

**IDENTIFIKASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN, SEKUEN
STRATIGRAFI DAN FASIES MENGGUNAKAN METODE SEISMIK
DAN ELEKTROFASIES PADA LAPANGAN 'IPR' CEKUNGAN ASRI**

(Skripsi)

Oleh

**Intan Pratiwi
NPM 1755051002**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN, SEKUEN STRATIGRAFI DAN FASIES MENGGUNAKAN METODE SEISMIK DAN ELEKTROFASIES PADA LAPANGAN 'IPR' CEKUNGAN ASRI

Oleh

INTAN PRATIWI

Cekungan Asri adalah salah satu cekungan penghasil hidrokarbon yang terletak di lepas pantai arah tenggara Pulau Sumatera. Penggunaan konsep sekuen stratigrafi dan fasies seismik dalam pemecahan masalah eksplorasi dan produksi minyak bumi belum pernah diterapkan pada lapangan ini. Dengan dilakukannya analisis sekuen stratigrafi, analisis fasies dan elektrofases untuk menentukan lingkungan pengendapan area penelitian serta memberikan gambaran dari persebaran reservoir yang nantinya dapat menjadi panduan untuk pengembangan lapangan. Dari analisis sekuen stratigrafi yang telah dilakukan diketahui bahwa area penelitian di endapkan pada masa *transgressive system track*, terdapat *eventt onlap* disebabkan karena kenaikan muka air laut yang relatif pada lingkungan laut dalam akibat sedimentasi yang perlahan, dengan pola parasekuenset yang beretrogradasi. Hasil distribusi fasies terapat beberapa pola reflektor seismik yaitu pola *parallel*, *chaotic* dan *subparallel high amplitude*. serta nalaisis elektrofases yang menunjukkan respon *gamma raya* dengan pola log *funnelshape-serrated* asosiasi *flood plain*, pola log *blocky* asosiasi *channel*, *funnel shape-serrated* asosiasi *tidal flat*. Sehingga diketahui bahwa pada interval berada pada lingkungan pengendapan *fluvial meandering system* dengan dua asosiasi fasies yaitu *floodplain* dan *Fluvial channel* sedangkan interval Orangemenunjukkan lingkungan pengendapan *fluvio-tide* delta dengan asosiasi fasies *tidal flat*.

Kata kunci : sekuen, fasies, elektrofases, lingkungan pengendapan.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF DEPOSITIVE ENVIRONMENTS, STRATIGRAPHIC SEQUENCES AND FACIES USING SEISMIC AND ELECTROFACIES METHODS IN THE 'IPR' FIELD OF THE ASRI BASIN

Oleh

Intan Pratiwi

The Asri Basin is one of the fact-producing basins located off the southeast coast of Sumatra Island. The use of the concept of stratigraphic sequences and seismic facies in solving problems of oil exploration and production has been applied in this field. With stratigraphic sequence analysis, facies analysis and electrofacies to determine the environment of the research area and provide an overview of the reservoir distribution which can later be a guide for field development. From the stratigraphic sequence analysis that has been carried out, it is known that the research area was deposited during the transgressive system track, there are onlap events caused by relative sea level rise in the deep sea environment due to slow sedimentation, with retrograded parasequence patterns. The results of the distribution of the densest facies are several seismic reflector patterns, namely parallel, chaotic and high amplitude subparallel patterns. and electrofacies analysis which shows the gamma response with funnelshape-serrated log pattern of flood plain association, blocky log pattern of channel association, funnel shape-serrated tidal flat association. So that it is known that the interval is in a meandering channel environment with two facies associations, namely floodplain and fluvial channel, the Orange interval shows a fluvio-tide deltaic environment with tidal facies association.

Keywords: Sequence, facies, electrofacies, depositional environment.

**IDENTIFIKASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN, SEKUEN
STRATIGRAFI DAN FASIES MENGGUNAKAN METODE SEISMIK
DAN ELEKTROFASIES PADA LAPANGAN 'IPR' CEKUNGAN ASRI**

Oleh

INTAN PRATIWI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi

**: IDENTIFIKASI LINGKUNGAN
PENGENDAPAN, SEKUEN STRATIGRAFI
DAN FASIES MENGGUNAKAN METODE
SEISMIK DAN ELEKTROFASIES PADA
LAPANGAN 'IPR' CEKUNGAN ASRI**

Nama Mahasiswa

: Intan Pratiwi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1755051002

Jurusan

: Teknik Geofisika

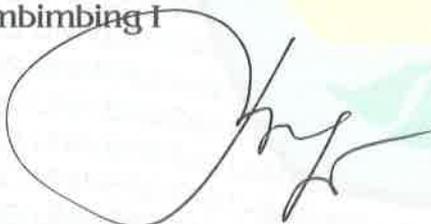
Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Ir. Bagus Sapto Mulyatno, M.T.
NIP 19700120 200003 1 001

Pembimbing II



Dr. Ordas Dewanto
NIP 19661222 199603 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



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

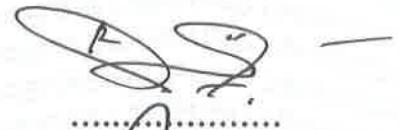
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Ir. Bagus Sapto Mulyatno, M.T.**



Sekretaris : **Dr. Ordas Dewanto**



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



2. Dekan Fakultas Teknik



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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **9 November 2021**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandarlampung, 09 Desember 2021



Intan Pratiwi

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Ulubelu, Tanggamus, Lampung pada tanggal 25 Mei 2000, sebagai anak bungsu dari tiga bersaudara, dari pasangan Bapak Drs. Mirzun dan Ibu Sukarelawati. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 2 Ngarip pada tahun 2005 hingga 2011. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Ulubelu pada tahun 2011 hingga 2014 dan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Ulubelu pada tahun 2014 hingga 2017. Pada tahun 2017 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika, fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SMMPTN Barat.

Selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung, penulis turut aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan. Pada tahun 2018 penulis mulai beorganisasi sebagai anggota Pergerakan dan Pemberdayaan Wanita di BEM Unila, kemudian menjadi Anggota Bidang Sosial Budaya Masyarakat Hima TG Bhuwana periode 2018/2019, dan Anggota Divisi *Fieldtrip* di *American Association Of Petroleum Geologists* (AAPG Unila SC) 2018/2019. Selanjutnya, penulis di amanahkan sebagai Sekretaris Bidang Sosial Budaya Masyarakat Hima TG Bhuwana periode 2019/2020, Sekretaris Umum *American Association Of Petroleum Geologists* (AAPG Unila SC) periode 2019/2020, Anggota divisi Eksternal Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia Wilayah 1 periode 2019/2020. Dan pada tahun 2021 penulis di amanahkan sebagai Sekretaris umum AAPG Indonesia.

Selain aktif dalam organisasi kemahasiswaan, penulis juga turut aktif menjadi asisten praktikum mata kuliah di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, yaitu sebagai asisten mata kuliah Praktikum Metode Gayaberat, asisten praktikum

perpetaan pada tahun 2020 dan asisten praktikum metode seismik stratigrafi pada tahun 2021.

Pada bulan Januari sampai dengan Februari 2020 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di Kementerian ESDM, Badan Geologi Pusat Survei Geologi (PSG) Bandung dengan judul penelitian “**Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Anomali Gayaberat Berdasarkan Analisis *Derivative* Pada Daerah Palu, Sulawesi Tengah**” Pada bulan Agustus 2020, penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Mandiri di Desa Simpangkalan, Kec. Sumberejo, Kab. Tanggamus, Lampung.. Kemudian pada bulan Februari hingga April 2021 penulis melakukan penelitian tugas akhir di Pertamina Hulu Energi OSES hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada tanggal 9 November 2021 dengan judul penelitian “**Identifikasi Lingkungan Pengendapan, Sekuen Stratigrafi dan Fasies Menggunakan Metode Seismik dan Elektrofases Pada Lapangan 'IPR' Cekungan Asri**”

PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas pertolongan, rahmat dan karunia-Nya di setiap langkah dalam menuntut ilmu sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Dan skripsi ini saya persembahkan untuk:

AYAH DAN IBU TERCINTA

DRS. MIRZUN

&

SUKARELAWATI .

KAKAK KAKAKKU TERSAYANG

FITRI APRIYANI DAN EKO HENDI PARIPO

RIKI APRIYANDO DAN MELY AMRAINI

SERTA KEDUA PONAKANKU YANG LUCU

FILZA MUTIA PARIPO DAN AUDY INSYIRAH PARIPO

Atas segala kasih sayang, kerja keras dan do'a yang telah kalian berikan kepadaku sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Terimakasih Ayah dan Ibu atas perjuangan kalian selama ini. Semoga kelak anakmu ini dapat meraih kesuksesan sehingga mampu menjadi kebanggaan untuk keluarga tercinta

TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG 2017

Terima kasih atas suka duka yang telah kita lalui bersama, persahabatan dan kekeluargaan selama ini. Semoga kita sukses bersama. Aku sayang kalian.

**KELUARGA BESAR TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG
ALMAMATER TERCINTA UNIVERSITAS LAMPUNG**

MOTTO

“Mereka yang berdiri setelah dihantam badai tidak akan terusik oleh gerimis”

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb

Puji syukur senantiasa penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“Identifikasi Lingkungan Pengendapan, Sekuen Stratigrafi Dan Fasies Menggunakan Metode Seismik Dan Elektrofases Pada Lapangan 'Ipr' Cekungan Asri”** Adapun dalam pelaksanaan dan penulisan laporan ini penulis menyadari bahwa selesainya proses ini tidak lepas dari bimbingan dan dukungan berbagai pihak.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, maka dari itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan wawasan bagi para pembaca. Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Penulis



Intan Pratiwi

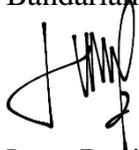
SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan pertolongan-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Dalam pelaksanaan dan penyelesaian skripsi ini tentunya tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang bersangkutan yaitu:

1. Ayah Drs. Mirzun dan Ibu Sukarelawati tercinta yang tak henti-henti nya berkorban, bekerja keras, berdoa dan selalu mendukung penulis disetiap langkah kehidupan terutama dalam hal pendidikan. Terimakasih telah menjadi support system terbaik dalam hidupku. Semoga selalu diberi kesehatan dan dilindungi Allah SWT.
2. Kepada kakak tercinta Fitri Apriyani dan Eko Hendi Paripo serta dua keponakan cantik tersayang Mutia dan Audy, kepada kakak tercinta Riki Apriyanto dan Mely Amraini Terimakasih kalian selalu mendukung dalam hal apapun, menjadi kebanggan, menjadi tempat bercerita dan menjadi penyemangat penulis dalam menjalankan perkuliahan ini.
3. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Geofisika, pembimbing akademik, dan penguji TA yang telah memberikan bimbingan motivasi dan saran dalam proses menempuh pendidikan dan penyelesaian skripsi.
5. Bapak Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T. selaku pembimbing pertama atas kesediaannya memberikan bimbingan, motivasi dan saran dalam proses penyelesaian skripsi.

6. Bapak Dr.Ordas Dewanto selaku pembimbing kedua atas bimbingan dan saran dalam proses penyelesaian skripsi.
7. Dosen-dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung terimakasih atas semua ilmu yang diberikan dalam proses menempuh pendidikan.
8. Civitas Teknik Geofisika Universitas lampung
9. Mas Andar, Mas Wrahas, Mas Deny, Mas Nowo selaku pembimbing saya di Pertamina Hulu Energi OSES atas segala Ilmu, saran dan bantuan dalam penyelesaian skripsi.
10. Faiq Muhammad, yang telah menjadi *support system*, tempat berbagi cerita.
11. Kosan Salak bor squad. Lisa, Varen, Dea, Hawa atas canda tawa setiap harinya satu tahun terakhir di masa kuliah ini.
12. Angkatanku Teknik Geofisika 2017, yang sudah kebersamai dalam segala hal, terimakasih atas segalanya yang tidak bisa diungkapkan dengan kata kata. Semoga kelak dimanapun kita berada, selalu dapat memberi manfaat baik bagi sesama. See you on top, see you another day!
13. Teman seperjuangan tugas akhir di PHE OSES Indah Mustika Dewi dan Iqbal Ramadhan, atas segala bantuan, canda tawa, keluh kesah dalam penyelesaian skripsi.
14. Seluruh kakak tingkat dan adek tingkat Teknik Geofisika Universitas Lampung.
15. *Last but not least*, kepada diri saya yang telah berjuang sejauh ini, *for doing all this hard work, for trying my best, for being my self all times..*

Bandarlampung, 9 Desember 2021



Intan Pratiwi

DAFTAR ISI

Halaman	
ABSTRACT	ii
ABSTRAK	iii
PERSETUJUAN	iv
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	3
2.2 Geologi Regional Area Penelitia	4
2.2.1 Tektonik	4
2.2.2 Stratigrafi	5
2.2.3 Struktur Geologi	9

2.2.4 <i>Petroleum system</i> Cekungan Asri	9
---	---

III. TEORI DASAR

3.1 Konsep Dasar Gelombang Seismik	11
3.2 Seismik refleksi	14
3.3 Sekuen Stratigrafi	16
3.3.1 Faktor-faktor yang Mengontrol Pembentukan Sekuen	17
3.3.2 Urutan Pada Sekuen Stratigrafi.....	19
3.3.3 Parasekuen	19
3.3.4 Parasekuen Set	20
3.3.5 Sekuen.....	20
3.3.6 <i>Stacking patterns</i>	21
3.3.7 Batas-batas Dalam Pengendapan Sekuen	23
3.3.8 <i>System Tract</i>	24
3.4 <i>Wireline log</i>	26
3.4.1 Jenis log	26
3.5 Elektrofasis	29
3.6 Analisis Fasis Seismik	31
3.6.1 Prinsip tekstur seismik	31
3.6.2 Tekstur yang terprogradasi	32
3.7 Konsep Lingkungan Pengendapan dan Fasis	32
3.7.1 Lingkungan Pengendapan <i>fluvial meanderings system</i>	34
3.7.2 Model Lingkungan Pengendapan Delta.....	36
3.7.3 Klasifikasi Delta	40

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	42
4.2 Alat dan Bahan	42
4.3 <i>Time Schedule</i>	43
4.4 Prosedur Penelitian.....	43
4.5 Diagram Alir.....	46

V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Data Pengamatan	49
---------------------------	----

5.2	Pengolahan data.....	51
5.2.1	<i>Picking</i> Horizon	51
5.2.2	Peta struktur waktu	52
5.2.3	Peta struktur kedalaman.....	54
5.2.4	Analisis fasies seismik.....	56
5.2.5	Analisis seismik sekuen stratigrafi	59
5.2.6	Analisis litofasies.....	60
5.2.7	Analisis elektrofases menggunakan data log.....	63
5.2.8	Analisis lingkungan pengendapan	65
VI. KESIMPULAN DAN SARAN		
6.1	Kesimpulan.....	68
6.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Lokasi Penelitian	3
2. Stratigrafi regional Cekungan Asri.	8
3. <i>Petroleum system</i> Cekungan Asri.	10
4. Pembagian orde stratigrafi dalam konsep sekuen stratigrafi berdasarkan ordernya	19
5. <i>Stacking patterns</i> dari progradasi, retrogradasi, dan	22
6. <i>System tract</i>	24
7. Gambar Pola log <i>gamma ray</i> untuk analisis lingkungan pengendapan	30
8. Model konseptual lingkungan pengendapan sungai	36
9. Morfologi lingkungan pengendapan delta	40
10. Diagram Alir Sekuen Stratigrafi dan fasies seismik	46
11. Diagram alir analisis elektrofases	47
12. Diagram Alir lingkungan Pengendapan	48
13. <i>Basemap</i> Area Penelitian	49
14. Data 3D Seismik Area Penelitian.....	50
15. Data log	50
16. Hasil <i>Picking Horizon</i>	51
17. Peta struktur waktu interval Orange.....	52
18. Peta Struktur waktu interval Gita.....	53
19. Peta Struktur kedalaman Orange.....	54
20. Peta Struktur kedalaman Gita.....	55
21. Persebaran seismik fasies Orange to Gita	56
22. Model Persebaran seismik fasies Set 3 Orange to Gita berdasarkan pola	57
23. Fasies seismik Orange to Gita.....	58

24. Seismik Sekuen Boundary	59
25. Arbitrary line berarah W-E	60
26. Litofasies	62
27. Analisis Elektofasies log sumur	63
28. Peta atribut seismik lingkungan pengendapan	66
29. Model lingkungan pengendapan	66
30. Model lingkungan pengendapan <i>fluvio deltaic</i>	67

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Klasifikasi nilai densitas batuan (Harsono, 1997).....	28
2. <i>Time Schedule</i>	43
3. Elektrofases	63

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar hidrokarbon khususnya minyak dan gas bumi merupakan sumber energi yang sangat diperlukan. Hal ini tidak lepas dari berbagai bidang kegiatan manusia yang mengandalkan penggunaan bahan bakar hidrokarbon. Menurut laporan kinerja 2019 direktorat jendral minyak dan gas, *lifting* minyak dan gas bumi mengalami penurunan dari tahun ke tahun sejak 2015. Dan pada tahun 2020 *lifting* minyak dan gas bumi juga menurun dari tahun sebelumnya. Dalam upaya mencukupi kebutuhan energi migas dan membantu peningkatan atau *lifting* minyak dan gas bumi maka perlu dilakukan kegiatan eksplorasi hidrokarbon untuk menemukan lapangan baru ataupun mengembangkan lapangan yang sudah ada.

Cekungan Asri adalah salah satu cekungan penghasil hidrokarbon yang terletak di lepas pantai arah Tenggara Pulau Sumatera, Indonesia bagian barat. Kegiatan eksplorasi pada Cekungan Asri dimulai dengan ditemukannya Lapangan IPR 1988 (Sukanto dkk., 1998). Lapangan IPR merupakan lapangan tua, namun sampai saat ini masih terus dikembangkan dengan usaha penambahan sumur produksi baru. Untuk menentukan sebuah titik pemboran baru dalam pengembangan lapangan diperlukan data geologi dan geofisika yang dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan untuk menentukan reservoir.

Distribusi reservoir sangat dipengaruhi oleh proses sedimentasi dan lingkungan pengendapan. Perlu adanya analisis tentang fasies sedimentasi untuk mengetahui distribusi dan geometri dari reservoir.

Penggunaan konsep sekuen stratigrafi dan fasies seismik dalam pemecahan masalah eksplorasi dan produksi minyak dan gas bumi belum pernah diterapkan pada

lapangan ini. Stratigrafi sekuen merupakan suatu strategi yang menggunakan mekanisme sedimentasi untuk menjelaskan atau memprediksi kejadian, penyebaran, dan geometri fasies. Stratigrafi sekuen dapat digunakan dalam penafsiran fasies dan penyebaran dari reservoir. Metode yang dipakai ialah analisis menggunakan data seismik yaitu berdasarkan terminasi reflektor seismik dan analisis elektrofases berdasarkan pola kurva log *gamma ray* yang menggambarkan suatu lingkungan pengendapan tertentu.

Dengan dilakukannya analisis sekuen stratigrafi, analisis fasies sedimentasi dan elektrofases pada lapangan ini diharapkan dapat menentukan lingkungan pengendapan area penelitian serta memberikan gambaran dari persebaran reservoir yang nantinya dapat menjadi panduan untuk pengembangan lapangan.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan sekuen stratigrafi dan distribusi fasies seismik area penelitian.
2. Menentukan elektrofases area penelitian
3. Menentukan lingkungan pengendapan area penelitian

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

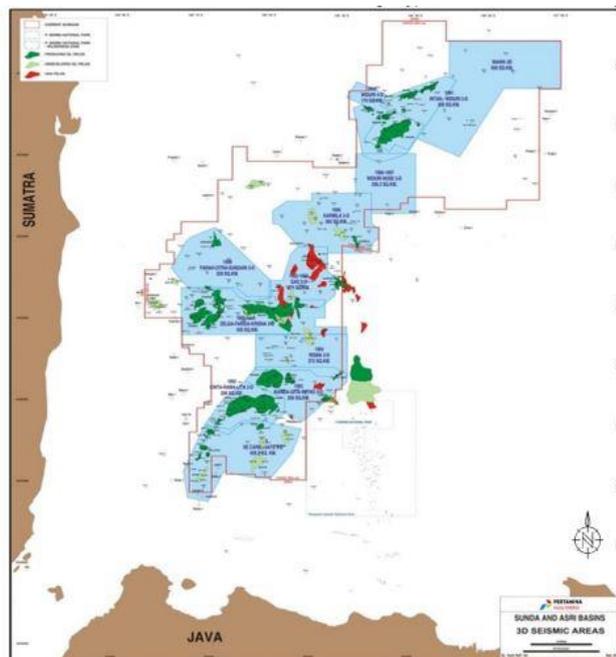
1. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data seismik 3D dan data log.
2. Interval Horizon area penelitian yaitu Orange dan Gita.
3. Analisis yang digunakan yaitu analisis sekuen stratigrafi, analisis fasies seismik, litofases, elektrofases dan analisis lingkungan pengendapan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Cekungan Asri dibatasi oleh Paparan Sunda di bagian utara, di sebelah timur dibatasi oleh Cekungan Biliton dan Busur Karimun Jawa, di sebelah selatan dibatasi oleh Cekungan Jawa Barat dan di bagian barat dibatasi oleh tinggian Lampung. Cekungan ini memiliki luas sekitar 3500 kilometer persegi dengan ketebalan sedimen maksimum mencapai 4876,8 meter yang terbentuk dari *Paleosen* sampai *Pleistosen* (Sukanto dkk., 1998).

Lapangan minyak pada cekungan asri didominasi oleh perangkat struktural dan beberapa merupakan perangkat kombinasi antara stratigrafi dan struktural. Terdapat beberapa lapangan minyak di cekungan asri antaranya merupakan lapangan minyak utama yang penghasil hidrokarbon yaitu lapangan IPR.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Ralanarko dkk., 2020).

2.2 Geologi Regional Area Penelitian

2.2.1 Tektonik

Cekungan Asri merupakan cekungan busur belakang yang terbentuk akibat evolusi tektonik yang dimulai dari zaman Kapur, saat Lempeng Samudera Hindia menunjam di bawah Lempeng Eurasia dengan arah tenggara-barat laut. Ini kemudian menghasilkan sesar berarah barat-timur pada batuan dasar dan sub-cekungan. Setelah kejadian tersebut, terbentuk sebuah cekungan busur belakang sebagai bagian dari sistem *half-graben rift* (Sukanto dkk., 1998). Sistem ini diakibatkan oleh gaya ekstensional intrakratonik (Sukanto dkk., 1998). Akibat pemekaran ini, sistem graben graben yang simetris kemudian berkembang menjadi *half-graben* dan berakhir setelah berhentinya proses *rifting*.

Terdapat tiga periode tektonik utama yang mempengaruhi tipe struktur dan sistem pengendapan pada Cekungan Asri (Sukanto dkk., 1998):

1. *Rift Initiation* (awal pembentukan *rift*) Periode ini terjadi pada masa pra-Banuwati (pra-*Oligosen*) hingga pada masa pengendapan Serpih Banuwati (*Oligosen* Awal). Pada periode ini terjadi pemekaran benua (*continental extention*) yang menyebabkan seri blok-blok sesar yang mempunyai arah hampir paralel dengan sesar utama pembatas cekungan. Bentuk cekungan pada fasa ini relatif simetris.
2. *Syn Rift* (selama pembentukan *rift*) Periode ini terjadi pada *Oligosen* Awal hingga *Oligosen* Akhir. Pada periode *syn rift*, *rifting* berkembang akibat pengaruh barisan sesar pada sayap bagian timur dan barat dari cekungan. Terjadi penurunan cepat dan simetris hingga terbentuk cekungan dalam yang memanjang. *Rifting terns* berlanjut dengan pengaruh sesar di sebelah timur yang lebih dominan daripada sesar di sebelah barat sehingga ekstensi terjadi secara cepat terjadi dengan sudut yang tinggi (*high angle*). Inilah yang kemudian mengubah bentuk cekungan dari graben simetris menjadi *half-graben*.

3. *Post Rift* (setelah pembentukan *rift*) Pada periode ini proses *rifting* telah berhenti, dan terjadi penurunan cekungan. Pada saat tersebut pula terjadi transgresi marin yang bersifat regional.

2.2.2 Stratigrafi

Stratigrafi Cekungan Asri adalah bagian dari Cekungan Jawa Barat Laut. Urutan stratigrafi Cekungan Asri dari umur tertua hingga termuda menurut Sukanto dkk., (1998) **gambar 2** adalah sebagai berikut:

1. Batuan Dasar (*Basement*) Batuan dasar Cekungan Asri terdiri dari batuan Pra-Tersier (Kapur Awal) dengan batuan bervariasi dari granit/granodiorit (berkomposisi asam) dan batuan metamorf berderajat rendah seperti sekis, mangan, dan kuarsit. Batuan dasar di Cekungan Asri dapat dipetakan dengan seismik dengan kualitas baik.
2. Formasi Banuwati
 - Anggota Hariet
Sukanto dkk., (1998), menamai seluruh sekuen klastik kasar, batulempung yang teroksidasi, dan serpih *Eosen/Oligosen* yang berada di antara batuan dasar dan serpih lakustrin Banuwati sebagai Anggota Hariet - Formasi Banuwati. Batuan konglomerat Anggota Hariet ini diendapkan secara tidak selaras dan diinterpretasikan sebagai endapan aluvial atau fluvial dari tinggian batuan dasar Pre-Tersier.
 - Anggota Serpih Banuwati
Setelah Anggota Hariet, terendapkan Anggota Serpih Banuwati secara tidak selaras yang terdiri dari serpih hitam di seluruh area Cekungan Asri dan Sunda. Serpih dari anggota ini berwarna hitam (menunjukkan kondisi pengendapan anoksik) dan diinterpretasikan sebagai fasies lakustrin transgresif dalam yang secara selaras mendangkal ke atas menjadi klastik darat fasies fluvial dan rawa (*coal swamp*).
3. Formasi Talang akar
 - Anggota Zelda

Anggota Zelda bawah merupakan unit terigen dari Formasi Talang akar secara selaras diendapkan di atas Anggota Serpih Banuwati. Anggota ini secara umum tersusun atas sedimen non-marine yaitu batupasir berlapis *fluviatil*, batulempung tebal, serpih, dengan beberapa lapisan tipis batubara secara lokal. Ini diinterpretasikan sebagai endapan lingkungan lakustrin dangkal dan *fluvio-deltaik*. Setelah Zelda bawah, diendapkan Zelda tengah ke atas berupa interval tebal batupasir fluvial *multi-story* berusia *Oligosen* Tengah - Akhir. Di atasnya terdapat endapan yang secara bertahap berubah dari endapan lakustrin *non-marine* dan fluvial menjadi dataran pantai dengan batupasir estuari, serpih, dan batubara pada Zelda atas.

- Anggota Gita

Anggota Gita tersusun atas batulempung, serpih, dan batubara transgresif dengan batupasir saluran estuari. Batupasir memiliki distribusi merata dari dasar stratigrafis Anggota Gita dan cenderung berubah ke fasies saluran (*channels*) dengan pola yang berangsur ke arah laut.

4. Unit *Miosen* Atas - *Pleistosen* (*Post TAF Formations*) Setelah Formasi Talang akar diendapkan Kelompok Formasi Pasca-Talang akar yang terdiri dari:

- Formasi Baturaja

Formasi Baturaja diendapkan selaras di atas Formasi Talang akar berupa endapan batugamping neritik tengah laut yang terjadi akibat transgresi yang menenggelamkan dataran rendah delta (*lower delta plain*). Endapan neritik ini terdiri atas batupasir laut dangkal, batulempung, dan batugamping yang berkembang kurang baik.

- Formasi Gumai

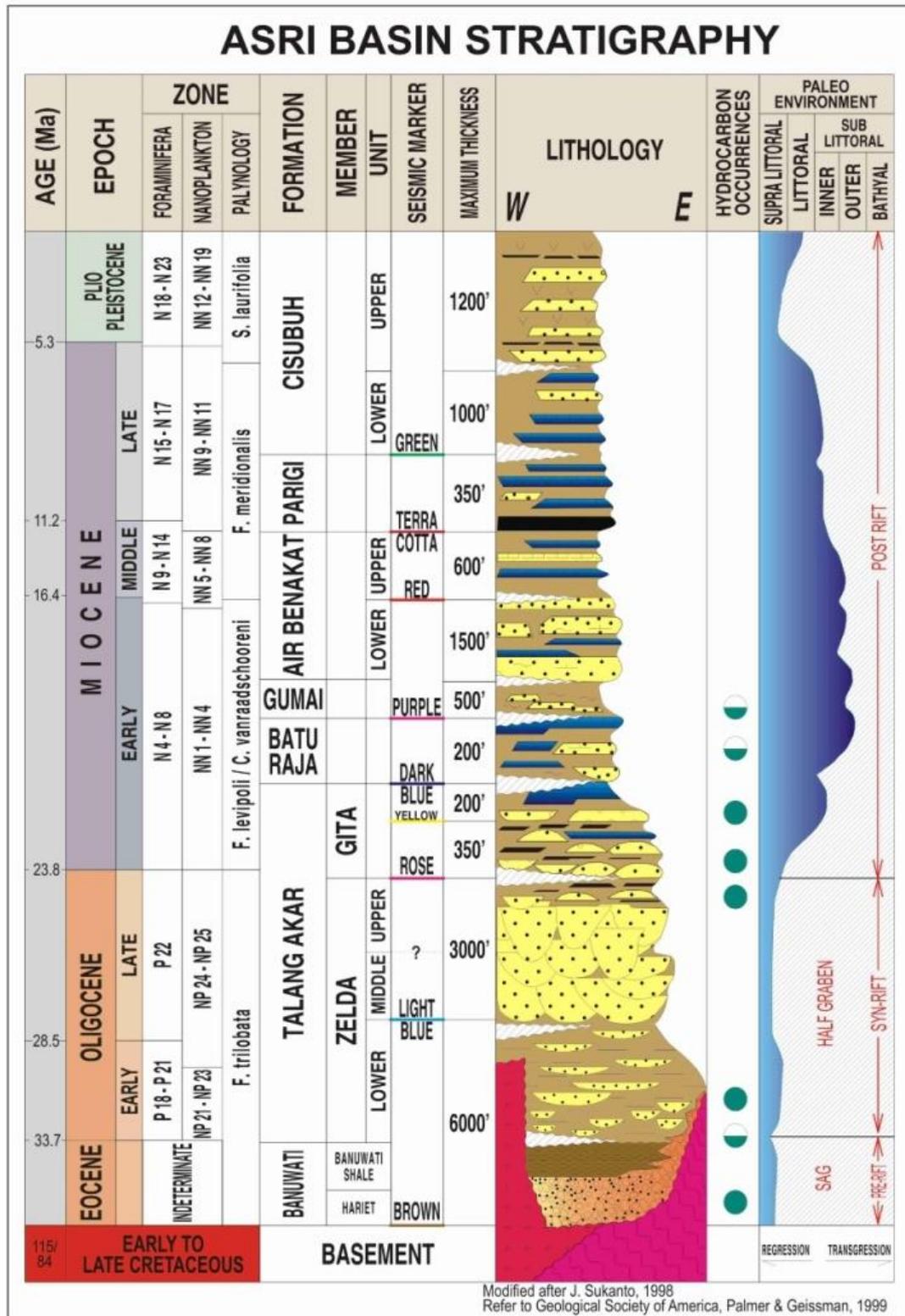
Formasi Gumai diendapkan secara selaras di atas Formasi Baturaja, berupa serpih abu-abu yang terbentuk saat kenaikan maksimum muka air laut relatif.

- Formasi Air Benakat

Formasi Air benakat terbentuk ketika kedalaman air pada kala *Miosen* berkurang. Formasi ini tersusun atas serpih, batugamping, dan batupasir dengan lingkungan pengendapan laut dangkal.

- Formasi Cisubuh

Formasi ini terdiri dari lempung man dengan lapisan tipis batupasir dan batulanau yang terbentuk pada *Miosen* Akhir hingga *Pleistosen*.



Gambar 2. Stratigrafi regional Cekungan Asri (Ralanarko dkk., 2020).

2.2.3 Struktur Geologi

Cekungan Asri dibatasi oleh sesar utama berarah utara-selatan dengan kemiringan arah barat. Sedangkan pada bagian selatan dibatasi oleh sistem sesar yang berarah barat-timur. Pengisian cekungan dimulai oleh sedimen yang *onlap* ke arah monoklin pada bagian barat dan utara. Selain kedua sesar utama, pada bagian timur dan selatan, sesar-sesar dengan arah hampir paralel dengan sesar utama yang dipengaruhi oleh proses *rifting* yang terjadi. Sesar-sesar ini memotong Formasi Talang akar yang diendapkan selama terjadinya *rifting* (Sukanto dkk., 1998).

2.2.4 *Petroleum system* Cekungan Asri

Petroleum system merupakan elemen yang mempengaruhi ketersediaan hidrokarbon yang terdiri dari batuan sumber (*seal*), batuan reservoir, batuan penutup (*seal*), *overburden*, migrasi, jebakan dan sejarah perkembangan dari migrasi dan akumulasi hidrokarbon. Sukanto, dkk (1998) membagi *Petroleum system* Formasi Banuwati-Talang akar di Cekungan Asri sebagai berikut :

1. Batuan sumber (*Source rock*)

Anggota serpih Banuwati adalah serpih hitam lacustrine, merupakan batuan sumber utama dari hidrokarbon di Cekungan Asri. Suhu maksimum antara 430°- 440°C, merupakan serpih yang *early mature* dengan kedalaman maksimum sekitar 12.000 ft.

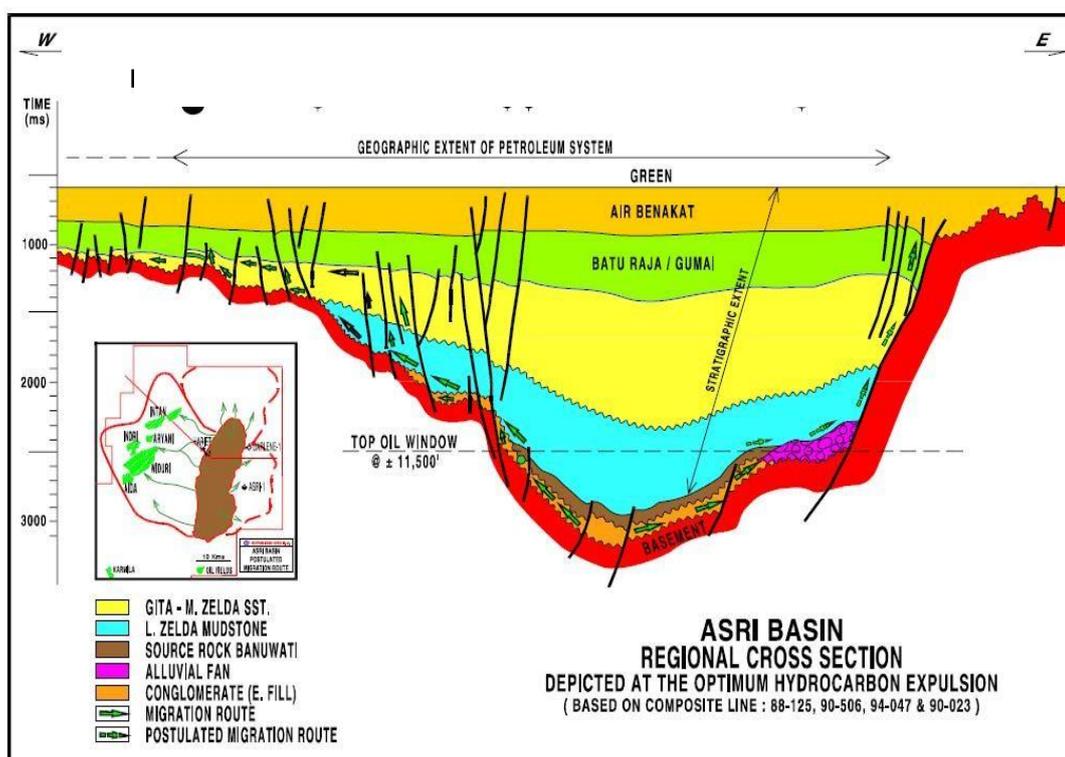
2. Batuan reservoir

Anggota Zelda dan Gita bagian atas (Formasi Talang akar) terdiri dari batupasir multistorey fluvial, berupa batupasir fluvial, ditributary atau *estuarine ribbon sand bodies* sampai delta merupakan reservoir utama pada Cekungan Asri.

3. Batuan penutup (*seal*)

Batuan utama Cekungan Asri adalah serpih laut dangkal yang merupakan Anggota Gita bagian atas dengan tebal antara 150-350 ft. Serpih *marine* Formasi Baturaja dan Gumai merupakan puncak batuan penutup secara regional.

4. Beban (*overburden*) Total tebal *overburden* mencapai 11500 ft pada waktu maturity sampai 14000 ft sampai dengan saat ini.
5. Jenis Migrasi Migrasi fluida di Cekungan Asri sebagian besar dikontrol oleh geometri lapisan pembawa, yaitu batupasir Anggota Zelda. Migrasi lateral terjadi dari serpih Formasi Banuwati menuju Anggota Zelda bagian tengah karena sedikitnya struktur sesar. Migrasi vertikal mencapai Anggota Gita melalui sesarsesar normal. Gambaran tentang *Petroleum system* Cekungan Asri dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. *Petroleum system* cekungan asri (Sukanto dkk., 1998).

III. TEORI DASAR

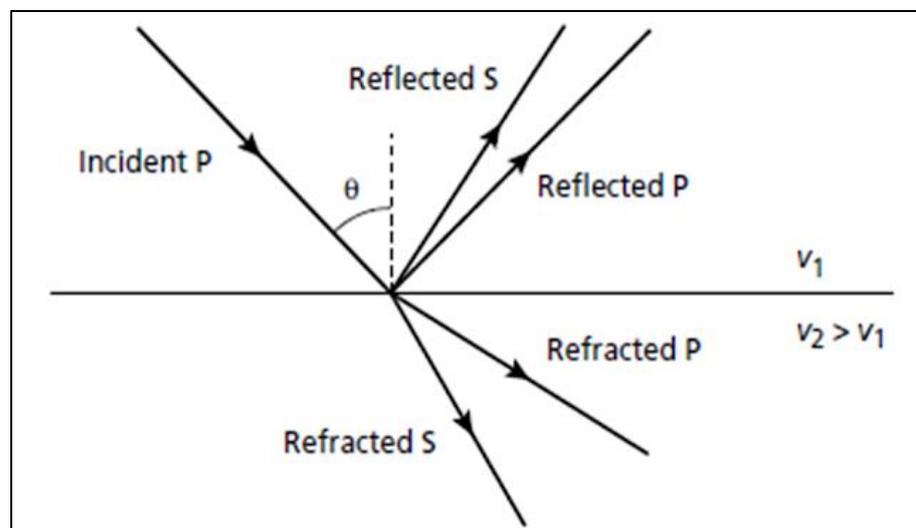
3.1 Konsep Dasar Gelombang Seismik

Metode seismik refleksi yaitu salah satu metode dalam eksplorasi geofisika dimana metode ini cocok digunakan untuk melihat lapisan yang terdiri atas sekuen-sekuen pada cekungan yang menjadi target minyak dan gas bumi (Kearey dkk., 2002). Metode seismik refleksi didasarkan pada pengukuran respon gelombang seismik. Gelombang yang dihasilkan dari ledakan tersebut akan menembus lapisan bawah permukaan yang nantinya akan dipantulkan kembali ke atas permukaan melalui bidang reflektor yang berupa batas lapisan batuan. Gelombang yang dipantulkan ke permukaan ini akan diterima dan direkam oleh alat perekam yang disebut *geophone* (di darat) atau *hydrophone* (di laut).

Gelombang seismik bawah permukaan dapat terbentuk dari proses getaran bumi atau dengan menimbulkan sumber gelombang buatan. Gelombang seismik buatan yang ditimbulkan di permukaan bumi akan merambat ke segala arah, bila mencapai bidang batas lapisan, sebagian gelombang akan dipantulkan dan yang lain akan dibiarkan dan kemudian diteruskan menuju permukaan bumi. Kemudian saat gelombang seismik mencapai permukaan bumi, gelombang tersebut akan diterima dan direkam oleh alat perekam yang disebut *geophone* di atas permukaan bumi, dan gelombang yang terekam tersebut nantinya akan direkonstruksikan dan dapat menggambarkan keadaan dari bawah permukaan bumi.

3.1.1 Hukum Snellius

Hukum Snellius menyatakan bahwa ketika gelombang seismik melewati lapisan batuan yang memiliki nilai impedansi akustik (AI) yang berbeda dari lapisan batuan yang dilewati sebelumnya maka gelombang tersebut sebagian akan dipantulkan kembali ke permukaan dan sebagian lagi akan diteruskan ke bawah permukaan dimana dapat menimbulkan gelombang refraksi dan gelombang refleksi. Hukum Snellius dapat ditunjukkan oleh **gambar 6** di bawah ini.



Gambar 4. Penjalaran gelombang seismik menurut Hukum Snellius (Shearer, 1999)

Hukum Snellius dapat dinyatakan dalam persamaan (1) berikut.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

dimana

θ_1 = sudut datang pada medium 1

θ_2 = sudut datang pada medium 2

v_1 = cepat rambat gelombang pada medium 1

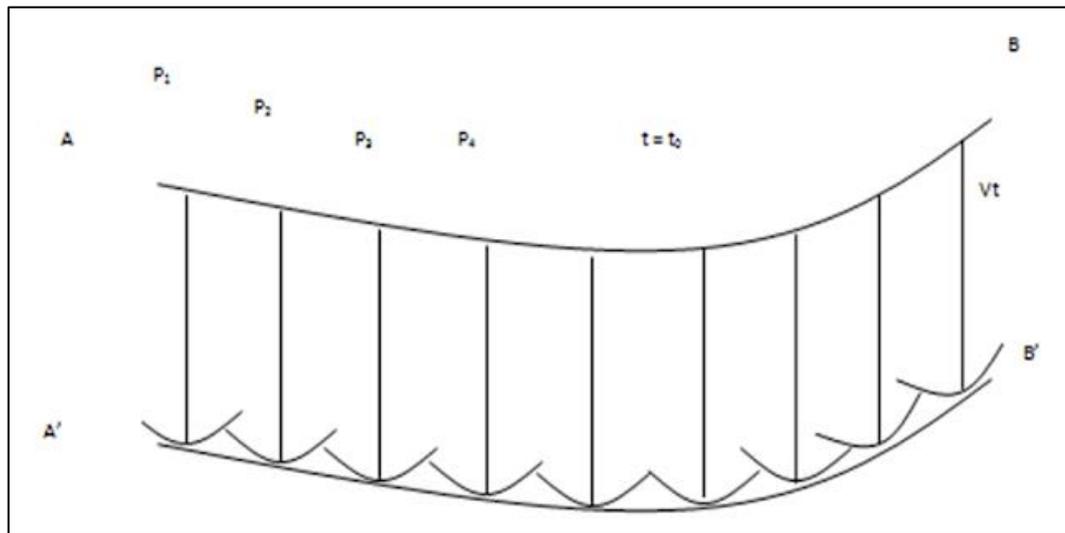
v_2 = cepat rambat gelombang pada medium 2

n_1 = indeks bias medium 1

n_2 = indeks bias medium 2

3.1.2 Prinsip Huygens

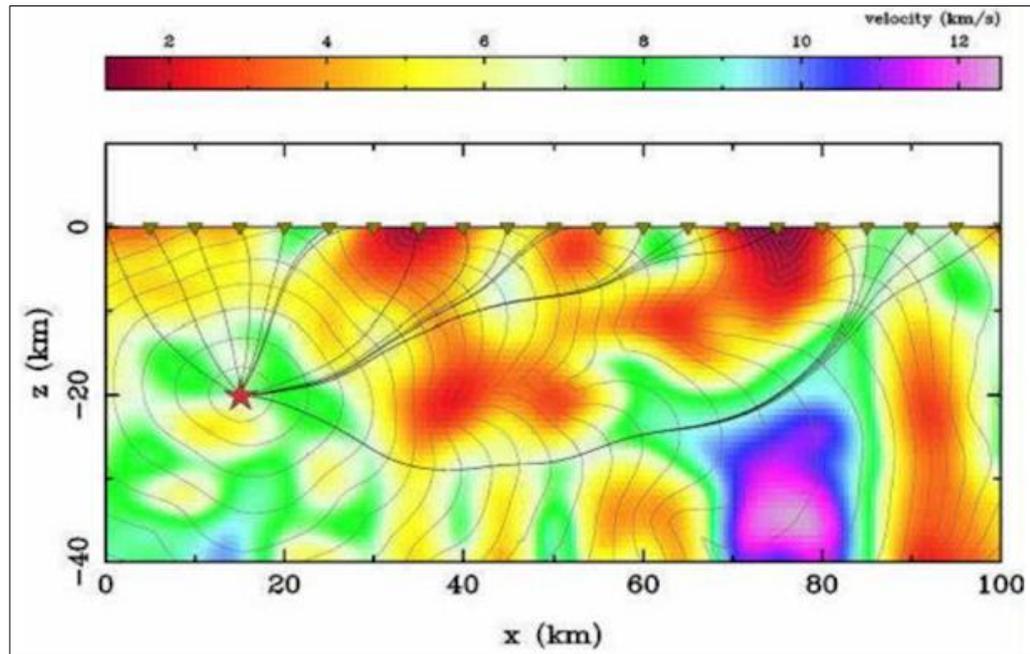
Prinsip Huygens menerangkan setiap titik pada muka gelombang merupakan sumber bagi gelombang baru yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan panjang gelombang sebelumnya seperti pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Prinsip Huygens dalam menentukan muka gelombang (Sheriff dan Geldart, 1995)

3.1.3 Prinsip Fermat

Prinsip Fermat menyatakan gelombang seismik merambat dari satu titik ke titik lain melalui lintasan yang memiliki waktu perambatan tersingkat. Ketika suatu gelombang seismik melewati medium dengan kecepatan seismik yang berbeda-beda, maka gelombang tersebut cenderung akan merambat pada lintasan dengan kecepatan tinggi dan menghindari lintasan berkecepatan rendah (Jamady, 2011). Ilustrasi dari prinsip Fermat ditunjukkan oleh **gambar 8** berikut ini.



Gambar 6. Prinsip Fermat (Rawlinson, dkk., 2010)

3.2 Seismik Refleksi

Metode seismik merupakan salah satu metode geofisika aktif yang memanfaatkan penjalaran gelombang seismik yang dihasilkan oleh suatu sumber pada permukaan bumi. Informasi ini kemudian diolah dan diinterpretasi sehingga dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan dengan baik (Siagian, dkk., 2014). Berdasarkan sifat bumi yang heterogen maka gelombang seismik yang menjalar akan mengalami refleksi dan refraksi, sesuai dengan hukum Snellius. Gelombang yang direfleksikan inilah yang direkam oleh penerima (*receiver*) yang kemudian diolah dan diinterpretasi sehingga dapat menggambarkan kondisi bawah permukaan bumi (Siagian, dkk., 2014). Umumnya seismik refleksi digunakan untuk mendeteksi struktur bawah permukaan yang memiliki kedalaman yang cukup besar.

3.2.1. Trace Seismik

Trace seismik merupakan data seismik yang tercatat dalam sebuah *geophone* sebagai respon dari medan gelombang elastik terhadap kontras nilai impedansi akustik antar lapisan. *Trace* seismik didefinisikan sebagai hasil konvolusi antara *wavelet* sumber gelombang

dengan reflektivitas bumi yang ditambah dengan *noise*. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$S(t) = w(t) * r(t) + n(t) \quad (2)$$

dimana

$S(t)$: *trace* seismik

$w(t)$: *wavelet*

$r(t)$: reflektivitas bumi

$n(t)$: *noise*

3.2.2. Impedansi Akustik

Impedansi akustik (IA) atau *acoustic impedance* (AI) merupakan parameter fisis berupa hasil perkalian antara nilai kecepatan gelombang seismik dengan densitas batuan. IA merupakan sifat fisis batuan yang nilainya dipengaruhi oleh jenis litologi, porositas, kandungan fluida, kedalaman, tekanan dan temperatur. Namun, kecepatan cukup dominan dalam memengaruhi besaran nilai IA dibandingkan densitas. Impedansi akustik dituliskan dalam persamaan 3 berikut.

$$IA = v \cdot \rho \quad (3)$$

Dimana

IA : Impedansi Akustik ($m/s * gr/cc$)

v : kecepatan gelombang seismik (m/s)

ρ : densitas batuan (gr/cc)

3.2.3. Koefisien Refleksi

Jika antar muka gelombang seismik menjalar antara dua lapisan yang memiliki impedansi akustik yang berbeda, maka akan menimbulkan amplitudo gelombang pantul yang direpresentasikan sebagai koefisien refleksi. Perubahan harga IA antar per lapisan batuan diinterpretasikan pada penampang seimik. Perbandingan antara energi yang dipantulkan dengan energi datang pada keadaan normal dituliskan dalam persamaan 4 berikut.

$$RC = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1} = \frac{IA_2 - IA_1}{IA_2 + IA_1} \quad (4)$$

Dimana:

RC : Koefisien Refleksi

IA_1 : Impedansi Akustik Lapisan Atas

IA_2 : Impedansi Akustik Lapisan Bawah

Cepat rambat gelombang yang merambat melalui suatu medium dipengaruhi oleh besar nilai panjang gelombang (λ) dan frekuensi (f) atau periode (T). Nilai panjang gelombang bunyi berbanding terbalik dengan periode. Sedangkan nilai frekuensinya berbanding lurus dengan panjang gelombang bunyi. Rumus untuk mencari cepat rambat gelombang dapat dilihat pada dua persamaan di bawah.

$$v = \frac{\lambda}{T} \text{ atau } v = \lambda \times f$$

Dimana

V = cepat rambat gelombang (m/s)

λ = panjang gelombang (m)

T = Periode (s)

F = frekuensi (Hz)

3.3 Sekuen Stratigrafi

Sekuen stratigrafi adalah sebuah satuan stratigrafi yang terdiri atas urutan yang relatif selaras dari lapisan batuan yang secara genetik berhubungan dan dibatasi dibagian atas dan bawahnya oleh bidang ketidakselarasan atau korelatif bidang selarasnya (Mitchum, 1997). Sebuah sekuen pengendapan mempunyai arti kronostratigrafi yang penting karena diendapkan selama interval waktu geologi tertentu yang dibatasi oleh umur dari batas sekuen tersebut.

Bidang ketidakselarasan yang membatasi bagian atas dan bawah dari suatu sekuen itu sendiri disebut batas sekuen atau *sequence boundary*.

Ketidakselarasan sebagai batas sekuen bisa mencerminkan bidang erosi atau masa tanpa pengendapan/hiatus, yaitu total interval waktu geologi dimana tidak ada representasi lapisan geologinya, bisa akibat erosi atau masa tanpa pengendapan. Hiatus yang besar umumnya berhubungan dengan erosi.

Terdapat beberapa definisi mengenai sekuen stratigrafi yang telah dikemukakan oleh beberapa ahli, berikut adalah beberapa pengertian yang menjelaskan definisi dari sekuen stratigrafi:

- Menurut Galloway (1989), sekuen stratigrafi adalah analisis dari perulangan yang secara pembentukannya berhubungan dengan unit pengendapan yang sebagian dibatasi oleh permukaan nondeposisi atau erosi.
- Menurut Posamentier dan Allen (1999), sekuen stratigrafi adalah analisis dari pola siklus sedimentasi yang terdapat dalam rangkaian atau urutan dari stratigrafi, sebagai perkembangan yang merupakan hasil dari variasi suplai sedimen dan ketersediaan tempat untuk sedimen berakumulasi.
- Menurut Emery (1996), sekuen stratigrafi adalah identifikasi atau pengenalan dan korelasi dari permukaan stratigrafi yang menggambarkan perubahan dari kecenderungan pengendapan dalam batuan sedimen. Perubahan tersebut dihasilkan oleh keterkaitan sedimentasi, erosi, dan base level yang berubah-ubah dan ditentukan sebagai analisis sedimentology dan hubungan geometri
- Menurut Catuneanu (2006), mengartikan sekuen stratigrafi berhubungan dengan respon sedimen terhadap perubahan base-level yang dapat dianalisis dari skala sistem deposisi perindividu sampai skala keseluruhan.

3.3.1 Faktor-faktor yang Mengontrol Pembentukan Sekuen

Terdapat beberapa faktor-faktor atau parameter-parameter yang mempengaruhi terbentuknya suatu sekuen, faktor-faktor tersebut adalah *Eustasi (sea level changes)*, tektonik *subsidence*, akomodasi, suplai sedimen, dan juga iklim.

- *Eustasi (sea level changes)*

Eustasi diartikan sebagai perubahan muka air laut secara global yang biasanya diukur dari muka air laut hingga suatu datum tetap seperti pusat bumi. *Eustasi* ini berhubungan dengan adanya perubahan volume cekungan seperti terjadi subduksi, pemekaran samudera, collision, dan sedimentasi serta adanya perubahan volume air laut seperti terjadinya proses *glasial*.

- Tektonik *Subsidence*

Faktor tektonik ini akan berkaitan erat dengan naik atau turunnya suatu cekungan (*subsidence* and *uplift*) sehingga akan berpengaruh dalam pembentukan suatu ruangan untuk pengisian suatu material sedimen untuk dapat berakumulasi.

- Akomodasi

Akomodasi adalah suatu ruang atau tempat yang tersedia untuk terakumulasinya endapan sedimen dalam waktu tertentu. Akomodasi juga dikontrol oleh posisi dari base level karena dalam pengendapan atau pengakumulasian suatu sedimen, diperlukan suatu tempat atau ruang untuk sedimen terakumulasi dibawah posisi *base level*.

- Suplai Sedimen

Kecepatan sedimentasi dalam suatu cekungan merupakan fungsi dari ukuran cekungan, iklim, curah hujan, *relief*, *drainase*, dan tektonik subsiden yang menyediakan tempat akumulasi sedimen di sekitar cekungan. Dengan demikian kecepatan akumulasi sedimen akan sebanding dengan tektonik subsiden pada cekungan tersebut.

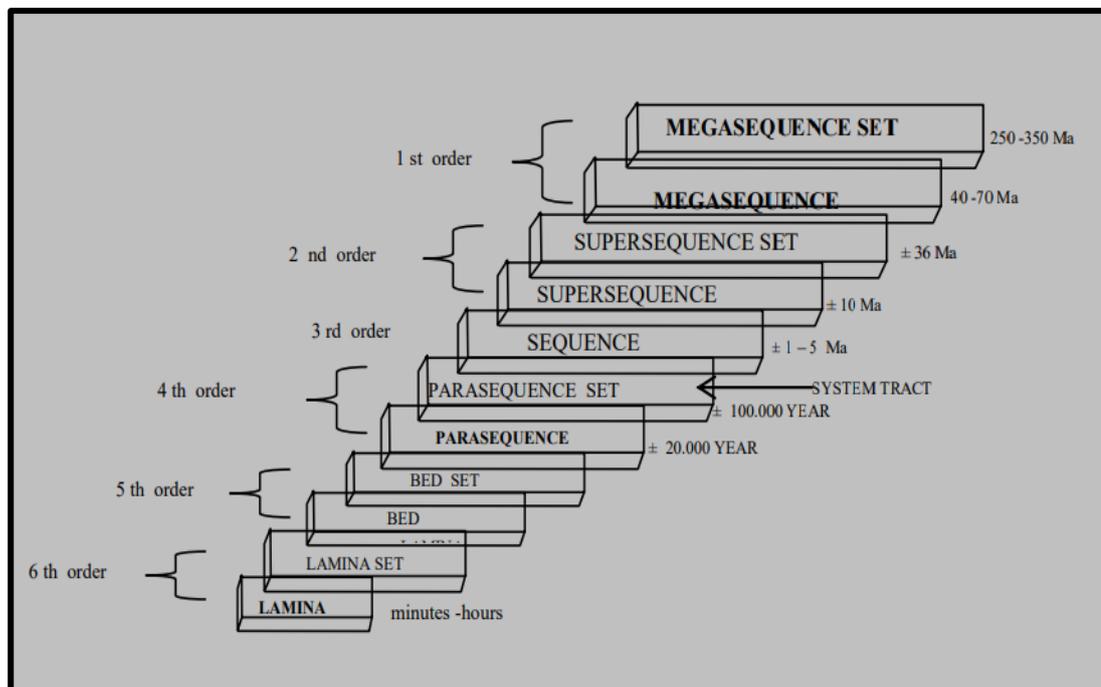
- Iklim

Tipe-tipe sedimen yang diendapkan dipengaruhi oleh salah satunya adalah iklim, terutama endapan evaporit dan karbonat. Variasi iklim juga menyebabkan adanya variasi pada pasokan sedimen yang diendapkan pada suatu cekungan, misalnya pada musim hujan pasokan sedimen akan

lebih banyak daripada musim kemarau, ini artinya iklim sangat berpengaruh terhadap siklus *eustasi* dan besarnya pasokan sedimen.

3.3.2 Urutan Pada Sekuen Stratigrafi

Studi stratigrafi Sekuen memiliki urutan Sekuen yang menunjukkan suatu gejala yang bersifat repentif. Ini menunjukkan bahwa kondisi pembentukan suatu Sekuen bersifat siklus. Berdasarkan kronostratigrafi sekuen stratigrafi dapat dikelompokkan menjadi enam orde sekuen pengendapan (Van Gorsel, 1988). Siklus sekuen disamakan dengan siklus orde tiga yang memiliki durasi 1-5 juta tahun (**Gambar 7**), yaitu :



Gambar 7. Pembagian orde stratigrafi dalam konsep sekuen stratigrafi berdasarkan ordernya (Van Gorsel, 1988)

3.3.3 Parasekuen

Parasekuen adalah sebuah urutan dari perlapisan batuan yang berhubungan secara genetik pada saat terbentuknya suatu pengendapan, dan dibatasi oleh ketidakselarasan. Parasekuen berarti sebagai urutan-

urutan pada perlapisan atau sebuah set perlapisan yang relatif selaras dan saling berhubungan secara genetik, pada bagian bawah dan bagian atas dibatasi oleh bidang genang laut atau bidang yang sebanding (Van Wagoner dkk., 1990). Sebagian besar dari Parasekuen batuan sedimen ini menunjukkan pola-pola sedimentasi progradasi. Dalam rekaman log sumur, Parasekuen dapat menunjukkan kenampakan menghalus keatas atau mengasar keatas (Van Wagoner dkk., 1990).

3.3.4 Parasekuen Set

Suatu Parasekuen biasanya tidak berdiri sendiri, namun saling bertumpuk dalam Parasekuen-Parasekuen yang disebut Parasekuen set. Satu Parasekuen set mengandung kecenderungan perubahan akan ketebalan dan juga komposisi fasies yang tertentu saja. Sehingga dapat di kelompokkan menjadi sebuah pola penumpukan progradasi, retrogradasi, dan agradasi tergantung dari perbandingan antara tingkat pengendapan yang terbentuk (Van Wagoner dkk., 1990).

3.3.5 Sekuen

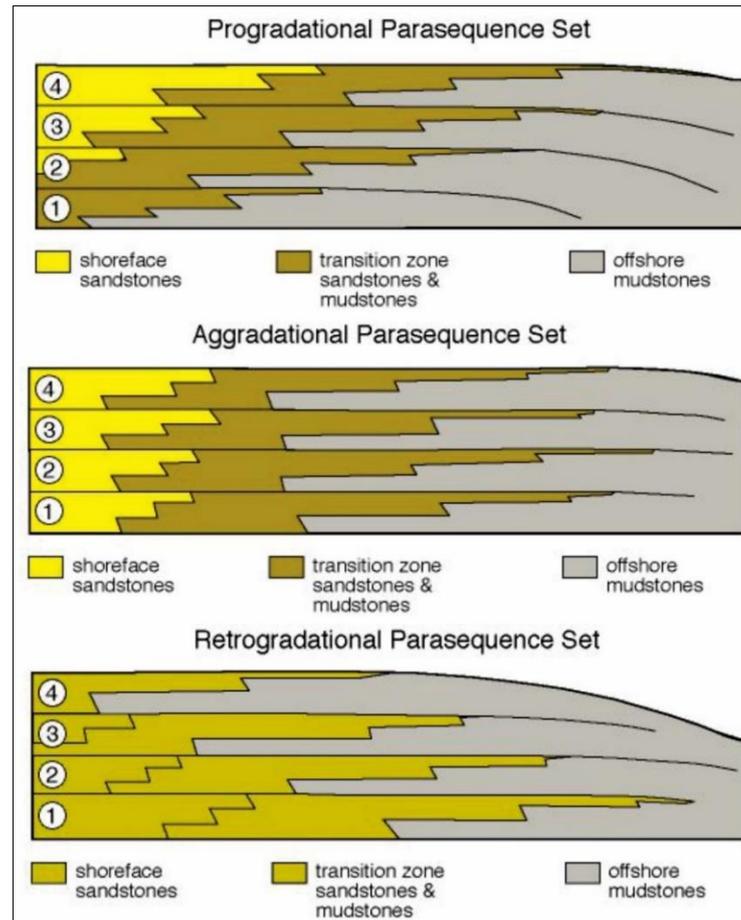
Sekuen atau suatu urutan lapisan yang secara *genetis* berhubungan dan dibatasi oleh bidang-bidang ketidakselarasan (*unconformity*), atau ketidakselarasan lanjutan (Mitchum, 1977). Sebuah Sekuen diendapkan selama *sea level cycle*, atau yaitu kecepatan turunnya muka air laut yang terbesar hingga kecepatan jatuhnya muka air laut yang terbesar berikutnya. Berdasarkan rekaman sejarah batuan, Sekuen tersebut dibagi kedalam dua tipe (Van Wagoner dkk., 1990).

1. Sekuen Tipe 1. Tipe ini didasari oleh susunan *Lowstand System Tract* (LST), *Transgressive System Tract* (TST), serta *Highstand System Tract* (HST), yang juga dibatasi pada ketidakselarasan. Sekuen akan membentuk *Shelf*, *Shelf break*, *Slope*, dan topografi dari dasar cekungan (Van Wagoner dkk., 1990).
2. Sekuen Tipe 2. Sekuen pada tipe ini tersusun pada wilayah *shelf-margin*, *transgressive*, dan *high-stand*, yang dibatasi oleh suatu bidang

ketidakselarasan. Bidang ketidaselarasan ini tidak menunjukkan batas pelapukan, dikarenakan sistem yang perubahan fasies ke arah cekungan (Van Wagoner dkk., 1990).

3.3.6 *Stacking patterns*

Pola Penumpukan atau *Stacking patterns* adalah suatu pola atau variasi gambaran yang terbentuk dari parasekuen atau parasekuen set yang semakin ke atas atau dengan kata lain semakin muda menumpuk satu sama lain sehingga membentuk suatu pola penumpukan. *Stacking patterns* secara umum dikenal dengan 3 tipe yaitu, progradasi, retrogradasi, dan agradasi . Pola penumpukan atau *Stacking patterns* ini berhubungan erat atau dipengaruhi oleh akomodasi, dimana akomodasi sendiri seperti ini telah di jelaskan sebelumnya di kontrol oleh *Eustasi(sea level changes)*, penurunan cekungan (*subsidence*), kenaikan cekungan (*uplift*), dan juga akumulasi dari suplai sedimen pada sekuen tersebut. Berikut merupakan pola penumpukkan atau *Stacking patterns* tersebut yang ditunjukkan pada **gambar 8**:



Gambar 8. *Stacking patterns* dari progradasi, retrogradasi, dan aggradasi (Van Wagoner dkk., 1990)

1. Progradasi

Pola progradasi adalah pola yang menunjukkan Parasekuen set yang lebih muda akan lebih maju jauh ke arah cekungan dan terbentuk apabila laju pengendapan dari sedimen lebih besar dari kecepatan pembentukan akomodasi (berhubungan dengan *subsidence* dan *sea level changes*).

2. Retrogradasi

Pola retrogradasi adalah pola yang terbentuk apabila laju pengendapan lebih lambat dari kecepatan pembentukan akomodasi (berhubungan dengan *subsidence* dan *sea level changes*), yang menunjukkan Parasekuen set yang lebih muda akan cenderung diendapkan jauh lebih ke arah daratan.

3. Agradasi

Pola aggradasi adalah pola yang menunjukkan parasekuen set yang lebih muda diendapkan satu diatas lainnya tanpa adanya pergeseran. Pola ini terbentuk

apabila laju pengendapan dengan kecepatan pembentukan akomodasi diperkirakan hampir sama atau sama.

3.3.7 Batas-batas Dalam Pengendapan Sekuen

Pada setiap sekuen terdapat batas-batas atau permukaan yang kita kenal adalah *sequence boundary* (SB), *Maximum Flooding Surface* (MFS), dan *transgressive surface* (TS), berikut adalah penjelasannya:

1. *Sequence boundary* (SB)

Batas sekuen atau *sequence boundary* adalah bidang atau permukaan berupa ketidakselarasan atau keselarasan relatif. *Sequence boundary* dibagi menjadi dua, yaitu:

- Tipe 1 Adalah suatu ketidakselarasan secara regional yang terbentuk ketika permukaan air laut turun dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan penurunan cekungan tersebut. SB tipe 1 ini ditandai dengan adanya perolehan fluvial, pergeseran fasies yang dicirikan oleh pendangkalan mendadak, dan *coastal onlap* ke arah cekungan. Sekuen pada cekungan ini akan membentuk *shelf*, *shelf break*, *slope*, dan topografi dasar cekungan.
- Tipe 2 Batas yang terbentuk akibat penurunan cekungan dengan kecepatan yang lebih tinggi di bandingkan dengan penurunan muka air laut pada *depositional shoreline break*. *Sequence boundary* tipe 2 ini ditandai dengan adanya pergeseran *coastal onlap* ke arah daratan dari suatu tempat atau dekat dengan garis pantai menuju cekungan.

2. *Maximum Flooding Surface* (MFS)

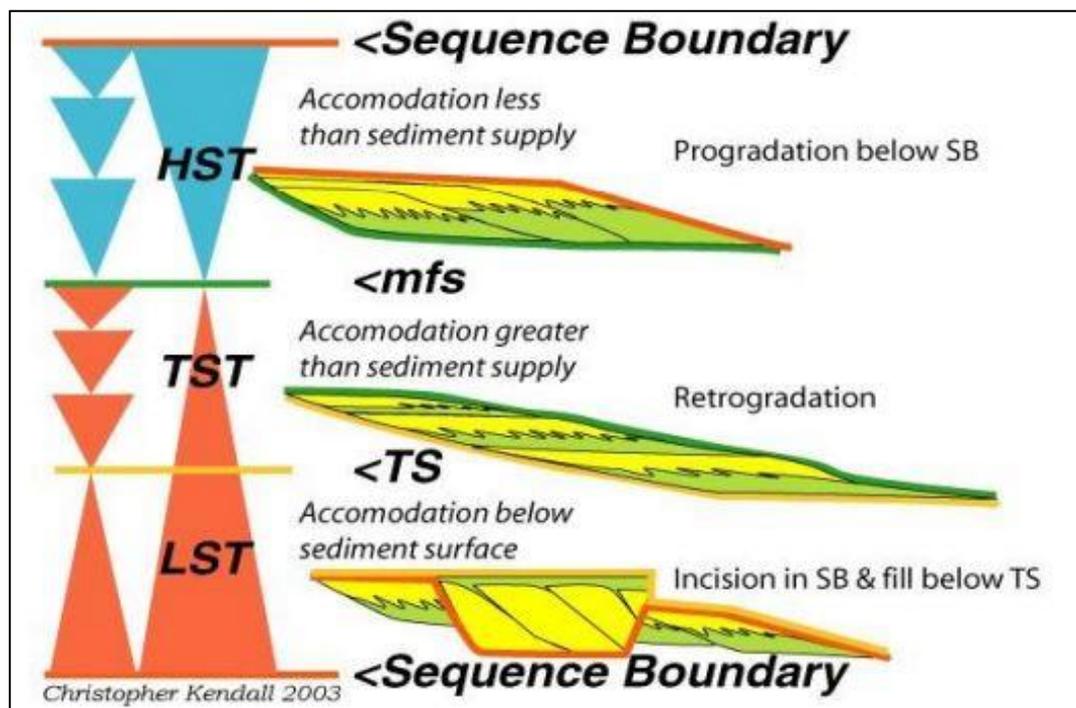
Merupakan bidang permukaan sebagai hasil dari puncak transgresi atau dengan kata lain terbentuk saat transgresi mencapai maksimum. Dan merupakan pembatas antara Parasekuen set yang beretrogradasi di bawahnya dan parasekuen set yang berprogradasi di atasnya.

3. *Transgressive Surface* (TS)

Merupakan bidang permukaan yang berupa *flooding surface* pertama yang menandai akhir dari regresi atau menandai awal dari dimulainya transgresi. Merupakan pembatas antara Parasekuen yang berprogradasi atau beragradasi di bawahnya dengan Parasekuen yang beretrogradasi di bagian atasnya.

3.3.8 System Tract

System Tract merupakan suatu urutan sistem-sistem pengendapan pada suatu sekuen yang terjadi pada suatu interval waktu atau umur yang sama yang terjadi berdekatan satu sama lain dan dalam suatu segmen dari kurva relatif muka air laut. *Sea level curve* atau kurva relatif muka air laut merupakan kecepatan naiknya muka air laut paling besar dan kecepatan turunnya muka air laut paling besar. Pada *System Tract* dibagi menjadi tiga macam yang ditunjukkan pada **gambar 9**:



Gambar 9. *System tract* (Kendall, 2003)

1. *Lowstand System Tract* (LST)

Lowstand System Tract membentuk pola susunan regresi yang terdiri dari endapan-endapan sedimen selama penurunan muka air laut relatif, dilanjutkan *stillstand* atau tetap hingga diakhiri pada kenaikan muka air laut relatif secara perlahan. LST ini terdiri dari 2 macam endapan yaitu berupa endapan regresi pantai dan shelf serta aggradasi endapan fluvial dalam *incised valley*. *Lowstand System Tract* ini dibagi menjadi dua fase, yaitu:

- *Early Lowstand System Tract* Terjadi ketika *Eustasi* atau muka air relatif terjadi penurunan, dan *coastal onlap* bergerak ke arah laut dengan ditandai oleh adanya endapan kipas bawah laut yang secara garis besar terdiri dari batupasir.
- *Late Lowstand System Tract* terjadi ketika muka air laut relatif stabil setelah mengalami penurunan cepat dan muka air laut relatif naik perlahan. Pada akhir dari LST ini *coastal onlap* bergerak ke arah darat dan ditandai dengan adanya peningkatan pembenakan akomodasi yang cepat sehingga berkurangnya perbandingan antar Pasir dengan lumpur.

2. *Transgressive System Tract* (TST)

System Tract ini berada di tengah antara sekuen pengendapan tipe 1 dan pengendapan tipe 2. Sistem ini diendapkan pada suatu fasa kenaikan muka air laut relatif atau dapat dikatakan terdiri dari endapan yang terjadi saat kenaikan muka air laut relatif lebih cepat dibandingkan kecepatan pengendapan. Batas atas dari *Transgressive System Tract* ini adalah *Maximum Flooding Surface* sebagai hasil dari puncak kenaikan muka air laut atau batas dari transgresi. TST berakhir ketika laju pengendapan atau pemasokan sedimen sebanding dengan laju pembentukan akomodasi pada cekungan. Pola yang terbentuk umumnya retrogradasi dan pada log umumnya menghalus ke atas atau *fining upward*. TST memiliki batas atas yang cenderung presentase ukuran kasar atau batupasirnya lebih sedikit, dengan kata lain pada sistem TST seringkali mengandung lapisan tudung atau penyekat hidrokarbon.

3. *Highstand System Tract* (HST)

Highstand System Tract ini merupakan urutan sistem endapan termuda yang terjadi dimulai ketika kenaikan muka air laut relatif mulai menurun dan berkurang sampai lebih kecil dibandingkan kecepatan pengendapan setelah melalui masa puncak dari transgresi. Penurunan dari muka air laut relatif awalnya membentuk pola agradasi hingga pada saat kecepatan pembentukan akomodasi lebih lambat dari laju pengendapan sedimen membentuk pola progradasi, sehingga masih cenderung lebih banyak semakin keatas atau akhir dari endapan HST. Pada seismik, awal pengendapan HST dikenal dengan progradational *offlap*, sedangkan pada akhir pengendapan HST dikenal dengan *oblique offlap*.

3.4 *Wireline Log*

Log adalah suatu grafik kedalaman, dari satu set kurva yang menunjukkan parameters yang diukur secara berkesinambungan didalam sebuah sumur (Harsono,1997). Data sumur atau data log merupakan data yang diperoleh dari bawah permukaan bumi dengan menggunakan metoda tertentu yang mempunyai tingkat akurasi secara vertikal yang tinggi dan digunakan sebagai dasar dalam korelasi dan identifikasi litologi. Log yang paling baik yang digunakan untuk penentuan lapisan adalah log mekanik. Prinsip dasar dari suatu log mekanik yaitu dapat mengukur parameter fisik dari suatu batuan pada setiap kedalaman secara tepat dan kontinu dari formasi yang telah ditembus pemboran (Koesoemadinata, 1980).

3.4.1 **Jenis Log**

Berdasarkan sifat-sifat yang diukur oleh log mekanik, dapat dibagi menjadi tiga log utama, yaitu:

1. Log Radioaktif
 - *Log Gamma ray (GR)*

Log ini merupakan suatu log dengan rekaman tingkat radioaktivitas alami yang terjadi karena adanya kandungan unsur-unsur seperti Potassium (K), Uranium (U), Thorium (Th) yang ada pada batuan. Pemancaran yang terus menerus terdiri

dari semburan pendek dari sinar gamma yang mampu menembus batuan dan dapat dideteksi oleh detektor dan biasanya memakai jenis *dektektor intallation* (Harsono, 1997). Sinar *gamma ray* sangat efektif dalam membedakan lapisan yang permeabel dan tidak permeabel. Pada lapisan permeabel yang tidak kotor, harga *gamma ray* tinggi apabila mengandung mineral-mineral yang memiliki unsur-unsur radioaktif. *Log gamma ray* digunakan untuk menentukan jenis litologi serta untuk membedakan adanya lapisan serpih dalam penentuan korelasi.

Batuan yang mempunyai ukuran butir halus berasal dari lapukan batuan yang mengandung komposisi mineral yang mudah lapuk, antara lain kelompok alkasi feldspars yang mengandung banyak unsur potasium. Sedangkan batuan reservoir umumnya tidak mengandung unsur radioaktif, kecuali pada batupasir vulkanik yang banyak mengandung mineral mika, misalnya biotit atau debu vulkanik yang banyak mengandung unsur uranium.

- *Log Densitas*

Prinsip pengukuran pada log ini adalah dengan menembakkan *gamma ray* ke batuan dengan energi sedang yang akan menghasilkan densitas elektron. Densitas elektron adalah densitas yang diukur dengan menggunakan alat Litho-Density Tool sebagai akibat hamburan dari compoton (Harsono, 1997). Untuk mengukur densitas formasi, maka nilai dari densitas yang terukur oleh alat LCT tergantung dari densitas batuan dan jumlah ruang pori. Hal ini mencerminkan porositas, karena porositas dinyatakan sebagai banyaknya fluida yang mengisi ruang pori (Harsono, 1997).

Tabel 1. Klasifikasi nilai densitas batuan (Harsono, 1997)

Densitas (gr/cc)	Kandungan Fluida
2.20-2. 50	-
2.25-2.45	Air asin
2.20-2.35	Minyak
2.00-2.25	Gas

- *Log Neutron*

Log ini biasanya disebut sebagai alat neutron terkompensasi atau biasa disebut *Compensated Neutron Tool*. Alat ini biasanya digabungkan dengan LDT dan gamma ray, karena ketiga alat tersebut berupa nuklir dengan kecepatan logging yang rekatif sama dan merupakan gabungan dari neutron-densitas. Prinsip dari kerja log neutron dengan sumber neutron dipancarkan ke formasi dengan neutron energi tinggi. Tumbukan antara neutron dengan inti atom formasi cenderung lebih elastis, sehingga interaksinya berupa tumbukan elastis. Tumbukan elastis itu sendiri adalah tumbukan antara partikel neutron terpental tanpa terjadi apa-apa.

- Log Listrik

- a) *Log Spontaneous Potential (SP)*

Log ini merupakan rekaman dari perbedaan potensial listrik antara elektroda di permukaan dengan elektroda yang terdapat di dalam lubang bor yang bergerak secara naik turun (Harsono, 1997). Log Spontaneous ini dapat berfungsi apabila lubang sumur diisi oleh lumpur konduktif, sehingga log SP tidak bisa dilakukan pada sumur *oil base mud*, tetapi harus jenis lumpur yang bersifat *water base mud*, lubang kosong, serta dalam lubang dengan selubung. Skala pada log ini adalah *milivolt*. Suatu lubang sumur yang terdiri oleh lapisan yang

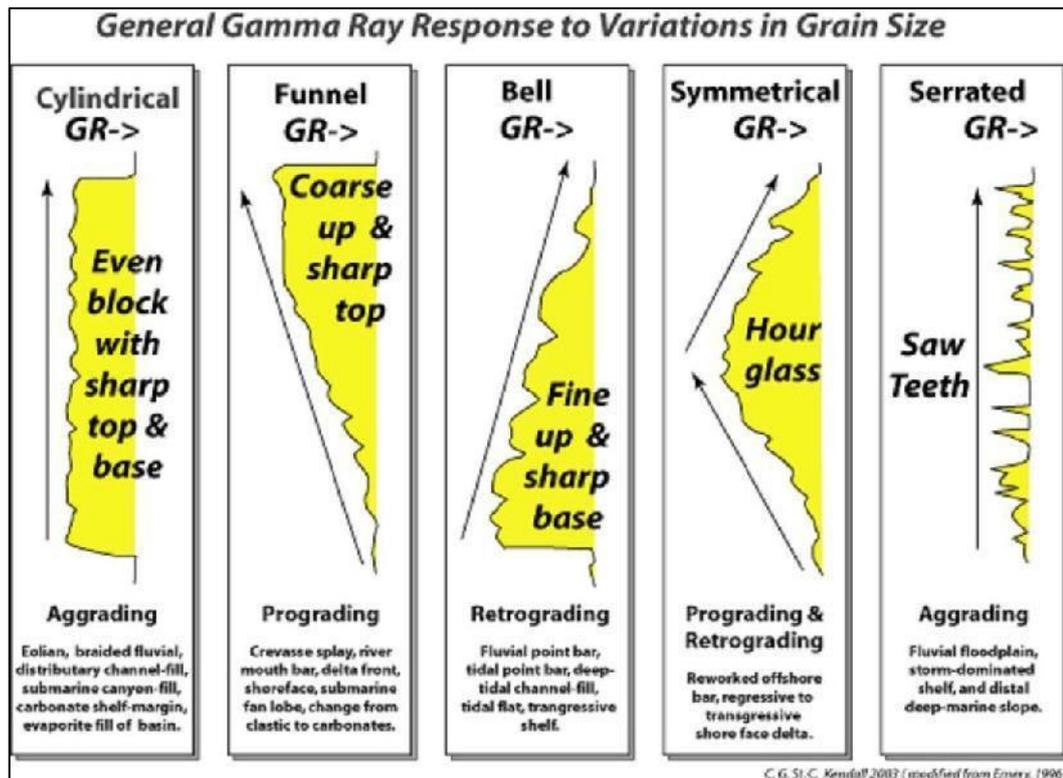
permeabel dan tak permeabel secara alami perbedaan kandungan air garam, sehingga arus listrik hanya akan mengalir disekeliling perbatasan formasi di dalam lubang bor. Pada lapisan serpih ini tidak dijumpa arus listrik, sehingga potensialnya adalah konstan dan log SP rata, pembacaannya disebut sebagai garis serpih (*shale base line*). Kurva log ini biasanya tidak dapat memberikan ukuran ketebalan lapisan secara cepat, karena sifatnya lentur. Perubahan dari posisi garis dasar serpih ke garis permeabel tidak tajam melainkan halus, sehingga garis batas antara lapisan akan tidak mudah ditentukan. Garis batas tersebut tidak harus setengah dari garis lenturnya.

b) Log Resistivitas

Log ini adalah log yang merekam daya hantar listrik dari suatu batuan. Cara kerjanya yaitu dengan mengukur kemampuan dari suatu lapisan batuan untuk menghantarkan arus listrik bila lapisan batuan tersebut dialiri arus listrik. Semakin kecil tahanan jenis suatu batuan, maka daya hantar listrik batuan semakin besar. Data hantar listrik inilah yang merupakan fungsi batuan dan jenis fluida yang mengisi pori-pori batuan.

3.5 Elektrofasies

Untuk melakukan analisis dengan menggunakan data dari log, maka dilakukan dengan mengidentifikasi polanya. Hal tersebut dapat dilakukan, karena pola log dapat mencerminkan peralihansukuran butir dari batuan. Analisis fasies diperlukan untuk dapat mengetahui lingkungan pengendapan, karena lingkungan tempat terendapkannya sedimen memegang peranan penting dalam menentukan geometri, ketebalan, perluasan area reservoir, baik dalam tubuh batupasir maupun batuan karbonat. Selain interpretasi pengendapan dapat digunakan untuk mengontrol pola, sebaran, dan distribusi reservoir (Cant, 1992) Dari data log sumur dapat diketahui beberapa bentuk dasar dengan karakteristik dari suatu fasies dan lingkungan pengendapannya.



Gambar 10. Gambar Pola log *gamma ray* untuk analisis lingkungan Pengendapan (Kendall, 2003)

1. Pola Log *Blocky*

Bentuk yang menginterpretasikan homogenitas *reservoir* dengan sifatnya yang ideal. Bentuk tersebut diasosiasikan dengan endapan sedimen *braided channel*, *eustarine*, *sub-marine channel fill*, *asynostomosed channel* dan *eolian dune*.

2. Pola Log *Serrated*

Bentuk pola log *serrated* merupakan bentuk log yang mempresentasikan adanya heterogenitas *reservoir*. Bentuk ini diasosiasikan dengan endapan sedimen *alluvial plain*, *tidal sand*, *shelf*, atau *back barrier*.

3. Pola Log *Bell*

Pola log *bell* merupakan bentuk log dengan gradasi butir menghalus keatas. Pada kisaran ukuran butir yang sama, dapat terlihat bentuk pola seperti ini apabila semakin ke arah atas dijumpai kandungan lempung yang memiliki tingkat radioaktif tinggi. Bentuk pola seperti tersebut diasosiasikan sebagai hasil

endapan *point bar, tidal deposit, transgressive shelf sand, submarine channel,* dan *turbidite*.

4. Pola *Log Funnel*

Pola log ini merupakan bentuk pola yang diasosiasikan sebagai gradasi dari butir yang mengasar ke atas. Pada ukuran butir yang relatif sama, dapat menunjukkan pola mengasar ke atas, pada bagian bawah dijumpai kandungan batulempung dengan tingkat radioaktif tinggi. Bentuk pola ini diasosiasikan sebagai hasil endapan dari *submarine fan lobe, prograding shelf, crevasse splay, beach, barrier beach, strainplain, shoreface, , distributory mouthsbar* atau *delta front*.

5. Pola *Log Symmetrical-Asymmetrical*

Pola log ini merupakan analog bentuk bell dengan funnel. penggabungan tersebut dihasilkan dari endapan *shelf sand, sub-marine fan,* atau *sand offshore bar,* sedangkan bentuk *asymmetrical* merupakan ketidakserasian secara proporsional dari kombinasi *bell* dan *funnel,* yang dapat juga dihasilkan dari lingkungan pengendapan yang relatif sama dengan bentuk *symmetrical*.

3.6 Analisis Fasies Seismik

3.6.1 Prinsip tekstur seismik

- *Parallel* disebabkan oleh pengendapan sedimen dengan *rate* yang seragam (*uniform rate*), atau pada paparan (*shelf*) dengan subsiden yang *uniform* atau sedimentasi pada stable basin plain.
- *Subparallel*: terbentuk pada zona pengisian, atau pada situasi yang terganggu oleh arus laut.
- *Subparallel between parallel*: terbentuk pada lingkungan tektonik yang stabil, atau mungkin fluvial plain dengan endapan berbutir sedang.
- *Wavy parallel*: terbentuk akibat lipatan kompresi dari lapisan *parallel* diatas permukaan *detachment* atau diapir atau *sheet drape* dengan endapan berbutir halus.
- *Divergent*: terbentuk akibat permukaan yang miring secara progresif selama proses sedimentasi.

- *Chaotic*: pengendapan dengan energi tinggi (*mounding, cut and fill channel*) atau deformasi setelah proses sedimentasi (sesar, gerakan *overpressure shale*, dll.)
- *Reflection free*: batuan beku, kubah garam, interior reef tunggal.
- *Local chaotic*: slump (biasanya laut dalam) yang diakibatkan oleh gempa bumi atau ketidakstabilan gravitasi, pengendapan terjadi dengan cepat.

3.6.2 Tekstur yang terprogradasi

- *Sigmoid*: tekstur ini dapat terbentuk dengan suplai sediment yang cukup, kenaikan muka laut relatif cepat, rejim pengendapan energi rendah, seperti *slope*, umumnya sediment butir halus.
- *Oblique tangential*: suplai sediment yang cukup sampai besar, muka laut yang konstan seperti delta, sediment butir kasar pada *delta plain, channel* dan *bars*.
- *Oblique parallel*: *oblique tangential* varian, sediment terpilah lebih baik.
- *Complex*: lidah delta dengan energi tinggi dengan *slope* terprogradasi dalam energi rendah.
- *Shingled*: terbentuk pada zona dangkal dengan energi rendah.
- *Hummocky*: terbentuk pada daerah dangkal tipikal antar delta dengan energi sedang

3.7 Konsep Lingkungan Pengendapan dan Fasies

Fasies merupakan tubuh batuan yang dicirikan oleh kombinasi tertentu dari litologi, struktur fisik, dan biologi yang memberikan aspek pembeda dengan tubuh batuan diatas, dibawah, maupun secara lateral yang berdekatan atau disebut juga dengan fasies (Walker & James, 1992). Sedangkan menurut Selley (1985), fasies merupakan suatu satuan batuan yang dapat dikenali dan dibedakan dengan satuan batuan lain atas dasar geometri litologi, struktur sedimen, fosil dan pola arus purbanya. Litofasies merupakan istilah yang

digunakan untuk mengelompokkan fasies berdasarkan ciri utama atau deskriptif dari suatu batuan. Deskripsi yang dilakukan meliputi:

- Nama batuan
- Warna batuan
- Ukuran Butir
- Fragmen
- Matriks
- Semen
- Tekstur batuan (kebundaran, kebulatan, sortasi, dan porositas)
- Kekerasan
- Struktur sedimen
- Bioturbasi

Lingkungan Pengendapan adalah bagian dari muka bumi yang secara fisik, kimia, biologi berbeda dengan lingkungan sekitarnya. Secara garis besar dapat disebutkan bahwa lingkungan pengendapan manapun akan terpengaruh dengan ketiga faktor diatas (Selley, 1985).

Secara fisik akan ditunjukkan dengan parameter statik dan dinamik. Parameter statik meliputi geometri sedimen yang didalamnya juga terdapat aspek-aspek material pengendapan, kolam air, dan suhu. Sedangkan secara dinamik dapat ditunjukkan dengan adanya aspek energi, arah pergerakan dari angin, air, gelombang. Secara kimia pengaruhnya terhadap lingkungan pengendapan meliputi aspek salinitas, pH, kadar CO₂, O₂, dan H₂ serta faktor pengontrolnya seperti pelarutan dan penyerapan. Secara biologi akan terlihat dengan jelas dengan adanya aktivitas makhluk hidup maupun sisa dari kehidupannya, aspek ini meliputi bekas tumbuhan, *burrowing*, komposisi skeletal, *boring*, dan sedimen ingestion .

Fasies secara umum diartikan oleh para ahli sedimentologi sebagai suatu massa batuan yang berdasarkan kumpulan parameter penyusunnya seperti litologi, struktur fisik, dan biologinya menjadikan batuan tersebut berbeda dengan

batuan disekitarnya baik secara lateral maupun vertikal (Walker & James, 1992).

Menurut Selley, (1985) fasies sedimen adalah suatu satuan batuan yang dapat dikenali dan dibedakan dengan satuan batuan lain atas dasar geometri litologi, struktur sedimen, fosil dan pola arus purbanya. Fasies sedimen merupakan produk dari proses pengendapan batuan sedimen didalam suatu jenis lingkungan pengendapan, maka mendeskripsikan fasies sedimen dapat menginterpretasikan lingkungan pengendapannya. Lingkungan pengendapan akan menghasilkan fasies tertentu. Fasies merupakan refleksi dari lingkungan pengendapannya. Hubungan antara lingkungan pengendapan dengan fasies seperti halnya proses dan hasil yang terjadi. Identifikasi dan rekonstruksi dari lingkungan pengendapan tergantung dari identifikasi aspek fisika, kimia dan biologi yang mempunyai kaitan yang erat. Kriteria penentuan fasies tidak bisa diperoleh dengan hanya menggunakan satu aspek tunggal saja tetapi perlu integrasi dari semua data yang mengandung beberapa kriteria yang mendukung penentuan akhir sebuah fasies.

3.7.1 Lingkungan Pengendapan *Fluvial Meandering System*

Endapan fluvial sebagian besar bersifat klastik dan memiliki ukuran butir yang bervariasi dari konglomerat sampai lempung serta kehadiran batubara yang umumnya berasosiasi dengan fluvial (Miall, 1977). Kontrol terpenting dalam geometri endapan fluvial adalah morfologi dari saluran sungai yang didefinisikan dengan menggunakan dua parameter yaitu, parameter *sinuosity* dan parameter *braided* (Miall, 1977). Sinusitas didefinisikan sebagai perbandingan panjang *thalweg* dan panjang lembah (*valley length*) dimana panjang *thalweg* merupakan jalur dari saluran sungai terdalam sedangkan panjang lembah merupakan jarak lurus dari bagian lembahan dimana panjang *thalweg* diukur. Pada dasarnya *fluvial meandering* dapat dibagi menjadi beberapa asosiasi fasies, antara lain:

a. Channel

Endapan *channel* ditandai dengan adanya bidang erosi pada bagian dasar urutan fasiesnya dan cenderung menghalus keatas (Walker & James, 1992).

b. *Point bar*

Endapan *point bar* terakumulasi pada sisi dalam kelokan sungai yang diendapkan secara lateral dan menunjukkan suksesi vertikal berupa endapan menghalus ke atas (*fining upward*) dengan struktur berupa *cross bedding* pada bagian dasar dan *cross lamination* pada bagian atas (Nichols, 2009).

c. *Floodplain*

Sebagian besar endapan *flood plain* merupakan endapan suspensi yang sebagian besar berukuran lempung sampai lanau dan berada pada sisi sungai yang terbentuk oleh sedimen akibat limpahan banjir sungai (Nichols, 2009). Jika aliran sungai cukup cepat, maka akan memungkinkan material berukuran pasir ikut terendapkan selama proses suspensi. Endapan ini mengisi daerah relatif datar pada sisi luar sungai sehingga terdapat adanya faktor organik yang dapat membentuk endapan sedimen seperti batubara.

d. *Overbank*

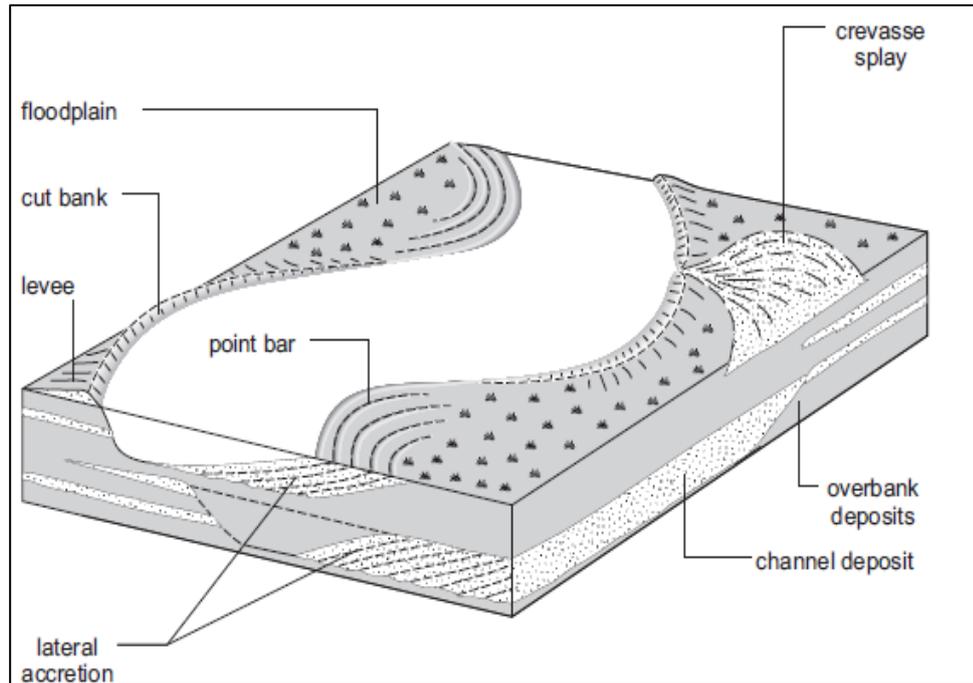
Endapan *overbank* terakumulasi pada daerah *flood plain* dengan ciri khas material sedimen yang berukuran halus.

e. *Crevasse splay*

Endapan *crevasse splay* merupakan hasil limpahan banjir yang mengerosi *levee* sehingga air akan melimpah ke dataran banjir dari sisi aliran sungai yang mengendapkan material berukuran pasir dan akan membentuk sistem saluran tersendiri.

f. *Levee*

Tanggul terbentuk saat air sungai banjir dan melewati batasan dari saluran sungai sehingga mengendapkan endapan sedimen yang cepat (Nichols, 2009). Endapan *levee* merupakan bagian dari endapan *overbank* suatu tubuh sungai dan umumnya dicirikan dengan perselingan antara batupasir dan material yang lebih halus.



Gambar 11. Model konseptual lingkungan pengendapan sungai (Nichols, 2009).

3.7.2 Model Lingkungan Pengendapan Delta

Delta merupakan suatu endapan progradasi yang tidak teratur yang terbentuk pada lingkungan subaerial yang secara langsung dikontrol oleh sungai. Morfologi delta dan bentuk penyebaran sedimen pada delta dikontrol oleh tiga proses utama yaitu : *influx*, *fluvial*, *tidal wave* (gelombang). Menurut Walker & James (1992) secara umum lingkungan pengendapan delta dapat dibagi dalam beberapa sub lingkungan sebagai berikut :

1. *Delta plain*

Merupakan bagian delta yang bersifat subaerial yang terdiri dari *channel* aktif dan *channel* yang ditinggalkan (*abandoned channel*). *Delta plain* cenderung tertutup oleh vegetasi yang rapat. Sub lingkungan *delta plain* dibagi menjadi :

a) *Upper delta plain*

Merupakan bagian dari delta yang terletak diatas area tidal atau laut. Endapannya secara umum terderi dari :

- Endapan *distributary channel* yang berpindah
Yaitu endapan braided atau meandering, tanggul alam (*nature levee*), dan endapan point bar. Endapan *distributary channel* ditandai dengan adanya bidang erosi pada bagian dasar urutan fasies dan menunjukkan kecenderungan menghalus keatas. Struktur sedimen yang dijumpai umumnya adalah *cross bedding*, *ripple cross stratification*, *scour and fill*, dan lensa-lensa lempung. Endapan *point bar* terbentuk apabila terputus dari *channel* nya. Sedangkan tanggul alam terbentuk dan memisahkan diri dengan *interdistributary channel*. Sedimen pada bagian ini berupa pasir halus dan rombakkan material organik serta lempung yang terbentuk sebagai hasil luapan material selama terjadi banjir
- *Lucustrine delta fill* dan endapan *interdistributary flood plain*. Lingkungan ini mempunyai kecepatan arus paling kecil, dangkal, tidak berelief, dan proses akumulasi sedimen berjalan lambat. Pada *interdistributary channel* dan *flood plain*, endapan yang terbentuk merupakan endapan yang berukuran lanau sampai lempung yang dominan. Struktur sedimen yang terbentuk adalah laminasi sejajar dan *burrowing structure* endapan pasir yang bersifat lokal, tipis, dan kadang hadir karena adanya pengaruh gelombang.

b) *Lower delta plain*

Merupakan bagian dari delta yang terletak pada daerah sedimen terjadi interaksi antara sungai dan laut yaitu *low tide mark* sampai batas pengaruh pasang surut. Endapannya meliputi:

- Endapan pengisi teluk (*bay fill deposit*) Endapannya meliputi *interdistributary bay*, tanggul alam, *crevasse splay*, dan rawa.
- Endapan pengisi *distributary channel* yang ditinggalkan.

2. *Sub aquaceous Delta plain*

Merupakan sub lingkungan delta yang berada pada kedalaman air 10-300 m di bawah permukaan laut. Lingkungan ini dapat dibedakan menjadi beberapa bagian:

a. *Delta front*

Merupakan sub lingkungan delta yang berada pada daerah dengan energi yang tinggi, dimana sedimen secara langsung dipengaruhi oleh arus pasang surut, arus laut sepanjang pantai, dan aksi gelombang (kedalaman 10 meter atau kurang). Endapan dari *delta front* meliputi : *delta front sheet sand, distributary mouth bar, river mouth tidal range, stream mouth bar, tidal flat* serta endapan dekat pantai sepanjang pantai. Endapan *delta front* yang relatif besar yang menunjukkan perubahan fasies secara vertikal ke atas. Sikuen ini hasil dari progradasi *delta front* yang mungkin diselingi oleh sikuen *distributary channel* dari sungai atau tidal pada saat progradasi sungai berlangsung. Lingkungan pengendapan *delta front* dibagi menjadi beberapa sublingkungan dengan karakteristik gradasi fasies yang berbeda yaitu:

- *Distal bar*

Memiliki urutan fasies cenderung menghalus keatas. Umumnya tersusun atas pasir halus dengan struktur sedimen laminasi, *trough cross stratification, burrowing structure*. Pada lingkungan ini fosil jarang di jumpai.

- *Distributary mouth bar*

Memiliki kecepatan yang paling tinggi dalam sistem pengendapan delta. Sedimennya umumnya tersusun atas pasir yang di endapkan melalui proses fluvial dan merupakan tempat terakumulasinya sedimen yang ditransport oleh *distributary channel* dan diantara *mouth bars* akan terendapkan sedimen berukuran halus. Pasukan sedimen yang menerus akan menyebabkan terjadinya pengendapan *mouth bars* yang menuju kearah laut (Walker & James, 1992). Struktur sedimen yang

terbentuk pada lingkungan ini antara lain : *current ripple*, *cross bedding* dan *massive graded bedding*.

- *Channel*

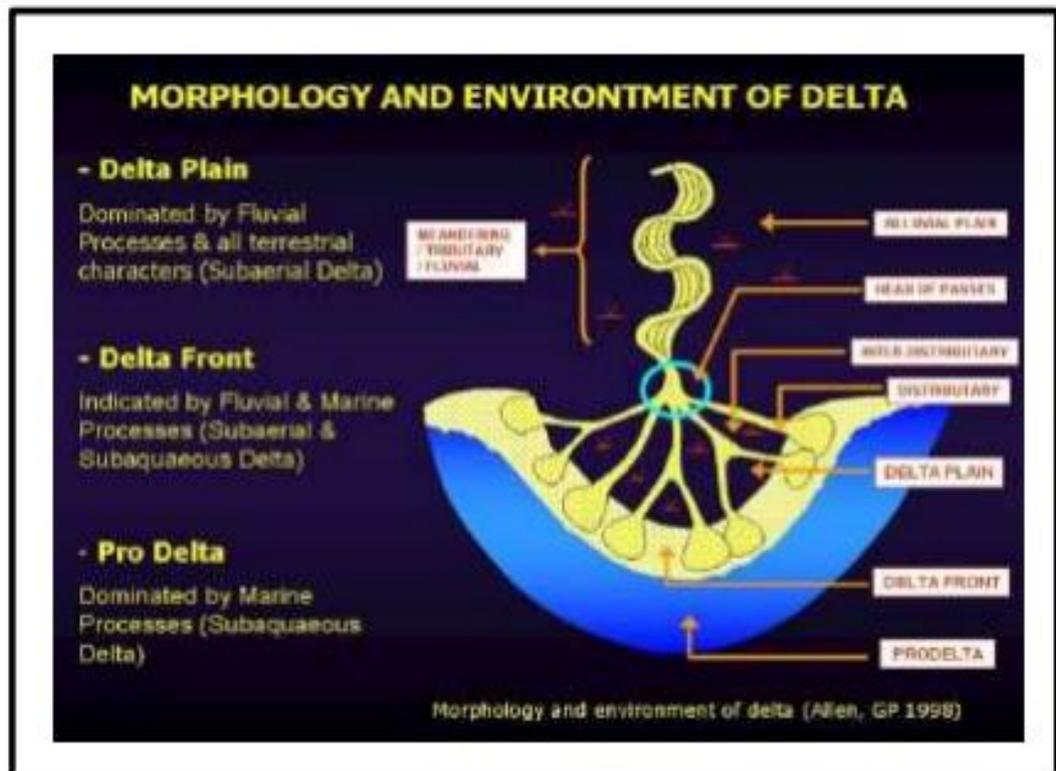
Ditandai dengan adanya bidang erosi pada bagian dasar urutan fasiesnya dan cenderung menghalus keatas (Walker & James, 1992). Sedimennya umumnya berukuran pasir dengan *baal lag deposits*. Struktur sedimen yang terbentuk adalah *cross bedding*, *ripple cross stratification*, *scour and fill*.

- *Subaqueous levees*

Merupakan kenampakan lain dari fasies endapan *delta front* yang berasosiasi dengan *active channel mouth bar*. Fasies ini sulit dibedakan dan diidentifikasi dengan fasies lainnya pada endapan delta masa lampau.

b. Pro-delta

Merupakan sublingkungan transisi antara *delta front* dengan endapan normal *marine shelf* yang berada dibawah kedalaman efektif erosi gelombang yang terletak diluar *delta front*. Sedimen yang ditemukan pada lingkungan ini adalah sedimen yang berukuran paling halus (Serra,1990). Endapan *pro-delta* didominasi oleh sedimen berukuran lanau dan lempung dan kadang-kadang dijumpai dilapisan tipis batupasir. Struktur sedimen yang sering dijumpai adalah masif, laminasi, dan *burrowing structure*. Seringkali dijumpai cangkang organisme bentonik yang tersebar luas dan mengindikasikan tidak adanya pengaruh air tawar/fluvial.



Gambar 12. Morfologi lingkungan pengendapan delta (Allen dan Mercier, 1988)

3.7.3 Klasifikasi Delta

Klasifikasi delta menurut Walker dan James (1992) berdasarkan faktor yang mempengaruhinya adalah :

1. *River Dominated Deltas*

Jika gelombang, arus pasang surut serta sepanjang pantai berenergi lemah, dan aliran sungai membawa material sedimen dalam volume yang tinggi, maka akan terjadi progradasi yang cepat ke arah laut dan berkembangnya beraneka ragam lingkungan pengendapan yang khas yang didominasi oleh sungai. Pada tipe delta ini, terjadi erosi laut dan pengendapan kembali pasir *channel mouth bars* yang mana intensitas pengendapannya akan tergantung pada kecepatan penurunan akibat kompaksi dan intensitas energi laut yang bekerja.

2. *Wave Dominated Deltas*

Pada garis-garis pantai akan terjadi erosi pada endapan sedimen shoreline oleh gelombang laut dan diendapkan lagi dalam bentuk fasiesfasies lokal yang khas. Pada delta ini *channel mouth bars* akan tererosi secara intensif dan tertransport jauh dari mulut sungai yang kemudian diendapkan kembali dalam bentuk *shoreface sands* yang jurusnya sejajar dengan pantai.

3. *Tide Dominated Deltas*

Apabila kisaran pasang surut tinggi, maka akan terjadi aliran balik pada *distributary channel* disaat pasang maupun surut. Endapan-endapan pada *distributary channel* akan di-*rework* menjadi bentuk-bentuk punggung yang sejajar dengan arah pasang surut dan dipisahkan antara satu dengan yang lainnya oleh linear scouring *channel*.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan pada:

Waktu : 01 Februari 2021– 30 April 2021

Tempat : Pertamina Hulu Energi OSES (*Work From Home*)

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data Seismik 3D
2. Data *log*
3. Data *Marker* Formasi
4. *Software* Petrel
5. *Software* Microsoft Word 2010
6. *Software* Microsoft Power point

dari *Picking* horizon akan digunakan sebagai acuan dalam proses inversi. *Picking* horizon pada penelitian ini dilakukan pada horizon Orange dan Gita.

2. *Time Structure Map*

Pembuatan time structure map ini dilakukan setelah proses *Picking* horizon yang nantinya digunakan untuk memperlihatkan bentuk struktur pada lapangan penelitian dalam domain waktu untuk memperlihatkan bentuk pada lapangan penelitian serta menghitung luasan area tiap kontur, pada pembuatan time structure map, *Picking* fault tidak dilakukan karena data fault telah tersedia dari perusahaan.

3. *Depth Structure Map*

Langkah ini merupakan hasil dari konversi waktu ke kedalaman. Peta struktur waktu yang dihasilkan ada 4 peta, peta struktur kedalaman hasil konversi menggunakan metode *Velocity modelling* menggunakan data *surface time* dan *welltops*.

4. Analisis sekuen stratigrafi

Analisis Sekuen Stratigrafi yang dilakukan yaitu analisis terminasi reflektor Seismik yaitu *downlap, onlap, toplap, erosional truncation*. Menentukan batas Tektonik pembentukan cekungan area penelitian pada section seismik, pembentukan utama yang dilakukan *Picking* Sekuen

5. *Picking* fasies seismik

Picking fasies seismik dilakukan dengan cara melihat pola fasies seismik diantara batas sekuen yang berada pada penampang seismik.

6. Analisis Elektrofasies

Tahapan ini merupakan tahapan mengolah dan menganalisis data mentah yang telah dikumpulkan. Data yang telah terkumpul diolah untuk diinterpretasikan dan dideskripsikan sesuai dengan tujuan penelitian.

a. Analisis litofasies

Analisis deskriptif menggunakan data inti dan/atau batuan potong. Analisis ini meliputi jenis litologi yang meliputi jenis batuan, warna, ukuran butir, fragmen, matriks, semen, tekstur (kebulatan, kebulatan, sortasi), porositas, kekerasan, struktur sedimen, dan bioturbasi.

Litofasies adalah istilah yang digunakan untuk mengklasifikasikan fasies berdasarkan karakteristik deskriptif suatu batuan. Tambahan analisis litofasies menggunakan data petrografi (sayatan tipis) dan difraksi *X-ray*.

b. Analisis pola *log gamma ray*

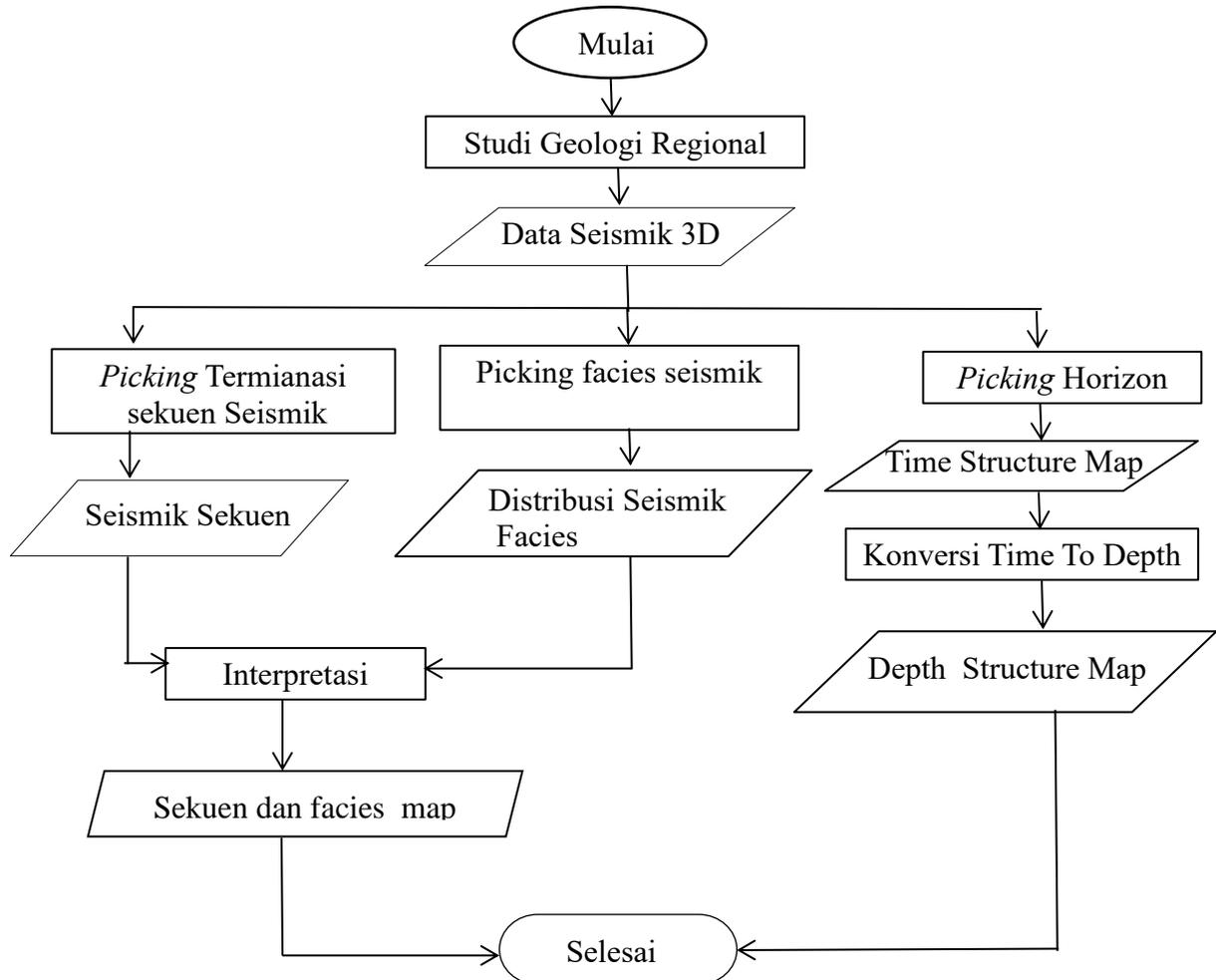
Analisis elektrofases mengidentifikasi fasies dari data *log gamma ray* sumur yang disamakan dengan data inti pada sumur terpilih.

7. Analisis lingkungan pengendapan

Dari sekuen stratigrafi, fasies seismik dan analisis elektrofases yang sudah dilakukan, selanjutnya di analisis lingkungan pengendapan area penelitian.

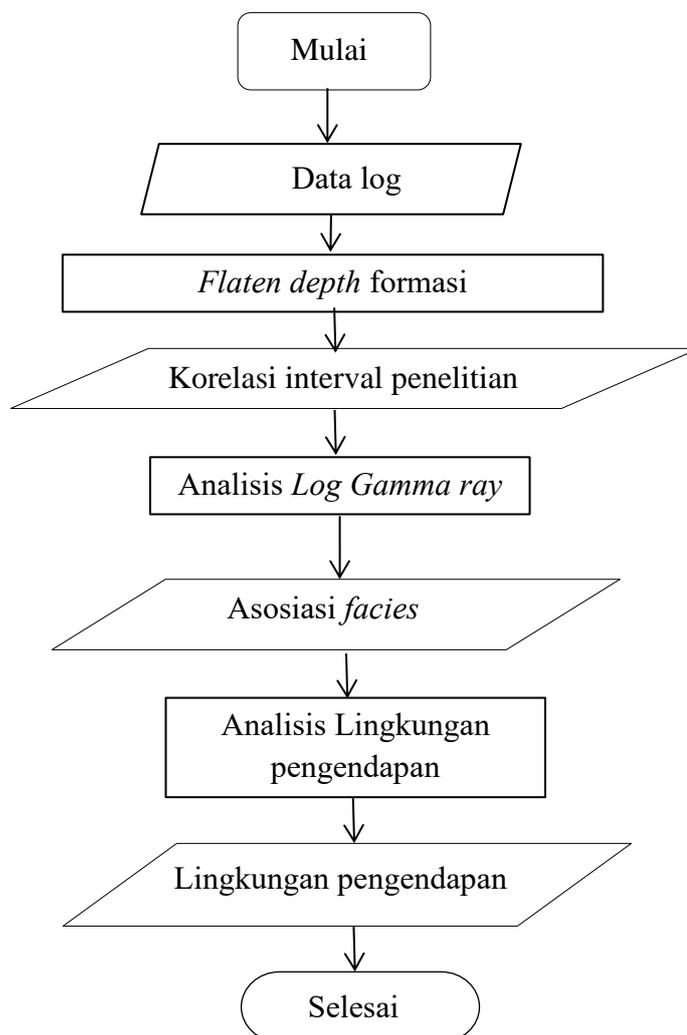
4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian yang pertama yaitu diagram alir seismik seken, seismik fasies serta time dan dept sthstructure map yang ditunjukkan pada **gambar 13** sebagai berikut:



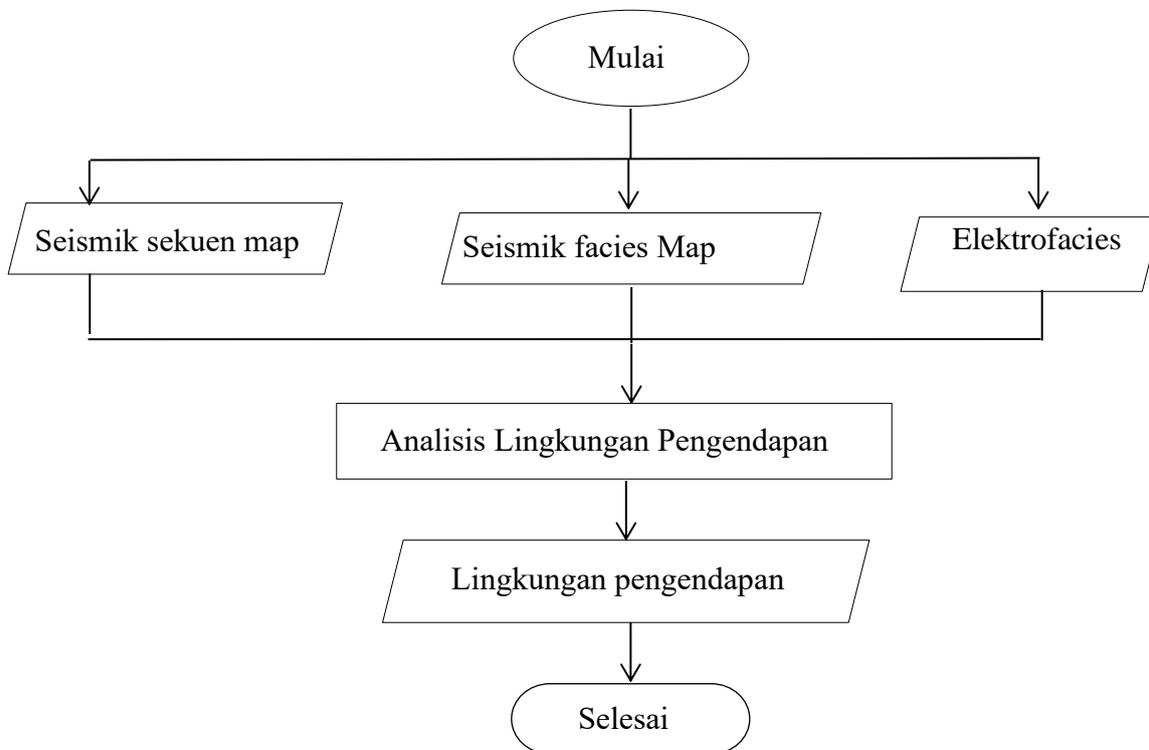
Gambar 13. Diagram Alir Sekuen Stratigrafi dan fasies seismik

Diagram alir yang kedua yaitu diagram alir analisis elektrofases, dapat dilihat pada **gambar 14** dibawah ini:



Gambar 14. Analisis elektrofases

Dari analisis yang telah dilakukan yaitu analisis sekuen stratigrafi, analisis fasies dan elektrofases, selanjutnya yaitu analisis lingkungan pengendapan. Berikut diagram alir lingkungan pengendapan pada **gambar 15** dibawah ini:



Gambar 15. Diagram Alir lingkungan Pengendapan

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis sekuen dan fasies seismik diperoleh hasil sebagai berikut:
 - Interval Orangeto Gita terjadi pada masa *transgressive system track* (TST). Terdapat *eventt onlap* disebabkan oleh kenaikan muka air laut yang relatif, pola parasekuenset yang beretrogradasi.
 - Hasil distribusi fasies yang diperoleh yaitu fasies seismik dengan pola *parallel* endapan *flood plain*. Fasies seismik dengan pola *chaotic* endapan *fluvial channel*. Fasies seismik dengan pola *subparallel high amplitude* endapan *tidal flat*.
2. Dari hasil analisis elektrofases diperoleh hasil sebagai berikut:
 - Asosiasi fasies *Flood plain* terdiri dari litofases F1, F2, F3, dan F4. Respon sinar *gamma ray* menunjukkan pola *log funnelshape-serrated*.
 - Asosiasi fasies *channel* terdiri dari litofases F2 dan F3. Respon sinar *gamma ray* menunjukkan pola *log blocky*.
 - Asosiasi fasies *tidal flat* terdiri dari litofases F6, F7, dan F8. Respon sinar *gamma ray* menunjukkan pola *funnel shape-serrated*.
3. Dari analisis seismik sekuen stratigrafi, analisis fasies seismik, dan analisis elektrofases diketahui bahwa:

- Lapangan IPR berada pada lingkungan pengendapan *fluvial meandering system* dengan asosiasi fasies *floodplain* dan *channel*, serta lingkungan pengendapan transisi *fluvio deltaic* dengan asosiasi fasies *tidal flat*.
- Reservoir area penelitian berada pada lingkungan pengendapan *fluvial* asosiasi *channel*, dengan geometri reservoir batu pasir berarah barat laut sampai tenggara.

6.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini yaitu dilakukan analisis biostratigrafi dan *paleoenvironment* agar penentuan lingkungan pengendapan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, G.P and Mercier, F.1988. *Subsurface sedimentology of Deltaic systems. Journal of PESA.* 30-46.
- Brown, M.1994. The generation, segregation, ascent and emplacement of granite magma: the migmatite-to-crustally-derived granite connection in thickened orogens. *Earth-Science Reviews.* Vol 36, 83–130.
- Cant, D.J. 1992. *Subsurface Facies Analysis.* Geological Association. Canada.
- Catuneanu, O. 2006. *Principles of sequen stratigraphy.* Elsevier. Amsterdam.
- Dewanto, O., Mulyatno, B.S., Rustadi and Wibowo, R.C. 2017. Determining the Temperature of Shale Material Conversion Into Crude Oil Based on Organic Clay and Organic Carbonate Test Outside Reservoir. *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, IJMME.* Vol:17 No:05. ISSN: 2077-124X (Online), 2227-2771 (Print). Page: 84-89.
- Emery, D., dan Myers, K. 1996. *Sequence Stratigraphy.* Blackwell Science. New York.
- Galloway, W. 1989. Genetic Stratigraphic Sequences in Basin Analysis I, Architecture and Genesis of Flooding-Surface Bounded Depositional Units. *The American Association of Petroleum geologist Bulletin.* Vol 73, hal 125-142.
- Harsono, A. 1997. *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log.* Schlumberger Oilfield Service. Jakarta.
- Kearey, P., Brooks, M., dan Hill, I. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration.* Blackwell Science. London.
- Kementerian ESDM. 2019. *Laporan kinerja 2019.* esdm.go.id. Diakses 25 Mei 2021 pukul 20.21 WIB.
- Kementerian ESDM. 2021. *Capaian Kinerja 2020 dan Rencana Kerja 2021 Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi.* esdm.go.id. Diakses 25 Mei 2021 pukul 16.02 WIB.

- Kendall, C. 2003. *Stratigraphy and Sedimentary Basin*. Department of Geological Science. University of South California. California.
- Koesoemadinata, R. P. 1980. *Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Miall, A.D.1977. Facies type and vertical profile models in braided river deposits. *Canadian Society of Petroleum Geologists*. Vol 22, halaman 597-604.
- Mitchum, R.M. 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sealevel, in Seismic Stratigraphy-Applications To Hydrocarbon Exploration. *The American Association of Petroleum Geologist*. Oklohama.
- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy: 2nd Edition*. Wiley Blackwell. United Kingdom, halaman 419-423.
- Posamentier, H. W. dan G. P. Allen. 1999. Silisiclastic Sequence Stratigraphy Concept and Application. *SEPM (Society for Sedimentary Geology)*. Vol 42. hal 9-13.
- Ralanarko, D., Wahyu, D., Nugroho, P., Senoaji, W dan Rulandoko, W. 2020. Seismic Exploration of Paleogene Talang akar Formation-Asri & Sunda Basins, Java Sea, Indonesia. *Indonesian Journal of Sedimentology Geology*. Vol. 46, hal 21- 43.
- Selley, R. C.1985. *Ancient Sedimentary Environment*. Cornell University Press. New York.
- Sukanto, J., F, Nunuk., Aldrich, J.B., Rinehart, G.P dan Mirchell, J. 1998. Petroleum System of the Asri Basin, Java Sea, Indonesia. *Proceeding IPA 26th Annual Convention*. Hal 291-312.
- Van Gorsel, J.T.1988. Biostratigraphy in Indonesia: methods, pitfalls and new directions. *Proceeding IPA 17th Annual Convention*. 275-300.
- Van Wagoner, J. C., Mitchum, R. M., Champion, K. M dan Rahmanian, V. D.1990. Siliciclastics Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores & Outcrops : Concepts for High Resolution of Time & Facies. *The American Association of Petroleum Geologists*. Vol. 42 halaman 3-55.
- Walker, R.G., dan N.P. James. 1992. *Facies Models Response to Sea Level Change*.
Geologic