

Skripsi Geofisika

**Analisis Karakteristik Lapisan dan Estimasi Sumberdaya
Batubara berdasarkan Data *Well Logging*
(Studi Kasus Musi Banyuasin, Sumatera Selatan)**



Octaviena Agnes Pasulle

H221 14 304

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2019



Skripsi Geofisika

**Analisis Karakteristik Lapisan dan Estimasi Sumberdaya
Batubara berdasarkan Data *Well Logging*
(Studi Kasus Musi Banyuasin, Sumatera Selatan)**



Octaviena Agnes Pasulle

H221 14 304

PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2019



**Analisis Karakteristik Lapisan dan Estimasi Sumberdaya
Batubara berdasarkan Data *Well Logging*
(Studi Kasus Musi Banyuasin, Sumatera Selatan)**

Skripsi untuk melengkapi tugas tugas dan memenuhi
syarat untuk mencapai gelar sarjana



Octaviena Agnes Pasulle

H221 14 304

PROGRAM STUDI GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2019



**Analisis Karakteristik Lapisan dan Estimasi Sumberdaya
Batubara berdasarkan Data *Well Logging*
(Studi Kasus Musi Banyuasin, Sumatera Selatan)**

Oleh

Octaviana Agnes Pasulle

H221 14 304

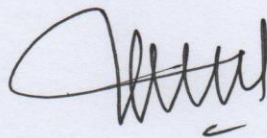
**Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Ujian Guna Memperoleh Gelar Sarjana
Sains Program Pendidikan Sarjana Program Studi Geofisika ini
Telah Disetujui Oleh Tim Pembimbing Pada Tanggal Seperti Tertera
Dibawah Ini**

Makassar, 2 Januari 2019

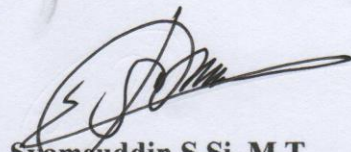
Disetujui Oleh :

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pertama,



Makhrani, S.Si, M.Si
NIP. 197202271998022002



Svamsuddin S.Si, M.T
NIP. 197401152002121001



Lembar Pernyataan Skripsi

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis saya, skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar sarjana di Universitas Hasanuddin.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan tim pembimbing dan masukan tim penguji.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Makassar, 2 Januari 2019

Yang membuat pernyataan,

(Octaviena Agnes Pasulle)

NIM : H221 14 304



ABSTRAK

Jumlah sumberdaya batubara di Indonesia sangat melimpah sehingga eksplorasi batubara perlu ditingkatkan guna memenuhi kebutuhan energi dalam negeri. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan kedalaman dan ketebalan lapisan batubara, karakteristik lapisan batubara yang menunjukkan lingkungan pengendapannya dan menghitung estimasi sumberdaya batubara dengan metode penampang vertikal (*Cross Section*). Pada penelitian ini digunakan metode *well logging* untuk eksplorasi batubara di daerah Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. Data yang diperoleh berupa data *log gamma ray* dan *log 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 menghitung estimasi sumberdaya batubara dengan metode *Cross Section*. Berdasarkan hasil analisis dan interpretasi diperoleh hasil keterdapatan lapisan batubara dari kedalaman $\pm 8 \text{ m} - 331 \text{ m}$ dan lapisan batubara yang paling tebal sebesar 9.40 m. Berdasarkan hasil analisis *log gamma ray*, lingkungan pengendapan lapisan batubara di daerah penelitian adalah daerah *fluvial channels* berupa daerah rawa. Estimasi sumberdaya batubara dihitung menggunakan metode *cross section* pedoman *rule of gradual changes* dengan persamaan *Mean Area*. Berdasarkan hasil penghitungan tersebut diperoleh hasil estimasi sumberdaya batubara di daerah penelitian sebesar 1.632.974,95 ton.

Kata Kunci : Batubara, *Cross Section*, Estimasi sumberdaya batubara, Karakteristik lapisan, *Log gamma ray*, *Log density*, *Mean Area*, *Rule of Gradual Changes*, *Well Logging*



ABSTRACT

The amount of coal resources in Indonesia is very abundant so coal exploration needs to be increased to fulfill domestic 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 Musi Banyuasin area, South Sumatera. 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 characteristics 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 resource estimates with the Cross Section method. Based on the results of analysis and interpretation, the results of the coal seams obtained from \pm 8 m - 331 m depth and the thickest coal seams is 9.40 m. Based on the results of gamma ray log analysis, the deposition environment of coal seams in the study area is fluvial channels in the form of swamps. Coal resource estimate was calculated using cross section 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 1,632,974.95 tons.

Keywords : Coal, Cross Section, Coal Resource Estimate, Seam Characteristics, Gamma ray log, Density log, Mean Area, Rule of Gradual Changes, Well Logging



KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus atas limpahan berkat dan pimpinan-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Analisis Karakteristik Lapisan dan Estimasi Sumberdaya Batubara berdasarkan Data *Well Logging* Studi Kasus Musi Banyuasin, Sumatera Selatan”**. Selama penulisan dan penyelesaian skripsi ini, tak terlepas dari berbagai rintangan dan hambatan, namun berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis dengan segenap kerendahan hati menghaturkan banyak terimakasih kepada orangtua penulis yang tercinta **Ibu Nengsi Sesa Paremassa** dan **Bapak Agus Pasulle** atas dukungan, doa, didikan dan kasih sayang yang diberikan. Serta seluruh keluarga dekat penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan dukungan dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini. Selanjutnya penulis ingin menghaturkan penghargaan yang setinggi – tingginya dan terimakasih sebesar – besarnya kepada :

1. **Ibu Makhrani, S.Si, M.Si** dan **Bapak Syamsuddin S.Si, M.T** selaku pembimbing utama dan pembimbing pertama yang selama penyusunan skripsi ini telah dengan sabar dan tulus dalam memberikan bimbingan serta menuntun penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
2. **Bapak Willy Hermawan, S.Si, MT**, selaku pembimbing penulis di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (Puslitbang tekMIRA) Bandung, telah memberikan kesempatan, ilmu pengetahuan dan bimbingan dalam menjalankan tugas akhir. Kepada **Ibu Jeny, Bapak Mardi** dan **Bapak Yuda** serta seluruh staf dan karyawan di Puslitbang tekMIRA yang juga memberikan ilmu serta pengalaman kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. **Bapak Dr. Muh. Altin Massinai, MT.Surv** dan **Bapak Sabrianto Aswad, S.Si, MT** selaku tim penguji skripsi yang telah memberikan saran dan masukan serta kritik yang membangun kepada penulis.



4. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin S.Si, M.Si** selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin sekaligus sebagai Penasehat Akademik yang banyak memberikan nasehat kepada penulis.
5. **Bapak Dr. Muh. Altin Massinai, MT.Surv** selaku Ketua Program Studi Geofisika FMIPA UNHAS.
6. Dosen-dosen pengajar yang telah sabar mengajarkan ilmunya serta memberi bimbingan selama perkuliahan.
7. Rekan - Rekan seperjuangan Tugas Akhir “Penghuni Setia Laboratorium Hidrometeorologi” ; **Kak Nur Arfah, Asyifa, Ila, Yushar, Nanna, Nur, Iswar, Tedi, Alkadri.**
8. Teman – teman angkatan Geofisika 2014; **Ariyadi, Akram, Iswar, Tedi, Ridho, Afril, Sidiq, Armin, Aslam, Awal, Ainul, Andris, Firman, Ade, Yaqin, Alm. Muballighulhaq, Reza, Arman, Bella, Putri, Ditha, DPR, Uni, Nur, Nanna, Risdha, Arin, Asyifa, Kima, Nunu, Diana, Rusmi, Inna, Alifka, Oci, Dewi, Riska, Anti, Fina, Musdalipa**
9. Saudari seperjuangan TA **Nuramila (Oci)** atas kebersamaannya hingga saat ini, doa, dukungan dan motivasi yang selalu diberikan kepada penulis
10. **Kak Harjumi, S.Si** atas bimbingannya selama ini sebagai tentor dan juga kakak yang selalu memberika nasehat dan motivasi
11. **Risel Dase Bata** teman SMA yang membantu penulis menangani masalah laptop dan software
12. **DONO Kamse’ (Deconga, Nopah, Ontaeya)** atas persahabatan, persaudaraan, dan kebersamaannya dalam segala hal, serta dukungan dan doa yang selalu diberikan
13. **Melisa Samban, S.Si** yang senantiasa memberikan saran dan motivasi serta doanya.
14. **Bersama Kita Bahagia (BKB): Dewi Putriyani Rachmat (DPR), Mutmainnah (Nanna), Rusmiati (Bu Kos), Krisdayanti (Risdatun), Nurhasanah Hamzah (Noer), A. St. Rafida (Acipong), Rosdiana (Diana), Nuramila (Oci)** atas kebersamaan dan kebahagiaan yang selalu diberikan



15. **KPA OMEGA Himafi FMIPA Unhas terkhusus DIKSAR XX** berjumlah 5 orang (**Kelompok Wanita Strong: Noer, Nurdiana, Kak Yaeni, Uni**) atas kerjasama dan kebersamaannya. **Salam Lestari Tetap Lestari**
16. **CIBI Smansara (SMAN 1 Rantepao) angkatan I sodara/i dengan jumlah 33 orang** atas kekeluargaan dan kebersamaan yang selalu terjalin dengan baik hingga saat ini
17. **MIPA Kristen 2014** atas dukungan dan doa yang senantiasa diberikan.
18. Adik-adik **MIPA Kristen 2015, 2016, 2017, 2018** atas kebersamaan, dukungan, doa, dan semangat yang telah diberikan kepada penulis
19. Keluarga Besar **GMKI Komisariat FMIPA Unhas** atas persekutuan yang boleh terjalin serta doa dan dukungannya
20. Teman-teman **Pengurus GMKI Komisariat FMIPA Unhas masa bakti 2015/2016, 2016/2017, dan 2017/2018** yang senantiasa mendoakan dan mendukung serta memberikan saran-saran dan motivasi
21. **KM FMIPA Unhas 2014** atas kebersamaannya selama menjalani proses. **Kita Semua Sama**
22. **Kakak-kakak panitia Bina Kader (2013), pengurus himpunan (2012), dan pengurus BEM (2011)** atas kebersamaan dan kekeluargaan yang telah diajarkan kepada kami
23. Kakak-kakak **Asisten Praktikum Geofisika** atas ilmu yang telah diberikan
24. Adik-adik **Geofisika 2015, 2016 dan 2017** atas doa dan dukungannya
25. Keluarga Besar **Himafi FMIPA Unhas terkhusus Resistan 2014 (Ariyadi, Armin, Iswar, Aswan, Taufik, Ainul, Akram, Indra, Alkadri, Awal, Sidiq, Tedi, Reza, Alm.Ballig, Firman, Yaqin, Nurdiana, Nur, Dina, Asyifa, Anna, Bella, Desy, Dewi, DPR, Nike, Ila, Mustakima, Nanna, Noviana, Nina, Oci, Erni, Putri, Risda, Riska, Rosdiana, Rusmi, Rusnianti, Tina, Uni, Uvi, Hafazhah, Ditha, Nurul, Aristiriany, Afni, Anti 11, Anti 13, Alifka, Radha, Nufi, Arin, Musdalipa)** atas kebersamaan

n kekeluargaan yang telah dibangun dan tetap setia bersama-sama dalam menjalani proses, percayalah kawan hasil tidak akan mengkhianati proses yang telah kita jalani. **Persaudaraan Tak Bertepi**



26. Teman sepengurusan **BEM FMIPA Unhas 2017/2018** atas kerjasama dan kebersamaannya selama satu periode. **Salam Use Your Mind Be The Best**
27. Teman – teman **KKN Tematik Pulau Miangas Gel. 96** berjumlah 67 orang yang telah mengarungi lautan bersama demi mengabdikan diri ke pulau terluar paling utara Indonesia
28. Kawan – kawan **European Association of Geoscientists and Engineers Unhas SC. We Learn to Know, We Know to Share, We Share cause We Care.**

Penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari para pembaca. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

“Apa pun juga yang kamu perbuat, perbuatlah dengan segenap hatimu seperti untuk Tuhan dan bukan untuk manusia (Kolose 3:23)”

Makassar, Januari 2019

Penulis



DAFTAR ISI

SAMPUL	
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENUNJUK SKRIPSI.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Ruang Lingkup	2
I.4 Tujuan Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II.1 Kondisi Geologis Pulau Sumatera	4
II.2 Geologi Regional Cekungan Sumatera Selatan	4
II. 3 Batubara di Indonesia	7
-jenis Batubara	8
isa Ketebalan Lapisan Batubara (Seam).....	14



II.6 Lingkungan Pengendapan Batubara	14
II.7 Karakteristik Batubara (Elektrofases).....	15
II.8 Sumberdaya Batubara	22
II.9 Metode <i>Well Logging</i>	24
II.10 Kombinasi <i>Log Gamma Ray</i> dan <i>Log Density</i>	29
II.11 Metode <i>Cross Section</i>	30
BAB III METODE PENELITIAN	33
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	33
III.2 Alat dan Bahan/Data	34
III.3 Tahapan Penelitian	34
III.3.1 Studi Pustaka/ Literatur	34
III.3.2 Pengambilan Data	35
III.3.3 Pengolahan Data	35
III.3.3.1 Menentukan Kedalaman dan Ketebalan tiap Lapisan Batubara	35
III.3.3.2 Menentukan Karakteristik Lapisan Batubara (Elektrofases).....	35
III.3.3.3 Membuat Penampang Hasil Gabungan Lapisan Batubara (Seam) Beberapa Sumur Bor	36
III.3.3.4 Menentukan Karakteristik Lapisan Batubara (Elektrofases).....	36
III.3.3.4 Menghitung Estimasi Sumberdaya Batubara pada tiap Sumur Bor yang Memiliki Seam Batubara yang Sama.....	36
III.4 Bagan Alir	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38

alaman dan Ketebalan Lapisan Batubara Tiap Sumur Bor

ebalan Lapisan Batubara Tiap Sumur Bor Berdasarkan Data *Core*



IV.3 Karakteristik Lapisan Batubara (Elektrofasies)	75
IV.3.1 Karakteristik SEAM I pada UCG 16, UCG 17 dan UCG 22	75
IV.3.2 Karakteristik SEAM II pada UCG 16, UCG 17, UCG 22, dan UCG 23...	75
IV.3.3 Karakteristik SEAM III pada UCG 14, UCG 15, UCG 22, dan UCG 23..	76
IV.3.4 Karakteristik SEAM XIII pada UCG 15, UCG 22.....	77
IV.4 Korelasi Sumur Bor UCG 22, 23, 14, 15 dan 16.....	78
IV.5 Penghitungan Sumberdaya Batubara	79
IV.5.1 Penghitungan Sumberdaya Batubara pada Zona A dan B dengan pedoman <i>rule of gradual changes</i>	82
IV.5.2 Penghitungan Sumberdaya Batubara pada Penampang 1, 2, 3 dan 4 dengan pedoman <i>rule of nearest point</i>	83
BAB V PENUTUP	86
V.1 Kesimpulan	86
V.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA.....	88
LAMPIRAN.....	91



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Cekungan Sumatera Tengah dan Sumatera Selatan	6
Gambar 2.2 Peta Geologi Regional Kabupaten Musi Banyuasin	9
Gambar 2.3 Penentuan Ketebalan dengan Menggunakan <i>Log Gamma Ray</i>	14
Gambar 2.4 Penentuan Ketebalan dengan Menggunakan <i>Log Density</i>	15
Gambar 2.5 Bentuk Kurva <i>Log Gamma Ray</i>	19
Gambar 2.6 Karakteristik <i>log</i> pada tiap batuan	21
Gambar 2.7 Litologi Batubara berdasarkan Data <i>Log Gamma Ray</i> , (a) probe yang dimasukkan ke dalam sumur bor, (b) respon lapisan batuan yang dilalui probe.....	26
Gambar 2.8 Litologi Batubara berdasarkan Data <i>Log Density</i> , (a) probe yang dimasukkan ke dalam sumur bor, (b) respon lapisan batuan yang dilalui probe.....	28
Gambar 2.9 Metode <i>cross section</i> dengan pedoman <i>rule of gradual changes</i>	30
Gambar 2.10 Metode <i>cross section</i> dengan pedoman <i>rule of nearest point</i>	31
Gambar 3.1 Peta Lokasi titik-titik pengeboran.....	33
Gambar 4.1 Litologi Sumur Bor UCG 14.....	46
Gambar 4.2 Ketebalan SEAM I pada UCG 16 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	61
Gambar 4.3 Ketebalan SEAM I pada UCG 17 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	62
Gambar 4.4 Ketebalan SEAM I pada UCG 22 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	63
Gambar 4.5 Ketebalan SEAM II pada UCG 16 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	64
Gambar 4.6 Ketebalan SEAM II pada UCG 17 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data (kanan)	64
Gambar 4.7 Ketebalan SEAM II pada UCG 22 16 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan (kanan)	65



Gambar 4.8 Ketebalan SEAM II pada UCG 23 berdasarkan data <i>log</i>	66
Gambar 4.9 Ketebalan SEAM III pada UCG 14 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	66
Gambar 4.10 Ketebalan SEAM III pada UCG 15 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	67
Gambar 4.11 Ketebalan SEAM III pada UCG 22 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	68
Gambar 4.12 Ketebalan SEAM III pada UCG 23 berdasarkan data <i>log</i>	69
Gambar 4.13 Ketebalan SEAM VII pada UCG 14 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	70
Gambar 4.14 Ketebalan SEAM VII pada UCG 15 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	70
Gambar 4.15 Ketebalan SEAM VII pada UCG 22 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	71
Gambar 4.16 Ketebalan SEAM VII pada UCG 23 berdasarkan data <i>log</i>	72
Gambar 4.17 Ketebalan SEAM XIII pada UCG 15 16 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	73
Gambar 4.18 Ketebalalan SEAM XIII pada UCG 22 16 berdasarkan data <i>log</i> (kiri) dan data <i>core</i> (kanan)	74
Gambar 4.19 Karakteristik Seam I pada UCG 16, 17 dan 22.....	75
Gambar 4.20 Karakteristik Seam II pada UCG 16, 17, 22, dan 23.....	75
Gambar 4.21 Karakteristik Seam III pada UCG 14, 15, 22, dan 23.....	76
Gambar 4.22 Karakteristik Seam VII pada UCG 14, 15, 22, dan 23.....	76
Gambar 4.23 Karakteristik Seam XIII pada UCG 15 dan 22.....	77
Gambar 4.24 Hasil Korelasi Lapisan Batubara di Area Penelitian.....	78
Gambar 4.25 Penampang Sumberdaya Batubara di Area Penelitian.....	80



DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Karakteristik <i>Log Gamma Ray</i> dan Densitas pada Beberapa Batuan.....	20
Tabel II.2 Karakteristik Respon <i>Gamma Ray</i>	21
Tabel II.3 Nilai Rapat Massa (Densitas) Batuan	22
Tabel IV.1 Kedalaman Lapisan Batubara pada Sumur Bor UCG 14.....	47
Tabel IV.2 Kedalaman Lapisan Batubara pada Sumur Bor UCG 15.....	49
Tabel IV.3 Kedalaman Lapisan Batubara pada Sumur Bor UCG 16.....	53
Tabel IV.4 Kedalaman Lapisan Batubara pada Sumur Bor UCG 17.....	54
Tabel IV.5 Kedalaman Lapisan Batubara pada Sumur Bor UCG 22.....	56
Tabel IV.6 Kedalaman Lapisan Batubara pada Sumur Bor UCG 23.....	59
Tabel IV.7 Keterdapatan Seam pada tiap Sumur Bor.....	79



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	: Peta Geologi Regional Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan.....	91
Lampiran 2	: Gambar Litologi Sumur Bor UCG 15	92
Lampiran 3	: Gambar Litologi Sumur Bor UCG 16.....	97
Lampiran 4	: Gambar Litologi Sumur Bor UCG 17.....	99
Lampiran 5	: Gambar Litologi Sumur Bor UCG 22.....	101
Lampiran 6	: Gambar Litologi Sumur Bor UCG 23.....	106
Lampiran 7	: Penghitungan Sumberdaya Batubara dengan pedoman <i>rule of gradual changes</i> menggunakan data <i>core</i>	111
Lampiran 8	: Penghitungan Sumberdaya Batubara dengan pedoman <i>rule of gradual changes</i> menggunakan data <i>log</i>	112
Lampiran 9	: Penghitungan Sumberdaya Batubara dengan pedoman <i>rule of nearest point</i>	113



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan sumberdaya alam yang melimpah seperti minyak, gas bumi, mineral dan bahan galian lainnya. Sumberdaya alam tersebut berperan penting sebagai sumber energi dalam memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia bahkan hingga ke luar negeri. Salah satu bahan galian yang terdapat di Indonesia dalam jumlah yang cukup besar adalah batubara. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) ada kenaikan total sumberdaya dan cadangan batubara nasional di tahun 2018. Sumberdaya batubara dari yang semula 125 miliar ton dan cadangan sebesar 25 miliar ton pada tahun 2017, meningkat menjadi sekitar 166 miliar ton sumberdaya dan 37 miliar ton cadangan (Kementrian ESDM, 2018). Potensi sumberdaya dan cadangan batubara yang sangat melimpah ini tersebar diberbagai pulau di Indonesia dan sebagian besar di Pulau Kalimantan dan Pulau Sumatera, serta sebagian kecil tersebar di beberapa lokasi di Pulau Jawa, Sulawesi dan Papua (Direktorat SDEM, 2018). Jenis batubara yang tersebar di seluruh Indonesia memiliki kualitas yang bervariasi yakni dari yang tingkat rendah, menengah hingga tingkat tinggi.

Kegiatan eksplorasi batubara secara rinci dapat mengubah status sumberdaya menjadi cadangan, sehingga umur pemanfaatan batubara Indonesia juga dapat terus meningkat. Tahapan eksplorasi dilakukan untuk menentukan kondisi litologi bawah

dan dengan menggunakan metode-metode geofisika. Metode geofisika adalah salah satu disiplin ilmu yang menggunakan parameter fisika dalam



berbagai metode pencarian sumber daya alam (Julkipli, 2015). Penelitian dengan menggunakan metode geolistrik dilakukan oleh Tony dan Sugeng (2008) dalam mengidentifikasi penyebaran dan ketebalan batubara di daerah Kutai Kertanegara, Kalimantan Timur. Selain metode geolistrik, metode geofisika lainnya yang sering digunakan dalam tahapan eksplorasi batubara adalah metode *Well Logging*. Penelitian dengan menggunakan metode *Well Logging* dilakukan oleh Julkipli (2015) dalam menentukan sebaran batubara di daerah blok X pulau Laut Tengah Kabupaten Kota Baru. Data-data kedalaman dan ketebalan dari lapisan batubara yang didapatkan oleh peneliti tersebut kemudian dimodelkan dan digunakan dalam menghitung sumberdaya batubara di daerah penelitian.

Sumberdaya energi semakin menipis seiring dengan bertambahnya kebutuhan manusia akan energi. Pencarian energi alternatif baru menjadi penting dilakukan dalam mengamankan pasokan kebutuhan energi masa yang akan datang. Salah satunya beralih kepada batubara. Selain karena jumlahnya yang sangat besar juga karena harganya yang relatif murah sehingga dapat menjadi sumber energi yang bertahan lama dan juga menunjang peningkatan sumber pendapatan negara.

Peningkatan eksplorasi batubara perlu dilakukan guna memanfaatkan sumber daya yang telah tersedia, sehingga pemenuhan pasokan energi ke seluruh pelosok tanah air dapat tercapai. Dari uraian yang telah dikemukakan di atas penulis tertarik untuk melakukan penelitian terkait dengan kedalaman lapisan batubara yang merujuk pada keterdapatannya di bawah permukaan, karakteristik lapisan batubara yang akan memberikan informasi mengenai lingkungan pengendapan, serta

tiap lapisan batubara yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan sumber daya batubara. Daerah yang menjadi studi kasus dalam penelitian



ini adalah daerah Macang Sakti, Musi Banyuasin, Palembang, Sumatera Selatan. Pada daerah ini terdapat endapan batubara yang tersingkap sebanyak 20 singkapan, dengan lebar singkapan bervariasi antara 1 m – 32 m dan arah penyebaran lapisan batubara relatif baratlaut – tenggara (Huda, 2016).

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana kedalaman dan ketebalan lapisan batubara di area penelitian?
2. Bagaimana karakteristik lapisan batubara yang menunjukkan lingkungan pengendapannya?
3. Bagaimana menghitung estimasi sumberdaya batubara dengan metode penampang vertikal (*Cross Section*)?

I.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini yaitu pada penentuan kedalaman, ketebalan dan karakteristik lapisan batubara yang merujuk pada lingkungan pengendapan, serta perhitungan estimasi sumberdaya batubara yang terdapat dari hasil gabungan lapisan batubara pada 6 titik bor menggunakan metode penampang vertikal (*Cross Section*) dengan pedoman *rule of gradual changes* persamaan *Mean Area*.



I.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini:

1. Menentukan kedalaman dan ketebalan lapisan batubara di area penelitian
2. Menentukan karakteristik lapisan batubara yang akan menunjukkan lingkungan pengendapannya
3. Menghitung estimasi sumberdaya batubara dengan metode penampang vertikal (*Cross Section*)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kondisi Geologis Pulau Sumatera

Perkembangan struktur Sumatera secara umum dikaitkan dengan dua lempeng kerak bumi, yakni Lempeng Benua Eurasia dan Lempeng Samudera Hindia. Interaksi kedua lempeng ini mengakibatkan deformasi kuat pada kompleks batuan berumur Mesozoikum dan Paleozoikum sepanjang Pegunungan Barisan yang terletak agak sisi barat Pulau Sumatera. Di sebelah timur Pegunungan Barisan, pada sisi barat Paparan Sunda, sederet cekungan Tersier berkembang, dan salah satu yang terkenal dengan potensi batubara yang prospektif adalah Cekungan Sumatera Selatan. Selain itu, cekungan antargunung Ombilin terbentuk di sisi barat pulau ini. Cekungan sedimen pembawa batubara yang potensial di Sumatera terdapat di cekungan-cekungan antargunung Paleogen, busur belakang Neogen, dan delta Neogen (Santoso, 2014).

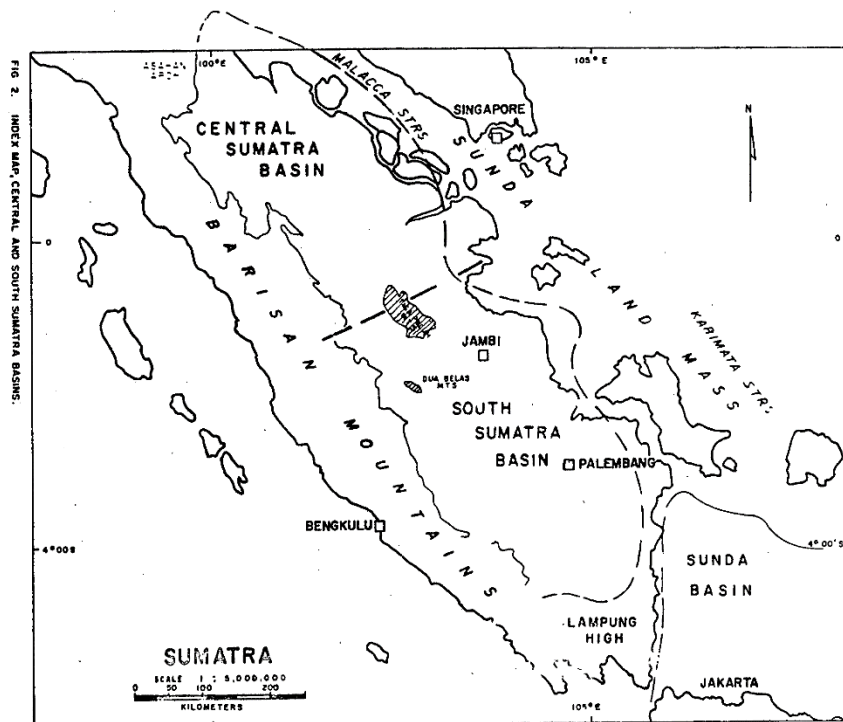
Genang laut (transgresi) yang terjadi pada zaman Tersier di Sumatera biasanya didahului oleh perkembangan cekungan antargunung Paleogen. Selanjutnya fenomena ini berlanjut pada sesar-sesar blok yang diisi oleh sedimen nonmarin. Sekalipun demikian, beberapa sedimen marin terjadi pada awal Eosen. Lapisan-lapisan batubara yang terbentuk dalam cekungan ini berselang-seling dengan endapan-endapan lakustrin, fluviatil, dan endapan pantai. Penyebaran lapisan-lapisan batubara ini sangat terbatas secara lateral, tetapi banyak sekali lapisan

yang ditemukan dalam sekuen stratigrafis pembawa batubara. Cekungan lakang berumur Neogen yang berkembang dengan sedimentasi marin



klastik terbentuk di atas batuan sedimen Paleogen, dengan membentuk ketidakselarasan alas setempat-setempat (Koesomadinata, 1978 dalam Santoso, 2014). Siklus sedimentasi marin ini terhenti dengan sekuen susut laut, dan daerah rawa luas berkembang dan menghasilkan endapan-endapan batubara yang tersebar luas, seperti yang terjadi di Cekungan Sumatera Selatan (Santoso, 2014).

II.2 Geologi Regional Cekungan Sumatera Selatan



Gambar 2.1 Cekungan Sumatera Tengah dan Sumatera Selatan (De Coster, 1974)

Cekungan Sumatera Selatan merupakan Cekungan Tersier belakang busur, mengarah tenggara-baratlaut yang dibatasi oleh sesar Semangko dan Pegunungan Bukit Barisan sebelah baratdaya, Paparan Sunda di sebelah timurlaut, Tinggian di sebelah tenggara yang memisahkan dengan Cekungan Sunda, serta Pegunungan Duabelas dan Pegunungan Tigapuluh yang memisahkan dengan Cekungan Sumatera Tengah (Gambar 2.1) (De Coster, 1974; Pratiwi, 2013).



Tatanan stratigrafi cekungan Sumatera Selatan pada dasarnya terdiri dari satu siklus besar sedimentasi dimulai dari fase transgresi pada awal siklus dan fase regresi pada akhir siklusnya (Huda, 2016). Stratigrafi Regional cekungan Sumatera Selatan dijelaskan (De Coster, 1974 dalam Pratiwi, 2013 dan Huda, 2016) sebagai berikut:

1) **Batuan Dasar (*Basement*)**

Batuan Dasar Cekungan Sumatera Selatan terdiri dari batuan metamorf dan batuan karbonat berumur paleozoik – mesozoik, serta batuan beku berumur Mesozoik.

2) **Formasi Lahat (*Tpol*)**

Formasi ini diendapkan secara tak selaras di atas batuan Pra-Tersier pada kala Paleosen-Oligosen Awal di lingkungan darat. Formasi Lahat terdiri dari batupasir tuffaan, konglomerat, breksi, andesit, serpih, batulanau, batupasir, batulempung dan batubara.

3) **Formasi Lemat (*Tol*)**

Formasi ini berumur Oligosen Akhir yang terdiri dari tuffa, batupasir, batulempung dan breksi.

4) **Formasi Talang Akar (*Tomt*)**

Formasi ini secara lokal diendapkan langsung diatas Formasi Lemat atau diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Lahat pada kala Oligosen Akhir-Miosen Awal di lingkungan fluviatile sampai laut dangkal. Formasi Talang Akar terdiri dari batupasir butir kasar-sangat kasar, batulanau dan batubara.



5) **Formasi Baturaja (Tmb)**

Formasi ini diendapkan secara selaras di atas Formasi Talang Akar pada kala Miosen Awal di lingkungan litoral sampai neritik. Formasi Baturaja terdiri dari batugamping terumbu, serpih gampingan dan napal.

6) **Formasi Gumai (Tmg)**

Formasi ini biasa disebut juga Formasi Telisa dan diendapkan selama terjadi transgresi maksimum (di lingkungan laut dalam) pada kala Miosen Awal – Miosen Tengah dan berkembang dengan baik ke seluruh Cekungan Sumatera Selatan. Formasi Gumai terdiri dari serpih gampingan dan serpih lempungan.

7) **Formasi Palembang Bawah/ Air Benakat (Tma)**

Formasi ini terjadi pada saat penyusutan air laut dan terendapkan secara selaras diatas Formasi Gumai pada kala Miosen Tengah – Miosen Akhir di lingkungan neritik sampai laut dangkal. Formasi Palembang Bawah terdiri perselingan batulempung dan batulanau, serpih dan karbonan.

8) **Formasi Muara Enim (Tmpm)**

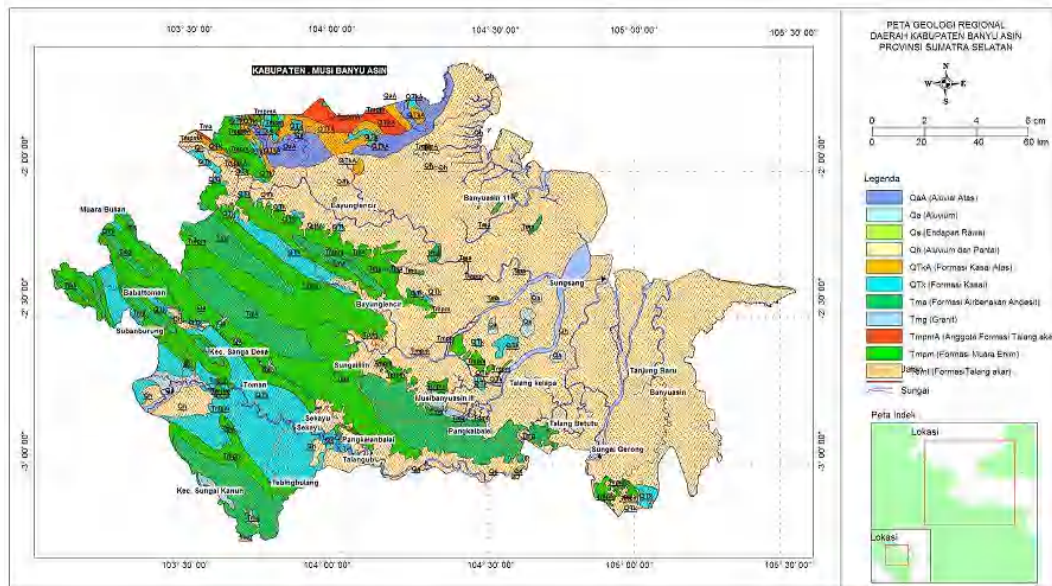
Formasi ini disebut juga sebagai Formasi Palembang Tengah yang diendapkan secara selaras di atas Formasi Air Benakat pada kala Miosen dilingkungan paludal (rawa), delta dan bukan laut. Formasi Muara Enim terdiri dari batulempung, serpih, batupasir yang berkomposisi mineral-mineral glaukonit, batulanau dan batubara.

9) **Formasi Kasai (Qtk)**

Formasi ini merupakan formasi termuda dan biasa disebut juga Formasi Palembang Atas. Formasi ini diendapkan di lingkungan darat pada kala



Pliosen Akhir – Plistosen Awal. Formasi Kasai terdiri dari batulempung dan batulempung tufaan, batupasir tufaan, dan tufa, yang merupakan produk erosi dari pengangkatan Pegunungan Bukit Barisan dan Pegunungan Tigapuluh.



Gambar 2.2 Peta Geologi Regional Kabupaten Musi Banyuasin (Huda, 2016)

Kabupaten Musi Banyuasin mempunyai topografi yang bervariasi berupa dataran rendah, bergelombang serta pegunungan. Secara umum morfologi daerah Kabupaten Musi Banyuasin dapat dikelompokkan menjadi 4 zona morfologi yaitu: Pegunungan, Perbukitan Batuan Intrusi dan Endapan Masam, Dataran Rendah, Dataran bergelombang dan rawa yang tersusun oleh endapan sungai dan *backswamps*. Daerah penelitian dalam hal ini kecamatan Sanga Desa termasuk dalam Formasi Muara Enim (Tpm) yang merupakan formasi pembawa batubara

Miosen Akhir sampai Pliosen dan Formasi Kasai (QTK) yang berumur sampai Pleistosen (Gambar 2.2 dapat lebih jelas dilihat pada lampiran 1) pengkungan pengendapan paralik sampai darat (Huda, 2016).



II.3 Batubara di Indonesia

Batubara adalah bahan bakar fosil. Batubara dapat terbakar, terbentuk dari endapan, batuan organik yang terutama terdiri dari karbon, hidrogen dan oksigen (World Coal Institute, 2005). Batubara merupakan komponen yang sangat penting dalam sumberdaya energi dunia, dan diharapkan dapat memainkan peran penting dalam pemenuhan energi pada masa mendatang yang dapat diduga (Srinaiah, 2018). Batubara merupakan salah satu jenis bahan bakar fosil yang berasal dari endapan jasad renik tumbuhan prasejarah berumur ratusan juta tahun. Selain digunakan sebagai bahan bakar, batubara juga dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dan dalam dunia perindustrian seperti produksi besi/baja (Santoso, 2014). Menurut Akbari (2014), batubara merupakan terminologi masyarakat yang dipergunakan untuk menyebut semua sisa tumbuhan yang telah menjadi fosil yang bersifat padat, berwarna gelap, dan dapat dibakar.

Pembentukan batubara dimulai sejak *Carboniferous Period* (Periode Pembentukan Karbon) 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 lignit (batubara muda) atau ‘*brown coal* (batubara coklat)’. 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

selama jutaan tahun, batubara muda mengalami perubahan yang secara menambah maturitas organiknya dan mengubah batubara muda menjadi



batubara ‘sub-bituminus’. Perubahan kimiawi dan fisika terus berlangsung hingga batubara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam dan membentuk ‘bituminus’ atau ‘antrasit’. Dalam kondisi yang tepat, peningkatan maturitas organik yang semakin tinggi terus berlangsung hingga membentuk antrasit (World Coal Institute, 2005).

Proses terbentuknya batubara juga dijelaskan oleh Santoso (2014) dimana berbagai tanaman yang mati akan terurai di dalam tanah dan mulai terendapkan seiring berjalannya waktu hingga menjadi endapan gambut. Endapan gambut terbentuk dalam rawa-rawa di sekitar aliran sungai dan delta dalam rawa-rawa di sekitar aliran sungai dan delta. Dengan semakin dalamnya timbunan sisa tanaman, proses utama yang terjadi adalah proses geokimiawi. Pada proses ini sudah terjadi pematangan batubara, yaitu perubahan gambut menjadi lignit hingga mencapai antrasit. Proses ini sering disebut juga dengan pematubaraan dan penyebabnya meliputi suhu, waktu dan tekanan.

Faktor pertama yang memengaruhi pematubaraan adalah suhu. Dalam keadaan normal, pematangan bahan organik menjadi semakin cepat seiring dengan kedalaman endapannya. Hal ini terjadi karena semakin dalam posisi lapisan batubara, semakin panas pula suhu bumi. Pematangan bahan organik juga terjadi apabila terdapat sumber panas dari luar, seperti intrusi magma, sirkulasi larutan hidrotermal, dan panas gesekan (sesar) atau tektonik.

Faktor kedua yang memengaruhi pematubaraan adalah waktu. Apabila terjadi waktu pemanasan yang lama, tingkat pematubaraan yang dihasilkan akan lebih

dengan demikian dapat dikatakan, secara umum batubara yang lebih tua, yaitu tingkat pematubaraan yang tinggi. Waktu yang diperlukan untuk



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

Faktor ketiga yang memengaruhi pembatubaraan adalah 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.

Batubara terdapat diberbagai negara dan dimanfaatkan sebagai sumber energi di negara tersebut termasuk di Indonesia dan tersebar diberbagai pulaunya. Indonesia merupakan salah satu negara produsen batubara. Sebagaimana laporan dari Badan Geologi Kementerian ESDM yang dikeluarkan pada 2013 lalu disebutkan, Indonesia memiliki cadangan batubara 31 milyar ton, dimana 64 persennya merupakan batubara dengan kadar kalori sedang (5.100 sampai 6.100 kal/gr), dan 30 persennya terdiri dari batu bara kalori rendah (di bawah 5.100 kal/gr), sisanya sebanyak 1 persen berkalori tinggi yakni 6.100 sampai 7.100 kal/gr dan kalori sangat tinggi di atas 7.100 kal/gr. Dari potensi tambang batubara sebesar 161 miliar ton di indonesia, 53 persen berada di pulau Sumatera dan hanya 47 persen berada di pulau Kalimantan. Namun saat ini 92 persen eksplorasi dan eksploitasi batubara terdapat di wilayah Kalimantan, sedangkan di Sumatera hanya 8 persen (Gunara, 2017). Kementerian ESDM mencatat ada peningkatan jumlah potensi sumberdaya dan cadangan batubara pada 2018 yakni sebesar 166 miliar ton sumberdaya dan 37 miliar ton cadangan (Kementrian ESDM, 2018). Cadangan batubara ini sebagian besar tersebar di beberapa lokasi utama, yaitu Sumatera Barat,

Sumatera Selatan serta Kalimantan Timur dan Selatan, dan beberapa lokasi



lainnya. Sedangkan potensi cadangan batubara yang belum tereksplorasi masih cukup besar (Gunara, 2017).

II.4 Jenis-jenis Batubara

Jenis batubara berhubungan erat dengan komposisi maseral (bahan organik penyusun batubara) dan mineral pembentuk batubara. Peringkat batubara berasosiasi dengan komposisi unsur karbon penyusunnya, yakni semakin tinggi kandungan unsur karbon, semakin tinggi pula peringkat batubaranya, dan sebaliknya. Antrasit merupakan peringkat tertinggi batubara sedangkan lignit merupakan batubara berperingkat paling rendah (Santoso, 2014).

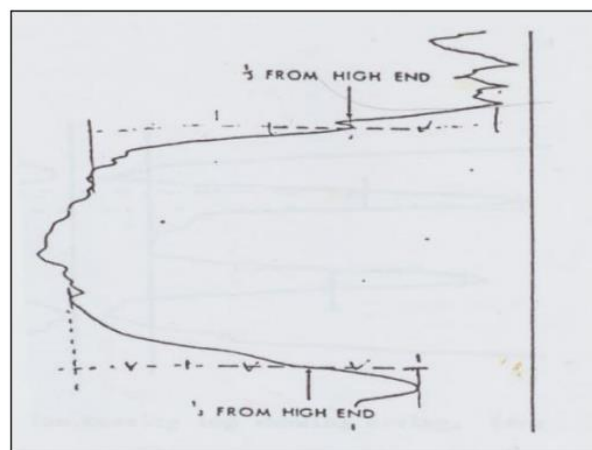
Tingkat perubahan yang dialami batubara dari gambut sampai menjadi antrasit disebut sebagai “pengarangan” yang berhubungan dengan tingkat mutu batubara. Batubara dengan mutu yang rendah, seperti batubara muda dan sub-bituminus biasanya lebih lembut dengan materi yang rapuh dan berwarna suram seperti 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 dan 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,



II.5 Analisa Ketebalan Lapisan Batubara (Seam)

Seam adalah lapisan batubara dengan kata lain suatu pelapisan tipis bila dibandingkan dengan tebalnya batuan di suatu wilayah geologi yang dapat terbagi menjadi 2 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).

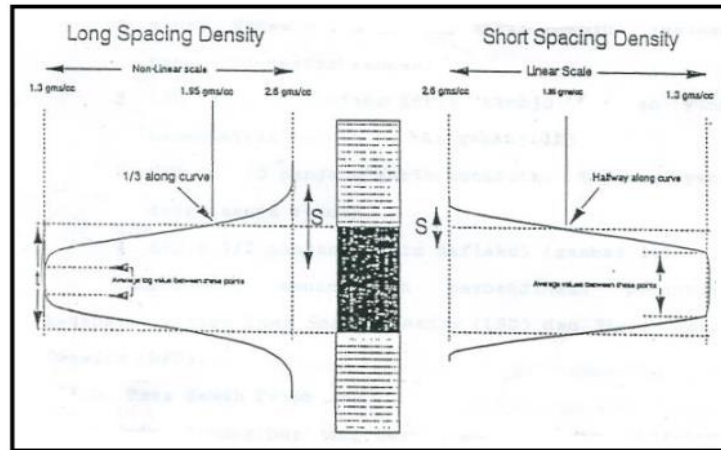
Penentuan ketebalan lapisan batubara biasanya menggunakan kombinasi beberapa *log* yakni *Density log*, *Gamma Ray log*, dan *Caliper*. *Log* dibuat secara khusus untuk menghasilkan kombinasi *log* yang dapat digunakan untuk menentukan ketebalan batubara. *Density log* dibagi atas dua tipe yaitu *Long Spacing Density (LSD)* dan *Short Spacing Density (SSD)*. Tipe *log* Densitas yang digunakan dalam menentukan ketebalan pada lapisan batubara adalah *log LSD*. Menurut Akbari (2014), batasan untuk setiap *log* berbeda-beda yakni untuk *log Gamma Ray* = $\frac{1}{3}$ panjang garis menuju lapisan yang berdensitas rendah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 di bawah ini:



Gambar 2.3 Penentuan Ketebalan dengan Menggunakan *Log Gamma Ray* (BPB Manual, 1981 dalam Akbari, 2014)



Penarikan garis batas untuk *log* Densitas dibagi atas dua sesuai dengan tipenya yakni untuk *log* LSD = 1/3 panjang garis menuju lapisan yang berDensitas rendah dan untuk *log* SSD = 1/2 panjang garis defleksi (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Penentuan Ketebalan dengan Menggunakan *Log Density* (Robertson Research Engineering, 1984 dalam Akbari, 2014)

Setelah menentukan batas atas dan batas bawah dari lapisan batubara, maka selanjutnya ketebalan dari lapisan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan II.1 yakni:

$$\text{Ketebalan Lapisan} = \text{Batas bawah} - \text{Batas atas} \quad (\text{II.1})$$

II.6 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 (Santoso, 2014). Berikut penjelasan mengenai berbagai lingkungan pengendapan tersebut:

... sungai teranyam berkerikil meliputi hulu sungai, gundukan berkerikil, alur ...
... gai, 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 sangat berpengaruh terhadap penyebaran lateral, ketebalan, komposisi, dan kualitas batubara (Diessel, 1992 dalam Santoso, 2014). Secara umum pengendapan batubara terdapat pada lingkungan sungai teranyam (*braided stream*), sungai berkelok-kelok (*meandering stream*), pantai, dan delta. Dalam kondisi normal, pada lingkungan sungai teranyam, endapan batubara terbentuk pada kondisi aerobik (berhubungan langsung dengan udara), berwarna hitam kusam, tipis, berasosiasi dengan batuan sedimen klastik kasar, dan bercampur mineral lempung dan kuarsa, serta jarang terdapat pirit. Pada sungai berkelok-kelok, endapan batubara terbentuk dalam kondisi anaerobik (di bawah permukaan air), berwarna hitam mengilap, relatif tebal, tersebar luas secara lateral, berasosiasi dengan batuan sedimen klastik halus-sedang, dan bercampur dengan mineral lempung dan kuarsa, serta mengandung sedikit pirit. Contoh batubara ini terdapat

di Muara Enim berumur Mio-Pliosen, Cekungan Sumatera Selatan, di kitar Muara Enim.



Endapan batubara yang terbentuk pada lingkungan pantai umumnya berwarna hitam kusam-mengilap, relatif tipis, tersebar luas secara mendatar, berasosiasi dengan batuan sedimen klastik halus-kasar, mengandung mineral pirit, kalsit dan kuarsa. Endapan batubara yang terendapkan pada lingkungan delta umumnya berwarna hitam mengilap, berlapis tebal dan tersebar luas, berasosiasi dengan batuan sedimen klastik halus, mengandung mineral pirit, kalsit, dan kuarsa (Santoso, 2014).

Lingkungan pengendapan dapat ditentukan melalui bentuk kurva *log Gamma Ray* karena bentuk *log* merujuk pada ukuran butir dari lapisan batuan (Selley, 1978 dalam Nazeer, 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 (2016) menggunakan data *log Gamma Ray* dan seismic untuk mempelajari proses sedimentasi batupasir di Irlandia. Begitupula dengan Chow dkk (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, 2016).

II.7 Karakteristik Batubara (Elektrofasies)

Elektrofasies adalah prinsip dasar dalam mengidentifikasi gambar *log* yang asosiasi dengan lingkungan pengendapan atau asosiasi lingkungan pengendapan sumur yang berbeda (Schmitt, 2012). Elektrofasies dianalisis dari pola



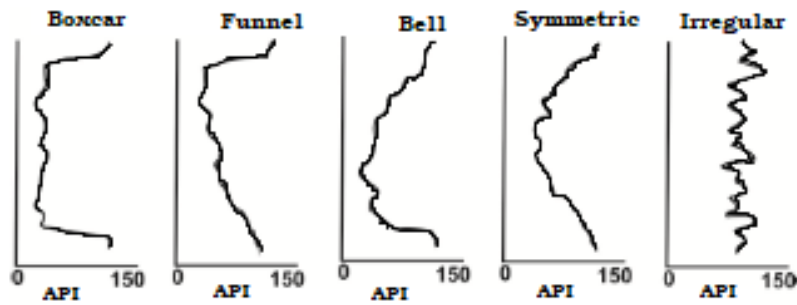
kurva *log Gamma Ray (GR)*. Menurut R.C. Selley (1978), *Gamma Ray* mencerminkan variasi dalam satu suksesi ukuran besar butir. Secara umum ada 5 pola respon dari *log Gamma Ray (GR)* menurut D.J. Cant (1992) dalam Setiahadwibowo (2016) yakni (Gambar 2.5):

- a. *Boxcar/Cylindrical*: pada *log Gamma Ray* atau *log Self Potential* dapat menunjukkan sedimen tebal dan homogen yang dibatasi oleh pengisian *channel* dengan kontak yang tajam. Berdasarkan Cant (1992) dan Selley (1978) dalam Nazeer (2016) bentuk ini menunjukkan lingkungan pengendapan: *Aeolian (sand dunes), fluvial channels, carbonate shelf (thick carbonate), reef, submarine canyon fill, tidal sands, prograding delta distributaries*.
- b. *Funnel shape*: menunjukkan pengasaran regresi atas yang merupakan bentuk kebalikan dari bentuk *bell*. Berdasarkan Cant (1992) dan Selley (1978) dalam Nazeer (2016) bentuk ini menunjukkan lingkungan pengendapan: *Crevasse splay, river mouth bar, delta front, shoreface, submarine fan lobe*.
- c. *Bell shape*: menunjukkan penghalusan ke arah atas, kemungkinan akibat pengisian *channel*. Berdasarkan Cant (1992) dan Selley (1978) dalam Nazeer (2016) bentuk ini menunjukkan lingkungan pengendapan: *Fluvial point bar, tidal point bar, deltaic distributaries, proximal deep sea*.
- d. *Symmetrical – Asymmetrical shape*: merupakan kombinasi antara bentuk *bell-funnel*. Kombinasi ini dihasilkan dari proses bioturbasi. Berdasarkan Cant (1992) dan Selley (1978) dalam Nazeer (2016) bentuk ini menunjukkan

lingkungan pengendapan: *Sandy offshore bar, transgressive shelf sands and tidal flats environment*.



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



Gambar 2.5 Bentuk Kurva Log Gamma Ray (Setiahadiwibowo, 2016)

Setiap pola elektrofasis seperti pada gambar di atas menunjukkan adanya perbedaan lingkungan pengendapan. Secara umum lingkungan pengendapan berpengaruh pada kualitas lapisan batubara, akan tetapi secara khusus yang lebih berpengaruh adalah genesa dari komponen kualitas yang ada dalam batubara, litologi lapisan batubara, dan asosiasi dengan mineral lain (Setiahadiwibowo, 2016).

Penentuan litologi pada setiap kedalaman di bawah permukaan bumi dilakukan dengan cara interpretasi data *log* geofisika yang didapatkan dari hasil penelitian di lapangan. Data yang digunakan dalam analisis elektrofasis adalah data *log Gamma Ray* dan data bor yang telah dikoreksi posisi kedalaman batuanannya berdasarkan data perekaman yang telah dilakukan (Syaeful, 2017). Setiap lapisan batuan memiliki respon yang berbeda-beda pada kurva *log*, karenanya jenis litologi pada tiap

di bawah permukaan dapat ditentukan. Karakteristik *log Gamma Ray* dan dari beberapa batuan adalah sebagai berikut (Setiahadiwibowo, 2016):



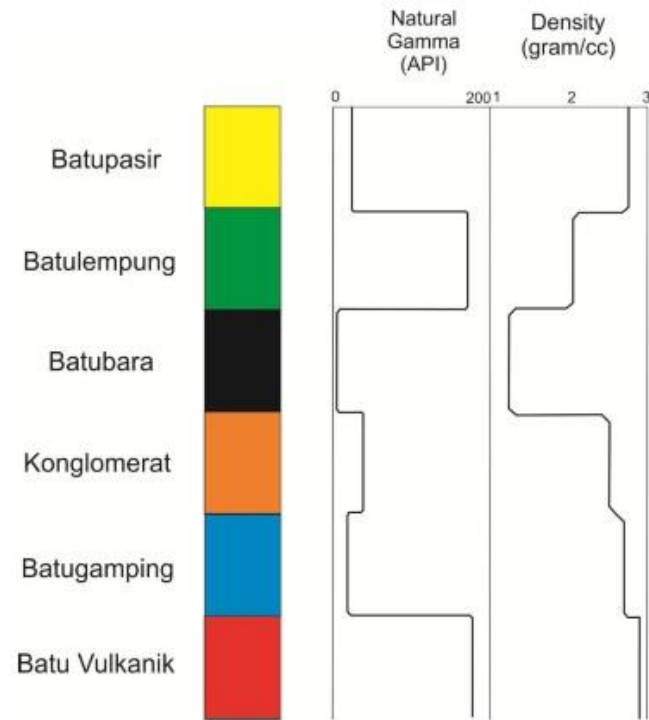
Tabel II.1 Karakteristik *Log Gamma Ray* dan Densitas pada Beberapa Batuan

No.	Jenis Batuan	Nilai <i>Gamma Ray</i>	Nilai Densitas
1.	Batupasir	Agak Rendah	Menengah – Tinggi
2.	Batulempung	Menengah	Menengah
3.	Batubara	Rendah	Rendah
4.	Konglomerat	Menengah	Menengah
5.	Batugamping	Rendah	Menengah – Tinggi
6.	Batuan Vulkanik	Tinggi	Tinggi

(Sumber: Setiahadwibowo, 2016)

Nilai *Gamma Ray* dan Densitas pada beberapa batuan tersebut ditunjukkan melalui bentuk atau pola kurva pada *log Gamma Ray* dan juga *log Densitas*. Jika pola kurva *log* mengarah ke kiri maka disimpulkan bahwa batuan tersebut memiliki nilai yang rendah, sebaliknya jika mengarah ke kanan maka nilai batuan tersebut tinggi sesuai dengan *log* yang terkait. Penjelasan yang lebih rinci dari Tabel II.1 dapat dilihat pada Gambar 2.6 yang menunjukkan pola kurva pada *log Gamma Ray* dan *log Densitas* pada beberapa batuan.





Gambar 2.6 Karakteristik log pada tiap batuan (Setiahadiwibowo, 2016)

Batuan-batuan yang terdapat di bawah permukaan memiliki nilai tingkat radioaktif yang berbeda-beda sesuai dengan unsur radioaktif yang terkandung dalam lapisan batuan, seperti yang ada dalam Tabel II.2 di bawah ini:

Tabel II.2 Karakteristik Respon *Gamma Ray*

No.	Tingkat Radioaktif (API)	Jenis Batuan
1.	0 - 32,5	Anhidrit, Salt, Batubara
2.	32,5 – 60	Batupasir, Batugamping, Dolomit
3.	60 – 100	Lempung, Granit
4.	> 100	Batuserpih, Abu Vulkanik, Betonit

ber: Erihartanti dkk, 2015)



Batuan-batuan yang terdapat di bawah permukaan memiliki nilai rapat massa atau densitas yang berbeda-beda, seperti yang ada dalam Tabel II.3 di bawah ini:

Tabel II.3 Nilai Rapat Massa (Densitas) Batuan

No.	Jenis Batuan	Densitas (gr/cc)
1.	Batupasir	2,65
2.	Batukapur	2,71
3.	Dolomit	2,87
4.	Anhidrit	2,96
5.	Antrasit	1,4 - 1,8
6.	Bituminus	1,2 - 1,5

(Sumber: Erhartanti dkk, 2015)

II.8 Sumberdaya Batubara

Sumberdaya adalah jumlah atau kuantitas bahan galian yang terdapat di permukaan atau di bawah 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 di dalam perut bumi dapat

dari sejumlah indikasi adanya bahan galian tersebut di permukaan bumi.

seperti demikian memberikan kesempatan kepada para ahli untuk
 an penyelidikan lebih lanjut, baik secara geologi, geofisika, pemboran



maupun lainnya. Namun penyelidikan secara geologi belum dapat memberikan informasi mengenai bahan galian tersebut secara teliti baik kuantitas maupun kualitasnya, tetapi sudah dapat dikategorikan adanya sumberdaya (*resource*). Bila penyelidikan dilakukan secara lebih teliti, yaitu dengan menggunakan berbagai macam metode geofisika, geokimia, pemboran dan lainnya, maka bahan galian tersebut sudah dapat diketahui dengan lebih pasti, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Batubara adalah bagian dari endapan batubara yang diharapkan dapat dimanfaatkan dan diolah lebih lanjut secara ekonomis. Sumberdaya ini dapat meningkat menjadi cadangan setelah dilakukan kajian kelayakan dan dinyatakan untuk ditambang secara ekonomis sesuai dengan teknologi yang ada (Erihartanti, 2015).

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI, 2011), sumberdaya batubara dibagi sesuai dengan tingkat kepercayaan geologi ke dalam kategori:

1) Sumberdaya Batubara Tereka (*Inferred Coal Resource*): merupakan bagian dari total estimasi sumberdaya batubara yang kualitas dan kuantitasnya hanya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan yang rendah. Titik informasi yang mungkin didukung oleh data pendukung tidak cukup untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan/atau kualitasnya. Estimasi dari kategori kepercayaan ini dapat berubah secara berarti dengan eksplorasi lanjut.

2) Sumberdaya Batubara Tertunjuk (*Indicated Coal Resource*): merupakan bagian dari total sumberdaya batubara yang kualitas dan kuantitasnya dapat

perkirakan dengan tingkat kepercayaan yang masuk akal, didasarkan pada informasi yang didapatkan dari titik-titik pengamatan yang diperkuat



dengan data-data pendukung. Titik-titik pengamatan jaraknya cukup berdekatan untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan/atau kualitasnya.

- 3) Sumberdaya Batubara Terukur (*Measured Coal Resource*): merupakan bagian dari sumberdaya batubara yang kualitas dan kuantitasnya dapat diperkirakan dengan tingkat kepercayaan tinggi, didasarkan pada informasi yang didapat dari titik-titik pengamatan yang diperkuat dengan data-data pendukung. Titik-titik pengamatan jaraknya cukup berdekatan untuk membuktikan kemenerusan lapisan batubara dan/atau kualitasnya.

II.9 Metode *Well Logging*

Metode *well logging* adalah suatu perekaman berdasarkan sifat fisis di sepanjang sumur Sumur Bor yang dilakukan kemudian bergerak secara perlahan-lahan dengan maksud agar sensor yang diturunkan ke dalam sumur Sumur Bor dapat mengetahui adanya hal-hal yang ditemuinya (Setiahadiwibowo, 2016). Metode *Well Logging* berkembang dalam eksplorasi minyak bumi untuk Analisa kondisi geologi dan reservoir minyak. *Logging* memberikan data yang diperlukan untuk mengevaluasi secara kuantitas banyaknya hidrokarbon di lapisan pada situasi dan kondisi sesungguhnya. Kurva *log* memberikan informasi yang cukup tentang sifat-sifat batuan dan cairan. *Log* adalah suatu grafik kedalaman (kadang-kadang waktu), dari satu set kurva yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan dalam sebuah sumur. Dari sudut pandang pengambilan

n, *logging* adalah bagian yang penting dari proses pemboran dan
sian sumur (Harsono, 1997).



Logging untuk eksplorasi batubara dirancang tidak hanya untuk mendapatkan informasi geologi, tetapi untuk memperoleh berbagai data lain, seperti kedalaman, ketebalan dan kualitas lapisan batubara juga mengkompensasi berbagai masalah yang tidak terhindar apabila hanya dilakukan pengeboran, yaitu pengecekan kedalaman sesungguhnya dari lapisan penting (Ismawati, 2012).

1) *Log Gamma Ray*

Log Gamma Ray adalah *log* yang digunakan untuk mengukur tingkat radioaktivitas alami dalam sebuah formasi batuan dan pengukuran ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi litologi dan menggabungkan tiap zona (Gambar 2.7). Batupasir tanpa serpih dan karbonat memiliki konsentrasi yang rendah terhadap material radioaktif sehingga memberikan pembacaan nilai *Gamma Ray* yang rendah. Jika material serpih meningkat seperti jika batupasir mengandung potassium feldspar, mika, glaukonit, atau air kaya akan uranium maka respon *log Gamma Ray* akan memberikan pembacaan nilai yang tinggi. Pada zona dimana geologis sadar adanya keberadaan potassium feldspar, mika, atau glaukonit, maka dibutuhkan sebuah *spetralog* untuk dijalankan sebagai tambahan pada *log Gamma Ray*. *Log* spektra membagi radioaktivitas dari formasi batuan pada beberapa tipe material radioaktif:

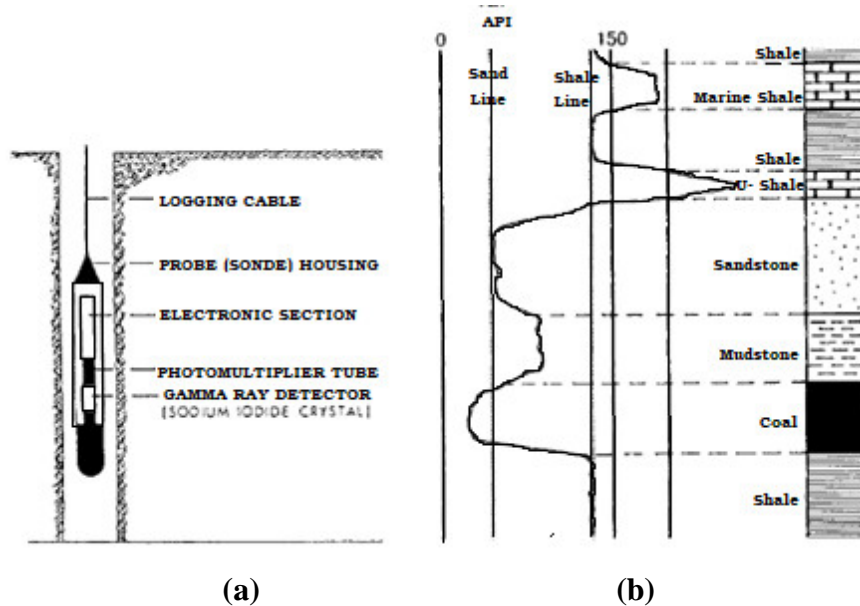
- 1) Thorium,
- 2) Potassium, dan
- 3) Uranium

sebuah zona mengandung unsur potassium yang tinggi dengan respon *log Gamma Ray* yang juga tinggi maka diduga zona tersebut merupakan batu serpih.



Bahkan itu mungkin feldspar, glaukonitik, atau batu pasir mika. Selain untuk identifikasi litologi dan gabungan antarzona, *log Gamma Ray* juga menyediakan informasi untuk menghitung volume shale yang terkandung dalam batupasir atau karbonat (Asquith, 1982).

Metode ini merupakan metode *logging* sumur bor dengan memanfaatkan sifat radioaktif alami dari batuan yang dibor. Metoda ini dipakai untuk *logging* sumur bor yang tidak dapat di *log* secara listrik akibat adanya batang bor (*casing*). Dengan *log* sinar gamma lapisan-lapisan batubara dapat diketahui karena mempunyai nilai gamma yang rendah dibandingkan dengan serpihan, lempung atau serpih dalam pelapisan batuan.



Gambar 2.7 Litologi Batubara berdasarkan Data *Log Gamma Ray*, (a) probe yang dimasukkan ke dalam sumur bor, (b) respon lapisan batuan yang dilalui probe (Ismawati, 2012)

Kekuatan radiasi *Gamma Ray* adalah kuat dari batulempung dan lemah dari batupasir. Terutama yang dari batulempung menunjukkan nilai yang ekstra tinggi,

dan yang dari lapisan batubara lebih rendah pada batupasir. *Log Gamma Ray*



dikombinasikan dengan *log* utama, seperti *log* densitas, neutron dan gelombang bunyi, digunakan untuk memastikan batas antara lapisan penting.

2) *Log Density*

Log Density adalah sebuah perekaman porositas yang menghitung densitas elektron pada sebuah formasi batuan (Gambar 2.8). *Log* ini dapat membantu geologis untuk:

- Mengidentifikasi mineral-mineral
- Mendeteksi zona penghasil gas
- Menentukan densitas hidrokarbon, dan
- Mengevaluasi reservoir batu pasir serpihan dan litologi kompleks (Schlumberger, 1972 dalam Asquith, 1982)

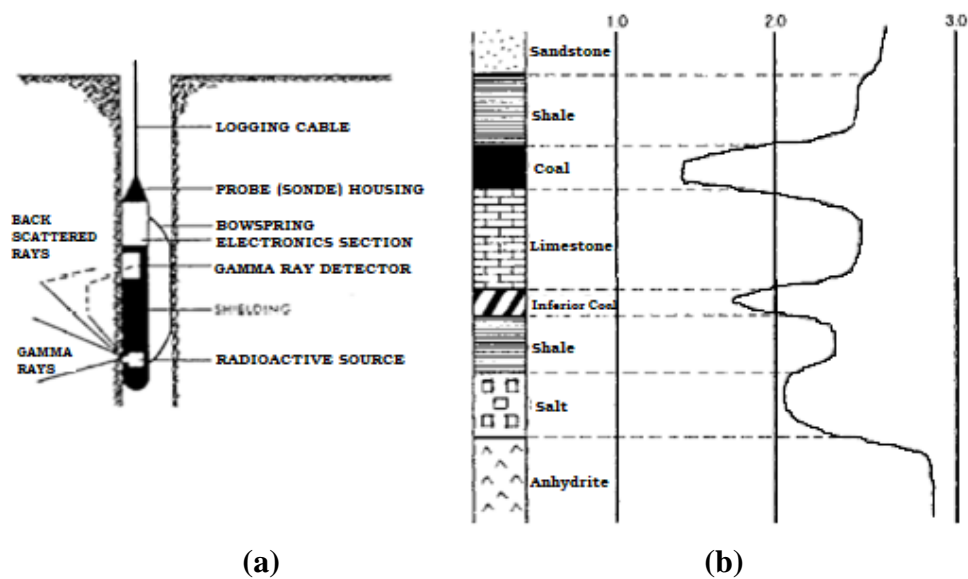
Alat yang digunakan dalam perekaman densitas adalah sebuah alat penghubung yang terdiri dari sumber energi medium sinar gamma seperti Cobalt-60 atau Cesium 137. Sinar gamma yang dipancarkan akan bertumbukan dengan elektron-elektron yang ada dalam formasi batuan. Akibat dari tumbukan tersebut akan mengurangi energi dari partikel sinar gamma yang dipancarkan. Titman dan Wahl (1965) menyebut interaksi antara partikel sinar gamma yang dipancarkan dengan electron yang ada dalam formasi sebagai *Compton Scattering* atau Reaksi Penyebaran Compton. Penyebaran sinar gamma yang mencapai detektor, menginformasikan lokasi formasi dari jarak sumber sinar gamma yang terhitung sebagai indikator dari densitas formasi batuan. Nilai tumbukan dari reaksi penyebaran Compton adalah fungsi langsung dari jumlah elektron dalam formasi

densitas elektron). Dari hal tersebut maka densitas elektron dapat



dihubungkan dengan densitas bulk pada sebuah formasi batuan dalam satuan gr/cc (Asquith, 1982).

Awalnya penggunaan *log* ini dipakai dalam industri eksplorasi minyak sebagai alat bantu interpretasi porositas. Kemudian dalam eksplorasi batubara malah dikembangkan menjadi unsur utama dalam identifikasi ketebalan bahkan kualitas lapisan batubara. Dimana rapat massa batubara sangat khas yang hampir hanya setengah kali rapat massa batuan lain pada umumnya.



Gambar 2.8 Litologi Batubara berdasarkan Data *Log Density*, (a) probe yang dimasukkan ke dalam sumur bor, (b) respon lapisan batuan yang dilalui probe (Ismawati, 2012)

Dalam aplikasinya pada industri batubara, sifat fisik ini (rapat massa) hampir linier dengan kandungan abu sehingga pemakaian *log* ini akan memberikan gambaran khas bagi tiap daerah dengan karakteristik lingkungan pengendapannya.

Dalam penelitian ini, satuan dari *Density log* adalah *counts per second* (CPS). Nilai satuan CPS berbanding terbalik dengan nilai satuan gr/cc. Apabila defleksi

...n satuan CPS menunjukkan nilai yang tinggi, maka akan menunjukkan ... ah dalam satuan gr/cc (Erihartanti, 2015).



II.10 Kombinasi *Log Gamma Ray* dan *Log Density*

Log Gamma Ray mengukur radiasi alami dari formasi batuan, dan fungsi utama sebagai *log* yang menampilkan litologi. *Log Gamma Ray* membantu dalam membedakan shale (radioaktifitas tinggi) dengan batupasir, karbonat, dan anhidrit (radioaktif rendah). *Log Density* adalah *log* porositas yang digunakan untuk mengukur densitas elektron. Ketika kedua *log* ini dikombinasikan (*log Gamma Ray* dan *density*) maka dapat ditentukan litologi bawah permukaan (Asquith, 1982).

II.11 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 lapisan batubara. 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 2.9). 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. Penghitungan dengan metode ini menggunakan persamaan *mean area*. Persamaan ini digunakan apabila terdapat dua buah penampang dengan luas penampang P1 dan P2 relatif sama. Persamaan (II.2) bawah ini merupakan bentuk dari persamaan *mean area* dengan *rule of gradual*

(Erihartanti, 2015):

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

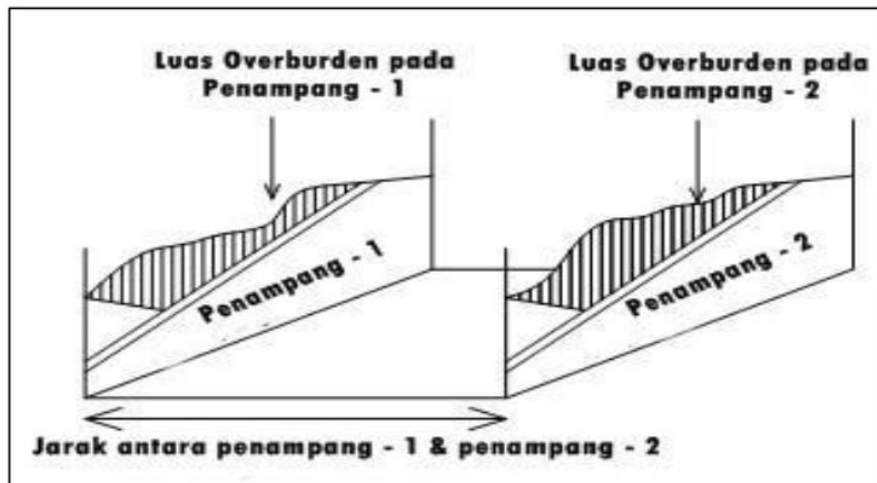


Keterangan:

V : volume (m^3)

L : jarak antar penampang (m)

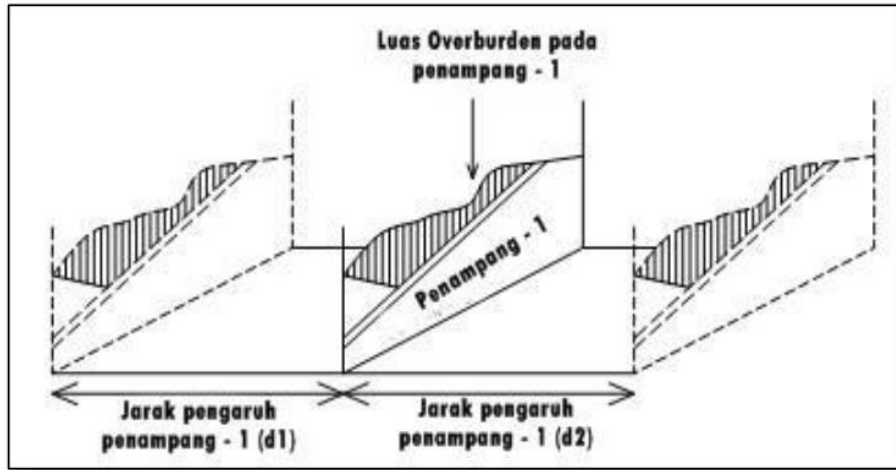
P1, P2 : luas penampang 1 dan 2 (m^2)



Gambar 2.9 Metode *cross section* dengan pedoman *rule of gradual changes* (Erihartanti, 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 2.10).





Gambar 2.10 Metode *cross section* dengan pedoman *rule of nearest point* (Erihartanti, 2015)

Persamaan (II.3) bawah ini merupakan bentuk dari persamaan *mean area* dengan *rule of nearest point* (Erihartanti, 2015):

$$V = P \times (d1 + d2) \quad (II.3)$$

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 lapisan batubara maka selanjutnya menghitung sumberdaya batubara dengan persamaan II.4 di bawah ini:

$$SD = BJ \times t \times V \quad (II.4)$$

Keterangan: SD = Sumberdaya (ton)
BJ = Berat Jenis batubara (1,3 ton/m³) jenis bituminus
t = tebal rata-rata lapisan
V = volume

