

**PERSEBARAN SATURASI AIR DAN KANDUNGAN JENIS
FLUIDA PADA LAPANGAN “X” DI CEKUNGAN JAWA
TIMUR UTARA UNTUK EKSPLORASI HIDROKARBON
NON-KONVENSIIONAL**

(Skripsi)

Oleh

**INTANIA ROSA FORTUNA JAYA
1915051050**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**PERSEBARAN SATURASI AIR DAN KANDUNGAN JENIS
FLUIDA PADA LAPANGAN “X” DI CEKUNGAN JAWA
TIMUR UTARA UNTUK EKSPLORASI HIDROKARBON
NON-KONVENSIIONAL**

Oleh

INTANIA ROSA FORTUNA JAYA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

PERSEBARAN SATURASI AIR DAN KANDUNGAN JENIS FLUIDA PADA LAPANGAN “X” DI CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA UNTUK EKSPLOKASI HIDROKARBON NON-KONVENSIONAL

Oleh

Intania Rosa Fortuna Jaya

Besarnya kebutuhan migas dan menipisnya cadangan migas Indonesia yang dieksploitasi secara terus-menerus membuat para ahli banyak meneliti sumber cadangan hidrokarbon alternatif yaitu migas non-konvensional. Cekungan Jawa Timur Utara memiliki potensi hidrokarbon non-konvensional yang melimpah dan perlu dilakukan tahapan eksplorasi. Batuan serpih (*shale*) merupakan salah satu reservoir non-konvensional yang dapat bertindak sebagai batuan induk sekaligus batuan reservoir yang memiliki nilai porositas dan permeabilitas yang rendah. Seismik inversi impedansi akustik merupakan metode yang digunakan dalam memetakan sebaran saturasi air dan mengidentifikasi kandungan jenis fluida yang ada pada daerah penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persebaran saturasi air dan kandungan jenis fluida pada batasan *shale* Formasi Ngimbang di Cekungan Jawa Timur Utara. Penelitian ini menggunakan data sumur (IR-1), data marker, data *checkshot* dan 29 *line* seismik 2D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa zona target daerah penelitian untuk hidrokarbon non-konvensional berada pada kedalaman 580 – 595 m dan 600 – 642 m. Dan hasil persebaran saturasi air pada batasan *shale* Formasi Ngimbang pada arah selatan diindikasikan oleh warna hijau menunjukkan kandungan jenis fluidanya gas. Pada arah barat laut diindikasikan oleh warna kuning yang menunjukkan kandungan jenis fluidanya minyak. Pada arah timur laut, barat – timur diindikasikan oleh warna merah yang menunjukkan kandungan jenis fluidanya air.

Kata kunci: hidrokarbon non-konvensional, kandungan jenis fluida, saturasi air,
shale

ABSTRACT

DISTRIBUTION OF WATER SATURATION AND FLUID TYPE CONTENT IN FIELD "X" IN THE NORTH EAST JAVA BASIN FOR NON-CONVENTIONAL HYDROCARBON EXPLORATION

By

Intania Rosa Fortuna Jaya

The large demand for oil and gas and the depletion of Indonesia's oil and gas reserves which are continuously exploited have led many experts to research alternative sources of hydrocarbon reserves, namely non-conventional oil and gas. The North East Java Basin has abundant unconventional hydrocarbon potential and needs to be carried out in the exploration phase. Shale rock is a non-conventional reservoir that can act as a source rock as well as a rock reservoir that has low porosity and permeability values. Seismic acoustic impedance inversion is a method used to map the distribution of air saturation and identify the content of fluid types in the research area. This research aims to determine the distribution of air saturation and fluid content in the shale boundaries of the Ngimbang Formation in the North East Java Basin. This research uses well data (IR-1), marker data, checkshot data and 29 2D seismic lines. The research results show that the research area target zone for unconventional hydrocarbons is at depths of 580 – 595 m and 600 – 642 m. And the results of the distribution of air saturation at the shale boundaries of the Ngimbang Formation in the south are shown in green showing the fluid gas content. In the northwest direction, it is shown in yellow which indicates the type of fluid content is oil. In the north-east, west-east direction, it is shown in red which shows the fluid type content of air.

Keywords: unconventional hydrocarbons, fluid type content, air saturation, shale

Judul Skripsi : **PERSEBARAN SATURASI AIR DAN KANDUNGAN
JENIS FLUIDA PADA LAPANGAN "X" DI CEKUNGAN
JAWA TIMUR UTARA UNTUK EKSPLORASI
HIDROKARBON NON-KONVENSIONAL**

Nama Mahasiswa : **Intania Rosa Fortuna Jaya**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1915051050**

Program Studi : **Teknik Geofisika**

Fakultas : **Teknik**



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.
NIP 19661222 199605 1 001

Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP 19620717 198703 1 002

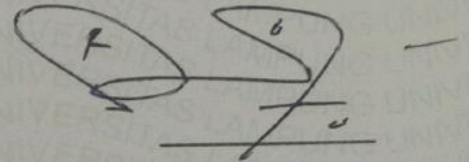
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

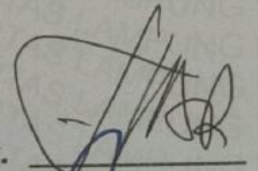
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

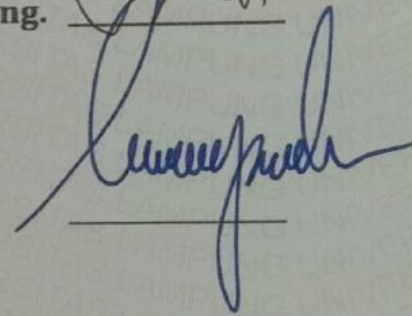
Ketua : **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**



Sekretaris : **Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.**



Anggota : **Karyanto, S.Si., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. /
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **6 Oktober 2023**

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul “Persebaran Saturasi Air dan Kandungan Jenis Fluida Pada Lapangan “X” Di Cekungan Jawa Timur Utara Untuk Eksplorasi Hidrokarbon Non-Konvensional” merupakan karya ilmiah mandiri bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Oktober 2023



Handwritten signature of Intania Rosa Fortuna Jaya.

Intania Rosa Fortuna Jaya
NPM. 1915051050

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Magetan pada tanggal 27 Juli 2001 sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Putri dari Bapak Yohanes Sri Haryono dan Ibu Sulastri. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Dharma Wanita pada tahun 2007, pendidikan Sekolah Dasar di SDN 3 Sragen pada tahun 2013, pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 16 Surakarta pada tahun 2016, pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 5 Surakarta yang telah diselesaikan pada tahun 2019. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan dengan menempuh Perguruan Tinggi Negeri dan terdaftar sebagai mahasiswi di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Selama menjadi mahasiswi penulis aktif dalam kegiatan organisasi kampus. Penulis terdaftar menjadi Staff Divisi Hubungan Masyarakat UKMK-FT pada tahun 2020, serta menjadi anggota di bidang Multimedia Informasi HIMA TG Bhuwana pada tahun 2021-2022. Pada tahun 2021 lulus pendanaan Program Mahasiswa Wirausaha (PMW) jenis usaha Industri Kreatif Baju Tiedye. Penulis melakukan kerja praktik dengan judul laporan “Penggunaan *Software Interactive Petrophysics* dan Techlog untuk Menentukan Nilai Resistivitas Air (R_w) dan Saturasi Air (S_w) Menggunakan Metode *Hingle Plot* dan *Pickett Plot*”. Pada April 2023 penulis melakukan Tugas Akhir di Pusat Survei Geologi Bandung serta menyelesaikan penelitian Tugas Akhir (TA) di Pusat Survey Geologi (PSG) hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada 6 Oktober 2023 dengan judul “Persebaran Saturas Air dan Kandungan Jenis Fluida Pada Lapangan “X” Di Cekungan Jawa Timur Utara Untuk Eksplorasi Hidrokarbon Non-Konvensional.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa skripsi ini saya persembahkan kepada:

**Ayahanda dan Ibunda Tercinta
Bapak Yohanes Sri Haryono, A.Md.Kom. Dan Ibu Sulastri**

Terima kasih atas kasih sayang yang berlimpah dari mulai saya lahir, hingga saya sudah sebesar ini. Apa yang saya dapatkan hari ini, belum mampu membayar semua kebaikan, keringat, dan juga air mata kalian. Terima kasih atas segala doa, dukungan semangat dan nasehat yang selalu diberikan. Semuanya takkan bisa saya balaskan namun saya akan selalu berusaha menjadi anak yang terbaik sampai kapanpun. Karya ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya, sebagai wujud rasa terima kasih saya atas semua pengorbanan dan jerih payah kedua orang tua saya.

**Adikku Tersayang
Ramadana Brilliant Jaya**

Terima kasih banyak atas kehadiran di hidupku. Walaupun saat dekat kita sering bertengkar, tapi saat jauh kita saling merindukan. Terima kasih untuk segala doa dan dukungan semangat selama ini.

**Angkatanku Terbaik
Teknik Geofisika Universitas Lampung 2019**

Terima kasih untuk semua bantuan, dukungan dan bantuan yang sudah diberikan sehingga bisa menjadi semangat untuk diriku sampai sekarang. Terima kasih sudah menjadi rumah dan keluarga yang paling nyaman selama di Teknik Geofisika Universitas Lampung.

**Semua yang terlibat dalam penulisan Tugas Akhir ini
Aku sayang kalian semua**

MOTTO HIDUP

“Agar sukses maka kemauanmu untuk berhasil harus lebih besar dari ketakutanmu untuk gagal”.

-Bill Cosby-

“Gantungkan cita-cita mu setinggi langit, bermimpilah setinggi langit. Jika engkau jatuh, engkau akan jatuh di antara bintang-bintang”.

-Soekarno-

“Kalau mimpimu belum tercapai, jangan ubah mimpinya tapi ubah strateginya”.

-Merry Riana-

“Jika kamu mungkin mengeluh dengan kondisimu saat ini, tapi jutaan orang di luar sana sangat mendambakan posisimu saat ini”.

“Satu-satunya cara untuk melakukan pekerjaan yang hebat adalah dengan mencintai apa yang kamu lakukan saat ini”.

“Masa depan adalah milik mereka yang menyiapkan hari ini”.

Intania Rosa Fortuna Jaya

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kepada Tuhan yang Maha Esa karena berkat limpahan Rahmat dan Karunia-Nya kepada Penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul yaitu **“Persebaran Saturasi Air dan Kandungan Jenis Fluida Pada Lapangan “X” Di Cekungan Jawa Timur Utara Untuk Eksplorasi Hidrokarbon Non-Konvensional”** sudah selesai dengan sebaik-baiknya. Tidak lupa Penulis juga mengucapkan terima kasih atas bantuan dari berbagai pihak yang telah terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini. Dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman, Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini membutuhkan kritik dan saran yang membangun. Semoga semua yang tertulis dalam skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat untuk siapapun dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan akademik.

Bandar Lampung, 17 Oktober 2023
Penulis

Intania Rosa Fortuna Jaya
NPM. 1915051050

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang selalu memberikan kemudahan dan kelancaran kepada penulis sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi dengan judul **“Persebaran Saturasi Air dan Kandungan Jenis Fluida Pada Lapangan “X” Di Cekungan Jawa Timur Utara Untuk Eksplorasi Hidrokarbon Non-Konvensional”**. Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapatkan doa, saran, dorongan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hormat dan kerendahan hati perkenankanlah penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang selalu memberikan berkat pertolongan, kemudahan dan kelancaran yang selalu menuntun penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar dan penyusunan skripsi berjalan dengan baik hingga selesai.
2. Kedua orang tua penulis yakni Bapak Yohanes Sri Haryono dan Ibu Sulastri yang selalu memberikan doa, semangat, nasehat, dukungan serta besarnya kasih sayang untuk penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing utama yang sudah memberikan bimbingan, kritik, masukan serta saran dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph. D., IPU., ASEAN Eng. selaku dosen pembimbing kedua yang sudah memberikan motivasi, kritik, saran dalam penyusunan skripsi ini.

6. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku dosen penguji dalam Tugas Akhir ini yang sudah memberikan kritik, saran, dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati terima kasih banyak untuk semua bantuan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik.
8. Bapak Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T. selaku pembimbing lapangan di Pusat Survey Geologi (PSG) yang sudah membimbing Tugas Akhir Penulis.
9. Teman – teman Teknik Geofisika 2019 yang sudah menjadi rumah ternyaman yang selalu memberikan bantuan dan semangat untuk penulis.
10. Anjas Leada Pranata yang selalu menemani dan memberikan dukungan penuh untuk penulis. Terima kasih sudah meluangkan waktu dan selalu memberi semangat untuk terus maju tanpa kenal lelah dalam segala hal yang menjadi impian penulis. Terima kasih sudah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis dan untuk seluruh hal baik yang telah diberikan selama ini.
11. Serta semua pihak yang sudah terlibat secara langsung maupun tidak langsung penulis sangat mengucapkan banyak terima kasih.
12. Intania Rosa Fortuna Jaya terima kasih sudah bertahan dan selalu berusaha memberikan yang terbaik kepada diri sendiri dan semua orang. Terima kasih untuk semua usaha terbaik selama ini terhadap diri sendiri. Terus semangat dan jangan mudah menyerah.

Demikian skripsi ini disusun dengan baik, besar harapan penulis agar skripsi ini dapat berguna untuk pembaca. Dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari kekurangan oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran masukan yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik lagi.

Bandar Lampung, 17 Oktober 2023

Penulis

Intania Rosa Fortuna Jaya

NPM. 1915051050

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PERSETUJUAN	iv
PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	viii
MOTTO HIDUP	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah Penelitian	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Lokasi Daerah Penelitian.....	4
2.2 <i>Geologi</i> Regional Daerah Cekungan Jawa Timur Utara	5

2.3 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian	8
2.3.1 Batuan Dasar	8
2.3.2 Formasi Ngimbang.....	9
2.3.3 Formasi Kujung.....	9
2.3.4 Formasi Prupuh	10
2.3.5 Formasi Tuban	10
2.3.6 Formasi Ngrayong.....	10
2.3.7 Formasi Wonocolo	11
2.3.8 Formasi Ledok	11
2.3.9 Formasi Mundu	11
2.3.10 Formasi Lidah.....	12
2.3.11 Formasi Paciran	12
2.4 <i>Petroleum System Non-Conventional</i>	12

III. TEORI DASAR

3.1 <i>Well Logging</i>	13
3.2 Jenis-jenis <i>Log</i>	13
3.2.1 Log Listrik	14
3.2.1.1 <i>Log Spontaneous Potential (SP)</i>	14
3.2.1.2 <i>Log Resistivity</i>	15
3.2.2 Log Radioaktif.....	16
3.2.2.1 <i>Log Gamma Ray</i>	16
3.2.2.2 <i>Log Densitas</i>	17
3.2.2.3 <i>Log Neutron</i>	18
3.2.3 <i>Log Akustik</i>	19
3.2.2.1 <i>Log Sonic</i>	19
3.2.4 <i>Log Caliper</i>	20
3.3 Sifat Fisik <i>Reservoir</i>	21
3.3.1 Porositas	21

3.3.2 Saturasi Air (Sw)	23
3.4 Metode Seismik.....	25
3.5 Polaritas dan Fasa	26
3.6 <i>Wavelet</i>	27
3.7 Impedansi Akustik	29
3.8 Koefisien Refleksi	29
3.9 Konvolusi	31
3.10 Seismogram Sintetik	31
3.11 <i>Well to Seismic Tie</i>	32
3.12 <i>Picking Horizon</i>	32
3.13 Inversi Seismik.....	33
3.14 Penyebaran Properti Petrofisika Batuan.....	35
3.14.1 Peta Saturasi Air.....	35
3.14.2 Analisis Kandungan Jenis Fluida	35

IV. METODE PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	36
4.2 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	36
4.3 Alat dan Bahan Penelitian	37
4.4 Data Penelitian.....	37
4.5 Prosedur Penelitian	37
4.5.1 Studi Literatur.....	37
4.5.2 Persiapan dan Pengumpulan Data	38
4.5.3 Pengolahan Data	38
4.5.3.1 <i>Well to seismic tie</i>	38
4.5.3.2 <i>Picking horizon</i>	39
4.5.3.3 Inversi Seismik Impedansi Akustik.....	40
4.5.3.4 Peta Persebaran Properti Petrofisika	41
4.6 Diagram Alir Penelitian	42

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian	44
5.1.1 Hasil Analisis Petrofisika	44
5.1.1.1 Hasil Zona Target Sumur IR-1	45
5.1.2 Hasil Pengolahan Seismik	46
5.1.2.1 Hasil Koreksi <i>Checkshot</i>	46
5.1.2.2 Hasil Analisis <i>Wavelet</i>	47
5.1.2.3 Hasil <i>Well to Seismic Tie</i>	48
5.1.2.4 Hasil <i>Picking Horizon</i>	48
5.1.2.5 Hasil Analisis <i>Time Map</i>	49
5.1.3 Hasil Analisis Inversi	50
5.1.3.1 Hasil Inisial Model	50
5.1.3.2 Hasil Analisis Pra-Inversi.....	50
5.1.3.3 Hasil Inversi Impedansi Akustik (AI)	51
5.1.4 Hasil Analisis Persebaran Properti Petrofisika.....	52
5.1.4.1 Hasil Persebaran Saturasi Air	52
5.1.4.2 Hasil Perhitungan Saturasi Air dan Kandungan Jenis Fluida.....	54
5.1.4.3 Hasil Kandungan Jenis Fluida.....	55
5.2 Pembahasan Penelitian.....	57
5.2.1 Analisis Petrofisika	57
5.2.1.1 Zona Target Sumur IR-1	58
5.2.2 Pengolahan Seismik	59
5.2.2.1 Koreksi <i>Checkshot</i>	59
5.2.2.2 Analisis <i>Wavelet</i>	59
5.2.2.3 Proses <i>Well to Seismic Tie</i>	60
5.2.2.4 <i>Picking Horizon</i>	60
5.2.2.5 Analisis <i>Time Map</i>	61
5.2.3 Analisis Inversi.....	62

5.2.3.1 Inisial Model	62
5.2.3.2 Analisis Pra-Inversi	62
5.2.3.3 Inversi Impedansi Akustik	63
5.2.4 Analisis Persebaran Properti Petrofisika	64
5.2.4.1 Saturasi Air	64
5.2.4.2 Kandungan Jenis Fluida	66

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	68
6.2 Saran	68

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Lokasi Daerah Penelitian.....	4
2. Pembagian Cekungan Jawa Timur Bagian Utara Berdasarkan Fisiografi dan Struktur (Van Bemmelen, 1949).....	5
3. Stratigrafi Regional Cekungan Jawa Timur Utara (Husein, 2015).....	8
4. <i>Log Spontaneous Potential</i> (Glover, 2007).....	14
5. Log Resistivitas (Rider, 1996).....	16
6. <i>Log Gamma Ray</i> (Rider, 1996).....	17
7. Respon <i>Log Densitas</i> terhadap Litologi (Rider, 2002).....	18
8. Respon <i>Log Neutron</i> (Rider, 2002).....	19
9. Respon <i>Sonic</i> untuk Berbagai Litologi (Rider, 2002).....	20
10. Respon <i>Log Caliper</i> (Rider, 2002).....	21
11. Model Batuan.....	21
12. Konsep Seismik Refleksi (Abdullah, 2007).....	26
13. Jenis-jenis <i>Wavelet</i>	27
14. Koefisien Refleksi (RC) Mendefinisikan Perbedaan AI	30
15. Seismogram Sintetik (Sukmono,2002)	33
16. Konsep dari Inversi Impedansi Akustik.....	33
17. Inversi AI dari Refleksi Seismik menjadi Model Hasil	34
18. Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.....	42
19. Analisis Petrofisika Data Sumur IR-1.....	44
20. Zona Target 1 dan 2.....	45
21. Koreksi <i>Checkshot</i>	47
22. <i>Wavelet</i> Hasil Ekstraksi <i>Wavelet Usewell</i>	47

23.	Hasil <i>Well to Seismic Tie</i> Sumur IR-1.....	48
24.	<i>Picking Horizon</i> pada <i>Line JS28-16</i>	48
25.	<i>Time Map</i> Tsh Ngimbang.....	49
26.	<i>Time Map</i> Bsh Ngimbang.....	49
27.	Hasil Penampang Model Inisial.....	50
28.	Hasil Analisis Pra-Inversi.....	50
29.	Hasil Inversi Impedansi Akustik.....	51
30.	Persebaran AI pada Tsh Ngimbang.....	51
31.	Persebaran AI pada Bsh Ngimbang.....	52
32.	Hasil Penampang Saturasi Air.....	52
33.	Peta Persebaran Saturasi Air pada Tsh Ngimbang.....	53
34.	Peta Persebaran Saturasi Air pada Bsh Ngimbang.....	53
35.	Kandungan Jenis Fluida pada Tsh Ngimbang.....	55
36.	Kandungan Jenis Fluida pada Bsh Ngimbang.....	55
37.	Kandungan Jenis Fluida pada Tsh dan Bsh Ngimbang.....	56

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai Resistivitas (Asquith dan Krygowski, 2004).....	15
2. Penentuan Porositas Batuan (Koesoemadinata, 1978).....	22
3. Klasifikasi Jenis Fluida Berdasarkan Saturasi Air (Adim,1991)	25
4. Jadwal Kegiatan Tugas Akhir Penelitian	36
5. Kelengkapan Data	37
6. Kedalaman Zona target 1 dan 2	45
7. Parameter Petrofisika Zona Target 1.....	45
8. Parameter Petrofisika Zona Target 2.....	46
9. Hasil Rata-rata Perhitungan Properti Petrofisika Sumur IR-1	46

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak dan gas bumi merupakan sumber energi yang mendominasi penggunaan energi nasional di kehidupan masyarakat hingga saat ini. Besarnya kebutuhan migas dan menipisnya cadangan migas Indonesia yang dieksploitasi terus menerus membuat para ahli banyak meneliti sumber cadangan hidrokarbon alternatif yaitu migas non-konvensional. Hidrokarbon non-konvensional menurut European Commission (2019), merupakan sumber hidrokarbon yang berada pada zona yang berbeda dari zona biasa hidrokarbon ditemukan pada umumnya, hidrokarbon ini termasuk *shale gas* (gas alam yang berasal dari formasi yang terdiri dari *shale*), *coalbed methane* (gas yang muncul pada lapisan batubara, dan juga *tight oil* serta *shale oil* (minyak mentah yang berasal dari formasi *shale*).

Indonesia memiliki cadangan hidrokarbon non-konvensional mencapai 1037 TCF (*trillion cubic feet*) yang terbagi ke dalam 574 TCF untuk *shale gas*, dan 453 TCF untuk gas metana batubara (Tryono, 2016). Diperlukan proses studi lebih lanjut dan mendalam mengenai ketersediaan sumber hidrokarbon non-konvensional di Indonesia. Untuk menentukan zona target hidrokarbon non-konvensional dapat ditentukan dengan adanya zona *impermeable*, porositas efektif buruk di bawah 10% yang diproduksi di *shale*, batu lanau, batu pasir atau karbonat yang memiliki permeabilitas sangat rendah dengan rentang permeabilitas <1 mD (Katz, dkk., 2021).

Salah satu potensi hidrokarbon non-konvensional di Indonesia berada di Cekungan Jawa Timur Utara dimana terdapat kandungan *shale gas* sebesar 42

TCF (Agustiyan, 2021; dan Jumiati, dkk., 2020). Selama ini, Cekungan Jawa Timur Utara dikenal sebagai cekungan yang kaya sumber hidrokarbon, bahkan telah produksi di beberapa area. Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Nuryanto dan Santosa, 2014) mengenai evaluasi formasi pada lapangan X Cekungan Jawa Timur Utara dijelaskan bahwa zona reservoir memiliki nilai saturasi air yang rendah dan belum dilakukan penyebaran saturasi air untuk menentukan kandungan jenis fluida pada daerah penelitian.

Dan penelitian ini dilakukan untuk melengkapi penelitian-penelitian sebelumnya dengan melakukan identifikasi persebaran saturasi air untuk mengetahui kandungan jenis fluida yang ada pada zona target hidrokarbon non-konvensional dengan menggunakan metode seismik inversi impedansi akustik. Metode inversi impedansi akustik ini merupakan pembuatan model geologi bawah permukaan dengan data seismik sebagai input dan data geologi sebagai kontrol untuk memetakan keadaan bawah permukaan dimana impedansi akustik (AI) ini dapat digunakan sebagai indikator litologi, porositas, saturasi air, jenis hidrokarbon dan karakteristik reservoir.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan zona target di Lapangan “X” Cekungan Jawa Timur Utara untuk eksplorasi hidrokarbon non-konvensional.
2. Mengidentifikasi persebaran saturasi air dan kandungan jenis fluida pada batasan *shale* Ngimbang di Lapangan “X” Cekungan Jawa Timur Utara untuk eksplorasi hidrokarbon non-konvensional.

1.3 Batasan Masalah Penelitian

Adapun batasan penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Data sumur yang digunakan berada pada Cekungan Jawa Timur Utara dengan sumur IR-2 memiliki keterbatasan data yaitu tidak adanya data *checkshot* sehingga proses penyebaran hanya dapat dilakukan pada sumur IR-1.
2. Penelitian berfokus pada marker litologi yang digunakan pada setiap

formasi dan dibatasi oleh *Top Shale* dan *Bottom Shale* formasi Ngimbang.

3. Penelitian ini menggunakan inversi impedansi akustik *model based*.

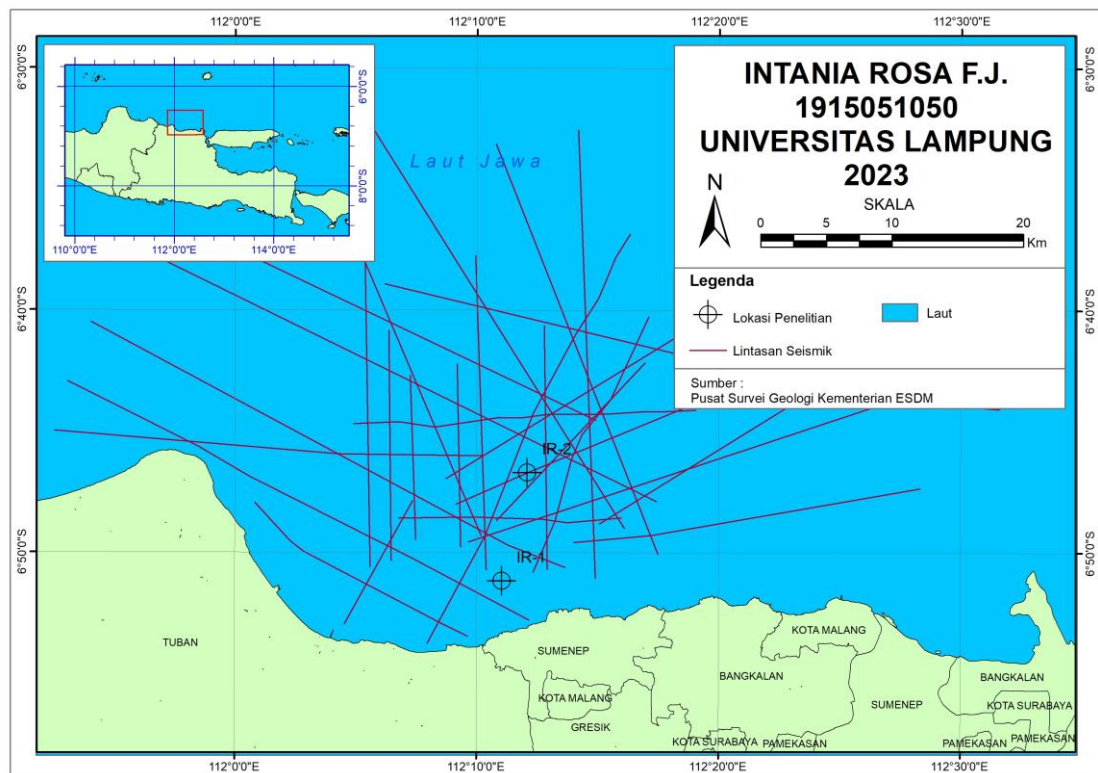
1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian tugas akhir ini adalah dapat dijadikan sebagai acuan dalam penentuan zona prospek hidrokarbon non konvensional yang dapat dilanjutkan pada tahap pengeboran lapangan di cekungan Jawa Timur utara.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Daerah Penelitian

Daerah penelitian yang digunakan terletak di Cekungan Jawa Timur Utara. Secara fisiografi sumur ini terletak di lepas pantai (*offshore*). Di bagian barat Cekungan Jawa Timur dibatasi oleh Busur Karimunjawa dan Paparan Sunda, bagian utara dibatasi oleh Tinggian Meratus, bagian timur dibatasi oleh Tinggian Masalembu dan bagian selatan dibatasi oleh jalur vulkanik Jawa. Adapun daerah penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian

2.2 Geologi Regional Cekungan Jawa Timur Utara

Secara fisiografi Cekungan Jawa Timur Utara ini terletak di antara pantai Laut Jawa dan sederetan gunung api pada bagian sebelah selatannya. Cekungan Jawa Timur Utara juga terdiri dari dua buah pegunungan sejajar yang berarah barat-timur dan keduanya dipisahkan oleh suatu depresi. Cekungan Jawa Timur Utara ini dapat dikelompokkan sebagai cekungan belakang busur yang berada pada batas tenggara dari Lempeng Eurasia, di sebelah selatannya dibatasi oleh busur vulkanik. Cekungan Jawa Timur dibatasi oleh Busur Karimunjawa dan Paparan Sunda di bagian barat, bagian utara dibatasi oleh Tinggian Meratus, bagian timur dibatasi oleh Tinggian Masalembo-Doang dan bagian selatan dibatasi oleh jalur vulkanik Jawa (Sribudiyani, dkk., 2003). Cekungan Jawa Timur bagian utara dapat dibagi menjadi 3 satuan fisiografi (Van Bemmelen, 1949) yang dapat dikaitkan dengan aktifitas tektonik daerahnya yang dapat ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pembagian Cekungan Jawa Timur bagian Utara Berdasarkan Fisiografi dan Struktur (Van Bemmelen, 1949)

Adapun fisiografi cekungan ini dari selatan ke utara yaitu sebagai berikut:

2.2.1 Zona Kendeng

Zona Kendeng terletak di utara gunung api yang terdiri dari endapan berumur Kenozoikum Muda yang pada umumnya terlipat kuat disertai dengan sesar-sesar sungkup dengan kemiringan ke arah selatan. Panjang jalur Kendeng adalah 250 km dan lebar maksimumnya adalah 40 km.

Pegunungan Kendeng yang merupakan bagian dari zona ini terdiri dari daerah-daerah yang berbukit dan terjal. Penggambaran topografi daerah ini banyak dipengaruhi oleh struktur-struktur geologi.

2.2.2 Depresi Randublatung

Depresi Randublatung berada diantara Zona Kendeng dan Zona Rembang. Depresi Randublatung pada umumnya merupakan satuan dataran rendah yang berarah barat – timur dengan permukaan dasarnya merupakan akibat erosi di antara daerah Cepu dan Bojonegoro. Dalam depresi tersebut terdapat beberapa antiklin pendek dan kubah-kubah seperti Pegat, Ngimbang, Grigis dan Dander. Sepanjang dataran depresi ini mengalir Sungai Bengawan Solo yang sejajar dengan arah utara – selatan yang sumber airnya didapatkan dari Pegunungan Kendeng.

2.2.3 Zona Rembang

Zona Rembang membentang sejajar dengan Zona Kendeng dan dipisahkan oleh Depresi Randublatung. Pada zona ini terdapat suatu dataran tinggi yang merupakan antiklinorium barat – timur sebagai hasil dari gejala tektonik Tersier Akhir yang dapat ditelusuri hingga P. Madura dan Kangean. Zona Rembang dapat dibagi menjadi Antiklinorium Rembang Utara dan Antiklinorium Cepu dibagian selatan. Kedua antiklinorium tersebut dipisahkan oleh depresi Blora – Kendeng. Antiklinorium dapat dikelompokkan ke dalam Zona Randublatung (Blok Lembah Solo) dan menganggapnya sebagai suatu blok yang terangkat di dalam depresi tersebut, sama seperti Antiklinorium Ngimbang. Batas antara Zona Rembang dan Zona Randublatung kurang jelas dan tidak teratur kecuali di timur yang dibatasi oleh patahan Kujung dan depresi Kening – Blora. Perkembangan tektonik yang berkembang di Cekungan Jawa Timur tidak terlepas dari aktivitas tektonik yaitu pergerakan Lempeng Samudera Indo-Australia ke arah utara, Lempeng Samudera Filipina dan Pasifik bergerak ke arah barat, dan Lempeng Eurasia yang relatif stabil. Aktivitas tektonik utama yang berlangsung pada umur Pleistosen menyebabkan terjadinya pengangkatan daerah regional Cekungan Jawa Timur dan menghasilkan

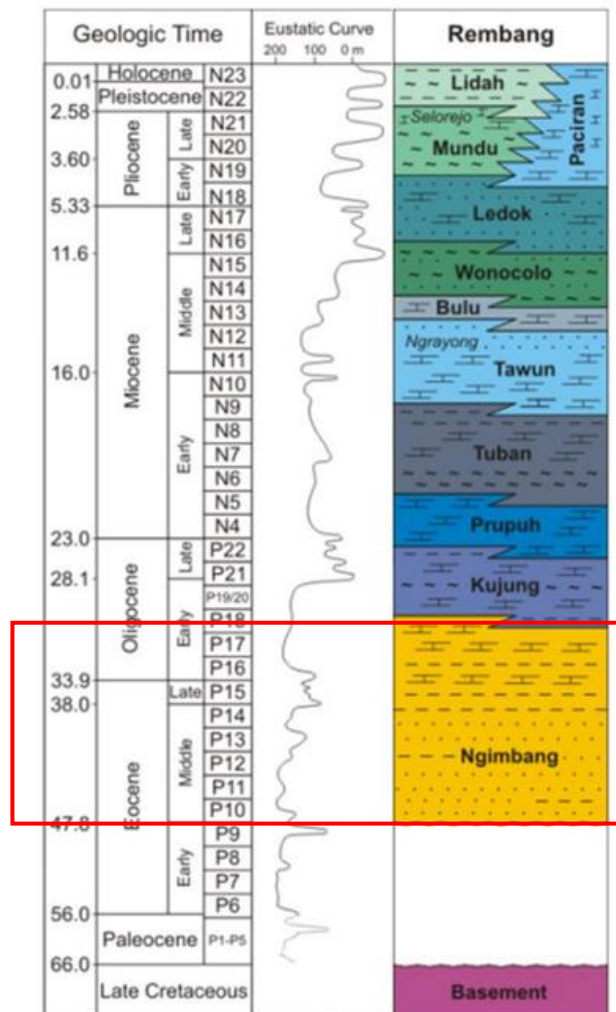
Bentuk morfologi seperti sekarang ini akibat pengaruh gaya kompresi dari arah utara–selatan (Satyana, 2005). Secara ringkasnya pada Cekungan Jawa Timur mengalami dua periode waktu yang menyebabkan arah relatif jalur magmatik atau pola tektoniknya yaitu:

2.2.3.1 Pada Zaman Paleogen (Eosen-Oligosen), yang berorientasi timur laut – barat daya (searah dengan Pola Meratus). Pola ini menyebabkan Cekungan Jawa Timur Utara (cekungan belakang busur) mengalami rejim tektonik regangan, diindikasikan oleh litologi batuan dasar berumur Pra-Tersier yang menunjukkan pola akresi berarah timur laut – barat daya berupa orientasi sesar-sesar di batuan dasar, *horst* atau sesar-sesar anjak, dan graben atau sesar tangga.

2.2.3.2 Pada Zaman Neogen (Miosen-Pliosen) berubah menjadi relatif barat – timur (searah dengan memanjangnya Pulau Jawa), yang merupakan rejim tektonik kompresi, sehingga menghasilkan struktur geologi lipatan, sesar-sesar anjak, dan menyebabkan cekungan Jawa Timur Utara terangkat. Pada masa sekarang (Neogen-Resen), pola tektonik yang berkembang di Pulau Jawa dan sekitarnya, khususnya Cekungan Jawa Timur Utara merupakan zona penunjaman (*convergent zone*), antara lempeng Eurasia dengan lempeng Hindia – Australia. Keadaan struktur perlipatan pada Cekungan Jawa Timur Utara pada umumnya berarah barat – timur, sedangkan struktur patahannya umumnya berarah timur laut – barat daya, dan ada beberapa sesar naik berarah barat – timur. Sedimentasi pada cekungan ini mulai dari umur tersier hingga sekarang terdiri dari 15.000 kaki lebih dari pengukuran pada umur Eosen sampai sekarang dan terendapkan secara tidak selaras di atas batuan dasar. Batuan Miosen dan Oligosen tersingkap di Pegunungan Selatan yang terletak di selatan busur vulkanik hingga ke utara busur. Dua komponen utama yang berbeda teramati pada Zona Kendeng dan Tuban *Ridge (North Rembang Zone)* dimana terdapat singkapan batuan berumur Miosen hingga Plestosen. Dan perkembangan struktur terakhir mencerminkan interaksi yang kompleks dicirikan oleh adanya sesar naik.

2.3 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian

Berikut ini merupakan stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara berdasarkan data bawah permukaan dari eksplorasi hidrokarbon. Satuan stratigrafi yang tertua di atas batuan dasar adalah Formasi Ngimbang, namun formasi ini tidak tersingkap di permukaan. Adapun stratigrafi regional Cekungan Jawa Timur Utara terdapat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Stratigrafi Regional Cekungan Jawa Timur Utara (Husein, 2016)

Berikut ini merupakan penjabaran dari setiap formasi dari Cekungan Jawa Timur Utara menurut Husein (2016):

2.3.1 Batuan Dasar

Batuan dasar di Cekungan Jawa Timur tersusun atas serangkaian melange dari batuan-batuan meta-sedimen yang secara lokal terpatahkan angkat dan

dipisahkan oleh tinggian mikrokontinen berarah barat daya – timur laut. Sumur-sumur yang menembus mengindikasikan bahwa batuan-batuan metamorf, meta-vulkanik, batuan beku, serta sedimen-sedimen *cretaceous* yang merupakan sikuen batupasir *quartzite* yang terlitifikasi secara baik.

2.3.2 Formasi Ngimbang

Formasi Ngimbang terbagi menjadi dua, yaitu sedimen paleosen “Pre-Ngimbang” dan sedimen Eosen “Ngimbang”. Formasi Pre-Ngimbang telah dikenali dibagian timur dari Cekungan Jawa Timur melingkupi *Northern Platform* dan *Central High*. Menurut Harper (1989) di dalam Pertamina BPPKA (1996) telah mendefinisikan Formasi Pre-Ngimbang sebagai “Formasi Pre-Ngimbang berumur Paleosen hingga Eosen Tengah dari *Northern Platform* dan *Central High* di Kangean dan Sepanjang PSC, meliputi sikuen dari batupasir, batulanau, dan serpih yang secara tidak selaras menindih batuan dasar *Cretaceous* dan secara tidak selaras ditindih oleh Ngimbang berumur Eosen Akhir.”

Sedangkan, sedimen Eosen “Ngimbang” pada dasarnya menunjukkan endapan-endapan *basement wash coastal* atau *deltaic* berumur Eosen Tengah hingga Akhir yang diikuti kemudian oleh sikuen karbonat. Awal sedimentasi dari formasi ini dipengaruhi oleh topografi yang kompleks sehingga kemungkinan diendapkan pada daerah-daerah rendahan lokal dan sedimen yang kaya akan material organik dan karbonat dibagian atasnya mengindikasikan peningkatan kedalaman permukaan air dan kondisi laut yang lebih terbuka. Sedimen-sedimen “Ngimbang” di area cekungan ini sebagai endapan-endapan alluvial/fluviial, delta, lakustrin, dan transisi.

2.3.3 Formasi Kujung

Litologi formasi ini terdiri atas napal dan batu lempung napalan, abu - abu kehijauan, kuning kecoklatan dengan sisipan batu gamping bioklastik, keras, mengandung foraminifera besar dan ganggang. Formasi Kujung diendapkan selaras diatas Formasi Ngimbang yang hampir seluruhnya terdiri atas batu gamping. Dibagian atas Formasi Kujung terletak secara selaras di bawah

Formasi Prupuh. Formasi Kujung diendapkan pada lingkungan tektonik transgresi-regresi. Pada Oligosen Tengah, aktivitas tektonik secara relatif lebih tenang yang ditunjukkan oleh ketebalan yang seragam dari karbonat Kujung. Pada Oligosen Akhir, sedimen-sedimen laut dalam hingga laut dangkal berlanjut terendapkan termasuk adanya karbonat terumbu pada tinggian-tinggian batuan dasar tua.

2.3.4 Formasi Prupuh

Lokasi tipe formasi ini terletak di Desa Prupuh, Kecamatan Paciran, dengan stratotipe berupa batu gamping bioklastik berlapis tebal, keras, kaya akan fosil *Orbitoid*, yang berlapis dengan batu gamping kapuran berwarna putih kotor. Lingkungan sedimentasinya adalah neritik luar pada laut terbuka, dengan indikasi adanya gerakan massa gravitasi lereng dasar laut. Formasi ini selaras terhadap Formasi Kujung di bawahnya dan juga terhadap Formasi Tuban yang ada di atasnya.

2.3.5 Formasi Tuban

Formasi Tuban terdiri atas perlapisan batu lempung yang bersifat monoton dengan beberapa sisipan batu gamping. Formasi ini secara umum tersusun oleh klastika karbonat dalam bentuk *packstone-wackestone* yang mengandung fosil foraminifera besar disertai dengan fragmen koral dan *algae*. Kandungan fosil *globigerinoides primordius*, *globorotalia peripheronda*, *globigerinoides sicanus* yang menunjukkan bahwa formasi ini memiliki umur Miosen Awal dan diendapkan pada lingkungan laut dalam. Di daerah Kujung dan Prupuh, Formasi Tuban diendapkan pada paparan dangkal, pada zona neritik luar dengan kedalaman 50 – 150 meter.

2.3.6 Formasi Ngrayong

Formasi ini tersusun oleh batupasir kuarsa dengan selinga-selingan batu lempung, lanau, lignit, dan batu gamping bioklastik. Pada batupasir kuarsanya kadang-kadang mengandung cangkang moluska laut. Formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dangkal dekat pantai yang makin keatas lingkungannya menjadi litoral, laguna, hingga sublitoral pinggir tebal dari

formasi ini mencapai 90 meter. Di Cekungan Jawa Timur Utara formasi ini merupakan salah satu batuan reservoir minyak yang potensial. Batu pasir Ngrayong merupakan reservoir utama pada lapangan-lapangan minyak di daerah sekitar Cepu. Ketebalan rata-rata mencapai 300 meter tetapi menipis ke arah selatan dan juga ke arah timur, karena terjadi perubahan fasies menjadi batu lempung.

2.3.7 Formasi Wonocolo

Formasi Wonocolo tersusun oleh napal dan batu lempung tidak berlapis. Bagian bawahnya tersusun oleh batu gamping pasiran dan batu pasir gampingan, yang secara umum menunjukkan gejala pengendapan transgresif. Total ketebalan dari formasi ini kurang lebih 500 meter, menunjukkan peningkatan ketebalan ke arah selatan. Pengendapannya terjadi pada Miosen Tengah Atas, pada lingkungan paparan luar.

2.3.8 Formasi Ledok

Formasi Ledok mempunyai lokasi tipe di kawasan antiklin Ledok, 10 km di utara kota Cepu. Penyusun utamanya terdiri atas perselang-selingan antara batu pasir glaukonitik dengan kalkarenit yang berlempeng-lempeng, dengan beberapa sisipan napal. Batu pasirnya berwarna kehijauan hingga kecoklatan, berbutir halus hingga sedang, dengan komposisi mineral kuarsa, fragmen kalsit serta glaukonit yang secara keseluruhan terpilah sedang. Ketebalan setiap perlapisan berkisar antara 10 – 60 cm. Bagian bawah berbutir lebih halus dari bagian atas. Ketebalan Formasi Ledok secara keseluruhan mencapai 230 m di lokasi tipenya.

2.3.9 Formasi Mundu

Formasi Mundu memiliki ciri litologi yang khas, tersusun oleh napal masif berwarna abu-abu muda hingga putih kekuning-kuningan, dengan kandungan foraminifera planktonik yang sangat melimpah. Disamping itu juga didapatkan kandungan glaukonit tetapi hanya dalam jumlah sedikit. Di beberapa tempat, bagian atas dari formasi ini secara berangsur berubah menjadi batugamping pasiran dan ketebalan dari formasi akan bertambah.

2.3.10 Formasi Lidah

Formasi ini tersusun oleh batulempung yang berwarna kebiruan dan napal berlapis yang diselingi oleh batu pasir dan lensa-lensa *fossiliferous grainstone/rudstone (coquina)*. Pada bagian bawah masih merupakan endapan laut, tercirikan akan kandungan *Pseudorotalia sp.* dan *Asterorotalia sp.* yang melimpah. Kumpulan fosil ini mencirikan pengendapan di dasar laut pada paparan tengah hingga luar.

2.3.11 Formasi Paciran

Formasi Paciran tersusun oleh batugamping masif, umumnya merupakan batugamping terumbu yang lapuk dan membentuk permukaan yang khas akibat pelarutan (*karren surface*). Gejala permukaan menunjukkan bahwa batuan penyusunnya telah berubah menjadi kapur (*chalky limestone*). Di beberapa tempat batuan ini telah terbentuk pada umur yang lebih tua, semasa dengan pembentukan Formasi Ledok dan Wonocolo di bagian utara, serta semasa dengan Formasi Mundu dan Lidah di Selatan.

2.4 Petroleum System Non-Konvensional

Hidrokarbon non-konvensional (*Unconventional Hydrocarbon*) merupakan jenis hidrokarbon yang mampu menghasilkan sumber daya berupa *Shale oil* (minyak *Shale*) atau *tight oil*, *Shale gas* atau *tight gas*, serta CMG (*Coalbed Methane Gas*) atau gas yang dihasilkan dari lapisan batubara. Jenis hidrokarbon ini umumnya terakumulasi di *Reservoir* yang mempunyai kualitas yang sangat buruk karena umumnya berupa *Shale* atau di sekitarnya yang memiliki pori yang tidak saling berhubungan, atau dengan kata lain porositas efektifnya di bawah 10% (Katz, dkk., 2021). Sistem petroleum non-konvensional sangat unik karena seluruh sistem terkandung langsung di dalam batuan induk yang kaya material organik.

III. TEORI DASAR

3.1. *Well Logging*

Well logging merupakan metode penelitian yang mempelajari karakter fisik batuan suatu formasi dari pengamatan dan perhitungan parameter fisik batuan dari pemboran. Parameter fisik tersebut berupa sifat porositas, resistivitas, temperatur, densitas, permeabilitas dan kemampuan cepat rambat yang direkam oleh gelombang elektron dalam bentuk kurva (Harsono, 1997). *Well logging* merupakan suatu teknik untuk mendapatkan data bawah permukaan dengan menggunakan alat ukur yang dimasukkan dalam lubang sumur untuk evaluasi formasi dan identifikasi ciri-ciri batuan di bawah permukaan (Pratama, 2013). *well logging* menghasilkan tingkat akurasi data yang relatif tinggi dibandingkan dengan metode lain, sehingga metode ini menjadi pilihan utama perusahaan dalam melakukan eksplorasi meskipun memerlukan biaya yang relatif mahal (Khasanah, 2019). Tujuan dari *well logging* adalah untuk mendapatkan informasi litologi, pengukuran porositas, resistivitas, dan saturasi air.

3.2 *Jenis-Jenis Log*

Log adalah suatu grafik kedalaman atau waktu dari satu set data yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan di dalam sebuah sumur. Hasil pengukuran berupa grafik besaran fisis terhadap kedalaman sumur bor ada 4 jenis *log* yang sering digunakan dalam interpretasi yaitu:

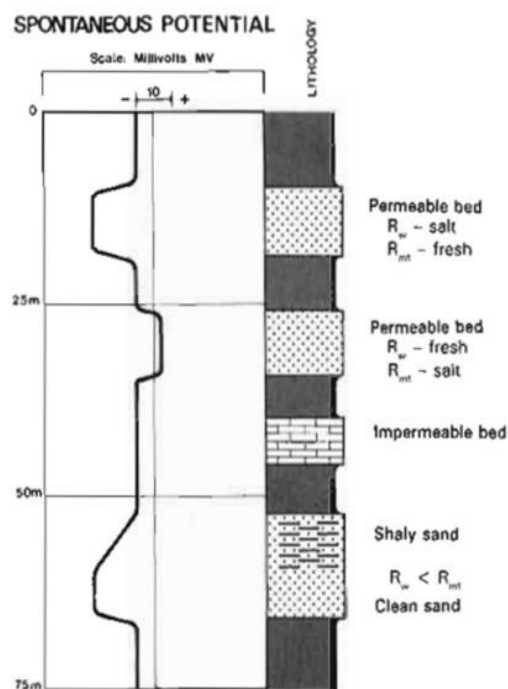
1. *Log* listrik, terdiri dari *log SP* (*Spontaneous Potential*) dan *log* resistivitas.
2. *Log* radioaktif, terdiri dari *log GR* (*Gamma Ray*), *log porositas* yaitu terdiri dari *log density* (*RHOB*) dan *log neutron* (*NPHI*).
3. *Log* akustik berupa *log sonic*.
4. *Log* caliper (Telford, dkk., 1990)

3.2.1 Log Listrik

Log listrik merupakan suatu plot antara sifat-sifat listrik lapisan yang ditembus lubang bor dengan suatu kedalaman. Untuk batuan yang porinya terisi mineral-mineral air asin atau clay maka akan menghantarkan listrik dan mempunyai resistivitas yang rendah dibandingkan dengan pori-pori yang terisi minyak, gas ataupun air. Pada umumnya *log* listrik dibedakan menjadi dua, yaitu *log Spontaneous Potential (SP)* dan *Restivity log* sebagai berikut:

3.2.1.1 Log Spontaneous Potential (SP)

Log SP merupakan rekaman beda potensial antara elektroda yang bergerak secara alami pada sumur bor dan elektroda yang berada di permukaan. *Log SP* hanya bisa memperlihatkan lapisan *permeabel*, tetapi tidak bisa mengukur harga absolut permeabilitas dan porositas disuatu formasi. Pada *log SP* apabila terdefleksi ke arah kiri merupakan zona permeabel seperti *Sandstone* dan apabila tidak terdefleksi merupakan zona non permeabel seperti *shale* yang ditunjukkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. *Log Spontaneous Potential* (Glover, 2007)

Kegunaan dari *Log SP* yaitu Mengidentifikasi lapisan permeabel, Mendekteksi batas lapisan permeabel, Menentukan resistivitas air formasi, Menentukan volume shale pada lapisan *permeable* (Asquith, 2004). Hasil *log SP* ini dapat dijadikan sebagai indikasi kualitatif untuk menentukan zona reservoir dan bukan zona reservoir.

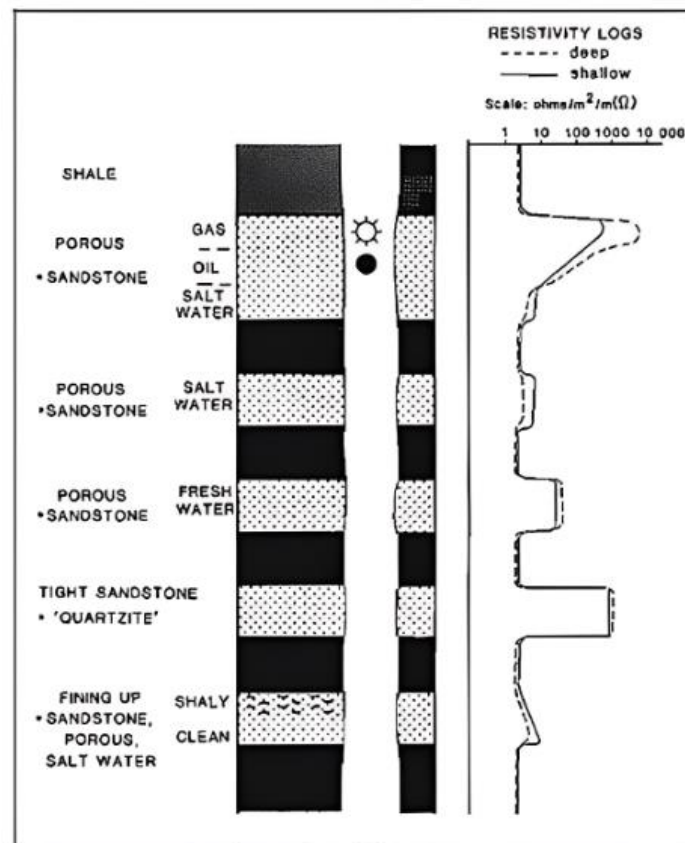
3.2.1.2 Log Resistivity

Log resistivitas merupakan *log* yang mengukur resistivitas dalam suatu formasi. Kegunaan *log* ini adalah untuk membedakan zona hidrokarbon dan air. Besaran resistivitas batuan dideskripsikan dengan ohm meter dengan skala yang biasa digunakan yaitu 0.2 – 2000 ohm meter. Pada umumnya batuan, fluida dan hidrokarbon di dalam bumi memiliki nilai resistivitas tertentu sehingga metode ini digunakan, dimana semakin banyak jumlah air dalam pori maka semakin kecil resistivitas yang terhitung. Berikut adalah contoh nilai resistivitas yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai Resistivitas (Asquith dan Krygowski, 2004).

Material	Resistivitas (Ohm meter)
<i>Limestone</i>	50 - 10 ²
<i>Sandstones</i>	1-10 ⁸
<i>Shales</i>	20 – 2x10 ³
<i>Dolomite</i>	100 – 10.000
<i>Sand</i>	1 - 1000
<i>Clay</i>	1 - 100
<i>Sea Water</i>	0,2

Respon Log Resistivitas ditunjukkan pada **Gambar 5**, dimana respon Log Resistivitas pada batulempung bernilai 1 – 5 Ohm.m, pada batupasir dengan kandungan hidrokarbon gas pada rentang 100 – 10.000 Ohm.m, batupasir dengan kandungan hidrokarbon minyak pada rentang 100-1000 Ohm.m, dan batupasir dengan kandungan hidrokarbon air pada rentang 5 – 10 Ohm.m.

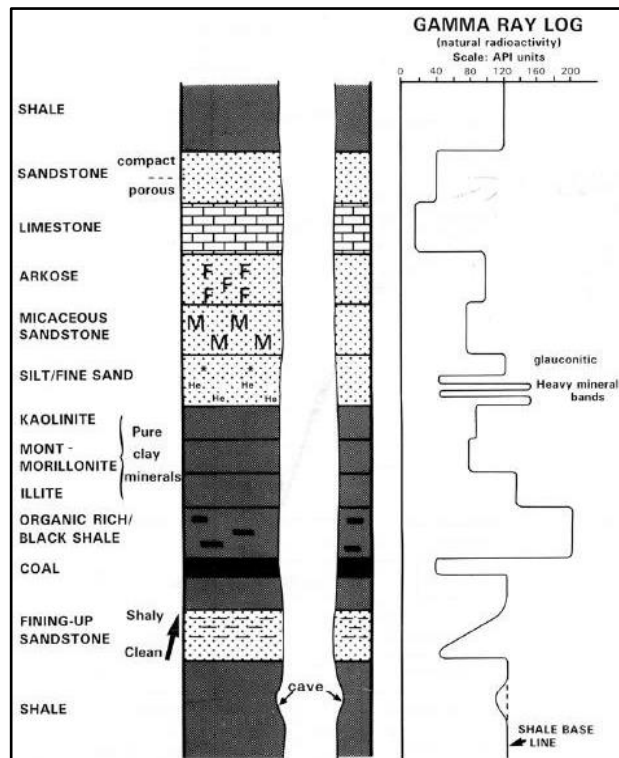


Gambar 5. Log Resistivitas (Rider, 1996)

3.2.2 Log Radioaktif

3.2.2.1 Log Gamma Ray

Log Gamma Ray (GR) merupakan hasil dari suatu pengukuran yang menunjukkan besaran intensitas radioaktif yang ada dalam formasi, *log* jenis ini digunakan karena sinar gamma sangat efektif dalam membedakan antara lapisan *permeabel* dan yang tidak *permeabel*, karena unsur-unsur radioaktif cenderung berpusat di dalam *shale* yang tidak *permeabel* dan batuan karbonat atau pasir yang secara umum adalah *permeabel*. Unsur radioaktif yang terdapat dalam lapisan batuan diantaranya *Uranium*, *Thorium*, *Potassium* dan *Radium* (Harsono, 1997). *Log Gamma Ray* memiliki kemampuan untuk mengukur kadar kandungan *shale* pada lapisan batuan, maka pada industri migas *log gamma ray* sering digunakan untuk memprediksi nilai *shale*. Respon *log gamma ray* pada batupasir memiliki rentang 0 – 75 API. Dan respon *Log Gamma Ray* dengan rentang 75 – 150 API merupakan *shale* ditunjukkan pada **Gambar 6**.



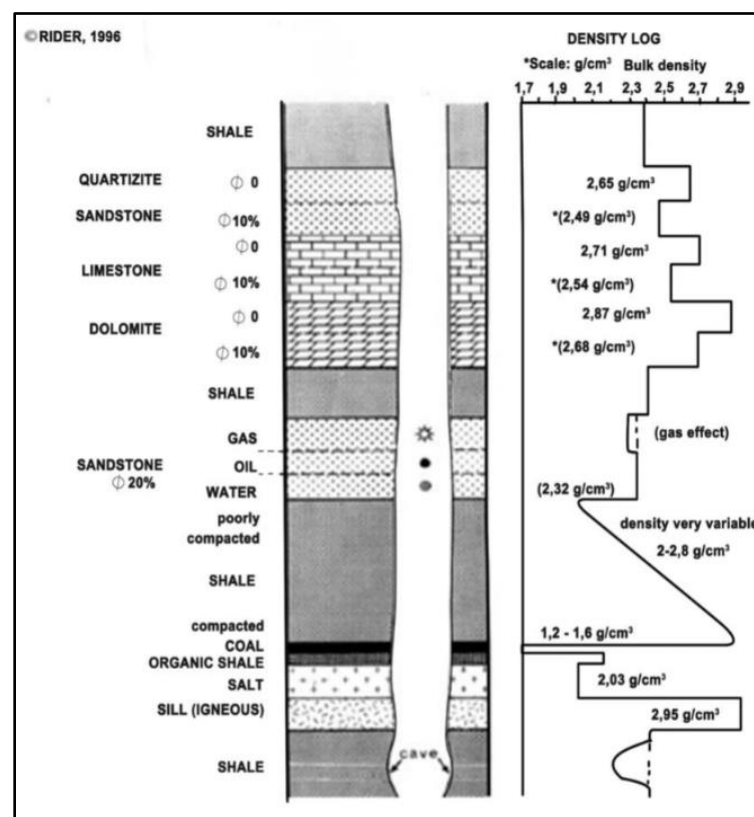
Gambar 6. Log Gamma Ray (Rider, 2002)

Secara umum non-konvensional merupakan kegiatan eksplorasi yang dilakukan untuk mencari hidrokarbon pada batuan reservoir yang memiliki porositas dan permeabilitas yang buruk, yaitu batu serpih dan lempung. Karena karakteristik batu serpih dan lempung yang memiliki porositas dan permeabilitas yang kecil dan bersifat “menyerpih” dalam suatu tubuh batuan, maka dengan analisa *log Gamma Ray* ini dapat dilakukan identifikasi litologi batu serpih dan batu lempung yang pada umumnya akan memiliki kandungan material radioaktif yang tinggi, sehingga akan menghasilkan pembacaan nilai GR yang tinggi. Dan seiring dengan bertambahnya kandungan serpih dalam batuan, maka kandungan material radioaktif akan bertambah dan pembacaan nilai GR akan meningkat.

3.2.2.2 Log Densitas

Prinsip kerja *log densitas* ialah dengan cara memancarkan sinar gamma dari sumber radiasi sinar *gamma* yang diletakkan pada dinding lubang bor. Tujuan dari *log densitas* ini ialah menentukan porositas dengan mengukur

densitas bulk batuan, digunakan bersama dengan neutron *log* menentukan densitas hidrokarbon (ρ_h) (Asquith dan Krygowski, 2004). Log densitas merekam secara menerus dari densitas *bulk* formasi. Secara geologi densitas *bulk* adalah fungsi dari densitas total dari mineral-mineral dari pembentuk batuan (misalnya matriks) dan volume dari fluida bebas yang mengisi pori (Rider, 2002). Log densitas juga dapat digunakan untuk mendeteksi suatu lapisan yang mengandung gas dan menentukan berat jenis hidrokarbon yang mengisi pori-pori batuan (Sandhika, 2016). Adapun respon dari *log* densitas ditunjukkan pada **Gambar 7**.

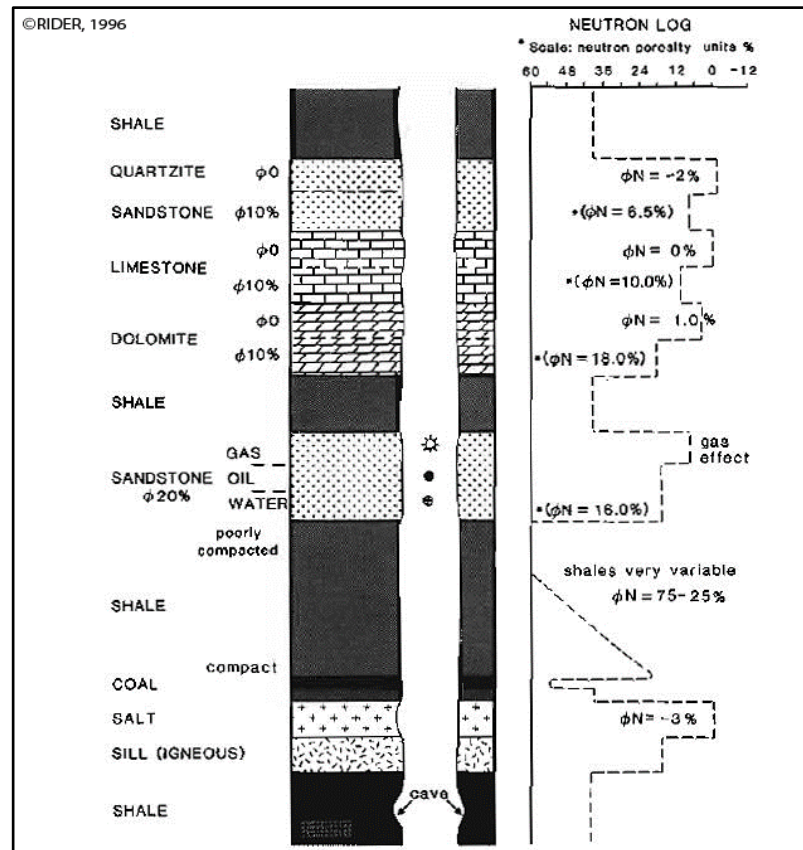


Gambar 7. Respon Log Densitas terhadap Litologi (Rider, 2002)

3.2.2.3 Log Neutron

Log Neutron merupakan *log* porositas yang mengukur jumlah ion hidrogen pada suatu formasi. Log neutron digunakan bersama dengan *log* densitas untuk mengukur porositas batuan. Apabila pori yang terisi oleh gas, maka neutron porositas yang terhitung akan lebih kecil. Hal ini karena gas yang memiliki jumlah ion hidrogen lebih sedikit dibandingkan dengan air

maupun minyak. Kegunaan *log* neutron ini adalah menentukan porositas yaitu mendeteksi porositas primer dan sekunder dalam formasi, identifikasi litologi dengan menggunakan gabungan *log* densitas, neutron dan *sonic*, Identifikasi adanya hidrokarbon, dideteksi dengan gabungan *log* neutron dan densitas. Adapun respon *log* neutron ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Respon Log Neutron (Rider, 2002)

3.2.3 Log Akustik

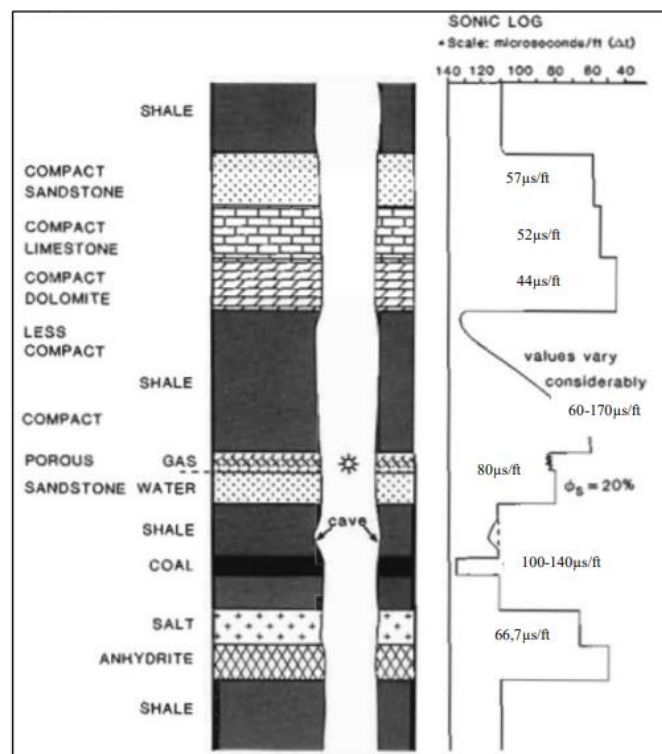
3.2.3.1 Log Sonic

Log Sonic merupakan *log* akustik dengan prinsip kerja mengukur waktu tempuh gelombang bunyi pada jarak tertentu didalam lapisan batuan. Untuk prinsip kerja alat ini adalah bunyi dengan interval yang teratur dipancarkan dari sebuah sumber bunyi (*transmitter*) dan alat penerima akan mencatat lamanya waktu perambatan bunyi di dalam batuan (Δt). Lamanya waktu perambatan bunyi tergantung kepada litologi batuan dan porositas batuanya. *Log sonic* dapat mengukur kemampuan formasi untuk meneruskan gelombang suara dan dapat digunakan untuk

mengevaluasi porositas dalam lubang yang terisi fluida, dalam interpretasi seismik dapat digunakan untuk menentukan *interval velocities* dan *velocity profile*, selain itu dapat dikalibrasi dengan penampang seismik, untuk mendertiminasi variasi tekstur dari lapisan pasir – *shale* dan dalam beberapa kasus dapat untuk mengidentifikasi rekahan (*fractures*) (Rider,1996). Menurut Shandika (2016) kegunaan *log sonic* ini selain mengukur porositas batuan ialah sebagai berikut:

1. Mengukur volume batuan yang digunakan dalam analisis seismik.
2. Melengkapi data untuk *syntetic seismograms*.
3. Dapat mengidentifikasi ada tidaknya rekahan di dalam formasi.

Adapun respon *log sonic* ditunjukkan pada **Gambar 9**.

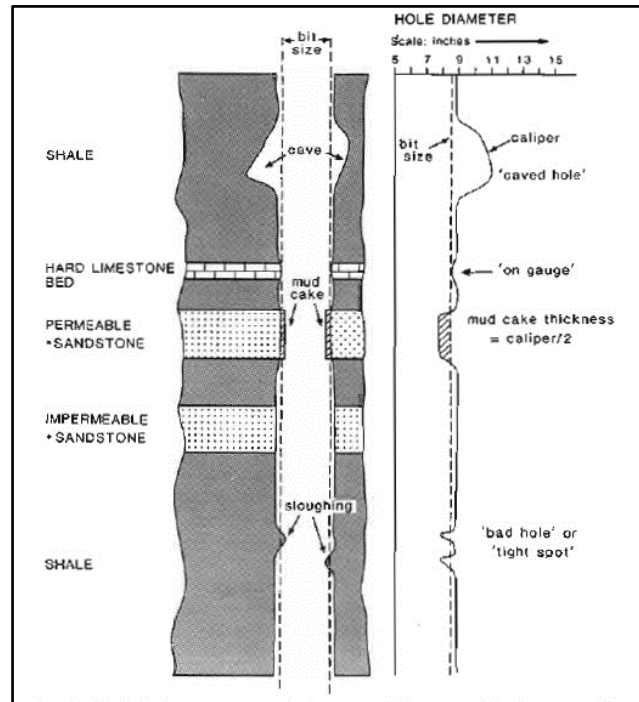


Gambar 9. Respon *Sonic* untuk Berbagai Litologi (Rider, 2002)

3.2.4 Log Caliper

Log caliper merupakan salah satu *log* mekanik yang digunakan untuk mengukur keadaan lubang bor untuk mengetahui zona *washout*, *breakout* dan lainnya. Log caliper digunakan untuk mengukur diameter lubang bor sesungguhnya sehingga dapat merefleksikan lapisan *permeable* dan *impermeable*. Pada lapisan yang *permeable* diameter lubang bor akan

semakin kecil karena terbentuknya kerak lumpur pada dinding lubang bor, sedangkan pada lapisan *impermeable* diameter lubang bor akan bertambah besar karena ada dinding yang runtuh (Priyanka, 2017). Adapun respon *log caliper* ditunjukkan pada **Gambar 10**.

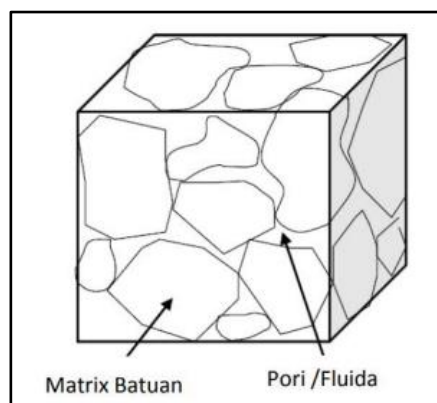


Gambar 10. Respon Log Caliper (Rider, 2002)

3.2. Sifat Fisik *Reservoir*

3.2.1. Porositas

Porositas adalah suatu bagian di dalam batuan yang serupa ruang atau pori-pori yang dapat berisi fluida. Porositas merupakan suatu perbandingan dari volume pori terhadap volume total batuan ditunjukkan pada **Gambar 11**. (Schlumberger, 1989).



Gambar 11. Model Batuan.

Pada suatu batuan, besarnya porositas tergantung pada pemilahan ukuran butir dan tidak selalu mutlak pada ukuran butir. Jika suatu batuan memiliki pemilahan yang baik di mana besar butirnya seragam maka batuan tersebut akan memiliki porositas yang lebih baik dibandingkan dengan batuan yang ukuran butirnya bervariasi. Adapun porositas memiliki rentang nilai antara 0-1, dimana semakin rapat suatu formasi maka akan memiliki porositas yang semakin kecil (Ramdhani, 2017). Terdapat 2 jenis porositas yaitu sebagai berikut:

1. Porositas Total

Porositas total adalah perbandingan keseluruhan ruang kosong yang ada di dalam batuan terhadap total volume batuan.

$$\phi_{total} = \frac{Volume\ pori\ batuan}{Volume\ total\ batuan} 100\% \quad (1)$$

2. Porositas efektif

Porositas efektif adalah porositas yang dapat dilalui oleh fluida, dan tidak termasuk porositas yang tidak berhubungan satu sama lain. Adapun penentuan porositas batuan ditunjukkan oleh **Tabel 2**.

$$\phi_{efektif} = \frac{Volume\ pori\ berhubungan}{Volume\ total\ batuan} 100\% \quad (2)$$

Tabel 2. Penentuan Porositas Batuan (Koesoemadinata, 1978).

Harga Porositas	Skala
0-5	Diabaikan
5-10	Buruk
10-15	Cukup
15-20	Baik
20-25	Sangat Baik
>25	Istimewa

Nilai porositas batuan biasanya diperoleh dari hasil perhitungan data sumur, yaitu data *log* densitas, *log* neutron, dan *log* kecepatan. Secara umum porositas batuan akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman batuan, karena semakin dalam suatu batuan maka akan semakin kompak suatu batuan akibat efek tekanan di atasnya (Koesoemadinata, 1978). Untuk dapat menentukan perhitungan porositas yang umum digunakan dua data *log* yaitu

Log densitas dan *log* neutron:

$$\phi D = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad (3)$$

$$\phi_{tot} = \frac{\phi_N + \phi_D}{2} \quad (4)$$

$$\phi_{eff} = \sqrt{\frac{\phi_{NC}^2 + \phi_{DC}^2}{2}} \quad (5)$$

dimana

$$\phi_{NC} = \phi_N - (\phi_{Nsh} \times Vsh) \quad (6)$$

$$\phi_{DC} = \phi_D - (\phi_{Dsh} \times Vsh) \quad (7)$$

Keterangan:

ϕD = Porositas Densitas

ϕN = Porositas Neutron

ρ_{ma} = Densitas matriks batuan (gr/cc)

ρ_b = Densitas matriks batuan dari *log* atau RHOB (gr/cc)

ρ_f = Densitas fluida batuan (nilai 1,1 = mud dan 1 = *fresh water*)

ϕ_{tot} = Porositas total

ϕ_{DC} = Koreksi porositas densitas

ϕ_{NC} = Koreksi porositas neutron

ϕ_{Dsh} = Porositas densitas *shale* terdekat

ϕ_{Nsh} = Porositas neutron *shale* terdekat

Vsh = Volume *shale*

3.2.2. Saturasi Air

Saturasi air (S_w) adalah bagian ruang pori yang terisi air atau volume pori batuan yang terisi oleh air, sedangkan bagian yang terisi oleh hidrokarbon disebut dengan saturasi hidrokarbon (S_h) yang memiliki nilai $(1 - S_w)$ (Harsono, 1997). Saturasi air adalah rasio dari volume pori yang terisi oleh air dengan volume porositas total. Archie (1942) mengembangkan formula untuk mengkalkulasi nilai saturasi air dengan mengasumsikan reservoir secara murni tersusun atas *clean sand* (pasir murni) dan satu-satunya medium yang konduktif adalah air yang menyaturasi reservoir. Namun, pada formula

Archie mengabaikan kenyataan bahwa pada formasi terkadang terdapat kehadiran shale yang secara dominan tersusun oleh mineral lempung dan silt, hal ini menjadi kekurangan dalam formula S_w dari *Archie*. Adapun perhitungan saturasi air pada interval penelitian dengan persamaan saturasi air *Archie* seperti Persamaan 8 (*Archie*, 1942).

$$S_w = \sqrt{\frac{a}{\phi^m} \times \frac{R_w}{R_t}} \quad (8)$$

Keterangan:

S_w = Saturasi air

a = Faktor *tortuosity* (gamping = 1, batupasir = 0,62)

m = Eksponen sementasi

R_w = *Resistivity* formasi air

R_t = *True resistivity*

Adapun formula *simandoux* dihitung menggunakan persamaan berikut (*Dewan*, 1983):

$$S_w = \frac{0,4 \times R_w}{\phi_e^2} \left[\frac{5 \times \phi_e^2}{R_w \times R_t} + \left(\frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right) - \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right] \quad (9)$$

Keterangan:

S_w = Saturasi air

R_t = Resistivitas formasi (koreksi *log* induksi atau *laterolog*)

R_w = Resistivitas formasi

ϕ_e = Porositas efektif

V_{sh} = Volume *shale*

R_{sh} = Resistivitas *shale*

Adapun beberapa literatur terkait penentuan jenis fluida yang terkandung di dalam reservoir (air, minyak, dan gas) didapat dari hasil perhitungan kejenuhan air formasi (S_w) yang ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Klasifikasi Jenis Fluida berdasarkan Nilai Saturasi Air (Adim,1991)

So Rata-rata (%)	Sw Rata-rata (%)	Perkiraan Jenis Fluida
<3	<50	Gas
2 - 5	<60	Minyak dan Gas
>5	<50-70	Minyak
<1	>70-75	Air

3.3. Metode Seismik

Prinsip dasar metode seismik, yaitu menempatkan geophone sebagai penerima getaran pada lokasi penelitian. Sumber getaran dapat ditimbulkan oleh ledakan dinamit atau suatu pemberat yang dijatuhkan ke tanah (*weight drop*). Gelombang yang dihasilkan oleh sumber menyebar ke segala arah dan direkam oleh geophone sebagai fungsi waktu yang dapat memperkirakan bentuk lapisan bawah permukaan yang sebenarnya. Hasil gelombang seismik yang terekam oleh receiver akan membawa informasi mengenai litologi dan fluida bawah permukaan dalam bentuk waktu rambat (*travel time*), amplitudo refleksi, dan variasi fasa. Setiap *trace* merupakan hasil konvolusi sederhana dari reflektivitas bumi dengan fungsi sumber seismik ditambah dengan *noise* (Russel, 1996) ditunjukkan oleh Persamaan 10.

$$S(t) = w(t) * r(t) + n(t) \quad (10)$$

Keterangan:

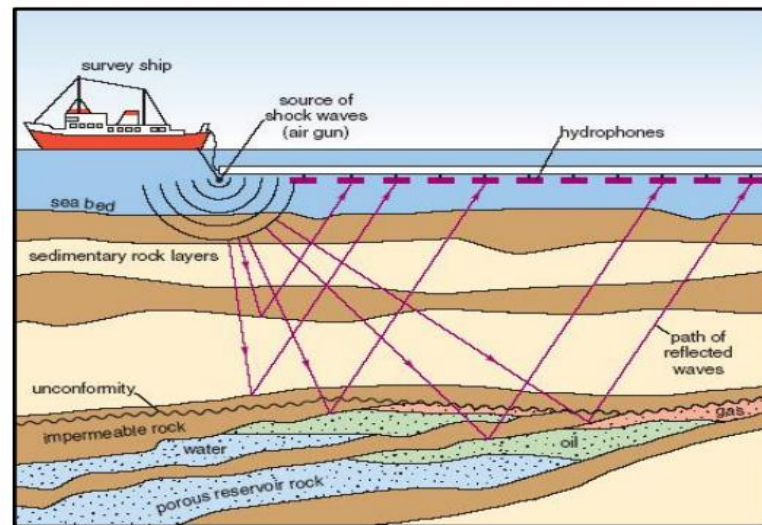
$S(t)$ = Trace seismic

$w(t)$ = Wavelet seismic

$r(t)$ = Reflektivitas bumi

$n(t)$ = Noise

Eksplorasi seismik refleksi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu eksplorasi prospek dangkal dan eksplorasi prospek dalam. Eksplorasi seismik dangkal biasanya diaplikasikan untuk eksplorasi batubara dan bahan tambang lainnya. Sedangkan seismik dalam digunakan untuk eksplorasi daerah prospek hidrokarbon (minyak dan gas bumi). Dan berikut ini merupakan konsep dari seismik refleksi yang ditunjukkan pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Konsep Seismik Refleksi (Kukreja, dkk., 2007)

Metode seismik refleksi terbagi atas tiga tahapan utama, yaitu:

1. Pengumpulan data seismik (akuisisi data seismik) yaitu semua kegiatan yang berkaitan dengan pengumpulan data sejak survey pendahuluan hingga survey detail.
2. Pengolahan data seismik (*processing* data seismik) yaitu kegiatan untuk mengolah data rekaman di lapangan (*raw data*) dan diubah ke bentuk penampang seismik migrasi.
3. Interpretasi data seismik kegiatan yang dimulai dengan penelusuran horizon, pembacaan waktu pada penampang seismik yang hasilnya disajikan atau dipetakan pada peta dasar yang berguna untuk mengetahui struktur atau model geologi bawah permukaan (Sheriff, 1995).

3.5 Polaritas dan Fasa

Penentuan jenis polaritas sangat penting dalam proses *well seismic tie* dan *picking horizon*. Polaritas terbagi menjadi polaritas normal dan polaritas terbalik. *Society of Exploration Geophysicists (SEG)* mendefinisikan polaritas normal sebagai berikut:

1. Sinyal seismik positif akan menghasilkan tekanan akustik positif pada hidrofons atau pergerakan awal ke atas pada geofon.
2. Sinyal seismik yang positif akan terekam sebagai nilai negatif pada *tape*, defleksi negatif pada monitor dan *trough* pada penampang seismik.

defleksi negatif pada monitor dan *trough* pada penampang seismik.

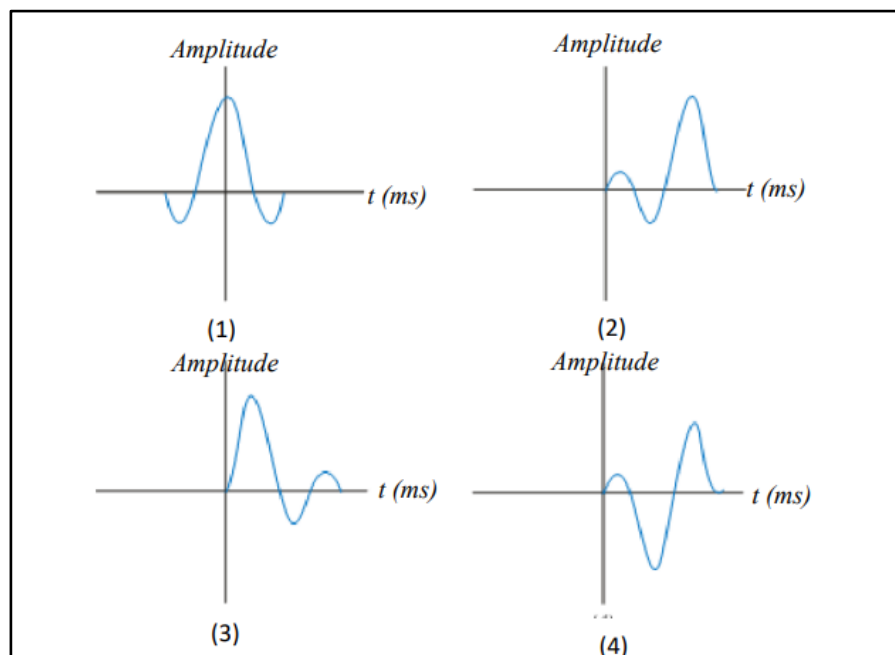
Berdasarkan konvensi SEG ini, polaritas seismik dapat dihubungkan dengan nilai impedansi akustik (AI) dari lapisan-lapisan batuan sebagai berikut:

1. Batas refleksi berupa *trough* pada penampang seismik, jika impedansi akustik lapisan bawah $>$ impedansi akustik lapisan di atasnya.
2. Batas refleksi berupa *peak* pada penampang seismik, jika impedansi akustik lapisan bawah $<$ impedansi akustik lapisan di atasnya.

Fasa pulsa seismik umumnya ditunjukkan dalam rekaman seismik dengan dua fasa, yaitu fasa minimum dan fasa nol. Pada fasa minimum energi yang berhubungan dengan AI terkonsentrasi pada *onset* (bagian muka) pulsa tersebut. Pada fasa nol batas AI akan terdapat pada *peak* atau *trough* (bagian tengah) pulsa tersebut. Untuk spektrum amplitudo yang sama, sinyal fasa akan selalu lebih pendek dan beramplitudo lebih besar dari fasa minimum, sehingga sinyal *noise* juga akan lebih besar.

3.6 Wavelet

Wavelet adalah gelombang harmonik yang mempunyai interval amplitudo, frekuensi, dan fasa tertentu (Sismanto, 2006). Berdasarkan konsentrasi energinya *wavelet* dapat dibagi menjadi 4 jenis seperti pada **Gambar 13**.



Gambar 13. Jenis-jenis *Wavelet* (Sukmono, 1999)

1. *Zero Phase Wavelet*

Wavelet berfase nol (*zero phase wavelet*) mempunyai konsentrasi energi maksimum di tengah dan waktu tunda nol, sehingga *wavelet* ini mempunyai resolusi dan *standout* yang maksimum.

2. *Minimum Phase Wavelet*

Wavelet berfase minimum (*minimum phase wavelet*) memiliki energi yang terpusat pada bagian depan.

3. *Maximum Phase Wavelet*

Wavelet berfase maksimum (*maximum phase wavelet*) memiliki energi yang terpusat secara maksimal di bagian akhir dari *wavelet* tersebut, merupakan kebalikan dari *wavelet* berfase minimum.

4. *Mixed Phase Wavelet*

Mixed Phase Wavelet merupakan *wavelet* berfase campuran (*mixed phase wavelet*) merupakan *wavelet* yang energinya tidak terkonsentrasi di bagian depan maupun di bagian belakang. Selain itu terdapat jenis *wavelet* model yang biasanya dipakai dalam proses pembuatan seismogram sintetik, yaitu *wavelet ricker* dan *wavelet trapezoid* atau *bandpass*. *Wavelet ricker* merupakan jenis model *wavelet* dengan fasa nol yang menggunakan frekuensi dominan yang dilepaskan ke bumi pada penampang seismik. Frekuensi dominan pada penampang seismik dilihat dari spektrum amplitudo hasil dari ekstraksi *wavelet*.

Pada proses pengikatan seismik dengan sumur (*well seismic tie*), *wavelet* model digunakan apabila memiliki nilai koefisien korelasi yang lebih baik dari pada metode *wavelet* ekstraksi. *Wavelet trapezoid* atau *bandpass* termasuk kedalam *wavelet* model yang merupakan filter seismik yang digunakan ketika pengolahan data seismik yang berarti frekuensi yang dilepaskan ke bumi. Parameter yang digunakan pada *wavelet* ini adalah F1 (*low cut frequency*), F2 (*low pass frequency*), F3 (*high pass frequency*), dan F4 (*high cut frequency*) (Mashudi, 2008).

3.7 Impedansi Akustik

Impedansi akustik (*Acoustic Impedance/AI*) didefinisikan sebagai kemampuan suatu batuan dalam melewatkan gelombang seismik yang melaluinya. Secara fisis, Impedansi Akustik merupakan sebuah perkalian antara kecepatan gelombang kompresi atau gelombang primer dengan densitas batuan. Semakin keras suatu batuan maka impedansi akustik yang dihasilkan akan semakin besar juga. Dengan begitu dapat diambil contoh batupasir yang sangat kompak mempunyai nilai impedansi akustik yang lebih tinggi dibandingkan dengan batu lempung. Jadi, secara matematis impedansi akustik batuan adalah hasil perkalian antara kecepatan dengan nilai densitas suatu batuan sehingga dapat ditulis dengan persamaan seperti pada Persamaan 11 di bawah ini:

$$IA = \rho v \quad (11)$$

Keterangan:

IA = Impedansi akustik

ρ = Densitas batuan (gr/m^3)

v = Kecepatan gelombang (m/s)

Pantulan gelombang seismik terjadi disebabkan oleh perubahan impedansi akustik lapisan. Nilai kontras impedansi akustik dapat diperkirakan dari amplitudo refleksinya, semakin besar amplitudo refleksi maka semakin besar pula kontras impedansi akustik. Tiga parameter penting dari batuan yang mempengaruhi perilaku seismik adalah kecepatan, densitas dan impedansi akustik, pengolahan data dilakukan sesuai dengan tujuan dari penelitian, pengolahan data dilakukan sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Pengolahan yang dilakukan pada data *log* sumur bertujuan untuk mempersiapkan berbagai macam data *log* agar siap dipakai untuk proses *well to seismic tie* dan pembuatan data pendukung interpretasi seperti *crossplot* antar *log* serta analisa *thickness* (Meijuan dan Kyle, 2016).

3.8 Koefisien Refleksi

Koefisien Refleksi (KR) biasa disebut juga reflektivitas merupakan suatu nilai yang merepresentasikan bidang batas antara dua medium yang

memiliki impedansi akustik yang berbeda. Setiap koefisien refleksi bisa dianggap sebuah respon dari *wavelet* seismik dengan sebuah perubahan impedansi akustik (Sukmono, 2000). Harga AI diprediksi dari nilai amplitudonya, dimana harga koefisien refleksi dapat diperkirakan dari amplitudo refleksinya. Koefisien refleksi berbanding lurus dengan amplitudo gelombang seismik refleksi, semakin besar amplitudo refleksinya maka semakin besar koefisien refleksinya dan artinya semakin besar kontras Impedansi-nya. Ketika gelombang seismik melalui dua media yang memiliki kontras AI maka sebagian energinya akan dipantulkan. Perbandingan antara energi yang dipantulkan dengan energi datang pada keadaan normal secara matematis dituliskan dalam Persamaan 12:

$$RC = \frac{AI_2 - AI_1}{AI_2 + AI_1} \quad (12)$$

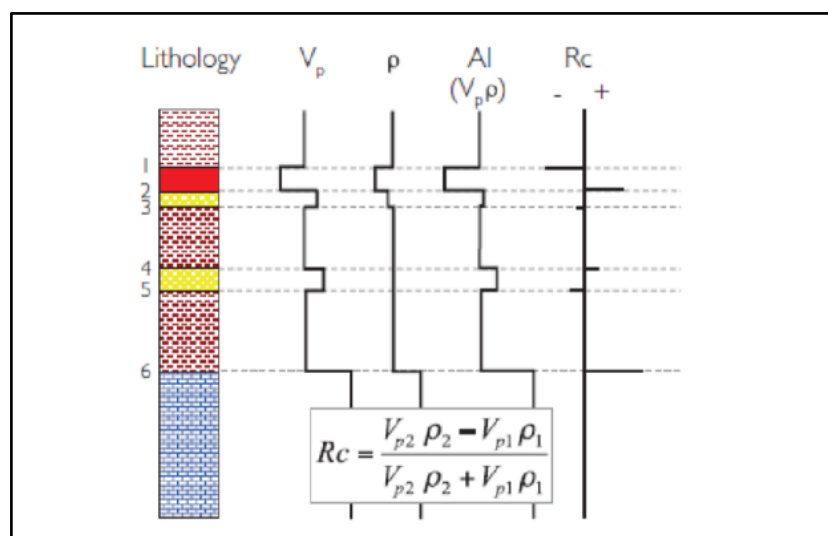
Keterangan :

RC = Koefisien Refleksi

AI_2 = Akustik impedansi lapisan bawah

AI_1 = Akustik impedansi lapisan atas

Adapun perbedaan impedansi akustik pada batas litologi ditunjukkan pada **Gambar 14**.



Gambar 14. Koefisien Refleksi (RC) mendefinisikan Perbedaan AI pada Batas Litologi oleh (Simm dan Bacon, 2014)

3.9 Konvolusi

Konvolusi merupakan cara untuk mengkombinasikan dua buah deret angka yang menghasilkan deret angka yang ketiga. Didalam dunia seismik deret-deret angka tersebut adalah *wavelet* sumber gelombang, reflektivitas bumi dan rekaman seismik.

3.10 Seismogram Sintetik

Seismogram sintetik ($S(t)$) merupakan hasil konvolusi dari suatu *wavelet* dengan deret koefisien refleksi yang diperoleh dari hasil kali densitas batuan dengan kecepatan Gelombangnya yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$S(t) = W(t) * r(t) + n(t) \quad (13)$$

Keterangan:

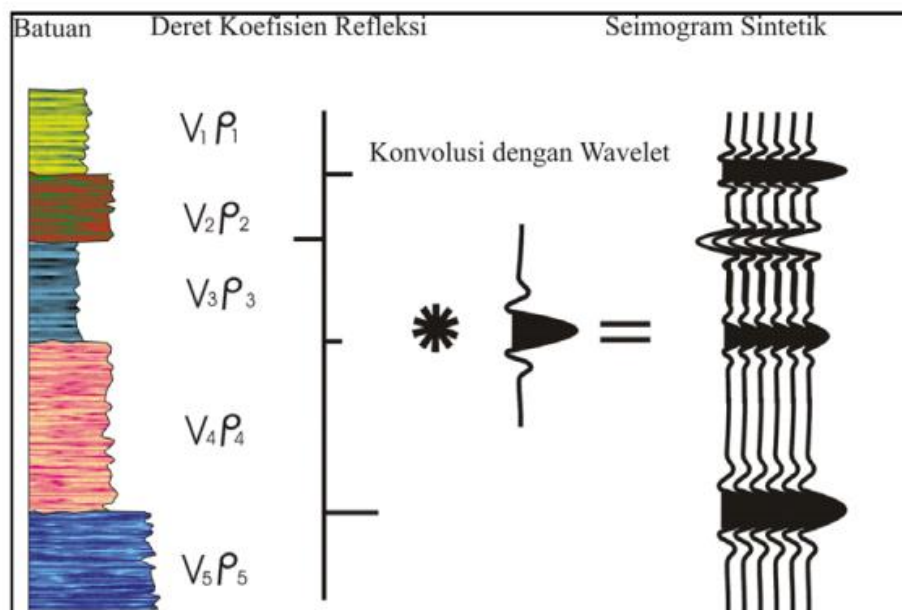
$S(t)$ = *trace* seismik

$W(t)$ = *wavelet* hasil dari ekstraksi seismik

$r(t)$ = koefisien refleksi hasil perkalian *p wave* dengan *density*

$n(t)$ = *noise*

Adapun seismogram sintetik dari hasil konvolusi dari suatu *wavelet* dengan deret koefisien refleksi ditunjukkan pada **Gambar 15**.



Gambar 15. Seismogram Sintetik (Sukmono, 2002)

Seismogram sintetik sangat penting karena merupakan sarana untuk mengidentifikasi horison seismik yang sesuai dengan geologi bawah permukaan yang diketahui dalam suatu sumur hidrokarbon. Seismogram sintetik dibuat untuk mengkorelasikan antara informasi sumur (litologi, kedalaman, dan sifat-sifat fisis lainnya) terhadap penampang seismik guna memperoleh informasi yang lebih lengkap dan komprehensif.

3.11 *Well to Seismic Tie*

Well to seismic tie merupakan sebuah proses mengintegrasikan data sumur yang berada pada domain kedalaman dengan data seismik yang berada pada domain waktu, sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi horizon target (Purnamasari, 2008). Proses *well seismic tie* ini akan merubah sumur dari domain kedalaman menjadi waktu dikarenakan tujuan akhir dari proses *well seismic tie* ini yaitu dapat mengetahui posisi atau letak dari marker geologi yang berada pada sumur di data seismik. pada umumnya, data yang diperlukan pada proses *well seismic tie* yaitu data seismik, data sumur berupa *log* densitas (RHOB), *log sonic* (DT), dan *log checkshot* (Ellis dan Singer, 2006). Dan *wavelet* yang digunakan pada proses *well to seismic tie* ini sebaiknya mempunyai frekuensi dan bandwidth yang sama dengan penampang seismik. Hal ini akan mempermudah pengikatan data sumur dengan data seismik (Hardiansyah, 2015).

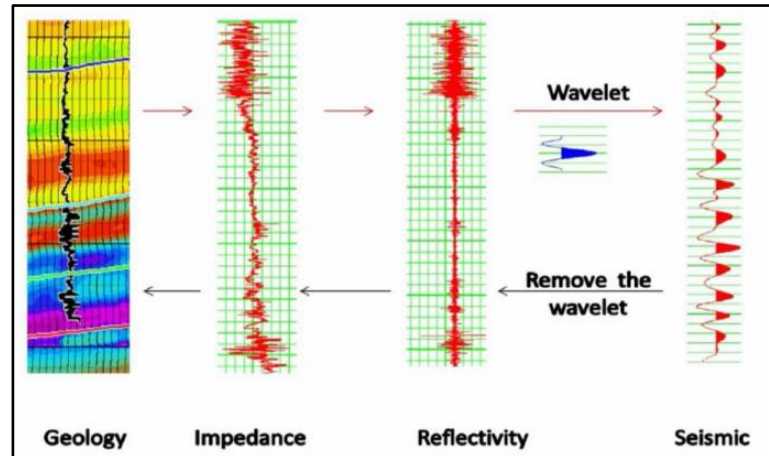
3.12 *Picking Horizon*

Picking horizon dilakukan untuk menentukan lapisan zona target dengan menentukan kemenerusannya secara lateral didalam seismik. *Picking horizon* dilakukan pada zona target yang berada di salah satu formasi di cekungan daerah penelitian. Proses *Picking horizon* memiliki peranan penting dalam tahap proses pengolahan data seismik. Hal ini di sebabkan proses ini akan sangat memengaruhi proses interpretasi data seismik. Sebelum melakukan *picking horizon* hal yang perlu diperhatikan didalam data seismik yaitu struktur, seperti patahan, lipatan dan sebagainya (Rismawati, 2019). Proses ini merupakan proses penandaan pada suatu

penampang seismik dengan cara mencari kemenerusan yang paling menonjol di bandingkan dengan yang lain. Proses *picking horizon* ini adalah langkah awal dari proses interpretasi suatu data seismik. Sehingga proses ini sangat berpengaruh karena bila terdapat kesalahan pada proses ini maka akan mempengaruhi proses-proses selanjutnya. Pada prinsipnya, tujuan dilakukan interpretasi struktur pada penampang data seismik yaitu untuk mendeteksi adanya indikasi keberadaan jebakan yang diduga mengandung hidrokarbon ataupun mencari struktur berupa patahan yang dapat bertindak sebagai jalur migrasi hidrokarbon menuju reservoir. Proses *picking horizon* ini dilakukan pada penampang seismik yang memiliki reflektor berwarna merah yang menandakan *peak* dan warna biru yang menandakan *through*. Suatu patahan biasanya di deteksi dengan adanya diskontinuitas dari reflektor seismik atau dengan kata lain terdapat horizon yang tidak menerus dengan ditandai oleh naiknya atau turunnya blok yang satu terhadap blok yang lain (Kearey, dkk., 2002).

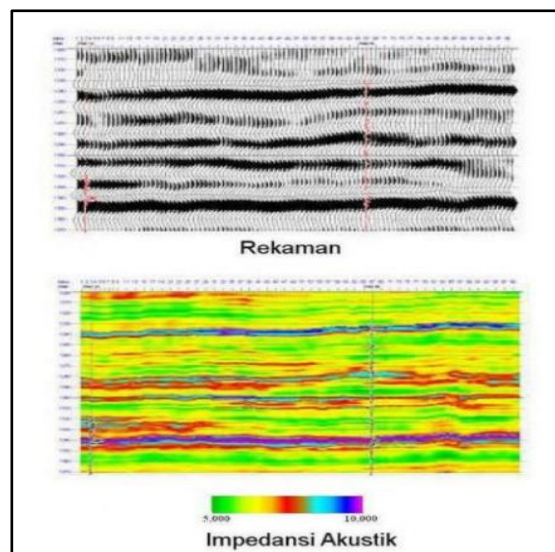
3.13 Inversi Seismik

Seismik inversi merupakan suatu teknik pembuatan model bawah permukaan dengan menggunakan data seismik sebagai input dan data sumur sebagai kontrol (Sukmono, 2002). Informasi yang terkandung di dalam lapisan batuan berupa impedansi merupakan hasil yang diperoleh dengan menggunakan metoda inversi. Inversi seismik juga mengubah kandungan informasi data seismik yang berkaitan dengan bidang batas antar lapisan menjadi informasi yang berkaitan dengan lapisannya. Kandungan informasi tersebut adalah impedansi akustik (AI) yang dapat dihubungkan dengan porositas batuan. Karena impedansi akustik merupakan perkalian antara densitas dengan kecepatan gelombang, maka secara *logika* semakin besar impedansi akustik maka semakin rendah porositas batuan. Selanjutnya hasil impedansi akustik dapat digunakan sebagai interpretasi pola penyebaran litologi dengan penggabungan parameter impedansi akustik, densitas dan *P-Wave* pada area inversi (Ramdhani, 2017) yang ditunjukkan pada **Gambar 16**.



Gambar 16. Konsep dari Inversi Impedansi Akustik

Metode seismik inversi AI terbagi ke dalam dua kelompok, yaitu inversi *pre-stack* dan inversi *post-stack*. Penelitian ini membahas inversi *poststack* yang berhubungan dengan inversi amplitudo menggunakan Inversi *model based*. Pada inversi *model based* ini, langkah pertama yang dilakukan adalah membangun model inisial, kemudian model tersebut dibandingkan dengan data seismik, diperbaharui secara iteratif sehingga diperoleh adanya kecocokan yang lebih baik dengan data seismik. Keuntungan penggunaan metode inversi berbasis model adalah metode ini tidak menginversi langsung dari seismik melainkan menginversi model geologinya. Adapun metode inversi *model based* ditunjukkan pada **Gambar 17**.



Gambar 17. Ilustrasi Inversi AI dari Refleksi *Seismic* menjadi Model Hasil Inversi AI (Simm dan Bacon, 2014)

3.14 Penyebaran Properti Petrofisika Batuan

Penyebaran petrofisika digunakan untuk memperoleh properti petrofisika beserta nilainya berdasarkan korelasi *log* dan data sumur pada daerah target penelitian. Dalam perhitungan cadangan minyak, dibutuhkan sebuah peta sebaran properti petrofisika berupa porositas dan saturasi air (Vidhotomo, dkk., 2011). Peta sebaran properti petrofisika perlu dibuat karena peta sebaran properti petrofisika tersebut berfungsi untuk mengidentifikasi hasil dari proses inversi sebelumnya. Peta persebaran didapat dengan memanfaatkan data seismik sebagai *guide* dengan beberapa korelasi dan perhitungan untuk mendapatkan pola sebaran peta petrofisikanya. Adapun peta sebaran yang dihasilkan yaitu sebagai berikut:

3.14.1 Peta Saturasi Air

Peta sebaran saturasi air menggambarkan nilai sebaran saturasi air setiap batasan *shale* Formasi Ngimbang yang di peroleh dari proses *posttack inversion analysis* dengan menggunakan *inversi model based*. Dari peta saturasi air yang telah dilakukan persebaran, maka dapat diidentifikasi area mana saja yang memiliki nilai persebaran saturasi air yang tinggi dan rendah.

3.14.2 Analisis Kandungan Jenis Fluida

Untuk mengetahui kandungan jenis fluida dilakukan dengan cara mengidentifikasi persebaran saturasi air yang ada pada batasan *shale* dengan menggunakan klasifikasi kandungan jenis fluida berdasarkan nilai saturasi air (Adim,1991).

4.3 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah:

1. *Software Interactive Petrophysics*

Software IP digunakan untuk menampilkan litologi juga informasi-informasi petrofisika yang terdapat pada sumur.

2. *Software Schlumberger Petrel 2017*

Software ini digunakan dalam proses *picking horizon fault* dan pembuatan peta sebaran impedansi akustik dan saturasi air.

3. *Software Geoview Humpson-Russel Suite (HRS 10.3.2)*

Software HRS ini digunakan untuk proses *well to seismic tie* hingga proses inversi seismik impedansi akustik dan persebaran saturasi air.

4.4 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan adalah data sekunder dari Pusat Survey Geologi (PSG) data sumur yaitu IR-1, data Marker, data seismik 2D *post-tack* dan data *checkshot* sumur IR-1. Kelengkapan data sumur dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Kelengkapan Data

<i>Well</i>	Log GR	Log NPHI	Log RHOB	Log LLD	Log DT	<i>Check shot</i>
IR-1	V	V	V	V	V	V

4.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

4.5.1 Studi Literatur

Pada tahap awal penelitian dilakukannya studi literatur. Studi literatur berguna untuk mengumpulkan data-data yang berkaitan dengan penelitian seperti tinjauan pustaka dan teori dasar yang berguna untuk menunjang dan

memudahkan proses penelitian. Pada tahapan ini, penulis mempelajari metode seismik dan *welloging* yang menjadi dasar Tugas Akhir ini serta mempelajari stratigrafi daerah penelitian.

4.5.2 Persiapan dan Pengumpulan Data

Pada tahap selanjutnya yaitu melakukan pengumpulan data. Dimana tahapan pengumpulan data merupakan tahap untuk mengumpulkan data yang akan digunakan dan dibutuhkan untuk melakukan penelitian ini. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data *log* sumur dan data *2D seismic* yaitu berupa data *well* atau data sumur (.Las), data marker, dan data *cek shot*. Data *well* atau disebut juga data sumur ini dilakukan pada saat proses *well to seismic tie*, inversi seismik impedansi akustik, serta persebaran properti petrofisika (saturasi air). Data seismik ini merupakan data yang utama dalam penelitian ini, yang digunakan dalam proses *well to seismic tie*, *picking horizon* dan *structure*, inversi seimik impedansi akustik, serta persebaran properti petrofisika (saturasi air).

4.5.3 Pengolahan Data

4.5.3.1 Well to Seismic Tie

Dalam tahapan ini yaitu *well to seismic tie* yang bertujuan untuk mendapatkan hubungan antara data seimik dengan data sumur. Data seismik itu sendiri merupakan data yang berdomain waktu (*time*) dengan satuan milisekon sedangkan data sumur merupakan sebuah data yang berdomain kedalaman (*depth*) dengan satuan meter/feet. Dikarenakan dua data tersebut berbeda maka perlu disamakan dengan cara mengikat data sumur berdomain kedalaman dengan data seismik berdomain waktu dengan suatu data penghubung yaitu data *checkshot*. Hal ini dikarenakan agar pada tahap selanjutnya yaitu interpretasi horizon posisi marker yang ada di data sumur berada tepat ke dalam data seismiknya. Adapun untuk data yang digunakan pada tahap *well to seismic tie* yaitu diantaranya data *well* berupa data *log* densitas (*RHOB*) dan *log sonic* (*P-wave*), data *checkshot*, data *marker/welltops*, dan data

seismik. Pertama yang dilakukan yaitu melakukan koreksi data *log sonic* (*P-wave*) dengan data *checkshot*. Setelah data *sonic* (*P-wave*) terkoreksi dengan data *checkshot*, selanjutnya yaitu proses perkalian seperti pada persamaan di atas sebelumnya antara *log sonic* (*P-wave*) terkoreksi dengan *log densitas* (*RHOB*) yang dari itu didapatkan *log impedansi* akustik (*P-impedance*). Proses selanjutnya yaitu ekstraksi/ pembuatan *wavelet* dari inputannya yaitu berupa data seismik. Pada proses ini nanti akan dilakukan *trial and error* untuk macam-macam jenis *wavelet* yang bisa digunakan seperti *wavelet statistical*, *wavelet use well*, dan *wavelet ricker*, hingga nantinya dipilih *wavelet* yang menghasilkan korelasi yang baik. Setelah terbentuknya *wavelet*, maka hasil dari *wavelet* ini akan dilakukan konvolusi dengan koefisien refleksi yang sudah didapatkan sebelumnya yang akan kemudian menghasilkan seismogram sintetik.

Dalam seismogram sintetik inilah akan dilakukan pencocokan dengan seismik *traceny* dengan melakukan proses *stretch and squeeze*. Dimana *stretch* merupakan proses peregangan data dan *squeeze* merupakan proses perapatan data. Dalam proses *stretch and squeeze* ini harus sesuai agar nantinya tepat jatuh pada *wiggle* yang seharusnya pada data seismik. Dari proses *stretch and squeeze* ini akan menghasilkan nilai korelasi dan *time shift*. Dimana nilai ini menandakan kesesuaian antara data sumur yang dalam bentuk seismogram sintetik dengan data seismiknya. Semakin besar nilai korelasi dalam artian mendekati 1 dan nilai *time shift*-nya kecil dalam artian nilainya 0, maka hasilnya dapat dikatakan memiliki korelasi yang sangat baik. Dan dalam penelitian ini diusahakan memiliki nilai korelasi $> 0,5$ dan *time shift* bernilai 0 ms yang dapat dikatakan korelasi yang cukup baik.

4.5.3.2 Picking Horizon

Proses selanjutnya yaitu *picking horizon*, *picking horizon* merupakan suatu proses untuk memilih horizon – horizon yang terdapat dalam suatu

penampang seismik. Data yang digunakan dalam proses ini yaitu data seismik dan juga data *marke* atau *well tops*. Pada data seismik suatu horizon dapat ditampilkan dari suatu reflektor seismik dengan amplitude negatif yang diartikan sebagai *through* (lembah) dan amplitude positif sebagai *peak* (puncak). Pada umumnya reflektor yang berupa *through* (lembah) akan ditampilkan sebagai horizon yang berwarna biru di penampang seismik, sedangkan reflektor yang berupa *peak* (puncak) ditampilkan sebagai horizon yang berwarna merah di penampang seismik.

4.5.3.3 Inversi Seismik Impedansi Akustik

Pada inversi impedansi akustik ini merupakan bentuk pemodelan bawah permukaan dengan suatu data seismik sebagai inputannya serta data *log* sebagai data pengontrolnya. Data yang digunakan pada saat proses inversi impedansi akustik ini ada beberapa macam diantaranya yaitu data line seismik, data *log* densitas (*RHOB*) dan *log sonic* (*P-wave*) yang akan menghasilkan nilai *log* impedansi akustik, serta data hasil *picking horizon* sebelumnya. Diperlukan tahanan awal yaitu pembuatan model inisial yang digunakan untuk pengontrol dalam melakukan inversi. Langkah selanjutnya adalah melakukan pra-inversi, proses ini dilakukan agar mengetahui baik atau tidaknya hasil inversi yang sudah dilakukan.

Pada tahap analisis pra inversi ini bertujuan untuk menyamakan dari kurva *log* impedansi akustik hasil inversi dengan kurva *log* inversi aslinya agar dibuat menjadi semirip mungkin dengan yang menjadi acuan yaitu nilai korelasi yang mendekati 1 dan nilai eror yang kecil. Semakin baik hasil pra inversi maka akan semakin baik juga hasil inversi impedansi akustiknya dengan cara melihat kemiripan warna dari *log* impedansi akustik asli dengan sebaran *log* impedansi akustik hasil inversi. Setelah diperoleh hasil inversi impedansi akustiknya, maka hasil tersebut dilanjutkan dengan tahap *overlay* dengan *time map* sehingga akan menghasilkan peta sebaran impedansi akustik. Baru setelah itu

akan didapatkan hasil model inversi dan selanjutnya dilakukan pembuatan peta persebaran properti petrofisika yaitu saturasi air.

4.5.3.4 Peta Persebaran Properti Petrofisika

4.5.3.4.1 Peta Saturasi Air

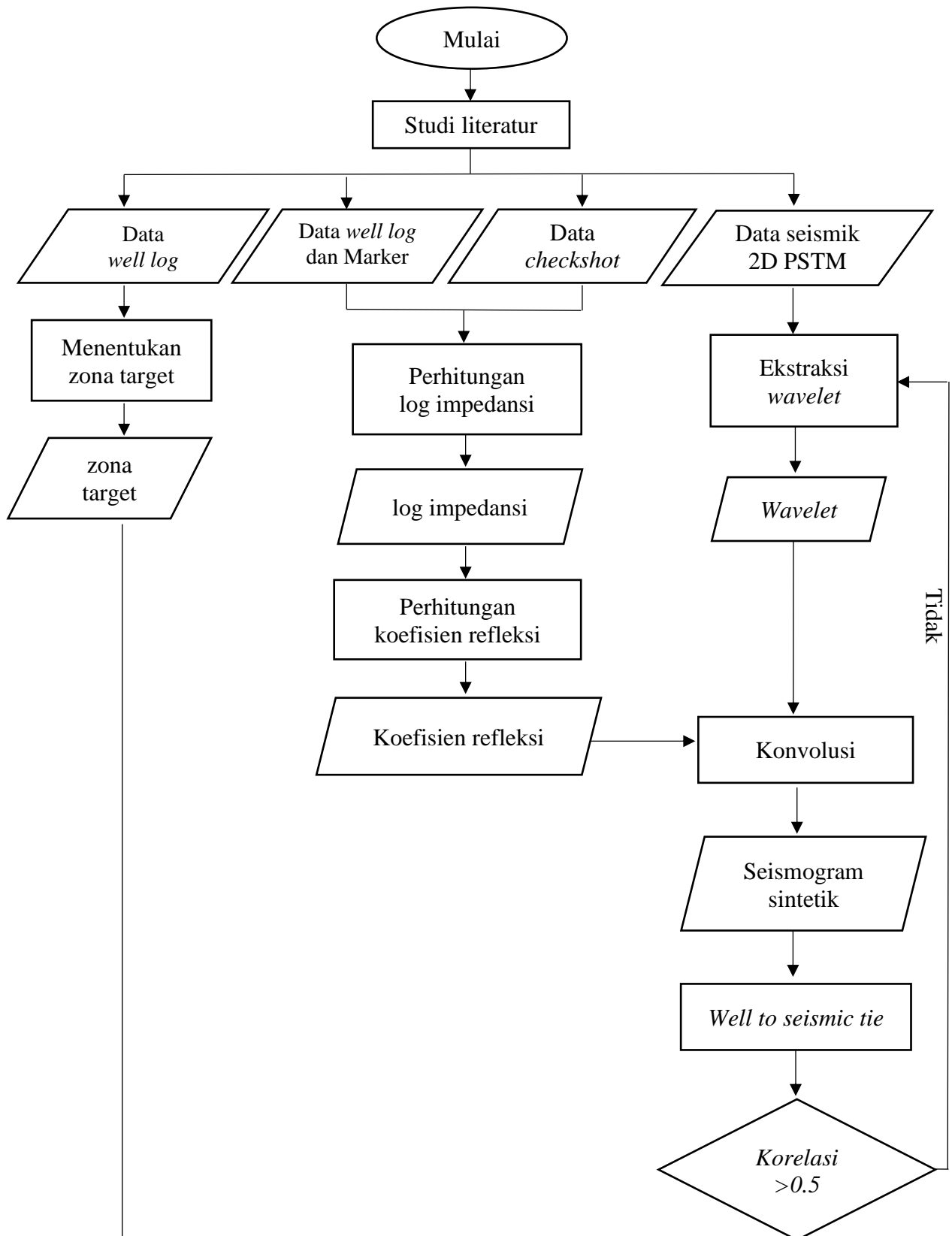
Peta sebaran saturasi air menggambarkan nilai sebaran saturasi air dari batasan *shale* Formasi Ngimbang yang di peroleh dari proses inversi dengan menggunakan *inversi model based*.

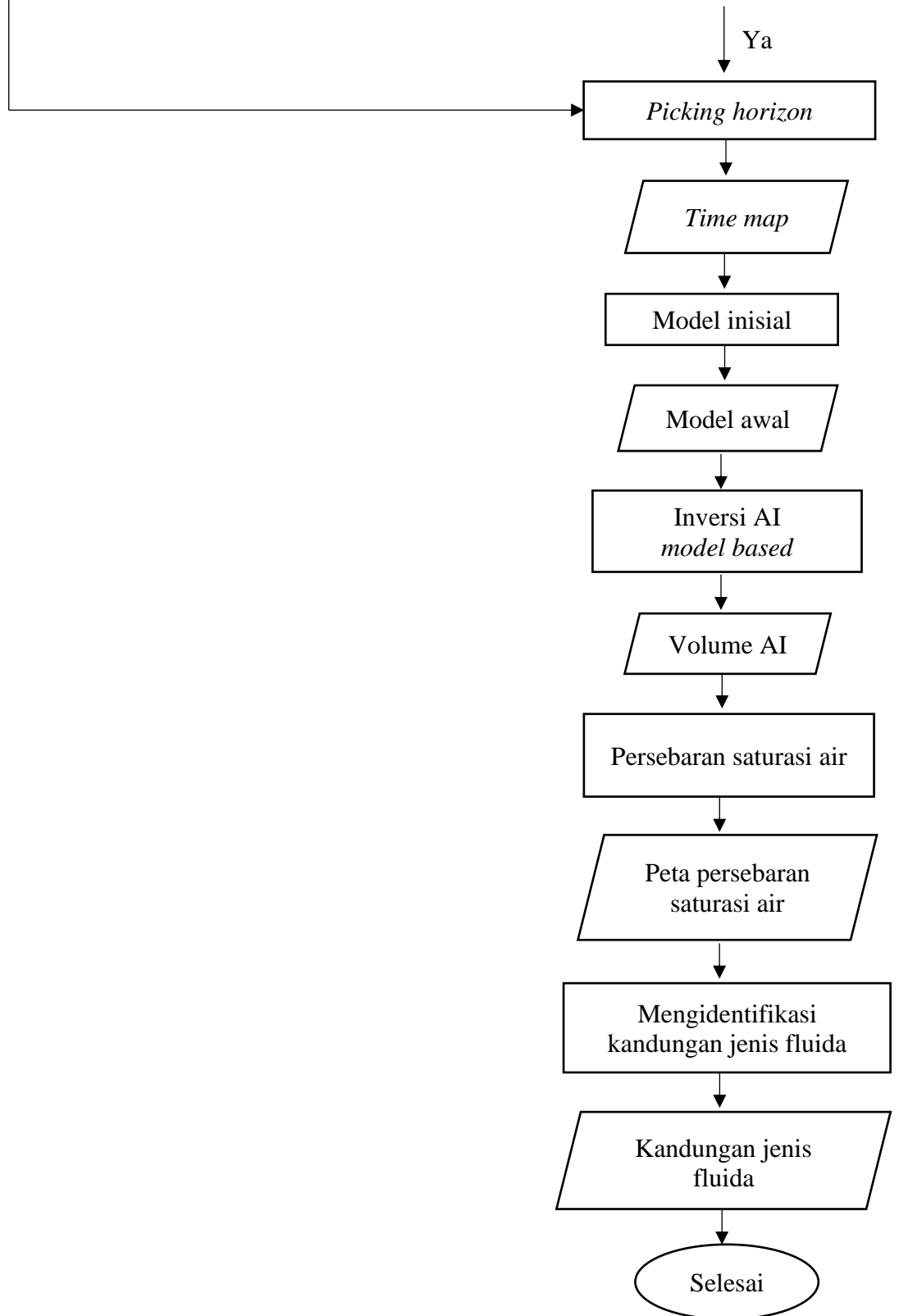
4.5.3.4.2 Kandungan Jenis Fluida

Untuk mengetahui kandungan jenis fluida dilakukan dengan cara mengidentifikasi persebaran saturasi air yang ada pada batasan *shale* dengan menggunakan klasifikasi kandungan jenis fluida berdasarkan nilai saturasi air (Adim,1991).

4.6 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 18**.





Gambar 18. Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Zona target daerah penelitian untuk hidrokarbon non-konvensional berada pada kedalaman 580 – 595 m dan 600 – 642 m.
2. Hasil persebaran saturasi air dan kandungan jenis fluida pada batasan *top shale* dan *bottom shale* Formasi Ngimbang pada arah selatan diindikasikan oleh warna hijau menunjukkan kandungan jenis fluidanya gas. Pada arah barat laut diindikasikan oleh warna kuning yang menunjukkan kandungan jenis fluidanya minyak. Pada arah timur laut, barat – timur diindikasikan oleh warna merah yang menunjukkan kandungan jenis fluidanya air.

6.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini adalah akan lebih baik apabila sumur yang hasil penyebaran saturasi air dan kandungan jenis fluida dilanjutkan pada tahap selanjutnya sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelfattah, H.M., Abdelalim, M.A., dan Ahmedyassin, H.M. (2015). Unconventional Reservoir: Definitions, Types and Egypt's Potential. *Faculty of Petroleum and Mining Engineering Suez University Journal*. Suez University.
- Abdullah, M. (2007). *Konsep Dasar Seismik Refleksi-Edisi Revisi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Adim, H. (1991). *Pengetahuan Dasar Mekanika Reservoir, Volume 1*. Badan Penelitian Dan Pengembangan Energi Dan Sumber Daya Mineral Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Minyak Dan Gas Bumi.
- Ahmed, U., dan Meehan, D. N. (2016). *Unconventional oil and gas resources: exploitation and development*. New York: CRC Press.
- Archie, G. E. (1942). The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Transactions of the AIME*, 146(01), 54-62.
- Asparini, D. (2011). *Penerapan Metode Stacking dalam Pemrosesan Sinyal Seismik Laut di Perairan Barat Aceh*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Asquith, G. B., Krygowski, D., dan Gibson, C. R. (2004). *Basic well log analysis*. Oklahoma: The American Association of Petroleum Geologists.
- Dewan, J. (1983). *Essentials of modern open-hole log interpretation*. United State.
- Ellis, D. V., dan Singer, J. M. (2006). *Well logging for earth scientists* (Vol. 692). Dordrecht: Springer.
- European Commission. (2019). European Commission. Dipetik 9 Januari 2023, dari European Commission: https://energy.ec.europa.eu/topics/oil-gas-and-coal/shale-gas-and-other-unconventional-hydrocarbons_en
- Glover, P. (2007). *Petrophysics MSc Course Notes*. Nottingham, United State.

- Hardiansyah, I. (2015). Identifikasi Zona Reservoir Sand Menggunakan Seismik Inversi Akustik Impedansi dan Analisis Atribut pada Lapangan "Bisma" Formasi Talang Akar Cekungan Sumatera Selatan. *Skripsi*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta: tidak diterbitkan.
- Harsono, A. (1997). *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*. Schlumberger Oilfield Services.
- Husein, S. (2016). *Buku Panduan Ekskursi Geologi Regional Jawa Timur*. Yogyakarta: UGM.
- Katz, B., Gao, L., Little, J., dan Zhao, Y. R. (2021). Geology still matters—unconventional petroleum system disappointments and failures. *Unconventional Resources*, 1, 18-38.
- Kearey, P., Brooks, M., dan Hill, I. (2002). *An introduction to geophysical exploration* (Vol. 4). John Wiley & Sons.
- Khasanah, U., Supriyanto, S., dan Djayus, D. (2019). Analisis Nilai Log Gamma Ray Dan Log Density Terhadap Variasi Kecepatan Perekaman Metode Well Logging "Robertson Geologging (RG)". *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 2(1), 1-7.
- Koesoemadinata, R. P. (1978). *Geologi Minyak Bumi*. Bandung: Penerbit ITB.
- Mashudi, M. (2008). Analisis Seismik Inversi Untuk Pemetaan Porositas Reservoir Batu Pasir Pada Lapangan "Nafri": studi kasus PT. Chevron Pacific Indonesia. *Thesis*. Universitas Brawijaya.
- Mastoadji, E. K. (2007). *Basic Well Log Interpretation*. Handout of AAPG SC UNDIP Course.
- Meijuan, J., dan Kyle, T.S. (2016). Rock-physics and seismic-inversion based reservoir characterization of the Haynesville Shale. *Journal of Geophysics and Engineering*, 13(3), 220-233.
- Munadir, S. (2000). *Physical Aspect of Exploration Seismology*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Nurhayanto, A. dan Santosa, B. G. (2014). Evaluasi Formasi Menggunakan Data Log dan Data Core pada Lapangan "X" Cekungan Jawa Timur Bagian Utara. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 3(2), B112-B117.
- Pratama, A. (2013). Analisis Petrofisika Untuk Menentukan Potensi Hidrokarbon Pada Sumur Elp-23 Lapangan Prabumulih Menggunakan Metode Inversi. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 1(01), 2-14.
- Priyanka, F. (2017). Klasifikasi Petrofisika Tipe Batuan Untuk Memprediksi

- Kualitas Reservoir Pasir Serpihan Berdasarkan Data Log dan Analisis Core Pada Sub-Cekungan Arjuna, Studi Kasus Formasi Talang Akar. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Purnamasari, R. (2008). Ekstraksi Properti Reservoir dari Atribut Seismik 3-D Dengan Metoda Inversi dan Geostatistik di Lapangan 'X,'. *Thesis*. Universitas Indonesia.
- Ramdhani, E. (2017). Perhitungan Cadangan Hidrokarbon Formasi Talang Akar Menggunakan Analisis Petrofisika Dan Seismik Inversi AI Dengan Pendekatan Map Algebra Pada Lapangan Bisma, Cekungan Sumatera Selatan. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Rider, M. (1996). *The Geological Interpretation of Well Logs Second Editions*. Petroleum Exploration Rider French Consulting Ltd. Aberdeen and Sutherland, 280pp.
- Rider, M. H. (2002). *The geological interpretation of well logs, Second Editions*. Rider-French Consulting Ltd, pp.280.
- Rismawati. (2019). Prediksi Sebaran Properti Log untuk Karakterisasi Zona Reservoir Menggunakan Metode seismik Inversi Impedansi Akustik dan Analisis Multiatribut pada Lapangan SandS Formasi Baturaja dan Talang Kar Cekungan Sumatera Selatan. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Rizky, S. (2018). Karakteristik Reservoir Menggunakan Spektral Dekomposisi Berbasis Continous Wavelet Transform (CWT), Seismik Inversi dan Analisis Petrofisika: Studi Kasus Cekungan Bonaparte. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Russel, B. H. (1996). *Introduction To Seismic Inversion Method*. Calgary, Alberta: Hampson-Russel Software Service Ltd.
- Sandhika, D. (2016). Interpretasi log untuk menentukan interval perforasi formasi K lapangan X. *Skripsi*. Universitas Trisakti.
- Satyana, A. H., dan Darwis, A. (2001). Recent significant discoveries within Oligo-Miocene carbonates of the East Java Basin: integrating the petroleum geology. *Proceedings Indonesian Association of Geologists (IAGI) 30th annu. conv. and Geosea 10th Regional Congress*, pp. 42-46.
- Schlumberger. (1989). *Log Interpretation Principles/Applications*. Texas: Schlumberger Wireline and Testing.

- Sheriff, R. E., dan Geldart, L. P. (1995). *Exploration seismology*. Cambridge university press.
- Simm, R., dan Bacon, M. (2014). *Seismic amplitude: An interpreter's handbook*. Cambridge university press.
- Sismanto. (2006). *Dasar-Dasar Akuisisi dan Pemrosesan Data Seismik*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Sribudiyani, M.N., Ryacudu, R., Kunto, T., Astono, P., Prasetya, I., Sapiie, B., Asikin, S., Harsolumakso, A., dan Yulianto, I. (2003). The collision of the East Java microplate and its implication for hydrocarbon occurrences in the East Java basin. *Proceedings of Indonesian Petroleum Association, Jakarta*.
- Sukmono, S. (2002). *Seismic Inversion & AVO Analysis for Reservoir Characterization*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Soetantri, B., Samuel, L., dan Nayoan, G. A. S. (1973). The geology of the oilfields in north east Java. *Proceeding of 2nd Annual Convention and Exhibition of Indonesian Petroleum Association*, pp. 149-175.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics, Second Edition*. United Kingdom: Cambridge university press.
- Tryono, F.Y. (2016). Peranan Geologi dalam Sistem Hidrokarbon serta Potensi dan Tantangan Eksplorasi Migas di Indonesia. Swara Patra. *Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 6(2).
- Van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia* (Vol. IA). The Hague, Netherlands: Government Printing Office.
- Vidhotomo, E., Juwono, A. M., dan Mekarsari, R. (2014). Analisis Petrofisika Dan Perhitungan Cadangan Minyak Pada Lapangan “Bear” Cekungan Sumatra Tengah: Studi Kasus PT Chevron Pacific Indonesia. *Jurnal Chevron Indonesia*, p. 1-14.