

**PENGARUH LINGKUNGAN PENGENDAPAN TERHADAP
KARAKTERISTIK GEOKIMIA BATUAN INDUK,
LAPANGAN “AL”, CEKUNGAN KUTAI, KUTAI
KARTANEGARA, KALIMANTAN TIMUR**

SKRIPSI



DISUSUN OLEH:

MAULANA MAFAZAN BUDIYANTO

111200104

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK GEOLOGI
JURUSAN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH LINGKUNGAN PENGENDAPAN TERHADAP
KARAKTERISTIK GEOKIMIA BATUAN INDUK,
LAPANGAN “AL” CEKUNGAN KUTAI, KUTAI
KARTANEGARA, KALIMANTAN TIMUR**

SKRIPSI

Oleh:

Maulana Mafazan Budiyanto

111.200.104

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata-1
Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN “Veteran”
Yogyakarta

Yogyakarta, 21 Agustus 2024

Menyetujui,
Pembimbing



Dr. Ir. Sapto Kis Daryono, MT

NIP. 19630624 199003 1 002

Menyetujui,
Ketua Jurusan Teknik Geologi UPN “Veteran” Yogyakarta



Ari Manto Budi Nugroho, S.T., M.Si
NIP. 19771209 202121 1 003

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur kehadrat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah dan perlindungannya penulis diberikan kesehatan dan kemampuan untuk menyelesaikan Skripsi ini dengan lancar tanpa kendala yang berarti. Halaman persembahan ini ditujukan kepada piha-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Penulis mempersembahkan laporan ini kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan, kemampuan, dan kesempatan dalam pembuatan Skripsi ini.
2. Bapak Imam Budiyanto dan Ibu Sulasmi, serta Adik Pradita Mafazan, Salvario Mafazan, dan Asyifa Rizqi yang selalu menjadi motivasi untuk selalu berjuang dan menyelesaikan studi ini.
3. Bapak Dr. Arif Budi Nugroho, S.T, M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.
4. Bapak Dr. Ir. Sapto Kis Daryono, MT. selaku Dosen Pembimbing dan Dosen Wali yang telah memberikan arahan dan bimbingan semasa penulis berkuliah dan menyusun skripsi.
5. Bapak Achmad Fachrudin, S.T. sebagai pembimbing penulis selama melaksanakan tugas akhir di Pusat Survei Geologi, dan Bapak Ibu Staf PSG yang telah memberikan ilmunya pada saat MKBM.
6. Nada Nadiva yang selalu memberikan dukungan kepada penulis dari awal perkuliahan hingga akhir masa perkuliahan.
7. Rekan seperjuangan dan Kontrakan Putra Muslim yang telah menjadi tempat bernaung, menyambung hidup, dan berdiskusi diakhir masa perkuliahan penulis.
8. Otniel Alfa S.N, S.T yang telah menyediakan ruang dan kesempatan untuk melakukan tugas akhir di
9. Keluarga Besar PANGEA 20 yang telah membantu dalam berproses dan bertumbuh menjadi pribadi yang lebih baik.

SARI

Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan terbesar penghasil hidrokarbon di Indonesia. Cekungan ini tersusun oleh beberapa formasi. Formasi yang banyak mengandung hidrokarbon adalah formasi yang berumur Miosen yang terendapkan pada lingkungan delta. Lingkungan delta mengendapkan batuan dengan butir halus, yaitu pada lingkungan *delta front* dan *prodelta*. Batuan induk pada cekungan ini merupakan serpih dan batubara. Hasil pemboran menggolongkan sumur pada daerah penelitian sumur kering, sehingga diperlukan identifikasi lingkungan pengendapan dan analisis geokimia batuan induk untuk mengetahui pengaruhnya pembentukan hidrokarbon. Data yang diperlukan berupa data *wireline log*, data biostratigrafi, data geokimia batuan induk. Metode yang digunakan yaitu analisis stratigrafi dan analisis geokimia. Lapangan “AL” terdiri dari satuan batuan berupa satuan batupasir Mentawir, satuan batupasir Pulaubalang, satuan serpih Pulaubalang, satuan batugamping Maruat, satuan batupasir Maruat, dan satuan serpih Pamaluan. Lingkungan pengendapan pada Lapangan “AL” berupa delta dominasi fluvial, dengan sub-lingkungan *lower delta plain*, *delta front*, dan *prodelta*. Karakteristik geokimia batuan induk pada daerah penelitian memiliki kekayaan material organik cukup – sempurna dengan tipe kerogen III dan campuran III/II dengan kematangan belum matang – matang. Lingkungan pengendapan berpengaruh terhadap karakteristik geokimia batuan induk khususnya pada tipe kerogen dan kekayaan material organik, sedangkan pada kematangan batuan induk lingkungan pengendapan tidak berpengaruh.

Kata Kunci: Cekungan Kutai, Lingkungan Delta, *Wireline Log*, Biostratigrafi, Analisis Geokimia Batuan induk,

ABSTRACT

The Kutai Basin is one of the largest hydrocarbon-producing basins in Indonesia. This basin consists of several formations. The formation that contains a significant amount of hydrocarbons is the Miocene-aged formation deposited in a delta environment. Delta environments deposit fine-grained rocks, specifically in the delta front and prodelta environments. The source rocks in this basin are shale and coal. Drilling results classify wells in the study area as dry wells, thus requiring identification of the depositional environment and geochemical analysis of source rocks to understand their influence on hydrocarbon formation. The required data includes wireline log data, biostratigraphy data, and geochemical data of source rocks. The "AL" field consists of rock units including the Mentawir sandstone unit, the Pulaubalang sandstone unit, the Pulaubalang shale unit, the Maruat limestone unit, the Maruat sandstone unit, and the Pamaluan shale unit. The depositional environment of the "AL" field is a delta with fluvial dominance, including sub-environments such as the lower delta plain, delta front, and prodelta. The geochemical characteristics of source rocks in the study area show a considerable amount of organic material with Type III kerogen and a mix of Type III/II, with maturity levels ranging from immature to mature. The depositional environment affects the geochemical characteristics of source rocks, particularly in terms of kerogen type and organic material richness, but it does not influence the maturity of the source rocks.

Keywords: Kutai Basin, Delta Environment, Wireline Log, Biostratigraphy, Source Rock Geochemical Analysis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
SARI.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang Penelitian	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Maksud dan Tujuan.....	2
I.4 Lokasi Penelitian.....	2
I.5 Waktu Penelitian	3
I.6 Hasil yang Diharapkan.....	3
I.7 Manfaat Penelitian	4
I.7.1 Manfaat untuk Keilmuan	4
I.7.2 Manfaat untuk UPN “Veteran” Yogyakarta	4
I.7.3 Manfaat untuk Pusat Survey Geologi-Badan Geologi, KESDM.....	4
BAB II METODE PENELITIAN	5
II.1 Metode Penelitian	5
II.1.1 Tahapan Studi Pustaka.....	5
II.1.2 Tahapan Pengumpulan Data dan Integrasi Data.....	5
II.1.3 Tahapan Analisis dan Sintesis Data	6
II.1.4 Tahapan Penyusunan Laporan	6
II.2 Diagram Alir	7
BAB III TINJAUAN GEOLOGI REGIONAL.....	8
III.1 Fisiografi Regional	8
III.2 Stratigrafi Regional	8
III.3 Struktur Geologi Regional	12
III. 4 Tektonik Cekungan Kutai.....	14
III.5 <i>Petroleum System</i> Cekungan Kutai	15

BAB IV LANDASAN TEORI.....	17
IV.1 Wireline Log	17
IV.1.1 Log Radioaktif (<i>Gamma Ray</i>)	17
IV.1.2 Log Resistivitas.....	17
IV.1.3 Log Neutron.....	18
IV.1.4 Log Densitas	18
IV.2 Biostratigrafi.....	19
IV.3 Lingkungan Pengendapan.....	19
IV.3.1 Elektrofasi.....	20
IV.3.2 Sikuen Stratigrafi	22
IV.3.2 Lingkungan Pengendapan Delta.....	23
IV.4 Korelasi.....	28
IV.5 Geokimia	29
IV.5.1 Batuan Induk.....	29
IV.5.2 Gas	36
IV.5.3 Biomarker	38
BAB V LINGKUNGAN PENGENDAPAN DAN KARAKTERISTIK GEOKIMIA	46
V.1 Stratigrafi Daerah Penelitian.....	46
V.2 Biostratigrafi	48
V.3 Lingkungan Pengendapan.....	50
V.4 Geokimia.....	55
V.4.1 Sumur Loa Haur-1	56
V.4.2 Sumur Semoi-1	63
V.4.3 Sumur Sakakanan-1	69
V.4.4 Sumur Mentawir-1	78
V.5 Hubungan Lingkungan Pengendapan dan Karakteristik Geokimia Batuan Induk	79
BAB VI PENUTUP.....	81
VI.1 Kesimpulan	81
VI.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar III. 1 Fisiografi Pulau Kalimantan	8
Gambar III. 2 Stratigrafi Regional	12
Gambar III. 3 Stuktur Regional Cekungan Kutai.....	13
Gambar III. 4 Penampang Barat - Timur Cekungan Kutai	13
Gambar III. 5 Tektonostratigrafi Cekungan Kutai	15
Gambar III. 6 Chart Sistem <i>Petroleum</i> Cekungan Kutai	16
Gambar IV. 1 Bentuk elektrofases untuk penentuan fasies	21
Gambar IV. 2 Karakteristik fasies dan struktur sedimen pada endapan delta	24
Gambar IV. 3 Morfologi dan fasies lingkungan pengendapan delta	24
Gambar IV. 4 Hasil pengujian metode gas chromatograph	40
Gambar V. 1 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian	48
Gambar V. 2 Hasil analisis lingkungan pengendapan Sumur Loa Haur-1.....	50
Gambar V. 3 Hasil analisis lingkungan pengendapan Sumur Semoi-1	52
Gambar V. 4 Hasil analisis lingkungan pengendapan Sumur Sakakanan-1	53
Gambar V. 5 Hasil analisis lingkungan pengendapan Sumur Mentawir-1	54
Gambar V. 6 Diagram plot %TOC vs S ₂ Sumur Loa Haur-1	58
Gambar V. 7 Diagram plot S ₂ vs %TOC Sumur Loa Haur-1	59
Gambar V. 8 Diagram plot Pr/C ₁₇ vs Ph/C ₁₈ Sumur Loa Haur-1	60
Gambar V. 9 Diagram plot HI vs Tmax Sumur Loa Haur-1	61
Gambar V. 10 Diagram plot Ro% vs Kedalaman Sumur Loa Haur-1	62
Gambar V. 11 Diagram plot %TOC vs S ₂ Sumur Semoi-1.....	65
Gambar V. 12 Diagram plot %TOC vs S ₂ Sumur Semoi-1	66
Gambar V. 13 Diagram plot Tmax HI Sumur Semoi-1	67
Gambar V. 14 Diagram plot Ro% vs Kedalaman Sumur Semoi-1	68
Gambar V. 15 Diagram plot %TOC vs S ₂ Sumur Sakakanan-1	71
Gambar V. 16 Diagram plot %TOC vs S ₂ Sumur Sakakanan-1	72
Gambar V. 17 Diagram plot Pr/C ₁₇ vs Ph/C ₁₈ Sumur Sakakanan-1	73
Gambar V. 18 Diagram plot Tmax vs HI Sumur Sakakanan-1.....	74
Gambar V. 19 Diagram plot Ro% vs Kedalaman Sumur Sakakanan-1	75
Gambar V. 20 T _m /T _s vs C ₃₀ Moreatana/C ₃₀ Hopana Sumur Sakakanan-1.....	76

Gambar V. 21 Hasil diagram plot C27, C28, C29 sterana Sumur Sakakanan-1...77
Gambar V. 22 Diagram plot Ro% vs Kedalaman Sumur Mentawir-179

DAFTAR TABEL

Tabel I. 1 Lokasi Sumur Penelitian	3
Tabel I. 2 Waktu Penelitian.....	3
Tabel IV. 1 Klasifikasi PY	32
Tabel IV. 2 Parameter Geokimia untuk petroleum potential	32
Tabel IV. 3 Tipe Kerogen dan karakteristik petroleum yang terbentuk.....	33
Tabel IV. 4 Tingkat kematangan batuan induk berdasarkan nilai Ro%	35
Tabel IV. 5 Klasifikasi PY).....	35
Tabel IV. 6 Hubungan antara PI dengan tingkat kematangan.....	36
Tabel IV. 7 Hubungan antara Tmax dengan tingkat kematangan	36
Tabel IV. 8 Interpretasi Kekayaan Batuan Induk.....	37
Tabel IV. 9 Interpretasi Kematangan Termal	38
Tabel IV. 11 Rasio antara C30 Moreatana/Hopana.....	43
Tabel IV. 12 Rasio Tm/Ts sebagai parameter kematangan	44
Tabel V. 1 Fasies dan sub-lingkungan pengendapan Sumur Loa Haur-1	51
Tabel V. 2 Fasies dan lingkungan pengendapan Sumur Semoi-1	52
Tabel V. 3 Fasies dan sub-lingkungan pengendapan Sumur Sakakanan-1	53
Tabel V. 4 Fasies dan sub-lingkungan pengendapan Sumur Mentawir-1	54
Tabel V. 5 <i>Summary</i> sub-lingkungan pengendapan dan fasies setiap sumur.....	55
Tabel V. 6 Data Geokimia Batuan Induk Sumur Loa Haur-1 (REP & Ro%)	56
Tabel V. 7 Data Geokimia GC & GCMS Sumur Loa Haur-1	56
Tabel V. 8 Rangkuman hasil pengujian REP & Ro Sumur Semoi-1	64
Tabel V. 9 Data geokimia batuan Sumur Sakakanan-1 (REP & Ro)	69
Tabel V. 10 Rangkuman analisis GC & GCMS Sumur Sakakakan-1	69
Tabel V. 11 Data geokimia batuan induk Sumur Mentawir-1	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran V.1. 1 Korelasi Biostratigrafi	85
Lampiran V.2. 1 Data Biostratigrafi Sumur Loa Haur-1	86
Lampiran V.2. 2 Data Asosiasi Fosil dan Paleobatimetri Sumur Loa Haur-1	87
Lampiran V.2. 3 Data Biostratigrafi Sumur Semoi-1	88
Lampiran V.2. 4 Data Asosiasi Fosil dan Paleobatimetri Sumur Semoi-1	89
Lampiran V.2. 5 Data Biostratigrafi Sumur Sakakanan-1	90
Lampiran V.2. 6 Data Asosiasi Fosil dan Paleobatimetri Sumur Sakakanan-1	91
Lampiran V.2. 7 Data Asosiasi Fosil dan Paleobatimetri Sumur Mentawir-1	92
Lampiran V.2. 8 Data Asosiasi Fosil dan Paleobatimetri Sumur Mentawir-1	93
Lampiran V.4. 1 Data REP Sumur Loa Haur-1	98
Lampiran V.4. 2 Data GC Sumur Loa Haur-1	98
Lampiran V.4. 3 Data GC Sumur Semoi-1	99
Lampiran V.4. 4 Data REP Sumur Sakakanan-1	100
Lampiran V.4. 5 Hasil GCMS Sumur Sakakanan-1	101
Lampiran V.4. 6 Data Pemantulan Vitrinit Sumur Mentawir-1	101

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Penelitian

Cekungan kutai merupakan salah satu penghasil cadangan hidrokarbon terbesar di Indonesia. Cekungan ini terletak di Pulau Kalimantan bagian timur dengan luas cekungan: $\pm 60.000 \text{ km}^2$ dan ketebalan 14 km. Cekungan ini terbagi menjadi dua, yaitu Sub-cekungan Kutai Atas dan Sub-cekungan Kutai Bawah (Moss & Chambers, 1999). Lapangan-lapangan migas yang ada di Kalimantan berada pada Sub-cekungan Kutai Bawah. Hidrokarbon yang terbentuk pada cekungan ini berasal dari sedimen berumur Miosen yang terendapkan pada lingkungan deltaik (Satyana, 1999).

Batuan induk pada minyak bumi merupakan komponen penting dalam keberadaan sebagai penghasil hidrokarbon yang berasal dari material organik. Material organik penghasil minyak dan gas bumi dikelompokkan menjadi empat yaitu kelompok Tipe I, Tipe II, dan Tipe III dan Tipe IV (Peter & Cassa, 1993). Keempat material organik tersebut terdapat pada lingkungan pengendapan yang berbeda-beda.

Pengendapan batuan induk berpengaruh terhadap jenis material organik. Pada lingkungan deltaik pada bagian proksimal, memungkinkan mendapatkan suplai material organik berupa tanaman tingkat tinggi yang terbawa melalui proses pengendapan fluvial dan rawa sehingga tipe kerogen yang terbentuk berupa tipe kerogen III/IV. Delta pada bagian distal, memiliki pengaruh fluvial yang menurun dan terjadi kenaikan pengaruh laut. Pengaruh laut menyebabkan fitoplankton dan alga dapat mulai hidup. Pencampuran material ini membentuk tipe kerogen II/III pada bagian ini (Barker, C. 1982 dalam Dembicki, 2022).

Daerah Penelitian berada pada Lapangan "AL" yang berada pada Cekungan Kutai, formasi batuan pada daerah penelitian berumur miosen. Akan tetapi, aktivitas pemboran pada lapangan ini hanya menemukan sedikit hidrokarbon yang terperangkap pada batuan reservoir. Hal tersebut dapat terjadi oleh beberapa faktor salah satunya adalah karakteristik batuan induknya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis lebih lanjut karakteristik geokimia batuan induk dan

lingkungan pengendapan sebagai faktor pengontrol karakteristik batuan induk yang ada.

I.2 Rumusan Masalah

Dalam melakukan penelitian ini, terdapat beberapa rumusan masalah, antara lain yaitu:

1. Apa saja satuan batuan pada daerah penelitian?
2. Bagaimana hubungan stratigrafi daerah penelitian?
3. Apa lingkungan pengendapan satuan batuan pada daerah penelitian?
4. Bagaimana kekayaan material pada batuan induk daerah penelitian?
5. Apa tipe kerogen batuan induk daerah penelitian?
6. Bagaimana tingkat kematangan dari batuan induk daerah penelitian?
7. Bagaimana karakteristik batuan induk dan lingkungan pengendapan pada daerah penelitian?

I.3 Maksud dan Tujuan

Maksud penelitian adalah untuk mengetahui hubungan dari lingkungan pengendapan pada batuan induk terhadap karakteristik geokimia.

Adapun tujuan dari penelitian daerah telitian adalah sebagai berikut:

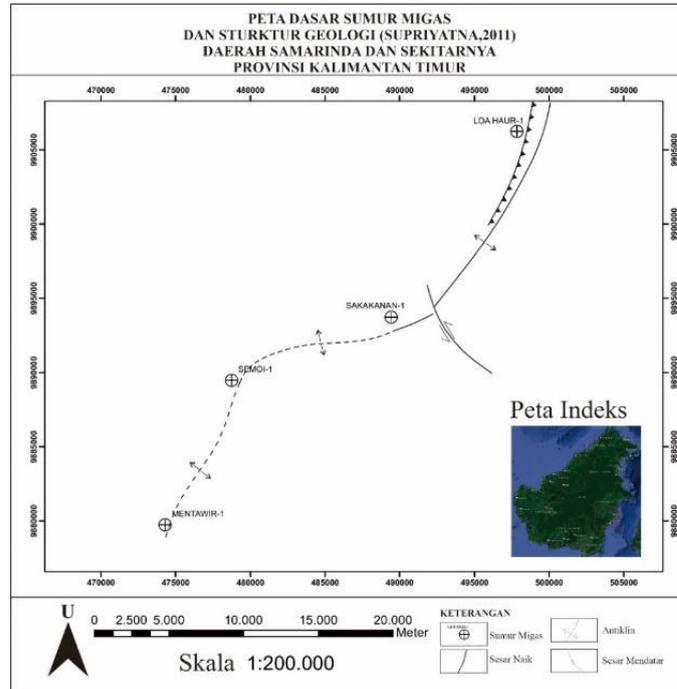
1. Menentukan satuan batuan daerah penelitian.
2. Menentukan hubungan stratigrafi daerah penelitian.
3. Menentukan lingkungan pengendapan daerah penelitian.
4. Menentukan kekayaan material organik pada daerah penelitian.
5. Menentukan tipe kerogen pada daerah penelitian.
6. Menentukan tingkat kematangan batuan induk pada daerah penelitian.
7. Mengetahui karakteristik geokimia batuan induk dan lingkungan pengendapan yang ada.

I.4 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Lapangan “AL” Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur yang termasuk kedalam Cekungan Kutai Bawah. Penelitian ini dilakukan pada empat sumur migas yang ada pada daerah Kutai Kartanegara, sumur tersebut antara lain yaitu Sumur Loa Haur-1, Sumur Semoi-1, Sumur Sakakanan-1, dan Sumur Mentawir-1. Koordinat setiap sumur ada pada **Tabel I.1**.

Tabel I. 1 Lokasi Sumur Penelitian

Nama Sumur	X	Y	Zona UTM
Loa Haur-1	497847	9906244	50S
Semoi-1	478750	9889469	50S
Sakakanan-1	489430	9893726	50S
Mentawir-1	474300	9879742	50S



Gambar I. 1 Peta Dasar Sumur Migas Struktur Geologi Daerah Samarinda dan Sekitarnya, Provinsi Kalimantan Timur

I.5 Waktu Penelitian

Waktu Penelitian dilaksanakan dari bulan Desember 2023 hingga bulan Agustus 2024. Penelitian dimulai dengan studi pustaka, pengambilan data, dan diakhiri dengan penulisan laporan skripsi dan presentasi kolokium tugas akhir. Rincian dari waktu penelitian dapat dilihat pada **Tabel I.2**.

Tabel I. 2 Waktu Penelitian

NO	Kegiatan	2023								2024									
		Desember	Januari	Februari	Maret	April	Mai	Juni	Juli	Agustus	Desember	Januari	Februari	Maret	April	Mai	Juni	Juli	Agustus
1	Studi Pustaka																		
2	Analisis Data Wireline Log																		
3	Analisis Biostratigrafi																		
4	Analisis Geokimia																		
5	Sintesis Data																		
6	Penyusunan Laporan Akhir																		
7	Konsultasi & Administrasi																		
8	Kolokium																		
9	Sidang Pendadaran																		

I.6 Hasil yang Diharapkan

Hasil dari penelitian tugas akhir ini adalah dapat memberikan informasi mengenai lingkungan pengendapan, karakteristik batuan induk, dan hubungan

antara lingkungan pengendapan dan karakteristik geokimia batuan induk di daerah Cekungan Kutai, khususnya pada daerah yang diteliti oleh peneliti. Harapannya dapat bermanfaat bagi pembaca dan khususnya dibidang geologi sumberdaya sebagai tambahan informasi dengan pembahasan analisis lingkungan pengendapan dan analisis geokimia batuan induk.

I.7 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

I.7.1 Manfaat untuk Keilmuan

- Mengaplikasikan ilmu berupa teori yang dipelajari selama perkuliahan.
- Mendapatkan kesempatan untuk menambah wawasan dan pengalaman di dunia profesional dalam bidang geologi.
- Dapat menyelesaikan salah satu kurikulum di Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta dan mendapatkan gelar sarjana pada program pendidikan strata satu (S-1).

I.7.2 Manfaat untuk UPN “Veteran” Yogyakarta

- Membangun hubungan kemitraan antara UPN “Veteran” Yogyakarta dengan Pusat Survey Geologi-Badan Geologi, KESDM.
- Membekali kemampuan dasar yang diperlukan dalam dunia kerja kepada mahasiswa UPN “Veteran” Yogyakarta.

I.7.3 Manfaat untuk Pusat Survey Geologi-Badan Geologi, KESDM

- Membangun hubungan kemitraan antara Pusat Survey Geologi-Badan Geologi, KESDM dengan UPN “Veteran” Yogyakarta.
- Memeroleh tenaga kerja tambahan dari mahasiswa yang melaksanakan tugas akhir di Pusat Survey Geologi-Badan Geologi, KESDM.
- Mendapatkan hasil telitian terbaru yang dapat didiskusikan antara perusahaan dan mahasiswa

BAB II

METODE PENELITIAN

II.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data laporan eksplorasi migas yang akan disediakan oleh Pusat Survey Geologi-Badan Geologi, KESDM. Penelitian ini dilaksanakan dalam empat tahapan, yaitu:

1. Tahapan studi pustaka
2. Tahapan pengumpulan data
3. Tahapan pengolahan dan analisis data
4. Tahapan penyusunan laporan

II.1.1 Tahapan Studi Pustaka

Kegiatan studi pustaka dilakukan sebagai langkah awal dari penelitian yang berguna untuk mendapatkan informasi dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan topik penelitian sehingga dapat memudahkan pada saat melakukan penelitian.

II.1.2 Tahapan Pengumpulan Data dan Integrasi Data

Data pada penelitian kali ini disediakan oleh Pusat Survei Geologi berupa data laporan eksplorasi dan *las* sumur. Data pada laporan eksplorasi meliputi:

Tabel II. 1 Ketersediaan data penelitian

Nama Sumur	LAS Sumur	Mudlog	SWC	Biostrat	REP	GC	GCMS
Loa Haur-1	v	x	v	v	v	v	x
Semoi-1	v	x	v	v	v	x	x
Sakakanan-1	v	x	v	v	v	v	v
Mentawir-1	v	x	v	v	x	x	x

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian kali ini adalah:

1. Laptop *Asus Aspire 5* dengan sistem operasi *Microsoft Windows 11*.
2. Perangkat lunak *Petrel 2018* yang digunakan untuk melakukan analisis sumuran berupa interpretasi litologi, fluida, penentuan formasi dan satuan batuan, serta untuk korelasi antar satuan dengan datum Zonasi Blow (1969).
3. Perangkat lunak *CorelDRAW 2020* yang digunakan untuk membuat diagram, model, dan pengolahan peta.

4. Perangkat lunak *Microsoft Office 2020* yang digunakan untuk membuat inventarisasi data, pembuatan diagram plot, laporan dan presentasi.

II.1.3 Tahapan Analisis dan Sintesis Data

- Analisis Sumuran

Pada tahap analisis yang dilakukan adalah analisis data sumur berupa interpretasi litologi, fluida, dan korelasi yang ada pada menggunakan *software* Petrel 2018. Pada analisis ini juga digunakan untuk menentukan batas-batas formasi dan satuan batuan menggunakan data litologi dan biostratigrafi yang dicocokkan dengan geologi regional Cekungan Kutai menurut Marks (1989).

- Analisis Geokimia

Analisis geokimia pada penelitian ini menggunakan data pengujian *Rock Eval Pyrolysis* (REP), reflektan vitrinit, dan data pengujian *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GCMS). Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kekayaan material organik, tipe kerogen batuan, kematangan batuan, dan lingkungan pengendapan batuan.

- Analisis Lingkungan Pengendapan

Pembangunan model lingkungan pengendapan dengan integrasi data litofasies, biofasies dan elektrofasis.

- Sintesis data lingkungan pengendapan dan karakteristik geokimia batuan induk

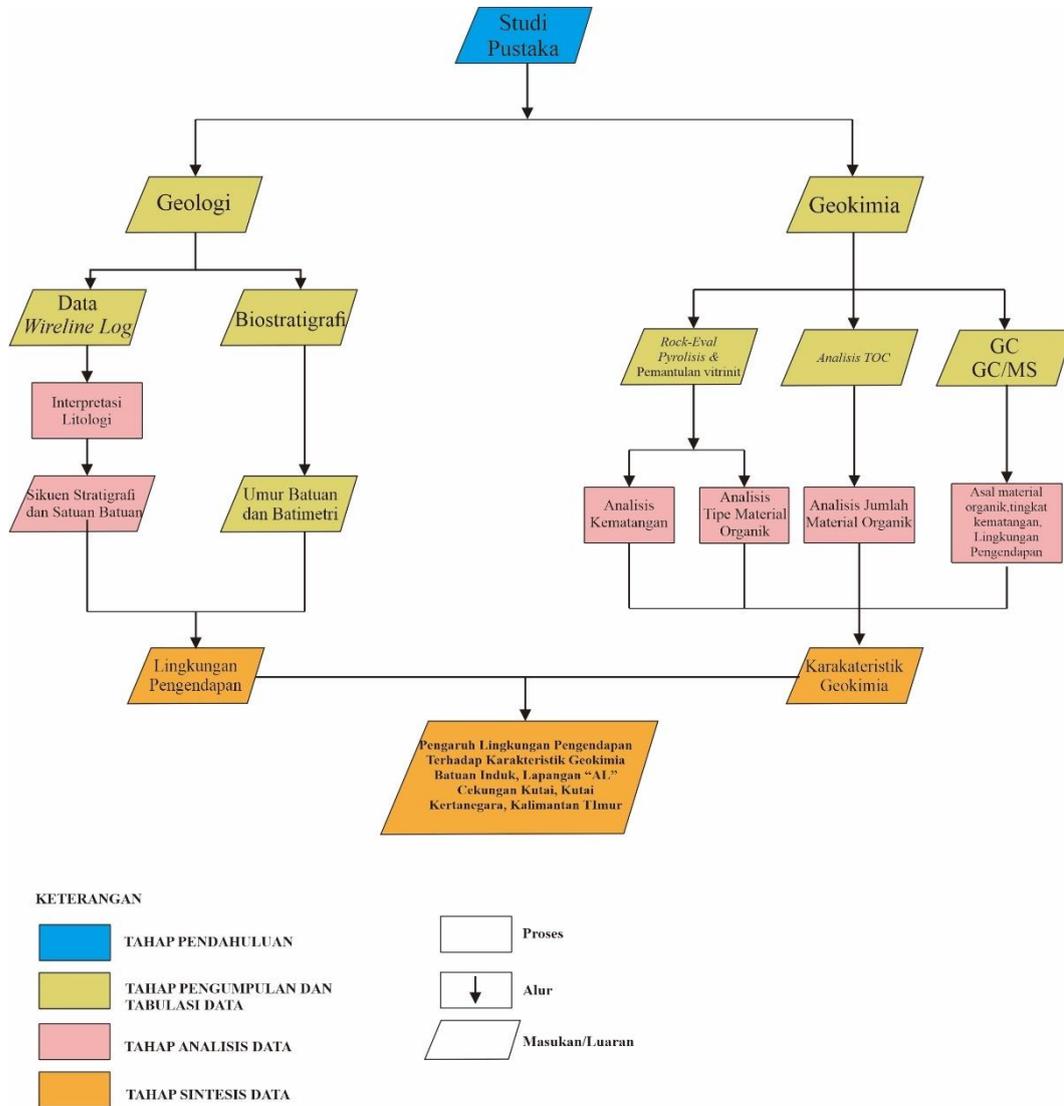
Dalam menganalisis pengaruh antara lingkungan pengendapan dan geokimia batuan induk dilakukan dengan cara mengidentifikasi lingkungan pengendapan di setiap satuan dan bagaimana karakteristik geokimia batuan induk berupa kekayaan material organik, tipe kerogen, kematangan menggunakan REP, dan GCMS di setiap satuan batuan. Apakah terdapat perbedaan karakteristik geokimia batuan induk pada setiap sub-lingkungan pengendapan yang berbeda?

II.1.4 Tahapan Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan dilakukan setelah tahapan sebelumnya sudah terlaksana, guna merangkum dan disajikan dalam bentuk tulisan yang dapat dibaca sebagai hasil penelitian. Hasil dari analisis dan pembahasan juga akan

dipresentasikan pada presentasi kolokium di Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta.

II.2 Diagram Alir



Gambar II. 1 Diagram Alir Penelitian

BAB III

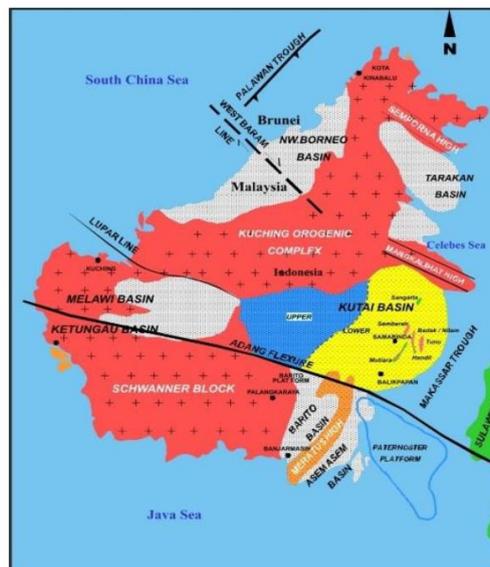
TINJAUAN GEOLOGI REGIONAL

III.1 Fisiografi Regional

Daerah penelitian berada di Pulau Kalimantan, terkhusus pada Cekungan Kutai. Batas-batas cekungan ini antara lain yaitu (modifikasi Nuay, 1985):

1. Pada bagian utara dibatasi oleh Tinggian Mangkalihat dan Sesar Sangkulirang.
2. Pada bagian timur dibatasi oleh Selat Makassar.
3. Pada bagian selatan dibatasi oleh Sesar Adang.
4. Pada bagian barat dibatasi oleh Tinggian Kuching.
5. Pada bagian tenggara oleh Paparan Patenosfer.

Pulau Kalimantan terdiri dari enam fisiografi, yaitu fisiografi Tinggian Kuching, Blok Schwaner, Tinggian Meratus, Tinggian Mangkalihat, Cekungan Kutai, Cekungan Tarakan, Cekungan Melawi, Cekungan Barito, Cekungan Asem-
asem, Cekungan Barat Laut Borneo, dan Cekungan Ketangau.



Gambar III. 1 Fisiografi Pulau Kalimantan (Nuay, 1985)

III.2 Stratigrafi Regional

Cekungan Kutai terdiri dari endapan sedimen yang berumur Tersier yang endapan yang berasal dari fase transgresi dan regresi (Allen & Chambers, 1998)

1. Fase Transgresi Paleogen

Fase pengisian cekungan Paleogen dimulai ketika fase tektonik ekstensional dan pengisian rift pada kala Eosen. Pada masa ini, Cekungan

Tarakan, Kutai, dan Barito merupakan zona *Subsidence* yang saling berhubungan (Chambers & Moss, 2000).

2. Fase Regresi Neogen

Fase ini dimulai pada kala Miosen Awal hingga sekarang. Proses pengendapan berlangsung hingga saat ini menghasilkan progradasi delta yang sangat tebal. Sedimen regresi ini terdiri dari lapisan sedimen klastik delta hingga laut dangkal dengan arah pengendapan dari barat ke timur, pada endapan ini banyak ditemukan lapisan lignit.

Menurut Satyana dkk, 1999 stratigrafi Cekungan Kutai terdiri dari:

a. Kala Paleosen

Pada Kala Paleosen terendapkan Formasi Keham Haloq pada bagian atas cekungan (bagian barat cekungan). Formasi ini berupa sedimen aluvial yang memiliki batupasir.

b. Kala Paleosen-Eosen Tengah hingga Oligosen

Pada kala ini terjadi penurunan cekungan, terjadi pengendapan Serpilh Mangkupa pada lingkungan tepi-laut terbuka. Pada beberapa lokasi terdapat sedimen silisiklastik kasar yang disebut Beriun Sands yang berasosiasi dengan sekuen serpilh. Hal ini mengindikasikan bahwa adanya gangguan dari penurunan cekungan oleh pengangkatan. Pada proses penurunan terjadi secara cepat setelah pengendapan Beriun Sands melalui mekanisme *basin sagging* menghasilkan pengendapan serpilh laut dari Formasi Atan dan batuan karbonat Formasi Kedango.

c. Oligosen Akhir

Pada Oligosen Akhir terjadi pengangkatan pada tepi cekungan di bagian timur. Pengangkatan ini berasosiasi dengan Batuan Vulkanik Sembulu.

d. Miosen Awal - Pleistosen

Pada Miosen Awal – Pleistosen terjadi pengangkatan cekungan dan inversi. Pada rentang waktu ini, terendapkan seri endapan aluvial dan deltaik.

Sub-Cekungan Kutai Bawah merupakan bagian dari Cekungan Kutai yang terbentuk pada Umur Miosen Oligosen Akhir hingga sekarang. Adapun urutan dari stratigrafi dari muda ke tua antara lain yaitu:

1. Formasi Handil Dua

Formasi ini disusun oleh pasir, lempung, dan lumpur. Formasi ini berumur Holosen – Resen yang terendapkan pada lingkungan Fluvial - Sistem Pasang Surut Delta. Formasi ini memiliki hubungan menjemari dengan Formasi Sepinggaan (Marks dkk., 1982).

2. Formasi Attaka

Formasi ini terdiri dari lempung, pasir, dan batulempung dengan beberapa bioklastik foraminifera dan perlapisan lignit. Lingkungan pengendapan formasi ini pada neritik tengah – laut lepas yang berumur Pleistosen-resen (N22-N23). Formasi ini terendapkan selaras diatas Formasi Sepinggaan.

3. Formasi Sepinggaan

Formasi ini terdiri dari lempung, batugamping, dan pasir. Formasi ini terendapkan pada lingkungan neritik atas hingga tengah yang berumur Miosen Tengah (Tf3, N13) hingga Pliosen N21.

4. Formasi Tanjung Batu

Formasi Tanjung Batu tersusun dari perselinngan serpih, batulempung, batulanau, batupasir, dan batubara pada bagian bawah yang terendapkan pada lingkungan Miosen Tengah hingga Pliosen (Tf3-Th). Formasi ini memiliki hubungan menjemari dengan Formasi Sepinggaan dan hubungan selaras dengan Anggota Lidah Klandasan.

5. Anggota Lidah Klandasan

Anggota Lidah Klandasan terdiri dari batugamping berwarna abu-abu yang berselingan dengan napal yang terendapkan pada paparan dalam yang berumur Tf2. Formasi ini terendapkan diatas Formasi Mentawir dan Gelingsih.

6. Formasi Mentawir

Formasi ini terdiri dari pasir masif dan batupasir yang berselingan dengan batulempung, batulanau, dan lignit. Pada beberapa tempat ditemukan batugamping dan napal yang terendapkan pada Lingkungan paralik hingga deltaik dengan umur Miosen Tengah (N9-N13). Formasi ini berhubungan menjemari dengan Formasi Gelingsih dan selaras dengan Formasi Maruat.

7. Formasi Gelingseh

Formasi Gelingseh terdiri dari batulempung sisipan batupasir yang terendapkan pada neritik tengah hingga luar yang berumur Miosen Tengah (N9-N13). Formasi ini menjemari dengan Formasi Mentawir dan selaras dengan Formasi Maruat.

8. Formasi Maruat

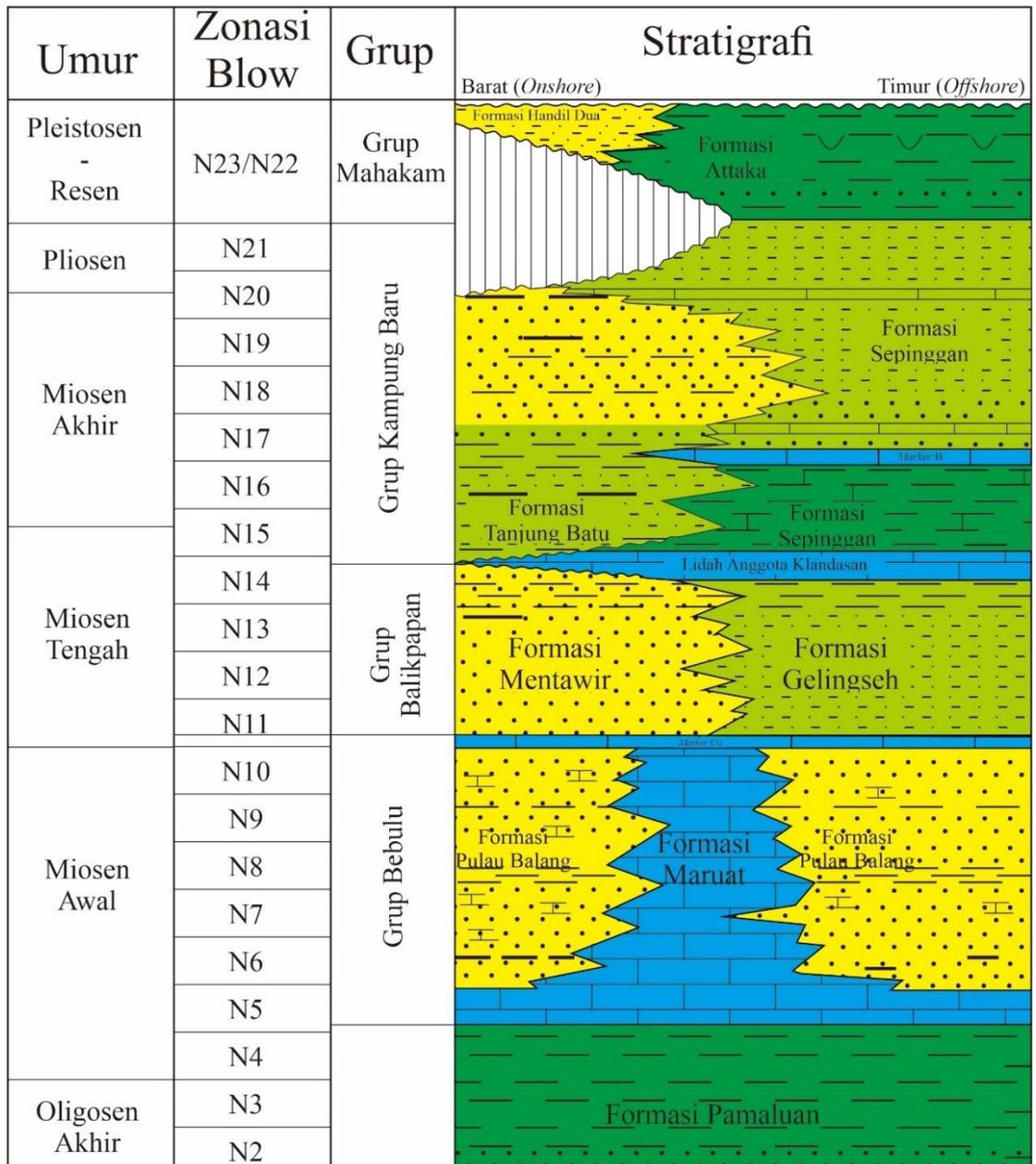
Formasi Maruat terdiri dari dua sekuen batuan karbonat yaitu sekuen kalkarenit bioklastik (Fasies Reef) dan perselingan serpih dan batupasir halus pada bagian bawah. Formasi ini berumur Miosen awal – Miosen awal bagian tengah (N5-N9) yang terendapkan pada Paparan Karbonat Dangkal. Formasi ini memiliki hubungan menjemari dengan Formasi Pulaubalang

9. Formasi Pulaubalang

Formasi Pulaubalang terdiri dari perselingan batupasir dan batulanau dengan beberapa tempat ditemukan batugamping dan batulempung. Pada bagian bawah formasi ini terdapat lapisan tipis batubara dan batupasir. Formasi ini terendapkan pada Neritik Atas yang terpengaruh dengan Delta dan Paralik pada bagian atas formasi terendapkan pada Neritik tengah hingga laut lepas. Formasi ini menjemari dengan Formasi Maruat.

10. Formasi Pamaluan

Formasi terdiri dari batulumpur dan serpih. Pada bagian bawah formasi terdapat batulanau dan batulumpur dengan sisipan *tightsand*. Pada bagian atas formasi terdiri dari batulumpur yang berselingan dengan serpih yang ditemukan juga batupasir dan batubara. Formasi ini merupakan formasi yang paling tua yang ditemukan pada Sub-cekungan Kutai Bawah.

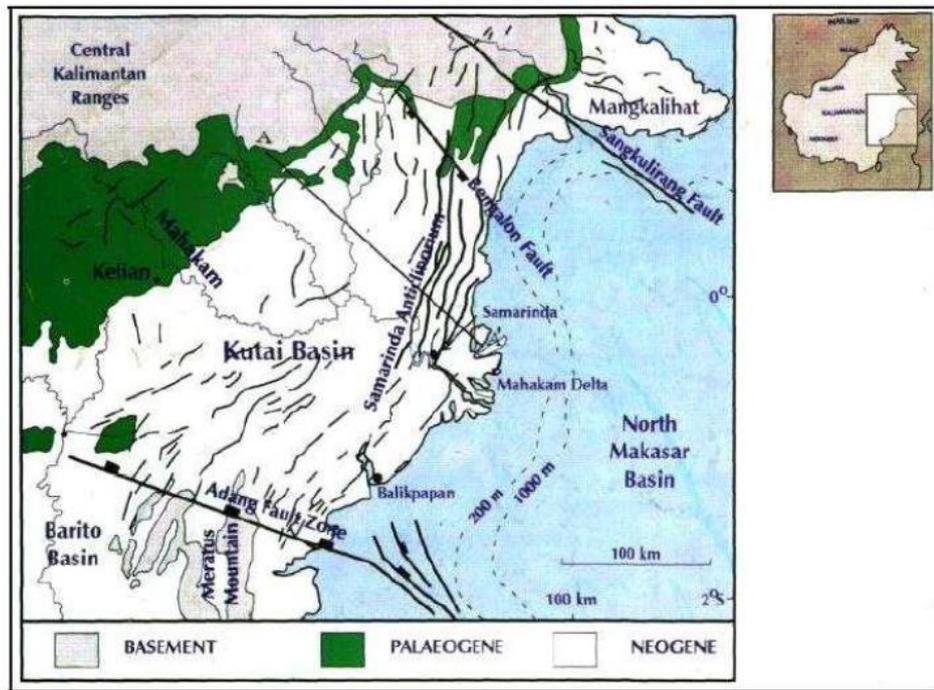


Gambar III. 2 Stratigrafi Regional (Modifikasi Marks dkk., 1982)

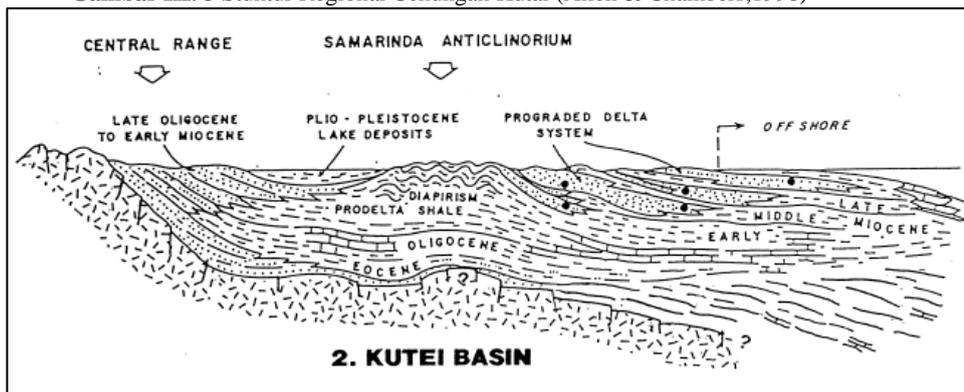
III.3 Struktur Geologi Regional

Struktur Geologi yang dominan pada daerah penelitian berorientasi Timur timur laut-Barat-barat daya (TTL-BBD) berupa lipatan dan sesar. Pola struktur yang ada dikenal dengan Antiklinorium Samarinda-Mahakam Foldbelt. Struktur memiliki karakteristik berupa berbentuk antiklin asimetri, mengandung sedimen silisiklastik berumur Miosen. Struktur ini banyak dijumpai pada bagian timur Cekungan Kutai. Pada bagian barat cekungan, telah mengalami pengangkatan akibat tektonik inversi (Satyana dkk., 1999).

Pembentukan struktur geologi pada daerah ini melalui beberapa proses, yaitu kombinasi dari proses sedimentasi dan tektonik. Proses sedimentasi menyebabkan terbentuk sesar tumbuh (*Growth Fault*) pada Miosen Akhir membentuk diapir serpih pada tengah cekungan. Tektonik kompresi yang terjadi dari timur ke barat telah mengaktifkan kembali sesar turun dan membentuk sesar inversi. Kompresi pada Plio-Pliosen dapat terjadi akibat dari *coupling system* akibat sesar mendatar kanan antara Sangkulirang dan Patenosfer (Biantoro, 1992).



Gambar III. 3 Stuktur Regional Cekungan Kutai (Allen & Chambers,1998)



Gambar III. 4 Penampang Barat - Timur Cekungan Kutai (Satyana dkk., 1999)

III. 4 Tektonik Cekungan Kutai

Cekungan Kutai merupakan cekungan yang terbentuk dari dua kejadian tektonik, yaitu Pengangkatan Tinggian Kucing dan tektonik *syn-depositional* deltaik. Adapun proses kejadian dijelaskan dibawah ini:

a. Paleosen-Eosen Awal

Periode ini merupakan fase *pre-rift* Cekungan Kutai yang dimulai dengan subduksi Proto Cina Selatan ke arah barat daya Schwaner yang membentuk cekungan depan busur dengan isi berupa Grup Embaluh dan Selangkai.

b. Eosen Tengah-Akhir

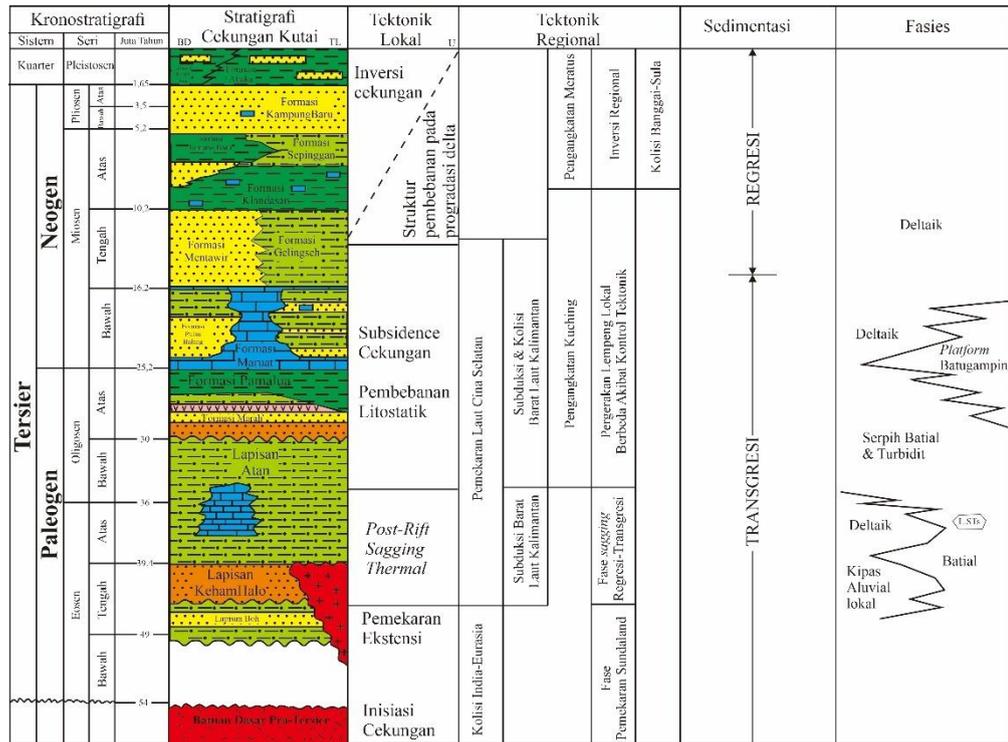
Periode ini, subduksi dari Proto Cina Selatan ke barat daya Shwaner yang mengarah ke tenggara mengalami pelemahan energi akibat dari adanya subduksi Makassar Utara yang mengarah ke barat laut menyebabkan terjadinya Tektonik *Rollback* dari Proto Cina Selatan menghasilkan sedimen *syn-rift*. Pemekaran dari Sub-cekungan Kutai Atas – Bawah terus berlanjut (Bachtiar, 2013) dan mengendapkan sedimen-sedimen aluvial yang memiliki butiran cukup kasar (Satyana dkk., 1999).

c. Oligosen Awal – awal Oligosen Akhir

Kala ini Cekungan Kutai mengalami *sagging* (Bachtiar, 2013) akibat dari pembebanan litostatik yang mengendapkan seri serpih laut (Satyana dkk., 1999).

d. Akhir Oligosen Akhir –Miosen Akhir

Periode Oligosen Akhir hingga Miosen Awal Mikrokontinen Luconia menumbuk Blok Schwaner dan Barat Daya Schwaner menghasilkan inversi dari batuan dasar hingga Miosen Akhir. Hal tersebut menyebabkan sesar penyekat antara Sub-cekungan Kutai Atas dan Bawah mengalami reaktivasi pada bagian atas Sub-Cekungan Kutai Bawah. Pada Kala ini Sub-cekungan Kutai Bawah dan Makassar Utara mengalami *Subsidence* mengendapkan sedimen hingga sekarang (Bachtiar, 2013).



Gambar III. 5 Tektonostratigrafi Cekungan Kutai (Modifikasi Satyana, dkk., 1999 & Moss & Chambers, 1998)

III.5 Petroleum System Cekungan Kutai

Petroleum system memiliki lima unsur yaitu Batuan Induk, Batuan Reservoir, Batuan Tudung, Waktu, dan Perangkap. Adapun *petroleum system* Cekungan Kutai sebagai berikut:

a. Batuan Induk

Batuan Induk Cekungan Kutai merupakan batuan serpih karbonan dan batubara pada lingkungan deltaik yang berumur Miosen Tengah (Paterson dkk., 1997) pada Formasi Balikpapan (Satyana dkk., 1999). Pembentukan minyak pada cekungan ini terbentuk pada nilai R_o antara 0,35 - 0,6 dan perubahan minyak menjadi gas pada nilai R_o 0,6 – 1,2. Batuan induk cekungan ini matang pada bagian bawah cekungan.

b. Batuan Reservoir

Batuan Reservoir dari cekungan ini adalah batupasir deltaik dari Formasi Balikpapan (Miosen Tengah) dan Formasi Kampong Baru (Miosen Akhir-Pliosen) (Satyana dkk., 1999).

c. Batuan Tudung

Batuan tudung pada cekungan ini berupa batupasir pada fasies *bar sands* dan *tidal*. Hal ini dikarenakan pada batupasir fasies ini memiliki porositas yang

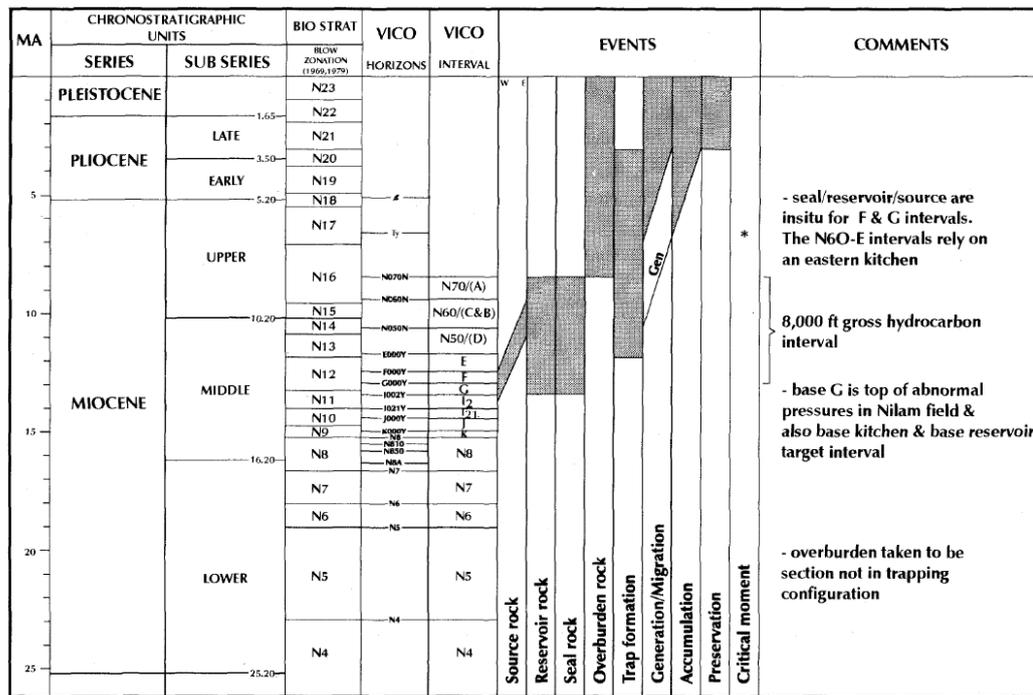
lebih buruk tidak berhubungan dengan batupasir dari fasies *channel* (Paterson dkk., 1997).

d. Perangkap

Jenis perangkap untuk hidrokarbon pada cekungan ini didominasi oleh perangkap stratigrafi dibandingkan dengan perangkap struktur. Pada Perangkap struktur berada puncak antiklin dari kompleks Antiklinorium Samarinda sedangkan pada perangkap stratigrafi berada pada perbedaan fasies dari batuan induk pada fasies *delta plain* dan *carrier bed* dari fasies *channel* terhalang oleh *sand* dan *tidal* (Paterson dkk., 1997)

e. Migrasi

Migrasi hidrokarbon terjadi secara horizontal dan secara regional *updip* dari timur ke barat, dari distal ke proksimal. Pada migrasi vertikal terjadi ketika batupasir/serpih memiliki rasio 35% pada fluvial deltaik atau pada daerah yang mengalami patahan.



Gambar III. 6 Chart Sistem *Petroleum* Cekungan Kutai (Paterson, dkk., 1997)

BAB IV

LANDASAN TEORI

IV.1 Wireline Log

Pengambilan data *well logging* dengan metode *Logging While Drilling* (LWD) dilakukan saat melakukan pemboran. Peralatan yang digunakan pada saat pengambilan data, yaitu sensor *downhole logging*, sistem transmisi data, dan *surface interface* (Rider, 2002). Data LWD dapat disimpan di downhole memori dan diambil ketika alat ditransmisikan dalam bentuk digital melalui lumpur pemboran secara real time saat pengeboran. LWD menghasilkan data log yang biasa disebut dengan *triple combo*, terdiri atas log gamma ray, log resistivitas, log neutron, dan log densitas.

IV.1.1 Log Radioaktif (*Gamma Ray*)

Log Radioaktif merupakan gelombang elektromagnetik yang dapat mengukur kekuatan radioaktif alami yang terdapat di dalam formasi dan juga berguna untuk membedakan antara pasir dan batuserpih di lingkungan silisiklastik (Darling, 2005). Unsur radioaktif alami utama yang ditemukan dalam batuan yaitu Uranium (U^{238}), Potasium (K^{40}), Thorium (Th^{232}). Biasanya unsur radioaktif terdapat pada batuan yang impermeabel (lempung/batuserpih), sehingga pada lapisan yang permeabel (pasir) memiliki nilai GR yang rendah. Log *gamma ray* dapat direkam di *open hole* dan *cased hole*, dengan, cairan atau gas.

GR log ini dapat digunakan sebagai:

- Indikator perbedaan litologi dan *shaliness*
- Evaluasi kandungan batuserpih (Vsh)
- Evaluasi bijih mineral radioaktif
- Evaluasi lapisan mineral yang bukan radioaktif
- Indikator fasies
- Korelasi log pada sumur berselubung

IV.1.2 Log Resistivitas

Log resistivitas dibagi menjadi 2 yaitu laterolog dan tipe induksi. Laterolog menggunakan arus frekuensi rendah yang membutuhkan *Water Base Mud* (WBM) untuk mengukur potensi yang disebabkan oleh sumber arus melalui *array detector*. Laterolog mengirimkan arus dari elektroda pada alat *logging* melalui

formasi, ke elektroda yang terletak di permukaan atau *downhole*. Tipe induksi menggunakan arus dengan frekuensi tinggi yang membutuhkan *Oil Base Mud* (OBM), pada *coils* utama untuk menginduksi arus eddy dalam formasi dan *coils* sekunder untuk mengukur medan magnet yang disebabkan oleh arus eddy. Tipe induksi tidak memerlukan jalur konduktif di dalam lubang bor. Mereka bekerja di lumpur berbasis minyak dan lubang berisi udara.

Log resistivitas memiliki kekurangan yang hanya dapat berfungsi apabila lubang bor memiliki lumpur konduktif. Lumpur konduktif merupakan campuran antara lumpur dan air garam. Log ini juga bergantung pada tekstur dan hubungan pori-pori batuan. Semakin kasar batumannya, maka nilai resistivitasnya semakin tinggi dan memiliki porositas yang baik. Sedangkan semakin halus batumannya, maka nilai resistivitasnya rendah dan memiliki porositas yang buruk. Log Resistivitas dapat digunakan sebagai:

- Volume hidrokarbon
- Persamaan saturasi air

IV.1.3 Log Neutron

Log neutron ini merekam jumlah neutron yang tertangkap kembali oleh detektor sehingga berhubungan dengan indeks hidrogen formasi. Porositas formasi diturunkan dari *Hydrogen Indeks* (HI) yang diukur dengan sinar gamma yang dipancarkan saat disuntikkan neutron epitermal dari sumber dalam *string* ditangkap dalam pembentukan. Hidrogen sebagian besar terkandung dalam air, minyak, dan gas. Jumlahnya dapat digunakan untuk memperkirakan perkiraan porositas.

Respon alat *logging* neutron mencerminkan banyaknya atom hidrogen di dalam formasi batuan. Karena minyak dan air mempunyai jumlah hidrogen per unit volume yang hampir sama, maka log neutron akan memberikan respon porositas fluida dalam formasi bersih. Apabila alat ini mendeteksi suatu batuan batuserpih/lempung, akan memiliki nilai neutron yang tinggi, dan sebaliknya.

IV.1.4 Log Densitas

Log densitas adalah rekaman densitas keseluruhan (*bulk density*) batuan. *Bulk density* ini mencakup densitas matriks dan fluida di dalamnya. Prinsip kerja log densitas yaitu suatu sumber radioaktif dari alat pengukur dipancarkan sinar

gamma dengan intensitas energi tertentu menembus formasi/batuan. Nilai densitas bergantung pada batuan. Semakin halus suatu batuan, maka nilai densitasnya semakin tinggi dan memiliki porositas rendah.

IV.2 Biostratigrafi

Biostratigrafi merupakan suatu metode yang digunakan untuk menentukan umur dari suatu batuan dan juga korelasi antar satuan batuan yang ada menggunakan fosil. Fosil yang dapat digunakan untuk melakukan korelasi satuan batuan dan umur relatif adalah yang memiliki persebaran geografi yang luas, hidup pada umur yang relatif sempit/singkat, dan memiliki ciri-ciri fisik yang berbeda dan evolusi yang cepat yang dapat dibedakan dengan organisme lain. Hal tersebut biasa dikenal dengan fosil indeks (Selley dkk., 2005).

Pada analisis batuan induk, biostratigrafi dapat digunakan untuk penentuan umur lapisan batuan dan lingkungan kedalaman disusun dengan menggunakan FAD (*First Appearance Datum*) dan LAD (*Last Appearance Datum*) dari foraminifera dan nanofossil berdasarkan datumnya (Petrizzo, M.R., & B.T. Huber, 2006).

IV.3 Lingkungan Pengendapan

Lingkungan pengendapan merupakan karakteristik dari suatu tatanan geomorfik dengan proses fisika, kimia, dan biologi berlangsung menghasilkan suatu jenis endapan sedimen tertentu (Boggs, 2006). Siklus sedimentasi melalui proses pelapukan, erosi, transportasi, pengendapan, dan diagenesis keseluruhannya akan menunjukkan produk akhir dari batuan maupun lingkungan yang terbentuk. Lingkungan pengendapan memiliki peran utama dalam menjelaskan bagaimana tekstur, struktur, perlapisan dan karakteristik stratigrafi dari batuan yang ada. Sehingga melalui hubungan genetik antara proses pengendapan dan karakteristik batuan yang ada mampu menjadi suatu alat yang dapat menjelaskan dan mengintepretasikan kondisi dari lingkungan pengendapan dimasa lampau.

Analisis lingkungan pengendapan berguna untuk mengidentifikasi karakteristik yang khas dari suatu lingkungan. Proses identifikasi dari lingkungan pengendapan dengan menggunakan struktur dan tekstur sedimen, asosiasi fasies, dan fosil. Berdasarkan dari karakteristik yang ada dapat digunakan dalam

membangun model fasies untuk setiap lingkungan pengendapan. Berdasarkan Boggs 2006 klasifikasi lingkungan pengendapan dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Darat

Lingkungan pengendapan darat dibagi menjadi sistem fluvial (*alluvial fan, braided stream, meandering stream*), *eolian desert system*, sistem lakustrin, dan *glacial system*.

2. Transisi

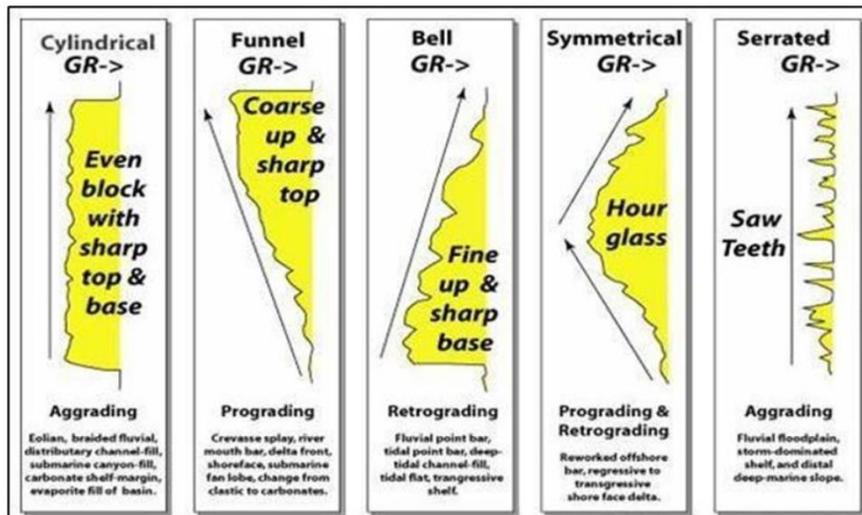
Lingkungan pengendapan transisi dibagi menjadi sistem deltaik (*delta plain, delta fornt, prodelta*), *pantai and barrier island system*, estuarin, sistem laguna, dan *tidal-flat system*.

3. Laut

Lingkungan pengendapan laut dibagi menjadi neritic system (continental shelf dan organic reef), dan oceanic system (continental slope dan deep ocean floor).

IV.3.1 Elektrofasies

Elektrofasies merupakan salah satu metode untuk menafsirkan informasi geologi seperti sikuen log, lingkungan pengendapan dan fasies dengan menggunakan data *wireline log* (Rider, 1996). Selley (1978) dan Walker (1992) menyebutkan bahwa *log Gamma Ray* memperlihatkan variasi dalam suatu suksesi ukuran besar butir (dalam kondisi normal). Pada tiap lingkungan pengendapan menghasilkan pola energi pengendapan yang berbeda. Pola-pola log biasanya menunjukkan energi pengendapan yang berubah, yaitu berkisar antara dari energi tinggi (batupasir) sampai rendah (serpih). Perbedaan ukuran butir dan ketebalan lapisan dapat mengindikasikan adanya perbedaan lingkungan pengendapan yang berbeda-beda.



Gambar IV. 1 Bentuk elektrofasis untuk penentuan fasies

Proses identifikasi litologi serta ukuran butir, pada umumnya menggunakan log radiokatif. Akan tetapi, apabila dalam mengidentifikasi ukuran butir banyak yang mengandung unsur radioaktif, log radioaktif kurang baik digunakan. Namun, kombinasi data log resistivitas dan log *spontaneous-potential* akan membantu untuk menggambarkan litologinya (Walker, 1992).

a. Bentuk Log *Blocky (Blocky Shapped)*

Bentuk log *Blocky* merupakan bentuk log yang merepresentasikan homogenitas suatu reservoir dengan sifatnya yang ideal. Bentuk silinder pada log GR atau SP ini bisa menunjukkan sedimen tebal dan homogen yang dibatasi oleh pengisian channel (*channel-fills*) dengan kontak yang tajam. Bentuk seperti tersebut diasosiasikan dengan endapan sedimen *braided channel*, *estuarine*, *submarine channel fill*, *anastomosed channel* dan *eolian dune*.

b. Bentuk Log Corong (*Funnel Shapped*)

Bentuk Log Corong adalah bentuk yang diasosiasikan dengan sedimen yang mengkasar keatas dengna ukuran butir relatif sama. Bentuk ini dapat diinterpretasikan berada pada sebagai fasies *delta front*, *distributary mouth bar*, *crevasse splay*, pantai, dinding pantai, *strainplain*, paparan, *prograding shelf* atau kipas bawah laut.

c. Bentuk Log Tabung (*Bell Shapped*)

Bentuk pola tabung dapat diinterpretasikan merupakan sebuah suksesi sedimen yang bergradasi menghalus ke atas. Bentuk log ini diasosiasikan sebagai hasil dari endapan gosong, endapan pasang-surut, *transgressive shelf sand*, *channel* bawah laut atau turbidit.

d. Bentuk Log Simetris-Asimetris (*Symmetrical-Asymmetrical Pattern*)

Bentuk ini adalah bentuk keserasian antara bentuk log tabung dan corong. Pada bentuk ini, pola sedimentasi yang ada merupakan kombinasi antara mengkasar keatas dan menglus keatas. Bentuk ini dapat disebabkan oleh adanya proses bioturbasi. Bentuk simetri diasosiasikan berasal dari endapan *shelf sand*, *sub-marine fan*, ataupun *sandy offshore bar*.

e. Bentuk Log Bergerigi (*Serrated*)

Bentuk ini merupakan pola yang merepresentasikan heterogenitas dari suatu reservoir. Bentuk ini menyerupai gigi hiu yang merupakan hasil dari proses agradasi dan terjadi akibat badai. Pada umumnya diinterpretasikan sebagai lingkungan pengendapan dataran limpah banjir fluvial, paparan dominasi badai dan lereng laut dalam distal.

IV.3.2 Sikuen Stratigrafi

Sikuen stratigrafi adalah ilmu yang mempelajari hubungan batuan dalam perulangan kerangka waktu stratigrafi, yang mana secara pembentukan sikuennya berhubungan dengan batas strata yang berupa permukaan dari erosi atau nondeposisi (*correlative conformities*). hubungan ini dihasilkan akibat dari interaksi antara sedimentasi, erosi dan perubahan base level (Posamentier, et al., 1998 dan Van Wagoner, et al, 1995). Menurut Van Wagoner (1990), bidang batas pada stratigrafi dibagi menjadi *sequence boundary* (SB) tipe I dan II, *Maximum flooding surface* (MFS) dan *Transgressive Surface* (FS).

A. Sequence Boundary (SB)

Sequence boundary merupakan bidang tunggal yang memiliki persebaran luas serta memisahkan batuan di atas dan dibawah dalam unit stratigrafi berbeda (Van Wagoner, dkk., 1990). Posamentier dan Allen (1999), menambahkan bahwa batas sikuen merupakan suatu bidang ketidakselarasan regional atau padanannya yang dikontrol oleh penurunan muka air laut. Bidang ini merupakan bidang

kesamaan waktu dikarenakan tersebar pada skala cekungan dan bersifat global karena dikontrol oleh datum biostratigrafi.

Sequence boundary terbentuk pada saat penurunan muka air laut dan sedimen atau pada saat *lowstand system tract*. Ketika penurunan muka air laut suplai sedimen besar, maka akan terjadi bidang-bidang erosi yang banyak. Apabila suplai sedimen besar maka akan tersingkap ke permukaan, namun tidak menunjukkan banyak bidang erosi. Penentuan SB dapat dikalibrasi dari batuan inti dan data log dan apabila data batuan inti tidak tersedia maka karakter log yang berbentuk *blocky* dan *channel* yang regional dapat dipakai untuk menentukan posisi SB (Posamentier dan Allen, 1999).

B. Maximum Flooding Surface (MFS)

MFS merupakan bidang permukaan sebagai hasil dari puncak transgresi pada *condensed section* atau dengan kata lain terbentuknya pada saat transgresi mencapai maksimum atau pada saat laju pengendapan sedimen sangat kecil (Van Wagoner, 1990). MFS juga merupakan batas antara *transgressive system tract* dengan *highstand system tract* yang berada di atasnya atau merupakan pembatas antara parasikuen set yang beretrogradasi di bawahnya dan parasikuen set yang berprogradasi di atasnya (Posamentier dan Allen, 1999).

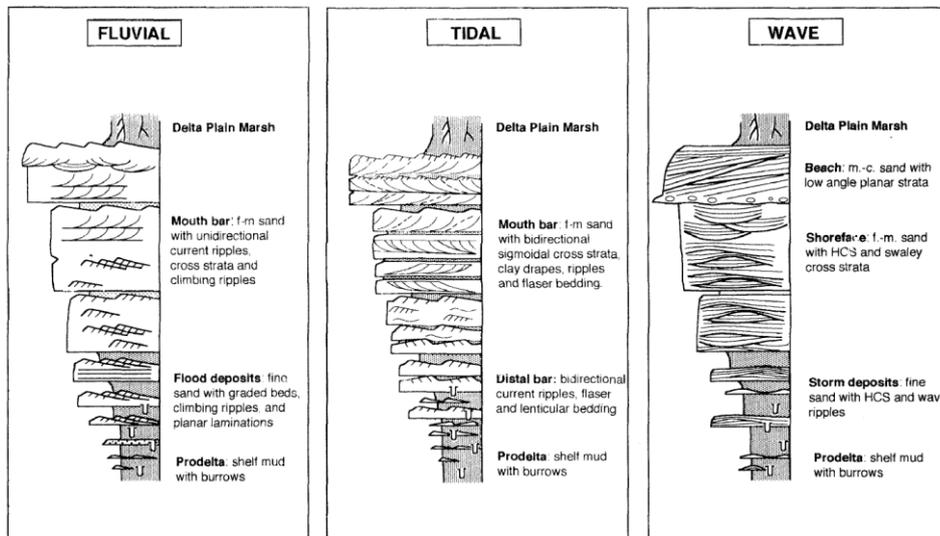
C. Transgressive Surface (TS)

Transgressive surface adalah bidang permukaan yang mana berupa *flooding surface* pertama yang menandakan akhir dari regresi atau awal dimulainya transgresi. TS merupakan pembatas antara parasikuen yang berprogradasi atau beragradasi di bawahnya dengan parasikuen yang beretrogradasi di bagian atasnya.

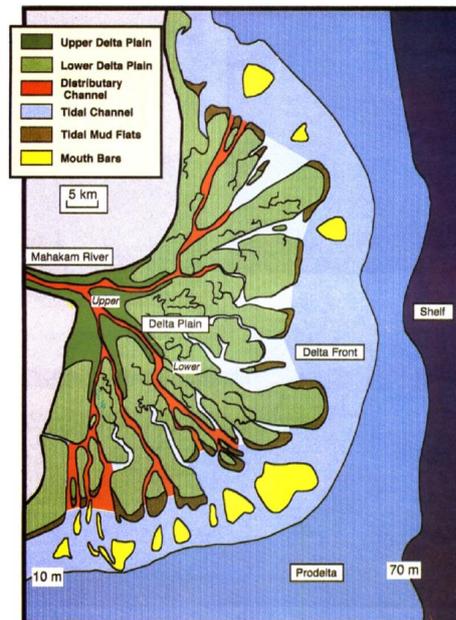
IV.3.2 Lingkungan Pengendapan Delta

Delta merupakan garis pantai yang menjorok ke laut atau tubuh air yang luas (Elliott, 1986 dalam Allen & Chambers, 1998) yang mengendapkan sedimen fluvial pada hilir sungai di lakustrin atau garis pantai. Bentuk delta dibangun berdasarkan dari asosiasi fasies dan geometri reservoir yang diambil dari proses fluvial alami yang terjadi dan intensitas pada daerah pesisir. Lingkungan Pengendapan Delta digolongkan menjadi tiga, yaitu Delta Dominasi Sungai, Delta Dominasi Arus, dan Delta Dominasi Pasang Surut. Ketiga jenis dibedakan

berdasarkan karakteristik struktur sedimen dan fasies yang terbentuk. Secara umum, Lingkungan Pengendapan Delta terbagi menjadi tiga sub-lingkungan pengendapan, yaitu dataran delta (*Delta Plain*), *Delta Front*, *Prodelta* yang terbagi berdasarkan litologi, fasies, dan potensi reservoir.



Gambar IV. 2 Karakteristik fasies dan struktur sedimen pada endapan delta (Allen & Chambers, 1998)



Gambar IV. 3 Morfologi dan fasies lingkungan pengendapan delta (Allen & Chambers, 1998)

- **Dataran Delta (*Delta Plain*)**

Dataran Delta merupakan bagian delta yang ditutupi oleh rawa, laguna, dan teluk dangkal. Berdasarkan dari vegetasinya, terbagi menjadi dua yaitu dataran delta atas (*upper delta plain*) dan dataran delta bawah (*lower delta plain*). Bagian atas mengandung tanaman keras, pada bagian bawah

mengandung mangrove. Lingkungan Dataran Delta terbagi menjadi dua sub-lingkungan yaitu *distributary channel* dan *interdistributary channel*. *Distributary Channels* berbentuk percabangan alur yang terhubung pada dataran delta dan sistem fluvial sedimen pada pantai yang terisi oleh batupasir sedang yang baik sebagai reservoir. *Interdistributary bay* yang memiliki arus lemah sehingga mengandung batualanau, Batulumpur, dan batulempung karbonan.

a. Upper Delta Plain

Upper delta plain adalah bagian delta yang terletak pada bagian atas area pasang surut. Adapun endapannya terdiri dari:

- ***Distributary channel***

Endapan ini berupa braided atau mendering, tanggul alam (*levee*) dan endapan *point bar*. Endapan ini ditandai dengan adanya bidang erosi pada bagian dasar urutan fasies dan menunjukkan kecenderungan menghalus ke atas. Struktur sedimen yang umum dijumpai ada daerah ini berupa *cross bedding*, *ripple cross stratification*, *scour and fill* dan lensa lempung.

- **Endapan gosong sungai**

Endapan ini terbentuk ketika terputus dari *channel*-nya, sedangkan tanggul alam terbentuk dan memisahkan diri dari *interdistributary channel*. Pada bagian ini terendapkan sedimen berupa pasir halus dan rombakan material organik serta batulempung yang terbentuk sebagai hasil luapan material selama terjadi banjir.

- **Lakustrin delta fill dan endapan *interdistributary flood plain***

Lingkungan ini memiliki kecepatan arus yang paling kecil, dangkal, tidak berelief, dan proses akumulasi sedimennya berjalan relatif lambat. Pada *interdistributary channel* dan *flood plain*, endapan yang terbentuk merupakan endapan yang ukurannya lanau sampai lempung yang dominan. Struktur sedimen yang terbentuk adalah laminasi sejajar dan *burrowing* struktur endapan pasir yang bersifat lokal, tipis dan kadang hadir karena adanya pengaruh gelombang.

b. Lower Delta Plain

Lower delta plain adalah bagian lingkungan pengendapan delta yang terletak di antara sungai dan laut yang disebut juga dengan low tide mark sampai batas pengaruh pasang surut. Adapun endapan yang ada ada lingkungan ini, yaitu

- Endapan pengisi teluk (*bay fill deposit*)

Endapan ini meliputi *interdistributary bay*, tanggul, *creevase splay*, dan rawa.

- Endapan pengisi *abandoned distributary channel*

• **Delta Front**

Delta Front adalah sub-lingkungan delta yang terletak pada daerah yang dengan energi yang tinggi, pengendapan sedimen yang terjadi sangat dipengaruhi oleh arus pasang surut air laut di sepanjang pantai dan aksi gelombang (kedalaman 10 meter atau kurang). Endapan *delta front* ditunjukkan oleh sikuen mengkasar keatas (*coarsening upward*) dalam skala yang relatif besar yang menunjukkan perubahan fasies secara vertikal. Sikuen ini merupakan produk 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 sub-lingkungan pengendapan dengan karakteristik gradasi fasies yang berbeda yaitu:

- *Distal Bar*

Fasies ini memiliki pola yang relatif menghalus ke atas. Pada umumnya tersusun dari batupasir halus dengan struktur sedimen laminasi, *burrowing structure*, *through cross stratification*. Lingkungan ini memiliki keterdapatan fosil yang langka.

- *Distributary Mouth Bar*

Dalam proses sedimentasi *delta front distributary mouth bar* memiliki kecepatan sedimentasi yang paling tinggi. Endapan pada fasies ini umumnya tersusun atas batupasir yang diendapkan melalui proses fluvial dan merupakan tempat terakumulasinya sedimen yang ditransport oleh *distributary channel*, serta diantara *mouth bar* akan terendapkan sedimen

berukuran halus. Suplai sedimen yang menerus ini nantinya akan menyebabkan terjadinya pengendapan *mouth bar* yang menuju ke arah laut (Walker, 1992). Struktur sedimen yang terbentuk pada lingkungan ini antara lain: *massive graded bedding*, *cross bedding*, dan *current ripple*.

- *Channel*

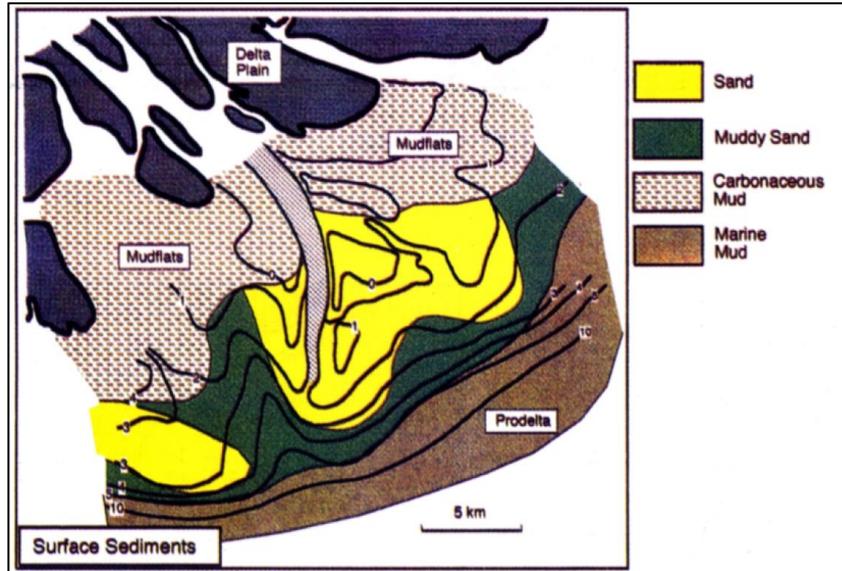
Channel dicirikan dengan terlihatnya bidang erosi pada bagian dasar dengan urutan fasiesnya dan cenderung menghalus ke atas. Pada umumnya endapan pada *channel* berukuran pasir dengan endapan *basal lag*. Struktur sedimen yang terbentuk ialah *cross bedding*, *ripple cross stratification*, *scour and fill* (Walker, 1992)

- *Subaqueous levees*

Fasies ini adalah kenampakan lain dari endapan *delta front* yang mana memiliki asosiasi dengan *active channel mouth bar*. Fasies ini cukup sulit dibedakan dan diidentifikasi dengan fasies pada endapan delta masa lampau lainnya.

- ***Prodelta***

Sub-lingkungan ini terletak diantara *delta front* dengan endapan paparan laut yang ada di bawah kedalaman efektif erosi gelombang yang letaknya di luar *delta front*. Pada lingkungan ini sedimen yang ditemukan rata-rata sedimen berukuran paling halus. Endapan ini juga didominasi sedimen yang berukuran lanau, lempung dengan struktur berupa masif, laminasi, dan stuktur jejak. Pada lingkungan ini juga umum dijumpai cangkang organisme bentonik yang tersebar luas dan mengindikasikan tidak adanya pengaruh air tawar atau fluvial.



Gambar IV. 4 Endapan pada lingkungan pengendapan delta (Allen & Chambers,1980)

IV.4 Korelasi

Korelasi merupakan sebuah bagian fundamental dari stratigrafi dan lebih lagi merupakan usaha dari *stratigraphers* dalam membuat unit stratigrafi yang formal yang mengarah pada penemuan praktis dan metode yang dapat dipercaya untuk korelasi unit ini dari suatu area dengan lainnya (Boggs, 1987). Hal yang perlu diperhatikan dan dilakukan sebelum melakukan korelasi adalah memiliki kandidat bidang datum yang kita yakini kebenarannya dan mudah dikenali. Menurut North American Stratigrafi Code (1983), ada tiga macam prinsip korelasi, yaitu:

1. Lithokorelasi, yang menghubungkan unit yang sama litologi dan posisi stratigrafinya
2. Biokorelasi, yang secara cepat menyamakan fosil dan posisi biostratigrafinya.
3. Kronokorelasi, yang secara tepat menyesuaikan umur dan posisi kronostratigrafinya.

Menurut Koesoemadinata (1971), korelasi terbagi menjadi dua metode yaitu korelasi organik dan korelasi anorganik. Metode organik juga umumnya disebut paleontologi merupakan metode korelasi dengan menggunakan fosil. Fosil yang digunakan pada metode korelasi ini merupakan fosil penunjuk yang memiliki persamaan evolusi. Sedangkan, metode anorganik menggunakan kesamaan litologi atau urutan dari stratigrafinya.

Korelasi organik secara umum dilakukan berdasarkan kandungan fosil yang terdapat pada suatu lapisan. Dalam hal ini yang dikorelasikan adalah puncak terdapatnya suatu fosil atau mulai terdapatnya suatu fosil.

Korelasi anorganik dilakukan dengan membandingkan unsur kesamaan litologi atau urutan stratigrafi. Metode ini merupakan metode yang paling sering dilakukan. Metode ini terdiri dari beberapa jenis antara lain memakai lapisan penunjuk atau marker bed, lapisan ini memiliki penyebaran lateral yang luas, mudah dikenali, baik dari data singkapan, serbuk bor, inti pemboran ataupun dari data log mekanik, penyebaran vertikalnya bisa tipis ataupun tebal. Lapisan yang bisa dijadikan marker bed antara lain: abu vulkanik, lapisan tipis batugamping terumbu, lapisan tipis serpih (shale break), lapisan tipis batubara dan sebagainya.

IV.5 Geokimia

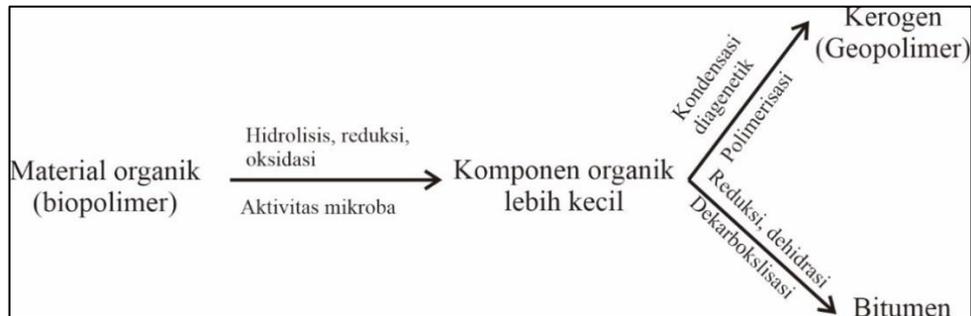
IV.5.1 Batuan Induk

Batuan induk adalah batuan sedimen yang sedang, mungkin, atau telah mampu menghasilkan minyak bumi (Tissot & Welte, 1978). Sedangkan menurut Waples (1985), batuan induk merupakan batuan sedimen berbutir halus yang memiliki kapabilitas sebagai sumber hidrokarbon. Batuan induk pada umumnya terbentuk pada lingkungan reduksi sehingga dapat memiliki warna gelap dan sangat baik dalam mengawetkan material organik.

Material organik yang terdapat di dalam batuan mengandung 90 % kerogen dan 10% bitumen (Hunt, 1979). Menurut Waples (1985), kerogen merupakan bagian dari material organik yang ada di batuan sedimen yang tidak larut dalam pelarut organik biasa. Maseral adalah sisa-sisa dari berbagai jenis tumbuhan dan hewan yang dapat dibedakan menurut sifat kimia, morfologi, dan reflektansinya menggunakan mikroskop petrografi (Stach dkk., 1982). Bitumen dalam batuan adalah fraksi material organik yang larut dalam pelarut organik biasa. Beberapa diantaranya berasal dari komponen lipid pada organisme yang pernah hidup, namun pada umumnya bitumen dihasilkan oleh pemecahan (disosiasi termal) kerogen (Peters & Moldowan, 1993 dalam Peters & Cassa, 1994).

Pembentukan dari material organik pada batuan hingga menjadi sebuah kerogen disebabkan oleh proses biodegradasi, hidrolisis, reduksi, oksidasi yang

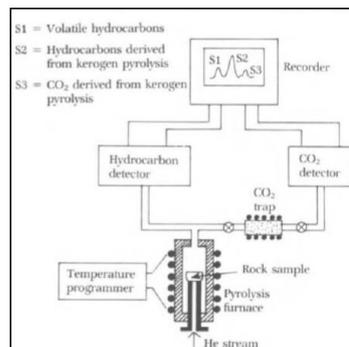
menyebabkan pembentukan komponen organik yang lebih kecil. Komponen material organik tersebut dapat menjadi kerogen apabila mengalami proses kondensasi diagenetik dan polimerisasi, sedangkan ketika mengalami reduksi, dehidrasi, dan dekarboksilisasi menjadi bitumen (Dembicki, 2017).



Gambar IV. 5 Diagram skematik pembentukan kerogen & bitumen (modifikasi Dembicki, 2022)

a. Rock-Eval Pyrolysis (REP)

Rock-Eval Pyrolysis (REP) merupakan analisis komponen hidrokarbon pada batuan induk dengan cara melakukan pemanasan bertahap pada sampel batuan induk dalam keadaan tanpa oksigen pada kondisi atmosfer inert dengan temperatur yang sudah ditentukan. Tujuan dari pemanasan ini adalah untuk memisahkan komponen organik bebas (bitumen) dan komponen organik yang masih terikat dalam batuan induk (kerogen) (Espitalié dkk., 1977). Alat yang digunakan untuk ini adalah *Rock-Eval Pyrolizer*.



Gambar IV. 6 Skema pengujian *Rock Eval Pyrolysis*

Pyrolysis menghasilkan beberapa parameter-parameter antara lain sebagai berikut:

- S1

S1 menunjukkan jumlah hidrokarbon bebas yang dapat diuapkan tanpa melalui proses pemecahan kerogen. Dapat dianggap sebagai fase sisa (residual) hidrokarbon. Apabila nilai S1 relatif lebih besar terhadap S2,

terdapat kemungkinan kontaminasi atau migrasi hidrokarbon dari sumber lain.

- S2

S2 menunjukkan jumlah hidrokarbon yang dihasilkan melalui proses pemecahan kerogen yang mewakili jumlah hidrokarbon yang dapat dihasilkan batuan selama proses pematangan secara alamiah. Nilai S2 menyatakan potensi material organik dalam batuan yang dapat berubah menjadi petroleum. Harga S1 dan S2 diukur dalam satuan mg hidrokarbon/gram batuan (mg HC/g Rock).

- S3

S3 menunjukkan jumlah kandungan CO₂ yang hadir di dalam batuan. Jumlah CO₂ ini dapat dikorelasikan dengan jumlah oksigen di dalam kerogen karena menunjukkan tingkat oksidasi selama diagenesis.

- Tmax

Nilai Tmax ini merupakan salah satu parameter geokimia yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat kematangan batuan induk. Harga Tmax yang terekam sangat dipengaruhi oleh jenis material organik. Kerogen Tipe I akan membentuk hidrokarbon lebih akhir dibanding Tipe III pada kondisi temperatur yang sama. Harga Tmax sebagai indikator kematangan juga memiliki beberapa keterbatasan lain misalnya tidak dapat digunakan untuk batuan memiliki TOC rendah (<0,5).

Proses evaluasi batuan induk diukur berdasarkan kuantitas, kualitas, dan kematangan (Peters & Cassa,1994):

a. Kuantitas

Kuantitas pada batuan induk digunakan untuk mengetahui potensial dari hidrokarbon yang akan terbentuk yang dilihat pada batuan induk yang belum matang. Hal tersebut ditinjau menggunakan jumlah material organik (TOC wt%), nilai S₁ dan S₂ hasil dari *Rock-Eval Pyrolysis*, dan kandungan bitumen.

Pada proses penentuan kuantitas batuan induk, nilai S₂ lebih cocok digunakan dibandingkan dengan TOC. Pada TOC terdapat “*dead carbon*” yang tidak dapat membentuk hidrokarbon. Penentuan kuantitas juga dapat diukur dari jumlah potensi hidrkabon yang dapat terbentuk yaitu dengan Potential Yield.

Potential Yield (PY) menunjukkan jumlah hidrokarbon dalam batuan baik yang berupa komponen volatil (bebas) maupun yang berupa kerogen. Satuan ini dipakai sebagai penunjuk jumlah total hidrokarbon maksimum yang dapat dilepaskan selama proses pematangan batuan induk

Tabel IV. 1 Klasifikasi PY (Espitalié dkk., 1977; Tissot & Welte, 1978)

S1 + S2	Potensi
0,00 – 1,00	Rendah
1,00 – 2,00	Marginal
2,00 – 6,00	Cukup
6,00 – 10,00	Baik
10,00 – 20,00	Sangat baik
>20,00	Sempurna

Tabel IV. 2 Parameter Geokimia untuk petroleum potential (Peters & Cassa, 1994)

Potensi Hidrokarbon	Material organik			Bitumen		Hidrokarbon (ppm)
	TOC (wt %)	S1	S2	Wt %	ppm	
Miskin	0-0,5	0-0,5	0-2,5	0-0,05	0-500	0-300
Cukup	0,5-1	0,5-1	2,5-5	0,05-0,1	500-1000	300-600
Baik	1-2	1-2	5-10	0,1-0,2	1000-2000	600-1200
Sangat baik	2-4	2-4	10-20	0,2-0,4	2000-4000	1200-2400
Luar biasa	>4	>4	>20	>0,4	>4000	>2400

	Poor	F a i r	G o o d	Excellent	C o a l
Excellent					
Good					
Fair					
Poor					

Gambar IV. 7 Diagram Plot TOC% vs S₂ sebagai penentu kekayaan material organik (kuantitas) (modifikasi Peters & Cassa,1994)

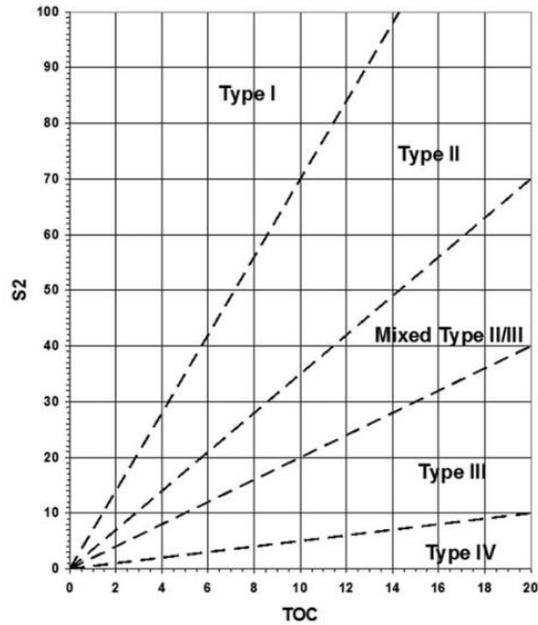
b. Kualitas

Kualitas pada batuan induk menjelaskan bahwa karakteristik *petroleum* yang terbentuk dari kerogen. Pembentukan ini dipengaruhi dari jumlah hidrogen pada kerogen, perbandingan atom H/C, dan perbandingan S₂ dan S₃ (S₂/S₃).

Tabel IV. 3 Tipe Kerogen dan karakteristik petroleum yang terbentuk (Peters & Cassa,1994)

Tipe Kerogen	HI (mg HC/g TOC)	S ₂ /S ₃	H/C	Petroleum yang terbentuk
I	>600	>15	>1,5	Minyak
II	300-600	10-15	1,2-1,5	Minyak
II/III	200-300	5-10	1-1,2	Minyak & Gas
III	50-200	1-5	0,7-1	Gas
IV	<50	<1	<0,7	<i>Inert</i>

Penentuan tipe kerogen menggunakan diagram vs antara nilai S₂ dengan TOC. (Dembicki, 2017). Pada garis putus-putus di diagram ini mengindikasikan iso Hidrogen Indeks dengan nilai sebesar 700, 350, 200, dan 50 (Langford dan Blanc-Valleron, 1990 dalam Dembicki, 2022).



Gambar IV. 8 TOC vs S2 sebagai penentu tipe kerogen terbagi berdasarkan HI (Langford dan Blanc-Valleron, 1990 dalam Dembicki, 2022)

c. Tingkat Kematangan Batuan Induk

Material organik akan mengalami transformasi atau evolusi fisik dan kimia sepanjang sejarah pemendaman (burial history). Melalui evolusi ini material organik akan menghasilkan minyak dan gas bumi. Transformasi ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu: diagenesa, katagenesa, dan metagenesa (Tissot & Welte, 1978). Kematangan material organik pada umumnya ditentukan dengan:

a) Pemantulan Vitrinit (Ro%)

Analisis ini digunakan karena pada suatu pengertian bahwa kematangan pada kerogen akan mengakibatkan perubahan pada fisik kerogen yang diikuti dengan kemampuannya memantulkan cahaya. Vitrinit sendiri adalah jenis maseral utama penyusun batubara yang juga tersebar luas pada sedimen. Peningkatan pantulan vitrinit akan meningkat seiring penambahan kematangan dan kedalaman (Peters & Cassa, 1994).

Pengukuran pantulan vitrinit dilakukan terhadap persentase cahaya datang (biasanya pada panjang gelombang 546 nm) yang dipantulkan dari partikel vitrinit (umumnya telokolinit) di bawah perendaman minyak (oil immersion). Kerogen diisolasi dari batuan sedimen kemudian ditanamkan dan dipoles ke permukaan yang rata dan mengkilap menggunakan cairan epoxy (Baskin, 1979 dalam Peters & Cassa, 1994).

Tabel IV. 4 Tingkat kematangan batuan induk berdasarkan nilai Ro% pada tipe kerogen yang berbeda (Tissot & Welte, 1978)

Kematangan	Tipe I	Tipe II	Tipe III
	Ro%		
Belum matang	0 – 0,65	0 – 0,5	0 – 0,55
Matang awal (<i>base oil window</i>)	0,65 – 1,1	0,5 – 0,8	0,55 – 0,9
Matang puncak (<i>top oil window</i>)	1,1-1,4	0,8 – 1,4	0,9 – 1,4
Lewat Matang (<i>gas window</i>)	>1,4	>1,4	>1,4

Kombinasi dari parameter-parameter yang diuji pada *Rock-Eval pyrolysis* dapat digunakan sebagai indikator jenis serta kualitas batuan induk, antara lain:

a. Potential Yield (PY)

Potential Yield (PY) menunjukkan jumlah hidrokarbon dalam batuan baik yang berupa komponen volatil (bebas) maupun yang berupa kerogen. Satuan ini dipakai sebagai penunjuk jumlah total hidrokarbon maksimum yang dapat dilepaskan selama proses pematangan batuan induk

Tabel IV. 5 Klasifikasi PY (Espitalié dkk., 1977; Tissot & Welte, 1978)

S1 + S2	Potensi
0,00 – 1,00	Rendah
1,00 – 2,00	Marginal
2,00 – 6,00	Cukup
6,00 – 10,00	Baik
10,00 – 20,00	Sangat baik
>20,00	Sempurna

b. Production Index (PI)

Nilai PI menunjukkan jumlah hidrokarbon bebas relatif (S1) terhadap jumlah total hidrokarbon yang hadir (S1 + S2). PI dapat digunakan sebagai indikator tingkat kematangan batuan induk.

Tabel IV. 6 Hubungan antara PI dengan tingkat kematangan (Espitalié dkk., 1977; Tissot & Welte, 1978)

S1/S1 + S2	Tingkat Kematangan
<0,1	Belum matang
0,1 – 0,4	Matang (Jendela minyak)
> 0,4	Matang Akhir (Jendela gas)

b. Tmax

Parameter Tmaks adalah temperatur puncak S2. Temperatur pyrolisis digunakan sebagai indikator kematangan, sebab jika kematangan kerogen meningkat, temperatur yang menunjukkan laju maksimum pyrolisis terjadi juga meningkat atau dengan kata lain jika Tmaks makin tinggi batuan semakin matang. Demikian pula halnya dengan ratio S1/(S1+S2) atau disebut juga OPI (oil production index) dan juga parameter Tmaks.

Tabel IV. 7 Hubungan antara Tmax dengan tingkat kematangan (Espitalié dkk., 1977; Tissot & Welte, 1984)

Tmax (°C)	Tingkat Kematangan
<435	Belum matang
435 -470	Matang (Jendela minyak)
> 470	Matang Akhir (Jendela gas)

b. Kategori Batuan Induk

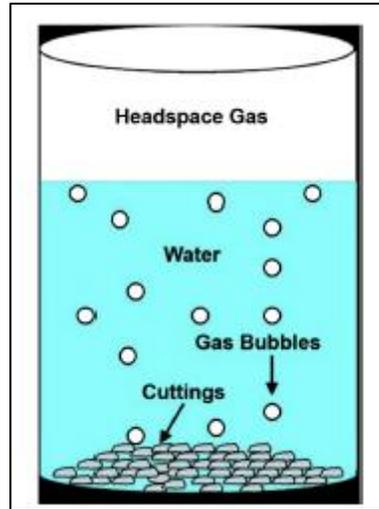
Berdasarkan kategori dan kapasitas sumbernya, batuan induk dibagi menjadi (Waples, 1985):

- 1. Batuan Induk Efektif**, yaitu batuan sedimen yang sudah menghasilkan dan mengeluarkan hidrokarbon.
- 2. Batuan Induk Memungkinkan**, yaitu batuan sedimen yang memiliki potensi, akan tetapi belum dieksploitasi. Namun demikian, batuan induk ini telah menghasilkan dan mengeluarkan hidrokarbon.
- 3. Batuan Induk Potensial**, yaitu batuan sedimen yang belum matang dalam kapabilitas menghasilkan dan mengeluarkan hidrokarbon baru dapat diketahui saat memiliki kematangan termal lebih tinggi.

IV.5.2 Gas

Analisis geokimia untuk gas bumi dilakukan dengan metode Analisis *Gas Headspace*. Metode ini dilakukan dengan cara merendam hasil cutting pada batuan induk yang *gas prone* atau *gas/condensate* dengan air didalam sebuah bejana yang tertutup. Akumulasi gas diambil menggunakan suntik dan

diinjeksikan ke alat *gas chromatograph*. Analisis ini akan menangkap ikatan karbon C₁-C₇. Namun, ikatan yang lebih mudah digunakan merupakan hidrokarbon ringan C₁-C₄. Hasilnya berupa konsentrasi C₁-C₄ ppm, rasio C₂-C₄ % wet gas, dan rasio iC₄/nC₄, selanjutnya masing-masing disajikan dalam bentuk plot vs kedalaman.



Gambar IV. 9 Skema Analisis Gas Headspace (Dembicki,2016)

a. Interpretasi Kuantitas

Kuantitas dari analisis gas ini menggunakan konsentrasi C₁-C₄ ppm. Terdapat klasifikasi untuk menilai kuantitas dari material organik batuan induk yang ditunjukkan pada **Tabel IV.12** dibawah ini:

Tabel IV. 8 Interpretasi Kekayaan Batuan Induk (Noble,1991 dalam Dembicki, 2022)

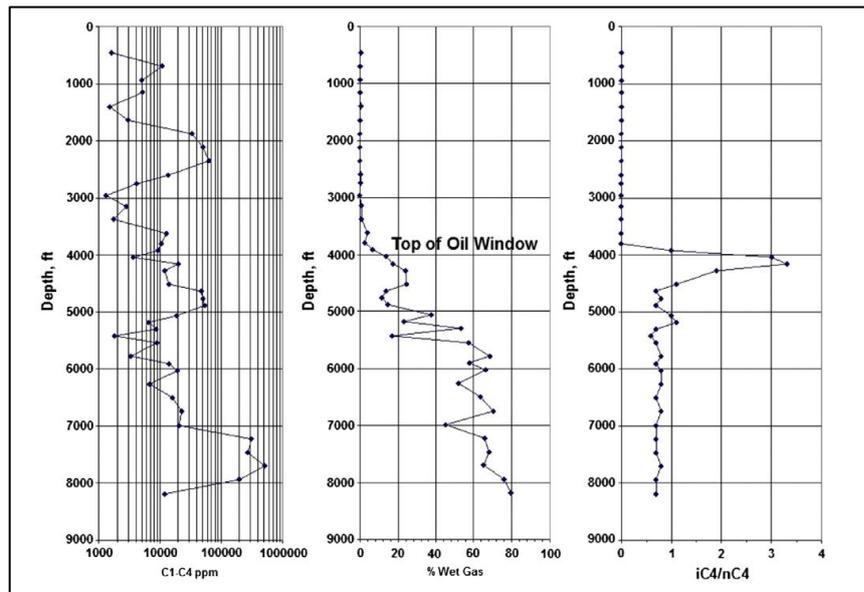
C ₁ -C ₄ ppm	Kekayaan Batuan Induk
<100	Miskin
1000-10.000	Kaya
>10.000	Sangat Kaya

b. Interpretasi Kematangan Termal

Kematangan termal dapat diinterpretasikan menggunakan % wet gas dari C₂-C₄ dan perbandingan iC₄/nC₄. % wet gas diinterpretasikan ketika mencapai 20% sudah termasuk kedalam jendela minyak, sedangkan pada rasio isobutana dan n-butana dilihat pada **Tabel IV.13**.

Tabel IV. 9 Interpretasi Kematangan Termal (Dembicki, 2022)

Rasio iC_4/nC_4	Kematangan
<0,5	Belum Matang
0,5-1,0	Matang
>1,0	Lewat Matang



Gambar IV. 10 Diagram Plot vs *Depth* sebagai interpretasi kuantitas dan kematangan gas melalui uji lab menggunakan headspace gas (Dembicki, 2022)

IV.5.3 Biomarker

Menurut Eglinton, dkk. (1964) Biomarker merupakan komponen organik yang tersusun atas karbon, hidrogen, dan struktur material lain atau sisa makhluk hidup yang terbentuk dari organisme yang hidup dan cukup stabil yang dapat dikenali pada minyak bumi dan atau pada material organik dari lapisan sedimen purba. Kandungan yang stabil dari material organik tersebut yang menjadi metode untuk mengetahui asal dari batuan induk, tingkat kematangan minyak bumi, hingga tingkat alterasi minyak bumi karena masih memiliki sedikit hingga tidak ada perubahan pada induk dari struktur material organiknya (Peters dan Moldowan, 1993; Hunt,1996). Tiga karakteristik membedakan biomarker dari senyawa organik lainnya:

1. Biomarker memiliki struktur yang terdiri dari subunit berulang, yang menunjukkan bahwa prekursornya adalah komponen dalam organisme hidup.

2. Setiap biomarker induk adalah umum pada organisme tertentu. Organisme ini dapat melimpah dan tersebar luas.
3. Karakteristik struktural utama yang mengidentifikasi biomarker adalah stabil secara kimiawi selama sedimentasi dan burial awal.

Proses pengambilan data dari geokimia biomarker adalah dengan melakukan analisis *gas chromatograph* dan *mass spectometry*. Berikut skema dari pengambilan data geokimia biomarker menggunakan GC dan GC/MS.

- *Gas Chromatograph* (GC)

Gas Chromatograph merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui jumlah karbon yang ada pada minyak bumi maupun ekstrak dari batuan induk. Sampel yang dapat dianalisis dapat berupa sampel bulk pada sedimen maupun batuan sedimen itu sendiri. Skema pengujian GC ini dimulai dengan sedikit sampel bitumen atau larutan fraksi *saturate* yang disuntikan kedalam *injection port* dan dipanaskan melalui oven secara perlahan. Komponen akan terpisahkan dari kolom dan dibawah ke detektor berupa *flame ionisasi* kemudian dikonekan ke dalam *work station*. Hasil dari luaran uji ini berupa konsentrasi relatif atau *retention time* dari kolom pada saat analisis. Waktu rentensi untuk beberapa senyawa pada biasa dapat ditetapkan dengan menggunakan standar senyawa tertentu sebelum dianalisis (Dembicki, 2022).

- **Alkana Normal**

Alkana Normal merupakan seri hidrokarbon yang paling sederhana dan memiliki struktur linear serta tidak memiliki rantai karbon yang bercabang (Waples,1985). Penggunaan alkana normal pada analisis biomarker adalah untuk mengetahui asal material organik, lingkungan pengendapan, dan kematangan berdasarkan dengan tren puncak dari pembacaan GC dan CPI (Peters dkk., 2005). Nilai CPI, ditentukan berdasarkan rumus yang dibuat oleh Bray & Evans (1966) (Waples,1985)

$$CPI = \frac{1}{2} \left(\frac{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}{C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34}} + \frac{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}{C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}} \right)$$

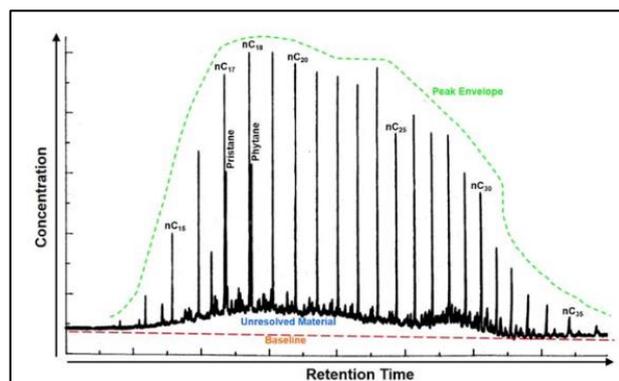
Menurut Waples (1985), nilai CPI di atas 1,2 atau di bawah 0,8 mengindikasikan ketidakmatangan. Nilai CPI cenderung akan menurun seiring dengan meningkatnya kematangan, hal ini diakibatkan berkurangnya jumlah

karbon ganjil yang dihasilkan secara alami saat organisme masih hidup. Proses pematangan hidrokarbon juga akan memberi pengaruh terhadap distribusi rantai karbon dari alkana normal. Rantai karbon panjang akan berkurang seiring dengan meningkatnya kematangan, hal ini diakibatkan pemutusan rantai karbon panjang menjadi lebih sederhana.

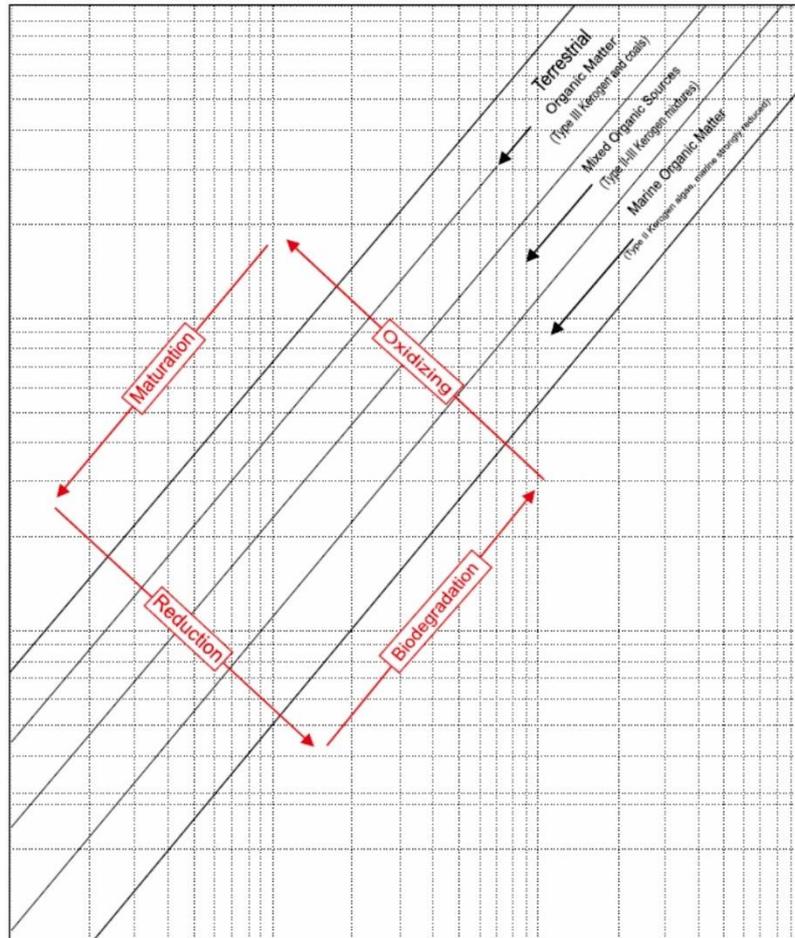
Nilai $C_{21} - C_{35}$ pada batuan/minyak bumi yang berasal dari laut akan rendah, sedangkan pada darat dan lakustrin akan tinggi. Ikatan karbon nomor 15, 17, dan 19 (C_{15} , C_{17} , C_{19}) merupakan ikatan yang berasal dari alga laut, sedangkan pada ikatan karbon nomor 27, 29, 31 (C_{27} , C_{29} , C_{31}) merupakan ikatan yang berasal dari tanaman tingkat tinggi darat. Ikatan karbon ganjil dari rentang $C_{23} - C_{31}$ merupakan ikatan karbon yang berasal dari alga darat dari lakustrin (danau air tawar).

- Isoprenoid

Isoprenoid adalah susunan karbon yang hampir seluruhnya tersusun dari klorofil, baik dari tumbuhan maupun bakteri. Penggunaan isoprenoid yang digunakan merupakan Pristana (Pr) dan Fitana (Ph). Rasio Pr/Ph menunjukkan kondisi oksidasi dari lingkungan pengendapan. Pr terletak di sebelah kanan nC_{17} dan ph berada di sebelah kanan nC_{18} . $Pr/Ph > 1$ menunjukkan Oksik yang berasal dari serpih, $Pr/Ph < 1$ Anoksik yang berasal dari karbonat (Peters, dkk. 2005). Nilai $Pr/Ph < 2$ menunjukkan lingkungan laut, > 3 menunjukkan lingkungan darat, dan 1-3 menunjukkan lingkungan lakustrin (Peters, dkk. 2005).



Gambar IV. 11 Hasil pengujian metode gas chromatograph (Dembicki, 2022)

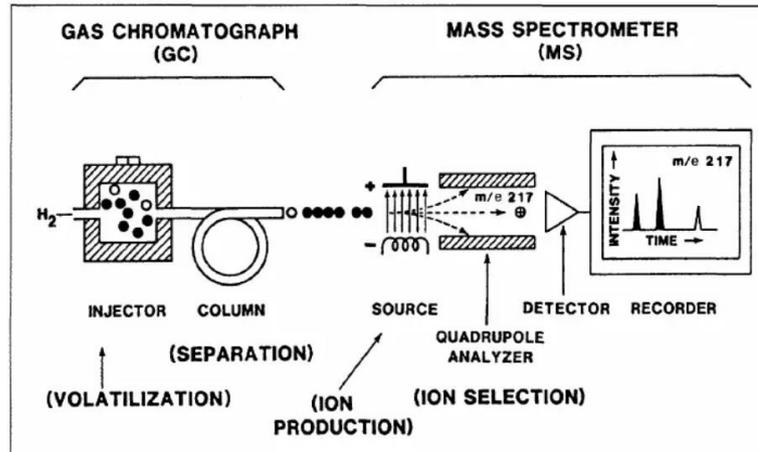


Gambar IV. 12 Diagram Plot Pr/C17 vs Ph/C18 sebagai penentuan Lingkungan Pengendapan (Connan & Cassou, 1980)

- *Gas Chromatograph Mass Spectrometry (GC/MS)*

Gas chromatograph mass spectrometry sama seperti dengan GC akan tetapi pada GC MS terdapat pemisahan molekul pada menggunakan *mass spectrometry*. Pemisahan ini dengan memberikan elektron dengan energi yang tinggi ke molekul hidrokarbon akibat dari berat jenis yang berbeda sehingga molekul menjadi tidak stabil dan terpisah menjadi fragmen ion yang lebih kecil. Perbedaan ini biasa dituliskan dalam rasio *mass/charge* (m/z).

Pada praktiknya, penggunaan GC/MS digunakan untuk melihat fragmen ion sterana (m/z 217) dan triterpana (m/z 191). Hal ini dikarenakan pada kedua fragmen ion tersebut dapat membaca banyak molekul dalam satu pemisahan ion.

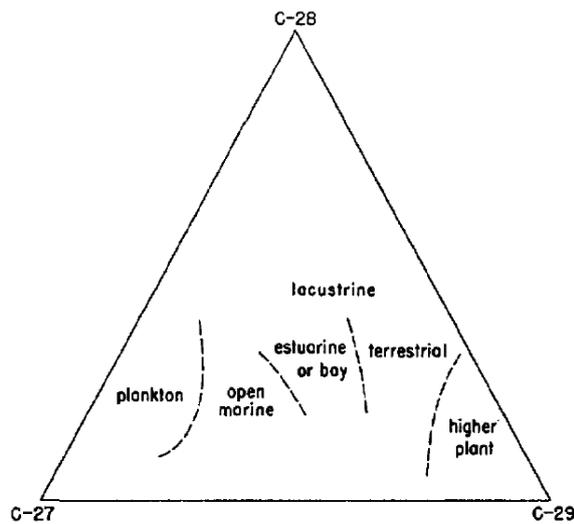


Gambar IV. 13 Skema pengujian sampel menggunakan metode gas chromatograph mass spectrometry (Waples & Machihara, 1991)

- Sterana

Sterana terbentuk dari sterol yang ditemukan pada umum di tumbuhan tingkat tinggi dan alga, namun dapat ditemukan juga pada organisme prokariotik (Volkman, 1986, 1988 dalam Waples & Machihara, 1991). Sterana umumnya mengandung C_{27} , C_{28} , C_{29} . Kegunaan sterana dalam analisis biomarker adalah untuk penentuan lingkungan pengendapan melalui diagram ternary menurut Huang & Meinschein (1979).

Selain untuk menentukan lingkungan pengendapan, sterana juga dapat digunakan untuk menentukan kematangan batuan/minyak. Penentuannya dengan menggunakan rasio 20R & 20S dari sterana $\alpha\alpha$. Sterana $\alpha\alpha$ pada 20R merupakan prekursor yang terbentuk pada organisme yang hidup, seiring dengan kematangan batuan, prekursor tersebut akan berubah menjadi 20S. Ketika sudah mengalami kematangan, kesetimbangan yang dicapai 20S 55% dan 20R 45%. Rasio antara $20S/(20S+20R)$ yang dapat lebih akurat digunakan adalah pada rantai C_{29} . Akan tetapi, metode ini kurang akurat ketika diuji pada sampel yang berasal dari batubara. Hal tersebut dikarenakan oleh perbedaan respon antara ekstrak batuan dari serpih dan batubara. Pada penggunaan rasio ini akan menyebabkan error kematangan yang dibandingkan dengan $Ro\% 0,5\% \pm 0,02\%$.



Gambar IV. 14 Diagram ternary sterana sebagai penentu lingkungan pengendapan Huang & Meinschein 1979 dalam Waples & Machihara, 1991)

- **Hopana/Triterpana**

Hopana/triterpana merupakan senyawa yang terdiri dari lima atom karbon segi enam yang berikatan dengan kelompok metil. Senyawa ini yang terbentuk dari bakteri Hopana berada pada isomer m/z 191 yang dimulai dari nC₂₇-nC₃₅. Triterpane terdapat beberapa jenis yaitu Ts, Tm, Moreatana, Gamaserana, Oleanana (Peters dkk., 2005).

Hopana dalam analisis biomarker dapat digunakan untuk penentuan kematangan dan penentuan lingkungan pengendapan. Kematangan diperoleh dari rasio C₃₀ Moreatana dan C₃₀ Hopana. C₃₀ akan berkurang seiring dengan peningkatan kematangan (Miles, 1989). Selain dari rasio C₃₀ Moreatana dan C₃₀ Hopana, parameter kematangan juga dapat didapatkan dari rasio antara Ts/Tm. Ketika batuan/minyak sudah mengalami kematangan, konsentrasi Tm akan berkurang secara berangsur dan akan menghilang, sedangkan konsentrasi Ts akan meningkat seiring dengan peningkatan kematangan (Waples & Machihara, 1991).

Tabel IV. 10 Rasio antara C₃₀ Moreatana/Hopana (Miles, 1989)

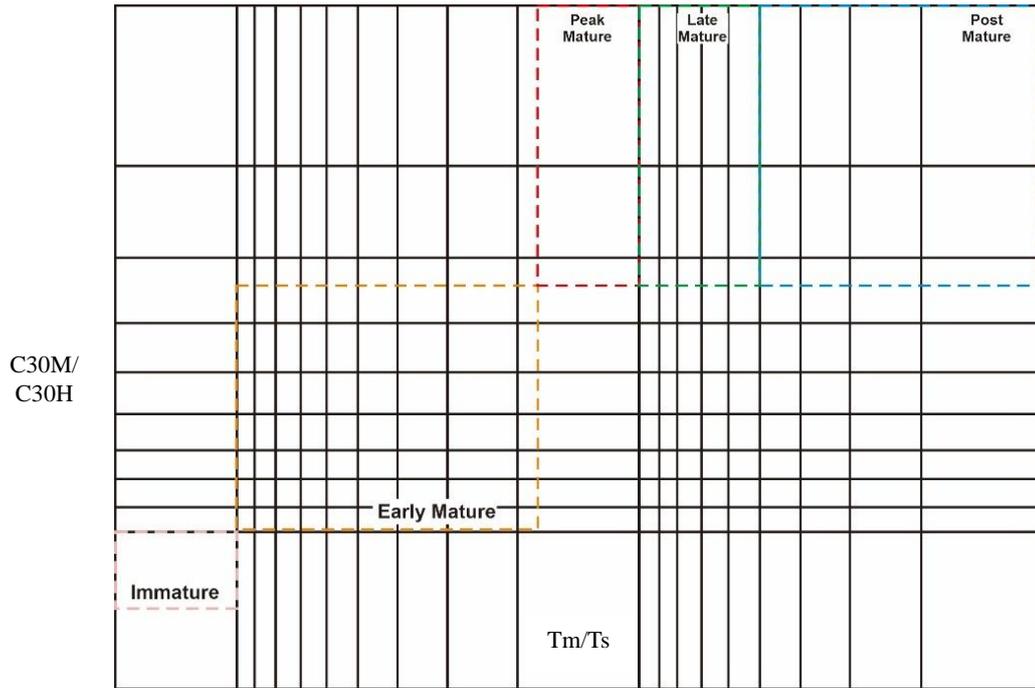
C ₃₀ Moreatana/Hopana	Kematangan
>0,15	Belum matang
0,15 – 0,07	Awal kematangan
0,07 – 0,05	Puncak kematangan

Tabel IV. 11 Rasio Tm/Ts sebagai parameter kematangan (Miles,1989)

Tm/Ts	Kematangan
>10	Belum matang
2 – 10	Awal kematangan
1 - 2	Puncak kematangan
0,5 – 1	Akhir Kematangan
0,1 – 0,5	Lewat Kematangan

Hopana juga dapat digunakan dalam penentuan asal material organik. Asal material organik dapat diidentifikasi menggunakan Oleanana dan C35 hopana. Oleanana menandakan bahwa asal material organik dari tanaman tingkat tinggi (*angiospremae*) yang berumur kapur atau lebih muda dan indeks C35 berasal dari mikroorganisme prokariotik dari laut. Selain itu, hopana juga dapat digunakan untuk penentuan lingkungan pengendapan menggunakan parameter konsentrasi C31- C35. Robinson (1987) mengklasifikasikan rasio C31 - C35 rata-rata pada setiap lingkungan pengendapan.

- Lingkungan Pengendapan laut memiliki distribusi hopana dan moreatana yang relatif sederhana, di Indonesia pada umumnya memiliki konsentrasi C₃₁ – C₃₅ Hopana yang tinggi. Hal ini dapat disebabkan oleh batuan induk di Indoneisa terendapkan pada lingkungan laut yang anoksik. Pada lingkungan ini memiliki C₃₅ yang tinggi. C₃₅ atau Gammaserana merupakan prekursor penciri dari lingkungan karbonat yang anoksik.
- Lingkungan Pengendapan Lakustrin memiliki ciri-ciri terdiri dari rasio hopana yang sederhana dari C₂₇ – C₃₅ hopana. Pada lingkungan ini minim terbentuk resin dan tidak ditemukan olenana.
- Lingkungan *Fluvio-deltaic* memiliki karakteristik hopana dengan konsentrasi C₃₀ Hopana yang tinggi yang terebntuk dari resin tanaman tingkat tinggi. Hal tersebut juga ditunjukkan dengan keberadaan Oleanana yang tinggi.



Gambar IV. 1 Plot diagram T_m/T_s vs C_{30M}/C_{30H} sebagai parameter kematangan (Miles, 1989)

BAB V

LINGKUNGAN PENGENDAPAN DAN KARAKTERISTIK GEOKIMIA

V.1 Stratigrafi Daerah Penelitian

Stratigrafi daerah penelitian didapatkan dari analisis data sumur pemboran yang diinterpretasi kemudian dilakukan korelasi (**Lampiran V.1.1**). Urutan stratigrafi daerah penelitian dari muda ke tua terdapat dibawah ini:

1. Satuan batupasir Mentawir

Satuan ini terdiri dari batupasir halus dan serpih yang berumur Miosen Tengah (N9-N12) Blow (1969). Hubungan dengan satuan batuan batupasir Pulaubalang selaras.

a. Deskripsi Litologi

• Batupasir Halus

Batupasir Halus dengan warna abu terang dengan butir halus yang tersortasi baik dengan butiran membulat sedang dengan komposisi kaolin yang melimpah, kuarsa, feldspar dan tersemenkan oleh silika.

• Serpih

Serpih berwarna abu kecoklatan, getas, karbonatan.

2. Satuan batugamping Maruat

Satuan batuan ini merupakan batugamping terumbu yang tumbuh yang berumur Miosen awal (N7 dan N8 bawah) Blow (1969) yang memiliki hubungan menjemari dengan satuan serpih Pulaubalang dan batupasir Pulaubalang bagian bawah.

a. Deskripsi Litologi

• *Packstone*

Packstone, Putih susu – abu muda, arenit, Allochem: foram, fragmen koral, pecahan cangkang, Mikrit: lumpur karbonat, calcite, terekritisasi, keras.

3. Satuan batupasir Maruat

Satuan batuan ini terdiri dari batupasir halus glaukonitan yang berumur Miosen Awal (N7) Blow (1969), memiliki hubungan menjemari dengan satuan batupasir Pulaubalang.

a. Deskripsi Litologi

• **Batupasir sangat Glaukonitan**

Batupasir sangat halus, putih kehijauan, pasir halus-sangat halus didominasi sangat halus, membundar sedang-menyudut sedang, glaukonit melimpah.

• **Serpilh**

Serpilh, abu muda-tua, *subblocky*, lanau, karbonan, karbonan, karbonatan.

4. Satuan batupasir Pulaubalang

Satuan batuan ini terdiri dari batupasir halus yang berumur Miosen Awal (N8) Blow (1969) yang terendapkan diatas satuan serpilh Pulaubalang.

a. Deskripsi Litologi

• **Batupasir halus**

Batupasir halus, abu terang, pasir halus, terpilah baik, subangular-subrounded, semen karbonat, matriks klorit dan kaolinit melimpah, dan setempat terdapat bintik-bintik material karbonan, serta sedikit litik.

5. Satuan serpilh Pulaubalang

Satuan batuan ini tersusun atas perselingan serpilh dan batupasir halus. Satuan ini berumur Miosen Awal (N7) Blow (1969) yang memiliki selaras dibawah satuan batupasir Pulaubalang dan menjemari dengan satuan batupasir Maruat

a. Deskripsi Litologi

• **Serpilh**

Serpilh, abu muda, lanau, tekstur *subblocky*, karbonan.

• **Batupasir halus**

Batupasir halus, abu kehijauan, keras, bloky, pasir halus, terpilah baik, *subangular-subrounded*, semen karbonat, matriks klorit dan kaolinit melimpah, dan setempat terdapat bintik-bintik material karbonan, serta sedikit litik.

6. Satuan batupasir Pamaluan

Satuan tersusun perselingan batupasir dan serpih. Satuan ini berumur Miosen Awal (N6) Blow (1969) yang terendapkan secara selaras dibawah satuan serpih Pulaubalang.

a. Deskripsi Litologi

- **Batupasir sangat halus**

Batupasir sangat halus, abu terang, *blocky*, pasir sangat halus, terpilah baik, *subangular - subrounded*, semen karbonat, matriks klorit, feldspar, dan laminasi karbon, terdapat jejak klorit.

- **Serpih**

Serpih, abu muda - abu olive, lanau, tekstur subblocky, terdapat bintik dan gores karbon.

Zaman	Kala	Zona Martini (1981)	Zona Adam (1971)	Zona Blow (1969)	Litostratigrafi	Satuan Batuan
Neogen	Miosen	Tengah	NN5	Tf	N12 - N9	satuan batupasir Mentawir
					N8	satuan batupasir Pulau Balang
	Awal	NN4	Te	N7	satuan serpih Pulau Balang	satuan serpih Pulau Balang
				N6	satuan batupasir Pamaluan	?

Gambar V. 1 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian

V.2 Biostratigrafi

Biostratigrafi daerah penelitian diambil dari empat sumur dengan interval 10 ft. dan 250 ft. dengan indeks berupa foraminifera planktonik, bentonik besar, dan nannofossil. Foraminifera planktonik dalam penggunaannya menggunakan Zonasi Blow (1969) sebagai penentu umur batuan, Foraminifera bentonik besar dalam penentuan umur batuan menggunakan Zonasi Adam (1970), dan Nanofosil menggunakan Zonasi Martini (1981). Penggunaan biostratigrafi selain untuk penentuan umur batuan, pada penelitian ini juga digunakan sebagai penentuan paleobatimetri. Paleobatimetri didapatkan dari analisis fosil foraminifera bentonik.

a. Sumur Loa Haur-1

Sumur Loa Haur-1 memiliki batuan yang berumur Miosen Awal dan Miosen Akhir. Penentuan umur berdasarkan pada Zonasi Blow (1969), Zonasi Adam (1971), dan Zonasi Martini (1981). Zonasi Blow (1969) terdapat dua zona yaitu Zona N9-N12 yang ditandai dari awal kemunculan *Orbulina suturalis* dan *Orbulina sp.* akhir kemunculan fosil tidak ditemukan. Zona kedua kedua merupakan Fosil juga dapat dilakukan untuk penentuan paleobatimetri. Paleobatimetri pada sumur ini berada pada lingkungan *brakish – middle bathyal*. Asosiasi Fosil dapat dilihat pada **Lampiran V.2.1 dan V.2.2**

b. Sumur Semoi-1

Sumur Loa Haur-1 memiliki batuan yang berumur Miosen Awal dan Miosen Akhir. Penentuan umur berdasarkan pada Zonasi Blow (1969), Zonasi Adam (1971), dan Zonasi Martini (1981). Zonasi Blow (1969) terdapat dua zona yaitu N8 dan N7. Zona N8 terdapat fosil indeks *Globigerinoides sicanus* dan pada zona N7 ditandai dengan *Globigerinoides diminitus*. Paleobatimetri pada sumur ini dari *brakish – Middle Shelf*. Asosiasi fosil yang ada pada **Lampiran V.2.3. dan V.2.4**

c. Sumur Sakakanan-1

Sumur Loa Haur-1 memiliki batuan yang berumur Miosen Awal dan Miosen Akhir. Penentuan umur berdasarkan pada Zonasi Blow (1969), Zonasi Adam (1971), dan Zonasi Martini (1981). Zonasi Blow (1969) terdapat dua zona yaitu Zona N8 yang ditandai fosil indeks *Praeorbulina glomerosa curva* yang berumur Miosen Awal dan untuk zonasi N7 ditandai dengan *Globigerinoides diminitus* yang berumur Miosen Awal. Fosil juga dapat dilakukan untuk penentuan paleobatimetri. Paleobatimetri pada sumur ini berada pada *Marginal Marine – Upper Bathyal*. Asosiasi fosil dapat dilihat pada **Lampiran V.2.5. dan V.2.6.**

d. Sumur Mentawir

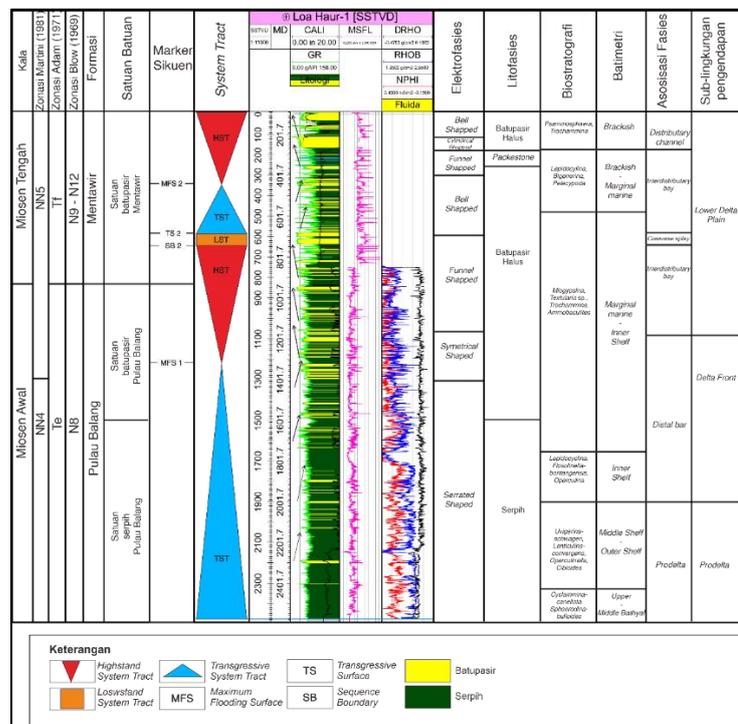
Sumur Loa Haur-1 memiliki batuan yang berumur Miosen Awal dan Miosen Akhir. Penentuan umur berdasarkan pada Zonasi Blow (1969), Zonasi Adam (1971), dan Zonasi Martini (1981). Zonasi Adam (1971) terdapat satu zona yaitu Tf yang dicirikan dengan keterdapatannya *Flosculinella bontangensis* yang sepadan dengan zonasi Blow (1969) N9 – N12 atau berumur Miosen Tengah, Zonasi Blow

(1969) N8 dicirikan dengan keterdapatannya *Globigerinoides sicanus*, Zona N7 berdasarkan pada keterdapatannya *Globignita unicava* dan *Globignitoides sicanus*, dan N6 ditandai dengan keberadaan fosil *Globoquadrian dehicens praedehicens*, *Globignitina dissimilis*. Fosil juga dapat dilakukan untuk penentuan paleobatimetri. Paleobatimetri pada sumur ini berada pada lingkungan *brackish – middle bathyal*. Asosiasi Fosil dapat dilihat pada **Lampiran V.2.7 dan V.2.8**.

V.3 Lingkungan Pengendapan

a. Sumur Loa Haur-1

Hasil analisis stratigrafi didapatkan pada Sumur Loa Haur-1 terdapat marker sikuen berupa MFS 1 dan MFS 2 serta SB 2 dan TS 2. *System tract* pada Sumur ini berupa dua TST, dua HST, dan satu LST. Pada sumur ini terdapat bentuk elektrofasi *serrated*, *symmetrical*, *funnel* dan *bell* dengan litofasi batupasir halus, *packstone*, dan serpih. Lingkungan kedalaman dari *Brackish – middle bathyal*. Sub-lingkungan pada Loa haur-1 berupa *prodelta* dengan fasies *prodelta*; *delta front* dengan asosiasi fasies *flood deposit*; *lower delta plain* dengan asosiasi fasies *interdistributary bay*, *creevese splay*, dan *distributary channel* (**Gambar V.2**). Rangkuman hasil analisis lingkungan pengendapan pada Sumur Loa Haur-1 dapat dilihat pada **Tabel V.2**.



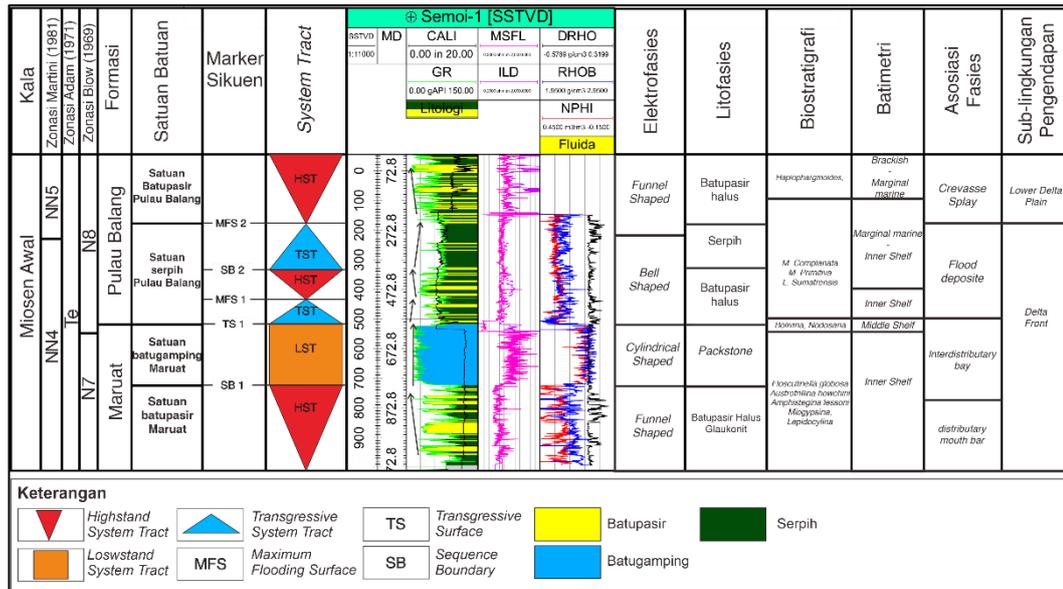
Gambar V. 2 Hasil analisis stratigrafi dan lingkungan pengendapan Sumur Loa Haur-1

Tabel V. 1 Rangkuman fasies dan sub-lingkungan pengendapan Sumur Loa Haur-1

Satuan Batuan	Asosiasi fasies	Sub-lingkungan Pengendapan	Depth (m)
batupasir Mentawir	<i>Distributary Channel</i>	<i>Lower Delta Plain</i>	0 - 1161
batupasir Pulaubalang	<i>Distal Bar</i>	<i>Delta Front</i>	1161 - 2021
serpih Pulaubalang	<i>Prodelta</i>	<i>Prodelta</i>	2021 - 2570

b. Sumur Semoi-1

Hasil analisis stratigrafi didapatkan pada Sumur Semoi-1 terdapat marker sikuen berupa SB 1, TS 1, MFS 1, MFS 2 serta SB 2. *System tract* pada Sumur ini berupa dua TST, tiga HST, dan satu LST. Pada sumur ini terdapat bentuk elektrofases *cylindrical, funnel dan bell* dengan litofases batupasir halus glaukonitan, batupasir, *packstone*, dan serpih. Lingkungan kedalaman dari *Brackish – inner shelf*. Sub-lingkungan pada Semoi-1 berupa *delta front* dengan *distributary mouth bar, interdistributary bay, flood deposit; lower delta plain* dengan asosiasi fasies *creevese splay*. Pada kedalaman 472,8 m terdapat *cross over* pada nilai NPHI & RHOB pada dengan kondisi resistivitas yang tinggi, kondisi tersebut diinterpretasikan keterdapatn hidrokarbon (**Gambar V.4**). Rangkuman hasil analisis lingkungan pengendapan pada Sumur Semoi-1 dapat dilihat pada **Tabel V.3**



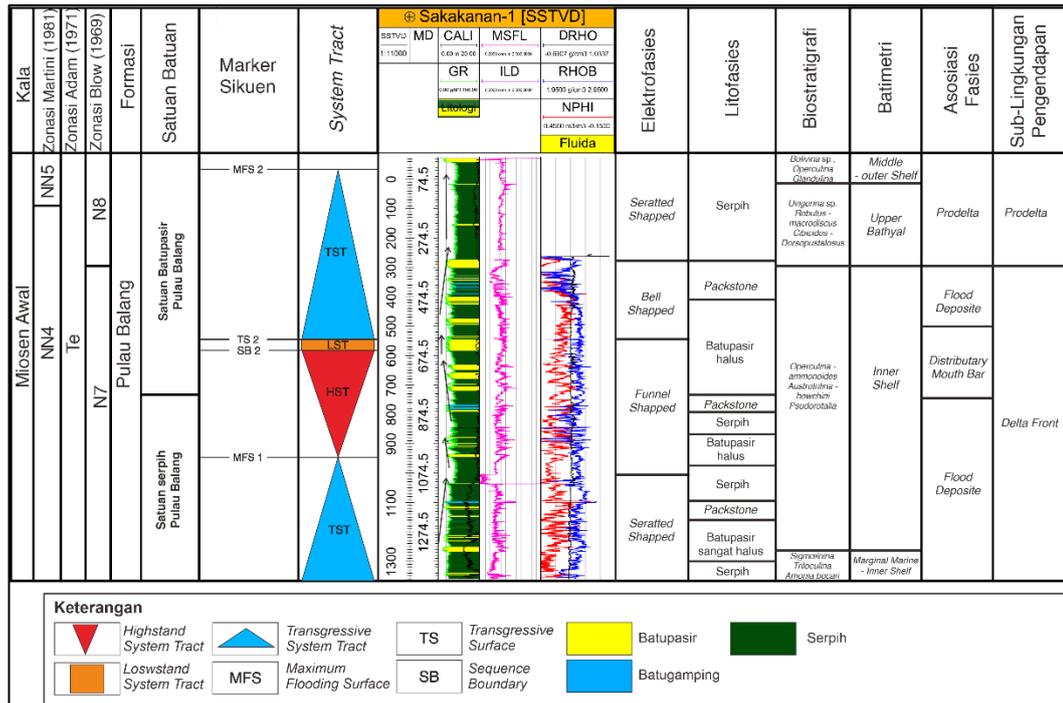
Gambar V. 3 Hasil analisis stratigrafi dan lingkungan pengendapan Sumur Semoi-1

Tabel V. 2 Rangkuman fasies dan lingkungan pengendapan Sumur Semoi-1

Satuan Batuan	Asosiasi fasies	Sub-lingkungan Pengendapan	Depth (m)
batupasir Pulaubalang	Crevasse Splay	Lower Delta Plain	0 - 252
serpih Pulaubalang	Flood Deposit	Delta Front	252
batugamping Maruat	Interdistributary Bay		-
batupasir Pulaubalang	Distributary Mouth Bar		1066

c. Sumur Sakakanan-1

Hasil analisis stratigrafi didapatkan pada Sumur Sakakanan-1 terdapat marker sikuen berupa SB 1, TS 1, MFS 1, MFS 2 serta SB 2. System tract pada Sumur ini berupa dua TST, satu HST, dan satu LST. Pada sumur ini terdapat bentuk elektrofasi *funnel* dan *bell* dengan litofasi batupasir halus glaukonitan, batupasir halus, *packstone*, dan serpih. Lingkungan kedalaman dari *marginal marine* – *upper bathyal*. Sub-lingkungan pada Sakakanan-1 berupa *delta front* dengan *distributary mouth bar*, *flood deposit*; *prodelta* dengan asosiasi fasies *prodelta*. (Gambar V.5). Rangkuman hasil analisis lingkungan pengendapan pada Sumur Sakakanan-1 terdapat pada Tabel V.4



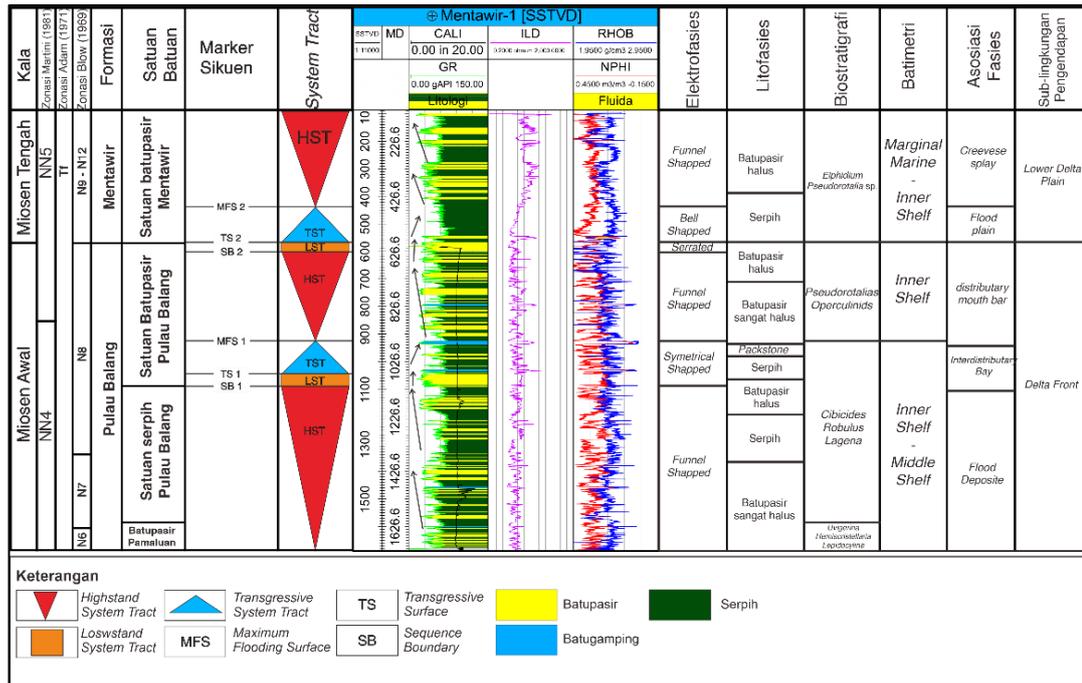
Gambar V. 4 Hasil analisis stratigrafi dan lingkungan pengendapan Sumur Sakakanan-1

Tabel V. 3 Rangkuman fasies dan sub-lingkungan pengendapan Sumur Sakakanan-1

Satuan Batuan	Asosiasi Fasies	Sub-lingkungan Pengendapan	Depth (m)
batupasir Pulaubalang	<i>Prodelta</i>	<i>Prodelta</i>	0 - 374
	<i>Distributary Mouth bar, Flood deposit</i>	<i>Delta Front</i>	374 - 1435
serpiph Pulaubalang	<i>Flood Deposit</i>		

d. Sumur Mentawir-1

Hasil analisis stratigrafi didapatkan pada Sumur Mentawir-1 terdapat marker sikuen berupa SB 1, TS 1, MFS 1, MFS 2 serta SB 2. *System tract* pada Sumur ini berupa dua TST, tiga HST, dan dua LST. Pada sumur ini terdapat bentuk elektrofases *funnel* dan *bell* dengan litofases batupasir halus glaukonitan, batupasir halus, *packstone*, dan serpiph. Lingkungan kedalaman dari *marginal marine – middle shelf*. Sub-lingkungan pada Mentawir-1 berupa *delta front* dengan *distributary mouth bar, flood deposit; lower delta plain* dengan asosiasi fasies *floodplain dan creevase splay* (Gambar V.6). Rangkuman analisis lingkungan pengendapan terdapat pada Tabel V.5.



Gambar V. 5 Hasil analisis stratigrafi dan lingkungan pengendapan Sumur Mentawir-1

Tabel V. 4 Rangkuman sublingkungan pengendapan Sumur Mentawir-1

Satuan Batuan	Asosiasi fasies	Sub-lingkungan Pengendapan	Depth (m)
batupasir Mentawir	<i>Crevasse splay, Floodplain</i>	<i>Lower delta plain</i>	606
batupasir Pulaubalang	<i>Distributary mouth bar, Interdistributary Bay</i>	<i>Delta front</i>	606
serpih Pulaubalang	<i>Distributary mouth bar, Flood deposite</i>		1726

Lingkungan pengendapan pada daerah penelitian dibangun menggunakan analisis log sumur berupa bentuk elektrofases, data biostratigrafi berupa lingkungan kedalaman (batimetri), dan litofases berasal dari deskripsi *cuttings* dan *side wall core*. Lingkungan pengendapan pada daerah penelitian berada pada lingkungan delta dengan jenis *Fluvial Dominated Delta* (Allen & Chambers, 1998). Hal ini dicirikan dengan adanya endapan banjir berupa *creevese splay, floodplain* pada *lower delta plain* dan *flood deposite* pada bagian *delta front*.

Sub-lingkungan pengendapan pada daerah penelitian merupakan *lower delta plain, delta front*, dan *prodelta*. Sub-lingkungan *lower delta plain* tersusun dari asosiasi fasies *distributary channel, creevese splay* dan *floodplain*. Pada sub-lingkungan *delta front* tersusun atas asosiasi fasies berupa *distributary mouth bar,*

interdistributary bay, dan *Flood deposit*. Pada sub-lingkungan pengendapan prodelta tersusun oleh fasies *prodelta*.

Satuan batupasir Maruat terendapkan pada *lower delta plain*, satuan batupasir Pulaubalang terendapkan pada *lower delta plain - prodelta*, satuan serpih Pulaubalang terendapkan pada *delta front – prodelta*. Satuan batugamping Maruat terendapkan pada *delta front*, satuan batupasir Maruat terendapkan pada *delta front*, dan satuan batupasir Pamaluan terendapkan pada lingkungan *delta front*. Adapun rangkuman dari lingkungan pengendapan daerah penelitian dapat dilihat pada **Tabel V.3**.

Tabel V. 5 Summary sub-lingkungan pengendapan dan fasies setiap sumur

Sumur	<i>Lower Delta Plain</i>	<i>Delta Front</i>	<i>Prodelta</i>
Loa Haur-1	<i>Interdistributary bay, Crevasse Splay, Distributary Channel</i>	<i>Flood Deposit</i>	<i>Prodelta</i>
Semai-1	<i>Crevasse splay</i>	<i>Flood Deposit, Distributary mouth bar, Interdistributary bay</i>	-
Sakakanan-1	-	<i>Flood Deposit, Distributary Mouth Bar</i>	<i>Prodelta</i>
Mentawir-1	<i>Floodplain, Crevasse splay</i>	<i>Flood Deposit, Distributary mouth bar, Interdistributary bay</i>	-

V.4 Geokimia

Data geokimia diambil dari empat sumur migas pada permukaan. Sumur migas berasal dari Sumur Loa Haur-1, Sakakanan-1, Semai-1, Mentawir-1 berupa data ekstrak batuan. Pada setiap sumur data geokimia dikelompokkan berdasarkan dengan satuan batuan.

Pada proses evaluasi batuan induk, diperlukan beberapa analisis yang dilakukan, berupa analisis kuantitas dari material organik pada suatu batuan, kualitas dari material organik/tipe kerogen yang ada pada suatu batuan, dan kematangan dari material organik pada batuan. Analisis tersebut dapat menggunakan metode *Rock Eval Pyrolysis* dan GC/MS pada batuan. Hasil dari analisis yang dilakukan berupa karakteristik geokimia batuan induk di daerah penelitian.

V.4.1 Sumur Loa Haur-1

Pengujian batuan pada sumur ini dilakukan pada batuan dari setiap satuan batuan dengan interval 152 m (500 ft) dengan sampel yang dianalisis berupa batulempung dari permukaan hingga kedalaman 2570 m (8449 ft). Hasil pengujian REP yang dilakukan terdapat pada **Lampiran 14** dan untuk analisis GC dapat dilihat pada **Lampiran 15**.

Tabel V. 6 Data Geokimia Batuan Induk Sumur Loa Haur-1 (REP & Ro%)

Satuan batuan	Depth (m)	TOC (wt %)	PY (mgHC/g r batuan)	HI (mg C/gr TOC)	Tmax	Ro (%)	Catatan
batupasir Mentawir	0 - 930	cukup (0,41 - 0,91)	rendah (0,46 - 0,96)	kecil - sedang (58 - 103)	belum matang - matang awal (430 - 461)	Belum matang (0,46 - 0,53)	Kuantitas cukup, Tipe kerogen III, belum matang, lingkungan darat
batupasir Pulaubalang	930 - 2200	cukup - baik (0,88 - 1,29)	Buruk (1,13 - 1,89)	kecil - sedang (93 - 156)	belum matang - matang awal (428 - 441)	Belum matang (0,54)	Kuantitas cukup – baik, tipe kerogen III, belum matang – matang awal, lingkungan darat
serpih Pulaubalang	2200 - 2570	cukup - baik (0,9 - 1,11)	buruk (1,07 - 1,58)	kecil (101 - 111)	Matang awal (439 - 443)	Matang awal (0,58 - 0,59)	Kekayaan material organik baik, tipe kerogen III, matang awal, lingkungan darat

Tabel V. 7 Data Geokimia GC & GCMS Sumur Loa Haur-1

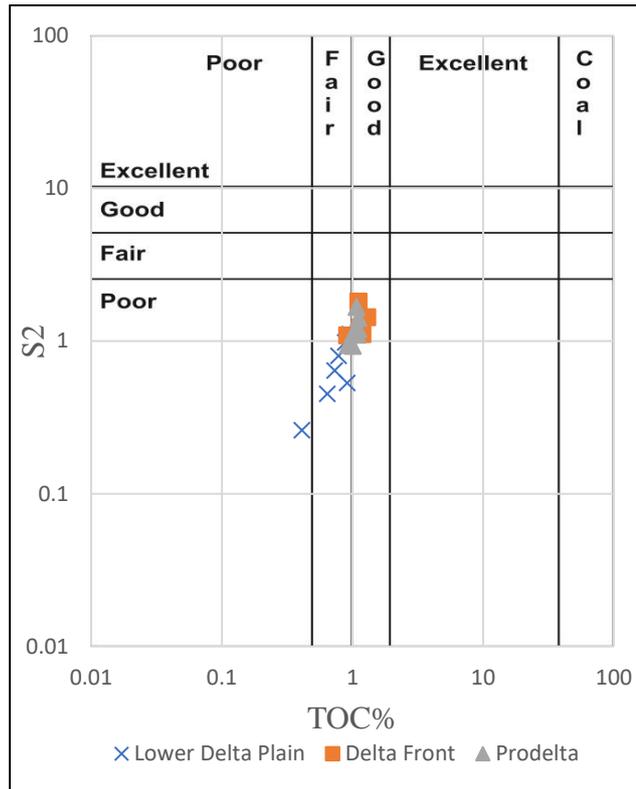
Satuan batuan	Depth (m)	Pr/Ph	<C20 & >C20	C27, C28, C29	CPI	C30 M/H & Ts/Tm	Catatan
batupasir Pulaubalang	1811 - 2115	darat, oksik	>C20 <i>Higher plant</i>	-	belum matang - matang awal (1,09-1,63)	-	Lingkungan pengendapan Darat, lingkungan oksik, <i>higher plant</i> , matang

Hasil REP yang dilakukan menunjukkan bahwa satuan batupasir Mentawir memiliki nilai TOC% 0,41 – 0,91, nilai PY 0,46 – 0,96, HI 58 – 103, Tmax 430 –

461, dan Ro% 0,46 – 0,53. Satuan batupasir Pulaubalang memiliki nilai TOC% 0,88 – 1,29, nilai PY 1,13 – 1,89, HI 93 – 156, Tmax 428 – 441, dan Ro% 0,54. Satuan serpih Pulaubalang memiliki nilai TOC% 0,9 – 1,11, nilai PY 1,07 – 1,58, HI 101 – 111, Tmax 439 – 443, dan Ro% 0,58 – 0,59. Nilai yang ada digunakan untuk melakukan analisis kekayaan material organik menggunakan parameter %TOC vs S₂. Berdasarkan hasil yang ada didapatkan pada lingkungan. Pengujian batuan menggunakan GC yang dilakukan, didapatkan nilai Pr/Ph dengan rentang 4,17 – 6,69. Nilai CPI pada batupasir Pulaubalang memiliki rentang antara 1,09 – 1,63.

- Kuantitas Material Organik

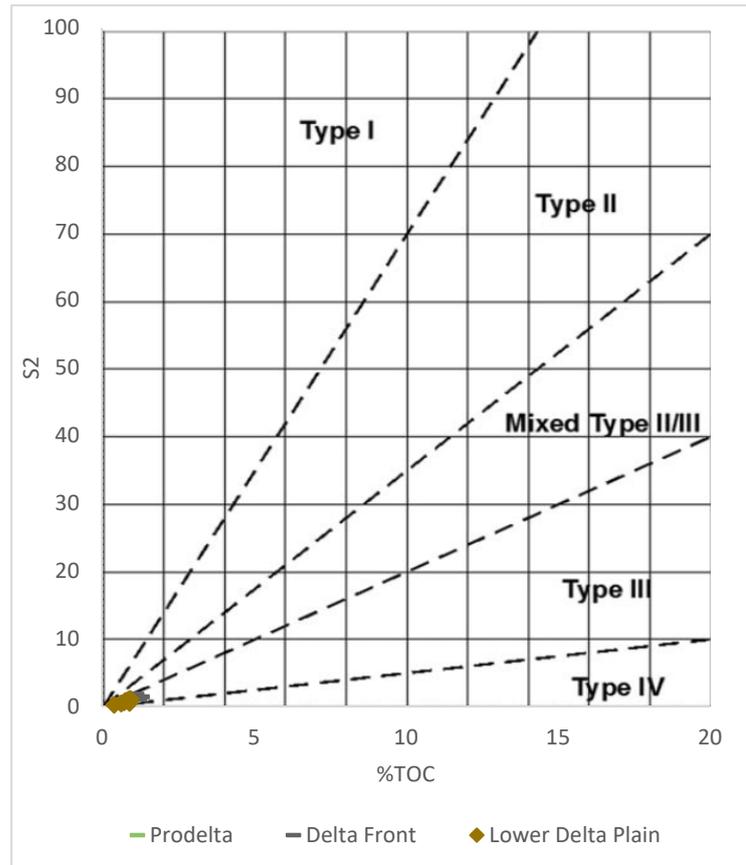
Analisis kekayaan material organik pada sumur ini dilakukan menggunakan diagram plot %TOC vs S₂. Nilai %TOC dan S₂ pada sumur ini, digolongkan berdasarkan pada posisi lingkungan pengendapan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hubungan dari lingkungan pengendapan dengan kekayaan material organik pada sumur ini. Berdasarkan pada diagram plot yang ada (**Gambar V.6**) didapatkan lingkungan pengendapan *prodelta* dan *delta front* memiliki potensi kekayaan material organik yang cukup – baik, sedangkan pada sub-lingkungan *lower delta front* memiliki potensi buruk - cukup.



Gambar V. 6 Diagram plot %TOC vs S₂ sebagai analisis kekayaan Sumur Loa Haur-1

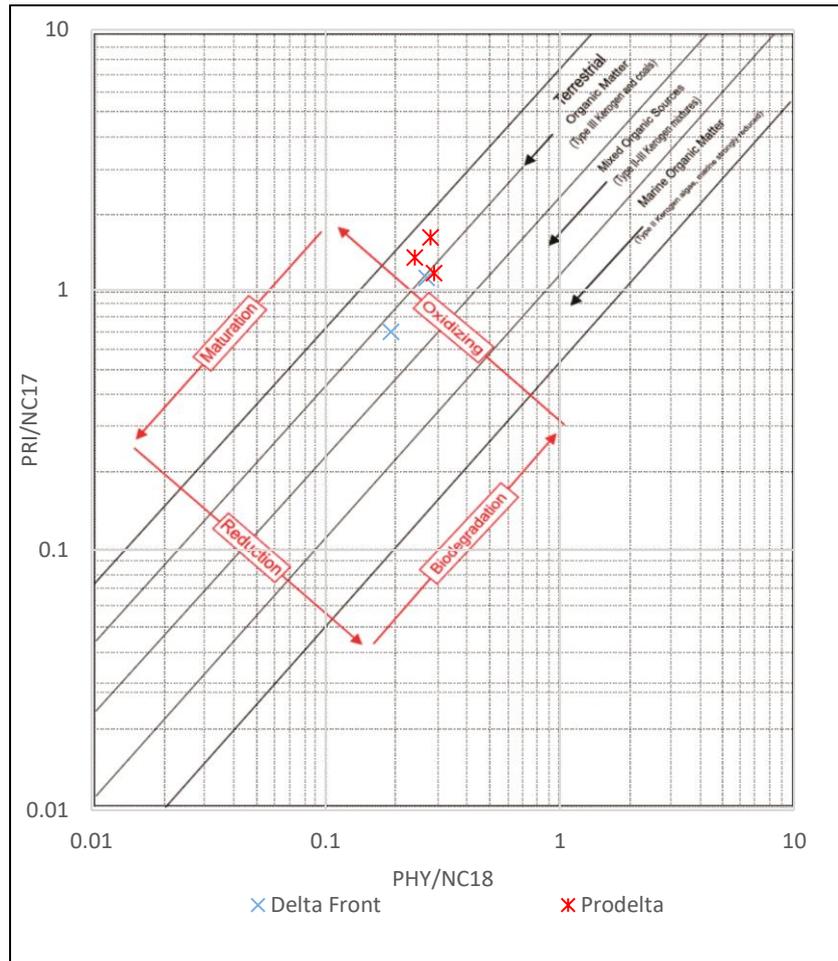
- Tipe Kerogen

Analisis tipe kerogen digunakan untuk mengetahui potensi pembentukan hidrokarbon dari material organik dan batas kematangan dari material organik pada batuan. Analisis dilakukan dengan diagram plot %TOC vs S₂. Berdasarkan pada diagram plot %TOC vs S₂ yang dilakukan (**Gambar V.7**), didapatkan pada ketiga sub-lingkungan pengendapan memiliki tipe kerogen III. Hal ini mengindikasikan pada lingkungan ini material organik berasal dari darat berupa tanaman tingkat tinggi.



Gambar V. 7 Diagram plot S2 vs %TOC sebagai analisis tipe kerogen Sumur Loa Haur-1

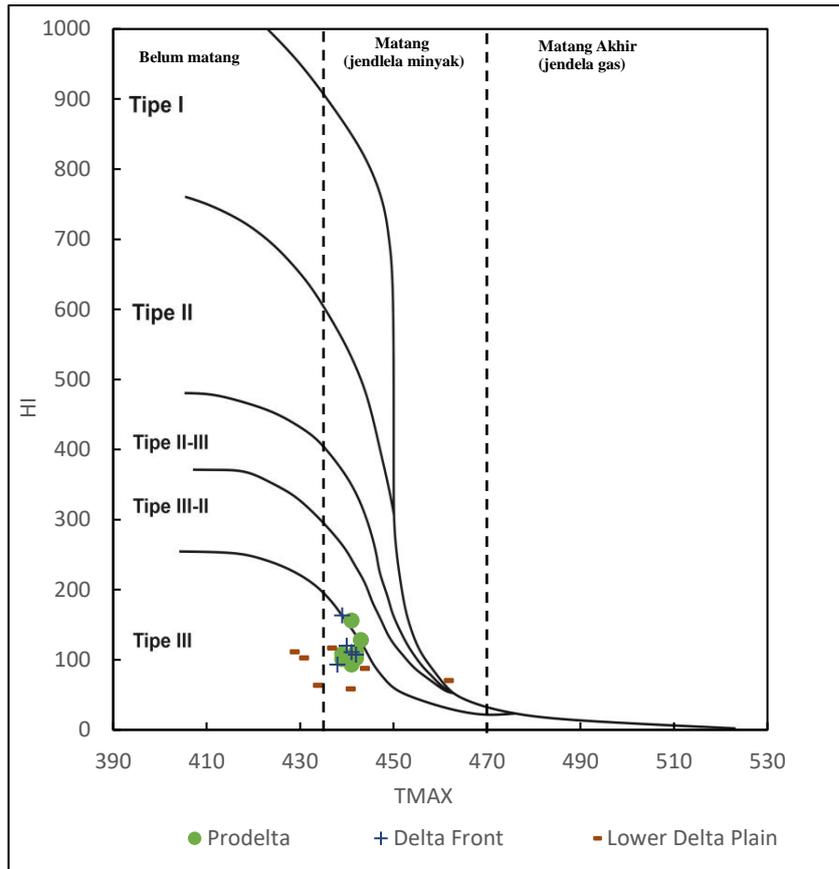
Analisis tipe kerogen dapat dievaluasi menggunakan nilai Pr/C₁₇ dan Ph/C₁₈. Nilai tersebut digunakan pada diagram plot yang menjelaskan mengenai tipe kerogen, lingkungan pengendapan, kematangan, oksiditas, dan biodegradasi. Hasil dari diagram plot terdapat pada **Gambar V.8** yang menunjukkan bahwa sampel pada sub-lingkungan *delta front* dan *prodelta* memiliki tipe kerogen III yang berasal dari tanaman tingkat tinggi lingkungan darat dengan kondisi lingkungan yang oksik.



Gambar V. 8 Diagram plot Pr/C17 vs Ph/C18 Sumur Loa Haur-1

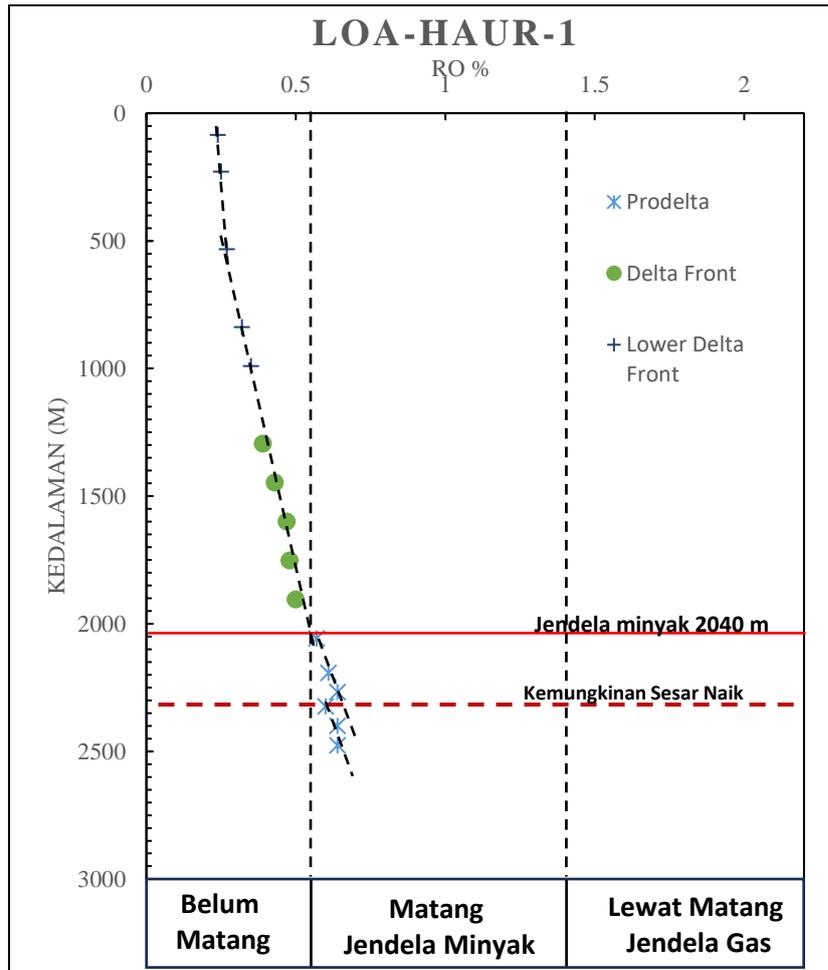
- **Kematangan**

Analisis kematangan material organik pada batuan digunakan untuk mengetahui perubahan material organik menjadi hidrokarbon. Perubahan terjadi akibat dari proses katagenesis. Analisis ini yang digunakan berupa diagram plot HI vs Tmax dan Ro% vs kedalaman. Berdasarkan ada diagram plot HI vs Tmax yang dilakukan (**Gambar V.9**) didapatkan pada sub-lingkungan *prodelta* dan *delta front* telah mengalami kematangan, sedangkan pada lingkungan *lower delta front* sebagian sampel belum mengalami kematangan.



Gambar V. 9 Diagram plot HI vs Tmax sebagai penentu kematangan Sumur Loa Haur-1

Analisis Ro% vs Kedalaman digunakan untuk mengetahui jendela minyak. Hasil analisis Ro% vs Kedalaman (**Gambar V.11**) didapatkan jendela minyak berada pada kedalaman 2040 m yang menggunakan batas kematangan sebesar 0,55 berdasarkan pada tipe kerogennya. Kematangan terjadi mulai pada fasies *prodelta*. Diagram ini terdapat anomali tren nilai Ro%. Anomali terjadi pada kedalaman 525 m yang diinterpretasikan sebagai anomali gradien geotermal dan 2350 m diinterpretasikan sebagai sesar naik.



Gambar V. 10 Diagram plot Ro% vs Kedalaman sebagai penentu kematangan Sumur Loa Haur-1

Selain dari metode REP, kematangan juga dapat diketahui menggunakan metode GC. Metode GC yang digunakan berupa CPI. Nilai CPI (**Lampiran 17**) pada sampel yang diuji memiliki rentang 1,09 – 1,69. Nilai tersebut mengindikasikan pada beberapa sampel batuan sudah mengalami kematangan.

- Lingkungan Pengendapan

Analisis lingkungan pengendapan menggunakan *Gas Chromatography* (**Lampiran 16**) didapatkan menggunakan pola puncak yang berada pada $>C_{20}$ atau $<C_{20}$ dan rasio Pr/C₁₇ vs Ph/C₁₈. Sampel batuan yang dilakukan analisis GC berada pada sub-lingkungan *delta front* dan *prodelta*. Pola puncak pada hasil analisis GC yang dilakukan terdapat dua pola puncak, yaitu puncak yang berada pada $>C_{20}$ dan $<C_{20}$. Sub-lingkungan *delta front* memiliki pola puncak pada nomor $<C_{20}$ yang dapat diinterpretasikan bahwa asal material organik berasal dari alga (Peters, dkk., 2005). Nilai Pr/Ph pada sampel batuan yang diuji memiliki rentang nilai 4,17 – 6,69 yang diinterpretasikan terendapkan pada lingkungan

yang oksik (Peters, dkk., 2005) dan pada lingkungan pengendapan *fluvio-deltaik* (Robinson, 1980).

Karakteristik geokimia batuan induk pada Sumur Loa Haur-1 yang berada pada sub-lingkungan *lower delta plain* memiliki kekayaan material organik yang buruk – cukup dengan tipe kerogen III dan belum mengalami kematangan, sedangkan pada sub-lingkungan *delta front* memiliki kekayaan material organik yang cukup hingga baik dengan tipe kerogen III yang sudah mengalami kematangan awal. Lingkungan pengendapan dari batuan induk berada pada lingkungan *fluvio-deltaic* yang kaya akan oksigen (oksik). Potensi hidrokarbon yang terbentuk berupa gas.

V.4.2 Sumur Semoi-1

Pengujian batuan pada sumur ini dilakukan pada batuan dari setiap satuan batuan dengan interval 30,48 m (100ft) dengan sampel yang dianalisis berupa batulempung dan sampel *bulk* dari kedalaman 30,48 hingga kedalaman 1066 m (3500 ft). Hasil pengujian REP yang dilakukan terdapat pada **Lampiran 17**.

Hasil REP yang dilakukan menunjukkan bahwa satuan batupasir Pulaubalang memiliki nilai TOC% 0,64 – 1,57, nilai PY 0,38 – 1,84, HI 39 – 146, Tmax 412 – 435, dan Ro% 0,36 – 0,4. Satuan serpih Pulaubalang memiliki nilai TOC% 0,94 – 2,19, nilai PY 0,67 – 1,68, HI 70 – 106, Tmax 426 – 434, dan Ro% 0,4 – 0,56. Satuan batugamping Maruat memiliki nilai TOC% 1,15 – 1,41, nilai PY 0,84 – 0,92, HI 57 – 74, Tmax 428 – 429, dan Ro% 0,36 – 0,46. Satuan batupasir Maruat memiliki nilai TOC% 1,16 – 9,03, nilai PY 1,87 – 33,8, HI 112 – 387, Tmax 402 – 436, dan Ro% 0,48 – 0,56. Hasil rangkuman terdapat dalam **Tabel V.9**.

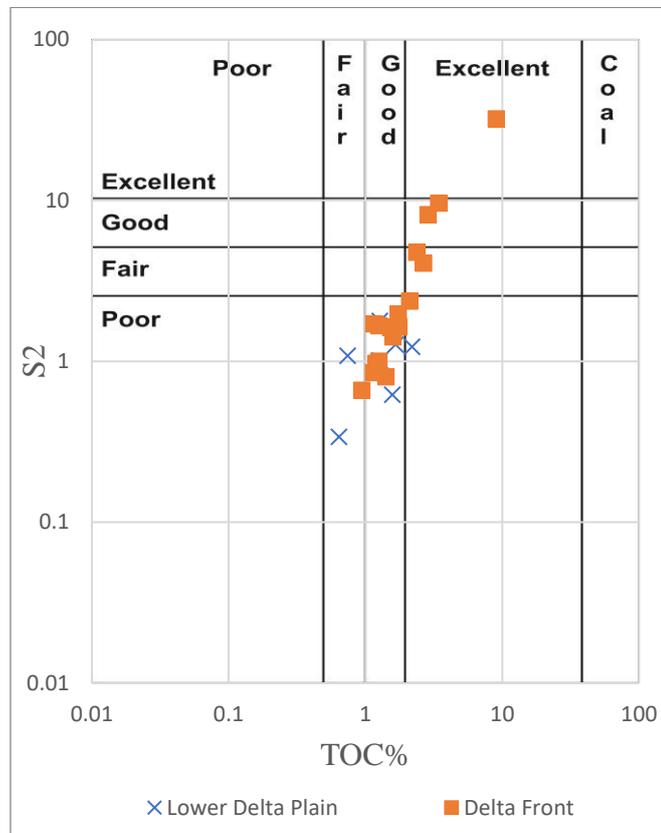
Tabel V. 8 Rangkuman hasil pengujian REP & Ro Sumur Semoi-1

Satuan Batuan	Depth (m)	TOC (wt %)	PY (mgHC/gr batuan)	HI (mg C/gr TOC)	Tmax	Ro (%)	Catatan
batupasir Pulaubalang	30 - 252	Cukup - Baik (0,64 - 1,57)	Rendah - Buruk (0,38 - 1,84)	kecil (39 - 146)	Belum matang - Matang awal (412-435)	Belum matang (0,36 - 0,4)	Kuantitas cukup-baik, potensi hidrokarbon buruk, kerogen III, belum matang, lingkungan darat
serpih Pulaubalang	252 - 498	Cukup - Sangat Baik (0,94 - 2,19)	Rendah (0,67 - 1,68)	kecil (70 - 106)	Belum matang (426-434)	Belum matang - matang awal (0,4 - 0,56)	Kuantitas cukup-sangat baik, potensi hidrokarbon rendah, kerogen III, belum matang, lingkungan darat
batugamping Maruat	498 - 792	Baik (1,15 - 1,41)	Rendah (0,84 - 0,92)	kecil (57 - 74)	Belum matang (428 - 429)	Belum matang (0,36 - 0,46)	Kuantitas baik, potensi hidrokarbon rendah, kerogen III, belum matang, lingkungan darat
batupasir Maruat	792 - 1066	Baik - Sempurna (1,16 - 9,03)	Rendah - Sempurna (1,87 - 33,8)	kecil - sedang (112 - 387)	belum matang - matang awal (402 - 436)	belum matang - matang awal (0,48 - 0,56)	Kuantitas baik, potensi hidrokarbon rendah, kerogen III, belum matang awal, lingkungan darat

- Kuantitas Material Organik

Analisis kekayaan material organik pada sumur ini dilakukan menggunakan diagram plot %TOC vs S_2 . Nilai %TOC dan S_2 pada sumur ini, digolongkan berdasarkan pada posisi lingkungan pengendapan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hubungan dari lingkungan pengendapan dengan kekayaan material organik pada sumur ini. Berdasarkan pada diagram plot yang dilakukan, (**Gambar V.12**) didapatkan pada sub-lingkungan pengendapan *lower delta plain* memiliki

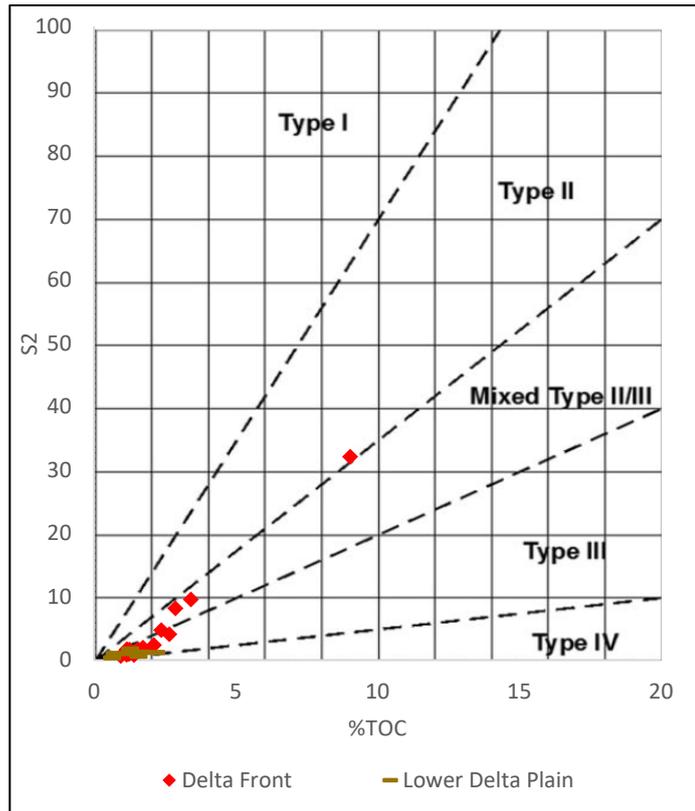
potensi kekayaan cukup – baik dan pada sub-lingkungan pengendapan *delta front* didapatkan potensi kekayaan yang baik – sempurna.



Gambar V. 11 Diagram plot %TOC vs S₂ sebagai penentu kekayaan material organik Sumur Semoi-1

- Tipe Kerogen

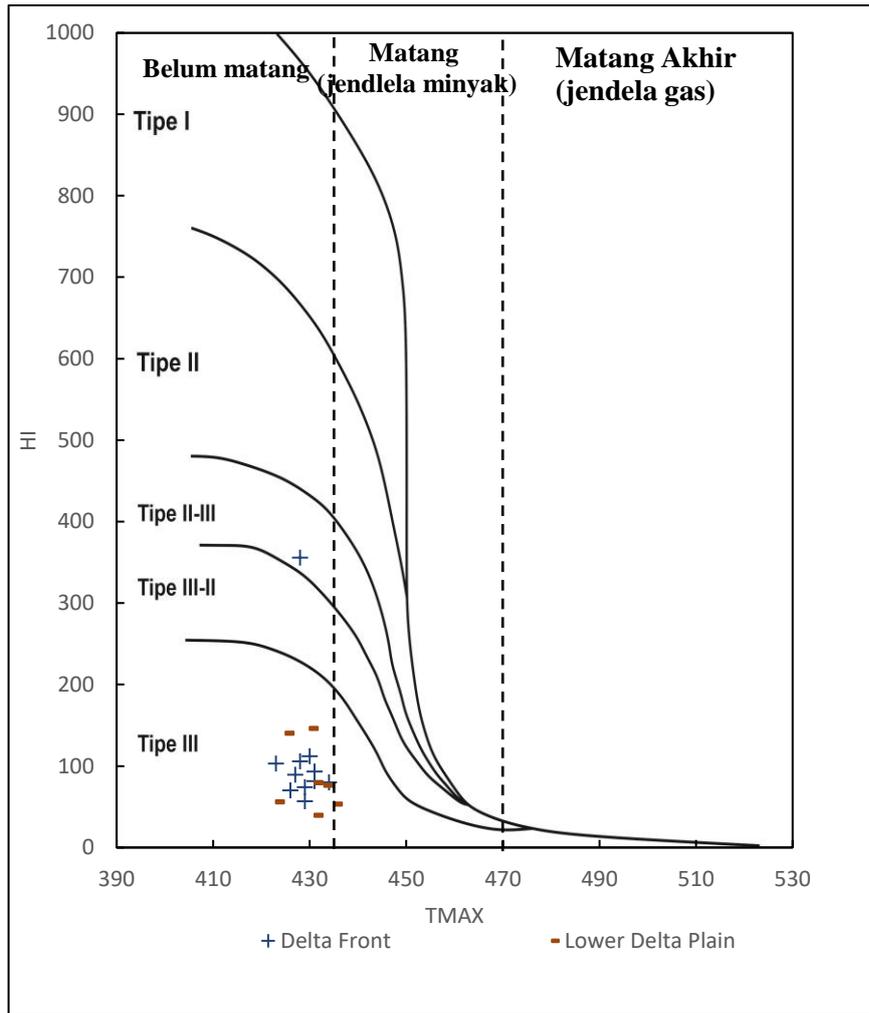
Analisis tipe kerogen digunakan untuk mengetahui potensi pembentukan hidrokarbon dari material organik dan batas kematangan dari material organik pada batuan. Analisis dilakukan dengan diagram plot %TOC vs S₂. Berdasarkan pada diagram plot %TOC vs S₂ yang dilakukan (**Gambar V.8**), didapatkan pada sub-lingkungan *lower delta plain* memiliki tipe kerogen III, sedangkan pada sub-lingkungan *delta front* memiliki tipe kerogen campuran III/II. Hal ini mengindikasikan pada sub-lingkungan *lower delta plain* memiliki asal material organik dari lingkungan darat berupa tanaman tingkat tinggi, sedangkan pada sub-lingkungan *delta front* memiliki asal material organik berasal dari pertemuan antara lingkungan darat dan laut yaitu transisi berupa campuran antara tanaman tingkat tinggi dan alga laut.



Gambar V. 12 Diagram plot %TOC vs S₂ sebagai penentu tipe kerogen Sumur Semoi-1

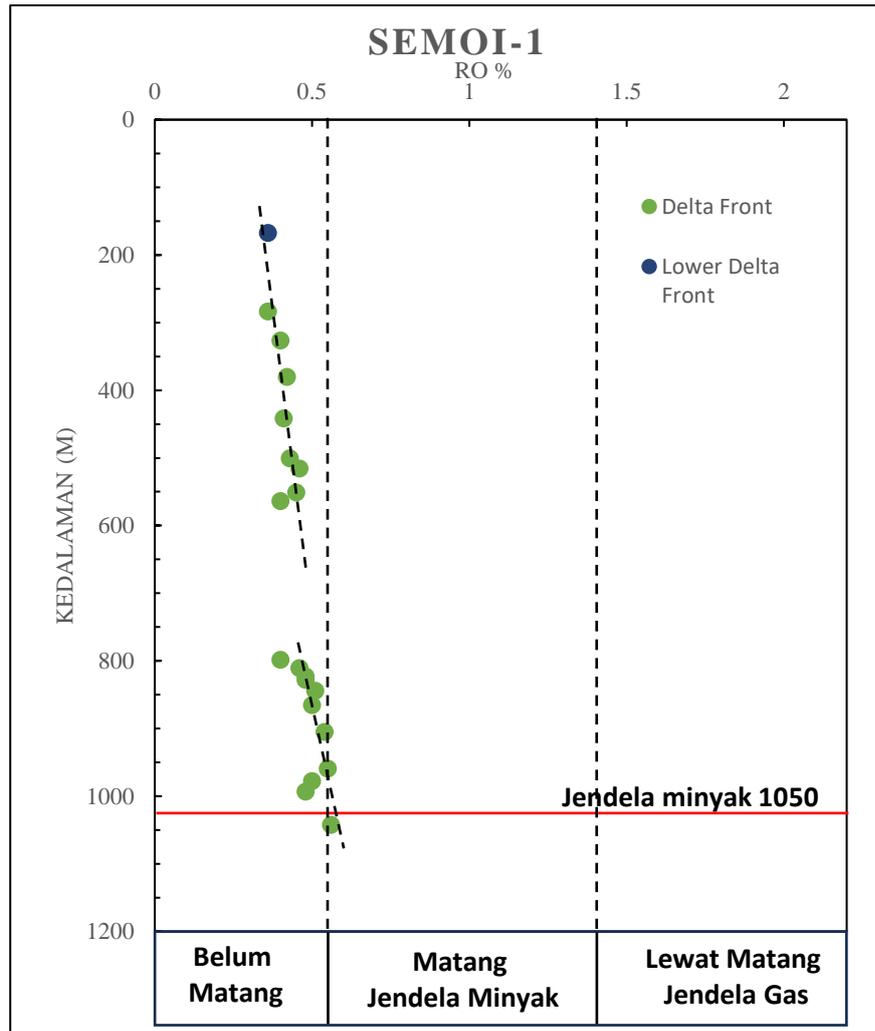
- **Kematangan**

Analisis kematangan material organik pada batuan digunakan untuk mengetahui perubahan material organik menjadi hidrokarbon. Perubahan terjadi akibat dari proses katagenesis. Analisis ini yang digunakan berupa diagram plot HI vs Tmax dan Ro% vs kedalaman. Berdasarkan ada diagram plot HI vs Tmax yang dilakukan (**Gambar V.10**) didapatkan pada kedua sub-lingkungan *lower delta plain* dan *delta front* belum mengalami kematangan.



Gambar V. 13 Diagram plot Tmax HI sebagai penentu kematangan Sumur Semoi-1

Analisis Ro% vs Kedalaman digunakan untuk mengetahui jendela minyak. Hasil analisis Ro% vs Kedalaman (**Gambar V.11**) didapatkan jendela minyak berada pada kedalaman 1050 m yang menggunakan batas kematangan sebesar 0,55 berdasarkan pada tipe kerogennya. Diagram ini terdapat anomali tren nilai Ro%. Kematangan terjadi pada fasies *delta front* pada sampel terdalam, pada sampel yang lebih dangkal pada kedua sub-lingkungan pengendapan belum mengalami kematangan.



Gambar V. 14 Diagram plot Ro% vs Kedalaman sebagai penentu kematangan Sumur Semoi-1

Karakteristik geokimia batuan pada sumur ini memiliki kekayaan material organik yang cukup hingga sempurna dengan tipe kerogen III/II, namun belum mengalami kematangan. Berdasarkan hasil dari data tersebut asal material organik dari batuan induk yang ada berasal dari campuran tanaman tingkat tinggi yang terendapkan pada lingkungan darat/terpengaruh oleh proses darat dan alga yang berasal dari lingkungan laut.

V.4.3 Sumur Sakakanan-1

Tabel V. 9 Data geokimia batuan Sumur Sakakanan-1 (REP & Ro)

Satuan batuan	Depth (m)	TOC (wt %)	PY (mgHC/gr batuan)	HI (mg C/gr TOC)	Tmax	Ro (%)
Batupasir Pulaubalang	76 - 804	Cukup - Baik (0,9 - 1,99)	Rendah - Baik (0,75 - 3,00)	kecil (46 - 142)	Belum matang - Matang (433-443)	Belum matang - Matang akhir (0,41 - 1,13)
Serpih Pulaubalang	804 - 1435	Cukup - Sempurna (0,87 - 30,71)	Rendah - Sangat Baik (0,72 - 57,4)	kecil (74 - 217)	Belum matang - matang akhir (425 - 446)	Belum matang - matang awal (0,46 - 0,67)

Tabel V. 10 Rangkuman analisis GC & GCMS Sumur Sakakanan-1

Satuan batuan	Depth (m)	Pr/Ph	<C20 & >C20	C27, C28, C29	CPI	C30 M/H & Ts/Tm	Catatan
Batupasir Pulaubalang	76 - 804	Darat, oksik	>C20 <i>Higher plant</i>	Darat - Estuarin	Belum matang (1,23-1,58)	Matang awal	Lingkungan Darat, oksik, tanaman tingkat tinggi, matang awal
Serpih Pulaubalang	804 - 1435	Darat, oksik	>C20 <i>higher plant</i>	Darat - Estuarin	Belum matang (1,31-1,47)	Matang awal - Matang puncak	Lingkungan Darat, Oksik, tanaman tingkat tinggi, matang awal - puncak

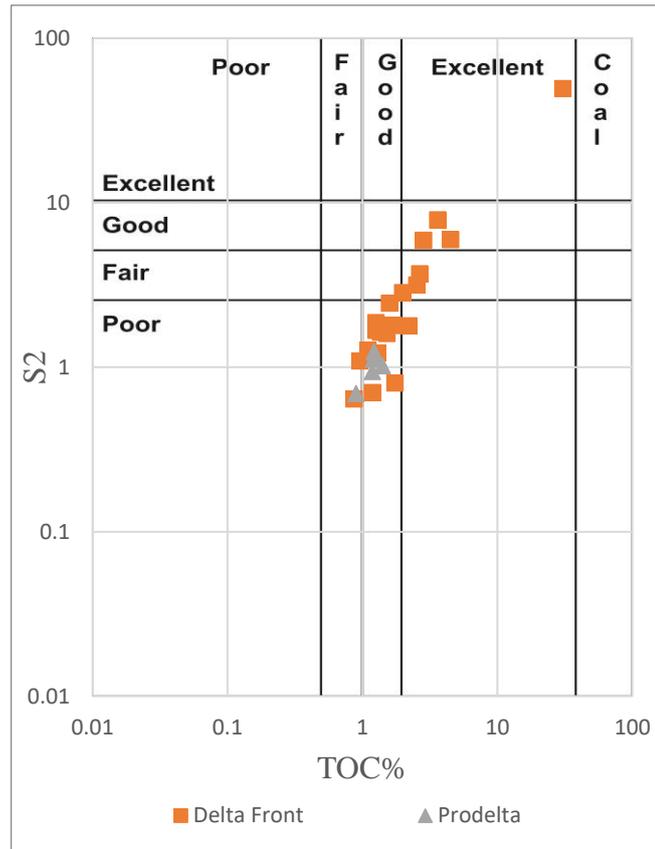
Pengujian batuan pada sumur ini dilakukan pada batuan dari setiap satuan batuan dengan interval 76 m (250ft) dengan sampel yang dianalisis berupa serpih dari kedalaman 76 hingga kedalaman 1435 m (3500 ft). Hasil pengujian REP yang dilakukan terdapat pada **Lampiran 17** dan hasil pengujian dan kuantifikasi nilai GC/GCMS diambil menggunakan sampel *Side Wall Core* (SWC) pada enam kedalaman dengan hasil terdapat pada **Lampiran 18 dan 19**.

Hasil REP yang dilakukan menunjukkan bahwa satuan batupasir Pulaubalang memiliki nilai TOC% 0,9 – 1,99, nilai PY 0,75 – 3,00, HI 46 – 142, Tmax 433 – 443, dan Ro% 0,41 – 1,13. Satuan serpih Pulaubalang memiliki nilai TOC% 0,87 – 30,71, nilai PY 0,72 – 57,4, HI 74 – 217, Tmax 425 – 446, dan Ro% 0,46 – 0,67. Hasil rangkuman REP juga tersaji dalam **Tabel V.10**.

Pengujian batuan yang dilakukan menggunakan GC didapatkan hasil nilai Pr/Ph menunjukkan hasil antara 4,92 – 7,04, nilai CPI dengan rentang 1,23 – 2,02, dan nilai puncak tertinggi berada pada ikatan karbon >C20. Hasil analisis GCMS terdapat konsentrasi oleanana yang tinggi, nilai Tm/Ts memiliki rentang 1,71 – 5,44, C₃₀ moretana/ C₃₀ hopana memiliki rentang nilai 0,12 – 0,45, nilai C₂₇ sterana 8,8 – 27,37, C₂₈ sterana 15,8 – 22,5, C₂₉ sterana 41,2 – 75,4.

- Kuantitas Material Organik

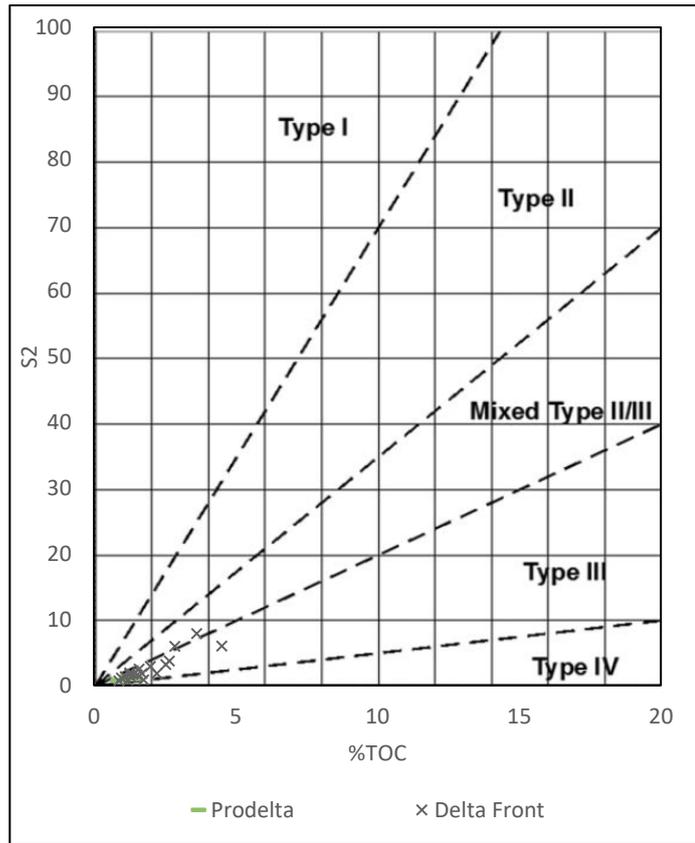
Analisis kekayaan material organik pada sumur ini dilakukan menggunakan diagram plot %TOC vs S₂. Nilai %TOC dan S₂ pada sumur ini, digolongkan berdasarkan pada posisi lingkungan pengendapan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui hubungan dari lingkungan pengendapan dengan kekayaan material organik pada sumur ini. Berdasarkan pada diagram plot yang dilakukan, (**Gambar V.16**) didapatkan pada sub-lingkungan pengendapan *prodelta* memiliki potensi kekayaan cukup – baik dan pada sub-lingkungan pengendapan *delta front* didapatkan potensi kekayaan yang cukup – sempurna.



Gambar V. 15 Diagram plot %TOC vs S₂ sebagai penentu kuantitas Sumur Sakakanan-1

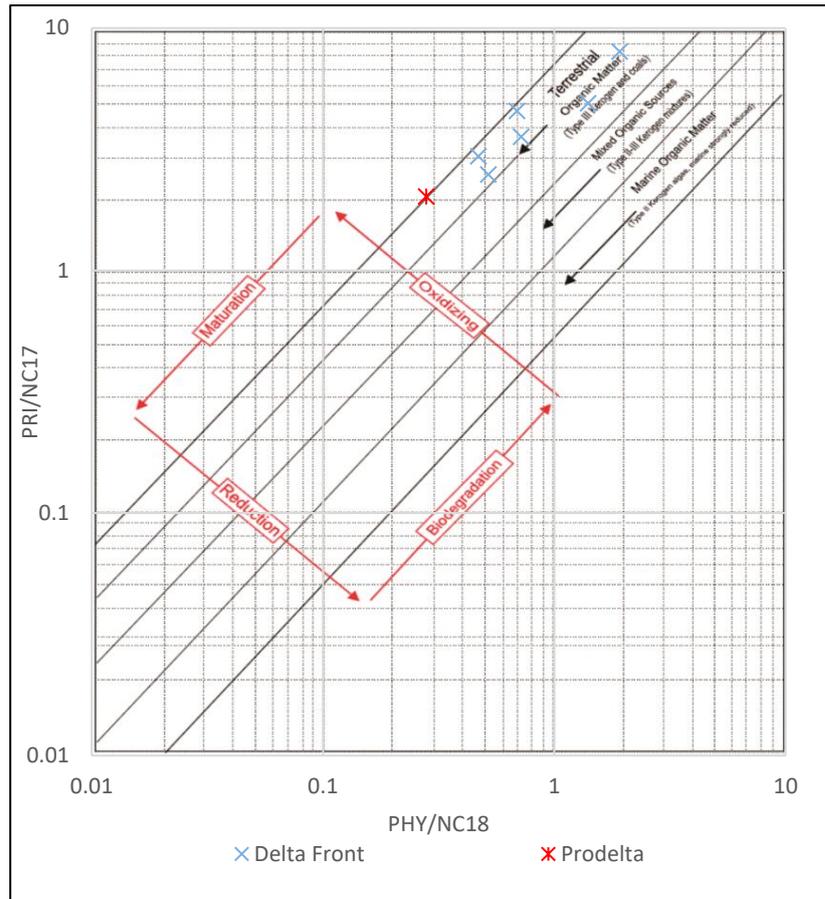
- Tipe Kerogen

Analisis tipe kerogen digunakan untuk mengetahui potensi pembentukan hidrokarbon dari material organik dan batas kematangan dari material organik pada batuan. Analisis dilakukan dengan diagram plot %TOC vs S₂. Berdasarkan pada diagram plot %TOC vs S₂ yang dilakukan (**Gambar V.17**), didapatkan pada sub-lingkungan *prodelta* memiliki tipe kerogen III, sedangkan pada sub-lingkungan *delta front* memiliki tipe kerogen III dan campuran III/II. Hal ini mengindikasikan pada sub-lingkungan *prodelta* memiliki asal material organik dari lingkungan darat berupa tanaman tingkat tinggi dan pada sub-lingkungan *delta front* memiliki material organik yang berasal dari tanaman tingkat tinggi darat dan campuran alga yang berasal dari laut. Potensi pembentukan hidrokarbon dari tipe kerogen ini berupa gas dan sedikit minyak.



Gambar V. 16 Diagram plot %TOC vs S₂ sebagai penentu tipe kerogen Sumur Sakakanan-1

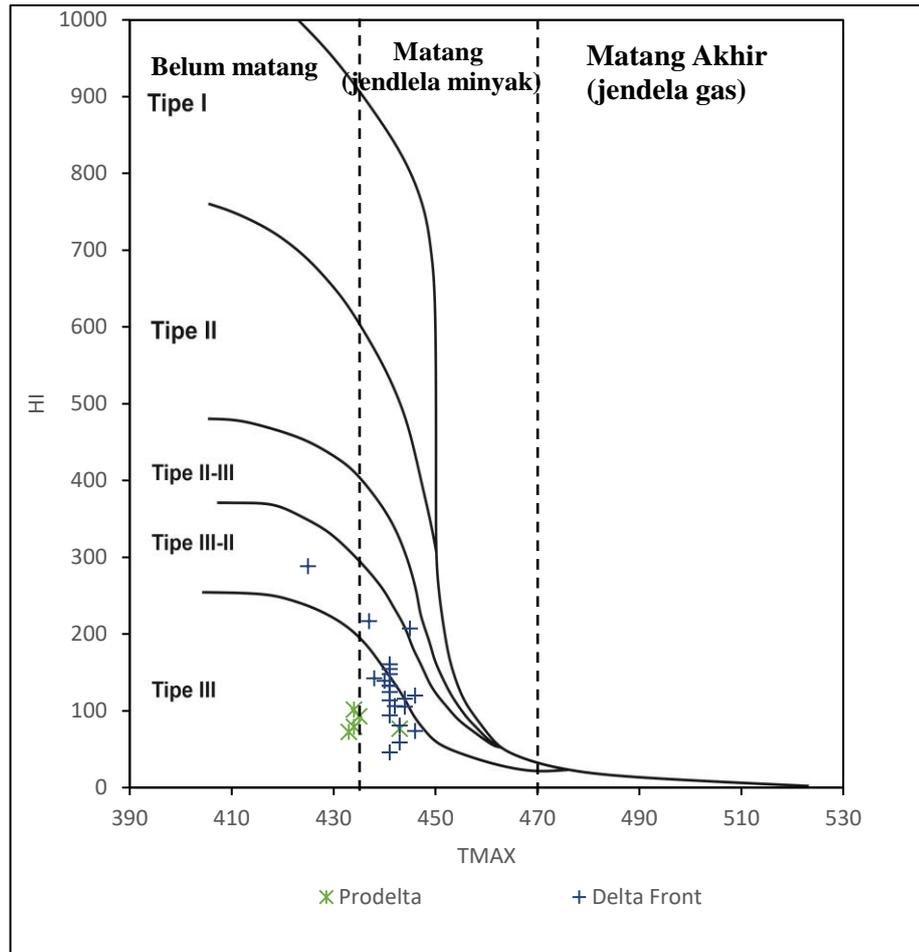
Analisis tipe kerogen juga dapat menggunakan metode GC. Parameter yang digunakan pada penentuan tipe kerogen berupa nilai Pr/C₁₇ dan Ph/C₁₈. Kedua parameter tersebut disajikan dalam bentuk diagram plot yang memuat informasi mengenai asal material organik, kematangan, oksiditas lingkungan, dan kematangan. Berdasarkan diagram plot Pr/C₁₇ dan Ph/C₁₈ (**Gambar 18**) didapatkan interpretasi material organik pada sampel berasal dari tanaman tingkat tinggi lingkungan darat atau berupa tipe kerogen III. Tipe kerogen ini berpotensi untuk membentuk hidrokarbon berbentuk gas.



Gambar V. 17 Diagram plot Pr/C₁₇ vs Ph/C₁₈ sebagai penentu tipe kerogen dan asal material organik Sumur Sakakanan-1

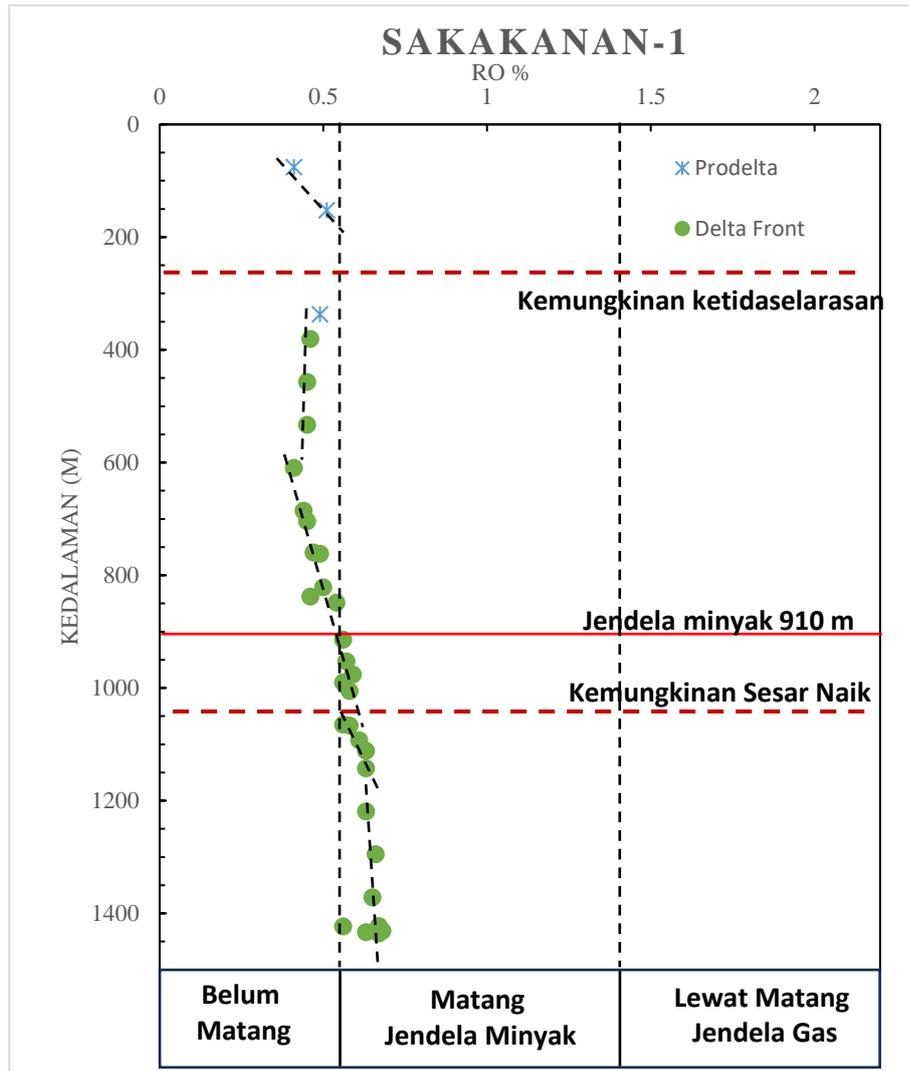
- **Kematangan**

Analisis kematangan material organik pada batuan digunakan untuk mengetahui perubahan material organik menjadi hidrokarbon. Perubahan terjadi akibat dari proses katagenesis. Analisis ini yang digunakan berupa diagram plot HI vs Tmax dan Ro% vs kedalaman. Berdasarkan ada diagram plot HI vs Tmax yang dilakukan (**Gambar V.19**) didapatkan pada kedua sub-lingkungan *prodelta* dan *delta front* mengalami kematangan awal.



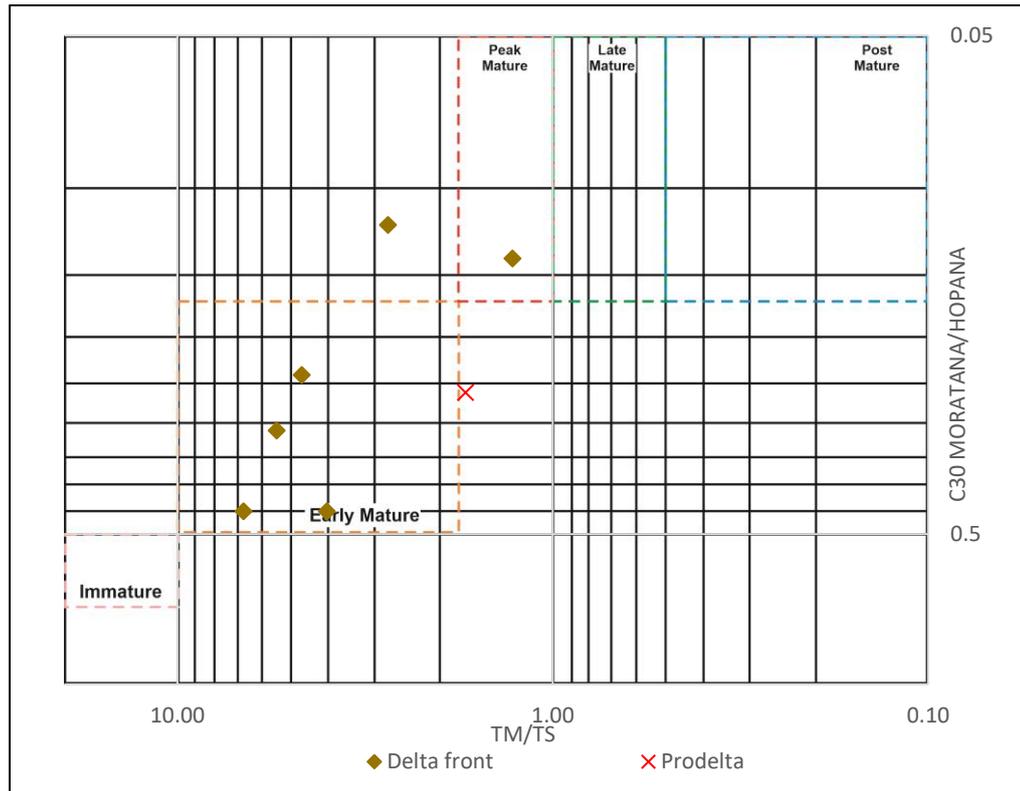
Gambar V. 18 Diagram plot Tmax vs HI sebagai parameter kematangan Sumur Sakakanan-1

Analisis Ro% vs Kedalaman digunakan untuk mengetahui jendela minyak. Hasil analisis Ro% vs Kedalaman (**Gambar V.19**) didapatkan jendela minyak berada pada kedalaman 910 m yang menggunakan batas kematangan sebesar 0,55 berdasarkan pada tipe kerogennya. Diagram ini terdapat anomali tren nilai Ro%. Kematangan terjadi pada fasies *delta front* pada sampel terdalam, pada sampel yang lebih dangkal pada kedua sub-lingkungan pengendapan belum mengalami kematangan. Diagram plot ini terdapat anomali nilai Ro%. Anomali yang ada diinterpretasikan sebagai ketidak selarasan pada kedalaman 250 m dan sesar naik pada kedalaman 1025 m.



Gambar V. 19 Diagram plot Ro% vs Kedalaman sebagai penentu kematangan Sumur Sakakanan-1

Selain dari metode REP, kematangan juga dapat diketahui menggunakan metode GC. Metode GC yang digunakan berupa CPI. Nilai CPI (**Lampiran 18**) pada sampel yang diuji memiliki rentang 1,23 – 2,02. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa sampel batuan belum mengalami kematangan. Pada parameter menggunakan GCMS menggunakan parameter T_m/T_s dan C_{30} Moreatana / C_{30} Hopana. Penggunaan kedua rasio tersebut digunakan untuk parameter kematangan dengan penyajian berupa diagram plot. Berdasarkan dari diagram plot tersebut didapatkan bahwa pada batuan di sub-lingkungan *prodelta* mengalami kematangan awal, dan sub-lingkungan *delta front* sampel sudah mengalami kematangan awal – kematangan puncak.

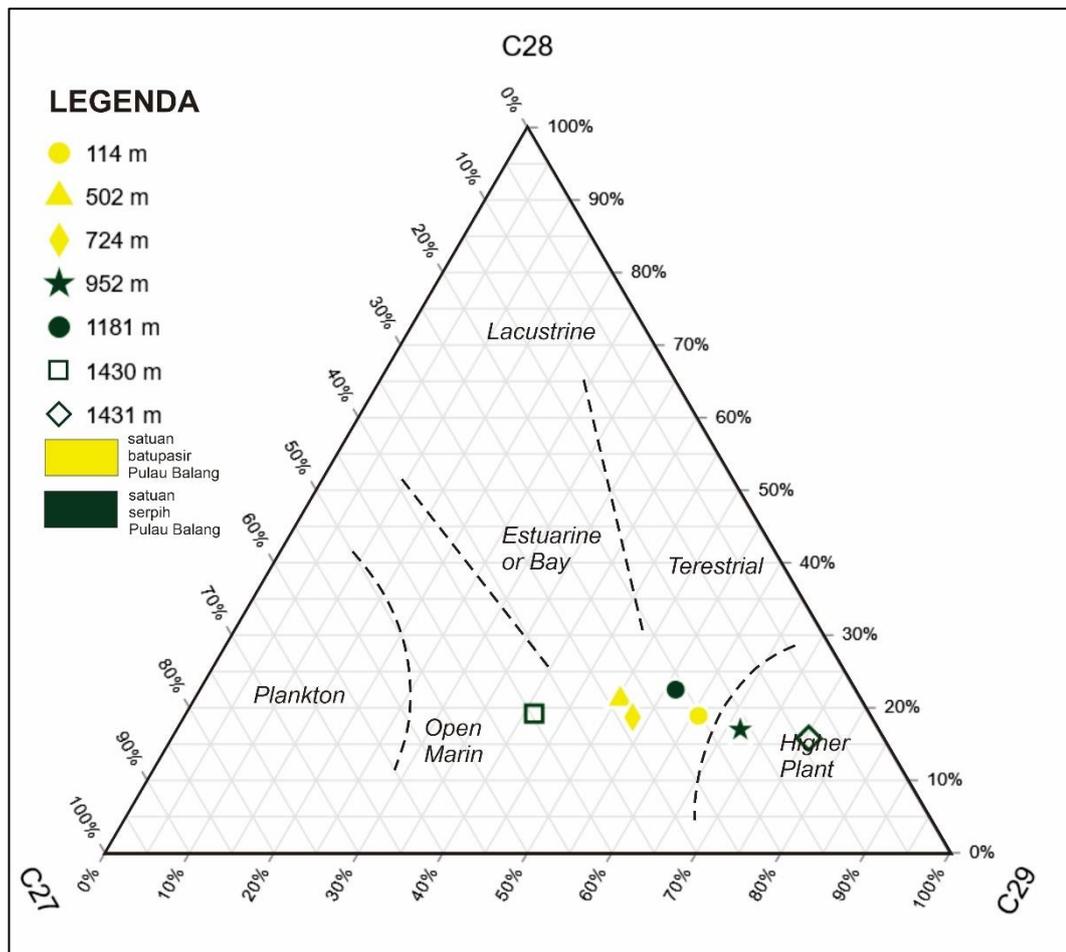


Gambar V. 20 Diagram plot Tm/Ts vs C₃₀ Moreatana/C₃₀ Hopana sebagai parameter kematangan Sumur Sakakanan-1

- Lingkungan Pengendapan

Analisis lingkungan pengendapan menggunakan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (**Lampiran 19**) dilakukan dengan cara melihat pola puncak yang berada pada $>C_{20}$ atau $<C_{20}$, rasio Pr/C₁₇ vs Ph/C₁₈, konsentrasi Oleanana, dan rasio C₂₇, C₂₈, C₂₉ sterana. Sampel batuan yang dilakukan analisis GC berada pada sub-lingkungan *delta front* dan *prodelta*. Pola puncak pada hasil analisis GC yang dilakukan terdapat dua pola puncak, yaitu puncak yang berada pada $>C_{20}$ dan $<C_{20}$. Sub-lingkungan *prodelta* memiliki pola puncak pada nomor $<C_{20}$ yang dapat diinterpretasikan bahwa asal material organik berasal dari alga (Peters, dkk., 2005). Pada sub-lingkungan *delta front* memiliki pola puncak berada pada ikatan $>C_{20}$ yang dapat diinterpretasikan bahwa material organik berasal dari tanaman tingkat tinggi darat. Nilai Pr/Ph pada sampel batuan yang diuji memiliki rentang nilai 4,17 – 6,69 yang diinterpretasikan terendapkan pada lingkungan yang oksik (Peters, dkk., 2005) dan pada lingkungan pengendapan *fluvio-deltaik* (Robinson, 1980).

Konsetrasi oleanana (**Lampiran 18**) pada sampel batuan cukup tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa pada sampel mengandung material organik berupa *angiospermae* yang berasal dari darat. Rasio C₂₇, C₂₈, C₂₉ pada sampel yang diuji digunakan untuk menentukan lingkungan pengendapan. Pada sampel berada pada sub-lingkungan *prodelta* sampel yang diuji menunjukkan hasil pada lingkungan darat dengan asal material organik dari tanaman tingkat tinggi. Sampel yang berada pada sub-lingkungan *delta front* menunjukkan hasil diagram plot berada berasal dari darat hingga laut, hal ini menandakan bahwa sampel pada sub-lingkungan ini mengalami pencampuran material organik, dapat terjadi pada lingkungan transisi.



Gambar V. 21 Hasil diagram plot C₂₇, C₂₈, C₂₉ sterana sebagai parameter lingkungan pengendapan Sumur Sakakanan-1

V.4.4 Sumur Mentawir-1

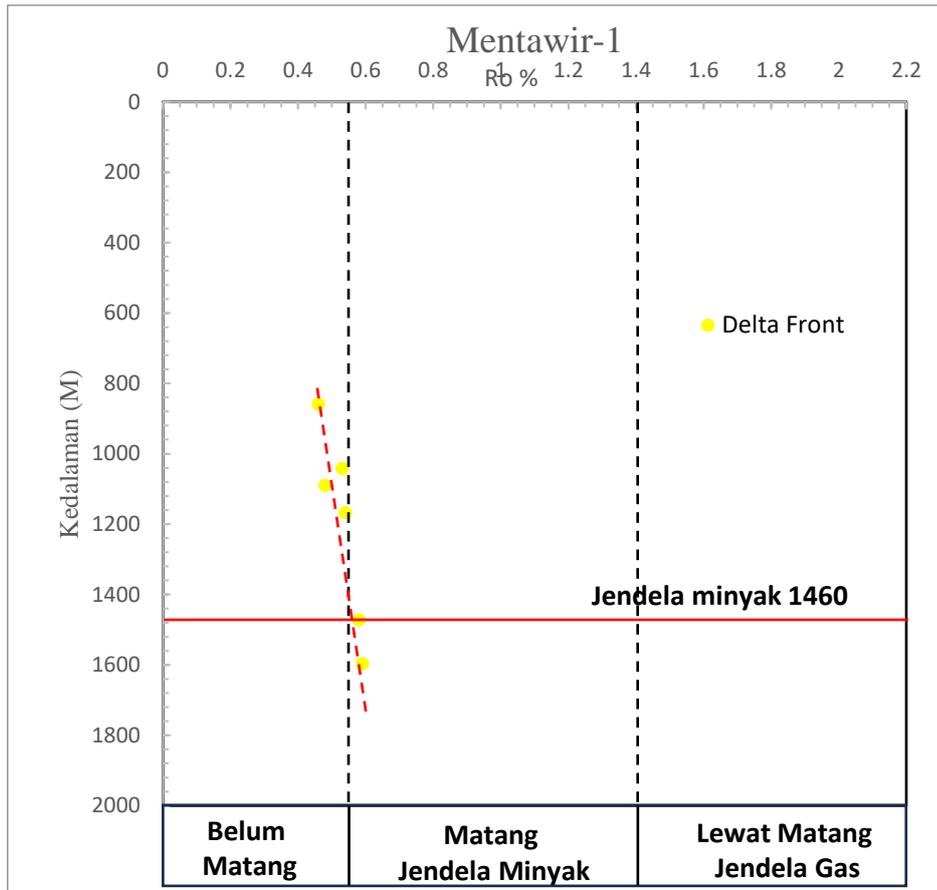
Sumur ini tidak melakukan pengujian batuan menggunakan REP dan hanya melakukan pengujian Ro%. Pengujian Ro% dilakukan pada batuan dengan interval 860 m (2819 ft), 960 m (3148 ft), 1090 (3577 ft), 1167 m (3830 ft), 1472 m (4830 ft), 1596 m (5239 ft). Hasil dari pengujian Ro % dapat dilihat pada **Lampiran 4**. Rangkuman hasil dari Ro% dapat dilihat pada **Tabel.V.5**

Tabel V. 11 Data geokimia batuan induk Sumur Mentawir-1

Satuan batuan	Kedalaman sampel (m)	TOC (wt %)	PY (mgHC/gr batuan)	HI (mg C/gr TOC)	Tmax	Ro (%)	Catatan
Batupasir Pulaubalang	859, 1041, 1090	-	-	-	-	0,46 - 0,53	Mengalami kematangan awal
Serpih Pulaubalang	1167	-	-	-	-	0,54	
Batupasir Pamaluan	1472 & 1596	-	-	-	-	0,58 - 0,59	

- Kematangan

Kematangan batuan yang dapat diukur pada sumur ini hanya menggunakan data Ro% yang diambil dari SWC sebanyak enam sampel. Berdasarkan pada hasil diagram plot yang dilakukan (**Gambar V.22**) didapatkan jendela minyak bumi berada pada kedalaman 1460 m untuk sampel yang terendapkan pada sub-lingkungan *delta front*.



Gambar V. 22 Diagram plot Ro% vs Kedalaman sebagai penentu kematangan Sumur Mentawir-1

V.5 Hubungan Lingkungan Pengendapan dan Karakteristik Geokimia Batuan Induk

Lingkungan pengendapan daerah penelitian berada pada lingkungan delta dengan jenis delta dominasi fluvial (*fluvial dominated delta*). Pada lingkungan pengendapan ini memiliki pengaruh fluvial yang lebih dominan dibandingkan dengan pengaruh pasang surut, dan ombak. Hal ini dapat berpengaruh kepada material organik yang terkayakan pada sedimen. Sub-lingkungan pengendapan yang ada pada daerah penelitian berupa *lower delta plain*, *delta front*, dan *prodelta*. *Lower delta plain* merupakan bagian paling atas delta yang sudah mulai terendam air laut, *delta front* merupakan delta bagian tengah yang menjadi ujung dari setiap *channel* fluvial yang mengandung material darat dan mulai terpengaruh material laut, dan *prodelta* merupakan bagian delta yang paling bawah dengan ciri mengandung endapan berbutir halus.

Karakteristik geokimia batuan induk pada daerah penelitian memiliki kekayaan material organik yang cukup baik dengan rentang potensi kekayaan

buruk – sempurna dengan tipe kerogen III dan campuran III dan II yang memiliki potensi untuk membentuk gas bumi dan sedikit minyak. Material organik pada batuan yang diuji berasal dari tanaman tingkat tinggi darat. Lingkungan pengendapan pada batuan induk berada pada lingkungan *Fluvio-deltaic* dengan kondisi oksik yang berasal dari nilai Pr/Ph semua sampel memiliki nilai >3. Hasil plot diagram sterana (**Gambar V.22**) menunjukkan bahwa terdapat beberapa variasi dari interpretasi lingkungan berangsur dari darat hingga laut.

Lingkungan pengendapan delta dengan tipe delta dominasi fluvial menyebabkan input darat dominan pada daerah penelitian. Hal ini menyebabkan material organik yang terkandung pada batuan berasal dari tanaman tingkat tinggi darat dan membentuk kerogen tipe III dan pada beberapa lokasi terjadi pencampuran antara kerogen tipe III dan II. Pencampuran kerogen tersebut terjadi pada lingkungan *delta front* yang menjadi muara dari endapan *channel* fluvial yang membawa material dari darat. Sub-lingkungan *delta front* juga cukup terpengaruh oleh laut sehingga pada lingkungan ini mulai hidup alga air laut. Proses bercampurnya antar pengaruh darat dan laut inilah yang menyebabkan pada sub-lingkungan ini memiliki kuantitas material organik yang baik. Kematangan batuan induk pada daerah penelitian berada pada sub-lingkungan *delta front* dan *prodelta*. Berdasarkan pada teori yang ada, kematangan terjadi karena proses katagenesis material organik, oleh karena itu lingkungan pengendapan tidak berpengaruh terhadap kematangan. Faktor penyebab kematangan batuan induk adalah suhu, tekanan, dan waktu yang cukup untuk mengalami proses katagenesis menjadi hidrokarbon.

Lingkungan Pengendapan (Kualitatif)	Kekayaan material organik	Tipe Kerogen	Kematangan
<i>Lower Delta Plain</i>	Cukup - Baik	III	Belum - matang awal
Delta Front	Baik – Sempurna	III & III/II	Matang awal – puncak
Prodelta	Cukup – Baik	III & II	Belum - matang

BAB VI

PENUTUP

VI.1 Kesimpulan

1. Daerah penelitian tersusun atas empat formasi yaitu Formasi Mentawir yang tersusun atas satuan batupasir Mentawir, Formasi Pulaubalang yang tersusun atas satuan batupasir Pulaubalang dan satuan serpih Pulaubalang, Formasi Maruat yang tersusun atas satuan batugamping Maruat dan satuan batupasir Maruat, dan Formasi Pamaluan yang tersusun atas satuan batupasir Pamaluan.
2. Hubungan stratigrafi daerah penelitian tersusun dari yang paling muda hingga tua adalah sebagai berikut: satuan batupasir Mentawir terendapkan secara selaras diatas satuan batupasir Pulaubalang. Satuan batupasir Pulaubalang terendapkan secara selaras diatas satuan serpih Pulaubalang dan satuan batugamping Maruat. Satuan batugamping Maruat memiliki hubungan menjemari dengan satuan serpih Pulaubalang. Satuan batupasir Pamaluan terendapkan secara selaras dibawah satuan serpih Pulaubalang dan satuan batupasir Maruat.
3. Lingkungan pengendapan dari satuan batuan pada daerah penelitian berada pada lingkungan delta dominasi fluvial yang terbagi menjadi tiga sub-lingkungan pengendapan, yaitu *lower delta plain*, *delta front*, dan *prodelta*. *Lower delta plain* terdiri dari fasies *creevase splay*, *floodplain*, dan *distributary channel*. *Delta Front* terdiri dari fasies *flood deposite*, *distributary mouth bar*, dan *interdistributary bay*. Sub-lingkungan yang terakhir merupakan *prodelta* yang terdiri dari fasies *prodelta*.
4. Kekayaan material organik pada satuan batuan batupasir Mentawir cukup (TOC% 0,41 – 0,91) dengan potensi pembentukan hidrokarbon rendah (PY 0,46-0,96). Satuan batupasir Pulaubalang memiliki potensi kekayaan material organik cukup-baik (TOC% 0,64 - 1,99) dengan potensi pembentukan hidrokarbon rendah – baik (PY 0,75 – 3,00), satuan serpih Pulaubalang memiliki potensi kekayaan material organik cukup – sempurna (TOC% 0,87 – 30,71) dan potensi pembentukan hidrokarbon rendah - sangat baik (PY

0,67 – 57,4), satuan batugamping Maruat memiliki kekayaan material organik yang baik (TOC% 1,15 – 1,41) dengan potensi pembentukan hidrokarbon rendah (PY 0,84 – 0,92), satuan batupasir Maruat memiliki potensi kekayaan material organik yang baik - sempurna (TOC% 1,16 – 9,03) dengan potensi pembentukan hidrokarbon rendah – sempurna (PY 1,87 – 33,8).

5. Tipe kerogen pada daerah penelitian didominasi oleh kerogen tipe III yang berasal dari tanaman tingkat tinggi dan campuran antara tipe II/III yang merupakan campuran antara tanaman tingkat tinggi dan alga laut.
6. Analisis kematangan batuan induk yang dilakukan pada Sumur Loa Haur-1 didapatkan jendela minyak berada pada kedalaman 2060 m. Pada sampel batuan lain, menggunakan Tmax, didapatkan satuan batuan yang sebagian besar telah mengalami kematangan merupakan satuan serpih Pulaubalang dan satuan batupasir Maruat.
7. Pada sub-lingkungan pengendapan *lower delta plain* memiliki tipe kerogen III, pada *delta front* memiliki tipe kerogen III dan II/III, pada *prodelta* memiliki tipe kerogen III dan III-II yang dipengaruhi oleh material yang dibawa oleh proses progradasi delta melimpah sehingga banyak mengandung material organik darat. Kekayaan material organik pada sub-lingkungan *lower delta plain* cukup – baik, pada *delta front* memiliki kekayaan cukup – sempurna, dan pada *prodelta* memiliki kekayaan yang baik, perbedaan kekayaan material organik pada setiap sub-lingkungan dipengaruhi proses fluvial dan proses laut yang berkembang serta litologi yang halus yang mendukung material organik dapat tersimpan lebih baik. Lingkungan pengendapan tidak terlalu berpengaruh terhadap kematangan batuan, yang sangat mempengaruhi kematangan batuan adalah suhu, tekanan, dan waktu.

VI.2 Saran

Penelitian evaluasi batuan induk didasarkan pada analisis kuantitatif pada, pada penelitian selanjutnya pada saat evaluasi batuan induk dapat digunakan permodelan sejarah pemendaman dan data seismik. Hal tersebut digunakan untuk penentuan kematangan batuan induk secara kinetik dan seismik dapat digunakan untuk mengkorelasi kematangan dari batuan induk.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, C.G. (1970). *A Reconsideration of The East Indian Letter Classification of The Tertiary*. Bulletin of The British Museum (Natural History) Geology. 19(3), pp. 1-137
- Allen, G. P., & Chambers, J. L. C. (1998). Sedimentation in the Modern and Miocene Mahakam Delta. *Indonesian Petroleum Association (IPA)*.
- Bachtiar, A. (2013). The Tertiary Paleogeography Of The Kutai Basin And Its Unexplored Hydrocarbon Plays. *Proc. Indon Petrol. Assoc., 37th Ann. Conv. Thirty-Seventh Annual Convention*.
<https://doi.org/10.29118/IPA.0.13.G.126>
- Biantoro, E. (1992). Inversion faults as the major structural control in the northern part of the Kutai basin, East Kalimantan. *Proc. Indon Petrol. Assoc., 21st Ann. Conv. Twenty First Annual Convention*.
<https://doi.org/10.29118/IPA.2059.45.68>
- Blow, W.H. (1969) Late Middle Eocene to Recent Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy. In: Bronnimann, P. and Renz, H.H., Eds., *Proceedings of the 1st International Conference on Planktonic Microfossils*, Geneva, Vol. 1, 199-422.
- Boggs, Sam. (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks (2nd Edition)*. New York: Cambridge University Press.
- Connan, J. and Cassou, A.M. (1980) Properties of Gases and Petroleum Lipids Derived from Terrestrial Kerogen at Various Maturation Levels. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44, 1-23.
[https://dx.doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90173-8](https://dx.doi.org/10.1016/0016-7037(80)90173-8)
- Dembicki, J. H. (2022). *Practical petroleum geochemistry for exploration and production* (Second Edition). Elsevier.
- Eglinton G., et.al., (1964). Hydrocarbons of Biological Origin from a One-Billion-Year-Old Sediment. *Science* 145, 263-264.
- Huang W. Y. & Meinschein W. G., (1979). Sterols as Ecological Indicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 4: hal. 739-745
- Marks, E., Sujatmiko, Samuel, L., Dhanutirto, H., Ismoyowati, T., & Sidik, B. B. (1982). *Cenozoic Stratigraphic Nomenclature in Kutai Basin, Kalimantan. Indonesian Petroleum Assosiation*.
- Martini, E. (1971). Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation, in *Proceedings of the Second Planktonic Conference Roma 1970*, (ed. A. Farinacci), Edizioni Technoscienza, Rome, 2: 739-785.

- Miles, J. A., (1989). *Illustrated Glossary of Petroleum Geochemistry*. New York: *Oxford University Press*.
- Moss, S. J., & Chambers, J. L. C. (1999). Tertiary facies architecture in the Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 17(1–2), 157–181. [https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(98\)00035-X](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00035-X)
- Nuay, E. S. (1985). Early Middle Miocene deltaic progradation in the southern Kutai basin. *Proc. Indon Petrol. Assoc., 14th Ann. Conv.* Fourteenth Annual Convention. <https://doi.org/10.29118/IPA.1463.63.81>
- Paterson, D. W., Bachtiar, A., Bates, J. A., Moon, J. A., & Surdam, R. C. (1997). *Petroleum System of the Kutei Basin, Kalimantan, Indonesia*.
- Peters, K. E., & Cassa, M.R., (1994). *Applied Source Rock Geochemistry*. The Petroleum System From Source to Trap, AAPG Memoir no. 60,
- Peters, K. E., Walters, C. C., Moldowan, J. M., & Peters, K. E. (2005). *Biomarkers and isotopes in the environment and human history* (2. ed., reprinted with corrections, digitally printed version 2007). Cambridge Univ. Press.
- Robinson, K. M. (1987). An overview of source rocks and oils in Indonesia. *Proc. Indon Petrol. Assoc., 16th Ann. Conv.* Sixteenth Annual Convention. <https://doi.org/10.29118/IPA.1561.97.122>
- Satyana, A. H., Nugroho, D., & Surantoko, I. (1999). Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: Major dissimilarities in adjoining basins. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17(1–2), 99–122. [https://doi.org/10.1016/S0743-9547\(98\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00059-2)
- Tissot, B. P., & Welte, D. H. (1984). *Petroleum formation and occurrence* (2nd, rev.enl. ed ed.). Springer-Verlag.
- Waples, D. W., & Machihara, T. (1991). *Biomarkers for Geologists—A Practical Guide to the Application of Steranes and Triterpanes in Petroleum Geology*.

LAMPIRAN

Lampiran V.2. 1 Data Biostratigrafi Sumur Loa Haur-1

Umur	Zonasi Fossil			Foram Planktonik	Foram Bentonik Besar	Nanofossil
	Zonasi Blow (1969)	Adam Letters (1971)	Martini Zone (1981)	Asosiasi Fossil	Asosiasi Fossil	Asosiasi Fossil
Miosen Tengah	N12 - N9	Tf	NN5	<i>Orbulina suturalis</i> <i>Orbulina</i> sp.	<i>Operculina</i> spp. <i>Operculinella</i> , <i>Miogypsina</i> , <i>Flosculinella bontangensis</i> , <i>Amphistegina lessoni</i> , <i>Lepidocyлина sumatrensis</i> <i>Lepidocyлина ferreroi</i>	<i>Sphenolitus heteromorphus</i> , <i>Helicosphaera mediterranea</i>
Miosen Awal	N8	?		NN4	<i>Praeorbulina sicana</i> <i>Globigerinoides bispheriues</i> <i>Globigerina suteri</i> <i>Praeorbulina g. curva</i>	?

Lampiran V.2. 2 Data Asosiasi Fosil dan Paleobatimetri Sumur Loa Haur-1

Interval (m)	Satuan Batuan	Asosiasi foram/nanofosil	Paleobatimetri
0 - 207	Satuan batupasir Mentawir	<i>Haplophragmoides, Trochammina, Psammosphaera</i>	<i>Brakish</i>
207 - 580		<i>Lepidocyclina, Trochammina, Bigenerina</i>	<i>Brakish – Marginal Marine</i>
580 – 1033		<i>Haplophragmoides, Throchammina, Ammobaculites, Pseudorotalia gamardii, Textularia sp., Elphidium craticulatum, Ammonia beccarii, Operculina, Ammonoides, Miogypsina</i>	<i>Marginal Marine - Inner Shelf</i>
1033 – 1753	Satuan batupasir Pulaubalang	<i>Operculina, Operculinella, Lepidocyclina, Miogypsina, Triloculina, Elphidium, Penetroplis sp., Amphistegina, Flosculinella bontangensis, Lagena sulcata, Ammonica beccarii, Elphidium craticulatum, Pseudorotalia, Quinquelocilinla, Textularia</i>	<i>Inner Shelf</i>
1753 – 2011		<i>Operculinella, Cycloclypeus, Cibicides, Amphistegina, lessonii, Elphidium praecintus, Bolivina ovata, Uvigerina, Anomalina, Rinornatus, Ammonia equatoriana</i>	<i>Middle Shelf</i>
2011 – 2423		Satuan serpih Pulaubalang	<i>Uvigerina schwageri, gyroidina soldanii, robulus orbicularis, Lenticulina convergens, Cassidulina subglobosa, Reusella, Saracenaria italica, Cyclammina, Spaeroidina, Karreriella, Nodosaria</i>
2423 - 2575	<i>Cibicides cancellata, Spaerodinella bulloides, Uvigerina schwageri</i>		<i>Upper – Middle Bathyal</i>

Lampiran V.2. 3 Data Biostratigrafi Sumur Semoi-1

Umur	Zonasi Fosil			Foram Planktonik	Foram Bentonik Besar	Nanofossil
	Zonasi Blow (1969)	Adam Letters (1971)	Martini Zone (1981)	Asosiasi Fosil	Asosiasi Fosil	Asosiasi Fosil
Miosen Awal	N8	Te	NN4	<i>Globigerinoides sicanus</i> , <i>Globigerinoides altiapertura</i>	<i>Operculina Operculinella</i> , <i>Miogypsina complanata</i> <i>Miogypsina primitiva</i> <i>Flosculinella</i> sp. <i>Flosculinella globosa</i> , <i>Flosculinella reicheli</i> , <i>Lepidocylinea sumatrensis</i> <i>Miogypsina</i> sp. <i>Lepidocylinea</i>	<i>Helicosphaera obliqua</i> , <i>Helicosphaera euphratis</i> , <i>Helicosphaera ampllaperta</i> , <i>Clycartholitus floridanus</i> , <i>Sphenolitus heteromorphus</i>
	N7			Rare		

Lampiran V.2. 4 Data Asosiasi Fosil dan Paleobatimetri Sumur Semoi-1

Interval (m)	Satuan batuan	Asosiasi foram/nanofosil	Paleobatimetri
0 - 152	Satuan batupasir Pulaubalang	<i>Ammonia, Haplophragmoides, Ammodiscus, Amphistegina, Trochammina, Operculina</i>	<i>Brakish – Marginal marine</i>
152 - 472	Satuan serpih Pulaubalang	<i>Operculina, Operculinella, Robulus, Ammonia beccarii, Haplophragmoides, Amphistegina lessonii, Miogypsina</i>	<i>Marginal Marine – Inner Shelf</i>
472 - 572		<i>Ammonia sp., Amphitegina, Lepidocyclina, Miogypsina, Operculina, Cibicides, Bolivina, Robulus, Elphidium crispum, Nodosaroa, Flosculinella</i>	<i>Inner Shelf</i>
572 - 712	Satuan batugamping Maruat	<i>Amphistegina lessoni, Bolivina, Nodosaria, Uvigerina, Lepidocyclina, Operculina, Lepidocyclina, Isolepidina, Miogypsina primitiva</i>	<i>Middle Shelf</i>
712 - 1066	Satuan batupasir Maruat	<i>Amphistegina lessoni, Anomalinella striata, Ammonia beccarii, Anomalina colligera, Pyrgo, Asterigerina, Miogypsina, Flosculinella globosa, Lepidocyclina, Operculina, Cibicides, Quinqueloculina, Operculinella, Austrotrilina howchini</i>	<i>Inner Shelf</i>

Lampiran V.2. 5 Data Biostratigrafi Sumur Sakakanan-1

Umur	Zonasi Fossil			Foram Planktonik	Foram Bentonik Besar	Nanofossil
	Zonasi Blow (1969)	Adam Letters (1971)	Martini Zone (1981)	Asosiasi Fossil	Asosiasi Fossil	Asosiasi Fossil
Miosen Awal	N8	Te	NN5	<i>Praeorbulina sicana</i> , <i>Praeorbulina glomerata curva</i>	<i>Miogypsina</i> , <i>Operculina</i> , <i>Operculinella</i> , <i>Lepidocylinella</i> , <i>Miogypsina</i> , <i>Borelis cf. melo</i> , <i>Spiroclypeus</i> , <i>Amphitegina</i>	<i>Sphenolitus heteromorphus</i> , <i>Helicosphaera mediterranea</i>
	N7		NN4	<i>Praeorbulina sicana</i> <i>Globigerinoides diminutus</i> <i>Globorotalia leroyii</i>	<i>howchini</i> , <i>Fimbristylis globulosa</i> , <i>Fimbristylis bontangensis</i> <i>Miogypsina</i>	<i>Helicosphaera obliqua</i> , <i>Helicosphaera euphralis</i> , <i>Helicosphaera amplaperta</i> , <i>Clycartholitus floridanus</i> , <i>Sphenolitus heteromorphus</i> , <i>Helicosphaera carteri</i>

Lampiran V.2. 6 Data Asosiasi Fosil dan Paleobatimetri Sumur Sakakanan-1

Interval (m)	Satuan Batuan	Asosiasi foram/nanofosil	Paleobatimetri
15 - 37	Satuan batupasir Pulaubalang	<i>Operculina, Operculinella, Glandulina, Haplophragmoides, Praeorbulina gaimardii, Bolivina sp.</i>	<i>Middle Shelf</i>
49 - 58		<i>Parafrondicularia, Globobulimina pacifica, Cibicides praecinctus, Globigerina soldani, Glandulina laevigata, Robulus orbicularis, Uvigerina sp., Disoasters deflandrei</i>	<i>Outer Shelf</i>
67 – 335		<i>Cyclamina cancellata, Uvigerina schwageri, Globigerina soldani, Cibicides wuellerstrofi, Sphaerodina buloides, Haplophragmoides, Cibicides dorsopustulosus</i>	<i>Upper Bathyal</i>
344 - 1256		<i>Operculina ammonoides, Operculina, Operculinella, Lepidocyclina, Miogypsina, Spricolypeus, Austrotrilina howchini, Borelis cf. melo, Flosculinella sp., Amphistegina, Pseudorotalia, Elphidium craticulatum, cibicides, Quinquelocilinla, Textularia, Ammonia</i>	<i>Inner Shelf</i>
1259 - 1435	Satuan serpih Pulaubalang	<i>Ammonia sp., Operculinalla sp., Amonia becarrii, haplophragmoides, Ammodiscus, Sigmoidina, Quinqueloculina, Triloculina, Elphidium sp. Amphistegina cf. lessonii, Nodellum</i>	<i>Marginal marine – Inner Shelf</i>

Lampiran V.2. 7 Data Asosiasi Fossil dan Paleobatimetri Sumur Mentawir-1

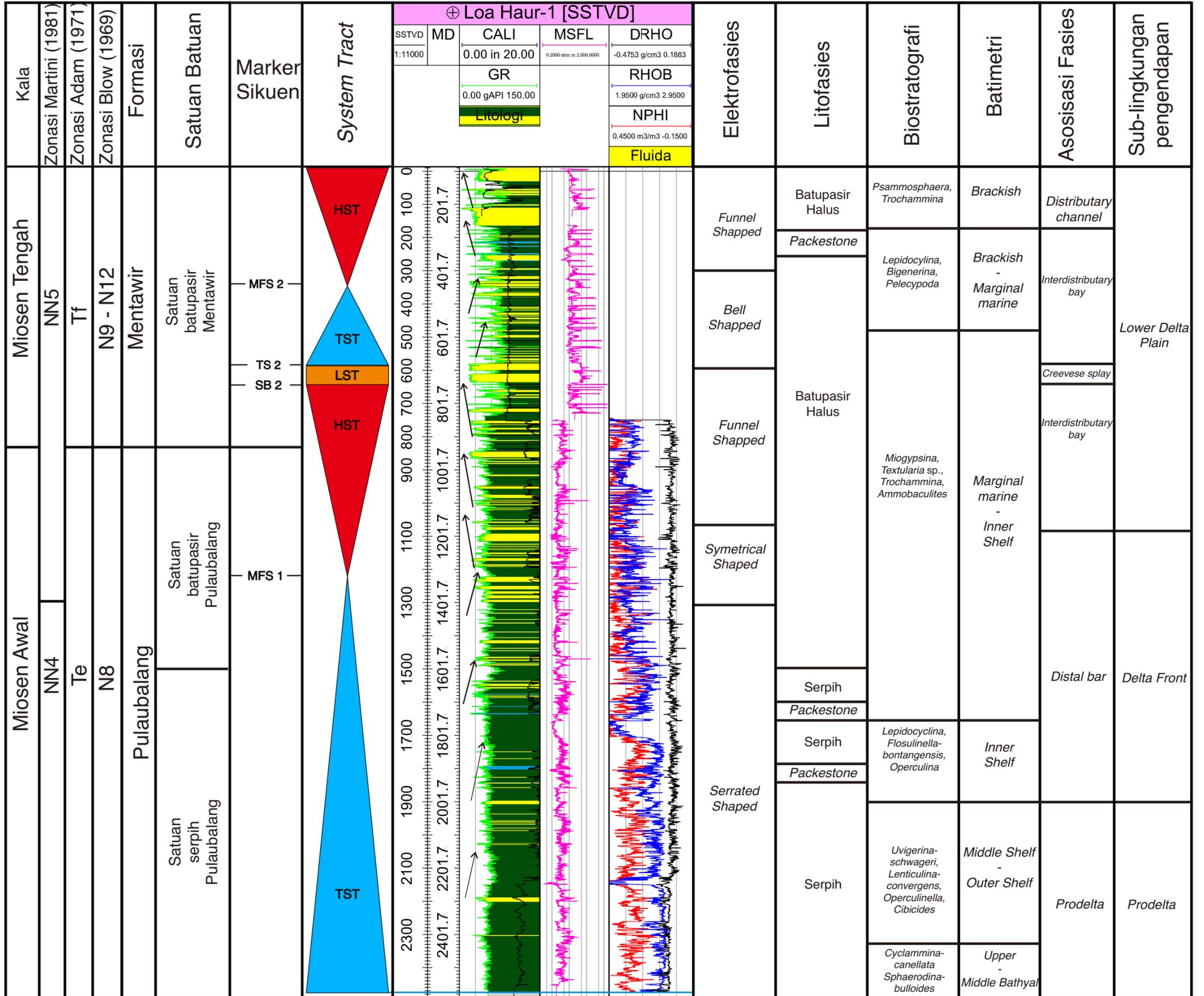
Umur	Zonasi Fossil			Foram Planktonik	Foram Bentonik Besar	Nanofossil
	Zonasi Blow (1969)	Adam Letters (1971)	Martini Zone (1981)	Asosiasi Fossil	Asosiasi Fossil	Asosiasi Fossil
Miosen Tengah	N12 - N9	Tf	NN5		<i>Miogypsina</i> sp., <i>Lepidocyclina</i> sp., <i>Flosculinella borneonsis</i> , <i>Flosculinella bontangensis</i> , <i>Amphistegina</i> spp., <i>Operculina</i> spp., <i>Pseudorotalia</i> <i>Elphidium</i> sp.	?
Miosen Awal	N8	Te			<i>Globigerinoides sicanus</i>	<i>Flosculinella globosa</i> , <i>Austrotrillina striata</i> , <i>Austrotrillina howchini</i> , <i>Flosculinella globosa</i> , <i>Cibicides</i> , <i>Robulus</i> , <i>Gyrocidina</i> , <i>Lagena</i> , <i>Uvigerina</i> , <i>Hemicristellaria</i> , <i>Glandulina</i>
	N7			<i>Globigerinoides sicanus</i> , <i>Globigerinta unicava</i> , <i>Globoquadrina dehiscens praedehiscens</i>		
	N6		NN4	<i>Globigerinta unicava</i> , <i>Globigerinta dissimilis</i> , <i>Globoquadrina dehiscens praedehiscens</i>		

Lampiran V.2. 8 Data Asosiasi Fosil dan Paleobatimetri Sumur Mentawir-1

Interval (m)	Satuan batuan	Asosiasi foram/nanofosil	Paleobatimetri
0 - 585	Satuan batupasir Mentawir	<i>Miogypsina</i> , <i>Lepidocyclina</i> sp., <i>Operculina</i> sp., <i>Amphistegina</i> sp., <i>Pseudorotalia</i> sp., <i>Elphidium</i> sp., <i>Flosculinella borneosnsis</i>	<i>Marginal Marine – Inner Shelf</i>
585 – 848	Satuan batupasir Pulaubalang	<i>Flosculinella bontangensis</i> , <i>Austrotrillina striata</i> , <i>Austrotrillina howchini</i> , <i>Pseudorotalias</i>	<i>Inner Shelf</i>
848 – 1712	Satuan serpih Pulaubalang	<i>Cibicides</i> , <i>Robulus</i> , <i>Gyroidina</i> , <i>Lagena</i> , <i>Flosculinella</i> , <i>Austrotrillina</i> , <i>Lepidocyclina</i> , <i>Miogypsina</i> , <i>Operculina</i> , <i>Amphistegina</i> , <i>Pseudorotalia</i> , <i>Operculina</i> , <i>Anomalinella</i>	<i>Inner Shelf – Middle Shelf</i>



ANALISIS STRATIGRAFI DAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN LAPANGAN "AL"
LOA HAUR-1
CEKUNGAN KUTAI DAERAH KUTAI KERTANEGARA DAN SEKITARNYA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR
SKALA 1:11.000
OLEH: MAULANA MAFAZAN BUDIYANTO/111200104



Keterangan

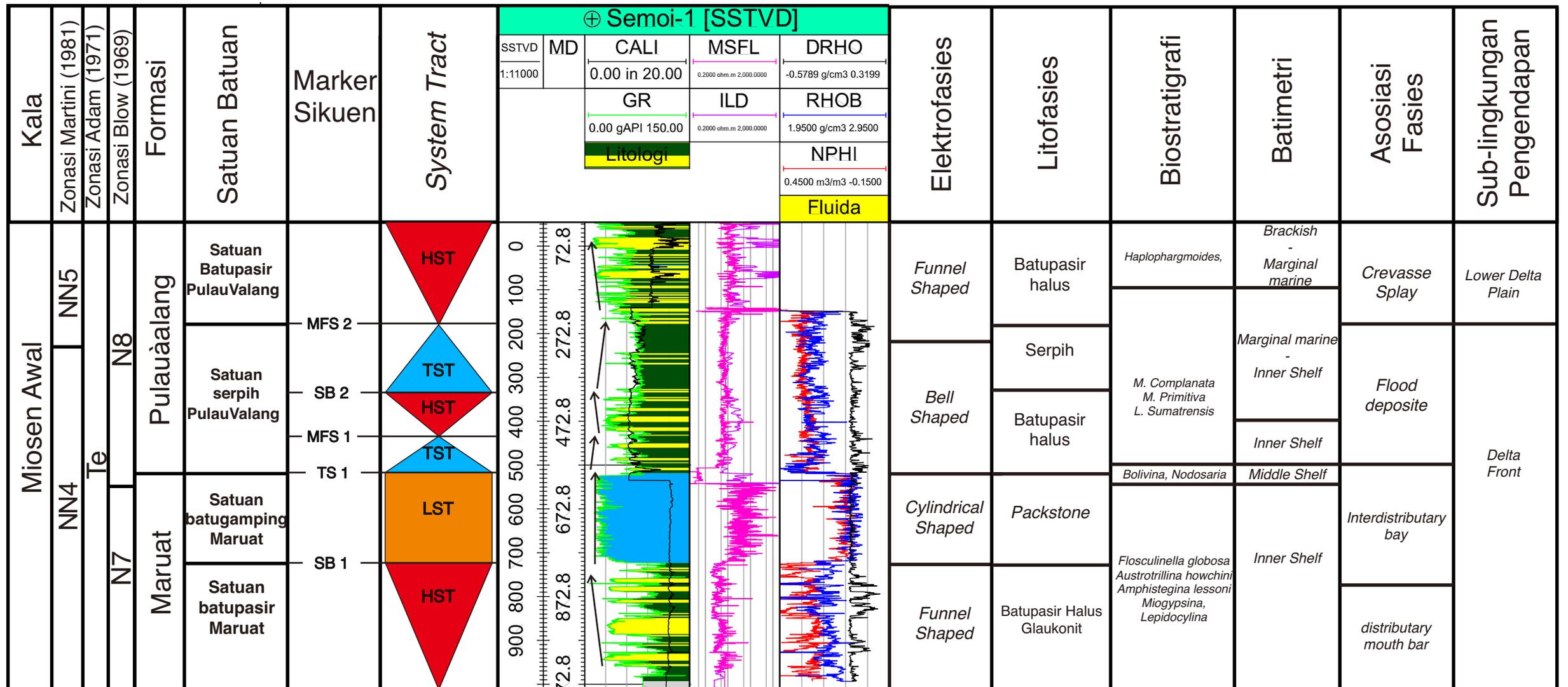
- | | | | |
|------------------------|----------------------------|-----------------------|-----------|
| Highstand System Tract | Transgressive System Tract | Transgressive Surface | Batupasir |
| Lowstand System Tract | Maximum Flooding Surface | Sequence Boundary | Serpih |

Lampiran V.3.2

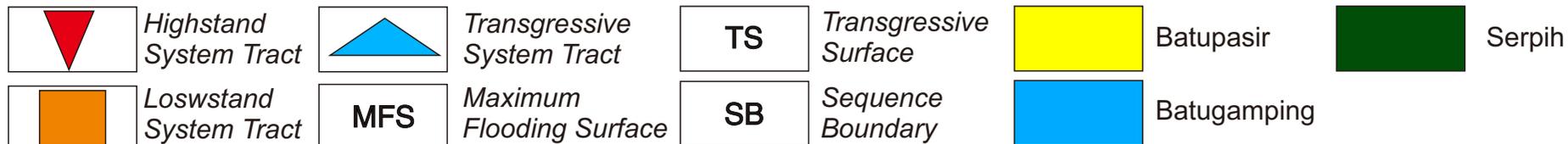
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
 JURUSAN TEKNIK GEOLOGI
 FAKULTAS TEKNOLOGI MINERAL
 UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
 YOGYAKARTA



ANALISIS STRATIGRAFI DAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN LAPANGAN "AL"
 SUMUR SEMOI-1
 CEKUNGAN KUTAI DAERAH KUTAI KERTANEGARA DAN SEKITARNYA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR
 SKALA 1:11.000
 OLEH: MAULANA MAFAZAN BUDIYANTO/111200104

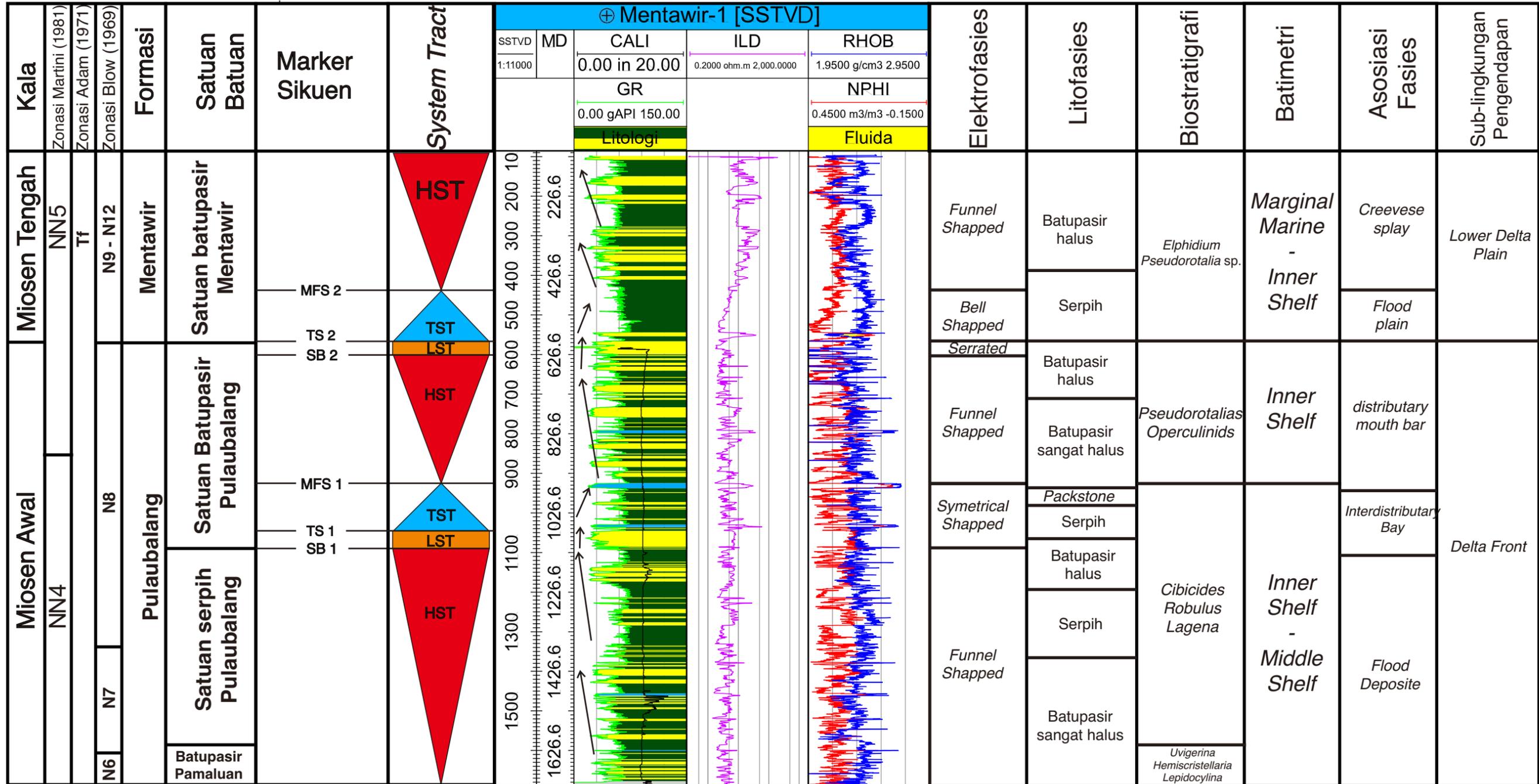


Keterangan





ANALISIS STRATIGRAFI DAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN LAPANGAN "AL"
SUMUR MENTAWIR-1
CEKUNGAN KUTAI DAERAH KUTAI KERTANEGARA DAN SEKITARNYA PROVINSI KALIMANTAN TIMUR
SKALA 1:11.000
OLEH: MAULANA MAFAZAN BUDIYANTO/111200104



Keterangan



Lampiran V.4. 1 Data REP Sumur Loa Haur-1

Kedalaman (feet)	Litologi	Satuan Batuan	TOC	mg g/grm rock			Tmax	PY	PI	HI	Ro%
				S1	S2	S3					
60-500	Blp (br.abu)	Batupasir Mentawir	0.78	0.16	0.8	-	430	0.96	0.17	103	0.26
500-1000	Blp (br.abu)		0.91	0.16	0.53	-	440	0.69	0.23	58	0.25
1000-1500	Blp (abu)		0.41	0.2	0.26	-	433	0.46	0.43	63	0.27
1500-2000	Blp (br.abu)		0.73	0.15	0.64	-	443	0.79	0.19	88	0.27
2000-2500	Blp (br.abu)	Batupasir Pulau Balang	0.64	0.09	0.45	-	461	0.54	0.17	70	0.3
3000-3500	blp (abuan)		0.88	0.15	0.98	-	428	1.13	0.13	111	0.43
3500-4000	blp (abuan)		0.95	0.12	1.11	-	436	1.23	0.10	117	0.47
4000-4500	blp (abuan)		1.19	0.06	1.11	-	438	1.17	0.05	93	0.39
4500-5000	blp (abuan)		0.91	0.08	1.09	-	440	1.17	0.07	120	0.43
4500-5000	Batubara		59.54	0.94	93.58	-	420	94.52	0.01	157	0.35
5000-5500	blp (abuan)		1.14	0.08	1.22	-	442	1.3	0.06	107	0.47
5500-6000	blp (abuan)		1.11	0.08	1.81	-	439	1.89	0.04	163	0.48
6000-6500	blp (abuan)		1.29	0.09	1.43	-	441	1.52	0.06	111	0.5
6500-7000	blp (abuan)		1	0.06	0.93	-	441	0.99	0.06	93	0.53
7000-7385	blp (abuan)		1.07	0.16	1.67	-	441	1.83	0.09	156	0.57
7385-7500	blp (abuan)		1.01	0.17	1.12	-	442	1.29	0.13	111	0.61
7500-7750	blp (abuan)	Serpil Pulau Balang	1.11	0.16	1.42	-	443	1.58	0.10	128	0.64
7750-8000	blp (D.abu)		1.11	0.13	1.2	-	439	1.33	0.10	108	0.6
8000-8250	blp (D.abu)		1.09	0.12	1.1	-	439	1.22	0.10	101	0.64
8250-8449	blp (abuan)		0.92	0.13	0.94	-	442	1.07	0.12	102	0.64

Lampiran V.4. 2 Data GC Sumur Loa Haur-1

Sumur		Loa-Haur-1				
Satuan Batuan		batupasir Pulau Balang				
sampel		1804 m	1855 m	2084 m	2099 m	2115 m
Komponen	Pris	62.61	55.1	45.67	58.79	53.77
	Phy	10.63	13.22	8.46	11.53	8.04
	Pr/ph	5.89	4.17	5.4	5.1	6.69
	Pr/nC17	1.11	0.69	1.33	1.59	1.16
	Ph/Nc18	0.27	0.19	0.24	0.28	0.29
	nC31/nC19	0.94	0.24	0.58	1.01	0.54
	CPI	1.63	1.2	1.09	1.14	1.69

Lampiran V.4. 3 Data GC Sumur Semoi-1

Kedalaman (feet)	Satuan Batuan	Litologi	TOC	mg g/grm rock			Tmax	PY	PI	HI	Ro%
				S1	S2	S3					
100-200	Batupasir Pulau Balang	bulk sampe	1.27	0.06	1.78	-	425	1.84	0.03	140	0.35
200-300		bulk sampe	0.74	0.03	1.08	-	430	1.11	0.03	146	
200-300		batubara	49.41	4.81	125.5	-	412	130.31	0.04	254	
300-400		blp cokmud	0.64	0.04	0.34	-	435	0.38	0.11	53	
500-600		bulk sampe	1.66	0.08	1.27	-	433	1.35	0.06	77	0.36
600-700		bln abu	1.57	0.01	0.62	-	431	0.63	0.02	39	
700-800	bln abu	1.27	0.01	1.01	-	431	1.02	0.01	80		
800-900	Serpilh Pulau Balang	bln abu	2.19	0.05	1.23	-	423	1.28	0.04	56	
900-1000		bln abu	1.58	0.05	1.63	-	431	1.68	0.03	103	0.36
1000-1100		bln abu	1.75	0.05	1.63	-	427	1.68	0.03	93	0.4
1100-1200		blp cokmud	1.59	0.03	1.42	-	428	1.45	0.02	89	
1200-1300		blp cokmud	1.53	0.06	1.62	-	426	1.68	0.04	106	0.42
1300-1400		blp cokmud	0.94	0.01	0.66	-	431	0.67	0.01	70	
1400-1500	bln abu	1.19	0.02	0.97	-	434	0.99	0.02	82	0.41	
1600-1700	Batugamping Maruat	bln abu	1.25	0.03	1	-	429	1.03	0.03	80	0.43
1809		blp coklat	1.41	0.04	0.8	-	429	0.84	0.05	57	0.45
1800-1900		blp abu	1.15	0.07	0.85	-	428	0.92	0.08	74	0.4
2600-2700	Batupasir Maruat	blp hitam	9.03	1.26	32.12	-	412	33.38	0.04	356	0.46
2600-2700		batubara	53.44	3.24	178.11	-	402	181.35	0.02	333	0.49
2767		batubara	50.57	3.52	172.43	-	420	175.95	0.02	341	
2700-2800		blp coklat	2.87	0.38	8.15	-	430	8.53	0.04	284	0.51
2700-2800		batubara	57.17	7.17	198.06	-	408	205.23	0.03	346	
2881		batubara	58.74	7.16	227.16	-	419	234.32	0.03	387	0.48
2800-2900		blp coklat	3.42	0.94	9.6	-	429	10.54	0.09	281	0.5
2800-2900		batubara	57.42	7.65	221.87	-	409	229.52	0.03	386	
2900-3000		blp coklat	1.16	0.16	1.71	-	433	1.87	0.09	147	0.54
2900-3000		batubara	61.82	6.38	221.17	-	418	227.55	0.03	358	
3000-3100		blp abu tua	1.25	0.22	1.66	-	430	1.88	0.12	133	0.55
3100-3200		blp cklt abu	2.11	0.28	2.36	-	436	2.64	0.11	112	
3281	batubara ck	67.25	6.99	209.49	-	409	216.48	0.03	312	0.45	
3200-3300	blp cklt abu	2.65	0.31	4.07	-	430	4.38	0.07	154	0.48	
3200-3300	batubara	69.06	10.39	269.2	-	410	279.59	0.04	390		
3300-3400	blp cklt abu	1.73	0.18	1.97	-	430	2.15	0.08	114		
3300-3400	batubara	63.25	9	244.75	-	415	253.75	0.04	387		
3400-3500	blp cklt htn	2.37	0.49	4.75	-	432	5.24	0.09	200	0.56	

Lampiran V.4. 4 Data REP Sumur Sakakanan-1

Kedalaman (m)	Litologi	Satuan batuan	TOC	mg g/gram rock			Tmax	PY	PI	HI	Ro%
				S1	S2	S3					
76	Shale	Batupasir Pulau balang	0.9	0.06	0.69		443	0.75	0.08	130	0.41
152	Shale		1.21	0.12	1.12		435	1.24	0.10	108	0.51
229	Shale		1.19	0.1	0.94		434	1.04	0.10	127	
305	Shale		1.22	0.08	1.24		434	1.32	0.06	98	
337	Shale		1.41	0.09	1.02		433	1.11	0.08	138	0.49
381	Shale		1.75	0.04	0.8		441	0.84	0.05	219	0.46
457	Shale		1.19	0.04	0.7		443	0.74	0.05	170	0.45
533	Shale		1.26	0.11	1.67		441	1.78	0.06	75	0.45
610	Shale		1.3	0.11	1.22		441	1.33	0.08	107	0.41
686	Shale		0.96	0.06	1.09		441	1.15	0.05	88	0.44
704	Shale										0.45
760	Shale										0.47
762	Shale		1.99	0.2	2.83		438	3.03	0.07	70	0.49
821	Shale		Serpil Pulau balang								
838	Shale	1.59		0.23	2.45		441	2.68	0.09	65	0.46
849	Shale										0.54
914	Shale	1.69		0.14	1.79		442	1.93	0.07	94	0.56
922	Batubara	60.13		12.9	173.4		425	186.33	0.07	35	0.58
953	Shale										0.57
976	Shale										0.59
991	Shale	3.62		0.93	7.84		437	8.77	0.11	46	0.56
1006	Shale										0.58
1065	Shale										0.56
1067	Shale	2.21		0.21	1.78		443	1.99	0.11	124	0.58
1093	Shale										0.61
1111	Shale	0.87		0.08	0.64		446	0.72	0.11	136	0.63
1143	Shale	2.53		0.36	3.15		441	3.51	0.10	80	0.63
1219	Shale	2.85		0.65	5.9		445	6.55	0.10	48	0.63
1295	Shale	1.26		0.31	1.86		441	2.17	0.14	68	0.66
1372	Shale	1.52		0.28	1.6		444	1.88	0.15	95	0.65
1423	Shale	1.36		0.39	1.63		446	2.02	0.19	83	0.67
1423	Shale	2.66		0.62	3.69		440	4.31	0.14	72	0.56
1431	Shale Coaly	30.71		8.06	49.34		441	57.4	0.14	62	0.68
1433	Shale	4.5	0.99	5.96		441	6.95	0.14	76	0.63	
1436	Shale	1.1	0.23	1.27		444	1.5	0.15	87	0.67	

Lampiran V.4. 5 Hasil GCMS Sumur Sakakanan-1

Triterpana (m/z 191)							
Sumur	Sakakanan-1						
Satuan Batuan	batupasir Pulau Balang			serpih Pulau Balang			
Komponen	114 m	502 m	724 m	952 m	1181 m	1430 m	1431 m
Tm/Ts	1.71	4.00	6.67	5.44	4.67	1.28	2.75
Total % C28-C31 Trisiklik	2.62	4.21	2.98	0	0	6.28	0
Total % Hopana	66.98	81.97	84.31	69.11	86.95	70.58	44.66
% C30 Resin + Oleanana	29.78	13.16	12.06	30.5	12.13	22.64	55.34
C29ab Hopana/ C30ab Hopana	0.53	0.79	0.96	0.77	0.83	0.87	0.65
C29 Moreatana/C29 Hopana	0.27	0.45	0.46	0.31	0.18	0.09	0.11
C30 Moreatana/C30 Hopana	0.26	0.45	0.45	0.31	0.24	0.14	0.12
C30 Hopana / C29+C30 Moreatana	2.46	1.23	1.12	1.85	2.59	4.5	5.31
22s/22r (C31)	1.26	1.59	1.96	1.75	1.51	1.8	2.33
22s/22r (C32)	1.86	1.78	2.4	2.4	1.56	2.2	4
C30abhop/OL	1.13	1.93	2.33	0.91	2.78	1.43	0.51
Gamx100/C30abHop	2.76	3.6	3.57	2.04	4	2.38	0
Sterana (m/z217)							
Sumur	Sakakanan-1						
Satuan Batuan	batupasir Pulau Balang			serpih Pulau Balang			
Komponen	114 m	502 m	724 m	952 m	1181 m	1430 m	1431 m
Hop/Ster	2.94	1.12	3.15	1.99	7.17	1.01	0.066
c30ab hop/ total Des c29	3.83	2.45	3.18	2.28	6.8	1.45	0.8
C27	20.3	28.4	28.2	16.3	21.2	39.6	8.8
%aa 20R Ster C28	18.9	21.2	18.7	17	22.5	19.2	15.8
C29	60.8	50.4	53.1	66.7	56.3	41.2	75.4
C27aa20R/C29aa20R	0.33	0.56	0.53	0.24	0.38	0.96	0.12
Tot C30 4M/Tot Des C29	0	0	0	0	0	0	0
C304M+DesC30/Tot Des C29	0	0	0	0	0	0	0
C29aa20S/C29aa20R	0.49	0.35	0.47	0.8	0.97	1.32	1.08
C29bb20R+20S/C29aa20S+20R	0.52	0.33	0.61	0.32	0.71	1.44	1.08
C28-C30 4MSter/C27-C29 Des	0	0	0	0	0	0	0
Tot C27-C29 Dia/Tot C27-C29 Des	0.53	0.82	0.71	0.62	0.55	0.73	0.43
C27Dia20s/C27Dia20R	1.6	1.46	1.74	1.52	1.62	1.67	1.5
N-Alkana							
Sumur	Sakakanan-1						
Satuan Batuan	batupasir Pulau Balang			serpih Pulau Balang			
Komponen	114 m	502 m	724 m	952 m	1181 m	1430 m	1431 m
Pris	71.37	61.08	65.52	57.7	49.69	52.65	64.29
Phy	14.51	8.67	10.07	9.04	8.62	9.01	13.33
Pr/ph	4.92	7.04	6.15	6.38	5.76	5.84	4.82
Pr/nC17	2.02	4.89	3.56	2.96	2.49	4.55	7.99
Ph/Nc18	0.28	1.4	0.72	0.47	0.52	0.69	1.92
nC31/nC19	0.19	6.94	2.74	1.55	1.87	2.53	4.67
CPI	1.23	2.02	1.58	1.47	1.31	1.35	1.35

Lampiran V.4. 6 Data Pemantulan Vitritin Sumur Mentawir-1

Interval kedalaman (m)	Satuan Batuan	Ro%
859	Batupasir Pulaubalang	0.46
1042		0.53
1090		0.48
1167	Serpih Pulau Balng	0.54
1472	Batupasir Pamaluan	0.58
1597		0.59