

**IDENTIFIKASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN DAN  
KARAKTERISTIK BATUBARA M1 FORMASI MUARA  
ENIM, SERTA PERHITUNGAN ESTIMASI CADANGAN  
BATUBARA DI PIT. E PT. BUKIT ASAM Tbk, TANJUNG  
ENIM, SUMATERA SELATAN**

(Skripsi)

Oleh  
**OCTAVIA MELANI**  
**1915051007**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

**IDENTIFIKASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN DAN  
KARAKTERISTIK BATUBARA M1 FORMASI MUARA  
ENIM, SERTA PERHITUNGAN ESTIMASI CADANGAN  
BATUBARA DI PIT. E PT. BUKIT ASAM Tbk, TANJUNG  
ENIM, SUMATERA SELATAN**

Oleh

**OCTAVIA MELANI**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### IDENTIFIKASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN DAN KARAKTERISTIK BATUBARA M1 FORMASI MUARA ENIM, SERTA PERHITUNGAN ESTIMASI CADANGAN BATUBARA DI PIT. E PT. BUKIT ASAM Tbk, TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN

Oleh  
**Octavia Melani**

*Well Logging* merupakan metode geofisika yang digunakan untuk mengukur data bawah permukaan. Dalam eksplorasi batubara kombinasi gabungan *log* yang biasa digunakan yaitu *log gamma ray* dan *log density*. Studi elektrofasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis lingkungan pengendapan batubara. Elektrofasi menggunakan data *logging* geofisika berupa kurva sinar gamma yang mencerminkan variasi batuan sedimen berdasarkan ukuran butir dan menunjukkan perubahan energi pengendapan sedimen. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui lingkungan pengendapan dan karakteristik batubara M1 Formasi Muara Enim, serta menghitung estimasi cadangan batubara pada daerah penelitian. Proses pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan tahapan *picking lithology*, korelasi lapisan batuan, analisis elektrofasi, analisis *measure section*, analisis litofasi, analisis kualitas proksimat batubara, analisis data maseral dan perhitungan estimasi cadangan batubara dengan metode *Triangle Grouping*. Dari hasil analisis data diidentifikasi diketahui bahwa batubara pada daerah penelitian terendapkan pada lingkungan *Back Barrier* dengan sub-lingkungan *Lagoon, Washovers, Swamp dan Tidal Channel*. Batubara pada daerah penelitian diklasifikasikan sebagai batubara *Sub-bituminous* dan diperkirakan bahwa estimasi cadangan batubara pada daerah penelitian sebesar 7.246.116,91 MT dengan volume tanah penutup (*overburden*) pada daerah penelitian adalah 69.704.965,90 BCM dan nilai nisbah pengupasannya yaitu 1:9,61.

**Kata Kunci:** Lingkungan Pengendapan Batubara, *Well Logging*, Elektrofasi.

## ***ABSTRACT***

### **IDENTIFICATION OF DEPOSITION ENVIRONMENT AND COAL CHARACTERISTICS OF THE MUARA ENIM FORMATION, AND ESTIMATION OF COAL RESERVES IN THE PIT. E PT. BUKIT ASAM Tbk, TANJUNG ENIM, SOUTH SUMATRA**

By

**Octavia Melani**

*Well Logging is a geophysical method used to measure bottom opening data. In coal exploration, the combination of logs commonly used is gamma ray log and density log. Electrofacies study is one of the methods used to analyze the depositional environment of coal. Electrofacies uses geophysical logging data in the form of a gamma ray curve that reflects variations in sedimentary rock based on grain size and shows changes in sediment depositional energy. The purpose of this study was to determine the depositional environment and coal characteristics of M1 Muara Enim Formation, as well as to calculate estimated coal reserves in the study area. Data processing in this study was carried out by picking lithology, rock layer correlation, electrofacies analysis, measure section analysis, lithofacies analysis, proximate coal quality analysis, maceral data analysis and calculation of estimated coal reserves using the Triangle Grouping method. From the results of data analysis it was identified that coal in the study area was deposited in the Back Barrier environment with the Lagoon, Washovers, Swamp and Tidal Channel sub-environments. Coal in the study area is classified as Sub-bituminous coal and it is estimated that the estimated coal reserves in the study area are 7,246,116.91 MT with the volume of overburden in the study area being 69,704,965.90 BCM and the stripping ratio is 1: 9,61.*

**Keywords:** *Coal depositional environment, Well Logging, Electrofacies.*

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN DAN KARAKTERISTIK BATUBARA M1 FORMASI MUARA ENIM, SERTA PERHITUNGAN ESTIMASI CADANGAN BATUBARA DI PIT. E PT. BUKIT ASAM Tbk, TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN**

Nama Mahasiswa : **Octavia Melani**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1915051007**

Program Studi : **Teknik Geofisika**

Fakultas : **Teknik**



Pembimbing I

**Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**  
NIP 19661222 199603 1 001

Pembimbing II

**Ilham Dani, M.T**  
NIP 19850917 201903 1004

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

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

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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

**Sekretaris : Ilham Dani, M.T.**

**Anggota : Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**

**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP. 19750928 200112 1 002**



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 Juli 2023**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi dalam Skripsi dengan judul “Identifikasi Lingkungan Pengendapan Dan Karakteristik Batubara M1 Formasi Muara Enim, Serta Perhitungan Estimasi Cadangan Batubara Di Pit. E Pt. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan” merupakan hasil karya sendiri dan tidak terdapat karya pihak lain yang diakui sebagai karya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia diberikan sanksi sesuai dengan peraturan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 04 Agustus 2023



**Octavia Melani**  
NPM. 1915051007

## RIWAYAT HIDUP



Penulis yaitu Octavia Melani, yang lahir pada tanggal 02 Juli 2001, bertepatan Di Desa Pilla, Kecamatan Warkuk Ranau Selatan, Kabupaten OKU Selatan, Sumatera Selatan. Penulis merupakan anak kandung kedua dari tiga bersaudara, yang lahir dari pasangan bernama Husni dan Welta. Penulis memiliki seorang kakak perempuan yang bernama Oricha Mutia Rani, S.Si dan seorang adik laki-laki bernama Khosha Kholil. Alamat tempat tinggal penulis yaitu Di Dusun II Desa Pilla, Kec. Warkuk Ranau Selatan, Kab. OKU Selatan, Sumatera Selatan. Penulis pernah menempuh pendidikan dimulai dari Taman Kanak-Kanak (TK) di TK Daarul Muttaqien Di Desa Kota Batu, Warkuk Ranau Selatan. Penulis menempuh Sekolah Dasar (SD) Di SDN 06 Warkuk Ranau Selatan pada tahun 2007-2013. Penulis menempuh Sekolah Menengah Pertama (SMP) Di SMPN 01 BPR Ranau Tengah pada tahun 2013-2016. Selanjutnya, penulis meneruskan Sekolah Menengah Atas (SMA) Di SMA Al-Azhar 03 Bandar Lampung pada tahun 2016-2019. Kemudian pada tahun 2019 melalui jalur masuk SNMPTN penulis melanjutkan pendidikan sarjana S1 Di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Selama masa studi penulis aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan yang ada Di Universitas Lampung, yaitu: Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HIMA TG Bhuwana) pada bidang Kaderisasi pada tahun 2021 menjabat sebagai Anggota dan pada tahun 2022 menjabat sebagai Sekertaris Bidang. Penulis juga mengikuti Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Lampung pada

tahun 2021-2022 pada Divisi Aksi dan Propaganda. Penulis juga tergabung sebagai anggota dari HMGI Wilayah 1 dan AAPG Unila.

Pada Maret 2022 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di Satker Eksplorasi PT. Bukit Asam Tbk dengan judul penelitian “Interpretasi Litologi Dan Korelasi Bawah Permukaan, Serta Analisis Kualitas Batubara Berdasarkan Data Logging Pada Daerah Muara Tiga Besar Utara (MTBU) Pt. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan” . Kemudian penulis melakukan penelitian Tugas Akhir (TA) pada Januari 2023 di tempat yang sama dengan judul “Identifikasi Lingkungan Pengendapan Dan Karakteristik Batubara M1 Formasi Muara Enim, Serta Perhitungan Estimasi Cadangan Batubara Di Pit. E Pt. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan”. Dimana penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjana pada tanggal 20 Juli 2023.

## **PERSEMBAHAN**

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT, atas berkah, rahmat dan karunia-Nya maka terselesaikannya skripsi ini dengan baik dan lancar.

Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

### **KEDUA ORANG TUA KU TERCINTA HUSNI dan WELTA**

Kepada ayah dan ibu ku tercinta, terimakasih telah berusaha dengan keras, dengan sepenuh hati memberikan doa, restu, kasih sayang tanpa batas, dukungan serta motivasi dan segala sesuatu yang menjadi penguat untuk penulis sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar. Penulis tidak mungkin bisa membalas semua hal yang telah diberikan kepada penulis. Namun, penulis akan berusaha untuk bisa membanggakan ayah dan ibu, sehat selalu ayah dan ibu ku, semoga ayah dan ibu diberi nikmat sehat sampai penulis dapat melalui jenjang selanjutnya bersama dengan ayah dan ibu di sisi penulis hingga akhir hayat.

### **KAKAK PEREMPUAN DAN ADIK LAKI-LAKI KU TERSAYANG WO ICHA dan ADEK OLIL**

Teruntuk Uwo dan Adek kahud ku, terimakasih sudah menjadi penyemangat dan pendukung bagi penulis dalam segala hal termasuk dalam menyelesaikan pendidikan sarjana mulai dari MABA hingga penyusunan Skripsi, dan berhasil menyelesaikan pendidikan sarjana dengan baik dan lancar. Terimakasih senantiasa menghibur dikala gunda gulana, kita pasti bisa dan kita luarbiasa.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas berkah limpahan rahmat dan hidayah-nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“IDENTIFIKASI LINGKUNGAN PENGENDAPAN DAN KARAKTERISTIK BATUBARA M1 FORMASI MUARA ENIM, SERTA PERHITUNGAN ESTIMASI CADANGAN BATUBARA DI PIT. E PT. BUKIT ASAM TBK, TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN”**. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan Skripsi ini yaitu untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama penulisan Skripsi ini banyak sekali terdapat hambatan yang dialami, namun berkat adanya bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam Skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan Skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya bagi pada pembaca pada umumnya, serta bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 04 Agustus 2023

Penulis,



**Octavia Melani**  
NPM. 1915051007

## SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-nya, penulis dapat menyelesaikan laporan kerja praktik dengan judul “Identifikasi Lingkungan Pengendapan Dan Karakteristik Batubara M1 Formasi Muara Enim, Serta Perhitungan Estimasi Cadangan Batubara Di Pit. E Pt. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan” dengan baik dan lancar. Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari bahwa selesainya proses ini tidak dapat berjalan lancar tentunya tanpa berkat doa, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karna itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang selalu memberikan anugerah-Nya dan memberikan kemudahan kepada penulis.
2. Kedua orang tua saya Ibu dan Ayah serta kakak dan adik saya yang selalu mendukung proses akademik dan non akademik saya, membimbing saya, dan selalu mendokan saya.
3. Bapak Dr. Eng., Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Karyanto, S.Si. M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si selaku pembimbing satu penulis yang telah meluangkan waktunya untuk banyak memberikan arahan, masukan serta koreksi sehingga penulis dapat menyelesaikan proses pengerjaan Tugas Akhir dan skripsi penulis.
6. Bapak Ilham Dani, M.T selaku pembimbing dua penulis yang juga telah banyak memberikan motivasi serta arahan dan juga waktunya kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir dan skripsi penulis.

7. Bapak Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si selaku penguji penulis yang telah memberikan waktu, saran serta masukannya.
8. Bapak Dr. Ir. Muhammad Sarkowi, S.Si., M.T selaku Pembimbing Akademik serta penguji yang telah meluangkan waktunya.
9. Ibu dan Bapak dosen Jurusan Teknik Geofisika yang telah memberikan saya banyak ilmu dan pengarahan.
10. PT. Bukit Asam Tbk. yang telah mengizinkan saya untuk menjalankan Kerja Praktik hingga Tugas Akhir dan memberikan pengalaman yang luar biasa untuk saya.
11. Pak Ahmad Zaki Romi selaku Vice President Eksplorasi.
12. Pak M. Dwiki Satrio W selaku Pembimbing KP dan TA saya yang selalu memberikan arahan dan bimbingannya selama saya menjalankan kerja praktik.
13. Seluruh staff Satuan Kerja Eksplorasi dan Geoteknik yang telah memberikan ilmu-ilmu, pengalaman, dan kekeluargaan yang luar biasa selama kerja praktik.
14. Teknik Geofisika Unila Angkatan 2019 yang selalu mendukung dan menyemangati penulis, kita semua Mak Kou Tanding.
15. Trias Annisa Fara, selaku partner saya selama menjalankan kerja praktik dan tugas akhir dari awal hingga akhir
16. Teman-teman KP/TA di Satuan Kerja Eksplorasi dan Geoteknik rekan diskusi dan rekan belajar penulis baik di kantor maupun di luar kantor.
17. Serta semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan banyak terima kasih.

Bandar Lampung, 04 Agustus 2023

Penulis,



**Octavia Melani**

NPM. 1915051007

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERSETUJUAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>viii</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
6.1 Latar Belakang .....	1
6.2 Rumusan Masalah .....	2
6.3 Batasan Masalah .....	2
6.4 Tujuan Penelitian .....	3
6.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Lokasi Daerah Penelitian .....	4
2.2 Geologi Regional .....	5
2.3 Geologi Daerah Penelitian .....	6
2.4 Stratigrafi Regional .....	7
2.5 Stratigrafi Daerah Penelitian .....	13

<b>III. TEORI DASAR .....</b>	<b>15</b>
3.1 Batubara.....	15
3.1.1 Pengertian Batubara .....	15
3.1.2 Pembentukan Batubara.....	15
3.1.3 Klasifikasi Batubara .....	18
3.1.4 Maseral Batubara .....	22
3.2 <i>Well Logging</i> .....	25
3.2.1 Pengertian <i>Well Logging</i> .....	25
3.2.2 <i>Log Gamma Ray</i> .....	26
3.2.3 <i>Log Density</i> .....	28
3.2.4 Interpretasi <i>Well Logging</i> .....	30
3.3 Korelasi Lapisan Batuan.....	31
3.4 Lingkungan Pengendapan Batubara .....	31
3.4.1 Analisis Elektrofases.....	34
3.4.2 Analisis Litofases .....	37
3.5 Estimasi Cadangan Batubara .....	38
<b>IV. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>40</b>
4.1 Tempat dan Waktu.....	40
4.2 Alat dan Bahan .....	41
4.3 Prosedur Penelitian .....	41
4.3.1 <i>Picking</i> Litologi .....	41
4.3.2 Korelasi.....	42
4.3.3 Analisis Elektrofases .....	42
4.3.4 Pengambilan Data <i>Measure Section (MS)</i> .....	42
4.3.5 Analisis <i>Measured Stratigraphic Section</i> .....	43
4.3.6 Analisis Litofases .....	43
4.3.7 Analisis Kualitas Batubara .....	43
4.3.8 Analisis Maseral Batubara .....	43
4.3.9 Identifikasi Lingkungan Pengendapan Batubara .....	44
4.3.10 Perhitungan Estimasi Cadangan Batubara.....	44
4.4 Diagram Alir.....	45
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>46</b>

5.1 Data Pengamatan .....	46
5.2 Pengolahan Data .....	46
5.2.1 <i>Picking</i> Litologi.....	46
5.2.2 Korelasi .....	46
5.2.3 Analisis Elektrofases.....	46
5.2.4 Analisis <i>Measured Stratigraphic Section</i> .....	48
5.2.5 Analisis Litofases .....	48
5.2.6 Analisis Kualitas dan Maseral Batubara .....	48
5.3 Pembahasan .....	49
5.3.1 Intepertasi Litologi Berdasarkan Data <i>Log</i> dan Data <i>Core</i> .....	49
5.3.2 Korelasi Bawah Permukaan Berdasarkan Data Sumur .....	60
5.3.3 Analisis Elektrofases .....	63
5.3.3.1 Sumur OC_01 .....	63
5.3.3.2 Sumur OC_02 .....	66
5.3.3.3 Sumur OC_03 .....	68
5.3.3.4 Sumur OC_04 .....	69
5.3.4 Analisis <i>Measured Stratigraphic Section</i> .....	70
5.3.5 Analisis Litofases .....	74
5.3.6 Analisis Kualitas Batubara .....	82
5.3.7 Analisis Data Maseral .....	93
5.3.8 Identifikasi Lingkungan Pengendapan Batubara .....	95
5.3.9 Estimasi Cadangan Batubara Pada Daerah Penelitian .....	98
<b>VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>100</b>
6.1 Kesimpulan.....	100
6.2 Saran .....	101

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 1.</b> Sistem klasifikasi batubara (ASTM, 1998).....	19
<b>Tabel 2.</b> Klasifikasi maseral batubara (ICCP, 1971).....	23
<b>Tabel 3.</b> Klasifikasi Pengukuran Sumur Geofisika Wireline (Rider, 1996).....	25
<b>Tabel 4.</b> Respon Radioaktif dari Litologi Lapisan Batuan(Haryono,2010) .....	28
<b>Tabel 5.</b> Nilai Densitas Batuan (Nurhasanah. 2012).....	30
<b>Tabel 6.</b> Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir .....	40
<b>Tabel 7.</b> Nilai Respon Radioaktif Sumur OC_01 .....	49
<b>Tabel 8.</b> Litologi Sumur OC_01 .....	50
<b>Tabel 9.</b> Nilai Respon Radioaktif Sumur OC_02.....	52
<b>Tabel 10.</b> Litologi Sumur OC_02.....	51
<b>Tabel 11.</b> Nilai Respon Radioaktif Sumur OC_03.....	55
<b>Tabel 12.</b> Litologi Sumur OC_03 .....	55
<b>Tabel 13.</b> Nilai Respon Radioaktif Sumur OC_04.....	58
<b>Tabel 14.</b> Litologi Sumur OC_04.....	58
<b>Tabel 15.</b> Data Kualitas Proksimat.....	82
<b>Tabel 16.</b> Tabel Nilai Hasil Uji Laboratorium dan Parameter Log Geofisika .....	87
<b>Tabel 17.</b> Data Maseral Batubara .....	93
<b>Tabel 18.</b> Nilai TPI dan GI.....	93
<b>Tabel 19.</b> Nilai Volume batubara, volume Ob dan <i>Stripping Rasio</i> .....	99

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.</b> Daerah Penelitian PT. Bukit Asam Tbk .....	4
<b>Gambar 2.</b> Gologi regional Tanjung Enim (PT. Bukit Asam Tbk., 2007) .....	5
<b>Gambar 3.</b> Geologi Daerah Penelitian (PT.Bukit Asam. 2023) .....	6
<b>Gambar 4.</b> Stratigrafi CekunganSumatra Selatan (PT. Bukit Asam Tbk., 2007) 9	9
<b>Gambar 5.</b> Penampang stratigrafi daerah banko (PT. Bukit Asam Tbk., 2022) 14	14
<b>Gambar 6.</b> Proses Pembatubaraan (Akbari dkk, 2014) .....	16
<b>Gambar 7.</b> Proses Pembentukan Batubara (Cook, 1982) .....	17
<b>Gambar 8.</b> Diagram TPI-GI (Diessel, 1986) .....	24
<b>Gambar 9.</b> Analisa log gamma ray efek (Alfatih, 2017) .....	27
<b>Gambar 10.</b> Respon log density terhadap batuan (Rider, 2002).....	29
<b>Gambar 11.</b> Lingkungan pengendapan (Horne, 1978) .....	34
<b>Gambar 12.</b> Pola Log Elektrofasis (Kendall dan Pomar, 2005) .....	35
<b>Gambar 13.</b> Diagram Alir .....	45
<b>Gambar 14.</b> Topografi Daerah Penelitian dan Titik Sumur Bor.....	46
<b>Gambar 15.</b> Arah Sayatan dan Titik Sumur Bor .....	60
<b>Gambar 16.</b> Lintasan MS .....	71
<b>Gambar 17.</b> Penampang Stratigrafi Hasil Pengukuran MS di lapangan .....	72
<b>Gambar 18.</b> Fasies Lanau Dengan Sisipan Oksida Besi.....	74
<b>Gambar 19.</b> Fasies Lanau Karbonan.....	74
<b>Gambar 20.</b> Fasies Lempung Sisipan Oksida Besi.....	76
<b>Gambar 21.</b> Fasies Lempung Karbonan .....	76
<b>Gambar 22.</b> Fasies Batupasir Masif.....	77
<b>Gambar 23.</b> Batubara <i>Seam</i> D .....	78
<b>Gambar 24.</b> Batubara <i>Seam</i> E1 .....	79
<b>Gambar 25.</b> Batubara <i>Seam</i> E2.....	80
<b>Gambar 26.</b> Nilai Densitas VS Nilai <i>Total Moisture</i> .....	87

<b>Gambar 27.</b> Nilai Densitas VS Nilai <i>Volatile Matter</i> .....	88
<b>Gambar 28.</b> Nilai Densitas VS Nilai <i>Fixed Carbon</i> .....	89
<b>Gambar 29.</b> Nilai Densitas VS Nilai <i>Ash Conten</i> .....	89
<b>Gambar 30.</b> Nilai Densitas VS Nilai <i>Calorific Value</i> .....	90
<b>Gambar 31.</b> Nilai Densitas VS Nilai <i>Total Sulphure</i> .....	91
<b>Gambar 32.</b> Diagram Hasil Analisis TPI-GI (Modifikasi Diessel, 1986) .....	94
<b>Gambar 33.</b> Lingkungan pengendapan <i>Back Barrier</i> daerah penelitian	99
<b>Gambar 34.</b> Lingkungan pengendapan zona <i>Back Barrier</i> daerah penelitian..	97

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Batubara adalah salah satu batuan sedimen non-klastik yang memiliki kandungan karbon berbentuk padat, rapuh, mempunyai warna coklat tua sampai kehitaman terjadi dari hasil penimbunan sisa tumbuhan yang mati dan tidak sempat mengalami pembusukan secara sempurna. Proses pembentukan batubara mempengaruhi mutu serta sumberdaya batubara dan keekonomisan mineral tersebut untuk pertambangan.

Metode geofisika yang digunakan untuk pengumpulan data geologi batubara bawah permukaan secara cepat dan akurat adalah metode *Well logging*. Metode ini memberikan tingkat akurasi data yang relatif tinggi dibandingkan dengan metode lainnya, sehingga metode ini tetap menjadi pilihan utama perusahaan dalam melakukan eksplorasi batubara, meskipun dengan biaya yang relatif mahal. *Well Logging* adalah metode perekaman data secara kontinu yang dilakukan dengan memasukan sebuah alat kedalam lubang bor untuk mempelajari perubahan sifat fisik batuan yang dipancarkan oleh pantulan sinar radioaktif yang diinjeksikan kedalam lubang bor (Dewanto, 2017).

Metode ini digunakan karena informasi data yang dihasilkan tidak hanya berupa informasi geologi, namun juga menghasilkan informasi berbagai data lain, seperti kedalaman, ketebalan, kualitas lapisan batubara dan juga mengkompensasi berbagai masalah yang tidak terhindar apabila hanya dilakukan pengeboran, yaitu pengecekan kedalaman sesungguhnya dari setiap lapisan, terutama lapisan batubara termasuk *parting* dan lain-lain.

*Logging* geofisika dapat digunakan sebagai dasar untuk menginterpretasikan kondisi batuan bawah permukaan yang mempresentasikan proses pembentukan dan diagenesis sedimen. Idealnya, terdapat 2 parameter *log* dalam eksplorasi batubara yaitu *log* densitas yang menunjukkan nilai densitas batuan dan *log* sinar gamma (*log gamma ray/GR*) yang menunjukkan intensitas radioaktif yang biasa ditemukan pada mineral lempung. Secara khusus, diuraikan bahwa *log GR* akan mengukur kadar unsur potasium, uranium, dan thorium, yang dapat proposional dengan kandungan lempung/serpih dalam batuan. Selain itu, diketahui bahwa *log GR* dapat digunakan untuk menentukan fasies lingkungan pengendapan batuan.

Analisis elektrofasis dilakukan pada daerah penelitian dengan tujuan mengetahui posisi lingkungan pengendapan formasi batuan secara lokal di daerah penelitian terhadap kondisi regional pengendapan formasi batuan tersebut. Selain itu diharapkan dengan mengetahui kondisi dan lingkungan pengendapan batuan pada daerah penelitian dapat dijadikan sebagai acuan untuk analisis lanjutan mengenai karakterisasi lapisan batuan seperti studi potensi lempung, potensi likuifaksi, analisis persebaran batubara, analisis karakterisasi batubara dan kualitas batubara.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Pola elektrofasis apa saja yang ada pada daerah penelitian?
2. Bagaimana lingkungan pengendapan dan karakteristik batubara daerah penelitian ?
3. Bagaimana korelasi antara pola elektrofasis dengan hasil analisis litofasies, analisis *Measure Section*, dan analisis karakteristik batubara berdasarkan data proksimat dan data maseral pada daerah penelitian.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini hanya menggunakan 4 (empat) buah data sumur bor yaitu OC\_01, OC\_02, OC\_03, dan OC\_04.
2. Analisis Elektrofasiess menggunakan kurva nilai *Log Gamma Ray* yang ditunjukkan oleh *Software WellCAD*.
3. Pengambilan data *Measure Section* dilakukan pada 1 (satu) lintasan dan dilakukan pada area tambang terbuka di Pit.E PT. Bukit Asam Tbk.
4. Data kualitas batubara yang digunakan berupa data proksimat sekunder.
5. Data maseral batubara yang digunakan berupa data maseral sekunder.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui litologi dan pola elektrofasiess sumur bor pada daerah penelitian.
2. Mengetahui lingkungan pengendapan dan karakteristik batubara daerah penelitian.
3. Mengetahui estimasi cadangan batubara pada daerah penelitian.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

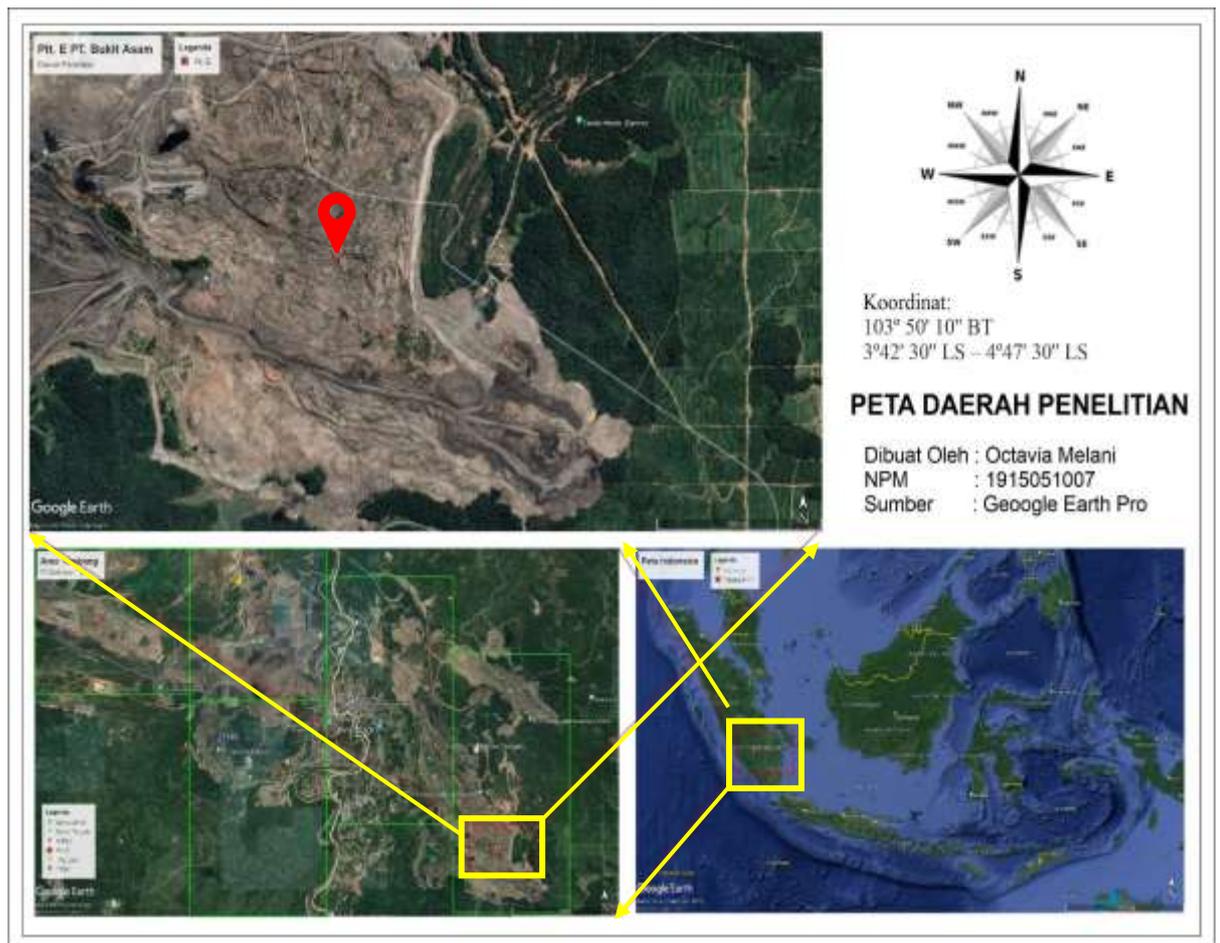
Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini yaitu:

1. Dengan Mengetahui lingkungan pengendapan batubara pada daerah penelitian, maka data tersebut dapat dijadikan landasan dalam beberapa penelitian selanjutnya berupa analisis karakterisasi lapisan batuan seperti studi potensi lempung, potensi likuifaksi, analisis pesebaran batubara, analisis karakterisasi batubara dan kualitas batubara.
2. Dengan mengetahui karakteristik batubara pada daerah penelitian maka dapat digunakan sebagai data dalam penentuan *rank* dan kualitas batubara pada daerah penelitian, serta dapat dijadikan bahan acuan dalam penentuan harga batubara.
3. Dengan mengetahui jumlah cadangan batubara di daerah penelitian dapat memberikan informasi mengenai pertimbangan dalam pelaksanaan proses pertambangan selanjutnya.
4. Menambah ilmu dan pengetahuan mengenai ilmu kegeofisikaan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Lokasi Daerah Penelitian

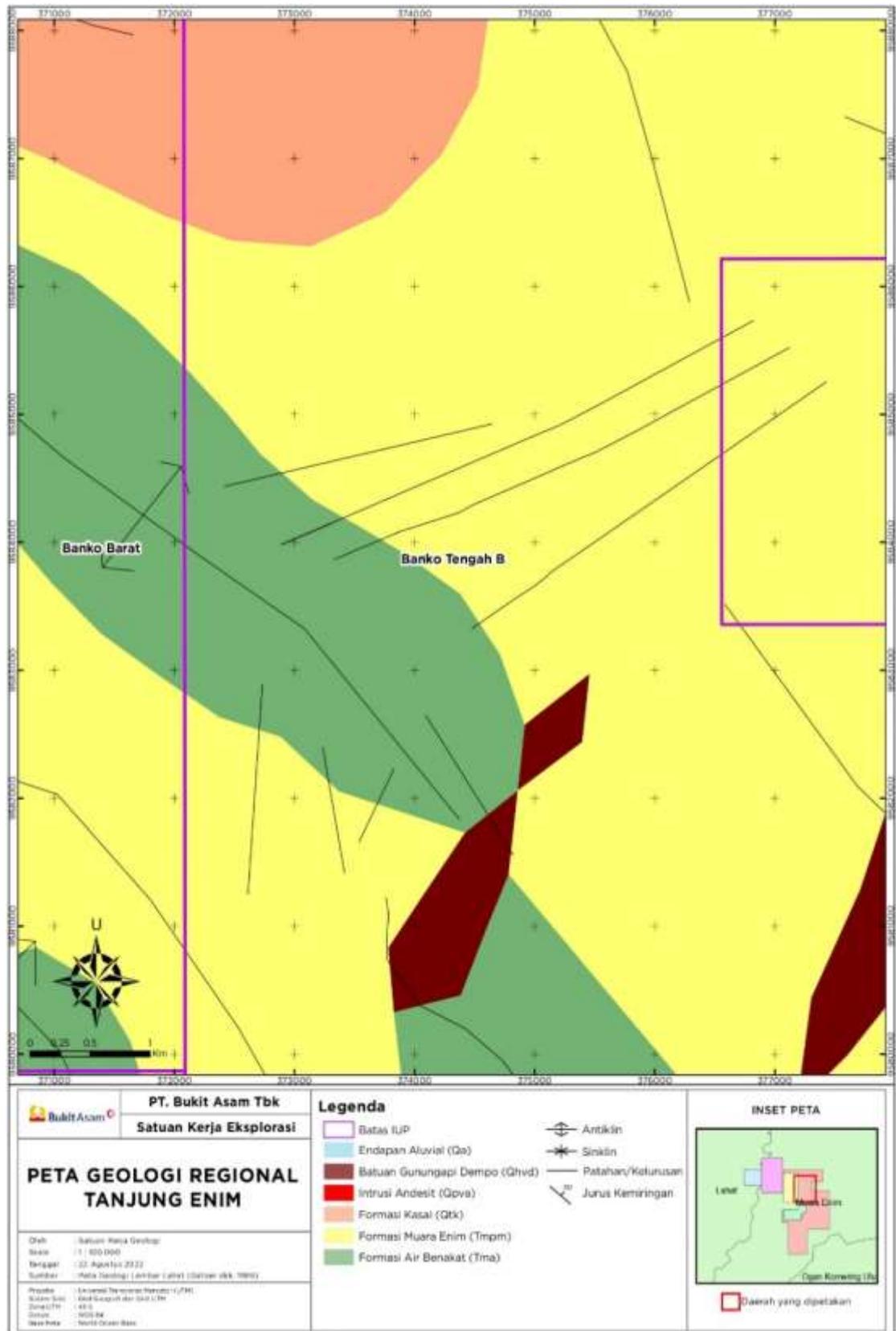
Penelitian ini dilakukan di PT Bukit Asam Tbk yang berlokasi di Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim. PT Bukit Asam (Persero) Tbk terletak pada posisi  $103^{\circ} 50' 10''$  BT dan  $3^{\circ} 42' 30''$  LS –  $4^{\circ} 47' 30''$  LS yang ditunjukkan oleh **Gambar 1** dibawah ini:



**Gambar 1.** Daerah Penelitian PT. Bukit Asam Tbk.



### 2.3 Geologi Daerah Penelitian



Gambar 3. Geologi Daerah Penelitian (PT.Bukit Asam Tbk, 2023).

Daerah penelitian ini terletak di daerah oprasi Tambang Banko Barat yang tergolong kedalam formasi Muara Enim, yang dibagi menjadi 4 anggota, yaitu M1, M2, M3 dan M4, dimana pada setiap anggota memiliki lapisan batubara sebagai berikut :

1. Anggota M1 memiliki 2 lapisan batubara, yaitu lapisan batubara Kladi yang memiliki ketebalan 5 meter – 10 meter dan batubara Merapi dengan ketebalan 0.2 meter – 1 meter.
2. Anggota M2 memiliki banyak lapisan batubara, yaitu 4 lapisan batubara yang dijumpai di Tanjung Enim. Lapisan batubara tersebut dinamakan lapisan batubara Petai (C) dengan ketebalan 5 meter – 9 meter, lapisan batubara Suban (B) dengan ketebalan 10 meter – 18 meter dan lapisan batubara Mangus (A), dengan ketebalan 8 meter – 12 meter.
3. Anggota M3 memiliki sebagian lapisan batubara dengan ketebalan kurang dari 2 meter, hanya terdapat 1 lapisan batubara yang cukup tebal yaitu lapisan batubara Benuang dengan ketebalan 1 - 2 meter.
4. Anggota M4 memiliki sebagian lapisan batubara dengan ketebalan mencapai 20 meter, lapisan batubara tersebut ialah lapisan batubara Kebon, batubara Enim, batubara Jelawatan dan batubara Niru.

#### **2.4 Stratigrafi Regional**

Stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan telah banyak dipelajari oleh para ahli geologi terdahulu. Berdasarkan kajian sebelumnya, stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan dapat dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu batuan Pra-Tersier, Tersier, dan Kuarter (Ginger and Fielding, 2005).

##### **1. Batuan Pra-Tersier**

Batuan Pra-Tersier Cekungan Sumatera Selatan membentuk dasar cekungan Tersier. Batuan ini dijumpai dalam bentuk batuan beku, metamorf, dan sedimen. Batuan pre-tercier membagi batuan Zaman Paleozoikum (Permakarbon) dalam bentuk serpih yang diidentifikasi berumur Mesozoikum (Yurakapur) berupa seri fasies batuan vulkanik

dan seri fasies laut dalam. Dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa batuan ini mengalami pelipatan dan patahan yang intensif selama zaman Kapur Tengah hingga Akhir, dan diintrusi oleh batuan beku sejak zaman Orogen Mesozoik Tengah.

## 2. Batuan Tersier

Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa sekuens sedimen Tersier di Cekungan Sumatera Selatan terbagi menjadi dua tahap, yaitu periode penggenangan muka air laut dan periode penyusutan muka air laut. Sedimen yang terbentuk di air laut dari Eosen Awal hingga Miosen Tengah disebut kelompok Teoisa dan terdiri dari susunan formasi sebagai berikut:

### a. Formasi Lahat

Formasi ini terendapkan pada umur Oligosen Awal dengan ketebalan sekitar 1000 meter dan diendapkan secara tidak selaras pada batuan dasar. Formasi Lahat memiliki litologi seperti batu pasir kasar, batu lempung, fragmen batuan, dan breksi.

### b. Formasi Talang Akar (Tomt)

Formasi Talang Akar terendapkan di atas Formasi Lahat dengan terjadi ketidakselarasan. Formasi ini memiliki ketebalan sebesar 460 hingga 610 meter dan diidentifikasi mengendap pada umur Oligosen Akhir sampai Miosen Awal. Formasi Talang Akar ini tersusun dari batu lempung, batu pasir dan sisipan batubara.

### c. Formasi Baturaja (Tmb)

Formasi Baturaja diketahui dari penelitian sebelumnya terendapkan secara selaras pada bagian atas Formasi Talang Akar dengan ketebalan formasi yaitu 20 hingga 75 meter dan. Formasi ini terendapkan pada Miosen Awal dan tersusun dari batuan karbonat, lempung, dan lempung gampingan.

UMUR	FORMASI	PEMERIAN LITOLOGI	LAPISAN BATUBARA	LINGKUNGAN PENGENDAPAN	
KUARTER	ALUVIUM	Berbagai jenis endapan darat, sebagian adalah hasil rombakan Formasi Kasai (Qtk)		Kontinen	
	PLIOSEN	KASAI	Batu pasir abu-abu terang, berukuran kerakal, tufan, secara setempat glaukonit, mengandung kuarsa kristalin. Batu lempung, kaolinitik, hijau kebiruan sampai biru. Batu apung komposisi asam, mengandung kongresi batuan vulkanik dan batu pasir tufan, beberapa lensa batu bara. Tebal Formasi 400-1.000 m.		Aktivitas vulkanik bertambah kuat
MUARA ENIM		M4	Batu lempung tufan, hijau kebiruan dan lempung pasiran, mengandung batu lempung batu baraan, coklat tua. Batu pasir putih sampai abu-abu berbutir halus sampai kasar, beberapa mengandung glaukonit. Di daerah Palembang didapatkan lapisan batu apung. Tebal Formasi 120-200 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Niru</li> <li>■ Lematang</li> <li>■ Babat/ Benakat</li> <li>■ Kebon</li> </ul>	Limnik/ payau
		M3	Kompleks batu pasir dan batu lanau. Ditutupi secara dominan oleh batu lempung, hijau kebiruan, hijau keabu-abuan dan coklat keabu-abuan. Beberapa lapisan tipis batuan gampingan dan dolomitik. Lapisan batu pasir bawah berbutir halus, hijau keabu-abuan pada bagian bawah. Tebal Formasi 40-120 m.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Benuang</li> <li>■ Burung</li> </ul>	
		M2	Batu lempung, coklat sampai coklat keabu-abuan dan batu lempung pasiran. Batu pasir halus berbutir halus sampai kasar, coklat, abu-abu. Batu pasir bawah berbutir halus, hijau keabu-abuan pada bagian bawah. Tebal Formasi 40-120 m.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mangus</li> <li>■ Suban</li> <li>■ Petai</li> </ul>	Aktivitas vulkanik di sekitar cekungan
MIOSEN	AKHIR	M1	Batu pasir, batu lanau dan batu lempung berwarna coklat dan abu-abu dengan batu pasir glaukonit. Tebal Formasi 100-250 m.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Merapi</li> <li>■ Keladi</li> </ul>	Paralis
		TENGAH	AIR BENAKAT	Batu lempung abu-coklat sampai abu dan biru-abu dan serpih pasiran, sering napalan, batu pasir halus hijau-abu-hijau, glaukonit. Tebal Formasi 100-1.100 m, rata-rata 800 m.	
	AWAL	GUMAI	Serpih-gampingan, napal, batu lempung dengan sisipan serpih gampingan dan napal.		Laut dangkal

**Gambar.4** Stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan (PT. Bukit Asam Tbk, 2007).

d. Formasi Gumai (Tmg)

Formasi Gumai dari penelitian terdahulu diketahui terendapkan secara selaras di atas Formasi Baturaja. Formasi Gumai merupakan formasi yang cukup tebal dengan ketebalan sekitar 2700 meter dan terendapkan pada Oligosen sampai Miosen Tengah. Formasi Gumai mayoritas tersusun atas batu-batuan sedimen seperti batu lempung, batuan pasir, dan batu gamping.

e. Formasi Air Benakat (Tma)

Formasi Air Benakat diendapkan pada akhir masa regresi pengendapan Formasi Gumai pada Zaman Miosen Tengah. Penurunan fase regresi terjadi pada akhir siklus regresi pertama di lingkungan neritik hingga *shallow marine*, yang berubah menjadi lingkungan *delta plain* dan *coastal swamp*. Formasi ini terdiri dari batulempung putih kelabu dengan sisipan batupasir halus, batupasir abu-abu hitam kebiruan, glaukonit lokal dan mengandung lignit. pada bagian atas mengandung tufaan sedangkan bagian tengah kaya akan fosil *foraminifera*. Keberadaan Formasi Air Benakat menjadi tanda dari akhir Formasi Gumai yang terbentuk pada masa Miosen Tengah. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 1000-1500 meter.

f. Formasi Muara Enim (Tmpm)

Formasi Muara Enim diendapkan pada akhir Miosen hingga Pliosen, formasi ini mewakili siklus regresi kedua dari endapan laut dangkal hingga pasir kontinental (*Continental sands*), endapan muara (*delta*) dan endapan batulumpung. Regresi siklus kedua ini memiliki perbedaan dengan pengendapan siklus pertama (Formasi Air-Benakat) yaitu terlihat dengan tidak ditemukannya batupasir glaukonit dan memiliki akumulasi lapisan batubara yang tebal. Proses pengendapan bagian awal terjadi disepanjang lingkungan rawa-rawa dataran pantai di bagian selatan cekungan Sumatera Selatan, dengan hasil pengendapan berupa endapan deposit batubara yang luas. Kemudian pengendapannya berlanjut pada lingkungan *delta plain* yang

berkembang secara lokal membentuk sekuen serpih dan batupasir yang tebal. Pada formasi ini terdapat oksida besi berupa konkresi-konkresi dan *silicified wood*. Ketebalan formasi ini tipis pada bagian utara dan maksimum di sebelah selatan. Formasi Muara Enim merupakan batuan yang menunjukkan tingkat vulkanisme yang tinggi dengan sumber sedimentasi yang berasal dari Bukit Barisan pada cekungan tersebut. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 750 meter dan terendapkan pada masa Miosen Akhir sampai Pliosen. Formasi ini tersusun dari batuan sedimen fluvial hingga delta. Formasi Muara Enim merupakan formasi yang akan dibahas pada penelitian ini. Formasi Muara Enim (Tm<sub>pm</sub>), Secara umum dibagi menjadi 4 (empat) anggota yang didasarkan pada lapisan batubaranya dari yang paling tua hingga yang paling muda yaitu:

a. Anggota M1

Lapisan ini berumur Meosen yang terdiri batulempung berwarna coklat sampai abu-abu. Di dalam anggota M1 terdapat dua lapisan batubara yang dikenal sebagai Lapisan Kladi dan Lapisan Merapi. Kedua lapisan batubara tersebut berkembang dengan baik di bagian selatan cekungan. Lingkungan pengendapan anggota ini adalah Paralis. Pada lingkungan pengendapan Paralis unit sikuen yang terbentuk terdiri dari sikuen regresi dan transgresi. Regresi merupakan pergeseran garis pantai ke arah cekungan. Sedangkan, transgresi merupakan pergeseran garis pantai ke arah tinggian.

Posisi tinggian dan cekungan sedimentasi akan mempengaruhi pola stratigrafi pengisian cekungan, baik dari segi susunan vertikal ataupun lateralnya. Pada kondisi normal atau cekungan dalam keadaan tetap dan tidak terganggu, ketebalan unit pengendapan akan berbeda saat fase regresi maupun transgresi. Pada saat fase regresi, unit sikuen pengendapan akan mengalami penebalan ketebalan ke arah cekungan dan penipisan ke arah tinggian dan sebaliknya. Pada saat transgresi, ketebalan unit sikuen pengendapan akan mengalami

penipisan ke arah cekungan dan penebalan ke arah tinggian. Hal ini dikarenakan faktor akomodasi, pasokan sedimen, eustasi dan tektonik yang berperan saat proses sedimentasi di suatu cekungan.

b. Anggota M2

Anggota M2 tersusun atas formasi berumur Miosen dan terdiri dari batulempung abu-abu kecoklatan dan batupasir coklat dan abu-abu berbutir halus. Di dalam anggota M2 terdapat tiga lapisan batubaranya: batubara Petai, batubara Suban, dan batubara Manggus. Ketiga lapisan ini berkembang dengan baik di sekitar Bukit Asam, Tanjung Enim dan saat ini sedang ditambang oleh PT. Bukit Asam (Tbk). Dari penelitian terdahulu diketahui bahwa lingkungan pengendapan anggota ini adalah dataran banjir (*flood plain*).

c. Anggota M3

Anggota M3 terdiri dari campuran lapisan batulanau dan pasir, dengan bagian bawah lapisan ini terdiri dari lempung abu-abu kebiruan sampai hijau, diikuti oleh lapisan tipis batugamping dan dolomit. Pada lapisan batuan anggota M3 diketahui memiliki dua lapisan batubara utama yaitu lapisan batubara Benuan dan batubara Pinang atau Gambir.

d. Anggota M4

Anggota M4 terdiri dari lapisan batulumpur putih sampai abu-abu dengan sedikit glaukonit dan batupasir halus sampai kasar. Terdapat lapisan tipis batu apung di tengah lapisan anggota M4. Anggota M4 Formasi Muara Enim memiliki lapisan batubara yang paling banyak. Terdapat lima lapisan batubara yang disebut dengan Batubara Kebon, Batubara Enim, Batubara Babat atau Batubara Benakat, Batubara Lematang atau Batubara Jerawatan, dan Batubara Niru. Lapisan batubara ini terletak di bagian utara cekungan yaitu Blok Kluang.

g. Formasi Kasai (Qtk)

Formasi Kasai merupakan sebuah formasi yang menunjukkan tingkat vulkanisme dari Bukit Barisan. Formasi ini diendapkan pada Pliosen sampai Pleistosen. Formasi ini tersusun atas *tuff*, batu lempung, dan batu pasir vulkanoklastik. Pada Formasi ini terdapat *uplifting* atau pengangkatan Bukit Barisan yang menjadi sumber sedimentasi (Ginger and Fielding, 2005).

## 2.5 Stratigrafi Daerah Penelitian

Berdasarkan keadaan litologi dan stratigrafi yang dikeluarkan oleh Satuan Kerja Eksplorasi Rinci dan Geoteknik PT. Bukit Asam Tbk., penampang lapisan batubara pada daerah Banko Barat ditunjukkan oleh **Gambar 5**. Dengan susunan litologi yang ada di daerah Banko Barat yaitu:

a. *Overburden Seam D*

Tanah penutup terdiri dari endapan batu lanau, juga terdapat iron stone yang menerus. ketebalan lapisan tanah tertutup berkisar 90-99 meter.

b. Batubara *Seam D*

Batubara ini dicirikan dengan karakteristik berwarna hitam kusam dengan corak kecoklatan, disisipi oleh *impurities* berupa resin dan mineral pirit, *brittle*.

c. Susunan *Interburden* batubara *seam D-E*

batuan penyusun *interburdent* batubara *seam D* dan *E* tersusun atas batupasir 2-4 meter, kemudian batu lanau 25-35 meter yang ditengahnya tersisipkan batu lempung dan mineral karbonan setebal 2-3 meter. Kemudian terdapat lapisan batu pasir halus dengan ketebalan 12-15 meter. Kemudian terdapat lapisan batu lempung lanauan yang ditengahnya terdapat lapisan lempung karbonana sekitar 4-5 meter, ketebalan lapisan lempung lanauan ini sekitar 15-35 meter, lapisan ini memiliki struktur laminasi dan berwarna abu-abu gelap. Ketebalan total lapisan *interburden* batubara D-E adalah 90 sampai 100 meter.

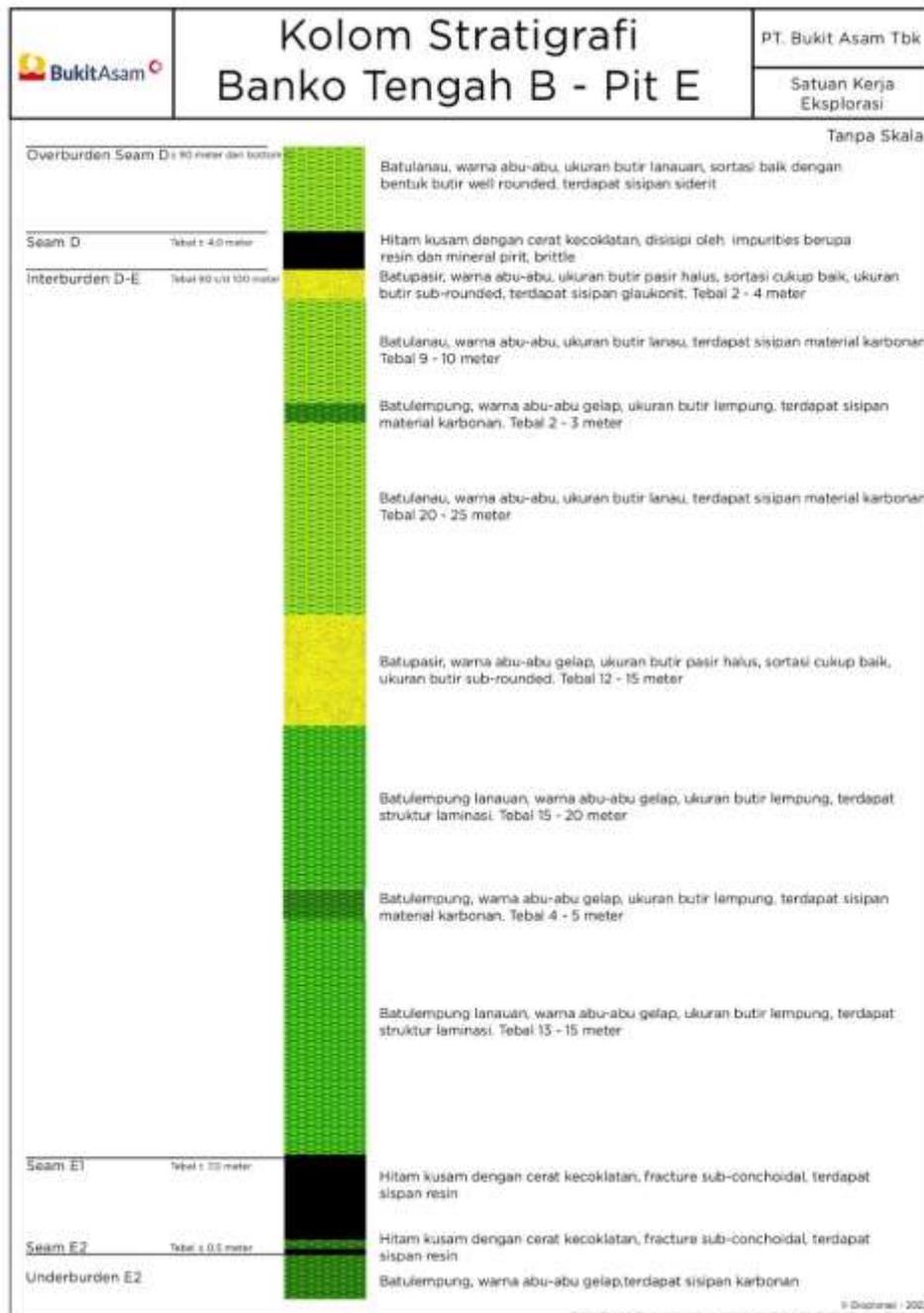
d. Batubara *Seam E1* dan *Seam E2*

Batubara *seam E1* memiliki ketebalan kurang lebih 7 meter dan *seam E2* memiliki ketebalan kurang lebih 0.5 meter, memiliki warna hitam kusam

dengan cerat kecoklatan, memiliki resin didalamnya dan *fracture sub-conchoidal*. Lapisan batubara ini dipisahkan oleh lapisan lempung karbonan setebal 0.5-1 meter

e. *Underburden Seam E2*

Lapisan ini merupakan batulempung dengan warna abu-abu gelap, terdapat sisipan karbon , dengan ketebalan lapisan berkisar antara 3-5 meter.



**Gambar 5.** Susunan Stratigrafi Pit E (PT. Bukit Asam Tbk, 2022).

## **III. TEORI DASAR**

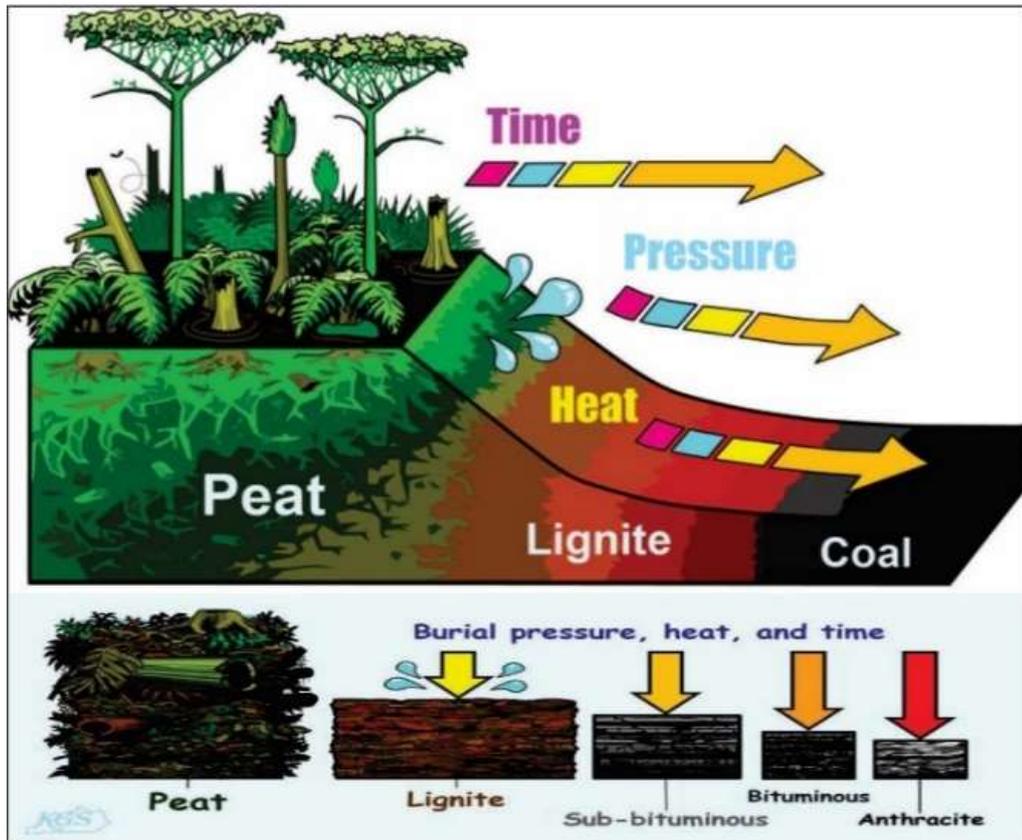
### **3.1 Batubara**

#### **3.1.1 Pengertian Batubara**

Batubara didefinisikan sebagai batuan organik berwarna gelap yang terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan. Komponen utama penyusun batubara adalah atom karbon, hidrogen, dan oksigen (Pasymi, 2008). Batubara berasal dari tumbuh-tumbuhan yang telah mati dan terakumulasi dalam cekungan yang berisi air dalam kurun waktu sangat lama, dapat mencapai jutaan tahun. Proses tersebut dipengaruhi oleh tekanan dan temperatur. Proses pembentukan batubara memberikan pengaruh terhadap sumberdaya dan kualitas batubara. Hal ini berkaitan dengan nilai ekonomis bahan galian tersebut untuk di tambang. Batubara secara geologi termasuk golongan batuan sedimen organoklastik. Lingkungan pembentukan batubara sendiri harus merupakan cekungan *anaerob* dimana tidak ada oksigen yang terlibat dalam prosesnya (Arif, 2014).

#### **3.1.2 Proses Pembentukan Batubara**

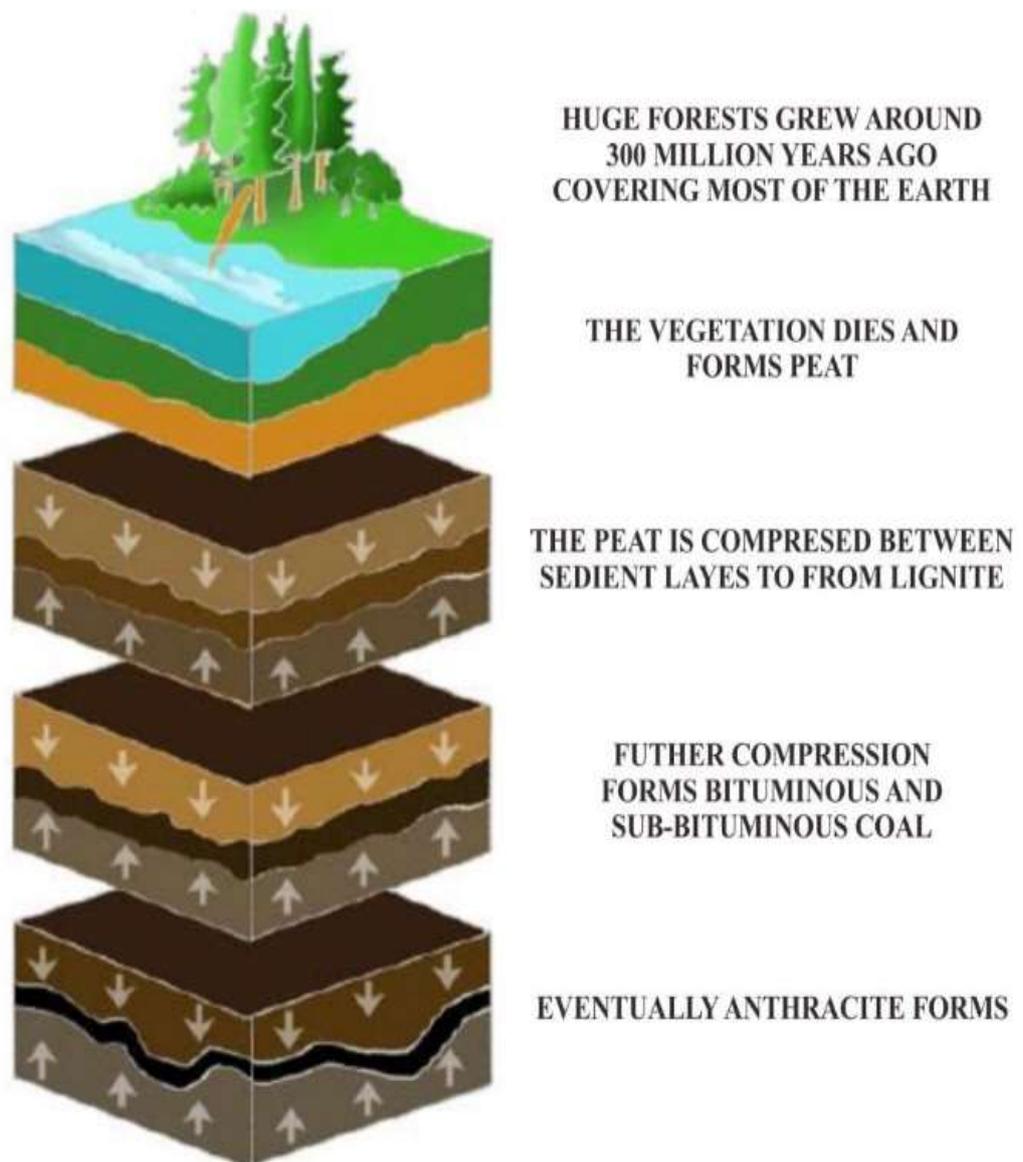
Batubara terbentuk dengan cara yang sangat kompleks dalam kurun waktu yang sangat lama (puluhan hingga ratusan juta tahun) di bawah pengaruh kondisi fisika, kimia, dan geologi. Komposisi material penyusun batubara terdiri dari tumbuhan pembentuk gambut dan aliran sedimen yang terjadi di dalam suatu cekungan tertentu tempat batubara terbentuk. Secara teoritis, batubara terbentuk dari sisa tanaman melalui proses biokimia mekanik dan thermal yang diawali dengan penghancuran tumbuhan sebagai zat pembentuk batubara. Kemudian mengendap di suatu tempat (cekungan) dan bahan yang diendapkan itu mengeras dan disebut *peat* (gambut).



**Gambar 6.** Proses Pembatubaraan (Akbari, 2014).

Proses pembentukan batubara dibagi menjadi dua tahap: pengambutan dan pembatubaraan. Proses pengambutan berkaitan dengan kesetimbangan biotektonik yang harus stabil agar dapat membentuk kondisi lingkungan yang dapat menjadi lokasi/area terbentuknya batubara. Keseimbangan lingkungan tempat proses pembentukan batubara bergantung pada seberapa cepat cekungan terendapkan dan seberapa cepat aliran sedimen mengisi lokasi tersebut. Batubara tidak akan tumbuh dengan baik jika tidak dalam kondisi cekungan yang seimbang. Kondisi tidak setimbang menyebabkan batubara tidak bisa berkembang dengan baik (Arif, 2014). Setelah gambut terbentuk, tahap selanjutnya adalah pembatubaraan. Proses ini merupakan perubahan gambut menjadi batubara seutuhnya. Pembatubaraan merupakan diagenesis gambut dengan pengaruh tekanan dan temperatur. Gambut akan berubah menjadi *brown coal* atau lebih dikenal dengan *lignit*. Semakin meningkatnya temperatur maka gambut yang terbatukan akan menjadi berbagai macam tingkatan batubara, yaitu *Lignit*, *sub-bituminus*, *bituminus* dan *antrasit*.

Tingkatan dilihat dari kandungan nilai karbon didalam batubara. Proses pematangan batubara sangat dipengaruhi oleh kondisi temperatur, tekanan, dan umur batubara. Namun pematangan batubara juga dapat berjalan dengan sangat cepat apabila terjadi perubahan tekanan dan temperatur yang signifikan, contohnya terdapat intrusi magmatik. Pada proses penggabutan dan pematubaraan, umumnya faktor yang memengaruhi di dalamnya yaitu evolusi tumbuhan, perubahan iklim, geografi lokasi pengendapan, tekanan, dan waktu (Arif, 2014).



**Gambar 7.** Proses Pembentukan Batubara (Cook, 1982).

### 3.1.3 Klasifikasi Batubara

Terdapat 5 klasifikasi peringkat batubara, mulai dari yang terendah ke yang tertinggi yaitu *peat* (gambut), *lignite*, *sub-bituminous coal*, *bituminous coal*, dan *antrachite*. Penggolongan tersebut menggunakan penekanan pada kandungan relatif antara kandungan karbon dan air di dalam batubara (PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. 2007).

- a. Gambut (*peat*) merupakan sisa tumbuhan yang telah mengendap dan mengalami perubahan secara biokimia, diuraikan oleh bakteri-bakteri anaerob dan memiliki kandungan air paling banyak serta kandungan karbon yang belum terbentuk jika dibandingkan dengan peringkat batubara lainnya.
- b. *Lignite (brown coal)* merupakan batubara yang ditandai dengan warnanya yang hitam, sangat rapuh, dan memiliki nilai karbon yang rendah, serta banyak mengandung abu dan sulfur.
- c. Batubara *bituminous* dan *sub-bituminous* memiliki ciri fisik batuan berwarna hitam mengkilap, tidak cukup kompak, memiliki nilai kandungan karbon yang relatif tinggi, kandungan air sedikit, nilai kalor yang tinggi, memiliki kandungan abu sedikit, dan kandungan sulfur yang sedikit.
- d. *Antrachite* adalah batubara yang memiliki warna hitam, sangat mengkilap, memiliki kekompakan yang baik, kandungan nilai karbon yang sangat tinggi, kandungan airnya sangat rendah, kandungan abu sangat sedikit, dan kandungan sulfur yang sangat sedikit.

Tidak hanya berdasarkan nilai karbonnya, batubara juga dikalsifikasikan berdasarkan nilai kalor yang terkandung dalam batubara. Berdasarkan nilai kalornya batubara dibedakan menjadi: tingkat tinggi (*high rank*) meliputi meta antrasit, antrasit, dan semi antrasit, kemudian batubara tingkat menengah (*moderate rank*) meliputi *low volatile bituminous coal* dan *high volatile coal*,

dan batubara tingkat rendah (*low rank*) meliputi sub *bituminous coal* dan *lignite*.

**Tabel 1.** Sistem klasifikasi batu bara berdasarkan rank menurut ASTM (American Society for Testing and Material, 1981)

Class	Group		Fixed Carbon	Volatile Matter	Heating Values
	Name	Symbol	Dry (%)	Dry (%)	Drybasis (kkal/kg)
Anthracite	<i>Meta-anthracite</i>	Ma	>98	>2	7740
	<i>Anthracite</i>	An	92-98	2.0-8.0	8000
	<i>Semi-anthracite</i>	Sa	86-92	8.0-15	8300
Bituminous	<i>Low-volatile</i>	Lvb	78-86	14-22	8741
	<i>Medium Volatile</i>	mvb	69-78	22-31	8640
	<i>High-volatile A</i>	hvAb	<69	>31	8160
	<i>High-volatile B</i>	hvBb	57	57	6750-8160
	<i>High-volatile C</i>	hvCb	54	54	7410-8375
					6765-7410
Subbituminous	<i>Subbituminous A</i>	subA	55	55	6880-7540
	<i>Subbituminous B</i>	subB	56	56	6540-7230
	<i>Subbituminous C</i>	subC	53	53	5990-6360
Lignite	<i>lignit A</i>	ligA	52	52	4830-6360
	<i>lignit B</i>	ligB	52	52	<5250

Batubara juga diklasifikasikan oleh ASTM yang membagi batubara dengan kelas dan grup yang didasarkan pada nilai *fixed carbon*, *volatile matter*, *calorie value*, dan *agglomerating character*. Dalam menentukan kualitas batubara, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dan dibedakan menjadi analisis proksimat dan analisis ultimat. Analisis ultimat terdiri dari perhitungan jumlah senyawa organik seperti kadar karbon, hidrogen, nitrogen, belerang, dan oksigen. ASTM mengklasifikasikan batubara berdasarkan tingkat pembatuannya, dengan yang tertinggi adalah *Anthracite*, *Bituminous*, *Sub-bituminous* dan *Lignite*. Semakin tinggi kualitas batubara maka batubara tersebut memiliki kandungan karbon tetap yang banyak, dan kandungan volatil serta kelembaban yang sedikit. Sebaliknya, batubara peringkat rendah seperti lignit dan sub-bituminus

memiliki karbon tetap yang sedikit dan kandungan volatilitas yang lebih rendah, dengan kelembaban yang tinggi. Dengan kata lain, semakin tinggi kualitas arang, semakin banyak energi yang dihasilkan, semakin kokoh bentuknya, dan semakin gelap warnanya. Analisis proksimat merupakan analisis yang meliputi *moisture content*, *volatile matter*, *ash content* dan *fixed carbon* dari sampel batubara (Yadav and Yadav, 2017).

Analisis proksimat batubara adalah metode paling sederhana dan paling umum yang digunakan untuk mengklasifikasikan batubara. Analisis ini juga banyak digunakan konsumen untuk memilih grade batubara sesuai dengan kebutuhannya sebelum membeli batubara (Sepfitrah, 2016). Analisis proksimat antara lain yaitu sebagai berikut:

a. TM (*Total Moisture*)

TM terdiri dari dua jenis, yaitu kandungan air bebas (*free moisture*) dan kandungan air bawaan (*inherent moisture*). *Free moisture* merupakan air yang hanya menempel di permukaan atau mengisi celah-celah batubara dan dapat dihilangkan dengan diangin-anginkan pada suhu kamar. Sementara *Inherent moisture* adalah air yang terikat dalam pori internal batubara dan terkait dengan proses pembatubaraan.

b. VM (*Volatile Matter*)

*Volatile Matter* adalah kandungan bahan organik maupun anorganik dalam batubara yang habis saat proses pemanasan pada suhu dan jangka waktu tertentu seperti hidrogen, karbondioksida, dan metana. Kandungan *volatile matter* dapat dihilangkan dengan pemanasan pada suhu 950° C selama 7 menit pada keadaan vakum.

c. Kadar Abu (*Ash*)

Abu batubara adalah sisa batubara yang terbakar sempurna. Kandungan abu dalam batubara adalah kandungan senyawa anorganik yang dijumpai saat proses pembentukan maupun saat proses penambangan. Kadar abu diukur secara bertahap dengan cara dibakar. Proses ini melalui beberapa tahapan, tahap pertama batubara dibakar selama 60

menit pada suhu 450° hingga 500° C. Tahap kedua batubara kembali dibakar selama 120 menit dengan suhu 700° hingga 750° C.

d. FC (*Fixed Carbon*)

FC adalah nilai banyaknya karbon yang tersisa setelah *total moisture*, *ash* dan *volatile matter* dipisahkan dari batubara sehingga dapat dikatakan bahwa *fixed carbon* merupakan sisa penguraian komponen organik batubara dengan bahan-bahan lainnya yang sebelumnya bergabung secara kimiawi dalam tubuh batubara.

e. *Ash Content* (kandungan abu)

*Ash* adalah kandungan abu hasil sisa pembakaran batubara. Abu ini adalah akumulasi dari bahan pembentuk batubara yang tidak habis terbakar. Serta dipengaruhi oleh *Ash Fusion* atau tingkat leleh batubara yang juga mempengaruhi hasil sisa abu yang dijumpai pada saat pembakaran batubara.

f. *Sulfur* yang dapat dibedakan menjadi sulfur anorganik (berbentuk mineral pirit, markasit, atau sulfat) dan sulfur organik (yang terbentuk selama proses pematubaraan) (Sukandarrumidi, 2018).

Dalam penentuan kualitas batubara data proksimat dibandingkan dengan nilai densitas batubara menggunakan pendekatan eksponensial. Fungsi eksponensial memiliki bentuk umum berupa:

$$f(x) = a^x$$

Dimana:

a: konstanta

x: variabel

Nilai harus lebih besar dari nol dan tidak boleh sama dengan satu. Karena basis fungsi eksponensial harus positif agar hasil yang didapatkan juga berupa bilangan real. Selain mendapatkan nilai a didapatkan juga nilai  $r^2$  (*R square*) yang merupakan suatu nilai yang memperlihatkan seberapa besar variabel independen (eksogen) mempengaruhi variabel dependen (endogen). *R square* disebut juga sebagai koefisien determinasi yang

menjelaskan seberapa jauh data dependen dapat dijelaskan oleh data independen. *R square* bernilai antar 0-1 dengan ketentuan semakin mendekati angka satu berarti semakin baik (Ghozali, 2016). *r* koefisien korelasi dapat dihitung seperti di bawah ini:

$$\frac{\sqrt{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Dimana:

*r*: Koefisien korelasi

*n*: Angka dalam dataset yang diberikan

*x*: Variabel pertama dalam konteks

*y*: Variabel kedua

Jika *r square* bernilai 0.6, berarti 60% sebaran variabel dependen dapat dijelaskan oleh variabel independen. Sisanya 40% tidak dapat dijelaskan oleh variabel independen atau dapat dijelaskan oleh variabel diluar variabel independen (komponen error). Jika nilai *r square* kecil, artinya komponen error yang besar.

### 3.1.4 Maseral Batubara

Batubara selain tersusun atas kandungan bahan organik, batubara juga tersusun atas bahan anorganik yang menjadi bagian dari batubara, bahan anorganik itu disebut maseral batubara. Maseral dibedakan menjadi tiga grup yaitu vitrinit, liptinit, dan inertinit (Stach and Murchison, 1982). Vitrinit adalah maseral yang tersusun atas selulosa dan lignin yang mengandung serat kayu seperti akar, daun dan batang. Liptinit adalah maseral yang terbentuk dari residu tanaman yang lebih rendah seperti alga, spora, epidermis, getah tanaman dan resin. Inertinit sendiri merupakan maseral dan terbentuk dari sisa-sisa tanaman yang telah dipanggang dan maseral lainnya yang teroksidasi.

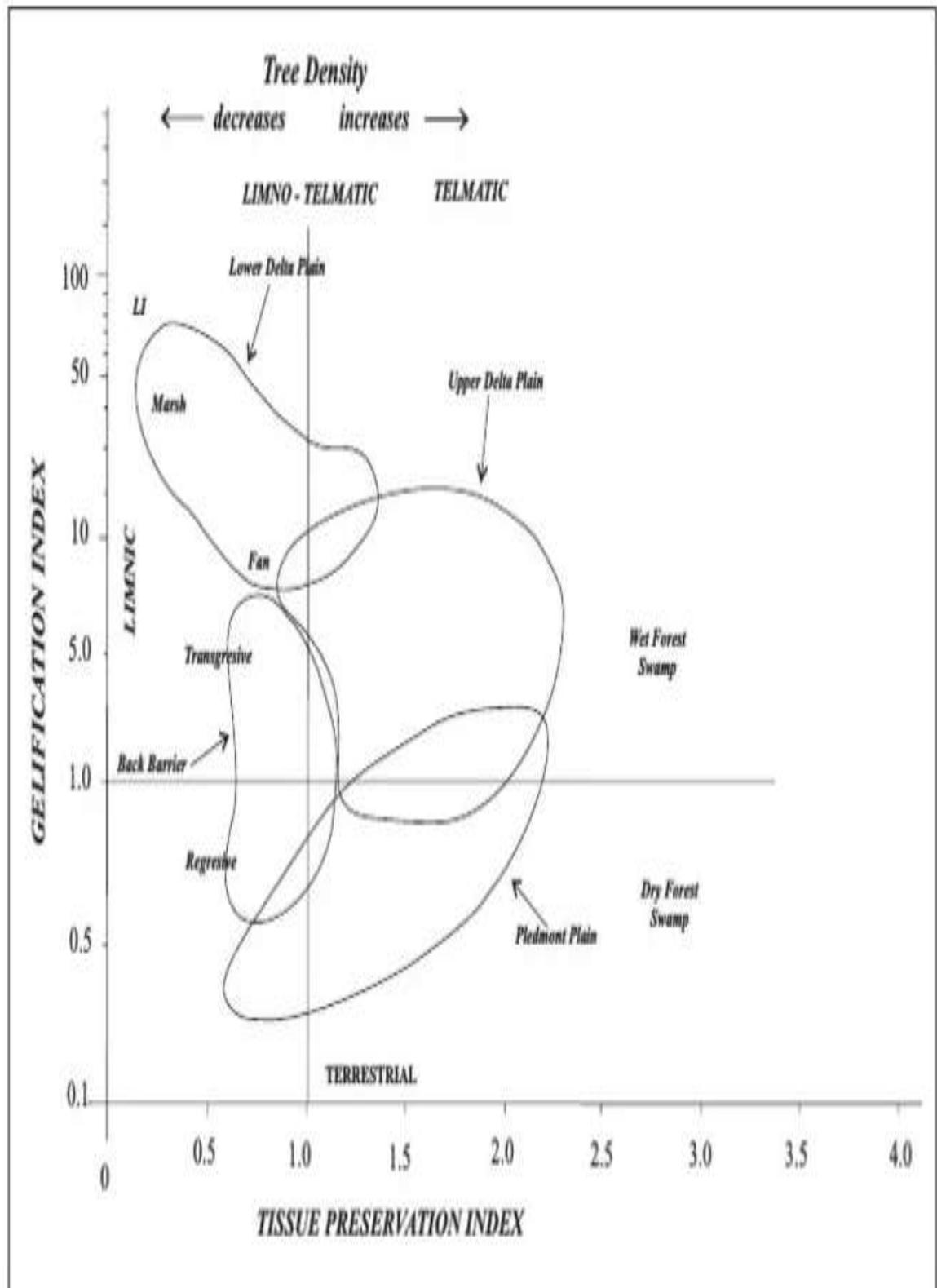
**Tabel 2.** Klasifikasi maseral batubara (International Committee for Coal Petrology, 1971).

<i>Grup Maseral</i>	<i>Subgrup Maseral</i>	<i>Maseral</i>	
<i>Huminit (Vitrinit)</i>	<i>Humotelinit (Telovitrinit)</i>	<i>Tekstinit Ulminit</i>	
	<i>Humodetrinit (Detrovitrinit)</i>	<i>Atrinit Demsinit</i>	
	<i>Humokolinit (Gelovitrinit)</i>	<i>Gelinit Korpogelinit Korpohuminit</i>	
<i>Lipninit</i>		<i>Sporinit Kutinit Resinit Suberinit Alginit Liptodetrinit Eksudetinit Flourinit</i>	
	<i>Inertinit</i>	<i>Teloinertinit</i>	<i>Fusinit Semifusinit Funginit Sekretinit</i>
		<i>Detroinertinit</i>	<i>Inertodetrinit Mikrinit</i>
		<i>Geloinertinit</i>	<i>Makrinit</i>

Unsur pembentuk batubara dapat menggambarkan ciri dari setiap lapisan batubara, terutama dalam menentukan lingkungan pengendapan. Data hasil analisis maseral digunakan untuk menentukan nilai *Tissue Preservation Index* (TPI) dan *Gelification Index* (GI). Nilai TPI dan GI kemudian dimasukkan ke dalam diagram hubungan *Tissue Preservation Index* (TPI) dan *Gelification Index* (GI) untuk mengetahui lingkungan pengendapan batubara. Data komposisi maseral dan mineral tertentu yang telah diperoleh selanjutnya diolah menggunakan rumus TPI dan GI, kemudian diplot dalam diagram TPI-GI sebagai berikut (Diessel, 1986).

$$TPI = \frac{Humotelinit + Teloinertinit}{Humodetrinit + Humokolinit + Inertodetrinit + Geloinertinit}$$

$$GI = \frac{\text{Huminit} + \text{Geloinertinit}}{\text{Inertinit (Tidak Termasuk Sakrinit dan Makrinit)}}$$



**Gambar 8.** Diagram TPI-GI (Diessel, 1986).

## 3.2 Well Logging

### 3.2.1 Pengertian Metode Well Logging

*Well logging* adalah suatu metode yang digunakan untuk memperoleh data bawah permukaan dengan menggunakan alat ukur yang dimasukkan kedalam lubang bor untuk mengevaluasi formasi dan identifikasi ciri-ciri batuan di bawah permukaan (Schlumberger Limited, 1989). *Well logging* merupakan suatu teknik pengukuran yang menggunakan prinsip-prinsip fisika seperti resistivitas, radioaktif, gelombang akustik, konduktivitas dan beberapa prinsip fisika lainnya.

Eksplorasi batubara membutuhkan pengukuran yang akurat dan tepat untuk menentukan sumber daya dan cadangan batubara. *Well logging* adalah metode yang memberikan pengukuran fungsi ketebalan yang sangat akurat, terutama dalam eksplorasi batubara. *Well logging* pertama kali diciptakan oleh Conrad Schlumberger dan Henri Doll dengan nama “*Carrotage Électrique (Electrical Coring)*” yang merupakan kebalikan dari *mechanical coring* (Rider, 1989). **Tabel 2** menunjukkan perbedaan dari jenis-jenis log berdasarkan parameter yang diukur dalam sebuah formasi.

**Tabel 3.** Klasifikasi Pengukuran Sumur Geofisika Wireline (Rider, 1989).

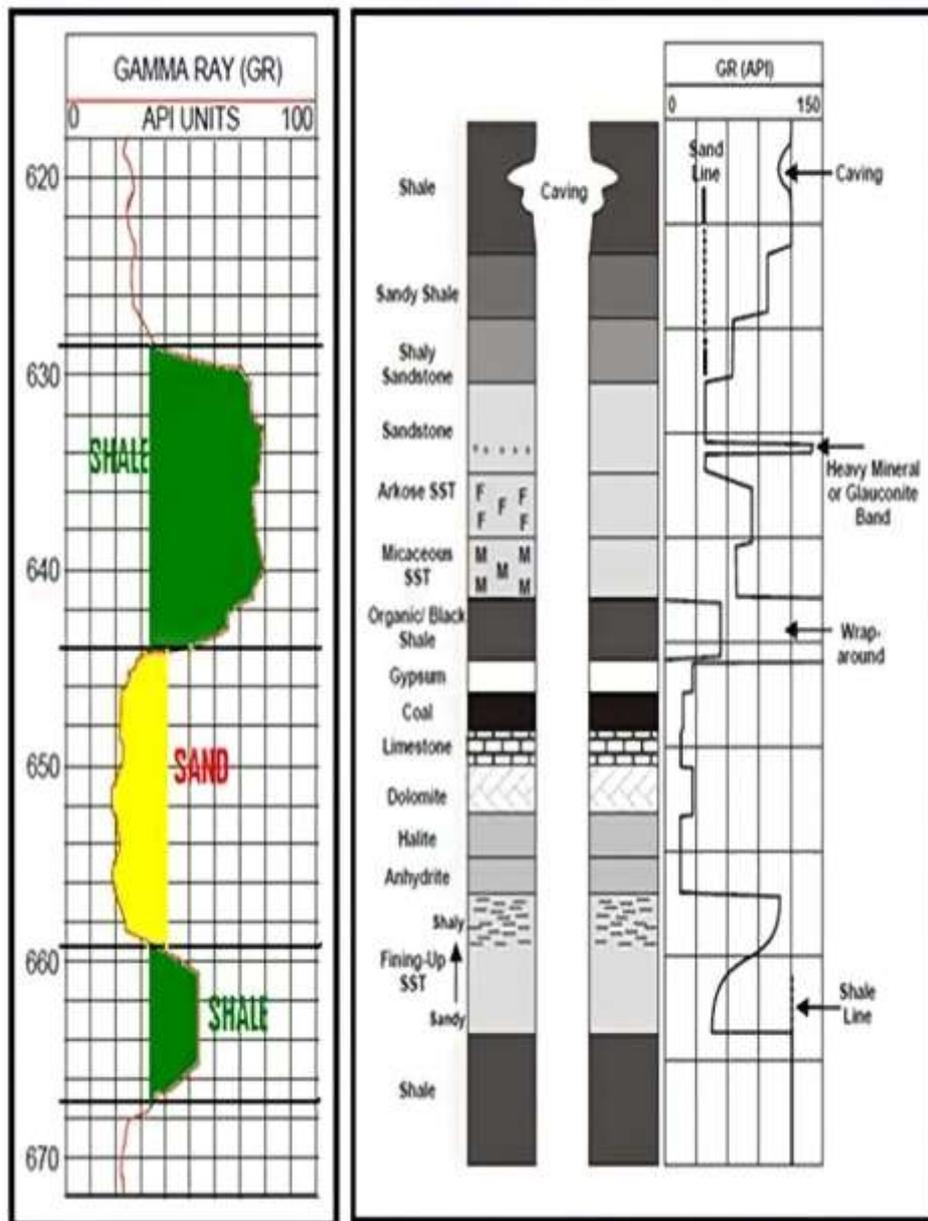
	<i>Log Type</i>	<i>Measured Parameter Formation</i>
<i>Mechanical measurements</i>	<i>Caliper</i>	<i>Hole Diameter</i>
<i>Spontaneous measurement</i>	<i>Temperature</i>	<i>Borehole temperature</i>
	<i>SP (Self Potential)</i>	<i>Spontaneous electrical currents</i>
	<i>Gamma Ray</i>	<i>Natural radioactivity</i>
<i>Induced measurements</i>	<i>Resistivity</i>	<i>Resistance to electrical current</i>
	<i>Induction</i>	<i>Conductivity of electrical current</i>
	<i>Sonic</i>	<i>Velocity of sound propagation</i>
	<i>Density</i>	<i>Reaction to Gamma Ray bombardment</i>
	<i>Photoelectric</i>	<i>Reaction to Gamma Ray bombardment</i>
	<i>Neutron</i>	<i>Reaction to neutron bombardment</i>

Metode *Well logging* adalah metode yang paling tepat yang digunakan dalam mengukur ketebalan lapisan batubara, hal tersebut dikarenakan metode *well logging* menghasilkan informasi data yang diperlukan untuk mengetahui secara kuantitas banyaknya batubara dalam setiap lapisan di dalam situasi dan kondisi sesungguhnya. Dimana hasil perhitungan tersebut akan menjadi gambaran pasti dalam pengukuran besar estimasi sumberdaya dan cadangan batubara. Sehingga penggunaan metode *well logging* dalam eksplorasi batubara dipergunakan untuk mengetahui ketebalan, estimasi sumberdaya dan cadangan. Dalam eksplorasi pertambangan, *logging* digunakan untuk mendeteksi sebaran mineral dan batubara. Kombinasi log yang biasa digunakan dalam suatu eksplorasi batubara adalah *log gamma ray* dan *log density* dengan beberapa tambahan log lainnya seperti *log caliper* dan *log resistivity* (Anshari, 2016).

### **3.2.2 Log Gamma Ray**

*Log gamma ray* merupakan salah satu hasil dari proses Pengambilan data *logging* yang berasal dari rekaman radioaktif batuan dalam bumi. Radioaktif berasal dari unsur-unsur radioaktif dalam batuan, seperti uranium (U), thorium (T), dan kalium (K), yang memancarkan sinar gamma dalam bentuk pulsa energi berpancaran tinggi. Sinar gamma ini menembus batuan dan dibaca oleh sensor berupa pendeteksi sintilasi. Jumlah sinar gamma yang dihasilkan dalam catatan tersebut merupakan penjumlahan dari seluruh radiasi yang dihasilkan oleh unsur radioaktif dalam batuan.

Log sinar gamma sangat efektif dalam menentukan zona permeabilitas batuan, karena banyak unsur radioaktif terkandung dalam batu serpih yang bersifat *impermeable* dan sedikit di dalam batuan yang bersifat *permeable*. Formasi batuan yang *impermeable* memiliki bentuk kurva yang belok ke kanan, sementara formasi batuan *permeable* kurva sinar gamma membelok ke kiri. Oleh karena itu, metode ini berguna untuk menampilkan hasil pengukuran yang mudah dianalisis dan diidentifikasi.



**Gambar 9.** Analisa log gamma ray efek perbedaan litologi (Alfatih, 2017).

Banyak unsur radioaktif dalam batuan sedimen teridentifikasi dan terakumulasi pada batu serpih dan lempung, sehingga ada tidaknya mineral lempung dapat dengan mudah dideteksi dengan intensitas radioaktif. Batuan dengan kandungan lempungan yang tinggi akan terlihat dengan konsentrasi radioaktif yang tinggi. Sehingga terlihat pada kurva log nilai *gamma ray*-nya tinggi dan ketika data tersebut dimuat pada *log plot* defleksi kurva cenderung ke kanan (Anshari, 2016).

**Tabel 4.** Respon Radioaktif dari Litologi Lapisan Batuan (Haryono, 2010).

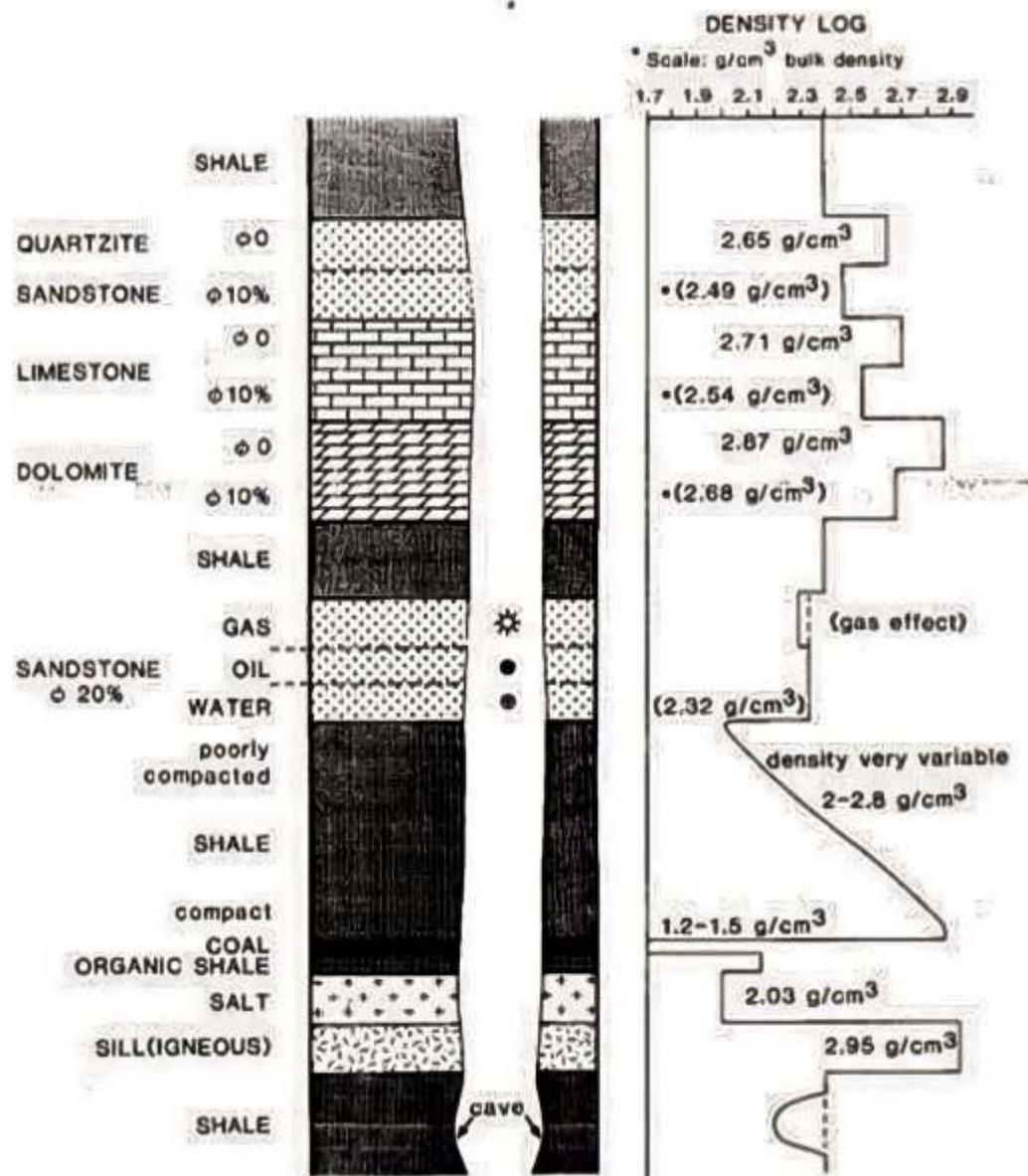
<b>Radioaktif Sangat Rendah (0-32.5 API)</b>	<b>Radioaktif Rendah (32.5-60 API)</b>	<b>Radioaktif Menengah (60-100 API)</b>	<b>Radioaktif Sangat Tinggi (&gt;100 API)</b>
Anhidrit	Batu Pasir	Arkose	Batuan Serpih
Salt	Batu Gamping	Batuan Granit	Abu Vulkanik
Batubara	Dolomit	Lempungan Pasiran Gamping	Bentonit

Pada eksplorasi batubara *log gamma ray* dimanfaatkan untuk menginterpretasi jenis litologi batuan dan menentukan ketebalan lapisan dengan bantuan *log density*. Untuk menentukan data litologi data log yang telah didapatkan dibandingkan dengan hasil data deskripsi dan *core*. Satuan nilai log GR dinyatakan oleh satuan API (American Petroleum Institute) dengan besar kisaran nilai antara 0 sampai dengan 150 API dan dapat ditingkatkan sampai dengan nilai 0 – 200 API untuk jenis *organic rich shale* (Anshari, 2016).

### 3.2.3 Log Density

*Log density* adalah kurva yang memberikan informasi tentang nilai kerapatan atau densitas batuan yang diperoleh dari penggunaan sumber sinar radioaktif pada batuan. Pengukuran densitas batuan didasarkan pada respon batuan di sekitar lubang sumur terhadap sinar gamma dari sumber radiasi. Sinar gamma yang bergerak meninggalkan sumber akan dipancarkan oleh orbital elektron dari atom material yang akan diukur nilai densitasnya.

Pada komponen lapisan yang padat dan rapat, signal tersebut akan dipancarkan lebih banyak terserap karena energinya rendah. Sehingga komponen lapisan dengan nilai densitas yang rendah akan memiliki elektron yang sedikit, sedangkan material dengan densitas tinggi akan memiliki elektron yang lebih banyak.



**Gambar 10.** Respon log density terhadap batuan (Rider, 1989)

Kurva log densitas pada gambar 10 dinyatakan dengan satuan  $\text{gr/cc}$ . Hal ini dikarenakan energi yang diterima deflektor dipengaruhi oleh matriks batuan dan besarnya energi pada pori-pori batuan. Log densitas juga dapat dinyatakan dalam satuan *counts per second* (CPS), tetapi karena nilai CPS berbanding terbalik dengan nilai  $\text{gr/cc}$ , satuan CPS perlu diubah menjadi  $\text{gr/cc}$  untuk menyederhanakan perhitungan. Jika nilai densitas pada CPS tinggi maka nilai densitas dalam  $\text{gr/cc}$  rendah, sehingga densitas batuan rendah (Anshari, 2016).

**Tabel 5.** Nilai Densitas Batuan (Telford, 1991)

<b>Material</b>	<b>Density (gm/cm<sup>3</sup>)</b>
<i>Air</i>	~0
<i>Water</i>	1
<i>Sediments</i>	1.7-2.3
<i>Sandstone</i>	2.0-2.6
<i>Shale</i>	2.0-2.7
<i>Limestone</i>	2.5-2.8
<i>Granite</i>	2.5-2.8
<i>Basalts</i>	2.7-3.1
<i>Metamorphic Rocks</i>	2.6-3.0

### 3.2.4 Interpretasi Well Logging

Interpretasi log dilakukan dengan menggabungkan beberapa nilai data log seperti *gamma ray log*, *caliper*, *density*, dan *resistivity*. Pada proses ini, data ditandai dengan garis batas berupa garis batubara pada *log density* dan *shale baseline* pada *log gamma ray*. Berdasarkan *coal line* terlihat bahwa batuan yang memiliki nilai densitas paling rendah dapat diartikan sebagai batubara. Dari garis *shale base line* terlihat bahwa batuan dengan nilai densitas lebih tinggi dari garis ini dapat diartikan sebagai batulempung. Oleh karena itu dapat diartikan bahwa jika suatu lapisan memiliki nilai *gamma ray* dan densitas yang rendah maka lapisan tersebut teridentifikasi sebagai lapisan batubara (Anshari, 2016).

Interpretasi informasi log dilaksanakan untuk memastikan litologi pada tiap kedalaman dibawah permukaan. Karakteristik beberapa batuan berdasarkan *log gamma ray* dan *log density* adalah sebagai berikut:

- a. Batubara memiliki nilai *gamma ray* rendah dan nilai densitas rendah.
- b. Batu lempung memiliki nilai *gamma ray* dan nilai densitas menengah.
- c. Batupasir memiliki nilai *gamma ray* agak rendah dan densitas menengah.
- d. Batu Konglomerat memiliki nilai *gamma ray* dan densitas menengah.

- e. Batu gamping memiliki nilai *gamma ray* rendah dan nilai densitas menengah sampai tinggi.
- f. Batuan vulkanik memiliki nilai *gamma ray* rendah dan nilai densitas tinggi.

### 3.3 Korelasi Lapisan Batuan

Korelasi diartikan sebagai suatu proses yang dilakukan dengan menghubungkan titik-titik atau satuan-satuan stratigrafi dengan mempertimbangkan kesamaan waktu yang dimiliki titik atau satuan tersebut.

Korelasi batuan dibagi menjadi tiga jenis prinsip korelasi yaitu:

- a. *Lithokorelasi* yaitu proses korelasi dengan menghubungkan litologi dan posisi stratigrafi yang sama dari 2 atau lebih unit.
- b. *Biokorelasi* yaitu korelasi secara cepat dengan menyamakan posisi biostratigrafi anat unit.
- c. *Kronokorelasi* yaitu korelasi yang dilakukan dengan menyesuaikan umur dan posisi kronostatigrafi unit batuan.

Korelasi dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Korelasi langsung adalah korelasi yang tidak dapat disangkal secara fisik dan tegas. Pelacakan secara fisik dari kemenerusan lapisan dengan cara yang tepat untuk menunjukkan korespondensi dari sebuah unit dalam suatu lokal dengan unit itu di lokal lain. Sedangkan, Korelasi tidak langsung memiliki kemungkinan ak terbantahkan dengan metode numerik seperti contoh perbandingan secara visual dari instrumen *well logs*, rekaman pembalikan polaritas, atau kumpulan fosil. Meskipun demikian, seperti perbandingan mempunyai perbedaan derajat reabilitas dan tidak pernah secara keseluruhan tegas (tidak meragukan).

### 3.4 Lingkungan Pengendapan Batubara

Daerah atau lingkungan pengendapan batubara menggambarkan hubungan antara genesa batubara dengan batuan sekitarnya, baik secara vertikal maupun lateral disuaru daerah atau lingkungan pengendapan yang berupa cekungan pengendapan yang memungkinkan terjadinya suatu proses dalam kurun waktu

tertentu. Lingkungan pengendapan batubara berhubungan dengan proses *sediment supply*. Proses tersebut merupakan sebuah peristiwa atau proses pengendapan yang terjadi pada beberapa komponen abiotik yang ada di lingkungan seperti halnya tanah dan juga pasir. Proses pengendapan atau sedimentasi ini bisa disebabkan oleh beberapa hal seperti aliran air ataupun hembusan angin yang dapat memindahkan partikel- partikel kecil dari tanah atau pasir ke tempat lain hingga mengalami pengendapan dan membentuk sesuatu yang baru.

Sedimentasi atau pengendapan merupakan proses alam. Proses alam ini terjadi dalam waktu yang berulang- ulang. Beberapa faktor yang menyebabkan atau mendorong terjadinya sedimentasi antara lain sebagai berikut:

Adanya material, seperti pasir, tanah atau debu yang akan menjadi bahan yang mengendap

- a. Terdapat lingkungan pengendapan yang cocok baik di darat, laut dan transisi.
- b. Terjadinya pengangkutan sumber material atau transportasi yang dilakukan oleh air, angin dan juga es.
- c. Berlangsungnya pengendapan yang terjadi karena perbedaan arus dan juga gaya.
- d. Terjadinya replacement atau penggantian dan juga rekristalisasi atau perubahan material.
- e. Diagenesis yakni perubahan yang terjadi saat pengendapan berlangsung baik secara kimia maupun secara fisika.
- f. Kompaksi, merupakan akibat dari adanya gaya yang berat dari material sedimen yang memaksa volume lapisan sedimennya menjadi berkurang.
- g. Lithifikasi, merupakan akibat dari adanya kompaksi yang terus menerus sehingga lama kelamaan sedimen akan mengeras.

Transport sedimen merupakan fungsi dari energi hilang dari aliran dalam

proporsi kemiringan energi (*energy slope* =  $(K_s/K_r)S$ ). Secara matematis proses transformasi sedimen menurut Mayer Peter Muller (1948) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$r \left( \frac{K_s}{K_r} \right)^{3/2} RS = 0.0407(\gamma_s - \gamma)d + 0.25\rho^{t/3}q_b^{2/3}$$

$$K_r = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

$$S_r = \frac{V^2}{K_r^2 R^{4/3}}$$

$$\left( \frac{K_s}{K_r} \right)^{3/2} = \frac{S_r}{S}$$

Dimana:

K: diameter butiran

d: tinggi kekasaran

S: kemiringan energi aliran

R: jari-jari basah

$\gamma_s$ : berat jenis sedimen

$\gamma$ : berat jenis

q: debit sedimen

V: kecepatan rata-rata

Untuk mengetahui Kecepatan sedimentasi adalah jumlah sedimen yang mengendap di dasar perairan selama periode waktu tertentu biasanya dinyatakan dalam satuan tebal pengendapan per waktu. Dengan rumus matematis sebagai berikut:

$$V = (d_p^2(c - \rho_m)g)/(18\mu)$$

Dimana:

V: laju sedimentasi (m/s)

$d_p$ : diameter partikel (m)

$d_p$ : massa jenis partikel ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_m$ : massa jenis medium ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$ : percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

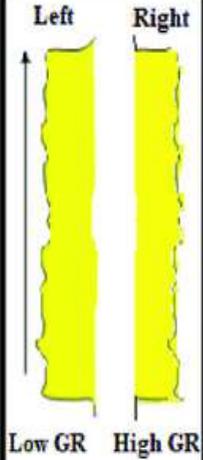
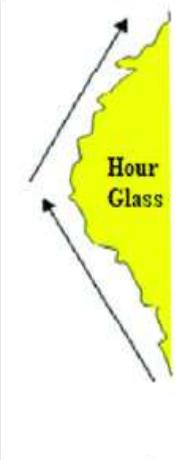
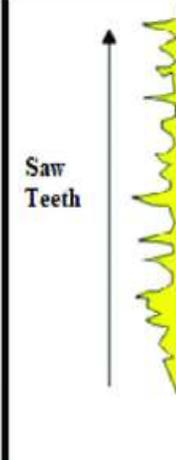
$\mu$ : viskositas medium ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ )



**Gambar 11.** Lingkungan pengendapan daerah *Delta* yang didominasi daerah peraiaran (Horne, 1978).

### 3.4.1 Analisis Elektrofases

Bentuk kurva *well-log* dapat digunakan sebagai alat dasar untuk menafsirkan fasis pengendapan karena bentuk log berhubungan langsung dengan ukuran butir sukseksi batuan. Lima bentuk kurva log pada **Gambar 12** dapat mengidentifikasi lingkungan pengendapan dan juga mempertimbangkan studi inti yang berkaitan dengan log sebagai alat penting interpretasi fasis di bawah permukaan (Kendall and Pomar, 2005). Analisis Elektrofases merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui lingkungan pengendapan. Analisis Elektrofases menggunakan Data *Geophysical Logging* berupa kurva *log gamma ray* (GR) (Selley, 1978). *Log gamma ray* mencerminkan variabilitas batuan sedimen yang diamati berdasarkan ukuran besar butir batuan yang berhubungan dengan energi pengendapannya (Levy and Heiden, 1991).

GR Log Pattern	Cylindrical/ Boxcar	Funnel	Bell	Symmetrical	Serrated/Irregular
GR Trend					
Sediment Supply	Aggrading	Prograding	Retrograding	Prograding & Retrograding	Aggrading
Depositional Environment (Common)	Fluvial channels, Carbonate shelf, Reef, Submarine canyon fill, Prograding delta distributaries, Aeolian dunes, evaporite fill of basin	Crevasse splay, River, Mouth bar, Delta front, shoreface, Submarine fan lobe	Fluvial Point bar, Tidal point bar, deep tidal channel fill, Deltaic channels, proximal deep sea settings, Tidal flats	Reworked offshore bar, regressive to transgressive shore face delta,	Fluvial flood plain, Storm dominated shelf, mixed Tidal flat, Debris flow, Canyon fill, Deep marine-slope

**Gambar 12.** Pola Log Elektofasies (Kendall and Pomar, 2005).

Interpretasi data log geofisika dilakukan untuk menentukan susunan litologi bawah permukaan dengan menggunakan deskripsi per-kedalaman lapisan karena setiap batuan memiliki respon yang unik pada kurva log sehingga jenis litologinya dapat diidentifikasi. Dalam identifikasi litologi batuan dengan *log gamma ray* dan *log density* dalam menentukan karakteristiknya biasanya adalah batubara yang memiliki nilai *gamma ray* rendah dan densitas rendah, batu lempung memiliki nilai *gamma ray* menengah dan densitas menengah, batu pasir memiliki nilai *gamma ray* cenderung rendah dan densitas menengah, batu konglomerat memiliki nilai

*gamma ray* menengah dan densitas menengah, batugamping memiliki nilai *gamma ray* rendah dan densitas menengah sampai tinggi, sedangkan batuan vulkanik memiliki nilai *gamma ray* rendah dengan densitas tinggi. Identifikasi lingkungan pengendapan dapat dilakukan dengan melihat bentuk kurva log GR (Walker and James, 1992). Bentuk khas kurva *log gamma ray* dapat kita lihat pada gambar **Gambar 12**, dengan penjelasan bahwa:

- a. Bentuk silinder (*silindrik*) Berbentuk silinder, menggambarkan sedimen yang tebal dan homogen yang dibatasi oleh kontak tajam antara pengisian alur (*channel-fills*). *Silindrik* menggambarkan bentuk kurva dasar, yang berarti homogenitas dan karakteristik ideal. Bentuk kurva silindris dikaitkan dengan endapan sedimen sungai menganyam (*fluvial interlaced*), *estuarine*, pengisian alur pada submarine, *eolian dune*, dan *tidal sand*.
- b. Bentuk corong (*funnel shape*) menggambarkan proses pengkasaran regresif ke atas, yang menunjukkan bentuk kebalikan dari bentuk lonceng (*Bell*). *Funnel shape* dihasilkan dari proses regresi dan progradasi seperti *sub marine fan lobes*, *regressive shallow marine bar*, *barrier islands* atau karbonat terumbu depan yang berprogradasi di atas *mudstone*, *delta front* (*distributary mounth bar*), *crevasse splay*, *beach* dan *barrier beach* (*barrier island*), *strandplain*, *shoreface*, *prograding* (*shallow marine*), *shelf sands* dan *submarine fan lobes*.
- c. *Bell Shape*, menggambarkan proses penghalusan ke arah atas, yang dibentuk oleh pengisian alur (*channel fills*). Bentuk kurva *bell* terbentuk oleh pengisian endapan *point bars*, *tidal deposits*, *transgressive shelf sands* (*dominated tidal*), *sub marine channel* dan endapan turbidit.
- d. *Simetrik* (simetris) adalah gabungan dari bentuk kurva *bell-funnel*. Gabungan tersebut membentuk *coarsening-finning upward* yang bisa disebabkan oleh proses bioturbasi.

Selain itu, bentuk kurva simetris merupakan karakteristik lingkungan geologi dari *shelf sand bodies*, *submarine fans* dan *sandy offshore bars*.

- e. Bergerigi (*serrated*), menggambarkan bentuk dasar yang mewakili heterogenitas batuan. Bentuk bergerigi berkaitan dengan regresi *alluvial plain*, *floodplain*, *tidal sand*, *shelf* atau *back barriers*.

### 3.4.2 Analisis Litofasies

Analisis litofasies dilakukan dengan melihat hasil deskripsi ulang pada sifat fisik litologi dan perhitungan persentase komposisi sampel *cutting*, deskripsi petrografi pada sayatan tipis, dan pola respon *log gamma ray*. Analisis litofasies berhubungan langsung dengan stratigrafi daerah penelitian. Salah satu metode yang biasa dan umum digunakan untuk mendapat gambaran stratigrafi di lapangan, dan yang mudah digunakan di lapangan, adalah *measurement* dengan memakai pita ukur (meteran) dan kompas. Saat mengukur ketebalan, pastikan arah pengukuran tegak lurus dengan garis lapisan untuk menghindari koreksi yang memakan waktu (Listyono, 2016).

Penampang stratigrafi terukur (*measured stratigraphic section*) adalah penampang atau kolom yang memuat informasi tentang kondisi stratigrafi suatu jalur atau lintasan, yang telah dipilih dan telah diukur untuk mewakili daerah tempat dilakukannya pengukuran tersebut secara garis besar. Jalur yang diukur tersebut dapat dilakukan pada satu formasi batuan atau lebih. Namun, pengukuran juga dapat dilakukan hanya pada sebagian dari suatu formasi, sehingga hanya meliputi satu atau lebih satuan lithostratigrafi yang lebih kecil dari formasi, misalnya anggota atau bahkan hanya beberapa perlapisan saja. Dengan metode pengukuran ini, ketebalan lapisan yang ditentukan di lapangan merupakan ketebalan semu, sehingga harus dilakukan koreksi ketebalan terlebih dahulu. Jarak terpendek antara bidang alas (*bottom*) dan bidang atap *stope* merupakan tebal lapisan yang sebenarnya. Oleh karena itu perhitungan tebalnya yang tepat harus dilakukan dalam bidang yang tegak lurus jurus lapisan (Listyono, 2016).

### 3.5 Estimasi Cadangan Batubara

Dalam pertambangan, perhitungan cadangan merupakan hal terpenting dalam eksplorasi terutama eksplorasi batubara. Hasil perhitungan cadangan batubara diperlukan untuk mengevaluasi dan menentukan nilai ekonomi dari operasi penambangan yang diusulkan. Beberapa metode perhitungan dapat digunakan untuk menghitung estimasi cadangan, antara lain metode *triangular grouping*. Perhitungan ini dilakukan dengan menganggap bahwa setiap balok dihitung dari tiga titik bor terdekat, sehingga secara tiga dimensi balok tersebut berbentuk prisma terpotong yang sisinya sesuai dengan kedalaman ketiga titik bor tersebut (Suyono, 2010).

$$Vb = Rata - rata Tb \times Luas Area \quad (1)$$

$$Vo = Rata - rata To \times Luas Area \quad (2)$$

Keterangan:

$Vb$  : Volume batubara

$Vo$  : Volume *overburdent*

$Rata - rata Tb$  : Rata-rata nilai tebal batubara

$Rata - rata To$  : Rata-rata nilai tebal *overburdent*

$Luas Area$  : Luas arean penelitian

Setelah mengetahui nilai volume batubara dan volume *overburdent*, selanjutnya dilakukan perhitungan *stripping rasio*. Secara umum, *cut rasio* (*stripping rasio*) diartikan sebagai perbandingan antara jumlah limbah (tanah penutup) yang harus dipotong atau dibuang untuk menghasilkan satu ton target (batubara). *Stripping ratio* adalah suatu analogi antara nilai volume susunan tanah penutup (*overburdent*) dengan jumlah tonase batubara (*coal*). *Stripping ratio* ialah salah satu aspek untuk memastikan keekonomian cadangan batubara, dimana semakin besar nilai *stripping ratio* maka semakin besar *overburden* dan *interburden* yang perlu digali sehingga kurang menguntungkan, dan begitu pula sebaliknya.

*Stripping ratio* bisa digunakan untuk menunjukkan analogi antara volume/tonase *overburden* dan *interburden* dengan volume batubara pada area yang akan digali atau ditambang. Ada banyak hal yang mempengaruhi proses penentuan *stripping ratio* contohnya yaitu, kualitas, nilai kalori, faktor *rank* serta harga jual beberapa faktor tersebut menjadi sangat penting dalam perumusan nilai *stripping ratio* (Hustrulid, 2013). Rumusan umum yang sering digunakan untuk menyatakan perbandingan ini menurut.

$$\text{Stripping Ratio} = \frac{\text{Lapisan Tanah Penutup (BCM)}}{\text{Batubara (Ton)}} \quad (3)$$





*software WellCAD*. Untuk mempermudah proses ini maka digunakan data foto *coring* pengeboran untuk mendapatkan susunan stratigrafinya.

#### 4.3.2 Korelasi

Berdasarkan hasil dari pengolahan data sebelumnya yaitu stratigrafi, kordinat sumur bor, dan elevasi permukaan titik *logging*, lapisan masing-masing ketiga sumur bor dikorelasikan menjadi penampang 2D menggunakan *software coreldraw x8* sehingga didapatkan hasil berupa penampang 2D stratigrafi litologi bawah permukaan dan struktur perlapisannya.

#### 4.3.3 Analisis Elektrofasis

Bentuk kurva *well-log* dapat digunakan sebagai alat dasar untuk menafsirkan fasies pengendapan karena bentuk log berhubungan langsung dengan ukuran butir sukseksi batuan. Analisis Elektrofasis memanfaatkan data *logging* geofisika yaitu dengan melihat bentuk kurva *log gamma ray* (GR) berdasarkan satuan milik Walker dan James tahun 1992.

#### 4.3.4 Pengambilan Data *Measure Section* (MS).

Penampang stratigrafi terukur (*measured stratigraphic section*) adalah penampang atau kolom yang memberikan gambaran tentang kondisi stratigrafi suatu rute yang telah dipilih dan diukur untuk mewakili daerah tempat dilakukannya pengukuran.

Pengambilan data lapangan, dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut :

- a. Pengukuran dilakukan menggunakan metode bentang tali.
- b. Pengukuran tebal lapisan semu dilakukan dengan membentangkan meteran sepanjang lapisan batuan, dan penentuan besar *Slope* dilakukan dengan menggunakan kompas.
- c. Pengukuran nilai *Dip* dan *Strike*. Untuk menentukan ketebalan sebenarnya dilakukan koreksi ketebalan, Pengukuran dilakukan dengan *Dip* lapisan

- d. batuan berlawanan arah dengan *slope* sehingga koreksi menggunakan rumus :  $t = w \sin (d + s)$
- e. Analisis warna, struktur dan tekstur dan komposisi mineral batuan.
- f. Semua hasil pengukuran dicatat dalam buku catatan lapangan.

#### 4.3.5 Analisis *Measured Stratigraphic Section*

Hasil akhir dari tahapan ini ialah membuat kolom stratigrafi daerah penelitian menggunakan data hasil *measured section* di lapangan. Pembuatan kolom penampang stratigrafi dilakukan menggunakan *software coreldraw x8*.

#### 4.3.6 Analisis Litofasies

Analisis litofasies dilakukan dengan menganalisis kembali hasil karakterisasi sifat fisik litologi daerah penelitian dan menghitung persentase komposisi sampel *cutting*, dan pola respon *log gamma ray*. proses ini bertujuan untuk mendapatkan litologi penyusun suatu sub-lingkungan pengendapan dengan acuan model pengendapan dalam eksplorasi batubara yang dikemukakan oleh Horne pada tahun 1978.

#### 4.3.7 Analisis Kualitas Batubara

Kualitas batubara diketahui dengan analisis data kualitas batubara proksimat berupa *Total moisture, volatile matter, ash content, Total Sulfur* dan *fixed carbon* dari sampel batubara. Namun pada penelitian kali ini perhitungan kualitas batubara difokuskan pada hubungan antara kualitas tersebut dengan lingkungan pengendapan batubara.

#### 4.3.8 Analisis Maseral Batubara

Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan nilai TPI dan GI batubara yang kemudian dimasukkan kedalam diagram TPI dan GI milik Diessel tahun 1986.

#### 4.3.9 Identifikasi Lingkungan Pengendapan Batubara

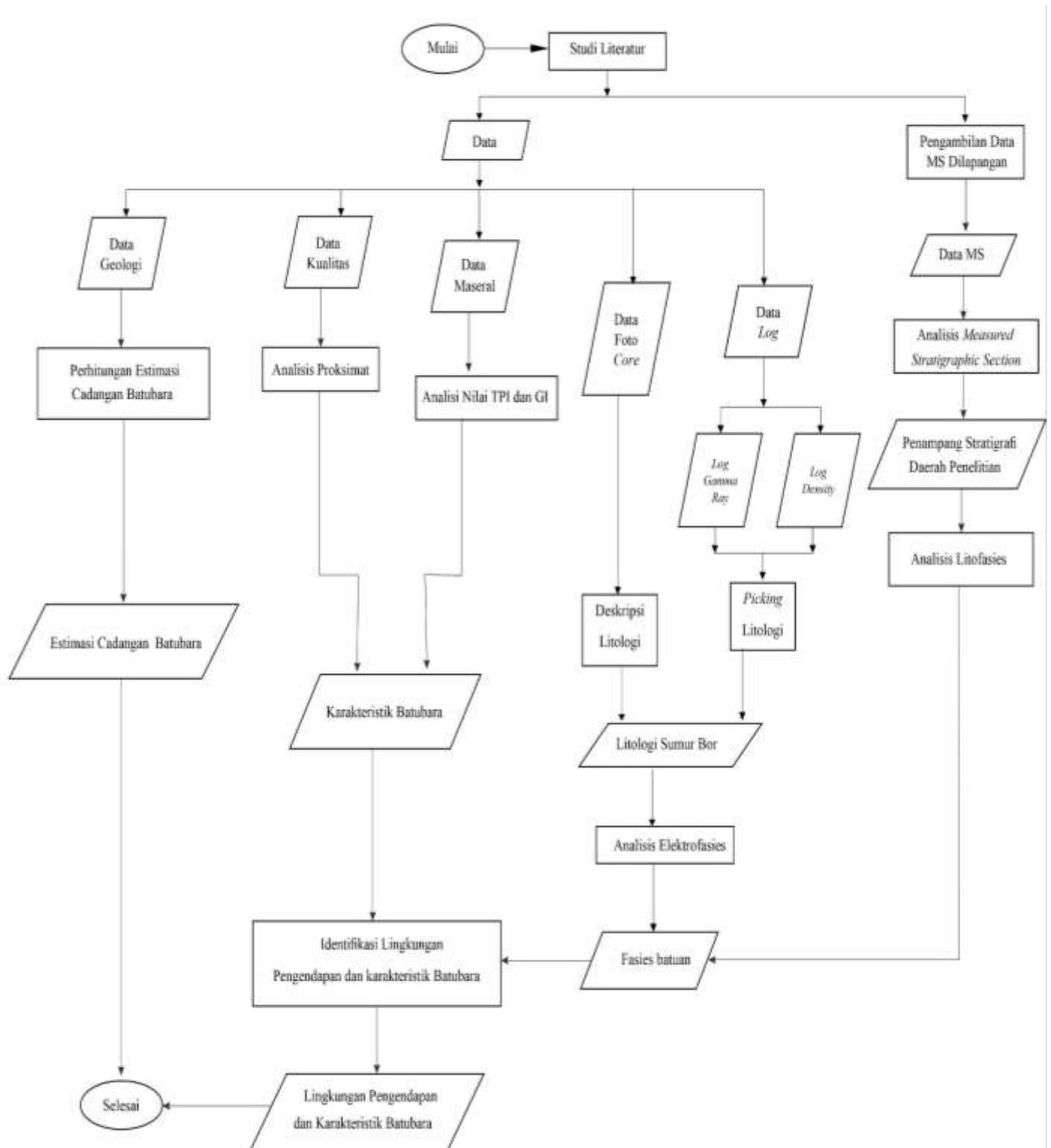
Tahapan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui dan mengidentifikasi jenis lingkungan pengendapan batubara dan batuan penutupnya pada daerah penelitian. Proses ini dilakukan dengan menggunakan data hasil analisis sub-lingkungan pengendapan berdasarkan analisis elektrofases dan analisis litofases serta dikuatkan dengan hasil analisis kualitas batubara dan analisis maseral batubara untuk menguatkan hasil analisis elektrofases dan litofases. Dari hasil identifikasi maka diketahui lingkungan pengendapan batubara daerah penelitian. Dalam mengidentifikasi lingkungan pengendapan batubara digunakan model acuan pengendapan untuk lingkungan pembentuk batubara yang dikemukakan oleh Horne pada tahun 1978.

#### 4.3.10 Perhitungan Estimasi Cadangan Batubara

Dalam perhitungan volume batubara digunakan konsep perhitungan *Tringular Grouping*. Ketebalan rata-rata batubara atau *overburdent* dari setiap titik bor dibagi dengan jumlah titik bor dan dikalikan dengan luas titik bor menghasilkan nilai estimasi cadangan batubara/*overburdent*.

#### 4.4 Diagram Alir

Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 13 berikut:



**Gambar 13.** Diagram Alir Penelitian

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Litologi pada ke-4 sumur bor terdiri atas lapisan Batu Lanau (*Siltstone*) Batu Lempung (*Claystone*), Batu Pasir (*Sandstone*), dan Batubara (*Coal*). Dari ke-4 sumur bor pada daerah penelitian diketahui bahwa terdapat pola log *Serrated* yang merupakan bentuk kurva paling mendominasi, bentuk kurva ini mengidentifikasi lapisan tipis silang siur antara aggradasi lempung dan lanau dengan fase air laut yang konstan dan parasekuen yang terbentuk adalah aggradasi, sehingga diidentifikasi bahwa lingkungan pengendapan pada area penelitian merupakan lingkungan pengendapan *Back Barrier* dengan sub-lingkungan *Lagoon*, *Washovers*, *Swamp* dan *Tidal Channel*.
2. Karakteristik fisik batubara pada daerah penelitian yaitu berwarna hitam kecoklatan, terdapat sisipan resin dan mineral pirit, serta rapuh. Kandungan sulfurnya tinggi dengan lapisan yang tidak terlalu tebal serta memiliki kandungan nilai TPI dan GI yang rendah dan diklasifikasikan bahwa batubara pada daerah penelitian merupakan *Sub-bituminous Coal*.
3. Estimasi cadangan batubara tertambang pada daerah penelitian (Pit E PT. Bukit Asam) dari hasil perhitungan adalah 7.246.116,91 MT. Dengan volume tanah penutupnya (*overburden*) sebesar 69.704.965,90 BCM. Dengan nilai nisbah pengupasan (*striping ratio*) pada daerah adalah 1:9,61.

## 6.2 Saran

Dalam penelitian ini identifikasi lapisan pada bagian atas (*Overburden*) lapisan batubara *seam* D masih mengalami kekurangan dan keterbatasan data. Penulis menyarankan agar dilakukan pengeboran kembali pada beberapa titik disekitar lokasi penelitian untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan. Sehingga didapatkan data *Overburden* batubara *seam* D. Selain itu, pada saat melakukan pengambilan data MS di lapangan pada daerah penelitian ditemukan adanya rembesan minyak bumi dan gas metan pada batubara *seam* E, penulis menyarankan dilakukan pengeboran kembali diatas lapisan batubara *seam* E untuk mendapatkan data apakah terdapat reservoir minyak dan gas bumi pada daerah penelitian. Penelitian ini dapat dilanjutkan untuk memperkirakan estimasi sumberdaya dan cadangan batubara agar dapat menentukan nilai keekonomian batubara pada area penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, D. (2014) *Interpretasi data well logging dan analisis hubungan density log dengan kualitas batubara di daerah tal timur, Sumatera*. UIN Syarif Hidayatullah. Available at: <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/68248>.
- Alfatih, I. Z., Warnana, D. D. and Wijaya, H. (2017) 'Klasifikasi Fasies pada Reservoir Menggunakan Crossplot Data Log P-Wave dan Data Log Density', *Jurnal Teknik ITS*, 6(1).
- American Society for Testing and Material (1981) *Mathematical & Physical Sciences, Scholarly Journals, microfilm*. Canada: ASTM International.
- Anshari, F. (2016) *Identifikasi Pola Sebaran Seam dan Perhitungan Sumber Daya Batubara Menggunakan Intrepertasi Data Log Geofisika pada Lapangan "F" Lahat, Sumatera Selatan*. Universitas Lampung. Available at: [digilib.unila.ac.id/22191/3/SKRIPSI](http://digilib.unila.ac.id/22191/3/SKRIPSI).
- Arif, I. (2014) *Batubara Indonesia*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Cook, A. C. (1982) *The Origin and Petrology of Organic Matter in Coals, Oil Shales and Petroleum Source Rocks*. Edited by A. C. Cook and A. J. Kantsler. Ltd. Malta, Australia: Geology Department, University of Wollongong.
- Dewanto, O. (2017) *Dasar Interpretasi Well Logging Untuk Analisis Kualitatif dan Kuantitatif*. Bandar Lampung: Pusaka Media.

- Diessel, C. F. K. (1986) *On the correlation between coal facies and depositional environments*. Department of Geology. University of Newcastle, Australia: Proceedings of the 20th Symposium on Advances in the Study of the Sydney Basin.
- Ghozali, I. (2016) *Aplikasi Analisis Multivariete Dengan Program IBM SPSS 23*. Edisi 8. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro
- Ginger, D. and Fielding, K. (2005) The Petroleum System and Future Potential of South Sumatra Basin, *IPA, 2005 – 30th Annual Convention Proceedings*.
- Haryono, A. (2010) Interpretasi Pola Sebaran Lapisan Batubaraberdasarkan Data Log Gamma Ray, *Fisika Mulawarman*, Vol. 6 No., pp. 1–6.
- Horne, J. C. (1978) Depositional Models In Coal Exploration and Mine Planning In Appalachilan Region, *The American Association Of Petroleum Geologists Bulletin*, 62(12).
- Hustrulid, W., Kutcha, M., and Martin R. (2013). *Open Pit Mine Planning and Design Volume 1-Fubdamentals 3rd Edition*. CRC Press/Balkema. Rotterda. Brookfield.
- International Committee for Coal Petrology (1971) *International Handbook of Coal Petrography: Supplement to the 2nd Edition*. 2nd edn. Paris: Centre national de la recherche scientifique.
- Kendall, C. and Pomar, L. (2005) systems Tract, Bounding Surfaces, Lithofacies, Geometric Hierarchies and Stacking Patterns: Keys to Shallow Water Carbonate Interpretation, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*.
- Levy, S. M. and Heiden, L. (1991) Depression, distress, and immunity: Risk factors

for infectious disease, *Stress Medicine*, 7(1), pp. 45–51. doi: <https://doi.org/10.1002/smi.2460070109>.

Listyono, G. M., Kurnia Arfiansyah., Nanda Natasia., M. Kurniawan Alfadli., and Pulung A. Pranantya. (2016) Litofasies endapan kuartar di wilayah DKI Jakarta, *Bulletin of Scientific Contribution*, Vol.14 No.1 . 89–96.

Pasymi (2008) *Batubara*. 1st edn. Sumatera Barat: Bung Hatta University Press.

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. 2007. *Laporan Internal Pemboran Eksplorasi dan Geophysical Logging*. Satuan Kerja Unit Eksplorasi dan Geoteknik. Tidak dipublikasikan.

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. 2021. *Laporan Internal Pemboran Eksplorasi dan Geophysical Logging*. Satuan Kerja Unit Eksplorasi. Tidak dipublikasikan.

PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. 2023. *Laporan Internal Pemboran Eksplorasi dan Geophysical Logging*. Satuan Kerja Unit Eksplorasi dan Geoteknik. Tidak dipublikasikan.

Rider, M. H. (1989) *The Geological Interpretation of Well Logs*. 2nd edn. University of California, Amerika Serikat: Blackie.

Schlumberger Limited (1989) *Log Interpretation Principles/applications*. Houston, Texas: Schlumberger Educational Services.

Selley, R. C. (1978) Concepts and Methods of Subsurface Facies Analysis, *AAPG Continuing Education Course Notes Series*, 9. doi: <https://doi.org/10.1306/CE9397>.

Sepfitrah (2016) Hasil Tambang Di Riau ( Studi Kasus Logas , Selensen dan Pangkalan Lesung ), *Jurnal Sainstek STT Pekanbaru*, 4, pp. 18–26.

Stach, E. and Murchison, D. (1982) *Stach's Textbook of Coal Petrology*. 3rd edn.  
Edited by S. E. University of California, Amerika Serikat: Borntraeger.

Sukandarrumidi (2018) *Batubara Dan Pemanfaatannya: Pengantar Teknologi Batubara Menuju Lingkungan Bersih*. Yogyakarta: UGM PRESS.

Suyono dan Winanto, M. (2010). *Buku Panduan Praktek Tambang Terbuka 2010*.  
Yogyakarta: Teknik Pertambangan UPN "Veteran" Yogyakarta.

Telford, W. M., Geldart, L. P. and Sheriff, R. E. (1991) *Applied Geoscience, Petroleum and Mining Geoscience, Earth and Environmental Sciences, Geophysics*. 2nd edn. New York: Cambridge University Press. doi:  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139167932>.

Walker, R. G. and James, N. P. (1992) *Facies Models Response To Sea Level Change*. Canada: Geological Association of Canada Publications.

Yadav, S. and Yadav, P. S. (2017) Analysis of Performance of Coal Fired Boiler in Thermal Power Plant, pp. 5–14.