

SKRIPSI

ANALISIS DATA *WELL LOGGING* TERHADAP

KARAKTERISTIK *SEAM* DAN ESTIMASI SUMBERDAYA BATUBARA

DENGAN METODE *CROSS SECTION*

(Studi Kasus P23 WB PT Indominco Mandiri, Kalimantan Timur)

Disusun dan Diajukan Oleh:

MUHAMMAD SHABRAN ABDULLAH

H 221 16 015



DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

**ANALISIS DATA *WELL LOGGING* TERHADAP
KARAKTERISTIK *SEAM* DAN ESTIMASI SUMBERDAYA BATUBARA
DENGAN METODE *CROSS SECTION*
(Studi Kasus P23 WB PT Indominco Mandiri, Kalimantan Timur)**

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

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD SHABRAN ABDULLAH

H 221 16 015

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS DATA *WELL LOGGING* TERHADAP
KARAKTERISTIK *SEAM* DAN ESTIMASI SUMBERDAYA BATUBARA
DENGAN METODE *CROSS SECTION*
(Studi Kasus P23 WB PT Indominco Mandiri, Kalimantan Timur)**

Disusun dan diajukan oleh:

MUHAMMAD SHABRAN ABDULLAH

H22116015

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 23 April 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Ir. Bambang Harimei, M.Si
NIP. 196105011991031003

Pembimbing Pertama,

Dr. Erfan, M.Si
NIP. 196709032001121001

Ketua Program Studi,

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

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Shabran Abdullah
NIM : H22116015
Departemen : Geofisika
Judul Tugas Akhir : Analisis Data *Well Logging* Terhadap Karakteristik *Seam* dan Estimasi Suberdaya Batubara dengan Metode *Cross Section* (Studi Kasus P23 WB PT Indominco Mandiri, Kalimantan Timur)

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

Makassar, 07 Juni 2021

Yang Membuat Pernyataan,



Muhammad Shabran Abdullah

ABSTRAK

Sumberdaya batubara di Indonesia sangat melimpah sehingga eksplorasi batubara perlu ditingkatkan guna memenuhi kebutuhan energi nasional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan kedalaman dan ketebalan lapisan batubara, karakteristik *seam* yang menunjukkan lingkungan pengendapannya dan menghitung estimasi sumberdaya batubara dengan metode *Cross Section*. Pada penelitian ini digunakan metode *Well Logging* untuk eksplorasi batubara di daerah P23 WB kawasan tambang PT Indominco Mandiri Kalimantan Timur. Data yang diperoleh berupa data log *gamma ray* dan *density* serta didukung oleh data *core*. Data log yang diolah menghasilkan penampang litologi di sepanjang sumur bor. Karakteristik lapisan menunjukkan lingkungan pengendapan dari lapisan batubara yang diperoleh dari analisis data log *gamma ray*. Data ketebalan tiap lapisan yang diperoleh digunakan dalam perhitungan estimasi sumberdaya batubara dengan metode *Cross Section*. Berdasarkan hasil analisis dan interpretasi diperoleh hasil keterdapatan *seam* dari kedalaman $\pm 16.18 \text{ m} - 87.68 \text{ m}$ dan *seam* yang paling tebal sebesar 2.08 m. Berdasarkan hasil analisis log *gamma ray*, lingkungan pengendapan lapisan batubara di daerah penelitian adalah *cilyndrical/boxcar* pada *seam C23* dan *symmetrical shape* pada *seam C24* yang berupa daerah rawa. Estimasi sumberdaya batubara dihitung menggunakan metode *cross section* pedoman *rule of gradual changes* dengan persamaan *Mean Area*. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diperoleh hasil estimasi sumberdaya batubara di daerah penelitian sebesar 1.835.341,77 ton.

Kata kunci: Batubara, *Cross Section*, estimasi sumberdaya batubara, karakteristik *seam*, log *gamma ray*, log *density*, *Mean Area*, *gradual of changes*, *Well Logging*

ABSTRACT

Coal resources in Indonesia is very abundant so coal exploration needs to be increased to fulfill national energy needs. Therefore, this study aims to determine the depth and thickness of the coal seams, the characteristics of the coal seams which show its depositional environment and calculate the estimated coal resources by Cross Section method. This study was used Well Logging as a method for coal exploration in the P23 WB mine area of the PT Indominco Mandiri, East Kalimantan. Data obtained in the form of gamma ray log and density log and supported by core data. The log data processed then produces a lithological profile along the borehole. The seam characteristic show the depositional environment of the coal seams obtained from the analysis of gamma ray log. The thickness data of each layer obtained is used in calculating coal resources estimates with the Cross Section method. Based on the results of analysis and interpretation, the results of the coal seams obtained from ± 16.18 m - 87.68 m depth and the thickest coal seams is 2.08 m. Based on the results of gamma ray log analysis, the deposition environment of coal seams in the study area is cylindrical / boxcar on the C23 seam and symmetrical shape on the C24 in the form of a swamps area. Coal resource estimate was calculated using cross section method with the rule of gradual changes to the Mean Area equation. Based on the results of the calculation, the estimated coal resources in the study area were 1,835,341.77 tons.

Keywords: Coal, Cross Section, coal resource estimate, seam characteristics, gamma ray log, density log, Mean Area, gradual of changes, Well Logging

KATA PENGANTAR



Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, berkah dan hidayah-Nya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis, sehingga bisa menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Data Well Logging Terhadap Karakteristik Seam dan Estimasi Sumberdaya Batubara dengan Metode Cross Section (Studi Kasus P23 WB PT Indominco Mandiri, Kalimantan Timur)**”. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW yang mengantarkan manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang benderang ini.

Perjalanan panjang telah penulis lalui dalam rangka penyelesaian penyusunan skripsi ini. Banyak hambatan yang dihadapi dalam penyusunannya, namun berkat kehendak-Nyalah sehingga penulis mampu menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis selalu mendapatkan bimbingan, dorongan, serta semangat dari banyak pihak. Penghargaan dan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Ayahanda tercinta **Abdullah** dan Ibunda yang kusayangi **Hj. Marsiah** yang telah mencurahkan segenap cinta dan kasih sayang serta perhatian moril maupun materiil kepada penulis serta ketiga saudara dan saudari tersayang **Jumarni, Kamal Fardhi** dan **Masna** yang selalu memberikan semangat. Pada kesempatan ini pula dengan senang hati penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak **Ir. Bambang Harime, M.Si** selaku pembimbing utama yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan, serta motivasi yang sangat berarti hingga skripsi ini terselesaikan.
2. Bapak **Dr. Erfan, M.Si** selaku pembimbing pertama yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan masukan selama penulisan skripsi.
3. Bapak **Yuli Purwanto & Mas Luthfi** selaku pembimbing Tugas Akhir selama melaksanakan penelitian di PT Indominco Mandiri Kalimantan

- Timur yang telah meluangkan waktu di tengah kesibukannya untuk memberikan bimbingan dan masukan serta ilmu yang baru kepada penulis.
4. Bapak **Syamsuddin, S.Si, MT** dan Ibu **Makhrani S.Si, M.Si** selaku tim penguji yang telah memberikan kritik, saran dan masukan bersifat membangun kepada penulis selama penulisan skripsi.
 5. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
 6. Seluruh **Dosen Departemen Geofisika** yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
 7. Para **Staf Departemen Geofisika** dan **Staf Fakultas** atas pelayanan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis dalam proses administrasi.
 8. Teman-teman seperjuangan seangkatan **“16neous” Geofisika 2016** yang telah berbagi ilmu selama perkuliahan, dan membantu menghilangkan stress dalam proses penyusunan skripsi ini.
 9. Teman-teman, kakak-kakak, dan adik-adik **Society of Exploration Geophysicists Hasanuddin University Student Chapter**.
 10. Serta kepada semua pihak yang telah membantu penulis dan tidak sempat penulis sebutkan satu persatu sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, semoga segala kebaikan saudara(i)ku diterima sebagai ibadah disisi-Nya. Aamiin.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, dan banyak kekurangan baik dalam metode penulisan maupun dalam pembahasan materi sehingga penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun mudah-mudahan dikemudian hari dapat memperbaiki segala kekurangannya. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, 23 April 2021

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN PENUNJUK SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
SURAT PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xivv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Ruang Lingkup.....	4
I.4 Tujuan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Geologi Regional	5
II.1.1 Struktur Geologi Regional	6
II.1.2 Kerangka Tektonik Cekungan Kutai	7
II.1.3 Stratigrafi Regional.....	8
II.2 Batubara	11
II.2.1 Defenisi Batubara.....	11
II.2.2 Proses Pembentukan Batubara.....	11

II.2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Batubara.....	12
II.2.4 Jenis-jenis Batubara	15
II.2.5 Lingkungan Pengendapan Batubara	17
II.2.6 Sumberdaya Batubara	18
II.3 Metode <i>Well Logging</i>	21
II.3.1 Log <i>Gamma Ray (GR Log)</i>	23
II.3.2 Log <i>Density</i>	25
II.3.3 Log <i>Caliper</i>	29
II.4 Penentuan Litologi	29
II.5 Analisa Ketebalan Seam (<i>Seam</i>)	31
II.6 Karakteristik <i>Seam</i> (Elektrofases).....	32
II.7 Metode <i>Cross Section</i>	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	39
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	39
III.2 Alat dan Bahan/Data.....	40
III.3 Tahapan Penelitian.....	41
III.3.1 Kajian Pustaka	41
III.3.2 Pengambilan Data.....	41
III.3.3 Pengolahan Data	41
III.4 Bagan Alir Penelitian.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
IV.1 Ketebalan dan Kedalaman <i>Seam</i>	45
IV.2 Karakteristik <i>Seam</i> (Elektrofases).....	53
IV.3 Korelasi Penampang <i>Seam</i>	56
IV.4 Estimasi Sumberdaya Batubara.....	57

BAB V PENUTUP	64
V.1 Kesimpulan.....	64
V.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fisiografi Cekungan Kutai (Biantoro dkk., 1992).....	5
Gambar 2.2 Struktur Geologi Cekungan Kutai (Resmawan, 2007).	7
Gambar 2.3 Kolom Stratigrafi daerah Kutai Timur, Cekungan Kutai bagian utara (Resmawan, 2007).	10
Gambar 2.4 Respon litologi yang umumnya dijumpai pada lapisan pembawa batubara dengan metode log <i>gamma ray</i> (BPB Manual, 1981).....	24
Gambar 2.5 Respon litologi yang umumnya dijumpai pada lapisan pembawa batubara dengan metode log <i>density</i> (BPB Manual, 1981).	26
Gambar 2.6 Hubungan antara satuan CPS dan gr/cc (Rider, 2002).....	28
Gambar 2.7 Penentuan ketebalan dengan menggunakan log <i>gamma ray</i> (<i>from</i> BPB Manual, 1981 op.cit. Akbari dan Sutrisno, 2014).	31
Gambar 2.8 Ketebalan antara log <i>LSD (Long Spacing Density)</i> dan <i>SSD (Short</i> <i>Spacing Density)</i> (Robertson <i>Research Engineering</i> , 1984 op.cit. Akbari dan Sutrisno, 2014).	32
Gambar 2.9 Pola respon dari log <i>gamma ray</i> (GR) (Setiahadiwibowo, 2016).....	33
Gambar 2.10 Metode <i>cross section</i> dengan pedoman <i>rule of gradual changes</i> (Erihartanti dkk., 2015).....	37
Gambar 2.11 Metode <i>cross section</i> dengan pedoman <i>rule of nearest point</i> (Erihartanti dkk., 2015).....	37
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian	39
Gambar 4.1 Litologi Sumur Bor 008	46

Gambar 4.2 Titik lokasi tiap sumur bor	47
Gambar 4.3 Karakteristik <i>Seam</i> C23.....	54
Gambar 4.4 Karakteristik <i>Seam</i> C24.....	55
Gambar 4.5 Hasil Korelasi 2D <i>Seam</i> di Area Penelitian	56
Gambar 4.6 Hasil Korelasi 3D <i>Seam</i> di Area Penelitian	57
Gambar 4.7 Penampang Sumberdaya Batubara di Area Penelitian.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi sumberdaya batubara (SNI, 2011)	21
Tabel 2.2 Karakteristik log <i>gamma ray</i> dan <i>density</i> pada beberapa batuan.....	29
Tabel 2.3 Karakteristik respon <i>gamma ray</i>	30
Tabel 2.4 Nilai rapat massa (<i>density</i>) batuan	30
Tabel 4.1 Kedalaman dan ketebalan <i>Seam</i> pada Sumur Bor 008	48
Tabel 4.2 Kedalaman dan ketebalan <i>Seam</i> pada Sumur Bor 010	49
Tabel 4.3 Kedalaman dan ketebalan <i>Seam</i> pada Sumur Bor 020	50
Tabel 4.4 Kedalaman dan ketebalan <i>Seam</i> pada Sumur Bor 034	51
Tabel 4.5 Kedalaman dan ketebalan <i>Seam</i> pada Sumur Bor 053	52
Tabel 4.6 Kedalaman dan ketebalan <i>Seam</i> pada Sumur Bor 067	53
Tabel 4.7 Keterdapatan <i>Seam</i> pada tiap Sumur Bor	58

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Energi yang berasal dari hasil pemanfaatan sumberdaya alam merupakan kebutuhan dasar manusia diberbagai belahan dunia yang akan digunakan dalam segala bidang guna memenuhi kebutuhan dan keberlanjutan hidup manusia itu sendiri. Indonesia yang merupakan negara kepulauan memiliki sumberdaya alam yang melimpah seperti minyak, gas bumi, mineral, batubara dan bahan galian lainnya. Salah satu bahan galian yang terdapat di Indonesia dalam jumlah yang cukup besar adalah batubara. Berdasarkan data dari Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), sumberdaya batubara nasional per Desember 2019 mencapai 149 miliar ton dan cadangan batubara mencapai 37,6 miliar ton. Potensi sumberdaya dan cadangan batubara yang sangat melimpah ini tersebar diberbagai pulau di Indonesia dimana sebagian besar terdapat di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatera serta sebagian kecil tersebar di beberapa lokasi di Pulau Sulawesi, Pulau Jawa, Papua dan Maluku (Kementerian ESDM, 2019). Jenis batubara yang tersebar di seluruh Indonesia memiliki kualitas yang bervariasi yakni batubara berkualitas rendah, menengah hingga batubara yang berkualitas tinggi.

Menyadari pentingnya ketersediaan batubara untuk pemenuhan energi nasional, maka eksploitasi batubara harus seimbang dengan penemuan lokasi baru yang

prospek agar kestabilan energi tetap terjaga. Kegiatan eksplorasi batubara secara rinci dapat mengubah status sumberdaya menjadi cadangan, sehingga umur pemanfaatan batubara di Indonesia juga dapat terus meningkat. Sumberdaya dalam bidang teknis kebumihan dapat berkonotasi kuantitatif, yaitu perkiraan besarnya potensi sumberdaya batubara secara teknis menunjukkan harapan untuk dapat dikembangkan setelah dilakukan penelitian dan eksplorasi (Erihartanti dkk., 2015).

Tahapan eksplorasi dilakukan untuk menentukan kondisi litologi bawah permukaan dengan menggunakan metode-metode geofisika. Metode geofisika merupakan salah satu disiplin ilmu yang menggunakan parameter fisika dalam berbagai metode pencarian sumberdaya alam (air tanah, mineral, batubara, minyak bumi dan gas). Salah satu metode geofisika yang umum dilakukan untuk interpretasi bawah permukaan adalah metode *Well Logging*, yakni dalam pencarian keberadaan batubara (Philip and Hill, 2002). Penelitian *well logging* pernah dilakukan di Macang Sakti, Musi Banyuasin, Palembang Sumatera Selatan untuk mengetahui karakteristik seam dan menghitung estimasi sumberdaya batubara menggunakan pengukuran data *well logging* oleh Pasulle (2019). Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Erihartanti dkk (2015) di daerah Buhut Kab. Kapuas Kalimantan Tengah untuk mengestimasi sumberdaya batubara berdasarkan data *well logging*. Data-data *well logging* yang didapatkan oleh peneliti tersebut kemudian diinterpretasikan dan dimodelkan serta digunakan dalam menghitung sumberdaya batubara daerah penelitian.

Sistem kerja dari metode *well logging* yakni merekam data secara kontinu dari pengukuran yang dibuat pada satu lubang bor untuk menyelidiki variasi beberapa sifat fisis dari batuan yang berasal dari pengeboran lubang bor. Metode ini dirancang tidak hanya untuk mendapatkan informasi geologi, tetapi untuk memperoleh berbagai data lain, seperti kedalaman, ketebalan, kualitas *seam* dan juga mengkompensasi berbagai masalah yang tidak terhindar apabila hanya dilakukan pengeboran, yaitu pengecekan kedalaman sesungguhnya dari setiap lapisan, terutama *seam* termasuk *parting* dan lain-lain (Setiahadiwibowo, 2016).

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Data *Well Logging* Terhadap Karakteristik *Seam* dan Estimasi Sumberdaya Batubara dengan Metode *Cross Section*. Daerah yang menjadi studi kasus dalam penelitian ini adalah daerah *Pit 23 West Block Area* PT. Indominco Mandiri Bontang *Coal Mining*, Kalimantan Timur.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana ketebalan dan kedalaman lapisan batubara (*seam*) berdasarkan data log *gamma ray*, log *density* dan data *core* di area penelitian?
2. Bagaimana karakteristik *seam* (elektrofases) yang mengindikasikan lingkungan pengendapan daerah penelitian berdasarkan kurva log *gamma ray*?
3. Bagaimana menghitung estimasi sumberdaya batubara menggunakan metode *cross section*?

I.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada analisis data, pengolahan dan interpretasi data *well logging* yang dilakukan untuk mengetahui ketebalan dan kedalaman lapisan batubara (*seam*), karakteristik yang merujuk pada lingkungan pengendapan, serta estimasi sumberdaya batubara menggunakan metode penampang vertikal (*Cross Section*) dengan pedoman *rule gradual of changes* persamaan *Mean Area*. Proses interpretasi data *well logging* dapat didukung dengan menggunakan data pendukung lainnya yakni data *core/cutting* dan informasi geologi.

I.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini:

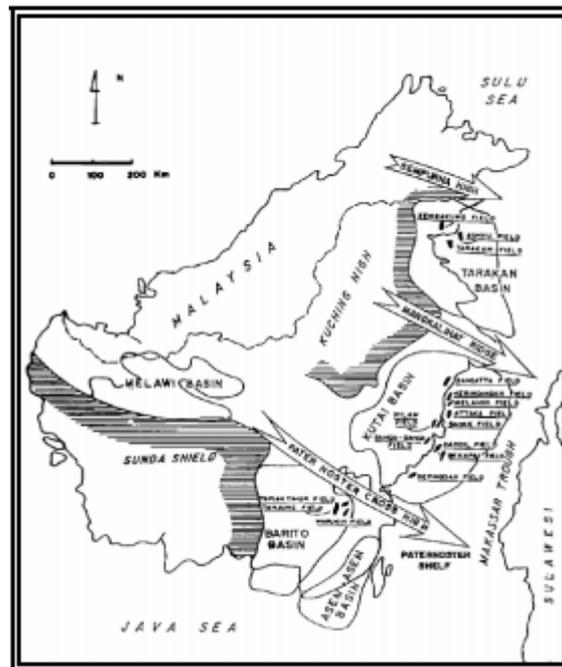
1. Menentukan ketebalan dan kedalaman lapisan batubara (*seam*) berdasarkan data log *gamma ray*, log *density* dan data *core* di area penelitian .
2. Menentukan karakteristik *seam* (elektrofasies) yang mengindikasikan lingkungan pengendapan daerah penelitian berdasarkan kurva log *gamma ray*.
3. Menghitung estimasi sumberdaya batubara dengan metode *cross section*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Pulau Kalimantan berada dibagian tenggara dari lempeng Eurasia. Pada bagian utara dibatasi oleh cekungan marginal Laut China Selatan, dibagian timur oleh selat Makassar dan dibagian selatan oleh Laut Jawa. Daerah penelitian secara geologi regional merupakan bagian dari Cekungan Kutai, yang termasuk dalam Peta Geologi Lembar Sangatta (Sukardi dkk., 1995). Fisiografi Cekungan Kutai ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Fisiografi Cekungan Kutai (Biantoro dkk., 1992).

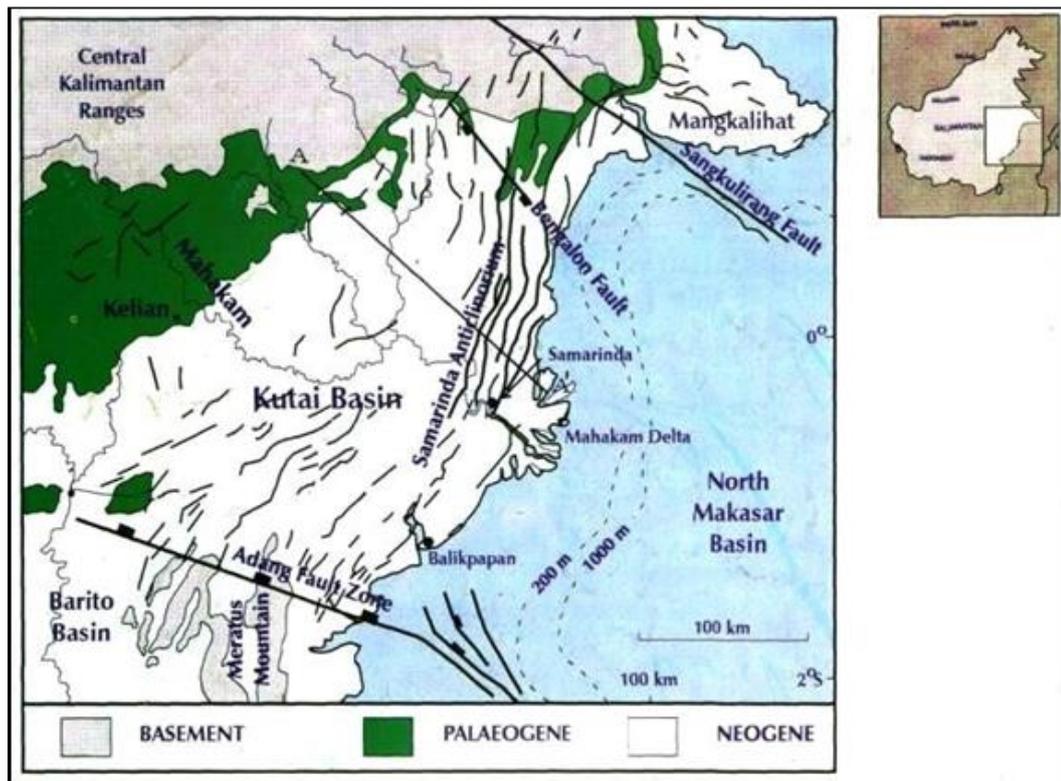
Cekungan Kutai merupakan salah satu cekungan Tersier yang terbesar di Indonesia, luasnya 165.000 km² dan kedalamannya kurang lebih mencapai 14.000 m. Dibagian utara, Cekungan Kutai dibatasi oleh Sesar Sangkulirang dan Sesar Bengalon, sedangkan dibagian selatan dibatasi oleh Sesar Adang (Biantoro dkk., 1992).

II.1.1 Struktur Geologi Regional

Pembentukan struktur geologi di Cekungan Kutai sangat dipengaruhi oleh adanya *spreading* disepanjang Selat Makassar yang menimbulkan sesar-sesar mendatar dengan arah pergerakan baratlaut-tenggara serta memisahkan Pulau Kalimantan dan Pulau Sulawesi. Pola struktur Cekungan Kutai dipengaruhi oleh pengangkatan Tinggian Kuching yang tegasannya berasal dari arah baratlaut. Pengangkatan ini terus berlangsung hingga mengakibatkan berkurangnya kestabilan. Akibat ketidakstabilan ini maka terjadi pelengseran batuan ke arah timur (Resmawan, 2007).

Struktur geologi yang berkembang didalam Cekungan Kutai adalah lipatan dan sesar. Batuan tua seperti formasi Pamaluan, formasi Bebuluh dan formasi Pulau Balang umumnya terlipat kuat dengan kemiringan sekitar 40°, tetapi ada juga yang mencapai 75°, sedangkan batuan yang berumur lebih muda seperti formasi Balikpapan dan formasi Kampungbaru pada umumnya terlipat lemah, namun di beberapa tempat dekat zona sesar ada yang terlipat kuat. Di daerah ini terdapat 3 (tiga) jenis sesar, yaitu sesar naik, sesar normal dan sesar mendatar. Sesar naik diduga terjadi pada Miosen Akhir yang kemudian dipotong oleh sesar mendatar

yang terjadi kemudian, sedangkan sesar turun terjadi pada Kala Pliosen (Resmawan, 2007). Gambar 2.2 menunjukkan gambaran struktur geologi regional yang mempengaruhi pembentukan Cekungan Kutai, struktur yang ada adalah *Antiklinorium* Samarinda yang berarah barat-laut-tenggara, Sesar Bengalon, Sesar Sangkulirang dan Sesar Adang.



Gambar 2.2 Struktur Geologi Cekungan Kutai (Resmawan, 2007).

II.1.2 Kerangka Tektonik Cekungan Kutai

Pada Tersier Awal, Cekungan Kutai dan Cekungan Barito merupakan satu cekungan besar berarah utara timurlaut - selatan baratdaya. Kedua cekungan tersebut mulai terpisah setelah pengangkatan Blok Meratus, dicirikan oleh kelurusan zona *patenosfer* yang dikontrol oleh Sesar Adang atau disebut *South*

Kutai Boundary Fault. Pemisahan ini diduga terjadi selama Miosen Tengah, berdasarkan fasies yang berbeda pada lapisan sedimen antara kedua cekungan dari Miosen Akhir sampai Resen (Biantoro dkk., 1992).

Moss dan Chambers (1999), mengemukakan bahwasanya Cekungan Kutai dapat dibagi dalam dua bagian atau sub cekungan, yaitu Cekungan Kutai bagian atas dan Cekungan Kutai bagian bawah. Cekungan bagian atas terdapat dibagian barat laut yang merupakan area yang terangkat karena proses tektonik pada Miosen Bawah, sedangkan Cekungan Kutai bagian bawah terdapat dibagian timur dan lebih banyak dikenali pada endapan Neogennya daripada endapan-endapan regangan selama Paleogen yang merupakan deposenter di Cekungan Kutai bagian atas. Regangan-regangan yang terbentuk selama Paleogen tersebut telah mengalami inversi dan tererosi selama Neogen.

Secara tektonik, Cekungan Kutai dipisahkan dari Cekungan Tarakan di utara oleh Punggungan Mangkalihat dan dipisahkan dari Cekungan Barito di selatan oleh *Adang flexure*. Bagian barat Cekungan Kutai dibatasi Tinggian Kuching yang tersusun oleh batuan metasedimen berumur Kapur dan sedimen berumur Paleosen, sedangkan bagian timur Cekungan Kutai terbuka ke Selat Makassar dengan kedalaman air laut mencapai lebih dari 2000 meter (Resmawan, 2007).

II.1.3 Stratigrafi Regional

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Sangatta Sukardi dkk (1995), membagi satuan *lithostratigrafi* daerah Kutai Timur menjadi enam formasi dengan urutan dari tua ke yang muda adalah sebagai berikut:

1. Formasi Pamaluan (Tmp)

Formasi ini berumur Miosen Awal yang terdiri dari batulempung dengan sisipan tipis napal, batupasir dan batubara. Bagian atas terdiri dari batulempung pasiran yang mengandung sisa tumbuhan dan beberapa lapisan tipis batubara. Secara umum bagian bawah lebih gampingan dan mengandung lebih banyak *foraminifera plankton* dibanding dengan bagian atasnya.

2. Formasi Bebuluh (Tmbe)

Formasi ini berumur Miosen Awal dengan tebal diperkirakan 2000 meter dan formasi ini ditutupi selaras oleh Formasi Pulau Balang. Terdiri dari batugamping dengan sisipan batulempung, batulanau, batupasir dan sedikit napal. Batugamping mengandung koral dan *foraminifera* besar. Batugamping dari formasi ini adalah terumbu dan tebaran batugamping terumbu.

3. Formasi Pulau Balang (Tmpb)

Formasi ini berumur Miosen Awal - Miosen Tengah yang terdiri dari persilangan batupasir dengan batulempung dan batulanau, setempat bersisipan tipis *lignit*, batugamping atau batupasir gampingan.

4. Formasi Balikpapan (Tmbp)

Umur formasi ini Miosen Tengah - Miosen Akhir terdiri atas batupasir, batulempung, lanau, *tuf* dan batubara. Pada perselingan batupasir kuarsa, batulempung dan batulanau memperlihatkan struktur silang siur. Setempat

mengandung sisipan batubara dengan ketebalan antara 20-40 cm. Tebal formasi ±2000 meter dengan lingkungan pengendapan muka daratan *delta*.

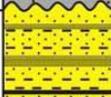
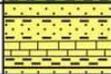
5. Formasi Kampungbaru (Tmcp)

Terdiri dari batulempung pasiran, batupasir dengan sisipan batubara dan *tuf*, setempat mengandung lapisan tipis oksida besi dan *bintal limonit*.

Berumur Miosen Akhir hingga Plio-Plistosen dengan lingkungan pengendapan *delta* sampai laut dangkal dengan tebal formasi antara 500-800 meter.

6. Endapan Aluvial (Qal)

Materi lepas berupa lempung dan lanau, pasir, lumpur dan kerikil merupakan endapan pantai, rawa dan sungai.

UMUR		FORMASI	TEBAL (m)	LITOLOGI	DESKRIPSI	LINGKUNGAN PENGENDAPAN
KUARTER	HOLOSEN	Alluvial (Qa)	?		Material lepas berukuran lempung hingga pasir halus, dan material organik.	<i>Fluvial Lacustrine</i>
	PLISTOSEN	Kampungbaru	900		Batupasir kuarsa yang bersifat lepas dengan sisipan batulempung, serpih, batulanau dan lignit.	Delta
TERSIER	PLIOSEN ATAS	Balikpapan	3000		Batulempung dan batupasir kuarsa dengan sisipan batulanau serpih, dan batubara	Delta
	MIOSEN TENGAH	Pulau Balang	2750		Batupasir (<i>greywacke</i>), batupasir kuarsa, batugamping, batulempung dengan sisipan batubara.	Darat - laut dangkal
	MIOSEN BAWAH	Bebulu Pamaluan	2000 3000		Formasi Bebulu : batugamping dengan sisipan batugamping pasiran dan serpih. Formasi Pamaluan : batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping dan batulanau.	Laut Dangkal (Neritik)

Gambar 2.3 Kolom Stratigrafi daerah Kutai Timur, Cekungan Kutai bagian utara (Resmawan, 2007).

II.2 Batubara

II.2.1 Defenisi Batubara

Menurut Pasymi (2008), secara umum batubara didefenisikan sebagai batuan organik berwarna gelap yang terbentuk dari jasad tumbuh-tumbuhan. Kandungan utama batubara adalah atom, karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara adalah bahan bakar fosil. Batubara dapat terbakar, terbentuk dari endapan, batuan organik yang terutama terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen. Batubara terbentuk dari tumbuhan yang telah terkonsolidasi antara strata batuan lainnya dan diubah oleh kombinasi pengaruh tekanan dan panas selama jutaan tahun sehingga membentuk seam (World Coal Institut, 2005). Sedangkan defenisi batubara menurut Badan Standarisasi Nasional dalam SNI (SNI, 2011) adalah endapan yang mengandung hasil akumulasi material organik yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang telah melalui proses lithifikasi untuk membentuk seam. Material tersebut telah mengalami kompaksi, ubahan kimia dan proses metamorfosis oleh peningkatan panas dan tekanan selama periode geologis. Bahan-bahan organik yang terkandung dalam seam mempunyai berat >50% volume bahan organik.

II.2.2 Proses Pembentukan Batubara

Pembentukan batubara dimulai sejak *Carboniferous Period* (periode pembentukan karbon atau batubara) dikenal sebagai zaman batubara pertama yang berlangsung antara 360 juta sampai 290 juta tahun yang lalu. Mutu dari setiap endapan batubara ditentukan oleh suhu dan tekanan serta lama waktu pembentukan yang disebut sebagai maturitas organik. Proses awalnya gambut berubah menjadi

lignite (batubara muda) atau *brown coal* (batubara coklat) adalah batubara dengan jenis maturitas organik rendah. Dibandingkan dengan batubara jenis lainnya, batubara muda agak lembut dan warnanya bervariasi dari hitam pekat sampai kecoklat-coklatan. Mendapat pengaruh suhu dan tekanan yang terus-menerus selama jutaan tahun, batubara muda mengalami perubahan yang secara bertahap menambah maturitas organiknya dan mengubah batubara muda menjadi batubara *sub-bitumen*. Perubahan kimiawi dan fisika terus berlangsung hingga batubara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam dan membentuk *bitumen* atau *antrasit*. Dalam kondisi yang tepat, peningkatan maturitas organik yang semakin tinggi terus berlangsung hingga membentuk *antrasit* (World Coal Institut, 2005).

Proses pembentukan induk batubara (*peat*) dari fosil tumbuh-tumbuhan dinamakan proses koalifikasi. Proses ini memerlukan kondisi-kondisi tertentu, karena itu proses koalifikasi hanya terjadi pada tempat-tempat dan era-era tertentu saja sepanjang sejarah geologi (Pasymi, 2008).

II.2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Batubara

Faktor umum yang mempengaruhi dalam pembentukan batubara adalah sebagai berikut:

1. Temperatur/Suhu

Ada tiga bentuk aksi temperatur yang bekerja pada endapan batubara yakni (Pasymi, 2008):

a. *Geothermal Gradient*

Temperatur endapan batubara sangat ditentukan oleh jarak endapan tersebut dari perut bumi. Semakin jauh letak endapan batubara dari permukaan bumi maka semakin tinggi temperaturnya. Secara umum temperatur lapisan tanah naik 3-4°C setiap penambahan kedalaman 100 m.

b. *Igneous Intrusion*

Igneous intrusion adalah peristiwa intrusi seam oleh lelehan magma akibat aktifitas vulkanik. Intrusi seam secara vertical oleh lelehan magma dinamakan *dyke*. Sementara intrusi seam secara horizontal oleh lelehan magma disebut *sill*.

c. *Tectonic Activity*

Aktivitas tektonik seperti pergeseran lempeng bumi atau blok batuan yang terjadi disekitar daerah endapan akan menimbulkan panas sehingga mempengaruhi temperatur pada daerah endapan tersebut.

2. Waktu

Pada umumnya batubara Indonesia terbentuk pada periode waktu geologi *tertiary*, yang terbagi lagi kedalam 5 periode yakni 30 *Paleocene* (65 – 59 jtl), *Eocene* (59 – 34 jtl), *Oligocene* (34 – 25 jtl), *Miocene* (25 – 12 jtl) dan *Pliocene* (12 – 2jtl) (Pasyimi, 2008). Apabila terjadi waktu pemanasan yang lama, tingkat pembatubaraan yang dihasilkan akan lebih tinggi. Dengan demikian dapat dikatakan, secara umum batubara yang lebih tua, mempunyai tingkat pembatubaraan yang tinggi. Waktu yang diperlukan

untuk pembentukan endapan batubara sangat sulit ditentukan dan sangat bervariasi, karena bergantung pada keadaan geologis setempat.

3. Tekanan

Tekanan mempunyai pengaruh yang lebih kecil dibandingkan dengan faktor suhu dan waktu. Dalam hal ini, tekanan berfungsi bagi pemadatan bahan organik dan pemerasan air. Oleh sebab itu, tekanan hanya bersifat pembatubaraan struktur fisik. Ada dua bentuk tekanan yang lazim bekerja pada endapan batubara yakni (Pasyimi, 2008):

- a. Tekanan *Overburden* yaitu tekanan yang disebabkan oleh beban lapisan tanah yang menimbun endapan batubara dari arah atas ke arah bawah.
- b. Tekanan *Trush* yaitu tekanan mendatar yang disebabkan oleh pergeseran kulit bumi sebagai akibat dari aktivitas tektonik.

4. Tipe Lingkungan/Tempat Terbentuknya

Tempat terbentuknya batubara di kenal dua macam teori (Cook, 1982):

a. Teori *In situ*

Teori ini mengatakan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terbentuknya di tempat dimana tumbuh-tumbuhan asal itu berada, dengan demikian maka setelah tumbuhan tersebut mati, belum mengalami proses transportasi segera tertutup oleh lapisan sedimen dan mengalami proses *coalification*. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran luas dan merata, kualitasnya lebih baik karena kadar abunya relatif kecil.

b. Teori *Drift*

Teori ini menyebutkan bahwa bahan-bahan pembentuk lapisan batubara terjadinya di tempat yang berbeda dengan tempat tumbuhan semula hidup dan berkembang, dengan demikian tumbuhan yang telah mati di angkut oleh media air dan berakumulasi di suatu tempat kemudian mengalami proses *coalification*. Jenis batubara yang terbentuk dengan cara ini mempunyai penyebaran tidak luas, dibebberapa tempat, kualitas kurang baik karena banyak mengandung material pengotor yang terangkut bersama selama proses pengangkutan dari tempat asal tanaman ke tempat sedimentasi.

II.2.4 Jenis-jenis Batubara

Tingkat perubahan yang dialami batubara dari gambut sampai menjadi *antrasit* disebut sebagai pengarangan yang berhubungan dengan tingkat mutu batubara. Batubara dengan mutu yang rendah, seperti batubara muda dan *sub-bituminus* biasanya lebih lembut dengan materi yang rapuh dan berwarna suram seperti tanah. Batubara muda memiliki tingkat kelembaban yang tinggi dan kandungan karbon yang rendah, dan dengan demikian kandungan energinya rendah. Batubara dengan mutu yang lebih tinggi umumnya lebih keras dan kuat, seringkali berwarna hitam cemerlang seperti kaca. Batubara dengan mutu yang lebih tinggi memiliki kandungan karbon yang lebih banyak, tingkat kelembaban yang lebih rendah dan menghasilkan energi yang lebih banyak. *Antrasit* adalah batubara dengan mutu yang paling baik dan dengan demikian memiliki kandungan karbon

dan energi yang lebih tinggi serta tingkat kelembaban yang lebih rendah (World Coal Institute, 2005).

Proses pembentukan batubara sangat mempengaruhi kualitas dari batubara itu sendiri. Semakin padat batubara tersebut akibat tekanan alami yang dialaminya, akan semakin tinggi kualitasnya. Berdasarkan kualitas inilah batubara lebih lanjut diklasifikasikan menjadi beberapa jenis yaitu (Energy Education, 2018):

1. Gambut atau dikenal sebagai *peat* adalah transformasi tahap pertama dari jasad tumbuhan menjadi batu bara.
2. *Lignite* atau juga dikenal dengan sebutan batubara coklat, adalah jenis batubara yang paling rendah kualitasnya setelah gambut.
3. *Sub-bituminous* adalah jenis batubara sedang di antara jenis *lignite* dan jenis *bituminous*. Secara fisik memiliki ciri-ciri berwarna coklat gelap cenderung hitam.
4. *Bituminous* adalah jenis batubara yang lebih tinggi tingkatan kualitasnya. Mayoritas berwarna hitam, namun kadang masih ada yang berwarna coklat tua. Dinamakan *bituminous* dikarenakan adanya kandungan *bitumen*/aspal.
5. *Anthracite* adalah jenis batubara yang paling baik kualitasnya. Penggunaan batubara *anthracite* pada pembangkit listrik tenaga uap, masuk ke dalam jenis batubara *High Grade* dan *Ultra High Grade*. Namun persediaannya masih sangat terbatas, yaitu sebanyak 1% dari total penambangan batubara.

II.2.5 Lingkungan Pengendapan Batubara

Lingkungan Pengendapan Batubara adalah tempat atau kompleks geografis pengendapan batubara yang secara sedimentologis terletak pada sungai teranyam berkerikil, sungai teranyam berpasir, lembah *aluvial* dan *delta* atas, *delta* bawah, pantai, dan muara. Berikut penjelasan mengenai berbagai lingkungan pengendapan tersebut (Santoso, 2014):

1. Sungai teranyam berkerikil meliputi hulu sungai, gundukan berkerikil, alur sungai, dataran limpah banjir, rawa dan daerah bergambut asam.
2. Lembah *aluvial* dan *delta* atas terdiri dari alur sungai, beting sungai, dataran limpah banjir, rawa, dan daerah bergambut asam.
3. *Delta* bawah meliputi delta depan, gundukan pasir muara, dataran limpah banjir, rawa, dan daerah air payau.
4. Pantai meliputi daerah depan dan belakang pantai, rawa, dan daerah pasang-surut laut, laguna, gundukan pasir pantai, rawa, dan daerah air payau. Batubara yang terbentuk di lingkungan pengendapan ini terendapkan dalam kondisi genang laut dan susut laut.
5. Muara terdiri atas alur sungai, daerah pasang-surut laut, gundukan pasir pantai, dan daerah air payau.

Lingkungan pengendapan dapat ditentukan melalui bentuk kurva *log gamma ray* karena bentuk *log* merujuk pada ukuran butir dari lapisan batuan (Selley, 1978 *op.cit.* Nazeer *et al*, 2016). *Log gamma ray* merepresentasikan profil ukuran butir secara vertikal menunjukkan lingkungan secara spesifik yang memiliki

karakteristik dan ukuran tertentu. Seiring perubahan ukuran butir, bentuk *log* juga berubah dan membentuk susunan lapisan batuan. Kessler dan Sacs (1995) dalam Nazeer *et al* (2016) menggunakan data *log gamma ray* dan seismik untuk mempelajari proses sedimentasi batupasir di Irlandia. Begitupula dengan Chow *et al* (2005), menggunakan *log gamma ray* dari 9 sumur bor untuk menggambarkan profil vertikal ukuran butir dan untuk menduga lingkungan purba di area Taiwan serta dipertimbangkan sebagai metode yang tepat digunakan dalam menginterpretasi lingkungan pengendapan jika inti bor tidak tersedia (Nazeer *et al*, 2016).

II.2.6 Sumberdaya Batubara

Sumberdaya (*resource*) adalah jumlah atau kuantitas bahan galian yang terdapat dipermukaan atau dibawah permukaan bumi yang sudah diteliti tetapi belum dilakukan studi kelayakan. Istilah sumberdaya dalam bidang teknis kebumihan dapat berkonotasi kuantitatif, yaitu perkiraan besarnya potensi sumberdaya batubara secara teknis menunjukkan harapan untuk dapat dikembangkan setelah dilakukan penelitian dan eksplorasi. Keberadaan bahan galian didalam perut bumi dapat diketahui dari sejumlah indikasi adanya bahan galian tersebut di permukaan bumi. Keadaan seperti demikian memberikan kesempatan kepada para ahli untuk melakukan penyelidikan lebih lanjut, baik secara geologi, geofisika, pemboran maupun lainnya (Erihartanti dkk, 2015).

Klasifikasi sumberdaya dapat dibagi ke dalam kelas-kelas sumberdaya berdasarkan tingkat keyakinan geologinya yang secara kualitatif ditentukan oleh

kondisi geologi/tingkat kompleksitas dan secara kuantitatif ditentukan oleh jarak titik informasi. Beberapa pengklasifikasian sumberdaya batubara berdasarkan tingkatan keyakinan geologinya diberikan berikut ini (Pasymi, 2008) :

1. Sumberdaya Batubara Hipotetik (*Hypothetical Coal Resource*)

Sumberdaya batubara hipotetik adalah sumberdaya batubara di daerah penyelidikan atau bagian dari daerah penyelidikan yang dihitung berdasarkan data yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan untuk tahap penyelidikan survei tinjau. Kelas sumberdaya ini biasanya terdapat di daerah perluasan sumberdaya tereka atau disuatu daerah/wilayah yang mempunyai kondisi geologi yang sama dengan sumberdaya tereka. Pada umumnya, sumberdaya jenis ini berada pada daerah dimana titik-titik sampling dan pengukuran serat bukti untuk ketebalan dan keberadaan batubara diambil dari *distant outcrops*, pertambangan, lubang-lubang galian serta sumur-sumur. Jika eksplorasi menyatakan bahwa kebenaran dari hipotesis sumberdaya dan mengungkapkan informasi yang cukup tentang kualitasnya, jumlah serta ranknya, maka mereka akan di klasifikasikan kembali sebagai sumberdaya tereka (*inferred resources*).

2. Sumberdaya Batubara Tereka (*Inferred Coal Resource*)

Sumberdaya batubara tereka adalah sumberdaya batubara di daerah penyelidikan atau bagian dari daerah penyelidikan yang dihitung berdasarkan data yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan untuk tahap penyelidikan prospeksi. Titik pengamatan mempunyai jarak yang cukup jauh sehingga penilaian dari sumberdaya tidak dapat diandalkan.

Daerah sumberdaya ini ditentukan dari proyeksi ketebalan dan tanah penutup, rank, dan kualitas data dari titik pengukuran dan sampling berdasarkan bukti geologi dalam daerah antara 1,2 km – 4,8 km. Termasuk ke dalam kelas sumberdaya ini *antrasit* dan *bituminus* dengan ketebalan 35 cm atau lebih, *sub-bituminus* dengan ketebalan 75 cm atau lebih, serta *lignit* dengan ketebalan 150 cm atau lebih.

3. Sumberdaya Batubara Terunjuk (*Indicated Coal Resource*)

Sumberdaya batubara terunjuk adalah sumberdaya batubara di daerah penyelidikan atau bagian dari daerah penyelidikan yang dihitung berdasarkan data yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan untuk tahap eksplorasi pendahuluan. Densitas dan kualitas titik pengamatan cukup untuk melakukan penafsiran secara realistis dari ketebalan, kualitas, kedalaman dan jumlah insitu batubara serta ditafsir tidak akan mempunyai variasi yang cukup besar jika eksplorasi yang lebih detail dilakukan. Daerah kelas sumberdaya ini ditentukan dari proyeksi ketebalan dan tanah penutup, rank dan kualitas data dari titik pengukuran dan sampling berdasarkan bukti geologi dalam daerah antara 0,4 km – 1,2 km. Termasuk dalam kelas sumberdaya ini *antrasit* dan *bituminus* dengan ketebalan 35 cm atau lebih, *sub-bituminus* dengan ketebalan 75 cm atau lebih, serta *lignit* dengan ketebalan 150 cm.

4. Sumberdaya Batubara Terukur (*Measured Coal Resource*)

Sumberdaya batubara terukur adalah sumberdaya batubara di daerah penyelidikan atau bagian dari daerah penyelidikan, yang dihitung

berdasarkan data yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan untuk tahap eksplorasi rinci. Densitas dan kualitas titik pengamatan cukup untuk diandalkan untuk melakukan penafsiran ketebalan batubara, kualitas, kedalaman, dan jumlah batubara insitu. Daerah sumberdaya ini ditentukan dari proyeksi ketebalan dan tanah penutup, rank dan kualitas data dari titik pengukuran dan sampling berdasarkan bukti geologis dalam radius 0,4 km. Termasuk dalam kelas sumberdaya ini *antrasit* dan *bituminus* dengan ketebalan 35 cm atau lebih, *sub-bituminus* dengan ketebalan 75 cm atau lebih, serta *lignit* dengan ketebalan 150 cm.

Menurut Standar Nasional Indonesia SNI 5015:2011 klasifikasi sumberdaya batubara diperlihatkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi sumberdaya batubara (SNI, 2011)

Kondisi Geologi	Kriteria	Hipotetik	Tereka	Tertunjuk	Terukur
Sederhana	Jarak titik informasi (m)	Tidak terbatas	$x \leq 1500$ m	$x \leq 100$ m	$x \leq 500$ m
Moderat	Jarak titik informasi (m)	Tidak terbatas	$x \leq 100$ m	$x \leq 500$ m	$x \leq 250$ m
Komplek	Jarak titik informasi (m)	Tidak terbatas	$x \leq 400$ m	$x \leq 200$ m	$x \leq 100$ m

II.3 Metode *Well Logging*

Well logging geofisika pertama kali berkembang dalam eksplorasi minyak bumi untuk keperluan analisa porositas, saturasi reservoir minyak dan korelasi

kedalaman antar sumur bor (Serra, 1988). Seiring berjalannya waktu perkembangan *well logging* mulai digunakan pada pencarian batubara. *Logging* untuk eksplorasi batubara dirancang tidak hanya untuk mendapatkan informasi geologi, tetapi untuk memperoleh berbagai data lain, seperti kedalaman, ketebalan dan kualitas seam juga mengkompensasi berbagai masalah yang tidak terhindar apabila hanya dilakukan pengeboran, yaitu pengecekan kedalaman sesungguhnya dari lapisan penting (Iswati, 2012). Log geofisika yang utama digunakan dalam eksplorasi batubara adalah *gamma ray log*, *density log*, dan *caliper log*. Kombinasi ini biasa disebut *formation density sonde* (FDS) (Akbari dan Sutrisno, 2014).

Menurut Setiahadwibowo (2016) metode *well logging* adalah suatu perekaman berdasarkan sifat fisis di sepanjang sumur bor yang dilakukan kemudian bergerak secara perlahan-lahan dengan maksud agar sensor yang diturunkan ke dalam sumur bor dapat mengetahui adanya hal-hal yang ditemuinya. Kegiatan untuk mendapatkan data *log* disebut "*logging*". *Logging* memberikan data yang diperlukan untuk mengevaluasi secara kuantitatif banyaknya sumber daya di lapisan pada situasi dan kondisi yang sesungguhnya. Grafik *log* memberikan informasi yang dibutuhkan untuk mengetahui sifat-sifat batuan dan cairan (Harsono, 1997). Secara umum *well logging* diartikan sebagai suatu pencatatan atau perekaman data bawah permukaan secara bersambung dan teratur dari bawah sampai atas lubang sumur dengan menggunakan parameter geofisika. Log adalah suatu grafik kedalaman dari satu set data yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan pada sebuah sumur (Chopra and Gibson, 2000).

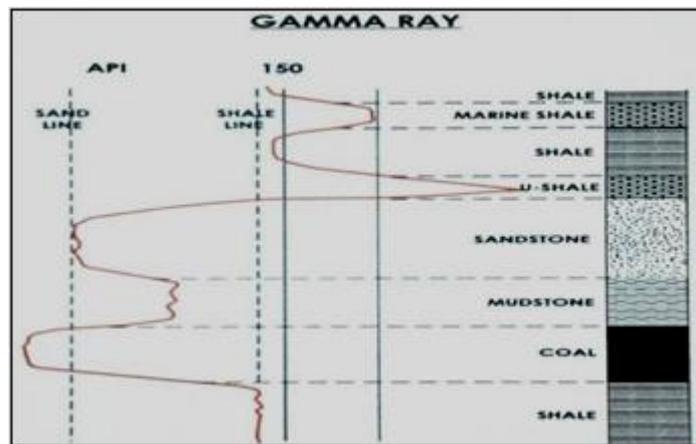
II.3.1 Log *Gamma Ray* (GR Log)

Log *gamma ray* merupakan metode untuk mengukur radiasi sinar gamma yang dihasilkan oleh unsur-unsur radioaktif yang terdapat disekitar lapisan batuan lubang bor. Radioaktifitas alami yang terukur berasal dari tiga unsur radioaktif yang ada dalam batuan yaitu *uranium (U)*, *thorium (Th)*, dan *potassium (K)* yang secara berkelanjutan memancarkan sinar gamma dalam bentuk pulsa-pulsa energi radiasi tinggi (Rider, 2002). Sinar gamma mampu menembus batuan dan di deteksi oleh sensor sinar gamma yang umumnya berupa detektor sintilasi. Setiap GR yang terdeteksi akan menimbulkan pulsa listrik pada detektor. Parameter yang direkam adalah jumlah dari pulsa yang tercatat per satuan waktu (sering disebut cacah GR) (Akbari dan Sutrisno, 2014). Kegunaan *log gamma ray* secara umum (Akbari dan Sutrisno, 2014):

- 1) Evaluasi kandungan *shale* (V_{shale}).
- 2) Menentukan lapisan permeabel dan non permeabel berdasarkan sifat radioaktif.
- 3) Ketebalan lapisan batuan.
- 4) Korelasi antar sumur.

Unsur radioaktif umumnya banyak terdapat dalam *shale* dan *clay*, namun sedikit sekali terdapat dalam *claysandstone*, *limestone*, *dolomite*, *coal*, *gypsum* dan lain-lain. Oleh karena itu *shale* dan *clay* akan memberikan respon *gamma* yang sangat signifikan dibandingkan dengan batuan lain seperti batubara. Pengukuran log *gamma ray* dilakukan dengan menurunkan instrumen *gamma ray* kedalam lubang

bor dan merekam radiasi sinar gamma untuk setiap interval tertentu (Harsono, 1993). Pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa kurva defleksi *gamma ray* pada seam mudah dikenali karena nilai kandungan radioaktif yang sangat rendah dibandingkan dengan batuan sedimen lainnya. Hal itu disebabkan karena batubara umumnya tidak mengandung *uranium* maupun *potassium*. Namun jika terdapat mineral *clay* di dalam seam sebagai *parting* (batuan pengotor), maka kandungan radioaktifnya akan menunjukkan kenaikan harga di dalam respon *log gamma ray* (BPB Manual, 1981).



Gambar 2.4 Respon litologi yang umumnya dijumpai pada lapisan pembawa batubara dengan metode *log gamma ray* (BPB Manual, 1981).

Log gamma ray di skala dalam satuan API (GAPI). Satuan GAPI = 1/200 atau 1/150 dari tanggapan yang didapat dari kalibrasi standar suatu formasi tiruan yang berisi *uranium*, *thorium* dan *potassium* dengan kualitas yang diketahui dengan tepat dan diawasi oleh *American Petroleum Institute* (API) di Houston, Texas (BPB Manual, 1981).

II.3.2 Log *Density*

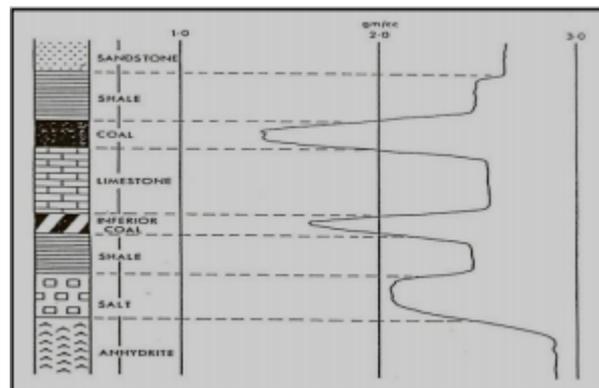
Log densitas merupakan log porositas yang mengukur kerapatan elektron dalam suatu formasi. Hal inilah yang menjadi dasar bagi geologist untuk mengidentifikasi adanya mineral, gas, hidrokarbon, dan reservoir pasir yang mengandung lempung dalam susunan formasi yang lebih kompleks (Schlumberger, 1997). Prinsip pengukuran log densitas adalah memancarkan energi sinar gamma dari sumber radiasi ke dinding lubang bor. Pada saat radiasi ditembakkan dengan energi tertentu ke dinding lubang bor, foton yang membawa sinar gamma akan bertumbukan dengan elektron pada batuan. Peristiwa ini lebih dikenal sebagai *Efek Compton* (Asquith and Gibson, 1982).

Prinsip kerja log densitas yaitu suatu sumber radioaktif dari alat pengukur di pancarkan sinar gamma dengan intensitas energi tertentu menembus formasi/batuan. Batuan terbentuk dari butiran mineral, mineral tersusun dari atom-atom yang terdiri dari *proton* dan *electron*. Partikel sinar gamma membentuk elektron-elektron dalam batuan. Akibat benturan ini sinar gamma akan mengalami pengurangan energi (*lose energy*). Energi yang kembali sesudah mengalami benturan akan diterima oleh detektor yang berjarak tertentu dengan sumbernya. Makin lemahnya energi yang kembali menunjukkan makin banyaknya elektron-elektron dalam batuan, yang berarti makin banyak/padat butiran/mineral penyusun batuan persatuan volume. Besar kecilnya energi yang diterima oleh detektor tergantung dari (Harsono, 1993):

- 1) Besarnya densitas matriks batuan.

- 2) Besarnya porositas batuan.
- 3) Besarnya densitas kandungan yang ada dalam pori-pori batuan.

Volume batuan yang diselidiki oleh alat *log density* tergantung pada jarak antara sumber radioaktif dan detektor. Untuk batuan yang tidak memerlukan resolusi tinggi, lebih baik menggunakan jarak antara sumber dan detektor agak jauh yaitu *long spacing density tool*. Respon kerapatan diatas seam agak unik disebabkan kerapatan batubara yang rendah. Hal ini akan mendekati kebenaran apabila batubara berkualitas rendah. Pada defleksi *gamma ray*, batubara dan batupasir adalah serupa, tapi menunjukkan perubahan kerapatan yang kuat pada *log density* (Gambar 2.5), sehingga dapat dibedakan (BPB Manual, 1981).



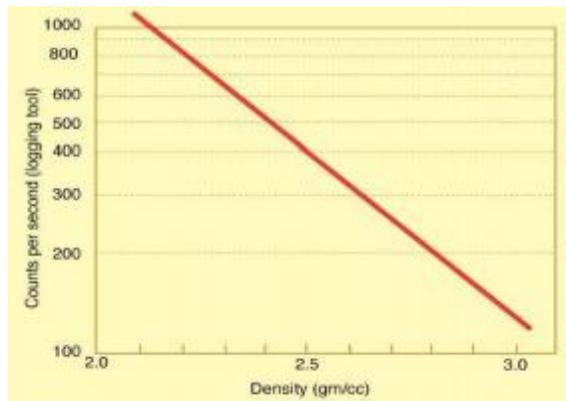
Gambar 2.5 Respon litologi yang umumnya dijumpai pada lapisan pembawa batubara dengan metode *log density* (BPB Manual, 1981).

Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa batubara mempunyai nilai densitas antara 1,2 s/d 1,8 gr/cc yang berarti densitas terendah diantara semua batuan kecuali bila dibandingkan dengan densitas dari air dan gas yang berada di bawahnya. Dalam densitas log kurva dinyatakan dalam satuan gr/cc, karena energi yang diterima untuk deflektor dipengaruhi oleh matriks batuan ditambah

kandungan yang ada dalam pori batuan, maka satuan gr/cc merupakan besaran *bulk density* batuan (ρ_b). Pada penelitian yang dilakukan, satuan dari *log* densitas adalah *counts per second* (CPS) untuk memudahkan perhitungan maka dilakukan kalibrasi satuan dari CPS ke gr/cc nilai satuan CPS berbanding terbalik secara eksponensial dengan nilai satuan gr/cc. Apabila defleksi log dalam satuan CPS menunjukkan nilai yang tinggi, maka akan menunjukkan nilai yang rendah dalam satuan gr/cc (Putro dkk., 2014).

Pemanahan adalah apabila nilai dalam CPS tinggi berarti sinyal radioaktif yang ditangkap kembali oleh sensor juga tinggi, hal ini disebabkan sinyal radioaktif yang mengukur kerapatan elektron batuan hanya sedikit, karena kerapatan elektron batuan hanya sedikit atau rendah maka nilai kerapatan massa batuan dalam gr/cc juga rendah, sebaliknya apabila nilai dalam CPS rendah berarti sinyal radioaktif yang mengukur kerapatan elektron batuan lebih banyak atau tinggi sehingga rapat massa batuan dalam gr/cc juga lebih tinggi (Putro dkk., 2014).

Grafik hubungan besarnya intensitas energi sinar gamma yang ditangkap detektor dan densitas batuan yang terukur dapat dilihat pada Gambar 2.6. Satuan pengukuran pada alat *logging* (CPS) berbanding terbalik secara eksponensial dengan nilai densitas batuan (gr/cm^3). Jika pengukuran intensitas sinar gamma menunjukkan nilai yang tinggi maka densitas batuan menunjukkan nilai yang rendah (Rider, 2002).



Gambar 2.6 Hubungan antara satuan CPS dan gr/cc (Rider, 2002)

Berdasarkan Gambar 2.7 dapat diperoleh rumus, sebagai berikut:

$$Y = 177598 e^{-2.4325x} \quad (2.1)$$

Keterangan :

Y : nilai densitas dalam satuan CPS

X : nilai densitas dalam satuan gr/cc

dan secara eksponensial kurva hubungan antara satuan CPS dengan gr/cc (Rider, 2002). Log *density* terdiri dari 2 macam yaitu *Long Spacing Density* (LSD) dan *Short Spacing Density* (SSD) atau *Bed Resolution Density* (BRD). *Long spacing density* digunakan untuk evaluasi seam karena menunjukkan densitas yang mendekati sebenarnya berkat pengaruh yang kecil dari dinding lubang bor. Sedangkan *short spacing density* mempunyai resolusi vertikal yang tinggi, maka cocok untuk pengukuran ketebalan seam.

II.3.3 Log Caliper

Electric logging caliper adalah metode yang digunakan berdasarkan pada kekompakan batuan. Dengan *electric logging caliper* ini maka akan terlihat keadaan lubang hasil pemboran. Log jenis ini dapat digunakan untuk menentukan litologi batuan berdasarkan kekerasan batuan. Dalam pengukuran dengan log ini biasanya bersamaan dengan log *density*.

II.4 Penentuan Litologi

Interpretasi data log geofisika dilakukan untuk menentukan litologi pada setiap kedalaman dibawah permukaan bumi. Masing-masing batuan mempunyai respon yang khas pada kurva log, sehingga jenis litologi dapat ditentukan. Penentuan litologi pada setiap kedalaman di bawah permukaan bumi dilakukan dengan cara interpretasi data log geofisika yang didapatkan dari hasil penelitian di lapangan. Pada Tabel 2.2 menunjukkan bahwa karakteristik log *gamma ray* dan *density* di setiap lapisan batuan memiliki respon yang berbeda-beda pada kurva log, karenanya jenis litologi pada tiap kedalaman bawah permukaan dapat ditentukan (Setiahadiwibowo, 2016).

Tabel 2.2 Karakteristik log *gamma ray* dan *density* pada beberapa batuan

Jenis Batuan	Nilai <i>Gamma Ray</i>	Nilai <i>Density</i>
Batupasir	Agak Rendah	Menengah - Tinggi
Batulempung	Menengah	Menengah
Batubara	Rendah	Rendah
Konglomerat	Menengah	Menengah
Batugamping	Rendah	Menengah - Tinggi

Batuan Vulkanik	Tinggi	Tinggi
-----------------	--------	--------

(Sumber : Setiahadiwibowo, 2016)

Pada Tabel 2.3 dapat dilihat bahwa batuan-batuan yang terdapat di bawah permukaan memiliki nilai tingkat radioaktif yang berbeda-beda sesuai dengan unsur radioaktif yang terkandung dalam lapisan batuan.

Tabel 2.3 Karakteristik respon *gamma ray*

Tingkat Radioaktif (API)	Jenis Batuan
0 - 32,5	<i>Anhidrit, Salt, Batubara</i>
32,5 – 60	Batupasir, Batugamping, <i>Dolomit</i>
60 – 100	Lempung, <i>Granit</i>
> 100	Batuserpil, Abu Vulkanik, <i>Betonit</i>

(Sumber : Erihartanti dkk., 2015)

Batuan-batuan yang terdapat di bawah permukaan memiliki nilai rapat massa atau densitas yang berbeda-beda, seperti yang ada dalam Tabel 2.4 di bawah ini:

Tabel 2.4 Nilai rapat massa (*density*) batuan

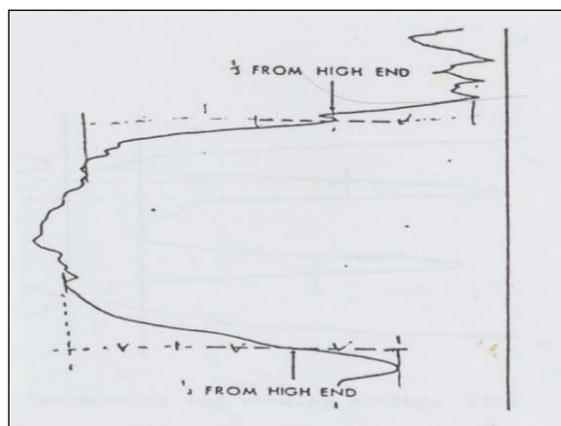
Jenis Batuan	Densitas (gr/cc)
Batupasir	2.65
Batukapur	2,71
<i>Dolomit</i>	2,87
<i>Anhidrit</i>	2,96
<i>Antrasit</i>	1,4 - 1,8
<i>Bituminus</i>	1,2 - 1,5

(Sumber : Erihartanti dkk., 2015)

II.5 Analisa Ketebalan Lapisan Batubara (*Seam*)

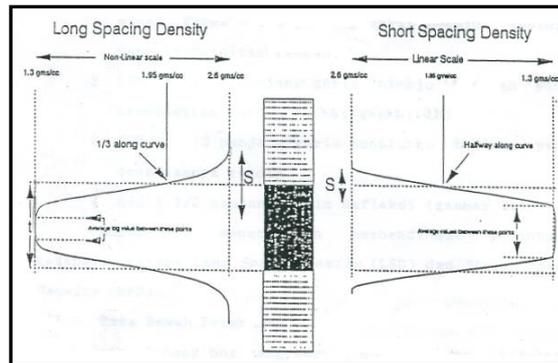
Seam adalah seam dengan kata lain suatu pelapisan tipis bila dibandingkan dengan tebalnya batuan di suatu wilayah geologi yang dapat terbagi menjadi dua atau lebih lapisan dan secara terpisah atau digabung merupakan endapan batubara yang biasanya layak ditambang. *Seam* adakalanya juga berarti lapisan bahan galian mineral logam (Kamus Pertambangan, 2018).

Penentuan ketebalan seam biasanya menggunakan kombinasi beberapa log yakni log *density*, log *gamma ray*, dan *caliper*. Log dibuat secara khusus untuk menghasilkan kombinasi log yang dapat digunakan untuk menentukan ketebalan batubara. Log *density* dibagi atas dua tipe yaitu *Long Spacing Density* (LSD) dan *Short Spacing Density* (SSD). Tipe log densitas yang digunakan dalam menentukan ketebalan pada seam adalah log LSD. Menurut Akbari dan Sutrisno (2014), batasan untuk setiap log berbeda-beda yakni untuk log *gamma ray* = $1/3$ panjang garis menuju lapisan yang berdensitas rendah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.7 Penentuan ketebalan dengan menggunakan log *gamma ray* (from BPB Manual, 1981 op.cit. Akbari dan Sutrisno, 2014).

Penarikan garis batas untuk *log* densitas dibagi atas dua sesuai dengan tipenya yakni untuk $\log \text{LSD} = 1/3$ panjang garis menuju lapisan yang berdensitas rendah dan untuk $\log \text{SSD} = 1/2$ panjang garis defleksi (Gambar 2.8) (Akbari dan Sutrisno, 2019).



Gambar 2.8 Ketebalan antara *log LSD* (*Long Spacing Density*) dan *SSD* (*Short Spacing Density*) (Robertson *Research Engineering*, 1984 op.cit. Akbari dan Sutrisno, 2014).

Setelah menentukan batas atas dan batas bawah dari seam, maka selanjutnya ketebalan dari lapisan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Akbari dan Sutrisno, 2019) :

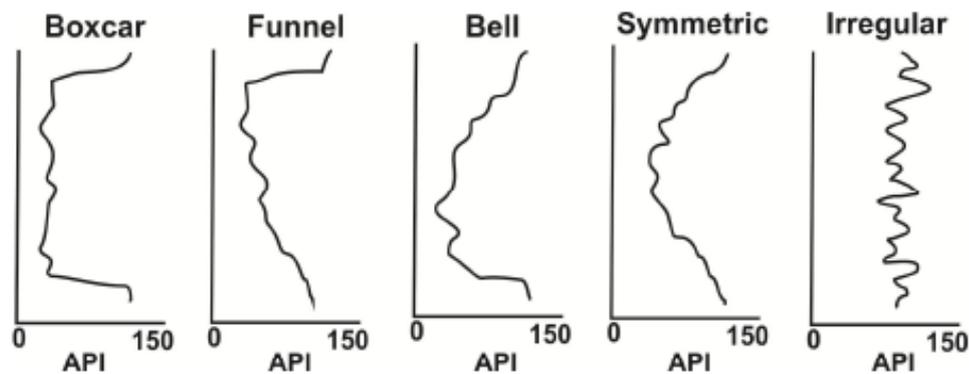
$$\text{Ketebalan Lapisan} = \text{Batas bawah} - \text{Batas atas} \quad (2.2)$$

II.6 Karakteristik *Seam* (Elektrofasi)

Elektrofasi adalah prinsip dasar dalam mengidentifikasi gambar log yang berasosiasi dengan lingkungan pengendapan atau asosiasi lingkungan pengendapan pada log sumur yang berbeda (Schmitt *et al.*, 2012). Konsep motif log adalah suatu metode yang mengkorelasikan bentuk pola log yang sama. Menurut Walker dan James (1992), pola-pola log menunjukkan energi

pengendapan yang berubah, yakni berkisar dari energi tingkat tinggi sampai rendah. Dalam interpretasi geologi, suatu lompatan (*looping*) dilakukan dari energi pengendapan sampai lingkungan pengendapan, pola-pola *log* selalu diamati pada kurva *gamma ray* atau *spontaneous potential*, tetapi kesimpulan yang sama juga dapat didukung dari *log neutron-density*.

Log sumur memiliki bentuk dasar yang bisa mencirikan karakteristik suatu lingkungan pengendapan. Bentuk-bentuk dasar tersebut dapat berupa *cylindrical*, *irregular*, *bell*, *funnel*, *symmetrical* dan *asymmetrical* (Kendall *et al.*, 2003). Elektrofasi dianalisis dari pola kurva *log gamma ray (GR)*. Gambar 2.9 menunjukkan lima pola bentuk dasar dari kurva *log GR*, sebagai *respons* terhadap proses pengendapan. Berikut ini adalah penjelasan mengenai bentuk dasar kurva *log* menurut D.J. Cant (1992) dalam Setiahadwibowo (2016) :



Gambar 2.9 Pola respon dari *log gamma ray (GR)* (Setiahadwibowo, 2016).

1) *Boxcar/ Cylindrical*

Bentuk *Boxcar/Cylindrical* pada *log GR* atau *log SP* dapat menunjukkan sedimen tebal dan homogen yang dibatasi oleh pengisian *channel (channel-fills)* dengan kontak yang tajam. Berdasarkan Cant (1992) dan Selley (1978)

dalam Nazeer *et al* (2016) bentuk ini menunjukkan lingkungan pengendapan: *Aeolian (sand dunes), fluvial channels, carbonate shelf (thick carbonate), reef, submarine canyon fill, tidals sands, prograding delta distributaries.*

2) *Funnel shape*

Profil berbentuk corong (*funnel*) menunjukkan pengkasaran regresi atas yang merupakan bentuk kebalikan dari bentuk *bell*. Berdasarkan Cant (1992) dan Selley (1978) dalam Nazeer *et al* (2016) bentuk ini menunjukkan lingkungan pengendapan: *Crevasse splay, river mouth bar, delta front, shoreface, submarine fan lobe.*

3) *Bell Shape*

Profil berbentuk *bell* menunjukkan penghalusan ke arah atas, kemungkinan akibat pengisian *channel (channel fills)*. Berdasarkan Cant (1992) dan Selley (1978) dalam Nazeer *et al* (2016) bentuk ini menunjukkan lingkungan pengendapan: *Fluvial point bar, tidal point bar, deltaic distributaries, proximal deep sea.*

4) *Symmetrical-Asymmetrical Shape*

Bentuk *symmetrical* merupakan kombinasi antara bentuk *bell-funnel*. Kombinasi *coarsening-finning upward* ini dapat dihasilkan oleh proses bioturbasi. Berdasarkan Cant (1992) dan Selley (1978) dalam Nazeer *et al* (2016) bentuk ini menunjukkan lingkungan pengendapan: *Sandy offshore bar, transgressive shelf sands and mixed tidal flats environment.*

5) *Irregular*

Bentuk ini merupakan dasar untuk mewakili heterogenitas batuan reservoir. Berdasarkan Cant (1992) dan Selley (1978) dalam Nazeer *et al* (2016) bentuk ini menunjukkan lingkungan pengendapan: *Fluvial flood plain, mixed tidal flat, debris flow and canyon fill*.

Setiap pola elektrofasis akan menghasilkan lingkungan pengendapan berbeda. Secara umum lingkungan pengendapan berpengaruh pada kualitas seam, akan tetapi secara khusus yang lebih berpengaruh adalah genesa dari komponen kualitas yang ada di dalam batubara, litologi pengapit seam, dan asosiasi dengan mineral lain (Setiahadiwibowo, 2016).

II.7 Metode *Cross Section*

Metode *Cross Section* adalah salah satu metode estimasi sumberdaya secara konvensional, metode ini dibuat dengan tujuan untuk mengetahui profil batubara pada setiap *section* melalui *cross section* dapat juga mengetahui kemiringan seam (Erihartanti dkk., 2015). Prinsip dari metode ini adalah pembuatan sayatan pada badan endapan mineral, kemudian dihitung luas masing-masing endapan mineral dan untuk menentukan volume dengan menggunakan jarak antar sayatan. Pengaruh penerapan pedoman tersebut dalam perhitungan sumberdaya meliputi (Putra, 2016):

1. Penarikan garis batas sumberdaya dengan menerapkan pedoman perubahan bertahap (*rule of gradual change*), langsung pada titik conto yang terluar, sehingga titik conto tersebut terletak pada garis batas

sumberdaya. Batas daerah pengaruh pada metode *cross section* dengan pedoman perubahan bertahap (*rule of gradual change*).

2. Ketebalan/kedalaman diantara dua penampang mempunyai satu nilai yang didapatkan dari interpolasi dua nilai ketebalan penampang tersebut.
3. Volume sumberdaya adalah gambaran tiga dimensi dari sumberdaya. Perbedaan yang terjadi pada satu dimensi dan dua dimensi akan menjadi perbedaan kumulatif pada perhitungan tiga dimensi.

Metode ini dibagi menjadi dua bagian yaitu metode *cross section* dengan pedoman *rule of gradual changes* dan metode *cross section* dengan pedoman *rule of nearest point*. Metode dengan pedoman *rule of gradual changes* merupakan salah satu metode dalam perhitungan sumberdaya secara konvensional (Gambar 2.10). Pedoman ini artinya berpindah secara bertahap dari satu sayatan ke sayatan lain dengan menghubungkan dua titik antar pengamatan terluar, sehingga untuk mencari satu volume dibutuhkan dua penampang. Perhitungan dengan metode ini menggunakan persamaan *mean area*. Persamaan ini digunakan apabila terdapat dua buah penampang dengan luas penampang P1 dan P2 relatif sama. Persamaan (2.3) bawah ini merupakan bentuk dari persamaan *mean area* dengan pedoman *rule of gradual changes* (Erihartanti dkk., 2015):

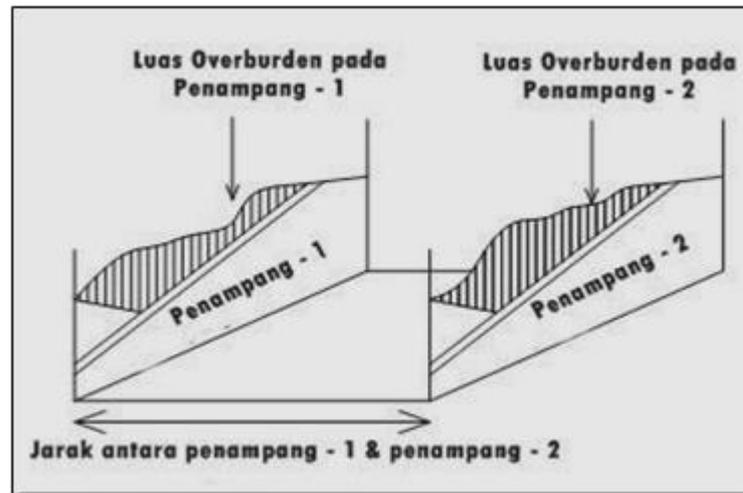
$$V = \frac{(P1+P2)}{2} \times L \quad (2.3)$$

Keterangan :

V : Volume (m³)

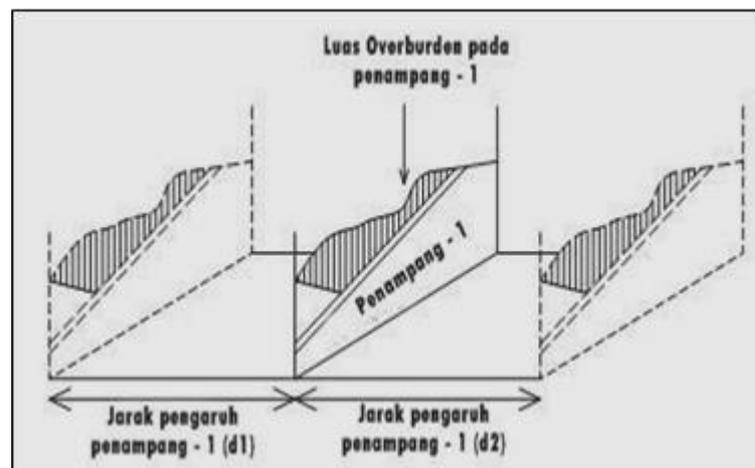
L : Jarak antar penampang (m)

P1, P2 : Luas penampang 1 dan 2 (m²)



Gambar 2.10 Metode *cross section* dengan pedoman *rule of gradual changes* (Erihartanti dkk., 2015)

Metode *cross section* dengan pedoman *rule of nearest point* berpedoman dengan titik terdekat, setiap blok ditegaskan oleh sebuah penampang yang sama panjang ke setengah jarak untuk menyambut sayatan, antara sayatan yang satu dengan yang lainnya tidak dihubungkan secara langsung tetapi membuat batas terluar endapan secara linear (Gambar 2.11) (Erihartanti dkk., 2015).



Gambar 2.11 Metode *cross section* dengan pedoman *rule of nearest point* (Erihartanti dkk., 2015)

Persamaan (2.4) bawah ini merupakan bentuk dari persamaan *mean area* dengan *rule of nearest point* (Erihartanti dkk., 2015):

$$V = P \times (d1 + d2) \quad (2.4)$$

Keterangan : V : Volume (m³)

P : Luas penampang 1 dan 2 (m²)

d1 : Setengah jarak antara sayatan a dengan sayatan sebelumnya (m)

d2 : Setengah jarak antara sayatan a dengan sayatan berikutnya (m)

Setelah menghitung volume penampang seam maka selanjutnya menghitung sumberdaya batubara dengan persamaan 2.5 dibawah ini :

$$SD = BJ \times t \times V \quad (2.5)$$

Keterangan : SD : Sumberdaya (ton)

BJ : Berat jenis batubara (1,3 ton/m³) jenis bituminus

t : Tebal rata-rata lapisan

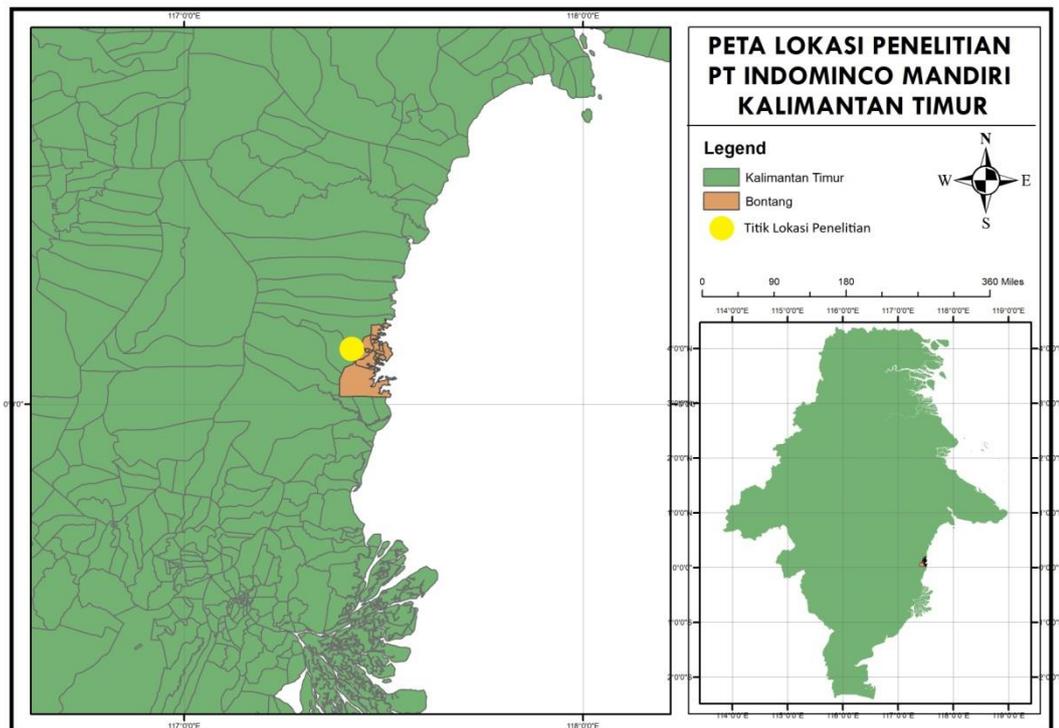
V : Volume

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di kawasan tambang PT. Indominco Mandiri Kalimantan Timur P23 WB. Jumlah sumur bor yang digunakan sebanyak 6 titik dengan kedalaman yang bervariasi (Gambar 3.1). Dalam pelaksanaan pengolahan data dilakukan di Laboratorium Geofisika Padat, Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian