *La Have Platform*, *Sable* dan *Abenaki Sub-Basins*, *Banquereau Platform*, *Orpheus Graben* dan *Laurentian Sub-Basin* (Mukhopadhyay et al., 2003).

Dalam Gambar 2.1 menunjukkan bahwa Cekungan ini terbentuk pada daerah *passive continental margin* yang terbentuk selama retakan Pangea hingga pembentukan Atlantik. Retakan Pangea yang memisahkan Amerika Utara dengan Benua Afrika berlangsung pada periode Triassic pertengahan, kemudian membentuk cekungan yang terisi oleh lapisan paling awal berupa sedimen fluvial dan lacustrine serta intrusi batuan vulkanik. Pada periode Jurasik awal, cekungan secara bertahap terisi oleh batuan klastik dan karbonat dan berkembang menjadi lautan sepenuhnya pada periode Jurasik pertengahan yang memicu terbentuknya susunan *alluvial plain*, delta, dan pembentukan karbonat (Kidston et al., 2005).



Gambar 2.1 Skema Cekungan Scotia dan penyusunnya (Kidston et al., 2005).

Adanya kenaikan permukaan air laut yang disertai terjadinya pembentukan platform karbonat, mengakibatkan lingkungan karbonat ditutupi oleh serpih (shale), yang kemudian terbentuk kembali pada periode Jurrasic akhir. Pengendapan pada periode *Cretaceous* didominasi oleh serangkaian batupasir yang tebal dari tipe *deltaic*, *strand plain*, *carbonate shoal*, dan suksesi paparan laut dangkal. Fluktuasi relatif permukaan air laut pada periode Tersier mengakibatkan *unconformit* pada lapisan sedimen. Lapisan tersebut tererosi oleh aliran fluvial yang membawa sedimen menuju ke *abyssal plain*. Pada periode Kuartar, terdapat deposit sedimen laut dan *glacial* pada bagian luar paparan.

II.1.2 Stratigrafi Lapangan Penobscot

Cekungan Scotia tersusun dari batuan sedimen *Mesozoic-Cenozoic* hingga kedalaman 16 km yang diendapkan selama retakan Pangea hingga pembentukan Atlantik Utara. Lapisan paling awal yang terendapkan selama retakan *Triassic* dan berisi batuan klastik kontinen merah dan evaporit. Dengan transisi ke dasar laut dan menyebar pada jurasik awal, retakan cekungan secara bertahap terisi oleh batuan klastik dan karbonat. Kondisi yang sepenuhnya berupa lautan dan berkembang pada Jurasik tengah, memicu terbentuknya susunan *alluvial plain*, delta, dan fasies karbonat. Pengendapan *Cretaceous* akhir dan *Cretaceous* awal didominasi oleh *shale* transgresif, *limestone*, dan batu kapur. Fluktuasi relatif permukaan air laut selama Paleosen dan Neosen membentuk campuran sandstone dan *shale* yang diselingi batuan klastik kasar dan karbonat laut (*marine carbonate*). Lapisan tersebut juga dilapisi oleh *unconsolidated glacial*, *glaciomarine silts*, dan sedimen lautan yang terendapkan selama Kuartar.

Secara umum, strata lapisan batuan yang mengisi Cekungan Scotia terdiri dari setidaknya 14 Formasi batuan yang dapat dilihat pada Gambar 2.2 sebagai berikut:

a. Formasi Dawson Canyon

Marine shale, batu kapur, dan sejumlah kecil *limestone* terendapkan di seluruh basin Scotia selama *Cretaceous* Akhir. Unit transgresif pertamanya adalah Formasi Dawson Canyon yang memiliki variasi ketebalan dari 700 meter lebih di bagian *subbasin SouthWhale* dan bagian Paparan Scotia kira-kira 200 meter pada *Canso Ridge* dan sekitar 100 meter di bagian luar *subbasin Sable*. (Wibowo, 2012).

b. Formasi Dawson Canyon

Marine shale, batu kapur, dan sejumlah kecil *limestone* terendapkan di seluruh basin Scotia selama *Cretaceous* Akhir. Unit transgresif pertamanya adalah Formasi Dawson Canyon yang memiliki variasi ketebalan dari 700 meter lebih di bagian *subbasin SouthWhale* dan bagian Paparan Scotia kira-kira 200 meter pada *Canso Ridge* dan sekitar 100 meter di bagian luar *subbasin Sable*. (Wibowo, 2012).

c. Formasi Dawson Canyon

Marine shale, batu kapur, dan sejumlah kecil *limestone* terendapkan di seluruh basin Scotia selama *Cretaceous* Akhir. Unit transgresif pertamanya adalah Formasi Dawson Canyon yang memiliki variasi ketebalan dari 700 meter lebih di bagian *subbasin SouthWhale* dan bagian Paparan Scotia kira-kira 200 meter pada *Canso Ridge* dan sekitar 100 meter di bagian luar *subbasin Sable*. (Wibowo, 2012).

d. Formasi Wyandot

Formasi Wyandot tersusun dari batu kapur, *mudstone* kapuran, marl, dan sedikit *limestone*. Ketebalannya bervariasi antara kurang dari 50 m di Pulau Sable dan sekitar 400 m di sebelah tenggara tepi Paparan Scotia tetapi hilang secara besar-besaran pada basin karena erosi Tersier. Di bawah bagian luar Paparan dan *slope*, di atas Formasi Wyandot sering ditandai adanya *unconformity* yang *overlay* dengan sedimen Tersier. (Wibowo, 2012)

e. Formasi Logan Canyon

Logan Canyon memiliki ketebalan sekitar 2,5 km dan dibagi menjadi empat bagian yang dua diantaranya didominasi oleh *shale*. Formasi ini mirip dengan turbidit jauh atau *shale* pada *Shortland Shale*. (Wibowo, 2012)

f. Formasi Missisauga

Formasi Missisauga tersebar luas pada basin Scotia yang bervariasi secara fasies dan ketebalan. Diseluruh *platform* LaHave, *platform* Burin, dan *Canso Ridge*, ketebalannya mencapai 1000 meter dan berisi 60 hingga 80 persen *sandstone* dengan beberapa fasies *limestone* lokal pada bagian Barat Daya. Pada subbasin Sable, lebih dari 2770 meter formasi ini dibor pada area Pulau Sable dan diduga memiliki ketebalan lebih dari 3 km dengan 30 hingga 50 persen berisi *sandstone* atau *siltstone*. Ke arah basin, Formasi Missisauga *grades* turbidit dan *shale* dari bagian *Cretaceous* Formasi Verrill Canyon. (Wibowo, 2012). Reservoir pada Formasi inilah yang menjadi target pada penelitian ini. Formasi ini terbentuk dari *limestone* serta *sandstone* yang memiliki sekuens seismik yang kompleks dan menonjol.

g. Formasi Abenaki

Formasi Abenaki dibagi menjadi empat bagian: Scatarie, Misaine, Baccaro, dan Artimon. Formasi ini terbentuk dari *limestone* khusus yang memiliki sekuen seismik yang kompleks dan menonjol. Bagian paling baik yang bisa dikembangkan dari Formasi ini adalah pada *hinge zone* antara *platform LaHave*, *subbasin Shelburne*, dan *subbasin Sable*. (Wibowo, 2012)

h. Formasi Verrill Canyon

Terbentuk pada Jurasik Tengah ke Awal Cretaceous, Formasi Verrill Canyon merupakan fasies laut dalam yang serupa dengan Formasi Mohawk, Abenaki, Mic Mac, dan Missisauga. Formasi ini tersusun atas *calcareous shale* abu-abu ke hitam dengan lapisan tipis *limestone*, *siltstone*, dan *sandstone*. Formasi Verrill Canyon terendapkan pada *prodelta*, bagian luar Paparan, dan *continental slope setting*. Formasi ini memiliki ketebalan 360 m pada bagian Barat Daya Basin Scotia dan lebih dari 915 m di bagian Timur Laut. *Shortland Shale Sandstone* dari formasi Logan Canyon terpisah jauh dari fasies *shale* laut dalam dari *Shortland Shale* yang terendapkan pada *prodelta*, bagian luar Paparan, dan *continental slopesetting* (Almunawwar, 2014).

i. Formasi Mic Mac dan Mohawk

Di atas Formasi Mohican, terdapat Formasi tertebal kedua yang disusun oleh batuan klastik pre-dominan yang terbentuk setelah pemekaran kerak (postrift), yaitu Formasi Mic Mac. Pada Basin Scotia, Formasi Mic Mac, Formasi Abenaki, Formasi Mohawk, dan Formasi Verrill Canyon terbentuk pada Jurasik Awal, Jurasik Tengah, dan Jurasik Akhir. Formasi Mic Mac memiliki ketebalan 6 km pada *subbasin Laurentian* hingga ujung pengendapan atau erosi *platform La Have*, *platform Burin*, dan *Avalon Uplift*. Sebelah Tenggara Pulau Sable berisi 4 hingga 5 km *interbedded sandstones*, *shale*, dan *limestone*. Ke arah Utara dan Barat dari Pulau Sable, sepanjang *hinge-zone*, ada fasies karbonat yang cukup menonjol, yaitu pada Formasi Abenaki. Fasies kontinen lainnya, lebih ke arah Barat, ada Formasi Mohawk yang meliputi tekstur dewasa, *felspathic sandstone* dan *siltstone* dengan perselingan dari *shale* dan *limestone* (Almunawwar, 2014).

j. Ketidakselarasan (Unconformity)

Terdapat struktur ketidakselarasan (*unconformity*), yaitu *breakup unconformity* yang terjadi antara urutan *synrift* dan *postrift* pada cekungan Scotia dan kemungkinan terbentuk pada Jurasik. *Unconformity* tersebut memotong graben dangkal pada platform La Have dan berada jauh diluar zona diapir garam (Almunawwar, 2014).

k. Formasi Iroquois dan Mohican

Formasi Iroquois dan Mohican menutupi Break-Up Unconformity di bawah Shelf Scotia. Formasi Iroquois, dengan kandungan utamanya berupa Batuan Dolomit, seusia dengan bagian bawah dari Formasi Mohican pada *La Have Platform* dimana ketebalan maksimum mencapai sekitar 800 m.

l. Formasi Argo

Formasi Argo merupakan formasi yang berada di atas Formasi Eurydice dengan kandungan utamanya yang berupa salt (garam). Distribusi garam yang tersebar pada Cekungan Scotia menandakan bahwa mayoritas graben pada awal pengendapan mengakumulasikan sekuen evaporit yang tebal.

m. Formasi Eurydice

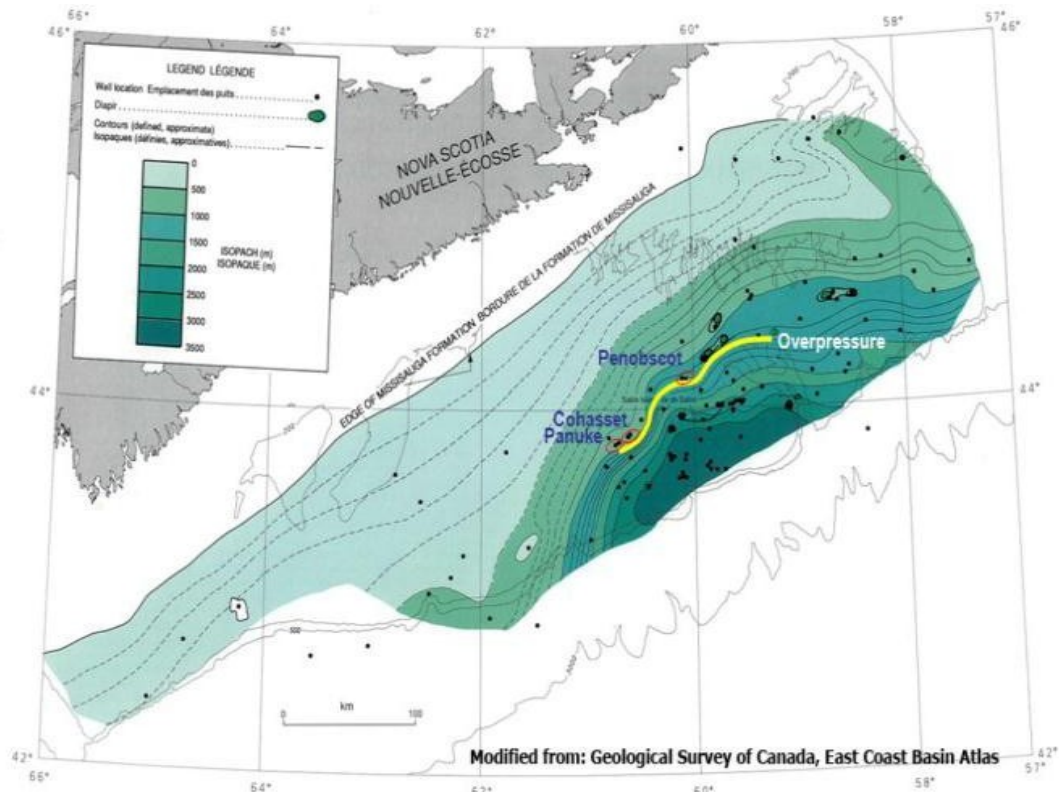
Formasi Eurydice adalah Formasi tertua pengisi basin Scotia yang masih berkaitan dengan pembentukan Benua Atlantik dan merupakan deretan *sandstone* merah, *siltstone*, dan *shale* pada Triasik/Jurasik. Beberapa sumur pernah dibor hingga mencapai Formasi Eurydice. Pada graben Orpheus, hampir 600 meter dari Formasi Eurydice dibor dan dari data seismik mengindikasikan total ketebalan Formasi ini mencapai 3 km. Lebih dari 1,5 km dari Formasi Eurydice dibor pada Graben Naskapi pada platform La Have dan data seismik 8 mengindikasikan bahwa ketebalannya juga sekitar 3 km pada daerah tersebut (Almunawwar, 2014).

n. Formasi Banquereau

Formasi Banquereau merupakan sukseksi sedimen antara *Cenozoik* atas dan bagian atas dari Formasi Wyandot dan memiliki ketebalan dari 0 hingga 4 Km.

II.2 Petroleum System

Letak prospek minyak dan gas lapangan Penobscot berada tepat miring ke atas pada area *geopressure* lapangan minyak Cohasset dan Panuke yang telah berproduksi sejak pertengahan tahun 1990. *Sandstone* Formasi Logan Canyon dan Missisauga merupakan tempat Minyak dan Gas berada. Minyak dan gas yang terkandung di lapangan Penobscot diperkirakan terletak di dekat atas Formasi Missisauga bagian tengah.



Gambar 2.3 Peta Isopach Formasi Missisauga (Kendell, 2013 : 11)

a. Source Rock (batuan induk) dan Migrasi

Adanya Missisauga *Ridge* menyebabkan hidrokarbon yang tergenerasi akan bermigrasi ke arah Utara dan Selatan struktur Penobscot. Batuan induk diprediksi berada pada area Verril Canyon dan Anggota Misaine (*Shale Dominated*) yang diduga dekat dengan bagian atas *oil window* (Wibowo, 2012). Menurut pendapat (Almunawwar, 2014) dan website resmi dari Canada-Nova Scotia Offshore Petroleum Board, batuan sumber kemungkinan terbentuk pada masa jurasik akhir

yang terendapkan selama proses transisi dari karbonat (Formasi Abenaki) ke delta (Formasi Mic Mac) yang berkorespondensi dengan Formasi Verrill Canyon.

b. Reservoir

Reservoir merupakan batuan yang dapat diisi oleh fluida, dalam hal ini fluida yang diinginkan berupa hidrokarbon. Syarat utama untuk dapat menjadi reservoir adalah batuan harus memiliki tingkat porositas yang cukup baik. Reservoir hidrokarbon pada lapangan Penobscot diduga berada pada Missisauga Tengah dan Bacarro dari Formasi Abenaki (Maulana, 2017).

Missisauga Tengah: Missisauga Tengah berisi lapisan pasir yang lebih tebal daripada bagian bawahnya dan lapisan pasirnya dapat dikorelasikan dengan data sumur yang ada. Lapisan pasir yang tebal pada bagian tengah atas Missisauga Tengah cenderung korelatif dengan data sumur L-30. Porositas rata-ratanya sekitar 20% dengan porositas maksimum sekitar 30%. Permeabilitas rata-rata 120 miliDarcy dengan permeabilitas maksimum lebih dari 1000 miliDarcy.

Baccaro: Baccaro merupakan bagian dari *platform* karbonat dari Abenaki dan telah terbukti produktif pada bagian Barat Daya Lapangan *Deep Panuke*. Hidrotermal dolomitisasi membentuk porositas yang tinggi pada reservoir pada fasies karbonat. *Basement faulting* sepanjang *Missisauga Ridge* memberikan jalan untuk air hidrotermal yang membentuk porositas yang sangat baik serupa dengan Lapangan *Deep Panuke*.

c. Trap dan Seal (Penutup)

Jebakan atau *trap* merupakan bentuk lapisan bumi yang dapat membuat hidrokarbon terperangkap. Ada beberapa jenis klasifikasi *trap* diantaranya adalah *trap* struktural, *trap* stratigrafi, dan kombinasi keduanya (Almunawwar, 2014). *Basement Fault* sepanjang *Missisauga Ridge* berpotensi sebagai *trap*.

Penutup atau *seal* merupakan lapisan *impermeable* yang dapat mencegah hidrokarbon untuk bermigrasi lagi dari batuan reservoir. *Seal* yang baik penyebarannya harus luas. *Seal* atau batuan penutupnya kemungkinan banyak terdapat batuan serpih yang merupakan jenis batuan penutup utama (Almunawwar, 2014).

II.3 Jenis-jenis Log

Analisis petrofisika batuan merupakan analisis yang menggunakan sifat fisik batuan sebagai fungsi dari respon batuan saat proses *logging*. *Well Logging* adalah suatu metode untuk memperoleh gambaran sifat, ciri, dan berbagai keterangan lain pada batuan di bawah permukaan. Sifat, ciri, dan berbagai keterangan lain tersebut diperoleh melalui pengukuran besaran-besaran fisik batuan di bawah permukaan. Sehingga diagram yang dihasilkan merupakan gambaran hubungan antara kedalaman (*depth*) dengan karakter atau sifat batuan yang ada pada formasi (Harsono, 1997). Adapun beberapa jenis log yang umum digunakan dalam analisis petrofisika, yaitu :

II.3.1 Log Gamma Ray (GR)

Prinsip log *gamma ray* adalah mengukur dan mencatat intensitas radioaktif alami yang didapatkan oleh formasi sebagai fungsi hasil peluruhan radioaktif yang terdapat dalam formasi batuan. Log *gamma ray* digunakan untuk membedakan batu pasir dan lempung, yang mana pembacaan log *gamma ray* yang tinggi menunjukkan zona non-reservoir (*Shale*), Sebaliknya, pada formasi dengan litologi berupa batupasir dan batugamping, log *gamma ray* akan menunjukkan pembacaan yang rendah. karena pada umumnya batupasir dan batugamping memiliki unsur radioaktif yang rendah. Unsur-unsur radioaktif yang dimaksud adalah *Thorium* (Th), *Potassium* (K), dan *Uranium* (U) (Asquith & Krygowski, 2004).

Namun, beberapa anomali dapat terjadi akibat adanya kandungan mineral radioaktif yang tinggi pada zona reservoir (*sandstone*), seperti : *feldpathic sandstone* (arkose), *glauconitic sandstone*, dan *micaceous sandstone*.

Log *gamma ray* digunakan untuk (Asquith dan Krygowski, 2004) :

- I. Evaluasi Kandungan Serpih Vsh
- II. Determinasi Lapisan *Permeable*
- III. Evaluasi Mineral Radioaktif
- IV. Evaluasi Lapisan Mineral Radioaktif
- V. Korelasi dan Analisis Fasies Bawah Permukaan

Pada kondisi linear, indeks *gamma ray* yang terekam pada suatu lapisan akan sama dengan tingkat kandungan lempung pada lapisan tersebut.

$$I_{GR} = V_{cl} \quad (1)$$

Dimana:

I_{GR} = Indeks Gamma Ray

V_{cl} = Kandungan Lempung

Indeks gamma ray dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Asquith & Krygowski, 2004) :

$$I_{GR} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (2)$$

Dimana:

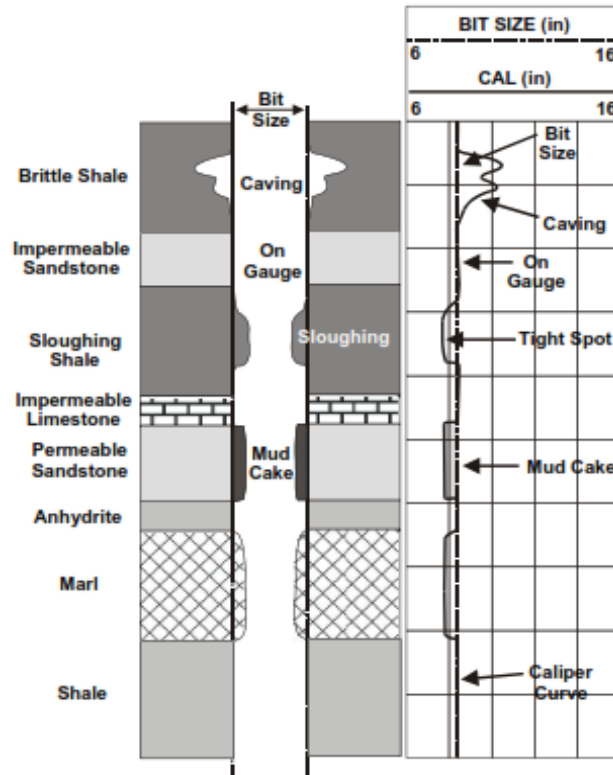
GR_{log} = Nilai gamma ray yang terbaca dari suatu Formasi (API)

GR_{min} = Nilai gamma ray terkecil (API)

GR_{max} = Nilai gamma ray terbesar (API)

II.3.2 Log Caliper

Log Caliper merupakan log yang digunakan untuk mengukur diameter dari lubang bor yang sesungguhnya sehingga dapat merefleksikan lapisan yang *Permeable* dan *Impermeable*. Lapisan yang *Permeable* memiliki diameter lubang bor yang akan semakin kecil akibat terbentuknya kerak lumpur (mud cake) di dinding lubang bor. Lapisan yang *Impermeable* memiliki diameter lubang bor yang akan semakin membesar dikarenakan adanya keruntuhan pada dinding lubang bor (Caving).



Gambar 2.4 Interpretasi dari Kurva Log Caliper (Glover, 2010).

II.3.3 Log Densitas

Log densitas merupakan log yang dilakukan untuk mengukur densitas elektron dari suatu formasi. Log densitas digunakan untuk menentukan porositas batuan, mengidentifikasi mineral evaporit, zona *gas-bearing*, densitas minyak dan gas, serta mengevaluasi reservoir batupasir lempungan (*shaly sand*) dan litologi yang kompleks di sepanjang lubang bor. Nilai densitas yang digunakan dalam penentuan porositas berdasarkan log densitas ada 3 yaitu, densitas Bulk dan densitas matriks batuan dan densitas fluida. (Asquith dan Krygowski, 2004).

Tujuan utama dari log densitas adalah untuk menentukan porositas dengan mengukur densitas bulk batuan, disamping itu dapat juga digunakan untuk mendeteksi adanya gas atau air, digunakan bersama-sama dengan neutron log, juga untuk menentukan densitas gas (ρ_{Gas}) dan membantu dalam mengevaluasi lapisan *shale* (Asquith dan Krygowski, 2003).

Penentuan porositas berdasarkan log densitas dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut (Asquith dan Krygowski, 2004):

$$\Phi_D = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_{fl}} \quad (3)$$

Dimana :

Φ_D = Porositas berdasarkan log densitas

ρ_{ma} = Densitas matriks (g/cm^3)

ρ_b = Densitas Bulk (g/cm^3)

ρ_{fl} = Densitas fluida (g/cm^3) (1.1 untuk *salt mud*, 1.0 untuk *fresh mud*, 0.7 untuk gas)

II.3.4 Log Neutron

Log neutron merupakan log porositas yang mengukur kandungan ion hidrogen dalam suatu formasi. Pada formasi yang bersih dari kandungan serpih (*Shale free*) dimana porositasnya dipenuhi dengan air atau minyak, maka neutron log mengukur porositas *liquid-filled* (Φ_N , PHIN, atau NPHI). Pada pori yang terisi Gas maka porositas neutronnya akan terhitung lebih kecil. Hal ini dikarenakan jumlah ion hidrogen pada gas lebih sedikit dibandingkan minyak ataupun air. Gejala dari penurunan nilai porositas neutron ini disebut *Gas Effect*.

Ada juga Gejala selain *gas effect* yaitu *shale effect* yang dapat mempengaruhi nilai dari porositas neutron. *Shale effect* merupakan gejala peningkatan nilai porositas neutron yang terjadi akibat adanya kandungan lempung atau serpih (shale). *Shale effect* ini bisa dikurangi dengan cara mengoreksi log neutron yang terbaca terhadap jumlah serpih yang ada (Asquith dan Krygowski, 2004). Koreksi tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Phi_{Ncorr} = \Phi_N - (\Phi_{Nclay} \times V_{cl}) \quad (4)$$

Dimana :

Φ_N = Porositas berdasarkan log neutron

Φ_{Ncorr} = Porositas setelah koreksi terhadap lempung

Φ_{Nclay} = Porositas lempung berdasarkan log neutron

V_{cl} = Kandungan lempung

Jadi, Neutron porositas yang diukur oleh log porositas bukanlah nilai porositas sesungguhnya dari suatu batuan, melainkan adanya kandungan hidrogen yang terdapat pada pori-pori batuan. Semakin berpori batuan maka semakin banyak kandungan hidrogennya dan semakin tinggi indeks hidrogen. Sehingga *shale* yang banyak mengandung hidrogen dapat ditafsirkan memiliki porositas yang tinggi pula (Asquith dan Krygowski, 2003).

II.3.5 Log Sonik

Log sonik merupakan log yang digunakan dalam mengukur nilai porositas batuan dengan mengukur (interval transit time/ Δt) yang diperlukan gelombang untuk menempuh jarak dalam suatu formasi. Secara kuantitatif, log sonik dapat digunakan untuk mengevaluasi porositas dalam lubang yang terisi fluida, dalam interpretasi seismik dapat digunakan untuk menentukan *interval velocities* dan *velocity profiling*, serta dapat juga dikalibrasi dengan penampang seismik. Secara kualitatif dapat digunakan untuk mendeterminasi variasi tekstur dari lapisan pasir dan serpih, dalam beberapa kasus dapat digunakan untuk identifikasi rekahan (*fractures*) (Rider, 2002).

Untuk menghitung porositas sonik dari pembacaan log Δt harus terdapat hubungan antara *transit time* dengan porositas. Wyllie mengajukan persamaan waktu rata-rata yang merupakan hubungan linier antara waktu dan porositas. Persamaan tersebut dapat dilihat di bawah ini (Harsono, 1997):

$$\Phi_S = \frac{\Delta t_{log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \quad (5)$$

Dimana :

Δt_{log} = *Transite time* yang dibaca dari log ($\mu\text{sec}/\text{ft}$)

Δt_f = *Transite time* fluida ($\mu\text{sec}/\text{ft}$)

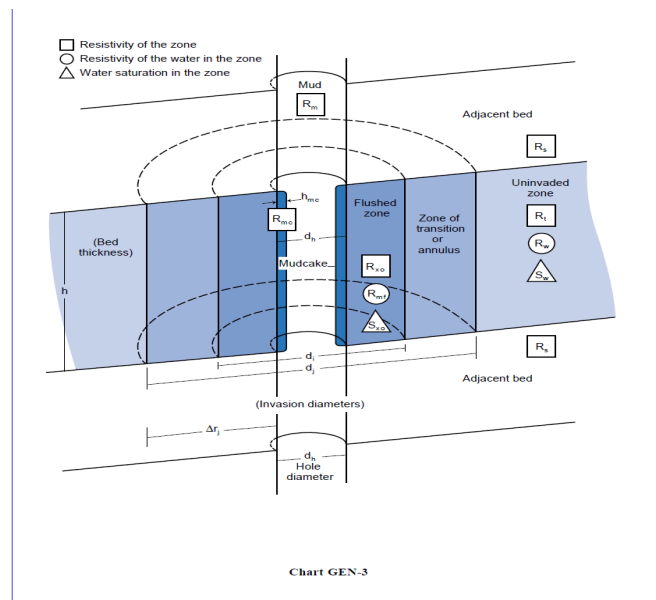
Δt_{ma} = *Transite time* matriks batuan, $\mu\text{sec}/\text{ft}$

Φ_S = porositas dari log sonic

II.3.6 Log Resistivitas

Log resistivitas adalah log yang digunakan dalam mengukur kemampuan batuan dalam menghambat arus listrik yang mengalir pada batuan dan fluida (minyak, gas, dan air). Log resistivitas dapat digunakan juga untuk membedakan lapisan reservoir, batas kontak fluida serta salinitas air formasi. Besaran resistivitas batuan dideskripsikan dengan ohm meter dan biasanya dibuat dalam skala logaritmik dengan nilai antara (0.2-2000) ohm meter.

Terdapat dua macam pengukuran log resistivitas, yaitu Lateral Log yang meliputi *Lateral Log Deep* (LLD), *Lateral Log Shallow* (LLS), *Micro Spherically Focused Log* (MSFL), dan *Induction Log* yang meliputi *Induction Log Deep* (ILD), *Induction Log Shallow* (ILS), *Micro Spherically Focused* (MFS). Mengacu pada adanya perbedaan zona di sekitar dinding lubang bor, zona terinvasi dapat terindikasi dari rekaman log MSFL atau SFL. Sedangkan untuk zona transisi dapat terindikasi dari rekaman log LLS atau ILM. Untuk zona jauh dapat terbaca dari log LLD atau ILD.



Gambar 2.5 *Borehole Environment*

Lateral log memfokuskan arus listrik secara lateral ke dalam formasi dalam bentuk lembaran tipis, dengan menggunakan arus pengawal (bucking current), yang

berfungsi mengawal arus utama (measured current) masuk ke dalam formasi. Dengan mengukur tegangan listrik yang diperlukan untuk menghasilkan arus listrik utama yang besarnya tetap, resistivitas dapat dihitung dengan hukum ohm. Dan *Lateral log* biasanya digunakan untuk nilai resistivitas menengah-tinggi.

Induction log menginduksikan arus listrik ke formasi dengan memanfaatkan arus bolak-balik yang dikenai pada kumparan, sehingga menghasilkan medan magnet, dan sebaliknya medan magnet akan menghasilkan arus listrik pada kumparan. Kegunaan log induksi ini antara lain mengukur konduktivitas pada formasi, mengukur resistivitas formasi dengan lubang pemboran dengan lumpur pemboran jenis “oil base mud” atau “Fresh water base mud”. Penggunaan Lumpur pemboran berfungsi untuk memperkecil pengaruh formasi pada zona batulempung/*clay* yang besar. Penggunaan log induksi menguntungkan apabila:

- Cairan lubang bor adalah insulator seperti udara, air tawar, gas, ataupun *oil base mud*.
- Resistivitas formasi tidak terlalu besar $R_f < 100$ Ohm.
- Diameter lubang bor tidak terlalu besar.

Ketika suatu formasi dibor, air lumpur pemboran akan masuk ke dalam formasi sehingga membentuk 3 zona yang terinvasi dan mempengaruhi pembacaan log resistivitas, yaitu:

a. Flushed Zone

Merupakan zona infiltrasi yang terletak paling dekat dengan lubang bor serta terisi oleh air filtrat lumpur yang mendesak komposisi semula (gas, minyak ataupun air tawar). Meskipun demikian mungkin saja tidak seluruh komposisi semula terdesak ke dalam zona yang lebih dalam.

b. Transition Zone

Merupakan zona infiltrasi yang lebih dalam, zona ini ditempati oleh campuran dari air filtrat lumpur dengan komposisi.

c. *Uninvaded Zone*

Merupakan zona yang tidak mengalami infiltrasi dan terletak paling jauh dari lubang bor, serta seluruh pori-pori batuan terisi oleh komposisi semula.

II.4 Analisis Petrofisika Batuan

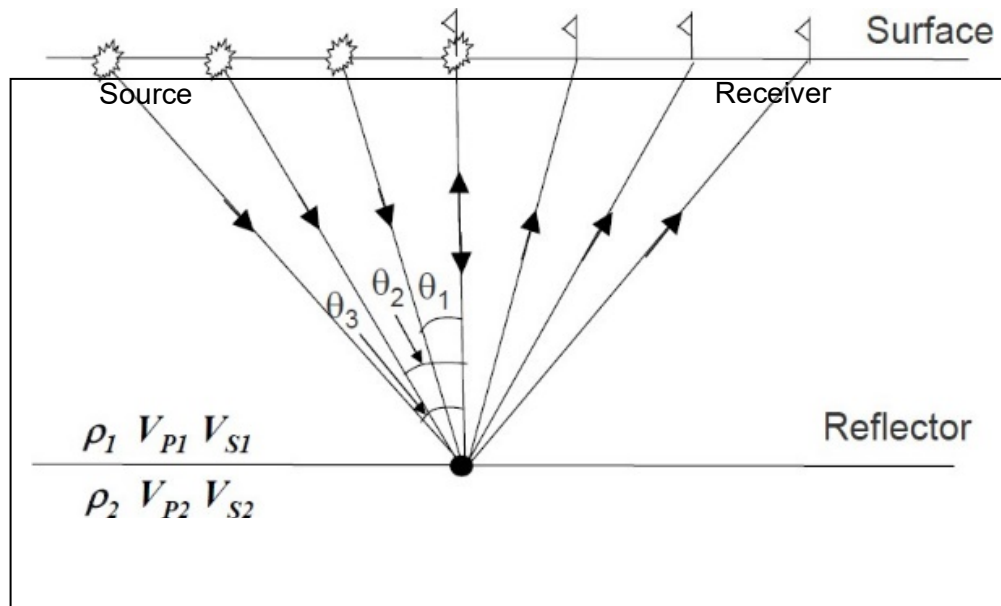
Proses analisis petrofisika batuan adalah untuk menghasilkan data-data yang diperlukan dalam proses Analisis yang lebih lanjut. Data-data tersebut merupakan parameter-parameter sifat Fisis dari suatu batuan pada formasi. Batuan yang terbentuk secara alami pada umumnya dapat meloloskan air, minyak dan gas atau gabungan dari fluida-fluida tersebut. Sifat aliran fluida yang melewati batuan tergantung pada litologi dan juga karakter fluida dalam batuan. Sifat-sifat batuan yang penting dari analisis fisis media berpori adalah batuan reservoir yang harus bersifat kelolosan atau *permeable*, porous dan memiliki kejenuhan (saturasi) (Adim, 1980).

II.5 Tinjauan Seismik

Metode seismik adalah salah satu metode eksplorasi geofisika yang didasarkan pada penjalaran respon gelombang seismik yang melalui lapisan batuan. Sumber gelombang pada metode seismik berasal dari dinamit atau *air gun* (di laut). Selanjutnya gelombang tersebut akan ditangkap oleh penerima (*geophone* untuk di darat dan *hydrophone* untuk di laut). Gelombang tersebut akan dibiaskan atau dipantulkan sesuai hukum *Snellius* pada penjalaran gelombang. Pada penelitian ini akan dibahas mengenai gelombang seismik refleksi.

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi dan bergantung pada elastisitas batuan. Komponen dari gelombang seismik yang direkam oleh alat perekam berupa waktu datang gelombang seismik. Dengan diukurnya waktu datang maka akan didapatkan waktu tempuh gelombang seismik yang berguna untuk memberi informasi mengenai kecepatan seismik pada suatu lapisan. Informasi yang dibawa gelombang seismik mengenai informasi fluida dan litologi bawah permukaan dalam bentuk waktu rambat, amplitudo refleksi dan variasi fasa.

Gelombang seismik merambat dari *source* ke *receiver* melalui lapisan dalam bumi dan mentransfer energi sehingga dapat menggerakkan partikel batuan. Kemampuan partikel batuan untuk bergerak jika dilewati gelombang seismik menentukan kecepatan gelombang seismik pada lapisan batuan tersebut. Pada perbatasan antar dua lapisan yang memiliki impedansi akustik yang berbeda, gelombang seismik akan mengalami dua fenomena yaitu refleksi dan refraksi. Refleksi terjadi jika gelombang yang dirambatkan dipantulkan kembali oleh lapisan bumi sedangkan refraksi terjadi jika gelombang tersebut diteruskan ke lapisan berikutnya dan memungkinkan untuk kembali terjadi dua fenomena tersebut. Skema mengenai perambatan gelombang seismik di dalam permukaan bumi dari *source* ke *receiver* dapat diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 2.6 Skema perambatan gelombang seismik pada lapisan bumi (Russel, 2001)

Dimana V_1 dan V_2 adalah kecepatan gelombang seismik pada lapisan pertama dan kedua. Sedangkan θ_1 dan θ_2 adalah sudut datang dan sudut pantul yang dibentuk oleh satu pulsa gelombang.

Persamaan yang terdapat pada gambar merupakan persamaan Snellius yang menggambarkan prinsip penjalaran gelombang seismik di dalam lapisan bumi, sebagai berikut:

$$\frac{V_1}{\sin \theta_1} = \frac{V_2}{\sin \theta_2} \quad (6)$$

Saat gelombang seismik melalui bidang batas lapisan maka selain dipantulkan dan direfleksikan akan menghasilkan gelombang S dan gelombang P. Energi seismik yang terus menjalar ke dalam bumi akan diserap dalam tiga bentuk yaitu :

a. *Divergensi Spherical*

Energi perambatan gelombang menurun sebanding dengan jarak akibat adanya *spreading* geometri. Besar pengurangan densitas energi ini berbanding terbalik dengan kuadrat jarak penjalaran gelombang.

b. *Absorpsi*

Energi berkurang akibat terserap oleh massa batuan.

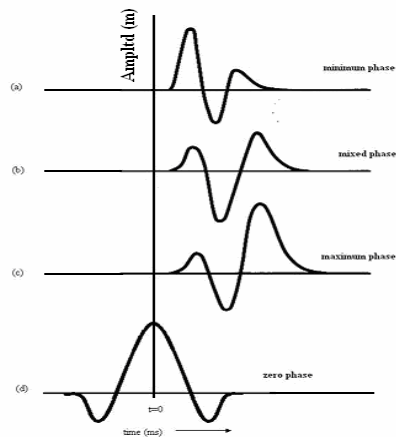
c. *Terpantulkan*

Gelombang seismik terpantulkan sesuai dengan sudut datang gelombang.

Pada umumnya tujuan utama dari pengukuran seismik adalah untuk memperoleh rekaman yang berkualitas baik. Kualitas rekaman ini dapat dinilai dari perbandingan sinyal refleksi terhadap sinyal *noise* (S/N), yaitu perbandingan antara banyaknya sinyal refleksi yang direkam dibandingkan dengan sinyal *noise* dan keakuratan pengukuran waktu tempuh (*travel time*). Dari pengukuran seismik akan menghasilkan penampang seismik yang menunjukkan respon refleksi bumi terhadap gelombang seismik dan posisi perlapisan batuan secara geologi (Redini et al., 2017).

II.5.1 Wavelet

Wavelet merupakan sinyal transien yang mempunyai interval waktu dan amplitudo terbatas. Terdapat empat jenis *wavelet* yang umum diketahui, yaitu *wavelet* fase nol (*zero phase*), fase minimum (*minimum phase*), fase maksimum (*maximum phase*) dan fase campuran (*mixed phase*). Tipe-tipe *wavelet* tersebut mempunyai letak konsentrasi energi yang berbeda-beda.



Gambar 2.7 Jenis-jenis *Wavelet* (Prakosa, 2015)

Wavelet berfase nol yang sering juga disebut *wavelet* simetris mempunyai konsentrasi maksimum di tengah dan waktu tunda nol, sehingga *wavelet* ini mempunyai resolusi yang maksimum. *Wavelet* berfase minimum memiliki waktu tunda terkecil dari energinya. *Wavelet* berfase maksimum memiliki energi yang terpusat secara maksimal di bagian akhir dari *wavelet*. Sedangkan *wavelet* berfase campuran tidak terjadi pemusatan energi baik di awal maupun di akhir *wavelet*. Dalam pengolahan data seismik *wavelet* yang biasa dipakai adalah *wavelet zero phase* dan *minimum phase* (Russel,1996).

II.5.2 Trace Seismik

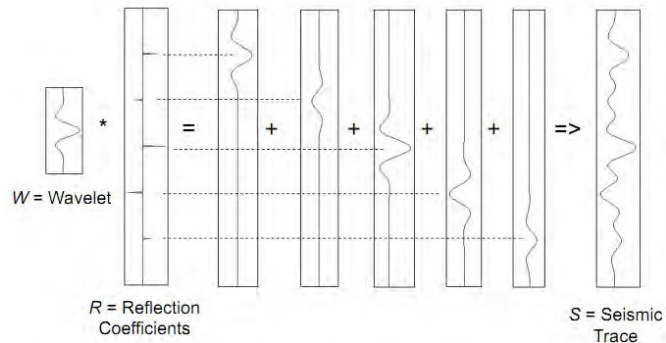
Model dasar yang sering digunakan pada model satu dimensi untuk *trace* seismik adalah model konvolusi. Proses Konvolusi menyatakan bahwa tiap *trace* merupakan hasil konvolusi sederhana dari reflektivitas bumi dengan fungsi sumber seismik ditambah dengan *noise*. Dalam bentuk persamaan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S(t) = W(t) * r(t) + n(t) \quad (7)$$

Dimana :

- S(t) = *trace* seismik
- W(t) = *wavelet*
- seismik r(t) = reflektivitas bumi
- n(t) = *noise*

Tanda (*) menyatakan konvolusi. Konvolusi dapat dinyatakan sebagai penggantian setiap koefisien refleksi dalam skala *wavelet* yang kemudian menjumlahkan hasilnya (Russell, 1996).



Gambar 2.8 Pembentukan *Trace* Seismik (Russel, 1996)

Penentuan *wavelet* seismik akan berpengaruh pada even-even reflektor dalam data seismik. Saat dikonvolusikan dengan *wavelet* maka koefisien refleksi akan cenderung direduksi, sehingga akan mengurangi resolusi pada even reflektor yang berdekatan.

II.6 Sifat Fisika Batuan

II.6.1 *Poisson's Ratio*

Poisson's ratio adalah sebuah konstanta elastis suatu batuan. *Poisson's ratio* juga dapat diartikan sebagai suatu perbandingan dari perubahan bentuk suatu batuan yang diakibatkan adanya pengaruh dari gelombang P dan gelombang S.

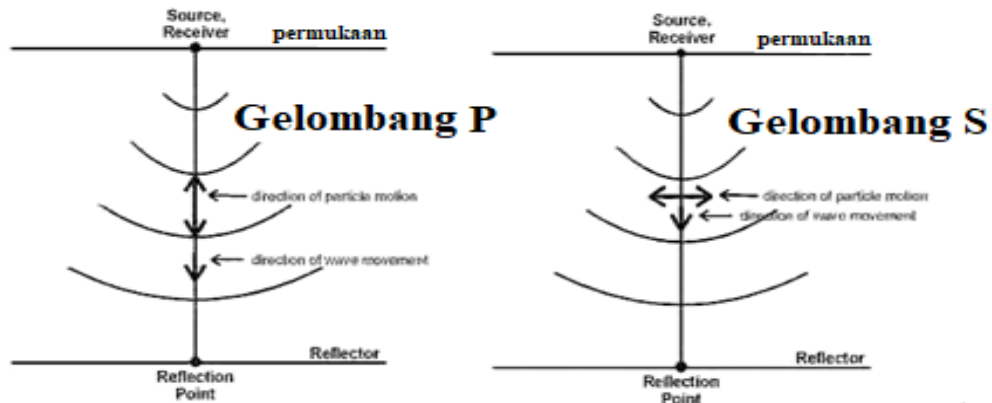
Kecepatan gelombang kompresi atau gelombang P merupakan kecepatan gelombang dengan arah gerak partikel yang sejajar (longitudinal) dengan arah perambatan gelombang. Sedangkan kecepatan gelombang S merupakan kecepatan gelombang dengan arah gerak partikel yang tegak lurus (transversal) dengan arah rambat gelombangnya. Persamaan *Poisson's ratio* (σ) ditunjukkan pada Persamaan di bawah ini:

$$\sigma = \frac{\gamma^2 - 2}{2\gamma^2 - 2} \quad (8)$$

Dimana :

$$\gamma = \frac{V_p}{V_s} \quad (9)$$

Poisson's ratio umumnya digunakan sebagai indikator keberadaan gas, karena *Poisson's ratio* sangat sensitif terhadap keberadaan fluida. Hal ini dikarenakan nilai V_p yang berubah terhadap saturasi dan jenis fluida yang berbeda sedangkan nilai V_s tidak terlalu berubah, sehingga akan menghasilkan perubahan pada *Poisson's ratio*.



Gambar 2.9 Perambatan gelombang P dan gelombang S (Russel, 1996)

II.6.2 Impedansi Akustik

Impedansi Akustik (IA) merupakan kemampuan dari suatu batuan dalam melewatkan gelombang. Nilai impedansi akustik pada batuan dikontrol oleh litologi, porositas, fluida, kedalaman dan juga tekanan. Impedansi akustik (IA) merupakan hasil perkalian antara densitas media rambat dan kecepatan media rambat, dinyatakan dalam persamaan di bawah (Hutabarat, 2009).

$$IA = \rho \cdot V \quad (10)$$

dimana :

IA = impedansi akustik ($\text{kg/m}^3 \cdot \text{m/s}$)

ρ = densitas (kg/m^3)

V = kecepatan (m/s)

Dalam mengontrol nilai (IA), kecepatan mempunyai arti yang lebih penting daripada densitas. Sebagai contoh, porositas atau material pengisi pori batuan (air, minyak, gas) lebih mempengaruhi harga kecepatan daripada densitas (Hutabarat, 2009). Kecepatan lebih sensitif terhadap perubahan litologi ataupun keberadaan

fluida, selain itu juga karena orde nilai kecepatan lebih besar dibandingkan orde nilai densitas.

Pada data seismik, refleksi gelombang akan muncul apabila terjadi perubahan nilai AI. Semakin besar nilai koefisien refleksi maka semakin besar pula kontras AI antara suatu lapisan.

II.7 *Amplitude Versus Offset* (AVO)

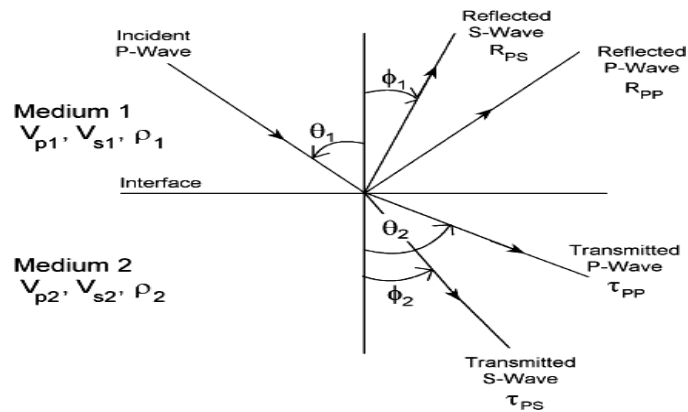
II.7.1 Prinsip Dasar AVO

Prinsip dasar yang dimiliki AVO berdasarkan adanya perubahan pada anomali amplitudo sinyal refleksi terhadap pertambahan *offset* yang diakibatkan oleh terpantulnya gelombang pada batas lapisan yang mengandung fluida. Pertambahan *offset* tidak hanya didasarkan pada bertambahnya jarak antara sumber dan penerima namun juga sebagai bertambahnya sudut datang dari gelombang. Sehingga bisa dikatakan juga bahwa semakin besar sudut datang maka semakin besar pula *offset* (Prakosa, 2015).

Pada awalnya metode AVO ditujukan sebagai suatu teknik untuk melakukan validasi anomali amplitudo pada data seismik yang berasosiasi dengan kehadiran gas pada reservoir (Ostrander, 1984). Anomali amplitudo muncul sebagai akibat dari penurunan koefisien refleksi gelombang seismik secara drastis pada lapisan yang mengandung gas dengan koefisien refleksi dari lapisan-lapisan di sekitarnya. Fenomena ini dinamakan dengan fenomena *bright spot*. Dalam prakteknya tidak semua *bright spot* menunjukkan kehadiran gas karena sisipan batubara, lapisan yang sangat berpori ataupun rekahan, lapisan garam, konglomerat serta *tuning effect* dari lapisan-lapisan tipis dapat juga menghasilkan anomali *bright spot* (Munadi, 1993). Karena itu dikembangkan metode AVO untuk mereduksi adanya ambiguitas interpretasi dari keberadaan gas tersebut.

AVO muncul akibat adanya partisi energi pada saat melewati bidang reflektor, energi akan dipantulkan dan sebagian lainnya akan ditransmisikan. Ketika gelombang seismik menuju batas lapisan dengan sudut datang tidak sama dengan nol maka konversi gelombang P menjadi gelombang S akan terjadi. Amplitudo dari energi yang terefleksikan dan ditransmisikan tergantung pada sifat fisik di antara

bidang reflektor yang menyebabkan koefisien refleksi menjadi fungsi dari kecepatan gelombang P (V_p), kecepatan gelombang S (V_s), densitas (ρ) dari setiap lapisan, serta sudut datang (θ_1) sinar seismik. Oleh karena itu terdapat empat kurva yang dapat diturunkan, yaitu amplitudo refleksi gelombang P, amplitudo transmisi gelombang P, amplitudo refleksi gelombang S, dan amplitudo transmisi gelombang S. Perbedaan pada nilai kecepatan dan densitas pada batas antar lapisan tersebut akan mengakibatkan berbeda pula koefisien refleksi yang dihasilkan.



Gambar 2.10 Partisi energi gelombang seismik pada bidang reflektor (Russel, 1996)

II.7.2 Persamaan Zoeppritz

Zoeppritz pada tahun 1919 pertama kali memperkenalkan persamaan dasar AVO yang menggambarkan koefisien refleksi dan transmisi sebagai fungsi dari sudut datang pada media elastik (densitas, kecepatan gelombang P, dan kecepatan gelombang S). Persamaan dari hasil analisis koefisien refleksi atau persamaan Zoeppritz dapat dituliskan dalam bentuk persamaan matriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \sin \theta_1 & \cos \phi_1 & -\sin \theta_2 & \cos \phi_2 \\ -\cos \theta_1 & \sin \phi_1 & -\cos \theta_2 & -\sin \phi_2 \\ \sin 2\theta_1 & \frac{\alpha_1}{\beta_1} \cos 2\theta_1 & \frac{\rho_2 \alpha_1 (\beta_2)^2}{\rho_1 \alpha_2 (\beta_1)^2} \sin 2\theta_2 & -\frac{\rho_2 \alpha_1 \beta_2}{\rho_1 \beta_1} \cos 2\theta_2 \\ \cos 2\theta_1 & -\frac{\beta_1}{\alpha_1} \sin 2\theta_1 & -\frac{\rho_2 \alpha_2}{\rho_1 \alpha_1} \cos 2\theta_2 & -\frac{\rho_2 \beta_2}{\rho_1 \alpha_1} \sin 2\theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \theta_1 \\ -\cos \theta_1 \\ \sin 2\theta_1 \\ -\cos 2\theta_1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Dimana :

A = Amplitudo Gelombang refleksi

θ_1 = Sudut Datang gelombang P

- B = Amplitudo Gelombang S refleksi
- θ_2 = Sudut bias gelombang P
- C = Amplitudo gelombang P transmisi
- ϕ_1 = Sudut pantul gelombang S
- D = Amplitudo gelombang s transmisi
- ϕ_2 = Sudut bias gelombang S
- α = Kecepatan Gelombang P
- β = Kecepatan Gelombang S
- ρ = Densitas

Kemudian Aki, Richards dan Frasier membuat pendekatan terhadap persamaan Zoeppritz. Persamaan ini kemudian menjadi persamaan yang digunakan dalam analisis AVO dan attribut AVO.

$$R(\theta) = R_{po} + G \sin^2 \theta + C \tan^2 \theta \sin^2 \theta \quad (12)$$

Dimana :

$$R_{po} = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta V_p}{V_p} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \right] \quad (13)$$

$$G = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} - 4 \left[\frac{\Delta V_s}{V_s} \right]^2 \frac{\Delta V_s}{V_s} - 2 \left[\frac{\Delta V_s}{V_s} \right]^2 \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (14)$$

$$C = \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} \quad (15)$$

R_{po} merupakan linearisasi dari koefisien refleksi pada sudut datang sama dengan nol. G merupakan gradient dan C merupakan kurvatur. Perhitungan koefisien refleksi gelombang P dari persamaan Zoeppritz disederhanakan lagi oleh Shuey (1985) menjadi :

$$R(\theta) = R_p + \left(R_p A_0 + \frac{\Delta \sigma}{(1-\sigma)^2} \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \frac{\Delta \alpha}{\alpha} (\tan^2 \theta - \sin^2 \theta) \right) \quad (16)$$

Dimana :

$$\sigma = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2} \quad (17)$$

$$A_0 = B - 2(1+B) \frac{1-2\sigma}{1-\sigma} \quad (18)$$

$$B = \frac{\frac{\Delta \alpha}{\alpha}}{\frac{\Delta \alpha}{\alpha} + \frac{\Delta \rho}{\rho}} \quad (19)$$

Dimana :

- σ = Rata-rata Poisson's ratio
- $\Delta\sigma$ = Perbedaan σ yang melewati bidang batas ($\sigma_2 - \sigma_1$)
- α = Rata-rata kecepatan gelombang
- $\Delta\alpha$ = Perbedaan V_p yang melewati bidang batas
- θ = Rata-rata sudut datang dan sudut transmisi
- ρ = Rata-rata densitas formasi
- $\Delta\rho$ = Perbedaan densitas yang melewati batas

Setiap suku pada persamaan Shuey menggambarkan satu selang sudut yang berbeda-beda. Suku pertama menunjukkan nilai dari R_p jika sudut datang sama dengan nol, suku kedua menunjukkan nilai R_p jika sudut datang menengah dan suku ketiga menunjukkan nilai R_p jika sudut datang mendekati sudut kritis. Melalui pendekatan Aki-Richard dan Shuey terhadap persamaan Zoeppritz dapat ditunjukkan dalam persamaan yang lebih sederhana dengan mengasumsikan sudut kecil yaitu :

$$R(\theta) = R_p + G \sin^2\theta \quad (20)$$

Persamaan ini linear apabila kita memasukkan nilai R sebagai fungsi dari $\sin^2\theta$. Selanjutnya dapat dilakukan analisis regresi linear pada amplitudo seismik untuk memperkirakan nilai dari *Intercept* (R_p) dan *Gradient* (G). Pertama harus dilakukan transformasi pada data seismik *gather* dari domain *offset* menjadi sudut datang.

Pada data *seismic gather Common Mid Point (CMP)*, *super gather* dan *Common Deep Point (CDP)*. Untuk setiap nilai amplitudo dari setiap *offset* dalam data *gather* secara sederhana diregresi secara linier untuk simplifikasi hubungan antara amplitudo terhadap *offset*. Dengan ini muncul atribut AVO yaitu *intercept* dan *gradient* dari garis tersebut yang menggambarkan hubungan respon amplitudo terhadap sudut datang gelombang seismik.

II.7.3 Atribut AVO

Atribut AVO berperan dalam peningkatan interpretasi dan analisis reservoir pada gas. Yang merupakan atribut AVO adalah atribut *intercept* (A), *gradient* (B), *product* ($A*B$), *scaled Poisson's ratio* ($aA+bB$) dan *fluid factor* (FF) dan lainnya.

II.7.3.1 *Intercept (A)*

Attribut *intercept* merupakan nilai koefisien refleksi gelombang seismik pada *zero offset* atau sudut datang nol (*zero angle axis*). *Intercept* merupakan suku pertama dari pendekatan Shuey terhadap persamaan Zoeppritz. Attribut *intercept* akan memperlihatkan apakah AVO terjadi pada amplitudo yang besar atau kecil.

II.7.3.2 *Gradient (B)*

Gradient (B) merupakan *slope* atau kemiringan garis yang menggambarkan adanya perubahan amplitudo terhadap sudut datang (θ). Perubahan amplitudo digunakan sebagai karakteristik data seismik yang menunjukkan keberadaan dari fluida. Attribut *gradient* merupakan suku kedua dari pendekatan Shuey (1985). Dari attribut ini akan dapat diketahui apakah anomali AVO menunjukkan pengurangan atau penambahan amplitudo.

II.7.3.3 *Product (A*B)*

Attribut *product* merupakan attribut dari hasil perkalian antar *intercept* dengan *gradient*. Seringkali attribut ini digunakan sebagai indikator keberadaan dari gas. Apabila nilai dari hasil perkalian kedua faktor tersebut positif, maka ada penambahan absolut terhadap *offset* dan menghasilkan anomali *bright spot* pada data absolut terhadap *offset* dan menghasilkan anomali *dim spot* pada data seismik.

II.7.3.4 *Scaled Poisson's Ratio (aA+bB)*

Scaled Poisson's ratio merupakan attribut yang mempresentasikan harga dari Poisson's ratio yang terskala pada a dan b dengan mengasumsikan lapisan bumi bersifat homogen isotropis. Attribut ini digunakan untuk mengetahui dominasi fluida pada data seismik.