

SKRIPSI

STUDI INTERPRETASI DATA HASIL *GEOPHYSICAL WELL LOGGING* DAN KORELASI LAPISAN BATUBARA

(Studi Kasus: *Pit S17GS PT Kitadin, Site Embalut, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur*)

Disusun dan diajukan oleh

DITA NUR AZIZA

D621 15 511



PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**STUDI INTERPRETASI DATA HASIL *GEOPHYSICAL WELL LOGGING*
DAN KORELASI LAPISAN BATUBARA**

(Studi Kasus: Pit S17GS PT Kitadin, *Site* Embalut, Kabupaten Kutai Kartanegara,
Provinsi Kalimantan Timur)

Disusun dan diajukan oleh

DITA NUR AZIZA

D62115511

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi
Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
pada tanggal 25 Januari 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Irzal Nur, M.T.

NIP. 196604091997031002

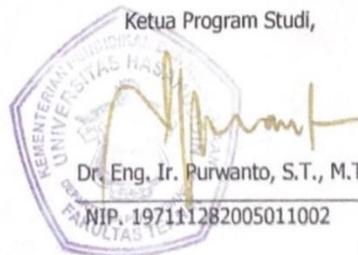
Pembimbing Pendamping,



Asran Ilyas, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197303142000121001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Ir. Purwanto, S.T., M.T.

NIP. 197111282005011002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DITA NUR AZIZA
NIM : D621 15 511
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI INTERPRETASI DATA HASIL *GEOPHYSICAL WELL LOGGING* DAN KORELASI LAPISAN BATUBARA

(Studi Kasus : *Pit S17GS PT Kitadin, Site Embalut, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur*)

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 29 Januari 2021.

Yang menyatakan
Dita Nur Aziza

ABSTRAK

PT Kitadin merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan batubara yang berada di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur. Perusahaan ini melakukan eksplorasi batubara dengan menggunakan *geophysical well logging*. *Geophysical well logging* dapat diartikan sebagai perekaman karakteristik dari suatu formasi batuan yang diperoleh melalui pengukuran pada sumur bor. Interpretasi data hasil *geophysical well logging* dilakukan untuk mengetahui data litologi dari titik bor, mengetahui *seam* batubara yang sejenis, mengetahui *key bed* dari tiap lapisan batubara, dan melakukan korelasi batubara dari data-data tersebut. Pada penelitian ini dilakukan interpretasi pada 16 titik bor dan ditemukan litologi di tiap titik bor tersebut adalah batulanau, batupasir, batulempung, batubara, batulempung lanauan, batulanau lempungan, batupasir lanauan dan batulanau pasiran. Sementara itu, lapisan *keybed* dari tiap *seam* batubara memiliki variasi yang berbeda-beda. Lapisan *key bed* yang dianalisis dan yang dimaksud pada penelitian ini adalah berupa *roof* dan *floor* dari tiap *seam* tersebut. Untuk *seam E*, *roof* nya adalah batupasir lanauan dan *floor* nya adalah batulempung. *Seam D*, *roof* nya adalah batulempung dan *floor* nya adalah batulempung lanauan. *Seam C*, *roof* nya adalah batulempung lanauan dan *floor* nya adalah batulempung. *Seam B*, *roof* nya adalah batulempung dan *floor* nya adalah batulempung lanauan. Untuk *seam A*, *roof* nya adalah batulempung dan *floor* nya adalah batulempung lanauan. Dari hasil interpretasi ini, akhirnya dapat dilakukan pengorelasiian tiap *seam* batubara pada daerah penelitian

Kata Kunci : Batubara, interpretasi, *geophysical well logging*, korelasi, *seam*, *key bed*.

ABSTRACT

PT Kitadin is a coal mining company located in Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province. This company conducts coal exploration using geophysical well logging. Geophysical well logging can be defined as recording the characteristics of a rock formation obtained through measurements in a borehole. Interpretation of data from geophysical well logging is carried out to find out lithological data from the drill point to find out similar coal seams, to find out the key bed of each coal seam, and to correlate the coal from these data. In this study, interpretation was carried out at 16 drill points and found that the lithology at each drill point was siltstone, sandstone, claystone, coal, silty claystone, clayey siltstone, silty sandstone and sandy siltstone. From the interpretation, sorted from the oldest seam to the youngest seam are A, B, C, D, and E seams. Meanwhile, the keybed layer of each coal seam has different variations. The key bed layer analyzed and what is meant in this study is the roof and floor of each seam. For E seam, the roof is silty sandstone and the floor is claystone. Seam D, the roof is claystone and the floor is silty claystone. Seam C, the roof is silty claystone and the floor is claystone. Seam B, the roof is claystone and the floor is silty claystone. For seam A, the roof is claystone and the floor is silty claystone. From the results of the interpretation, it can be carried out to perform a correlation of each coal seam in the study area.

Keywords: Coal, interpretation, geophysical well logging, correlation, seam, key bed.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir "Studi Interpretasi Data Hasil *Geophysical Well Logging* Dan Korelasi Lapisan Batubara pada *Pit S17GS* PT Kitadin, *Site Embalut*, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur". Salam dan sholawat senantiasa kita haturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta seluruh keluarga dan para sahabat ra.hum ajma'in.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis mendapat banyak bantuan dari berbagai referensi serta dari berbagai pihak yang turut membantu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang telah membantu menyelesaikan laporan ini yakni:

1. PT Kitadin *Site Embalut* dalam hal ini sebagai perusahaan yang telah menerima penulis untuk melaksanakan penelitian tugas akhir.
2. Bapak Tjatur H Setyanto selaku Kepala Teknik Tambang (KTT) PT Kitadin *Site Embalut* yang telah memberikan kesempatan dan pengalaman berharga bagi penulis untuk melaksanakan penelitian tugas akhir.
3. Bapak Samsul Rizal dan Ibu Lilik Destria Ningsih sebagai pembimbing penulis dalam melaksanakan penelitian di perusahaan dan telah berbagi ilmu serta pengalaman yang sangat berharga dan bermanfaat untuk penulis.
4. Bapak Rusdy Koddeng yang telah membimbing, memberikan banyak pengetahuan dan membantu penulis selama kegiatan tugas akhir.
5. Departemen Eksplorasi PT Kitadin, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk bergabung, memberi referensi untuk penulis serta berbagi ilmu dan pengalaman.

6. Bapak Satria Ari Putra, Bapak Hendra, dan karyawan-karyawan PT. Kitadin *Site* Embalut yang tidak sempat disebutkan satu persatu dan telah memberikan banyak pengetahuan, pengalaman dan bantuan kepada penulis selama penelitian tugas akhir.
7. Bapak Dr. Ir. Irzal Nur, MT. dalam hal ini sebagai Dosen Pembimbing I, dan Bapak Asran Ilyas, ST. MT. Ph.D. dalam hal ini sebagai Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk penulis dalam membimbing dan mengarahkan penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
8. Kedua orang tua, saudara, dan seluruh keluarga penulis yang terus memberikan semangat dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan kegiatan tugas akhir ini dengan baik.
9. Teman teman STABILITY15, Lab eksplorasi yang telah membantu dalam memberi motivasi dan semangat kepada penulis.

Penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi penyempurnaan tugas akhir ini untuk penyusunan berikutnya. Akhirnya, semoga tugas akhir ini dapat menjadi bekal ilmu pengetahuan dalam membangun wawasan khususnya dalam bidang industri pertambangan. Bagi semua pihak yang telah membantu dalam penelitian tugas akhir ini semoga segala amal dan kebbaikannya mendapatkan balasan yang berlimpah dari Allah SWT.

Gowa, 30 Desember 2020

Dita Nur Aziza

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Tahapan Kegiatan.....	3
1.6 Lokasi Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Geologi Regional.....	5
2.2 Batubara	9
2.3 Proses Pembentukan Batubara	10
2.4 <i>Seam</i> Batubara	11
2.5 Bentuk-bentuk Lapisan Batubara	11
2.6 Interpretasi Data <i>Geophysical Well Logging</i>	16
2.7 Metode <i>Well Logging</i>	21
2.8 Korelasi Batubara.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Pengumpulan Data.....	24
3.2 Pengolahan Data	24

3.3	Bagan Alir Penelitian	31
BAB VI INTERPRETASI DAN KORELASI LAPISAN BATUBARA		32
4.1	Interpretasi Data <i>Geophysical Well Logging</i>	32
4.2	Korelasi Batubara.....	36
4.3	Model Penampang	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		44
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA.....		46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Peta geologi regional IUP-OP PT Kitadin	8
2.2 Lapisan batubara bentuk <i>horse back</i>	12
2.3 Lapisan batubara bentuk <i>pinch</i>	12
2.4 Lapisan batubara bentuk <i>clay vein</i>	13
2.5 Intrusi batuan beku pada lapisan batubara	13
2.6 Lapisan batubara bentuk <i>fault</i>	14
2.7 Lapisan batubara bentuk <i>folding</i>	14
2.8 <i>Split</i> yang disebabkan oleh lempung	15
2.9 <i>Wash out</i> akibat erosi sungai.....	15
2.10 Gambaran perekaman <i>well logging</i>	17
2.11 Penentuan penarikan <i>sand base line</i> dan <i>shale base line</i>	19
2.12 Respon litologi dengan metode <i>log density</i>	20
3.1 Korelasi batubara secara manual	26
3.2 Aturan-aturan yang terdapat pada <i>schema</i>	28
3.3 Hasil <i>load</i> data titik bor.....	28
3.4 Hasil pembuatan <i>line section</i> pada titik bor daerah	29
3.5 Hasil model penampang daerah penelitian.....	30
3.6 Bagan alir penelitian.....	31
4.1 Peta persebaran titik bor.....	37
4.2 Hasil korelasi 1A	39
4.3 Hasil korelasi 1B	40
4.4 Hasil korelasi 1C	41
4.5 Hasil korelasi 1D	42

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Respon litologi per lapisan batuan	18

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1.1 Peta Lokasi dan Kesampaian Daerah	49
2.1 Interpretasi E17_559C.....	50
2.2 Interpretasi E17_562C.....	51
2.3 Interpretasi E17_563C.....	52
2.4 Interpretasi E17_565C.....	53
2.5 Interpretasi E17_565C.....	54
2.6 Interpretasi E17_569C.....	55
2.7 Interpretasi E17_571C.....	56
2.8 Interpretasi E17_572C.....	57
2.9 Interpretasi E17_576C.....	58
2.10 Interpretasi E17_579C.....	59
2.11 Interpretasi E17_581C.....	60
2.12 Interpretasi E17_582C.....	61
2.13 Interpretasi E17_583C.....	62
2.14 Interpretasi E17_584C.....	63
2.15 Interpretasi E17_585C.....	64
2.16 Interpretasi E17_586C.....	65
3.1 Tabel Litologi Daerah Penelitian.....	66
4.1 Elevasi Daerah Penelitian	71
5.1 Model Penampang Daerah Penelitian	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertambangan merupakan aktivitas yang sangat kompleks dan sangat berisiko. Kompleksitas tersebut dapat diakibatkan oleh berbagai macam faktor, seperti ketidakstabilan lereng yang dipengaruhi oleh litologi dan struktur geologi. Salah satu risiko lainnya juga adalah risiko biaya. Oleh karena itu aktivitas pertambangan harus dilakukan secara *safety* dan *low cost*. PT Kitadin yang merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan batubara yang berada di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur juga tidak terlepas dari berbagai macam kompleksitas resiko di atas.

Salah satu upaya dalam menekan munculnya kompleksitas dan risiko biaya dalam bidang pertambangan batubara khususnya pada tahap eksplorasi adalah dengan menggunakan metode-metode dan teknik yang tepat dalam eksplorasi. Salah satu contohnya adalah dengan menggunakan metode *geophysical well logging* yang merupakan suatu metode yang sangat baik dalam melakukan pendeteksian kedudukan dan kedalaman batubara, jumlah *seam* batubara, dan melakukan korelasi antar *seam – seam* batubara tersebut. Berdasarkan uraian tersebut maka disusunlah sebuah studi dengan judul "Studi Interpretasi Data Hasil *Geophysical Well Logging* dan Korelasi Lapisan Batubara".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut maka rumusan masalah studi ini yaitu :

1. Bagaimana data litologi yang diinterpretasi dari data *geophysical well logging* di lokasi studi.
2. Bagaimana lapisan *key bed* dari *seam* batubara di lokasi studi.
3. Bagaimana korelasi batubara yang diinterpretasi dari data litologi dan lapisan *key bed* di lokasi studi.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan penelitian studi ini untuk;

1. Mengetahui data litologi yang diinterpretasi dari data *geophysical well logging* di lokasi studi.
2. Mengetahui lapisan *key bed* dari *seam* batubara pada lokasi studi.
3. Mengetahui korelasi batubara yang diinterpretasi dari data litologi dan lapisan *key bed* di lokasi studi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui data litologi, mengetahui lapisan *key bed* dari *seam* batubara, dan mengetahui korelasi batubara pada lokasi studi, sehingga diharapkan dapat menekan munculnya kompleksitas dan risiko biaya dalam bidang pertambangan batubara khususnya pada tahap eksplorasi dengan menggunakan metode-metode dan teknik yang tepat dalam eksplorasi agar lebih efektif dan efisien.

1.5 Tahapan Kegiatan

Tahapan kegiatan pada penelitian ini terdiri atas 5 tahapan yaitu studi literatur, perumusan masalah, pengumpulan data, pengolahan data dan penyusunan laporan tugas akhir.

1.5.1 Studi literatur

Studi literatur merupakan tahap dalam mempersiapkan kajian materi yang berkaitan dengan penelitian yang dapat diperoleh dari buku, jurnal, dan penelitian terdahulu. Kajian materi yang diperoleh dijadikan sebagai acuan dalam tahap persiapan hingga tahapan penyusunan laporan tugas akhir penelitian.

1.5.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahapan dalam menentukan masalah-masalah yang akan dibahas dalam penelitian. Masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah mengenai interpretasi batuan berdasarkan hasil *geophysical well logging*, korelasi batubara dan model penampang.

1.5.3 Pengumpulan Data

Tahapan ini merupakan tahapan pengumpulan data yang digunakan untuk menyelesaikan masalah yang telah dirumuskan. Data yang digunakan adalah data sekunder meliputi data *geophysical well logging* dan data survei.

1.5.4 Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data ada 2 yaitu dilakukan secara manual dan bantuan *software* Minescape 5.7. Untuk tahapan pengolahan data secara manual dilakukan dengan metode *geophysical well logging* untuk menginterpretasi batuan dan pengorelasian batubara, sedangkan untuk bantuan *software* Minescape 5.7 dilakukan dalam pembuatan model penampang.

1.5.5 Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penyusunan laporan tugas akhir dilakukan sesuai dengan kaidah penulisan yang tertera pada Buku Pedoman Tugas Akhir Mahasiswa Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Tugas akhir yang telah rampung akan dipresentasikan dalam seminar hasil.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di *Site Embalut*, PT Kitadin, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur pada *Pit S17 GS*. Peta lokasi dapat dilihat pada lampiran 1.

Lokasi penelitian ini berjarak sekitar 30 km dari Kota Samarinda dan 25 km dari Tenggarong, Ibu Kota Kabupaten Kutai Kartanegara. Perjalanan dapat ditempuh menggunakan jalur darat, berupa jalan Provinsi arah Samarinda-Muara Kaman, dengan waktu perjalanan sekitar 1 jam, dengan kondisi jalan yang cukup baik. Akses perjalanan dari kota Makassar menuju ke lokasi penelitian adalah sebagai berikut:

1. Perjalanan dari kota Makassar menuju kota Balikpapan ditempuh menggunakan jalur udara \pm 1 jam 30 menit.
2. Dari kota Balikpapan menuju kota Samarinda ditempuh menggunakan jalur darat \pm 3 jam.
3. Dari kota Samarinda menuju ke tempat penginapan ditempuh menggunakan jalur darat \pm 1 jam
4. Dari tempat penginapan ke lokasi penelitian ditempuh selama \pm 15 menit dan \pm 10 menit ke *pit S17 GS*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Ditinjau dari struktur dan fenomena geologi yang berkembang di kawasan ini, secara regional areal Izin Usaha Pertambangan – Operasi Produksi PT Kitadin dan sekitarnya merupakan daerah lipatan (*folded area*) yang mengalami proses pensesaran dengan pola kelurusan bukit atau struktur regional berarah baratdaya-timurlaut dan baratlaut-tenggara. Umumnya, struktur perlipatan yang berkembang di wilayah ini berupa antiklin dan sinklin dengan sumbu atau poros lipatan berarah baratdaya-timurlaut. Adapun sayap-sayap dari struktur antiklin dan sinklin tersebut membentang asimetri dengan sudut kemiringan lipatan agak landai hingga curam (PT Kitadin, 2015).

Secara lokal, ujung dari struktur perlipatan tersebut ada yang menonjam, terpotong oleh struktur sesar atau tertindih oleh batuan lain. Sebagai akibatnya, batuan berumur tersier dari formasi pembawa batubara (*coal bearing formation*) tersebut ikut juga terlipat, sebagian tersingkap, dan atau menyebabkan lapisan batubaranya dekat ke permukaan. Struktur pensesaran umumnya membentuk sesar normal, sesar geser (*transcurrent faults*), dan sesar naik (*reverse faults*) dengan arah umum baratlaut-tenggara atau baratdaya-timurlaut. Adapun pola kelurusan (bukit dan sungai) yang terbentuk sekarang, diyakini merupakan jejak atau indikasi struktur sesar dan kekar dengan pola yang searah dengan struktur regionalnya. Secara regional aktifitas tektonik yang terjadi sejak era Mesozoikum hingga Tersier memegang peranan penting dalam proses terbentuknya kondisi lithostratigrafi yang terjadi. Secara garis

besar, kondisi geologi regional di sekitar daerah penelitian diperlihatkan pada Gambar 2.1 yaitu peta geologi regional di sekitar IUP PT Kitadin.

Merujuk hasil pemetaan geologi yang dilakukan oleh Supriatna dkk. (Puslitbang Geologi, 1995) konsesi PT Kitadin merupakan bagian dari Cekungan Kutai berumur Tersier. Awal pengendapan sedimen di wilayah ini terbentuk pada waktu Eosen Akhir Oligosen Awal di saat proses transgresi mencapai puncaknya akibat terjadinya aktifitas tektonik. Litologi yang menyusun Cekungan Kutai di sekitar area penelitian dapat dikelompokkan menjadi beberapa satuan batuan setingkat formasi. Secara litostratigrafi, formasi-formasi batuan yang menyusun daerah ini dan kawasan sekeliling dari umur tertua hingga yang termuda adalah (PT Kitadin, 2015):

1. Formasi Pamaluan (Tomp)

Formasi ini terdiri dari batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, serpih, batugamping, dan batulanau yang diendapkan pada umur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal dengan lingkungan pengendapan neritik. Penyebaran formasi ini dapat ditemukan melampaui di sebelah barat laut di luar dari wilayah yang dikaji. Formasi Pamaluan mempunyai hubungan menjemari dengan Formasi Bebulu.

2. Formasi Bebuluh (Tmb)

Diendapkan pada kala Miosen Awal dengan susunan litologi terdiri dari batugamping dengan sisipan batugamping pasiran, dan serpih. Formasi ini memiliki ketebalan sekitar 300 m yang diendapkan dalam lingkungan neritik dan diduga saling menjemari (*inter fingering*) dengan Formasi Pamaluan.

3. Formasi Pulaubalang (Tmpb)

Formasi ini diendapkan secara selaras di atas Formasi Bebuluh pada Miosen Tengah, dimana pada bagian atasnya saling menjemari (*inter fingering*) dengan Formasi Balikpapan. Secara umum litologinya terdiri dari *graywacke*, batupasir

kuarsa, batugamping, tufa dasit, dan batubara yang diendapkan dalam lingkungan laut dangkal.

4. Formasi Balikpapan (Tmbp)

Merupakan perselingan batupasir dan batulempung dengan sisipan batulanau, serpih, batugamping, dan batubara yang diendapkan pada waktu Miosen Tengah dalam lingkungan paras delta (*delta front*) hingga dataran delta (*delta plain*) dengan tebal formasi 1000 – 1500 m. Formasi ini memiliki hubungan menjemari dengan Formasi Pulaubalang.

5. Formasi Kampung Baru (Tpkb)

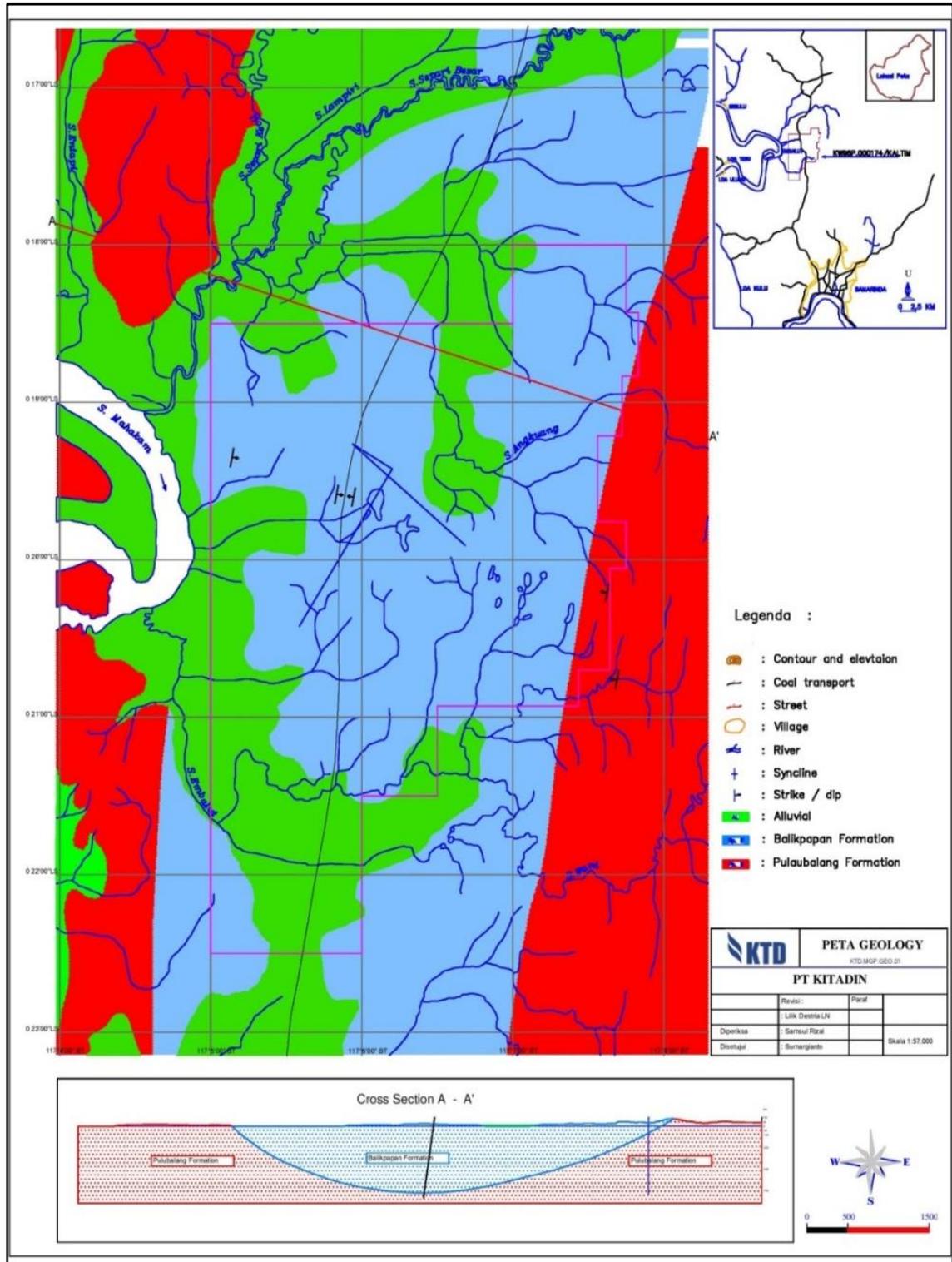
Diendapkan secara tidak selaras di atas Formasi Balikpapan dengan susunan litologi berupa batupasir kuarsa dengan sisipan batulempung, batulanau, serpih, dan lignit yang lunak dan mudah hancur. Diduga Formasi ini diendapkan pada umur Miosen Akhir- Plio Plistosen dengan lingkungan pengendapan delta hingga laut dangkal dengan tebal Formasi lebih dari 500 m.

6. Endapan Alluvial (Qa)

Merupakan sedimen termuda berupa endapan lepas berumur kuartar yang diendapkan tidak selaras di atas Formasi Kampung Baru. Endapannya berupa material lepas beragam ukuran seperti kerikil, pasir, dan lumpur hasil proses desintegrasi batuan yang diendapkan dalam lingkungan sungai, delta, dan pantai. Endapan alluvium ditemukan berupa undak-undak sungai (*river terrace*) dengan ketebalan yang bervariasi dari 0.5 meter hingga 15 meter. Penyebarannya cukup luas di sekitar pelataran atau di daerah aliran sungai Mahakam dan anak-anak sungainya.

Secara garis besar Gambar 2.1 memperlihatkan Peta Geologi Regional IUP-OP PT Kitadin yang menggambarkan dua Formasi batuan pembawa batubara pada area konsesi PT Kitadin. Kedua Formasi batuan tersebut adalah Formasi Balikpapan dan

Formasi Pulaubalang. Dari keseluruhan Formasi di atas, batubara yang terdapat pada daerah penelitian dijumpai pada formasi Balikpapan.



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional IUP-OP PT Kitadin (PT Kitadin, 2015).

2.2 Batubara

Potensi batubara di pulau Kalimantan merupakan sumberdaya batubara terbesar ke-2 setelah pulau Sumatera di Indonesia (Beklin *et al.*, 2009). Batubara merupakan sisa tumbuhan yang telah menjadi fosil yang mengandung beberapa unsur yang terdiri dari karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, dan sulfur dengan karakteristiknya berwarna gelap, padat, dan dapat dibakar (Sukandarrumidi, 2009).

Batubara merupakan batuan sedimen organik yang terbentuk dari akumulasi hancuran tumbuhan yang terendapkan pada lingkungan tertentu, akumulasi endapan tersebut dipengaruhi oleh proses *syndimentary* dan *post-sedimentary* sehingga menghasilkan batubara dengan berbagai peringkat/rank dalam proses pembentukan batubara. Terdapat dua tahapan penting dalam proses pembentukan batubara, tahap pertama adalah terbentuknya gambut oleh proses microbial dan perubahan kimia. Tahap kedua adalah terbentuknya batubara oleh proses yang terdiri dari perubahan kimia dan fisika (Thomas, 2002). Pembentukan tanaman menjadi gambut dan batubara melalui dua tahap pematubaraan (*coalification*) (Moore and Shearer, 2003).

Batubara adalah batuan yang mudah terbakar yang mengandung karbon 50% dalam berat atau lebih 70% dalam volume termasuk kandungan air bawaan (Wood et al., 1983). Sedangkan menurut Darjianto (1999) batubara adalah sedimen padatan yang dapat terbakar, berasal dari tumbuhan, berwarna coklat sampai hitam yang sejak pengendapannya terkena proses fisika dan kimia menghasilkan pengkayaan kandungan karbon dimana mengandung karbon 50% dalam berat atau 70% dalam volume.

Batubara berasal dari gambut maupun rawa yang menyerap energi selama proses fotosintesis. Setelah mati maka tumbuhan tersebut terurai dan mengalami beberapa tahap perubahan. Berawal dari bakteri yang melapukkan tumbuhan hingga

membentuk gambut, benda coklat gelap yang halus dan berserat. Di saat sedimen dan tumbuhan mati di atasnya maka secara perlahan gambut berubah menjadi batubara lignit, lalu menjadi batubara bituminus, dan apabila mendapatkan suhu dan tekanan yang cukup tinggi maka akan berubah menjadi batubara antrasit (Hynes, 2007). Muchjidin (2005) menuliskan bahwa kualitas batubara menjadi bagian penting dalam aspek pemanfaatan batubara.

2.3 Proses Pembentukan Batubara

Batubara berasal dari tumbuhan yang disebabkan karena adanya proses-proses geologi, kemudian berbentuk endapan batubara yang dikenal sekarang ini. Bahan-bahan tumbuhan mempunyai komposisi utama yang terdiri dari karbon dan hidrogen. Selain itu, terdapat kandungan unsur nitrogen. Substansi utamanya adalah *cellulose* yang merupakan bagian dari selaput sel tumbuhan yang mengandung karbohidrat yang tahan terhadap perubahan kimiawi. Pembusukan dari bahan tumbuhan merupakan proses yang terjadi tanpa adanya oksigen, kemudian berlangsung di bawah air yang disertai aksi dari bakteri, sehingga terbentuklah arang kayu. Tidak adanya oksigen menyebabkan hidrogen lepas dalam bentuk karbondioksida atau karbonmonoksida dan beberapa dari keduanya berubah menjadi metan. Vegetasi pada lingkungan tersebut mati kemudian terbentuklah *peat* (gambut). Kemudian gambut tersebut mengalami kompresi dan pengendapan di antara lapisan sedimen dan juga mengalami kenaikan temperatur akibat *geothermal gradient*. Akibat proses tersebut maka akan terjadi pengurangan porositas dan pengurangan *moisture* sehingga terlepasnya grup OH, COOH, OCH₃, dan CO dalam wujud cair dan gas. Karena banyaknya unsur oksigen dan hidrogen yang terlepas maka unsur karbon relatif bertambah yang mengakibatkan terjadinya lignit (*brown coal*). Kemudian dengan adanya kompresi yang terus menerus serta kenaikan temperatur maka terbentuklah

batubara *sub-bituminous* dan *bituminous* dengan tingkat kalori yang lebih tinggi dibandingkan dengan *brown coal*. Bumi tidak pernah berhenti berputar, oleh karena itu kompresi terus berlangsung diiringi bertambahnya temperatur sehingga *moisture* sangat sedikit serta unsur karbon yang banyak merubah batubara sebelumnya ke tingkat yang lebih tinggi, yaitu antrasit yang merupakan kasta tertinggi pada batubara (Cook, 1982).

2.4 Seam Batubara

Seam batubara adalah lapisan batubara di bawah permukaan tanah (Jelonek *et al.*, 2007). Di dalam batubara pembawa batubara, *seam* merupakan lapisan tunggal dari batubara yang sebenarnya, batas atas disebut atap (*roof*) dan batas bawah disebut lantai (*floor*). Batuan-batuan yang terdapat pada atap dan lantai mempunyai hubungan yang erat dengan pengendapan batubara tersebut. *Seam* batubara jarang terdiri dari batubara murni seluruhnya, biasanya lapisan yang tipis dari mineral-mineral (umumnya *silt* dan *shale*) bertindak sebagai sisipan dan disebut sebagai *dirty bands* atau *shale parting*. Lapisan tipis setebal beberapa millimeter sampai centimeter tersebut dapat berkembang sehingga *seam* batubara terpisah menjadi dua lapisan atau lebih (*splitting*) (Kadarisman, 1999)

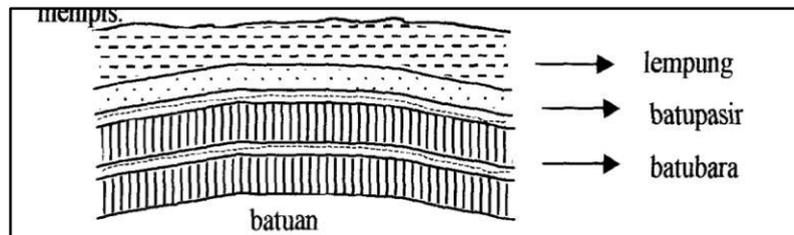
2.5 Bentuk-Bentuk Lapisan Batubara

Bentuk cekungan, proses sedimentasi, proses geologi selama dan sesudah proses *Coalification* akan menentukan lapisan batubara, mengetahui bentuk lapisan batubara sangat menentukan dalam menghitung cadangan dan merencanakan cara penambangannya.

Ada beberapa bentuk lapisan batubara diantaranya :

1. Bentuk *Horse Back*

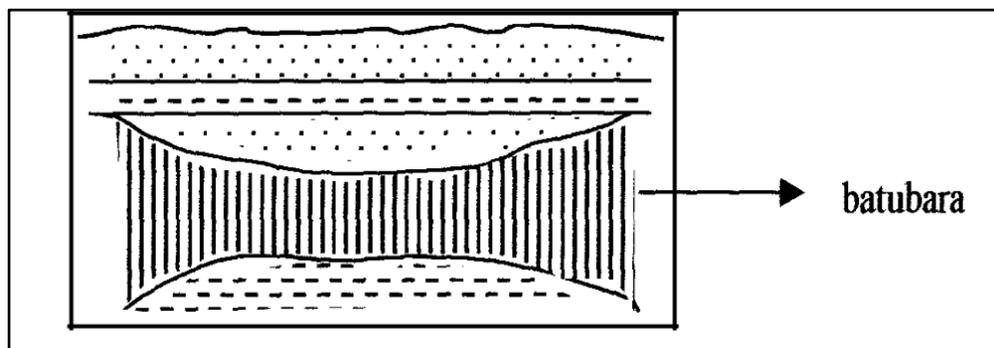
Bentuk ini dicirikan oleh perlapisan batubara dan batuan yang menutupinya melengkung ke arah atas akibat gaya kompresi. ketebalan ke arah literal lapisan batubara kemungkinan sama ataupun menjadi lebih kecil atau menipis.



Gambar 2.2 Lapisan batubara bentuk *horse back* (Stefanko, 1983).

2. Bentuk *Pinch*

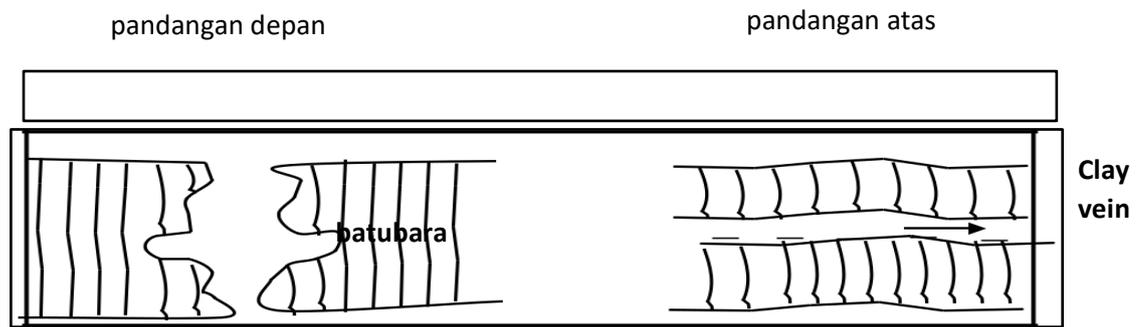
Bentuk ini dicirikan oleh perlapisan yang menipis dibagian tengah. Pada umumnya dasar dari lapisan batubara merupakan batuan yang plastis misalnya batulempung sedang diatas lapisan batubara secara setempat ditutupi oleh batupasir yang secara lateral merupakan pengisian suatu alur.



Gambar 2.3 Lapisan batubara bentuk *pinch* (Stefanko, 1983).

3. Bentuk *Clay Vein*

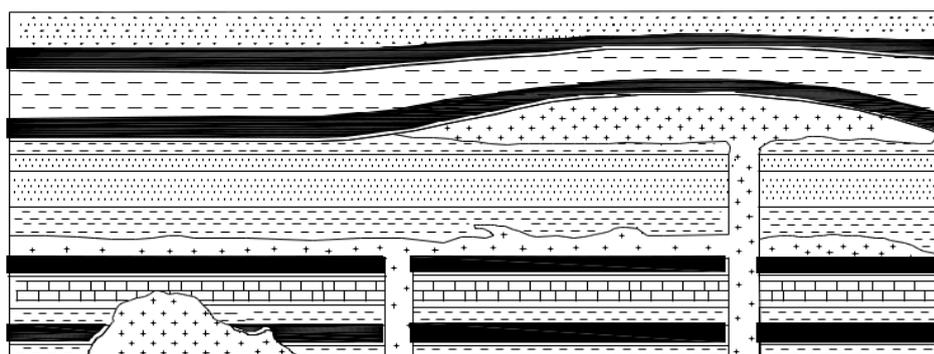
Bentuk ini terjadi apabila diantara dua bagian deposit batubara tersesar, terjadi apabila salah satu deposit batubara mengalami patahan, yang kemudian pada bidang patahan yang merupakan rekahan terbuka, terisi oleh material lempung atau pasir.



Gambar 2.4 Lapisan batubara bentuk *clay vein* (Stefanko, 1983).

4. Bentuk *Buried Hill*

Kontribusi utama dari intrusi batuan beku pada struktur lapisan batubara adalah pemanasan dan efek *devolatilisasi* (penguapan materi *volatile*) yang terjadi ketika magma panas membentuk suatu *sill* atau *lacolith* di dekat lapisan batubara, atau ketika korok (*dike*) menembus formasi batubara. *Lacolith* dan *sill* memiliki daerah pengaruh pemanasan yang lebih besar terhadap formasi batuan di sekitarnya dibanding korok. Kualitas batubara atau kandungan karbon akan meningkat dengan semakin dekatnya jarak lapisan batubara terhadap sumber panas. Terjadinya gradasi dalam *rank* ini adalah disebabkan oleh perbedaan tingkat *devolatilisasi* yang dipengaruhi oleh panas.

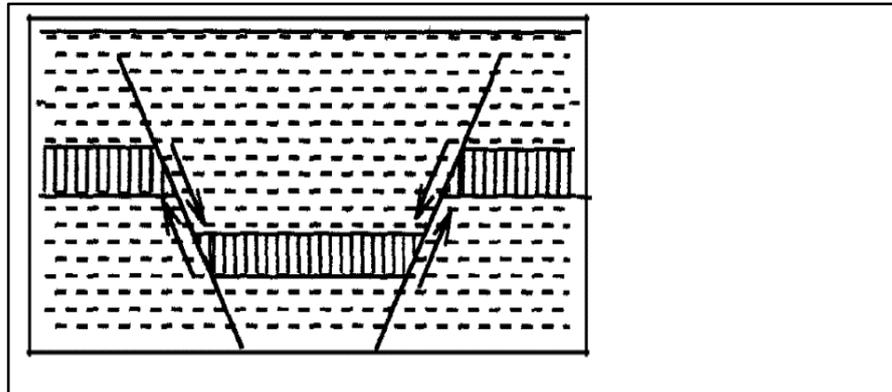


Gambar 2.5 Intrusi batuan beku pada lapisan batubara (Stefanko, 1983).

5. Bentuk *Fault*

Bentuk ini terjadi apabila di daerah dimana deposit batubara mengalami beberapa seri patahan. keadaan ini mengacaukan di dalam perhitungan

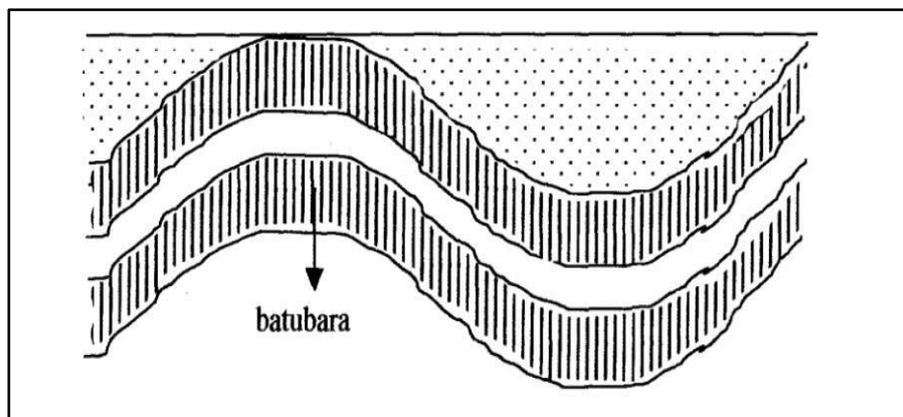
cadangan karena adanya pemindahan perlapisan akibat pergeseran kearah vertikal.



Gambar 2.6 Lapisan batubara bentuk *fault* (Stefanko, 1983).

6. Bentuk *Folding*

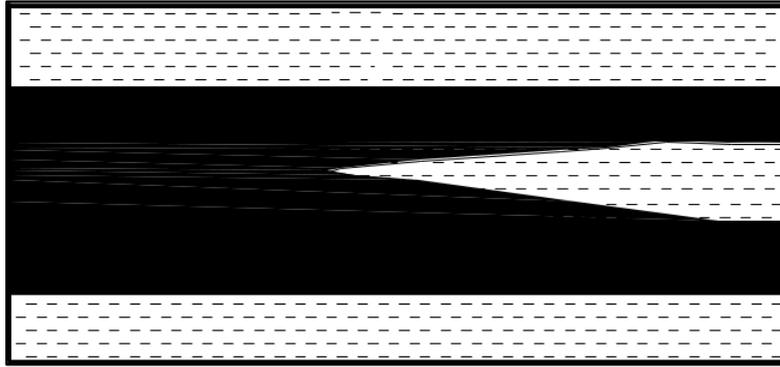
Bentuk ini terjadi apabila di daerah dimana deposit batubara mengalami perlipatan. Makin intensif gaya yang bekerja pembentukan perlipatan akan makin kompleks perlipatan tersebut terjadi.



Gambar 2.7 Lapisan batubara bentuk *folding* (Stefanko, 1983).

7. *Split Coal*

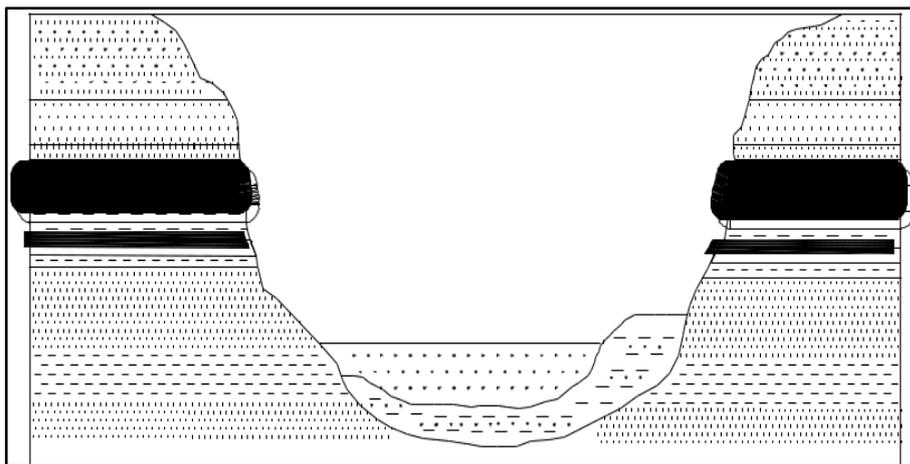
Split Coal adalah lapisan batubara yang terpisah oleh parting lempung, serpih, atau *sandstone* dengan ketebalan tertentu sehingga mengakibatkan lapisan yang terpisah tidak dapat ditambang secara bersamaan (*Thrush, P.W., and staff of Berau of Mines, 1968*).



Gambar 2.8 *Split* yang disebabkan oleh lempung yang masuk ke dalam rekahan batubara. (stefanko, 1983).

8. *Wash Out*

Wash Out adalah adanya *cut out* lapisan batubara. *Cut out* sendiri didefinisikan sebagai batu lempung, batuserpil atau batu lempung yang mengisi bagian tererosi dalam lapisan *batubara* (*Dictionary of Geological Term, 3^d edition*).Stefanko, 1983 *wash out* adalah hilangnya sebagian atau seluruh lapisan batubara yang kemudian tergantikan oleh endapan sedimen lain akibat adanya erosi dan pengendapan. Hilangnya lapisan batubara tersebut bisa disebabkan oleh pengikisan sungai purba maupun sungai *recent*, ataupun *gletser*.



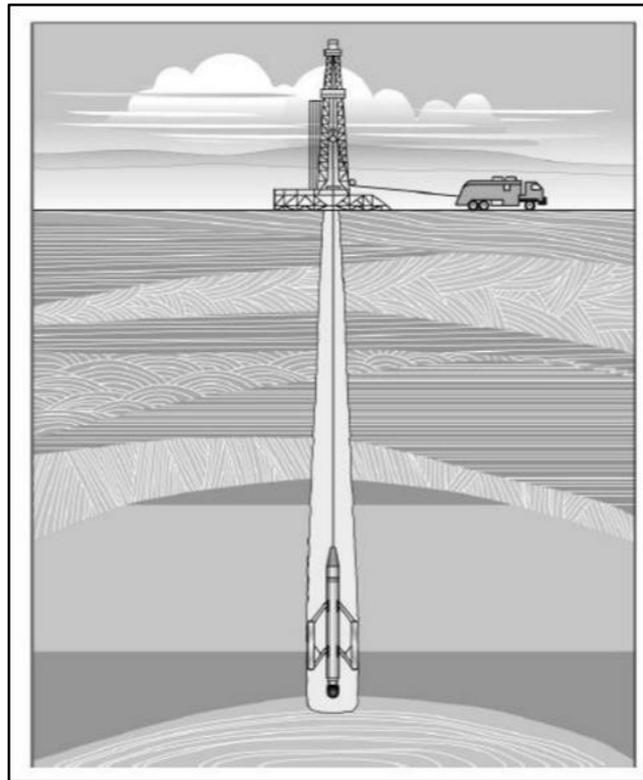
Gambar 2.9 *Wash Out* Akibat Erosi Sungai (Stefanko, 1983)

2.6 Interpretasi Data *Geophysical Well Logging*

Interpretasi data *log* merupakan suatu metode pendukung dalam usaha evaluasi formasi, yaitu dengan cara menggunakan hasil perekaman alat *survey logging* sebagai informasi yang utama. Interpretasi ini dapat dilakukan secara kuantitatif maupun kualitatif (Dewanto, 2009). Interpretasi data *log* geofisika dilakukan untuk menentukan litologi pada setiap kedalaman di bawah permukaan bumi (Julkipli, 2015). Masing-masing batuan memiliki respon yang khas pada kurva *log*, sehingga jenis litologi dapat ditentukan dengan mudah (Adrian, 2010).

Geophysical well logging merupakan metode pengukuran besaran-besaran fisika batuan pada tiap-tiap kedalaman lubang bor. *Geophysical well logging* bertujuan untuk menentukan tipe atau jenis litologi, kedalaman serta ketebalan batuan pada lubang bor (Harsono, 1997). Dalam logging sumur geofisika, banyak ditemukan perbedaan sifat fisik yang dapat digunakan bersama dalam menentukan karakteristik geologi di sekitar lubang bor (McNeil, 1996) . Saat ini *geophysical well logging* diartikan sebagai perekaman karakteristik dari suatu formasi batuan yang diperoleh melalui pengukuran pada sumur bor (Ellis and Singer, 1987). Empat parameter fisika yang dihasilkan meliputi *natural gamma*, *density*, *self potential*, serta *resistivity* yang tergambar dalam bentuk kurva-kurva *log*. Metode ini pada awalnya berkembang dalam eksplorasi minyak bumi untuk analisis kondisi geologi dan reservoir minyak. *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 terhindarkan apabila hanya dilakukan pengeboran, yaitu pengecekan kedalaman sesungguhnya dari lapisan penting (Iswati, 2012).

Pengukuran *well logging* seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 2.2 terdapat pipa perekaman yang dimasukkan ke dalam lubang bor menggunakan tali kawat dan mobil penurun dan penarik tali kawatnya.



Gambar 2.10 Gambaran Perekaman *Well Logging* (Ellis & Singer, 1987).

Serra (1984) mendefinisikan bahwa *log* sinar gamma (GR) merupakan salah satu dari beberapa jenis pengukuran *log* lainnya pada *well logging* yaitu *logsponaneous potential* (SP), *log caliper*, *log resistivitas*, *log densitas*, *log neutron*, dan *log akustik*. Sinar gamma pada *well logging* akan terhenti ketika membentur elektron-kepadatan batuan yang lebih kecil mengakibatkan sinar gamma dapat mencapai detektor (Verhoef, 1992).

2.2.1 *Log gamma ray*

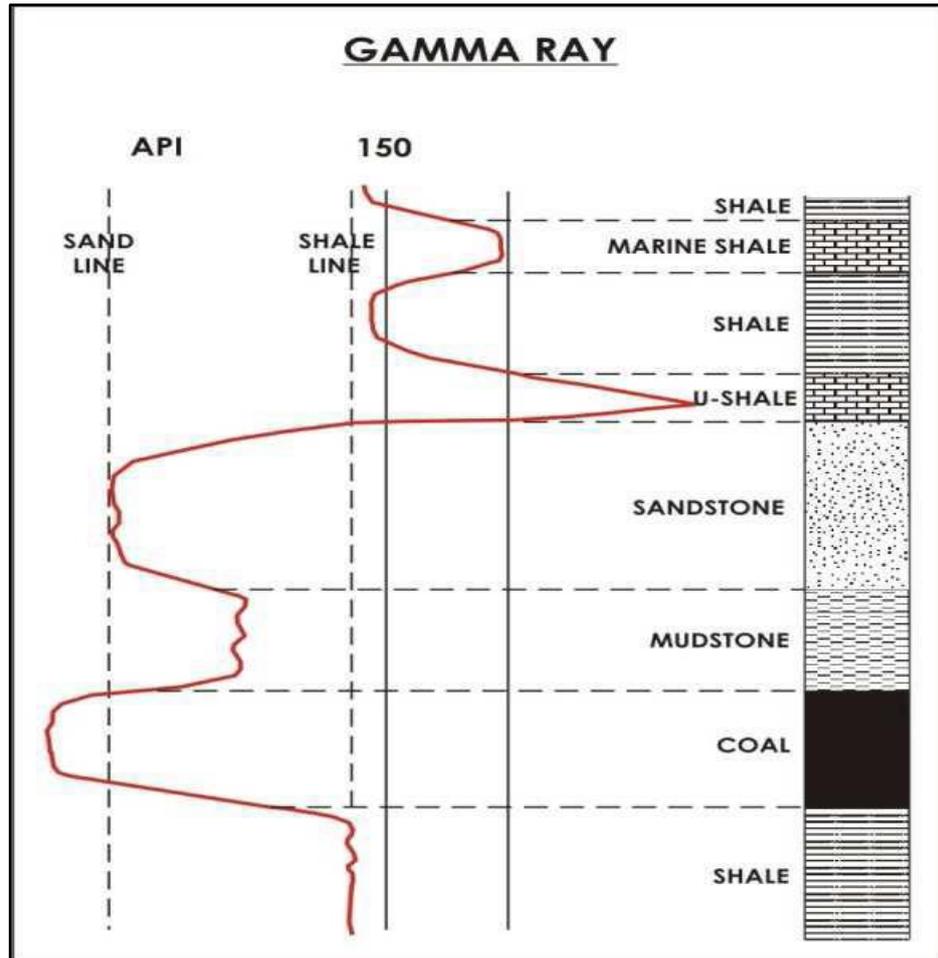
Log gamma ray adalah metode untuk mengukur radiasi sinar gamma yang dihasilkan oleh unsur-unsur radioaktif yang terdapat dalam lapisan batuan di sepanjang lubang bor (Moon, 2000). Radioaktivitas *gamma ray* berasal dari tiga unsur radioaktif yang ada dalam batuan yaitu Uranium (U), Thorium (Th) dan Pottasium (K)

yang secara kontinu memancarkan *gamma ray* dalam bentuk pulsa-pulsa energi radiasi tinggi (Harsono, 1993). Unsur radioaktif umumnya banyak terdapat dalam lapisan *shale* dan sedikit sekali terdapat dalam *sandstone*, *limestone*, *dolomite*, *coal*, *gypsum* dan lain-lain. Oleh karena itu *shale* akan memberikan respon *gamma ray* yang sangat signifikan dibandingkan dengan batuan lainnya. Batubara biasanya mempunyai respon *gamma ray* atau *natural gamma* yang rendah karena batubara murni mengandung unsur-unsur radioaktif alami yang rendah. Tetapi terkadang dalam pembacaan *gamma ray* lebih tinggi pada batubara karena batubara tersebut mengandung mineral lempung yang kaya akan unsur-unsur radioaktif alami. Tabel 2.1 memperlihatkan respon litologi perlapisan batuan untuk beberapa tipe *log* (Ardhityasari, 2017).

Tabel 2.1 Respon litologi perlapisan batuan (Haryono, 2010)

	<i>Coal</i>	<i>Coaly Shale</i>	<i>Shale</i>	<i>Sandstone</i>
<i>Density</i>	1.3 - 1.5 gr/cc	1.5 - 2.0 gr/cc	2.0 gr/cc	2.2 - 2.4 gr/cc
<i>Gamma Ray</i>	20 - 70 API	75 - 125 API	100 - 150 API	50 - 75 API
<i>Resistivity</i>	<i>High</i>	<i>Low</i>	<i>low</i>	<i>low</i>
<i>Self Potensial</i>	<i>Low</i>	<i>Low</i>	<i>low</i>	<i>high</i>

Penafsiran litologi dengan menggunakan *log gamma ray* dalam eksplorasi batubara didasarkan pada sebuah model *sand base line* yang dapat dilihat pada gambar 2.11 Langkah awal yang dilakukan adalah membuat *sand base line* dan *shale base line* untuk membantu dalam menginterpretasikan batuan pengapit dari lapisan yang dianalisis. *Sand base line* adalah garis lurus yang ditarik pada *log gamma ray* yang menunjukkan batas penginterpretasian litologi pasir. Sedangkan *shale base line* adalah garis lurus yang ditarik pada *log gamma ray* yang digunakan sebagai batas penarikan litologi lempung (BPB, 1981).

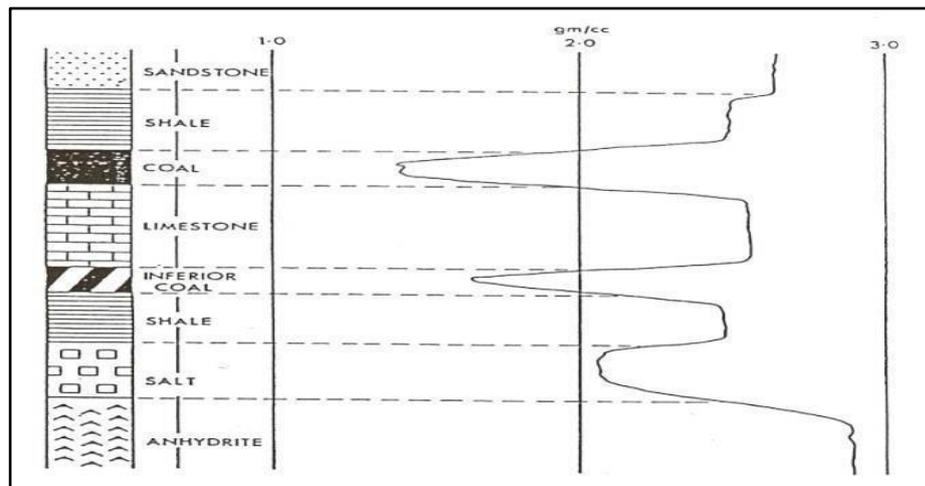


Gambar 2.11 Penentuan Penarikan *Sand Base Line* dan *Shale Base Line* (BPB, 1981).

2.2.2 *Log density*

Prinsip kerja *log density* yaitu suatu sumber radioaktif dari alat pengukur dipancarkan sinar *gamma* dengan intensitas energi tertentu menembus formasi / batuan. Batuan terbentuk dari butiran mineral, mineral tersusun dari atom-atom yang terdiri dari proton dan elektron. Partikel sinar *gamma* membentur elektron-elektron dalam batuan. Akibat benturan ini sinar *gamma* akan mengalami benturan energi (*loose 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.

Respon kerapatan di atas lapisan batubara 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 2.12), sehingga dapat dibedakan (BPB, 1981).



Gambar 2.12 Respon litologi dengan metode *log density* (BPB, 1981).

Gambar di atas menunjukkan bahwa batubara mempunyai nilai densitas antara 1,2 s/d 1,8 gr/cc yang berarti densitas terendah di antara 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 matrik batuan ditambah kandungan yang ada dalam pori batuan, maka satuan gr/cc merupakan besaran *bulk log* densitas batuan (*pb*). Pada penelitian yang dilakukan, satuan dari *log density* adalah *counts per second* (CPS) untuk memudahkan perhitungan maka dilakukan kalibrasi satuan dari CPS ke gr/cc. Nilai satuan CPS berbanding terbalik 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.

2.2.3 *Self potensial*

Log self potensial adalah rekaman perbedaan potensial antara elektroda di permukaan dengan elektroda yang terdapat di dalam bor yang bergerak naik dan turun. *Log self potensial* digunakan untuk mengidentifikasi lapisan permeabel, mencari batas-batas lapisan permeabel dan korelasi antar sumur berdasarkan lapisan batuan, mengukur resistivitas air, serta menentukan indikasi kualitatif lapisan serpih (Rider, 2002).

2.2.4 *Resistivity*

Resistivitas atau tahanan jenis satu batuan adalah suatu kemampuan untuk menghambat jalannya arus listrik yang mengalir melalui batuan. Nilai resistivitas rendah apabila batuan mudah untuk mengalirkan arus listrik, sedangkan nilai resistivitas tinggi apabila batuan sulit untuk mengalirkan arus listrik.

Log resistivity adalah rekaman tahanan jenis di batuan ketika dilewati oleh arus listrik *resistivity* ini mencerminkan batuan dan fluida yang terkandung di dalam pori-pori batuan, yang mana tahanan ini tergantung pada porositas efektif dan banyaknya hidrokarbon dalam pori-pori batuan (Rider, 2002).

2.7 Metode *Well Logging*

Metode geofisika yang digunakan untuk mendapatkan data geologi batubara bawah permukaan secara cepat dan tepat yaitu metode *well logging*. Metode ini menghasilkan tingkat akurasi data yang relatif tinggi dibandingkan dengan metode lain, sehingga metode ini masih menjadi pilihan utama perusahaan dalam melakukan eksplorasi meskipun memerlukan biaya yang relatif mahal. Metode *well logging* adalah perekaman 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 (Reeves, 1986). Metode ini dirancang tidak hanya untuk mendapatkan

informasi geologi, tetapi untuk memperoleh berbagai data lain, seperti kedalaman, ketebalan, kualitas lapisan batubara dan juga mengkompensasi berbagai masalah yang tidak terhindar apabila hanya dilakukan pengeboran, yaitu pengecekan kedalaman sesungguhnya dari setiap lapisan, terutama lapisan batubara termasuk *parting* dan lain lain (Djumhani, 1998).

Well logging secara bebas dan sederhana berarti suatu pencatatan perekaman penggambaran sifat, karakter, ciri, data, keterangan, urutan bawah permukaan secara bersambung dan teratur selaras dengan majunya alat yang dipakai. Diagram yang dihasilkan akan merupakan gambaran hubungan antara kedalaman dengan karakter/sifat yang ada pada formasi (Setiahadiwibowo, 2017).

Log adalah suatu grafik kedalaman (bisa juga waktu), dari satu set data yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan di dalam sebuah sumur (Harsono, 1997). 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 (Eilis and Singer, 1987).

Intepretasi data *log* merupakan suatu metode pendukung dalam usaha evaluasi formasi, yaitu dengan cara menggunakan hasil perekaman alat *survey logging* sebagai sumber informasi yang utama. Intepretasi dapat dilakukan baik secara kualitatif maupun kuantitatif (Dewanto, 2009). Interpretasi data *log* geofisika dilakukan untuk menentukan litologi pada setiap kedalaman di bawah permukaan bumi. Masing-masing batuan memiliki respon yang khas pada kurva *log*, sehingga jenis litologi dapat ditentukan dengan mudah (Adrian, 2010).

2.8 Korelasi Batubara

Korelasi merupakan langkah penentuan unit stratigrafi dan struktur yang mempunyai kesamaan waktu, umur dan posisi stratigrafi. Dalam pelaksanaannya korelasi melibatkan aspek seni dan ilmu, yaitu memadukan persamaan pola dan prinsip geologi, termasuk dalam proses dan lingkungan pengendapannya, pembacaan dan analisis *log*, dasar teknik reservoir serta analisis kualitatif dan kuantitatif (Darmadi, 2015).

Metode korelasi terbagi atas dua jenis yaitu metode organik dan metode anorganik (Koesoemadinata, 1977).

1. Metode organik merupakan pekerjaan menghubungkan satuan-satuan stratigrafi berdasarkan kandungan fosil dalam batuan. Yang biasa digunakan sebagai marker dalam korelasi organik adalah asal munculnya suatu spesies dan punahnya *spesies* lain. Zona puncak suatu *spesies*, fosil indeks, kesamaan derajat evolusi, dan lain-lain.
2. Metode anorganik merupakan metode yang menghubungkan satuan-satuan stratigrafi yang tidak berdasarkan kandungan organismenya (data organik) melainkan berdasarkan sifat-sifat fisik batuan yang terkait.

Korelasi batubara dilakukan dengan data dasar berupa *key bed* atau lapisan penunjuk. lapisan ini menunjukkan suatu penyebaran lateral yang luas, yang dimudah dikenal baik dari singkapan, serbuk bor, inti pemboran atau data *log* mekanik. Penyebaran vertikalnya dapat tipis ataupun tebal. Lapisan yang dapat dijadikan sebagai *key bed* antara lain: abu vulkanik, lapisan tipis batugamping terumbu, lapisan serpih (*shale break*), dan lapisan batubara (Koesoemadinata, 1977).