

**ANALISIS JENIS BATUAN BERDASARKAN NILAI
GAMMA-RAY DAN *HIGH RESOLUTION DENSITY*
DI PIT MELAWAN PT. KALTIM PRIMA COAL
KALIMANTAN TIMUR**

SKRIPSI

oleh:
VAN INDRIANI
0310930059-93



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN FISIKA
2009**

**ANALISIS JENIS BATUAN BERDASARKAN NILAI
GAMMA-RAY DAN *HIGH RESOLUTION DENSITY*
DI PIT MELAWAN PT. KALTIM PRIMA COAL
KALIMANTAN TIMUR**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang fisika

oleh:
VAN INDRIANI
0310930059-93



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
JURUSAN FISIKA
2009**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS JENIS BATUAN BERDASARKAN NILAI
GAMMA-RAY DAN *HIGH RESOLUTION DENSITY*
DI PIT MELAWAN PT. KALTIM PRIMA COAL
KALIMANTAN TIMUR**

Oleh:
VAN INDRIANI
0310930059-93

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. Adi Susilo, M.Si, PhD
NIP. 131 960 447

Drs. Didik Yudianto, M.Si.
NIP. 132 125 709

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Drs. Adi Susilo, M.Si, PhD
NIP. 131 960 447

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : VAN INDRIANI
NIM : 0310930059-93
Jurusan : Fisika
Penulis skripsi berjudul :

**ANALISIS JENIS BATUAN BERDASARKAN NILAI
GAMMA-RAY DAN *HIGH RESOLUTION DENSITY*
DI PIT MELAWAN PT. KALTIM PRIMA COAL
KALIMANTAN TIMUR**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
2. Apabila di kemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Juni 2009
Yang menyatakan,

(Van Indriani)
NIM. 0310930059-93

**ANALISIS JENIS BATUAN BERDASARKAN NILAI
GAMMA-RAY DAN *HIGH RESOLUTION DENSITY*
DI PIT MELAWAN PT. KALTIM PRIMA COAL
KALIMANTAN TIMUR**

ABSTRAK

Lima buah sumur dari Pit Melawan di PT. Kaltim Prima Coal telah dianalisa untuk meneliti penentuan litologi berdasarkan nilai kuantitas. Lima buah sumur yang dianalisa adalah “F 003”, “F 007”, “F 008”, “F 009”, dan “F 011”. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengeboran inti yang terdapat di Pit Melawan.

Metode yang digunakan adalah metode *geophysical logging* dimana akan ditentukan suatu pembacaan litologi berdasarkan nilai kuantitas dari log gamma dan log *high resolution density* (log densitas) untuk tiap selang kedalaman yang berbeda. Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam suatu *software Microsoft Excel* sehingga terbaca litologinya. Dari pembacaan *software* tersebut kemudian dibandingkan dengan data *corenya*.

Batasan-batasan nilai *gamma-ray* yang digunakan untuk menentukan jenis batuan yaitu antara lain untuk batubara berkisar antara 0-57,7 CPS, untuk batulumpur berkisar antara 77-144,23 CPS, dan batupasir berkisar antara 15,4-61,5 CPS. Nilai *high resolution density* ditentukan berdasarkan data log yang tersedia.

Kelima *hole* yang diteliti menunjukkan litologi yang berbeda dan tiap *hole* memiliki nilai klasifikasi tertentu untuk pembacaan tiap litologi sehingga dalam pembacaan litologi tidak bisa ditentukan hanya berdasarkan nilai kuantitasnya tetapi perlu adanya data *core* untuk lebih akurat dalam menentukan jenis litologi tersebut.

LITHOLOGY ANALYSIS BASED ON GAMMA-RAY AND HIGH RESOLUTION DENSITY VALUES AT MELAWAN PIT PT. KALTIM PRIMA COAL EAST KALIMANTAN

ABSTRACT

Five holes from Melawan Pit in PT. Kaltim Prima Coal have been analyzed to examine the lithology based on the quantity value. The holes which have been analyzed are “F 003”, “F 007”, “F 008”, “F 009” and “F 011”. These search used data of coring in Melawan Pit.

The research used is Geophysical Logging method which will be used to identify lithology based on quantity values of Gamma-ray Log and High Resolution Density Log (density Log) for each lapse of a different depth. Values is inserted into a Microsoft Excel software, so its lithology can be identified. The results will be compared with the core data

Gamma-ray values limitations are used to determine the type of litologi namely, among others, to coal ranges between 0-57,7 CPS, for the mudstone ranged between 77-144,23CPS, and sandstone ranged between 15,4-61,5 CPS. The high resolution density values (density log) are based on the log data.

These five holes are examined shows a different lithology and every hole has a value to a particular lithology classification so that each lithology reading can not be determined only based on the quantity but the need to value the core data for more accurate in determining the type of its lithology.

KATA PENGANTAR

Dengan selesainya Skripsi yang berjudul **“ANALISIS JENIS BATUAN BERDASARKAN NILAI *GAMMA-RAY* DAN *HIGH RESOLUTION DENSITY* DI PIT MELAWAN PT. KALTIM PRIMA COAL KALIMANTAN TIMUR**, penulis memanjatkan puji dan syukur yang sebesar-besarnya ke-hadirat Allah SWT. Karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya lah, skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Salawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Rasulullah Muhamad SAW.

Selama melaksanakan skripsi ini penulis mendapatkan tambahan ilmu pengetahuan dan wawasan, serta tambahan pengalaman tentang dunia kerja dan interaksi dengan masyarakat di luar kampus.

Pada kesempatan ini penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah membantu pelaksanaan skripsi dan studi kasus ini, yaitu :

1. Drs. Adi Susilo M.Si., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Jurusan Fisika, Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang.
2. Drs, Didik Yudianto, M. Si. Selaku Dosen Pembimbing II.
3. Manager Departemen Geologi yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan Skripsi ini.
4. Mama, Papa, Mas, *Adek-adek* serta Keluarga Besar atas segala cinta, doa restu, dorongan dan dukungan untuk kelancaran pelaksanaan dan penulisan laporan Skripsi ini.
5. Pak Endang Hidayat yang telah banyak membantu pengadministrasian selama Skripsi ini.
6. Para *Geologist* serta teknisi *Logging* PT. KPC yang tidak mungkin penulis sebutkan sepenuhnya di sini.
7. Ibu Dra. S. J. Iswarin, M.Si., Apt. Selaku Dosen Pembimbing Akademik.
8. Seluruh karyawan Tata Usaha (TU), Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya atas kerjasamanya dalam kemudahan administrasi.
9. Yudhi Eko S. yang selalu memberikan semangat dan kekuatan baru dalam menjalani hari demi hari.
10. Asrama Kutim *“Sigura-gura III/5”* serta *“Sempor 17B”* atas semua kebersamaannya selama ini.

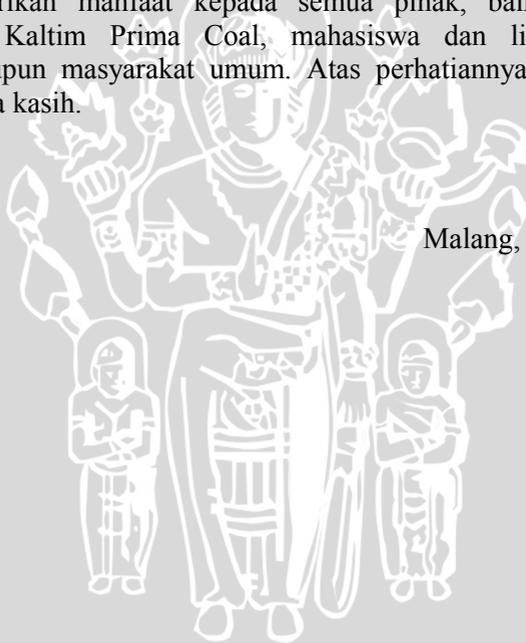
11. Diah, Lintang, Maya, Nila, Fajar, Iksan, dan segenap serdadu Fisika UB'03, untuk semua dukungan, motivasi, dan inspirasi.
12. Seluruh keluarga dan pihak – pihak yang tidak bisa disebutkan semuanya, atas semangat, dukungan, motivasi dan batuan yang diberikan.

Peribahasa menyatakan bahwa “tak ada gading yang tak retak”, sehingga penulis menyadari dengan sepenuh hati bahwa tidak ada sesuatu yang sempurna termasuk pada penulisan laporan Skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan, menghargai dan menghormati setiap pendapat, saran, dan kritik yang bersifat konstruktif dari segala pihak dalam rangka penyempurnaan laporan ini di masa yang akan datang.

Sebagai penutup, penulis berharap bahwa laporan Skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak, baik kepada instansi PT. Kaltim Prima Coal, mahasiswa dan lingkungan akademis maupun masyarakat umum. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

Malang, Juni 2009

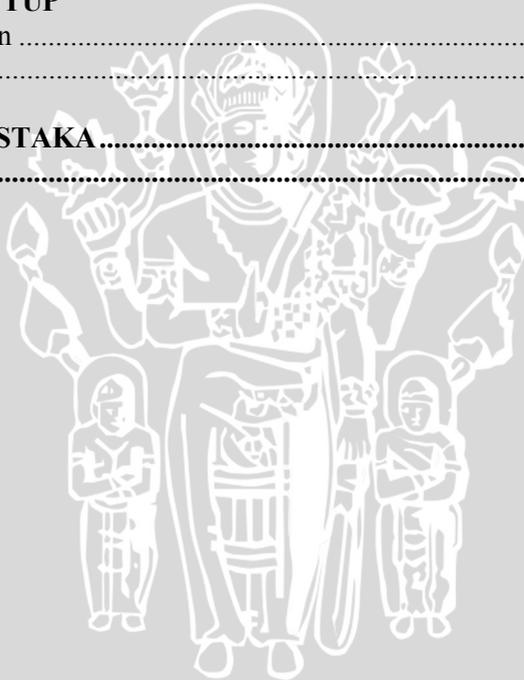
Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Geologi Regional.....	3
2.2 Sejarah Geologi.....	3
2.3 Fisika Batuan (<i>Rock Physics</i>)	7
2.3.1 Densitas (<i>Density</i>).....	7
2.3.2 Porositas Batuan.....	7
2.3.3 Sinar Gamma (<i>Gamma-Ray</i>).....	9
2.4 <i>Geophysical Logging</i>	11
2.4.1 Log <i>Gamma-Ray</i>	16
2.4.2 Log Densitas.....	20
2.5 Data Log.....	26
2.6 Interpretasi Data <i>Geophysical Logging</i>	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Data.....	33
3.3 Pengolahan Data.....	35

	Halaman
3.4 Pengklasifikasian Nilai <i>Logging</i>	36
3.5 Penggunaan Formula	36
3.6 Diagram Alir	37
 BAB IV PEMBAHASAN	
4.1 Data Log	39
4.2 Penentuan Litologi Berdasarkan Data Log	57
4.1.1 Log <i>Gamma-Ray</i>	57
4.1.2 Log <i>Density</i> (HRD)	61
4.2 Korelasi Data Log dan data <i>Core</i>	62
 BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	73



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Geologi regional daerah eksplorasi Lembak.....	5
Gambar 2.2. Stratigrafi daerah Pinang dan Melawan.....	6
Gambar 2.3. Porositas dan matriks suatu batuan.....	9
Gambar 2.4. Sinar Gamma.....	9
Gambar 2.5. Identifikasi mineral dari log <i>gamma-ray</i>	10
Gambar 2.6. Kegunaan <i>Geophysical Logging</i>	13
Gambar 2.7. <i>Geophysical log</i>	14
Gambar 2.8. FDS sonde	16
Gambar 2.9. Log <i>gamma-ray</i>	18
Gambar 2.10. <i>Gamma-ray logging</i>	19
Gambar 2.11. Interaksi dari sinar gamma.....	21
Gambar 2.12. Pancaran dan energi sinar gamma.....	22
Gambar 2.13. Log densitas.....	25
Gambar 2.14. Defleksi kurva log sinar gamma.....	28
Gambar 2.15. Defleksi kurva log <i>density</i>	29
Gambar 3.1. Lokasi Pengeboran di Pit Melawan.....	32
Gambar 3.2. <i>Report reconcile</i>	34
Gambar 3.3. Sampel <i>core</i>	34
Gambar 3.4. Tampilan Data LAS	35
Gambar 3.5. Diagram alir penelitian.....	37
Gambar 4.1. Data <i>log</i> (kurva log) untuk sumur F 003.....	40
Gambar 4.2. Data <i>log</i> (kurva log) untuk sumur F 007.....	44
Gambar 4.3. Data <i>log</i> (kurva log) untuk sumur F 008.....	47
Gambar 4.4. Data <i>log</i> (kurva log) untuk sumur F 009.....	50
Gambar 4.5. Data <i>log</i> (kurva log) untuk sumur F 011.....	54
Gambar 4.6. Respon log untuk litologi batubara (<i>coal</i>).....	58
Gambar 4.7. Respon log untuk litologi <i>sandstone</i>	59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nilai densitas berbagai litologi.....	25
Tabel 2.2 Respon berbagai log terhadap litologi.....	27
Tabel 4.1 Pembacaan litologi data log pada <i>hole</i> F 003	43
Tabel 4.2 Pembacaan litologi data log pada <i>hole</i> F 007	46
Tabel 4.3 Pembacaan litologi data log pada <i>hole</i> F 008	49
Tabel 4.4 Pembacaan litologi data log pada <i>hole</i> F 009	53
Tabel 4.5 Pembacaan litologi data log pada <i>hole</i> F 011	57
Tabel 4.6 Nilai <i>gamma-ray</i> untuk berbagai jenis litologi dalam satuan API.....	59
Tabel 4.7 Nilai <i>gamma-ray</i> untuk berbagai jenis litologi dalam satuan CPS.....	60
Tabel 4.8 Nilai <i>gamma-ray</i> berdasarkan data Log untuk masing-masing <i>hole</i>	60
Tabel 4.9 Nilai HRD berdasarkan data Log untuk masing-masing <i>hole</i>	62
Tabel 4.10 Nilai kuantitas HRD litologi SS dan CO untuk tiap <i>hole</i> (pada kedalaman maksimum dan minimum)	63

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Jenis-jenis batuan berdasarkan <i>report reconcile</i>	73
Lampiran 2 Jenis-jenis batuan berdasarkan pembacaan <i>excel</i>	79

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Batuan hampir terdapat di seluruh lapisan bumi. Berbagai jenis batuan terhampar di seluruh lapisan bumi mulai dari permukaan bumi hingga lapisan dalam bumi. Selain itu kebutuhan akan berbagai jenis batuan tersebut juga sangat tinggi. Sebagai contoh batubara yang dijadikan sebagai salah satu komoditi ekspor ke berbagai negara di dunia. Hal ini tidak dapat dipisahkan dari semakin meningkatnya kebutuhan manusia yang semakin kompleks.

Kemajuan teknologi eksplorasi saat ini telah memungkinkan untuk melakukan analisa berbagai jenis batuan (litologi) di bumi secara lebih detil dan akurat. Adapun metode-metode yang digunakan juga sangatlah beragam, baik itu dari data log maupun data *core* (data lapangan).

Jenis batuan utama tanah penutup antara lain adalah jenis batulempung (*siltstone*), batulumpur (*mudstone*), dan batupasir (*sandstone*) dimana ketebalan suatu tanah penutup relatif tetap. Perubahan keadaan geologi yang berulang kali mengakibatkan adanya penimbunan oleh lapisan batuan lain.

Geophysical Logging adalah salah satu dari metode geofisika yang digunakan dalam dunia eksplorasi untuk mengidentifikasi adanya variasi batuan, ketebalan dari lapisan batuan, kedalaman, ketebalan lapisan batuan dalam lapisan-lapisan batuan lainnya, serta untuk membantu dalam korelasi dari lubang bor yang satu ke lubang bor yang lainnya. Data yang ditunjukkan oleh *geophysical logging* meliputi pembacaan nilai *gamma-ray* dan nilai densitas.

Hasil pembacaan dari nilai *gamma-ray* dan nilai *density* tersebut digunakan untuk mengidentifikasi atau menganalisa berbagai jenis batuan. Dari pembacaan log *gamma-ray*, aktivasi radioaktif suatu batuan dapat dideteksi. Sifat masing-masing batuan menunjukkan adanya suatu aktivasi radioaktif yang berbeda sehingga dari aktivasi tersebut dapat disimpulkan suatu jenis batuan tertentu berdasarkan nilai *gamma-ray* (radioaktifnya).

Log *density* menunjukkan suatu porositas batuan sehingga dari nilai porositas tersebut dapat diketahui sebaran atau luasan batuan.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat ditarik suatu rumusan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimana menganalisis jenis-jenis litologi (batuan) berdasarkan nilai *geophysical logging* yang meliputi nilai *gamma-ray* dan nilai *high resolution density (hrd)* di Pit Melawan PT. Kaltim Prima Coal Kalimantan Timur.

1.3 Batasan Masalah

Untuk membuat penjelasan lebih spesifik, terdapat beberapa batasan masalah, diantaranya yaitu:.

- Penentuan batuan berdasarkan log *gamma-ray* dan log *density*.
- Nilai log *density* yang digunakan adalah nilai *high resolution density (hrd)*.
- Analisa jenis batuan dari variasi data log sumur meliputi: batupasir (*sandstone*); batulumpur (*mudstone*); dan batubara (*coal*).

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis jenis-jenis litologi (batuan) berdasarkan nilai *gamma-ray* dan nilai *high resolution density (hrd)* di Pit Melawan PT. Kaltim prima Coal Kalimantan Timur.

1.5 Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai penentuan jenis-jenis batuan berdasarkan pembacaan *geophysical logging* yaitu nilai *gamma-ray* dan nilai *high resolution density (hrd)*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Daerah Pinang termasuk ke dalam formasi Balikpapan dan terletak di bagian timur laut Lembah Kutai. Struktur Kubah Pinang umumnya didominasi oleh lipatan-lipatan yang membentuk serangkaian antiklin yang berpusat di Samarinda dan memiliki kecenderungan ke arah utara-timur.

Struktur Geologi utama yang terdapat di daerah formasi Balikpapan adalah Kubah Pinang, dimana terdapat struktur antiklin dengan arah utara dan patahan normal yang memiliki kecenderungan arah timur-barat daya. Struktur geologi yang banyak terdapat di sekitar Kubah Pinang adalah daerah pelapisan dan kekar.

Jenis batuan utama tanah penutup (*interburden*) adalah jenis batulempung (*siltstone*), batulumpur (*mudstone*), dan batupasir (*sandstone*). Ketebalan tanah penutup ini relatif tetap. Batulumpur (*mudstone*) dan sebagiannya *carbonaceous* (zat arang), biasanya berbatasan langsung dengan lapisan batubara. Batupasir (*sandstone*) tidak ditemukan dalam keadaan menerus secara lateral, melainkan berbentuk lensa dalam berbagai ukuran.

Urutan dari lapisan batulempung (*siltstone*), batulumpur (*mudstone*), batulempung (*siltstone*), atau batupasir (*sandstone*) merupakan bentuk dari pelapisan yang biasa dijumpai, sedangkan batupasir (*sandstone*) dan batulumpur (*mudstone*) dalam keadaan yang lebih *massive* (dalam ukuran lapisan yang besar) mempunyai perkembangan pelapisan yang buruk. *Parting* (lapisan batuan dalam batuan lain) bidang pelapisan umumnya membidang (planar), kasar, dan bersih dengan spasi antar 0,3 m sampai 1,2 m. *Cross bedding* (persilangan antar lapisan batuan) dapat berkembang pada batupasir (*sandstone*) yang kuat. (*Anonymous, 1995*)

2.2 Sejarah Geologi

Pada zaman Oligosen, wilayah Pinang merupakan Cekungan Kutai yang mengalami penurunan dan menjadi sedimen laut dangkal, terutama batulumpur (*mudstone*) dan pasir halus dari Bhongan Shale sehingga terbentuk formasi Pamaluan.

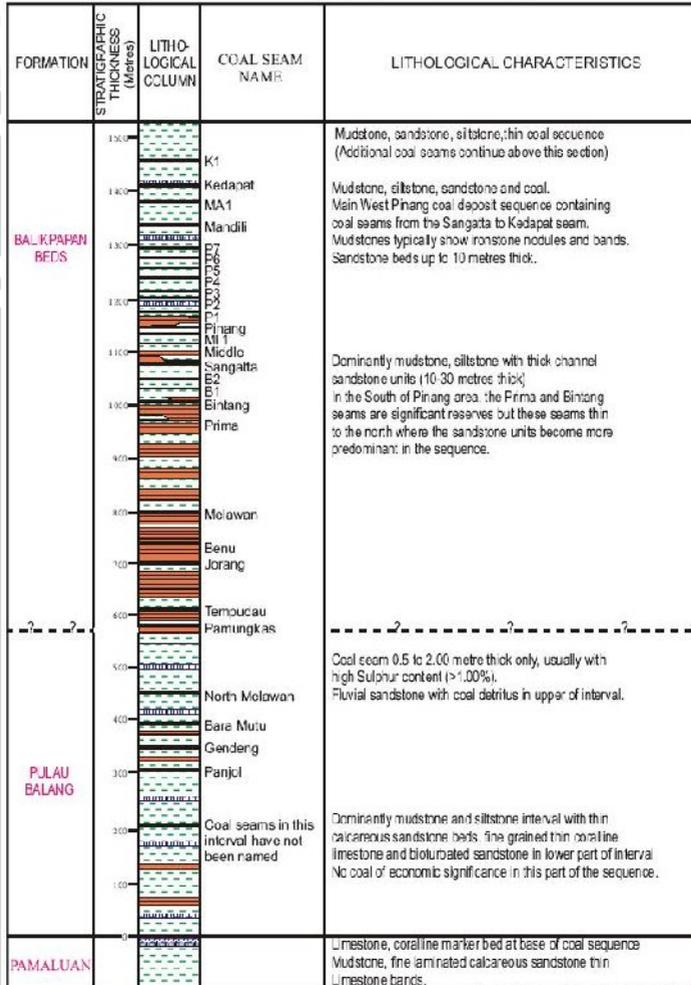
Pada zaman Miosen awal, pengangkatan wilayah ke arah barat telah menghasilkan banyak suplai sedimen yang masuk ke Cekungan Kutai dan menghasilkan endapan delta, salah satunya yaitu wilayah Sangatta. Pengumpulan endapan delta pada saat awal mengakibatkan terbentuknya formasi Pulau Balang terutama paparan delta yang lebih rendah dari endapan laut dangkal, dan diikuti oleh balikpapan *Beds* yang terdiri dari batulumpur (*mudstone*), batulempung, dan batupasir. Pada Formasi Balikpapan terdapat sejumlah *Peat* (gambut), yang pada akhirnya akan membentuk lapisan batubara (*coal*) di Pinang Barat. Penurunan yang terjadi di wilayah ini diduga tidak serentak sehingga menimbulkan terbentuknya patahan-patahan.

Pada zaman Pliosen, deposit yang membentuk Balikpapan Beds selanjutnya diikuti dengan pembentukan Kampung Baru Beds. Selama zaman Pliosen Marine, dari Bhongan Shale dan formasi Pamaluan mengalami tekanan. Terobosan lapisan-lapisan endapan oleh deposit dari Bhongan Shale dan formasi Pamaluan mengakibatkan terbentuknya struktur antiklin dengan sinklinal melalui Cekungan Kutai, sebagian Kubah Pinang dan sinklin lembah di wilayah Pinang. (*Anonymous, 1995*)



STRATIGRAPHY COLUMN OF PINANG & MELAWAN AREAS

(Reviewed 31.12.95 Mine Geology Dept. PT Kaltim Prima Coa)



NB: Coal Seam Names-Local Interpretation and Nomenclature

Drawn by: Drafting Section Mining Services Marketing/Teknik 1-68

(Sumber: Anonymous, 1995)

Gambar 2.2. Stratigrafi daerah Pinang dan Melawan

2.3 Fisika Batuan (*Rock Physics*)

Fisika Batuan (*Rock Physics*) merupakan karakteristik batuan yang dilihat berdasarkan sifat-sifat fisiknya. Fisika batuan dapat dilihat dari nilai densitas, porositas, serta besarnya radioaktifitas dari sinar gamma.

2.3.1 Densitas (*density*)

Densitas (*density*) merupakan karakter fisika dari sebuah batuan yang berhubungan dengan massa dan volume. Densitas atau massa jenis ini didefinisikan sebagai massa batuan yang dibagi dengan volume batuan tersebut. Pada umumnya, densitas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.1)$$

dimana:

ρ = Densitas batuan dalam kg/m^3 atau g/cm^3 .

M = Massa batuan dalam kg atau g.

V = Volume batuan dalam m^3 atau cm^3 .

Pada umumnya, nilai densitas suatu material dipengaruhi oleh:

- Presentasi mineral.
- Komposisi kimia.
- Suhu dan tekanan.
- Porositas.
- Kandungan fluida.

Aplikasi lain dari *density* yaitu nilai densitas yang terdapat pada batuan dapat digunakan untuk menentukan struktur serta litologinya.

2.3.2 Porositas batuan

Pori merupakan ruang dalam batuan yang selalu terisi oleh fluida, seperti udara, air tawar/asin, minyak, atau gas bumi. Porositas suatu batuan sangat penting dalam eksplorasi dan eksploitasi baik dalam bidang perminyakan maupun dalam bidang air tanah. Hal ini dikarenakan porositas merupakan variabel yang utama untuk menentukan besarnya cadangan fluida yang terdapat dalam suatu massa batuan. (Warmada, 2005)

Porositas merupakan perbandingan antara volume pori dengan total volume dari suatu batuan yang dinyatakan dalam

persen. Porositas batuan akan menjadi porositas yang efektif jika antara pori-pori yang satu dengan yang lain saling berhubungan dan biasanya mempunyai nilai yang lebih dibandingkan dengan nilai dari keseluruhan dalam suatu bahan. Adapun persamaan untuk nilai porositas dan porositas efektif suatu batuan dapat ditulis sebagai berikut: (Anonymous, 2007^b)

$$\text{Porositas } (\phi) = \frac{\text{volume total pori} - \text{pori batuan}}{\text{volume total batuan}} \times 100\% \quad (2.2)$$

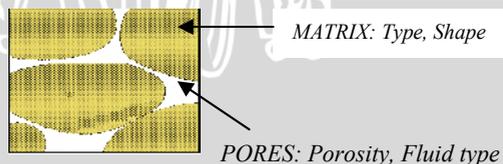
$$\text{Porositas efektif } (\phi_e) = \frac{\text{volume pori} - \text{pori berhubungan}}{\text{volume total batuan}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Parameter yang paling penting yang berpengaruh terhadap porositas adalah umur, mineralogi (kandungan butiran kuarsa), sortasi dan kedalaman terpendam maksimum.

Terdapat dua jenis porositas batuan selama pengendapannya, yaitu porositas primer (pengendapan klastik) yang disebabkan pengendapan secara alami, dan porositas sekunder yang disebabkan pergerakan tektonik, proses kimia, dan lainnya. Batuan pasir umumnya tersusun sebagai porositas primer dan batuan karbonat biasanya mengalami porositas sekunder. Faktor utama yang mempengaruhi porositas primer diantaranya:

- Ukuran butir dan karakter geometri (susunan, bentuk, ukuran, dan penyebarannya).
- Proses diagenesa dan kandungan sementasi.
- Kedalaman dan tekanan.

Porositas dan matrik susunan dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



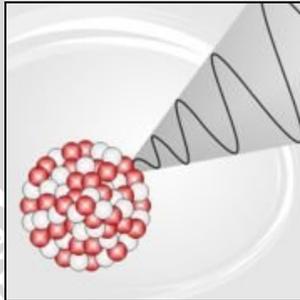
Gambar 2.3. Porositas dan matrik suatu batuan

(Sumber: Fransisca, 2005)

Komposisi butiran mempengaruhi sifat-sifat kimia dan mekanika batupasir. Hal ini akan berpengaruh terhadap porositas selama periode setelah pengendapan dari evolusi batupasir.

2.3.3 Sinar gamma (*gamma ray*)

Sinar gamma adalah istilah untuk radiasi elektromagnetik energi tinggi yang diproduksi oleh transisi energi karena percepatan elektron. Spektrum elektromagnetik energi tertinggi tersebut sering didefinisikan bermula dari energi 10 keV/ 2,42 EHz/ 124 pm



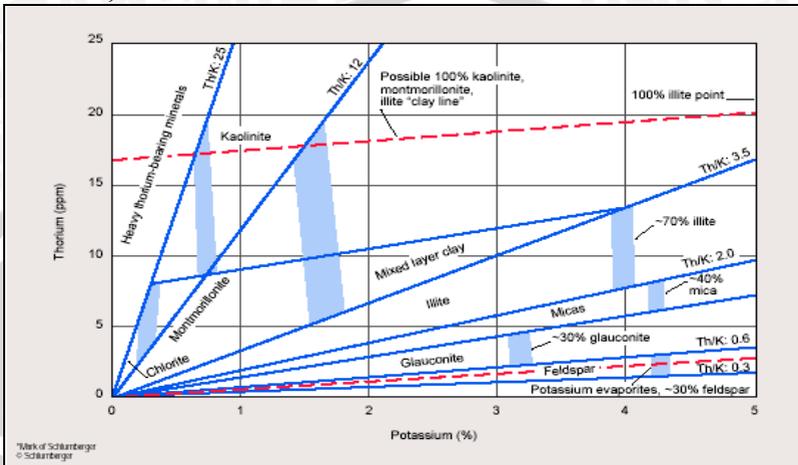
Gambar 2.4. Sinar gamma

(Sumber: Anonymous, 2007^a)

Sinar gamma merupakan pancaran gelombang elektromagnetis energi tinggi yang dipancarkan secara spontan oleh beberapa unsur radioaktif. Hampir semua penyinaran gamma ditemui di bumi. Penyinaran gamma tersebut dipancarkan oleh isotop *Kalium* (1.46 MeV untuk ^{40}K) radioaktif dengan berat atom 40 dan unsur radioaktif *Uranium* (1.76 MeV untuk ^{238}U) dan deret *Thorium* (2.62 MeV untuk ^{232}Th). Sebagian dari unsur-unsur tersebut ditemukan pada mineral serta material organik sangat padat yang datang dari matriks batuan dan bukan dari fluida. (Anonymous, 2007^a)

Secara alami, banyak radiasi dari sinar gamma (dari kalium, uranium, thorium, dan unsur lainnya) yang terhitung oleh detektor spektral sinar gamma dan sinar gamma alami. Selain itu, spektral *gamma-ray* juga mengukur energi dari tiap sinar gamma yang dideteksi. Adanya sinar gamma menandakan adanya batuan yang

mengandung unsur radioaktif, yaitu isotop *Kalium* yang ditetapkan, *Uranium*, atau *Thorium*.



Gambar 2.5 Identifikasi mineral dari log *gamma-ray*
(Sumber: Schlumberger, 1984)

Adapun nilai radioaktif unsur-unsur tersebut antara lain yaitu: (Berkman, 1995)

- *Potassium* (${}_{19}\text{K}^{40}$) dengan waktu paro $1,3 \times 10^9$ tahun memiliki energi sebesar 1,49 MeV.
- *Thorium* (${}_{90}\text{Th}^{232}$) dengan waktu paro $1,39 \times 10^{10}$ tahun memiliki energi berkisar antara 0,03 – 2,62 MeV dengan energi sinar gamma yaitu sebesar 0,059 MeV.
- *Uranium* (${}_{92}\text{U}^{238}$) dengan waktu paro $4,5 \times 10^9$ tahun memiliki energi berkisar antara 0,4 – 2,5 MeV dengan energi sinar gamma yaitu sebesar 0,048 MeV.

2.4 Geophysical Logging

Geophysical Logging adalah salah satu dari metode geofisika yang digunakan untuk mengeksplorasi. *Logging* dapat diartikan sebagai suatu proses pencatatan perekaman/*record*, penggambaran sifat, karakter, ciri, data, serta keterangan secara terperinci dari suatu formasi yang berupa lapisan-lapisan tanah atau batuan tertentu yang dibor. Selain itu, secara sederhana *logging* dilakukan secara bersambung dan teratur selaras dengan majunya alat yang dipakai,

sehingga diagram yang dihasilkan akan merupakan gambaran hubungan antara kedalaman dengan karakter atau sifat dari batuan yang ada pada formasi tersebut.

Wire-line Logging sering digunakan untuk pemboran inti, terutama untuk batubara. Jenis-jenis log yang dapat digunakan terbagi dalam: (Koesoemadinata, 2003)

- Penlogan geofisika (*Geophysical Logging*).
- Penlogan citra (*imaging*, hasil pemotretan kamera yang diturunkan ke dalam lubang pada tali serat optik dan dapat merekam citra visual sekeliling lubang bor).
- Log orientasi lubang sumur (yang menunjukkan arah dari lubang sumur dalam derajat kemiringan dan azimuth).

Sejak pertengahan tahun 70-an, penlogan geofisika untuk lubang pemboran kecil telah dikembangkan. Dibandingkan dengan penlogan secara visual, penlogan geofisika ini memiliki keunggulan antara lain:

- Penlogan geofisika lebih teliti dalam penentuan kedalaman dari target pemboran terutama dalam hal lapisan batubara daripada penlogan visual dari inti pemboran karena kemungkinan dekomaksi dan pendapatan inti yang buruk.
- Penafsiran litologi lebih baik dari pengamatan serbuk bor atau pendapatan inti yang buruk.
- Korelasi antar lubang bor bersifat jauh lebih objektif daripada log visual.
- Pada eksplorasi batubara, log geofisika dapat digunakan untuk mengestimasi parameter dari kualitas batubara.

Adapun jenis-jenis log yang dipakai dalam eksplorasi, antara lain yaitu: *log radioaktif (gamma, neutron, densitas); log listrik (resistivitas/SP); dan log caliper.*

- *Natural gamma log*, digunakan untuk menunjukkan kadar lempung.
- *Neutron log*, digunakan untuk merespon terhadap hidrogen, karbon dan kelembaban total moisture, derajat porositas (yang membedakan batu pasir dari serpih).
- *Calliper log*, untuk mengukur diameter lubang bor.

Jenis *log* ini memungkinkan untuk memisahkan batuan yang kompeten dari batuan yang tidak kompeten. *Log* ini juga dapat digunakan untuk menentukan kelayakan suatu lapisan batubara pada lokasi tertentu untuk dapat dilakukan pengintian, berdasarkan atas

derajat keretakannya yang diperlihatkan oleh garis tengah dari lubang bor yang menembus lapisan tersebut.

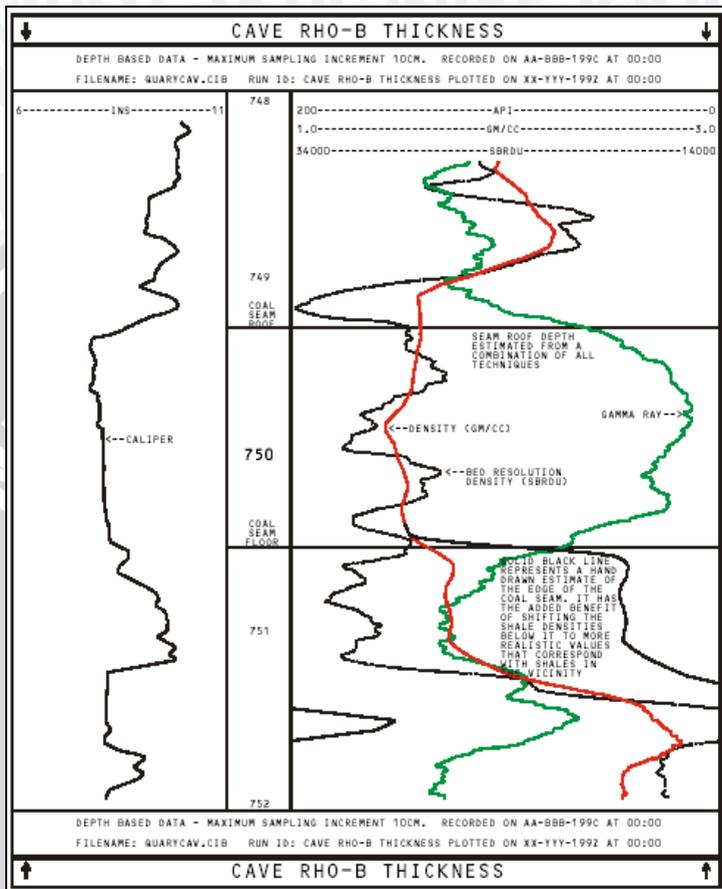
Dalam setiap proses pemboran akan memberikan hasil suatu informasi mengenai lithologi dari formasi lapisan lubang yang dibor. Hasil informasi tersebut kemudian dicatat dan kemudian dibandingkan dengan data yang didapatkan dari *geophysical logging*. Proses dari *geophysical logging* ini didapatkan setelah proses pemboran selesai dilakukan.

<u>Formation Parameter Required</u>	<u>Logs</u>
Coal Seam Thickness	Density Natural Gamma Caliper Focussed Resistivity Neutron-Neutron
Coal Quality	Density Natural Gamma Neutron-Neutron Sonic Resistivity
Lithology and Correlation	Natural Gamma Neutron-Neutron Density Focussed Resistivity SPR
Seismic Calibration	Sonic Seismic Reference Survey Density
Geotechnical Parameters	Neutron-Neutron Sonic Density
Water Parameters	Temperature/ Conductivity Flowmeter Water Sampler 16/64 inch Normal Resistivity SP/SPR 6 ft Lateral log
Porosity	Neutron-Neutron Sonic Density Resistivity

Gambar 2.6. Kegunaan dari *geophysical logging*
(Sumber: Robertson, 1984)

Logging didasarkan pada pengamatan/inspeksi secara visual seperti membawa *core* ke permukaan (*log* yang berhubungan dengan geologi) atau pengukuran fisik dengan menurunkan suatu instrumen ke dalam lubang bor (*log* yang berhubungan dengan geofisika).

Prinsip dasar dari *Geophysical Logging* adalah mengukur sifat-sifat fisika dari suatu formasi pada setiap kedalaman secara tepat.



Gambar 2.7. Geophysical log

(Sumber: David, 2000)

Dalam eksplorasi, kegunaan *geophysical logging* adalah untuk:

- Mengidentifikasi variasi batuan.
- Menentukan kedalaman *roof (top)* dan *floor (bottom)* dari suatu *seam*.
- Menentukan ketebalan dari *seam*.
- Menentukan adanya *parting* dalam *seam-seam*.
- Sebagai dasar korelasi antar lubang bor.

Log yang digunakan untuk eksplorasi ini adalah merupakan kombinasi dari alat-alat ukur densitas, sinar gamma alami (*natural*

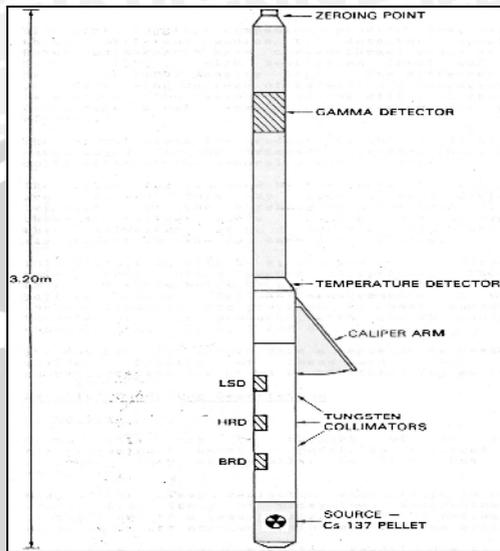
gamma ray), dan caliper yang dikenal sebagai *Formation Density Sonde (FDS)* yang merupakan log geofisika yang utama dalam eksplorasi batubara. Ketiga alat ukur ini terdapat dalam satu unit sonde dimana masing-masing mempunyai spasi antara sumber radiasi dan detektor yang berbeda. Bagian bawah dari unit sonde ini terdapat sumber radiasi yang terdiri dari atom *Cesium 137*.

Adapun alat yang mengukur densitas formasi terdiri atas tiga jenis, yaitu:

- *LSD (Long Space Density)* yang mempunyai spasi 48 cm antara sumber radiasi dengan detektor.
- *HRD (High Resolution Density)* yang mempunyai spasi 28 cm antara sumber radiasi dengan detektor.
- *BRD (Bed Resolution Density)* yang mempunyai spasi 14 cm antara sumber radiasi dengan detektor.

Adanya perbedaan spasi tersebut menyebabkan adanya perbedaan tingkat resolusi dan penetrasi. Respon dalam berbagai jarak pada zona yang berongga akan dapat mengurangi kesalahan pengukuran akibat pengaruh rongga. Data-data yang diperoleh dari pengukuran-pengukuran FDS kemudian direkam oleh alat pencatat.





Gambar 2.8. FDS Sonde
(Sumber: Robertson, 1984)

2.4.1 Log gamma-ray

Log gamma-ray (*log GR*) pertama kali dikembangkan oleh Well Survey, Inc. pada tahun 1935 yang mencatat radiasi alamiah dari batuan di bawah permukaan bumi.

Log gamma-ray biasanya untuk menunjukkan zona yang permeabel, dimana prinsip kerja dari *log gamma-ray* yaitu perekaman radioaktifitas alami bumi yang berasal dari tiga unsur yang terdapat dalam batuan. Ketiga unsur tersebut adalah *Uranium* (*U*), *Thorium* (*Th*), dan *Kalium* (*K*) dimana ketiga unsur ini secara kontinyu akan memancarkan sinar gamma dalam bentuk pulsa-pulsa energi radiasi tinggi. Selain itu, sinar gamma mampu menembus batuan dan dideteksi oleh sensor dari sinar gamma yang terdapat pada alat *logging gamma-ray*.

Batupasir dan batukapur memiliki kandungan material radioaktif (*U*, *Th*, *K*) yang rendah, sedangkan batulempung mengandung unsur-unsur radioaktif yang relatif tinggi. Bertambahnya kandungan lempung dalam batuan dapat menyebabkan semakin tingginya respon dari *log gamma-ray*, tetapi batupasir yang tidak mengandung lempung dapat pula menghasilkan

respon *log gamma-ray* yang tinggi jika batupasir tersebut mengandung *Kalium Feldspar*, *Mika*, *Glaukonit*, atau *Uranium*, *Thorium*, dan *Kalium*.

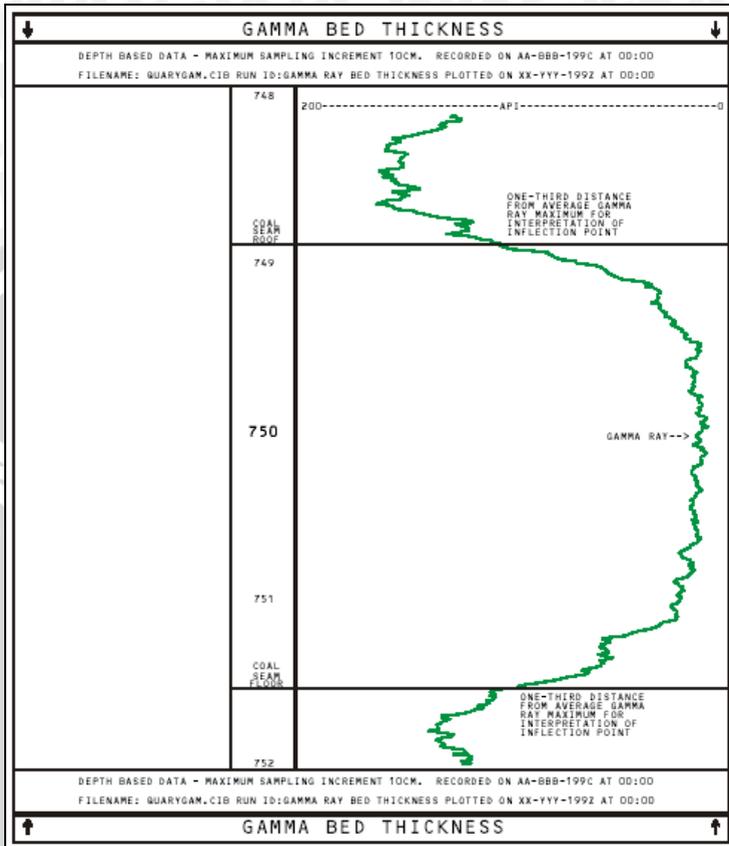
Log gamma-ray merupakan pengukuran emisi sinar gamma dari suatu formasi. Pada suatu urutan sedimen sebagian besar dari radiasi sinar gamma dapat dihubungkan dengan peluruhan dari *Potassium K40*. Konsentrasi dari *Potassium* umumnya sangat tinggi pada mineral lempung (*clay mineral*) dibandingkan dengan komponen batuan yang lainnya. Dalam batuan sedimen, batulumpur (*shale*) umumnya bersifat lebih radioaktif daripada batupasir, batugamping, dll.

Garis batas serpih (*shale*) pada log sinar gamma umumnya memiliki defleksi yang tidak halus. Hal ini dikarenakan adanya variasi dari sifat radioaktif *shale*-nya. Kalibrasi dari alat sinar gamma diperoleh dengan pengukuran respon dari alat tersebut terhadap sumber radioaktif yang disimpan pada jarak tertentu. Satuan dari pengukuran ini biasanya ditentukan dengan standar internasional yaitu *API (American Petroleum Institute) unit (1 CPS (Counts Per Second) = 1,04 API)*. Perubahan diameter lubang dan densitas lumpur pemboran memiliki pengaruh terhadap respon sinar gamma di dalam lubang-lubang diameter yang kecil. (Robertson, 1984)

Di dalam eksplorasi, *log gamma-ray* digunakan untuk menentukan atau membedakan jenis batuan. batubara, batupasir, dan batugamping umumnya memberikan respon sinar gamma yang rendah, sehingga dalam interpretasinya sering digabungkan dengan jenis log yang lain.

Adapun kegunaan dari *log gamma-ray* antara lain adalah:

- sebagai korelasi antar sumur bor;
- dapat menentukan lapisan yang permeabel;
- untuk evaluasi bijih mineral yang radioaktif;
- untuk evaluasi kandungan lempung/serpih (*Vshale*) dari batuan;
- *geochemical logging*;
- identifikasi material organik serta studi tentang asal mula batuan.

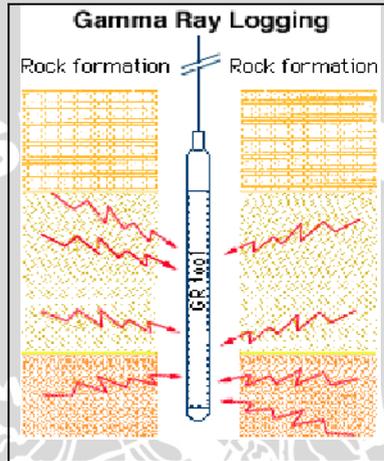


Gambar 2.9. Log gamma ray
(Sumber: David, 2000)

Prinsip *log gamma-ray* adalah suatu rekaman tingkat radioaktivitas alami yang terjadi karena tiga unsur: *Uranium* (U), *Thorium* (Th), dan *Kalium* (K) yang ada pada batuan. Sinar Gamma sangat efektif dalam membedakan lapisan permeabel dan tak-permeabel karena unsur-unsur radioaktif cenderung berpusat didalam serpih yang tak permeabel, dan tidak banyak terdapat dalam batuan karbonat atau pasir yang secara umum adalah permeabel. *Log gamma - ray* biasa digunakan untuk menentukan jenis litologi dari suatu batuan.

Pada formasi permeabel tingkat radiasi *gamma-ray* lebih rendah dan kurva akan turun ke kiri. Sehingga *log gamma-ray* adalah

log permeabilitas yang bagus sekali karena mampu memisahkan dengan baik antara lapisan serpih (*shale*) dari lapisan permeabel. (Harsono,1997)



Gambar 2.10. *Gamma-ray logging*
(Sumber: Anonymous, 2006)

Log gamma ray kemungkinan paling banyak digunakan dalam pengukuran. Hal ini digunakan untuk mencirikan litologi terutama pasir dari serpihan batu. Ini merupakan pengukuran sederhana dan bekerja pada pemboran *open hole* atau *cased*, yang berguna untuk pengukuran utama korelasi dan kendali dalam.

Batubara hampir tidak mengandung *Potassium* dan hanya dalam kondisi yang sangat tertentu mengandung sedikit mineral *Uranium* atau *Thorium*, sehingga secara alamiah batubara menghasilkan sedikit sinar gamma. Dari log sinar gamma, respon batubara sangat mudah dibedakan dengan respon serpih atau batuan sediment yang mengandung serpih. Respon batubara dapat sangat mirip dengan respon batu pasir bersih sehingga untuk membedakan edualitologi ini harus dibandingkan juga dengan respon *densitynya*. *Log gamma-ray* sangat umum digunakan dalam eksplorasi batubara dan merupakan alat utama untuk identifikasi litologi dan sejarah pengendapan dari urutan stratigrafinya. *Log* ini umumnya digunakan untuk membuat korelasi antar lubang bor. *Log gamma-ray* tidak

digunakan untuk menentukan ketepatan kontak batas lapisan batubara karena resolusinya yang jelek sehingga tidak dibuat dalam skala yang lebih detail.

Log gamma-ray dapat dilakukan dalam lubang yang kering maupun basah dan hanya terpengaruh sedikit oleh peronggaan lubang bor, cairan pemoran, *casing* dan batang bor. Oleh karena itu, *log* ini juga dapat dipakai untuk mendapatkan data batuan meskipun dalam kondisi lubang bor yang buruk.

Kandungan shale

Magnitude dari *gamma ray* dalam formasi yang dianggap menarik (berhubungan dengan zona bersih dan *shale*) dihubungkan dengan kandungan *shale*. Hubungan antara *magnitude* sinar gamma dan *shale* dapat berupa linier atau tidak linier. Secara empiris dapat dihitung dengan : (Anonymous, 2007^b)

$$I_{GR} = \frac{GR_{log} - GR_{shale}}{GR_{shale} - GR_{clean}} \quad (2.4)$$

I_{GR} = tanggapan linier ke shaliness
 GR_{LOG} = kurva log yang terbaca pada kedalaman tertentu
 GR_{CLEAN} = sinar gama bernilai mendekati zone bersih
 GR_{SHALE} = sinar gama bernilai mendekati *shale*.

2.4.2 Log density

Density log adalah *porosity log* yg mengukur kerapatan elektron dari formasi batuan. *Log* ini dapat membantu untuk menentukan:

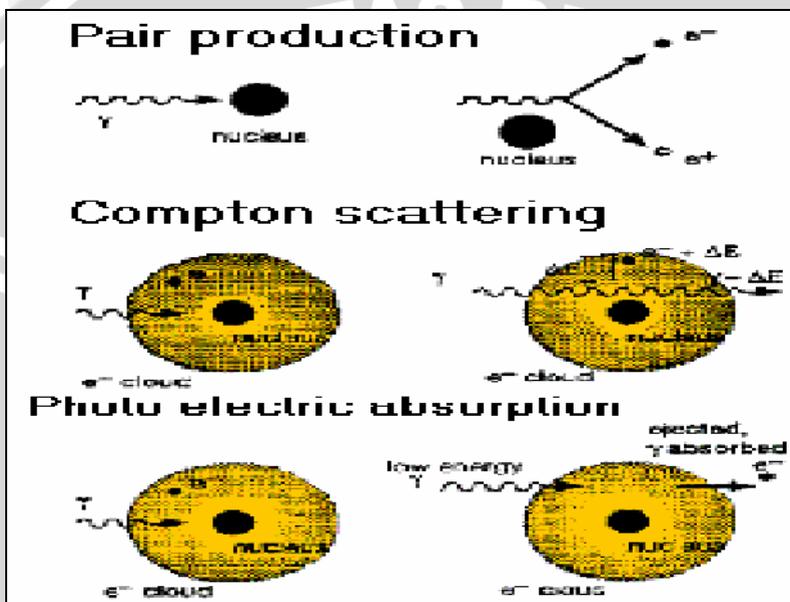
- porositas batuan;
- zona formasi yang berisi gas;
- kandungan lempung dalam batuan reservoir.

Alat pengukur densitas batuan ini merupakan alat penghubung yang aktif, dengan sumber sinar gamma yg mengemisi sinar gamma ke dalam formasi batuan.

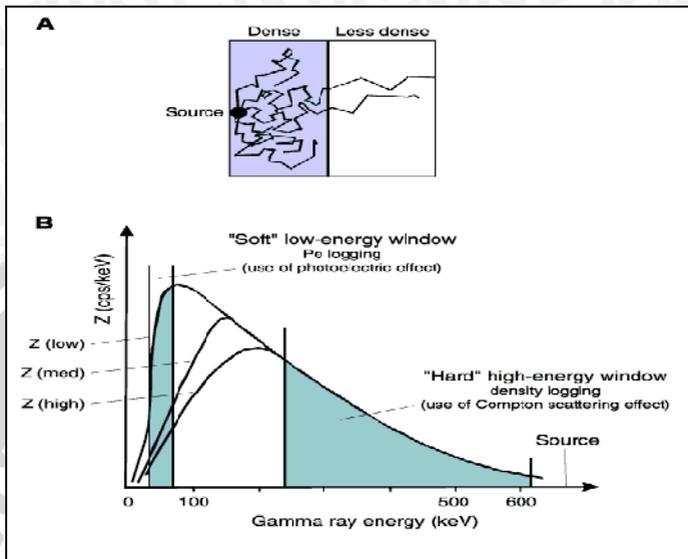
Prinsip kerja dari log densitas ini yaitu sinar gamma bertumbukan dengan elektron dalam batuan, yang menyebabkan berkurangnya energi partikel sinar gamma. Peristiwa ini dikenal dgn nama *compton scattering*. Sinar gamma yang terpancar ini akan

dicatat oleh detektor sebagai indikator dari densitas formasi. Banyaknya tumbukan *compton scattering* berbanding lurus dengan jumlah elektron dalam batuan (kerapatan elektron, yang berhubungan langsung dengan *bulk density*).

PEF (photoelectric effect), merupakan absorpsi dari energi sinar gamma yang rendah oleh elektron-elektron berpasangan dalam suatu atom yang kemudian teremis menjadi foton secara spontan.



Gambar 2.11. Interaksi dari sinar gamma
(Sumber: Anonymous, 2006)



Gambar 2.12. Pancaran dan energi *gamma-ray*
 (Sumber: Anonymous, 2007^b)

Compton scattering merupakan suatu interaksi yang terjadi di *log density*, dimana sinar *gamma* yang dihamburkan saling bertumbukkan dalam orbital elektron, sehingga elektron-elektron tersebut akan kehilangan energi.

Respon dari *density log* adalah pada *density* elektron dan bukan pada *bulk density*, dimana bisa diasumsikan dalam hubungan:

$$\rho_e = 2 \frac{Z}{A} \rho_b \quad (2.5)$$

dengan ρ_b adalah *bulk density* dan Z/A adalah perbandingan nomor atom dan nomor massa (biasanya bernilai 0,5)

Dalam berbagai kasus, perbedaan antara elektron *density* dan *bulk density* dapat dikenali, kecuali air ($Z/A=0.555$ dan kerapatan elektron = 1.1 g/cm^3). Terdapat korelasi yang menyebutkan bahwa batuan yang memiliki kerapatan elektron lebih berat dari $2,71 \text{ g/cm}^3$ tidak memiliki porositas, sehingga dapat dikatakan

$$\rho_b = \rho_e = 2.71 \text{ g/cm}^3 \quad (2.6)$$

dimana jika poroitas sebesar 100%, maka

$$\rho_b = \rho_e - 1.11 \quad (2.7)$$

yang selanjutnya akan menghasilkan hubungan

$$p_b = 1.0688 p_e - 0.1863 \quad (2.8)$$

Persamaan di atas diturunkan dari persamaan *log density* dan *bulk density* dari fluida.

Untuk batubara, koreksi ini terlalu besar sehingga untuk kerapatan elektron yang lebih rendah dari $1,752 \text{ g/cm}^3$ (di bawah densitas batuan berpori) memiliki nilai yang tetap yaitu $p_b = 0,065 \text{ g/cm}^3$. (Firth, 2000)

Peralatan pengukuran densitas terdiri dari sumber sinar gamma yang biasanya *Cesium* (Cs137) dengan dua atau tiga detektor. Pengukuran densitas didasarkan pada respon dari lapisan di sekitar lubang bor terhadap sinar gamma yang berasal dari sumber radiasi. Sinar gamma meninggalkan sumber kemudian dihamburkan oleh orbital elektron dari atom material yang akan diukur densitasnya. Pada material yang padat (mengandung beberapa elektron), sinar gamma dihamburkan dan lebih banyak yang diserap oleh material tersebut karena energinya yang rendah. Dengan demikian, penyerapan dekat dengan detektor menyebabkan sinar gamma lebih sedikit mencapai detektor. Pada material dengan elektron lebih sedikit (densitasnya rendah), sinar gamma akan lebih banyak yang mencapai detektor.

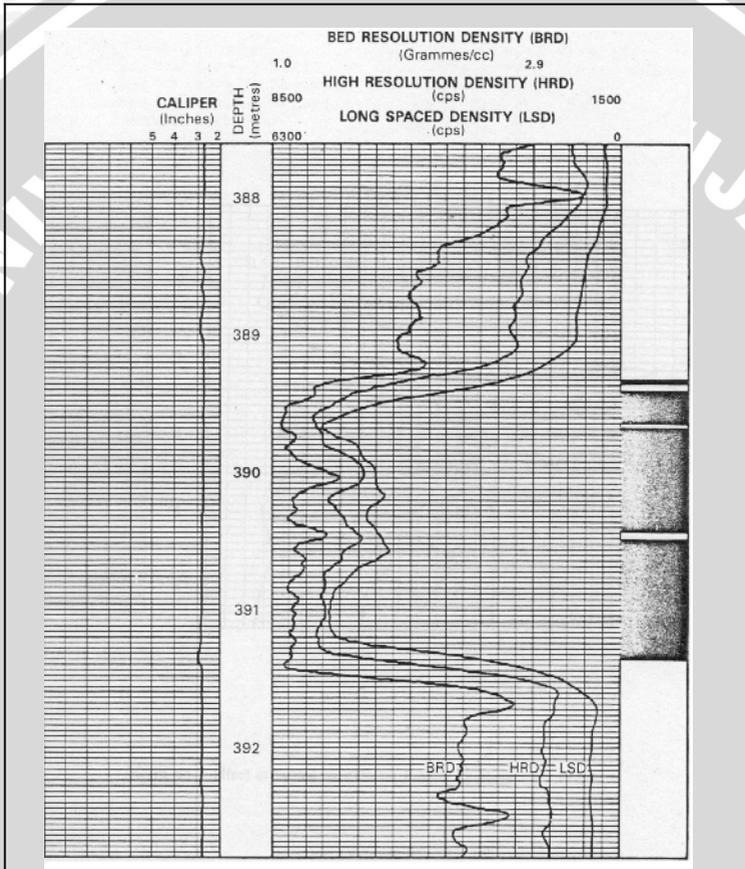
Tingkat resolusi yang dapat diperoleh dari log densitas bergantung pada jarak antara sumber dengan detektor yang terletak pada sonde. Jarak yang relatif rendah akan memberikan resolusi yang baik serta menghasilkan kedalaman batas batubara atau lapisan tipis seperti *dirty bands* di dalam batubara yang akurat.

Jika kondisi lubang memiliki lapisan ketebalan yang relatif baik, maka BRD (*Bed Resolution Density*) dapat mengukur kondisi tersebut secara akurat. BRD bersama dengan Caliper digunakan untuk korelasi secara kualitas (interpretasi lapisan ketebalan). Adapun interpretasi skala kurva BRD sesuai dengan SBRDU (*Standardised Bed Resolution Density Units*), yaitu $\frac{1}{2}$ dari rata-rata *base-line* dan rata-rata nilai dari respon garis yang hampir linier (lurus). (Firth, 2000)

Log densitas banyak dipergunakan, khususnya dalam eksplorasi batubara. Hal ini disebabkan beberapa faktor, yaitu:

- *Density log* dapat menentukan secara teliti selang kedalaman dari ketebalan lapisan batubara yang ditembusnya.
- *Density log* dapat menghasilkan suatu penentuan kerapatan batuan (*density determination*) sehingga dapat menunjukkan kualitas dari lapisan yang kemudian *density* dikorelasikan

dengan lubang bor yang telah diambil intinya dan perkiraan kadar abu dapat diekstrapolasikan dengan lubang bor terbuka yang dilog. Kombinasi dari gamma alami, log densitas, dan log neutron memberikan jalan untuk korelasi lapisan batubara serta lapisan sedimen yang menyelubunginya.



Gambar 2.13. Density log (LSD, BRD, HRD)
(Sumber: Robertson, 1984)

Tabel 2.1 nilai densitas berbagai litologi

Jenis batuan	Densitas	<i>Density Insitu</i> rata-rata
Batupasir / <i>sandstone</i>	1.61 – 2.76 g/cm ³	2.37 T/m ³
Batulempung / <i>siltstone</i>	1.8 – 2.5 g/cm ³	2.48 T/m ³
Batulumpur / <i>mudstone</i>	1.77 – 3.2 g/cm ³	2.40 T/m ³
Batubara / <i>coal</i>	0.7 – 1.5 g/cm ³	1.27 T/m ³

(Sumber: *Berkman, 1995*)

Kerikil dari batupasir memiliki nilai densitas 2.65 gr/cm³, batukapur (*limestone*) 2,71 gr/cm³, dan batupasir dolomit memiliki nilai densitas 2,87 g/cm³.

Nilai densitas yang terdapat pada batuan dapat digunakan untuk menentukan struktur serta jenis batuannya.

2.5 Data Log

Log adalah suatu grafik kedalaman dari suatu data yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan di dalam sebuah sumur (Harsono,1997). Dalam eksplorasi batubara, biasanya digunakan tiga parameter log, yaitu: *log gamma-ray*, *log densitas*, dan *log calliper*.

Penggunaan log geofisika di dalam eksplorasi batubara adalah untuk menentukan litologi formasi, terutama pada identifikasi, interpretasi, serta korelasi dari lapisan batubara. Masing-masing batuan memiliki respon tersendiri pada kurva log sehingga jenis litologi dapat ditentukan. Adapun karakteristik log dari beberapa batuan yaitu:

- Batubara / *coal* : sinar gamma rendah serta densitasnya juga rendah.
- Batulumpur / *mudstone* : radioaktif dari sinar gamma antara menengah sampai dengan densitas menengah.
- *Batupasir / sandstone* : sinar gamma agak rendah dengan nilai densitas menengah sampai tinggi.
- Batukonglomerat : sinar gamma menengah dan nilai densitas juga tingkat menengah.
- Batukapur / *limestone* : sinar gamma yang relative rendah dengan nilai densitas tingkat menengah hingga tinggi.

- Batuan vulkanik : sinar gamma tingkat rendah dengan nilai densitas yang tinggi.

Perlu diperhatikan antara batulumpur/*mudstone* dan batupasir/*sandstone* terdapat suatu seri batuan transisi dari *silty mudstone* hingga *muddy mudstone* yang semuanya akan menunjukkan radioaktif sinar gamma yang tinggi. Hal ini dikarenakan kandungan *Potassium* pada fosil laut atau dikarenakan juga kandungan dari *Uranium*.

Batubara umumnya menunjukkan radioaktif sinar gamma yang sangat rendah. Hal ini dikarenakan batubara umumnya tidak mengandung unsur *Uranium* maupun *Potassium*. Jika terdapat mineral-mineral lempung di dalam batubara, sebagai *parting*, maka radioaktifnya akan menunjukkan kenaikan harga di dalam respon *log*. Sumber dari radiasi gamma adalah peluruhan radioaktif dari *Potassium* di dalam mineral-mineral berukuran lempung. (Robertson, 1984)

Tabel 2.2 respon berbagai log terhadap litologi

		GAMMA RAY			DENSITY		SONIC		POROSITY			RESISTIVITY Ω-M					
		API	150	1.0	GM/CC	3.0	140	μSFT	40	50	SST	PU	0	0	10	100	1000
SHALE	MARINE	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	NON-MARINE	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
COAL	BITUMINOUS	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	INFERIOR	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	LIGNITE	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	ANTHRACITE	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
SANDSTONE	POROUS	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	TIGHT	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
SILTSTONE		█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
EVAPORITES	GYPHUM	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	SALT	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	ANHYDRITE	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
LIMESTONE	POROUS	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
	TIGHT	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

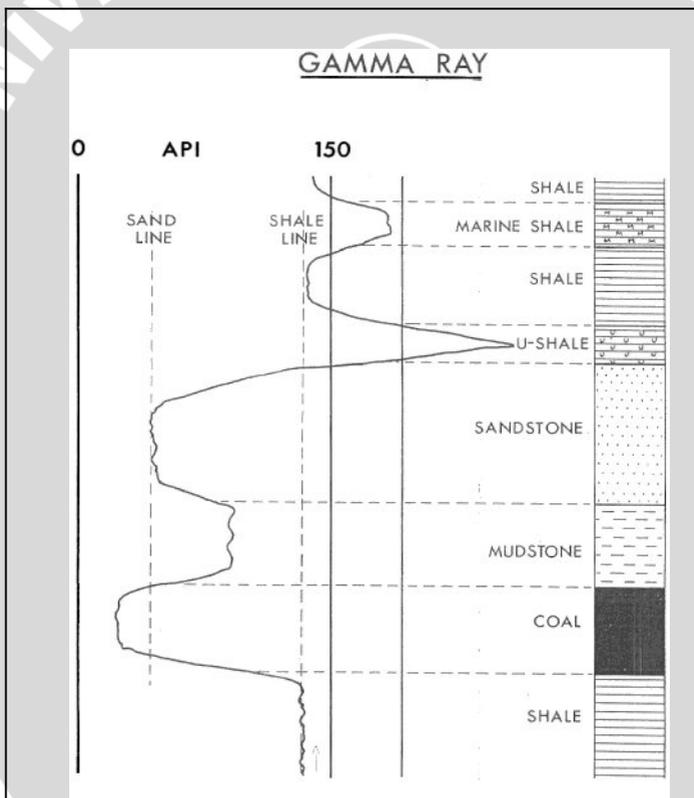
(Sumber: BPB Instruments. 1981)

2.6 Interpretasi Data Geophysical Logging

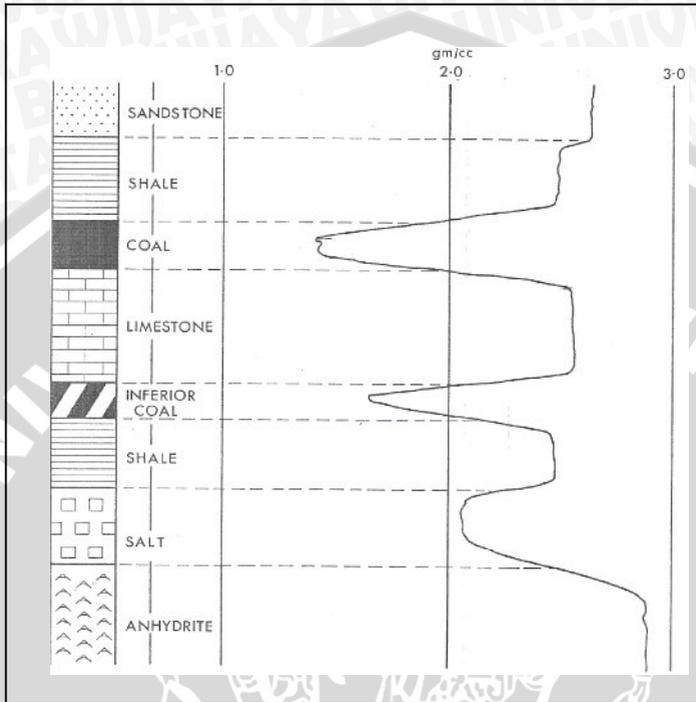
Interpretasi dari log geofisika dilakukan untuk membantu korelasi serta menentukan parameter-parameter dari formasi. Adapun interpretasi ini terbagi dalam dua bagian, yaitu interpretasi secara

kualitatif dan interpretasi secara kuantitatif. Secara kualitatif, interpretasi dilakukan dengan pembacaan nilai relatif, sedangkan secara kuantitatif, interpretasi dilakukan dengan pembacaan nilai absolutnya.

Terdapat beberapa variabel keadaan lubang bor yang mempengaruhi respon dari log, yaitu bentuk geometri dari sonde, ukuran lubang bor, tipe cairan, tipe batuan, zona terinvasi, serta ada tidaknya casing. Variabel-variabel tersebut harus diperhatikan terutama dalam interpretasi kualitatif, sehingga dapat memperkecil kesalahan dari pembacaan respon *log*. (Robertson, 1984)



Gambar 2.14. Defleksi kurva log sinar gamma
(Sumber: BPB Instruments. 1981)



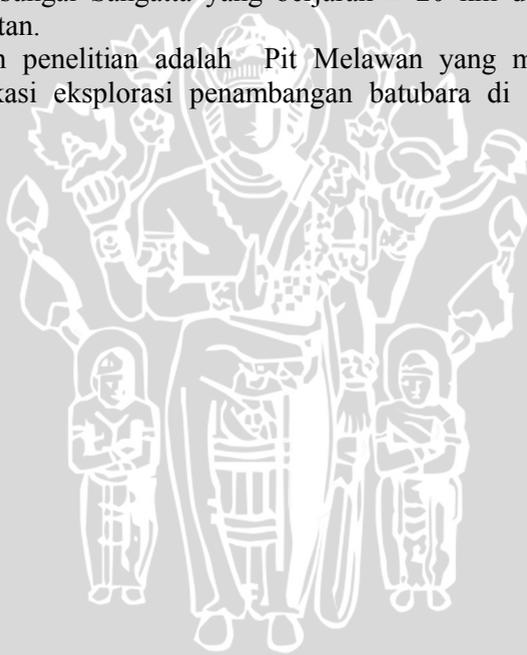
Gambar 2.15. Defleksi kurva log density
 (Sumber: BPB Instruments. 1981)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai April 2008 sampai dengan Juni 2008 di *Geology Department* - PT. KPC (Kaltim Prima Coal)-Sangatta, Kalimantan Timur. Lokasi penambangan PT. KPC berjarak \pm 230 km dari Kota Balikpapan dan \pm 15 km dari kota Sangatta ke arah barat laut. Dibatasi oleh Sungai Sangatta di sebelah selatan dan sebelah timur berbatasan dengan Perbukitan Pinang serta berbatasan dengan Bengalon di sebelah utara. Daerah penambangan terletak di sebelah utara sungai Sangatta yang berjarak \pm 20 km dari pantai timur Kalimantan.

Daerah penelitian adalah Pit Melawan yang merupakan salah satu lokasi eksplorasi penambangan batubara di PT. KPC (Gambar 3.1.)



3.2 Data

Data dalam penelitian ini menggunakan 5 sampel data *geophysical logging* yaitu pada sumur (*hole*) *F 003, F 007, F 008, F 009, F 011* serta data *report reconcile* tiap-tiap sumur dimana *report reconcile* ini adalah sebagai data pembanding (pengkorelasi). Daerah eksplorasi yang diteliti meliputi daerah Pit Melawan PT. KPC (khusus pengeboran inti).

Pada umumnya data berupa deskripsi litologi, dimana batas-batasnya dapat dinyatakan dalam suatu penampang berkolom atau profil yang biasanya disebut dengan *log*. Pengeboran dilakukan di beberapa titik bor sampai diperoleh data pengeboran. Setelah itu dilakukan pencatatan yang akurat dan sistematis dalam format yang tersedia yaitu *log* dan pencatatan dilakukan pada kolom-kolom dan kedalaman yang telah ditentukan. Hasil pemboran selanjutnya akan menghasilkan suatu catatan yang sebagian akan dimasukkan ke dalam *coring record* atau *drilling log*.

Data *geophysical logging* menunjukkan adanya variasi batuan, ketebalan dari lapisan batubara, kedalaman, serta ketebalan *parting* (lapisan batuan dalam batuan lain) dalam lapisan-lapisan batuan.

Adapun data *log* yang terdapat dalam *geophysical logging* yaitu berupa *log gamma-ray, log density, dan log caliper*. Data yang ditampilkan berupa kurva-kurva *log* dimana variasi dari kurva *log* tersebut merupakan variasi dari klasifikasi batuan (berdasarkan karakteristik tertentu) dari sumur yang dibor.

Data *core* berupa data jenis batuan yang hasilnya didapatkan secara visual dari proses pengeboran (*drilling*). Tipe atau jenis pengeboran yang digunakan untuk mendapatkan data *core* ini adalah pengeboran secara *coring*, dimana dalam proses pengeborannya akan didapatkan hasil *core* yang berupa variasi batuan. Sehingga dari data *core* tersebut dapat secara langsung mengklasifikasikan lapisan-lapisan batuan dari sumur yang dibor. Data *core* tersebut kemudian digabungkan dengan data *log* yang disebut dengan data *reconcile*. Data inilah yang akan dipakai sebagai acuan perbandingan dikarenakan data ini merupakan hasil data yang diambil langsung pada saat pengeboran.

Data terakhir yang digunakan adalah data LAS yang berupa data digital (output dari *logging*) yang meliputi cacahan nilai-nilai *log dari data* geophysical logging. Nilai-nilai yang terdapat dalam data ini, yaitu nilai dari *gamma-ray*, nilai densitas, serta nilai callipernya.

~A DEPTH	NGANI	CALP	LSD	HRD	BRD
122.02	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25
122.01	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25
122	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25
121.99	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25
121.98	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25
121.97	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25
121.96	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25
121.95	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	20486.02
121.94	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	11080.51
121.93	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	8521.62
121.92	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	7223.27
121.91	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	6444.57
121.9	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	5958.51
121.89	-999.25	-999.25	-999.25	-999.25	5598.59
121.88	-999.25	-999.25	-999.25	19427.97	5340.24
121.87	-999.25	-999.25	-999.25	9713.98	5116.32
121.86	-999.25	-999.25	-999.25	6556.76	4939.17
121.85	-999.25	-999.25	-999.25	4984.56	4785.37
121.84	-999.25	-999.25	-999.25	4037.64	4667.42
121.83	-999.25	-999.25	-999.25	3406.58	4577.04
121.82	-999.25	-999.25	-999.25	2955.42	4502.42
121.81	-999.25	-999.25	-999.25	2613.27	4445.04
121.8	-999.25	-999.25	-999.25	2347.9	4378.43
121.79	-999.25	-999.25	-999.25	2138.9	4332.64
121.78	-999.25	-999.25	10508.34	1962.64	3324.33

Gambar 3.4. Tampilan data LAS

Nilai dari *high resolution density* dapat dilihat dari data LAS pada tiap selang kedalaman di tiap sumur. Semua nilai yang tercantum dalam data LAS adalah dalam satuan CPS (*Counts Per Second*).

3.3. Pengolahan Data

Zona target penelitian ini adalah daerah Melawan, dimana pengeboran yang diteliti adalah khusus pada pengeboran inti (*coring*). Terdapat beberapa tahapan pengolahan data, yaitu:

- Melihat variasi log dari nilai *logging* (data LAS).
- Menentukan nilai kuantitas batuan berdasarkan nilai *logging* (nilai *gamma-ray* dan *high resolution density (hrd)*) sehingga didapatkan beberapa jenis batuan tertentu.

- Memformulasikannya ke dalam *software microsoft Excel* sehingga nilai *logging* tersebut dapat menghasilkan secara langsung pembacaan jenis batuan tertentu.
- Mengkorelasikan data *report reconcile* dengan nilai *logging* (pembacaan litologi batuan yang telah diolah dengan menggunakan *software microsoft Excel*).

3.4 Pengklasifikasian Nilai Logging

Untuk nilai dari *gamma-ray*, pengklasifikasian litologi batuan, yaitu batupasir (*sandstone*), batulumpur (*mudstone*), dan batubara (*coal*) juga bervariasi tergantung dari besarnya radioaktif yang dipancarkan. Sedangkan untuk pengklasifikasian litologi batuan menurut nilai densitasnya (HRD) didapatkan berdasarkan dari data *log* dan nilai *logging* (LAS file) yang kemudian mengklasifikasikannya ke dalam beberapa jenis batuan yaitu batupasir (*sandstone*), batulumpur (*mudstone*), dan batubara (*coal*).

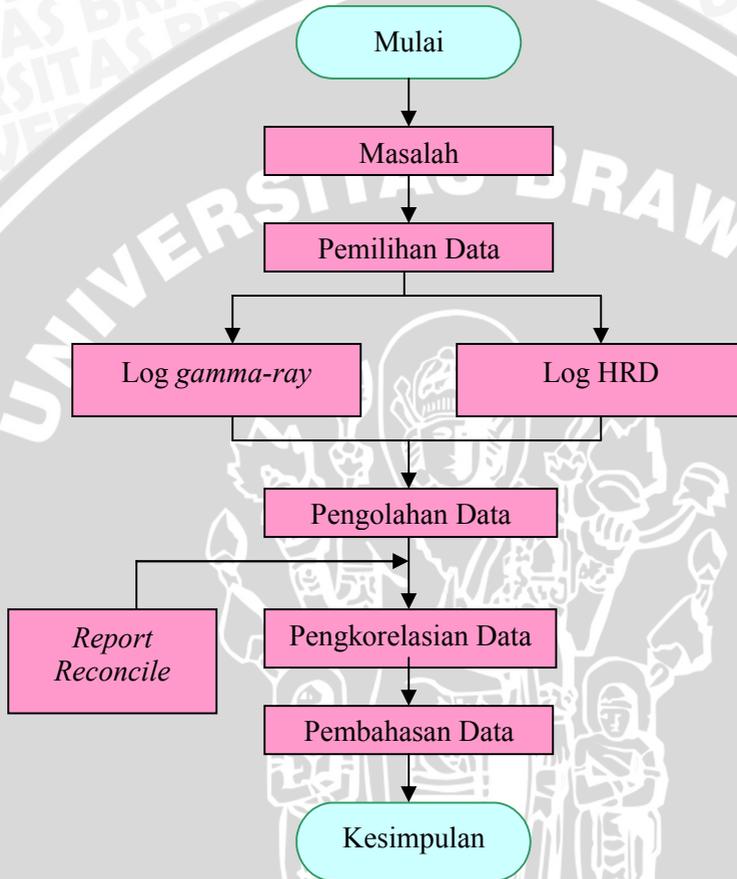
3.5 Penggunaan Formula

Pada penelitian ini juga digunakan suatu *software microsoft* yaitu menggunakan program *excel*. Software ini berfungsi sebagai media untuk pembacaan jenis litologi yang telah ditentukan dengan menggunakan suatu formula. Fungsi formula yang digunakan adalah fungsi logika "**IF**" dimana memerlukan ekspresi relasi dan perbandingan logika. Adapun bentuk dari fungsi tersebut yaitu:

=IF(AND(LOGICAL1,LOGICAL2,...))

Pada fungsi "**AND**" akan bernilai *true* (benar) jika semua *logical* pada formula "**AND**" tersebut terpenuhi dan akan bernilai *false* (salah) jika terdapat *logical* yang tidak terpenuhi syaratnya. (Anggawirya, 2003)

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5. Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan arah defleksi dari kurva log dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis litologi yang terdapat pada suatu formasi batuan. Kurva log tersebut terdiri dari kurva *gamma-ray*, kurva *density*, dan kurva caliper. Besarnya defleksi kurva log bergantung pada besarnya respon yang diberikan oleh batuan terhadap detektor dari sinar gamma dan *density* serta caliper.

Pada penelitian ini mengambil beberapa *hole* (lubang bor) *coring* dimana lokasi atau areanya adalah di Pit Melawan. Daerah Melawan ini merupakan suatu daerah yang kondisinya mendekati ciri daerah pantai atau pesisir karena litologi yang terdapat pada formasi batuanannya banyak didominasi oleh pasir (*sandstone*). Terdapat 35 data log untuk metode *coring* (pemboran inti) di daerah Melawan. Sebagai sampel penelitian diambil 5 sumur bor, yaitu dengan kode-kode antara lain: *F 003*, *F 007*, *F 008*, *F 009*, *F 011* dimana dari *hole-hole* tersebut akan ditentukan jenis litologi apa saja yang terdapat pada formasi batuan di dalamnya.

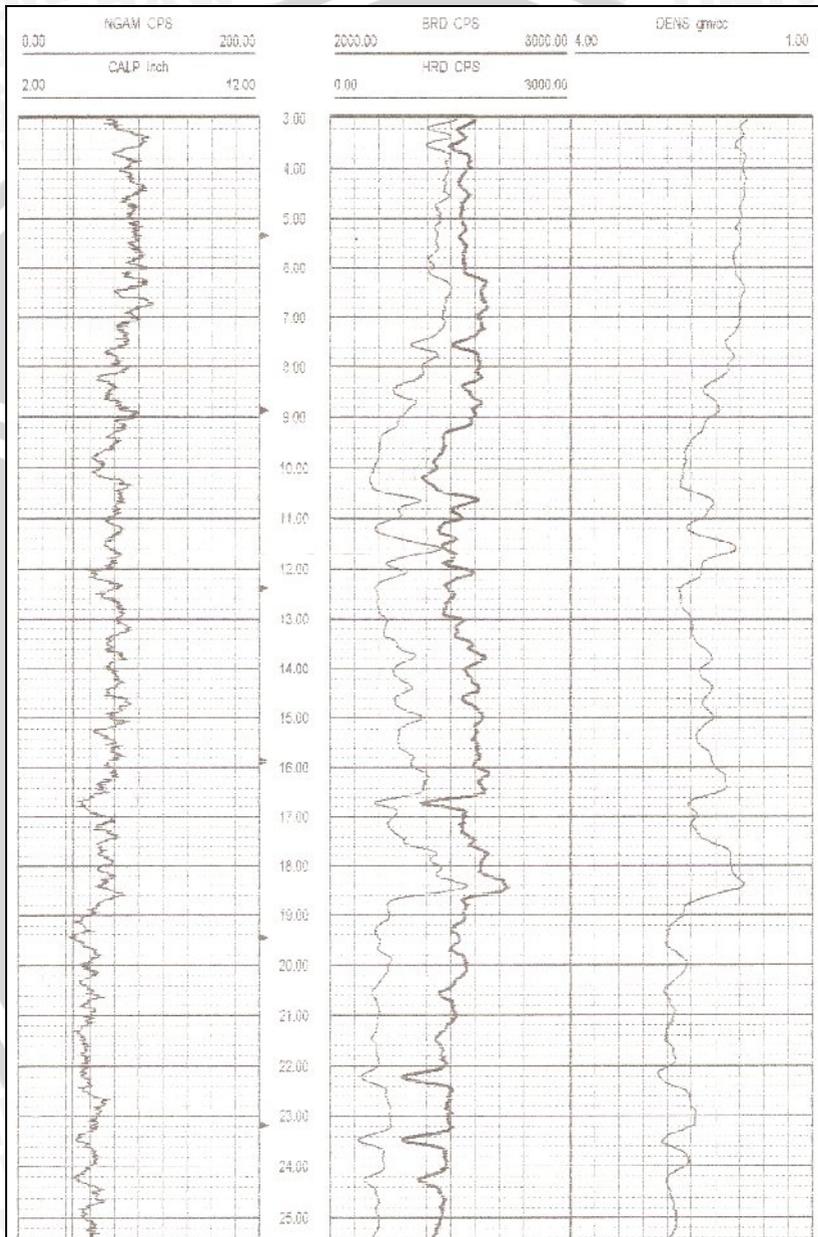
4.1 Data Log

Data ini menunjukkan adanya variasi batuan (litologi), ketebalan dari *seam* batubara, kedalaman, serta ketebalan *parting* dalam *seam-seam* tersebut.

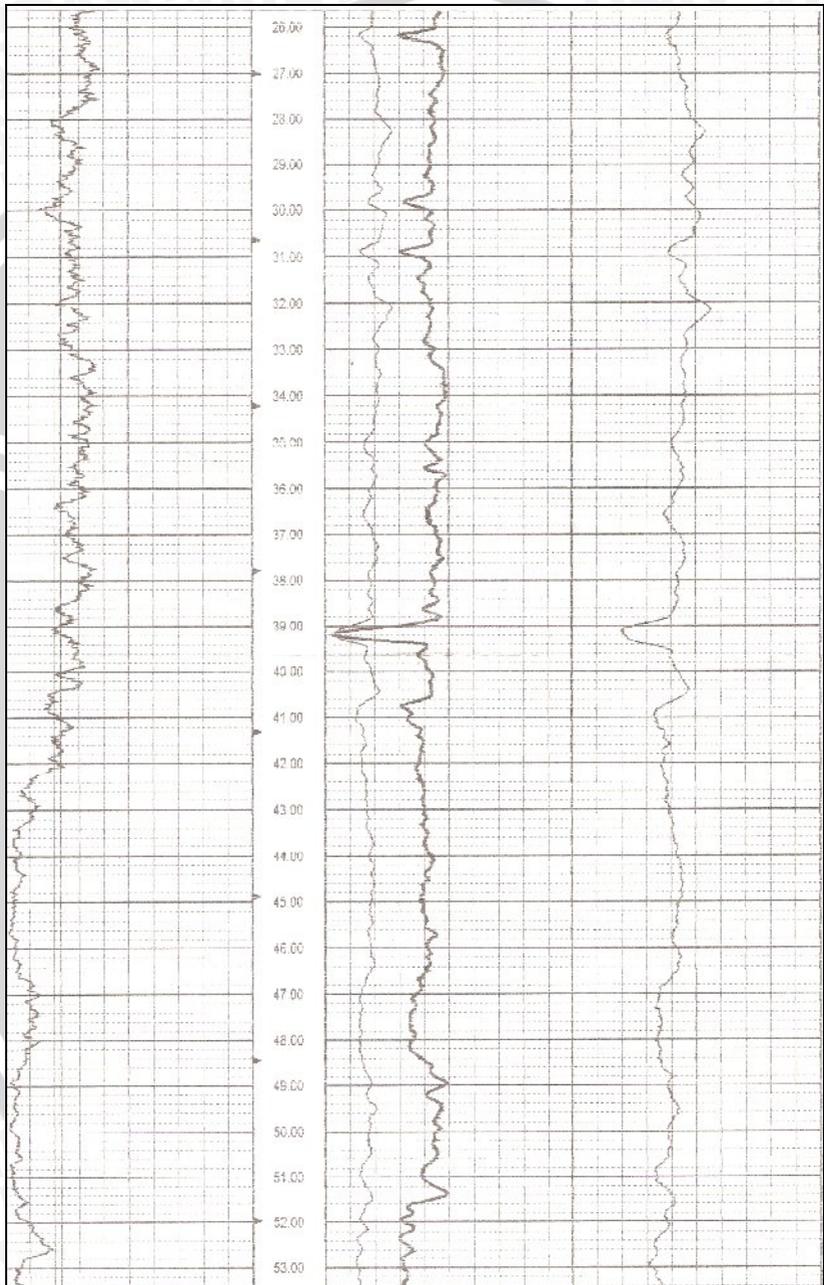
Adapun data log yang terdapat dalam *geophysical logging* yaitu berupa *log gamma-ray*, *log density*, dan log caliper. Namun, dalam penelitian ini, hanya melihat dari kurva *gamma-ray log* dan kurva log *high resolution density (hrd)*. Kurva log tersebut merupakan variasi dari klasifikasi batuan (berdasarkan karakteristik tertentu) dari sumur yang dibor. Data log yang digunakan antara lain:

Gambar 4.1. Data log (kurva log) untuk sumur F 003

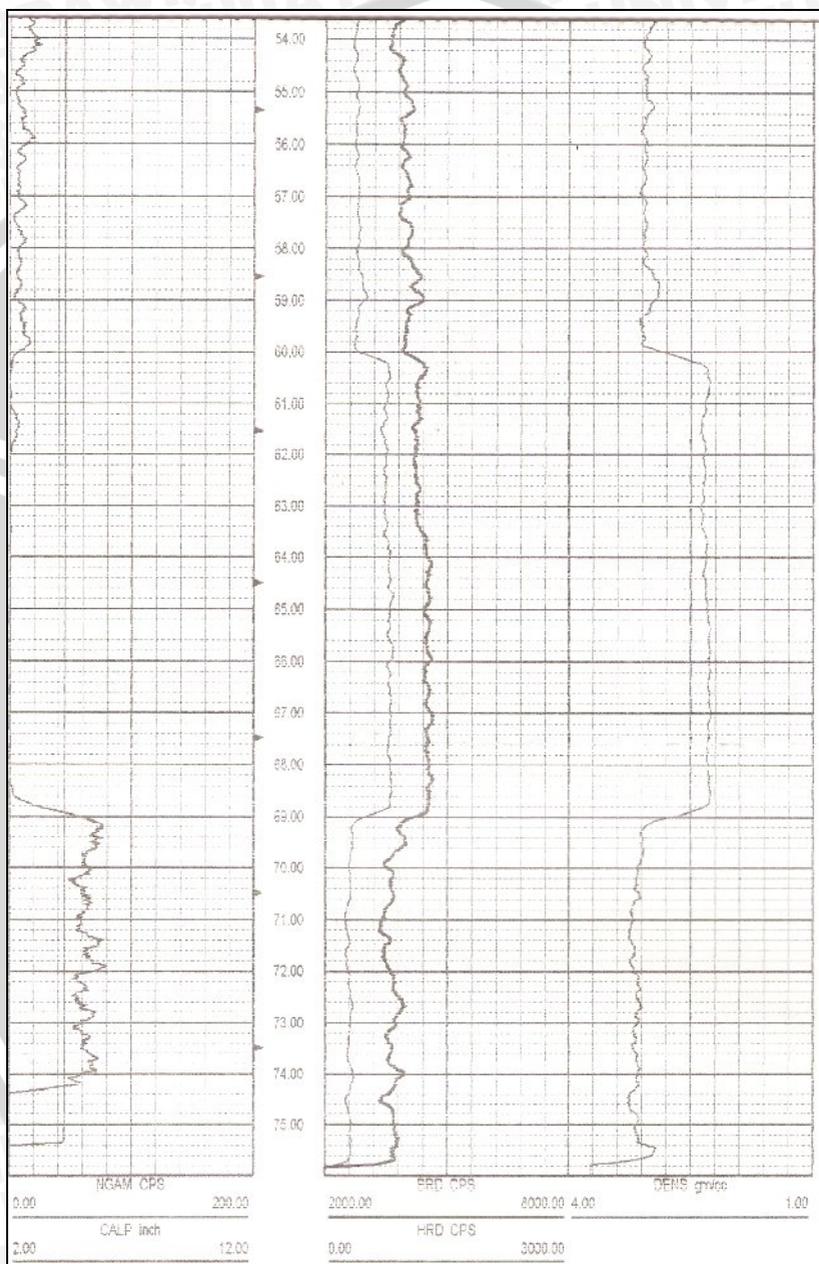
F003



Lanjutan F 003



Lanjutan F 003



Keterangan:

Pada kurva log F 003 didapatkan beberapa pembacaan btupasir (*sandstone*), batulumpur (*mudstone*), dan batubara (*coal*) antara lain pada selang kedalaman:

Tabel 4.1 pembacaan litologi data log pada *hole* F 003

Litologi (batuan)		
<i>Mudstone</i> (MS)	<i>Sandstone</i> (SS)	<i>Coal</i> (CO)
3 – 23,30 m	23,30 – 23,60 m	60,10 – 68,80 m
23,60 – 24 m	24 – 24,40 m	
24,40 – 33,20 m	30,20 – 33,10 m	
33,20 – 38,40 m	42,20 – 59,90 m	
39,40 – 40,40 m		
69 – 74,20 m		

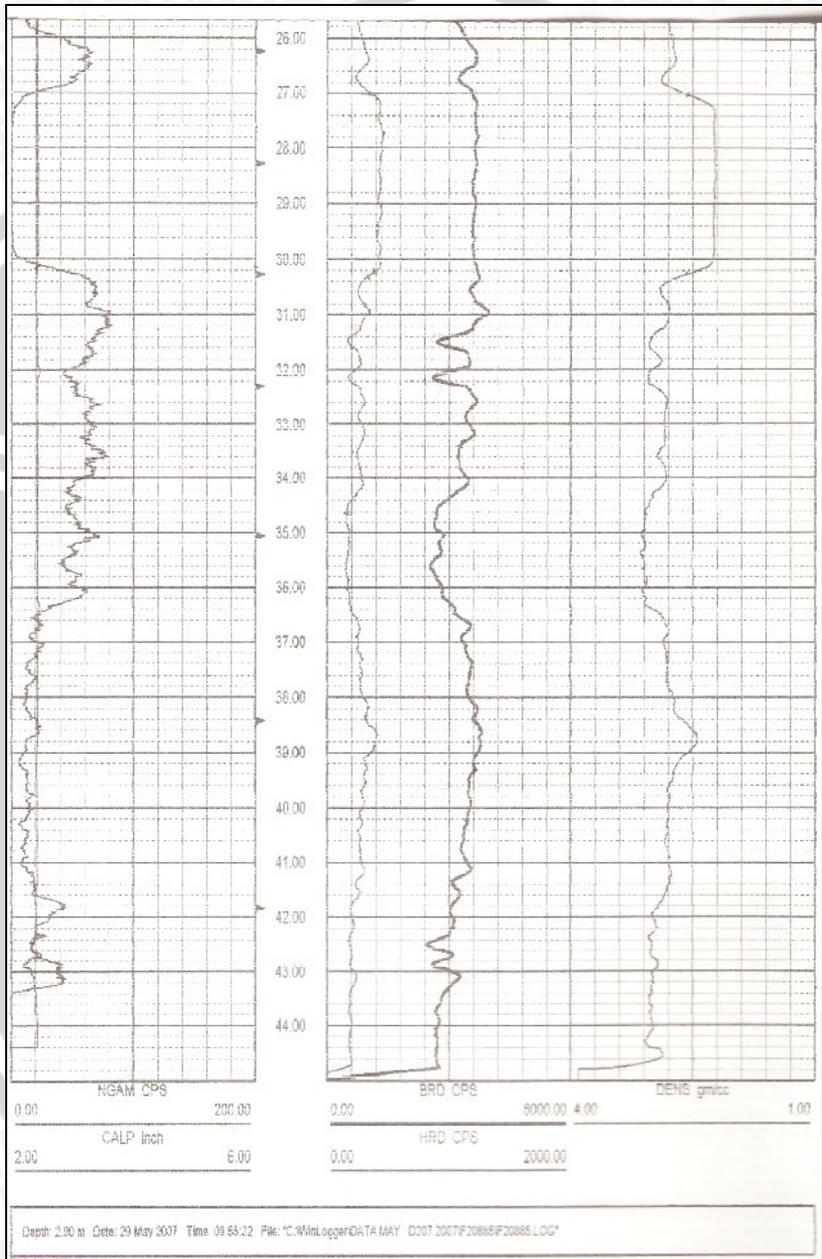


Gambar 4.2. Data log (kurva log) untuk sumur F 007

F 007



Lanjutan F 007



Keterangan:

Pada kurva log F 007 didapatkan beberapa pembacaan btupasir (*sandstone*), batulumpur (*mudstone*), dan batubara (*coal*) antara lain pada selang kedalaman:

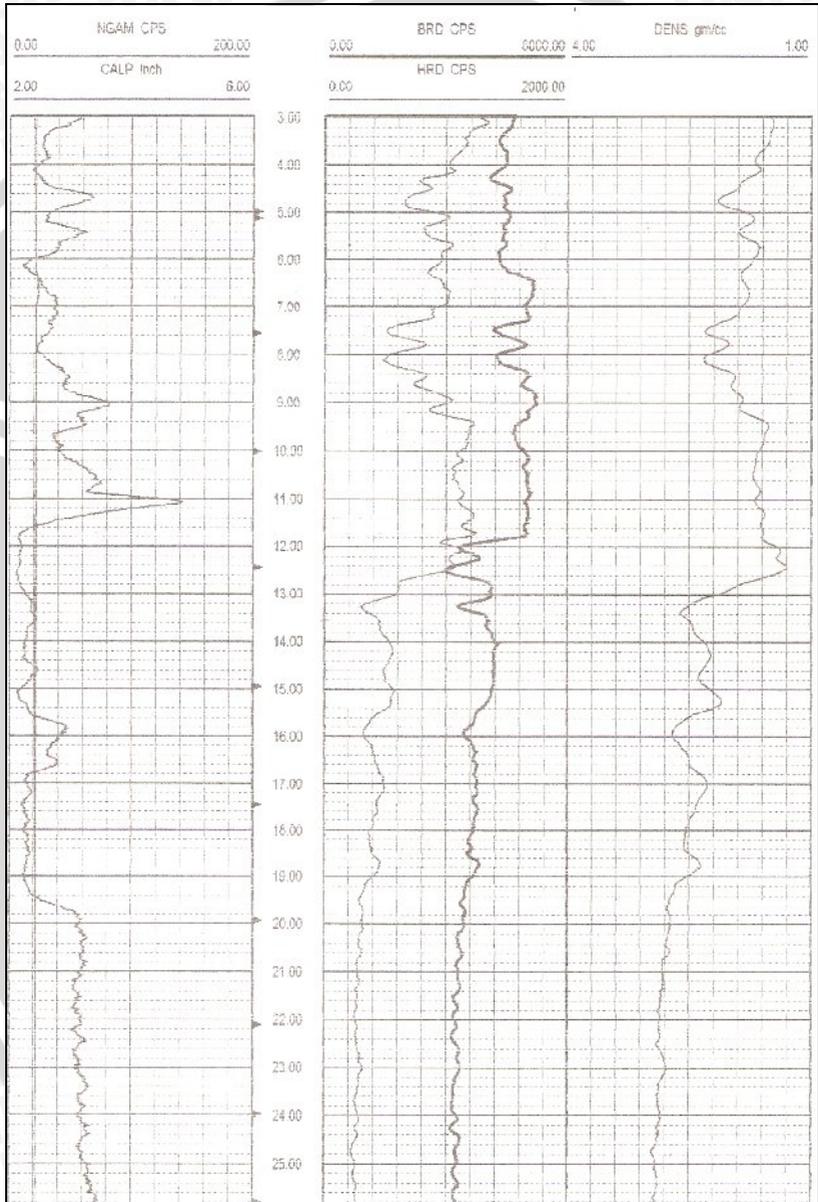
Tabel 4.2 pembacaan litologi data log pada *hole* F 007

Litologi (batuan)		
<i>Mudstone</i> (MS)	<i>Sandstone</i> (SS)	<i>Coal</i> (CO)
25,50 – 27 m	9,60 – 25,50 m	
30,20 – 36 m	36 – 43,40 m	27 – 30,20 m

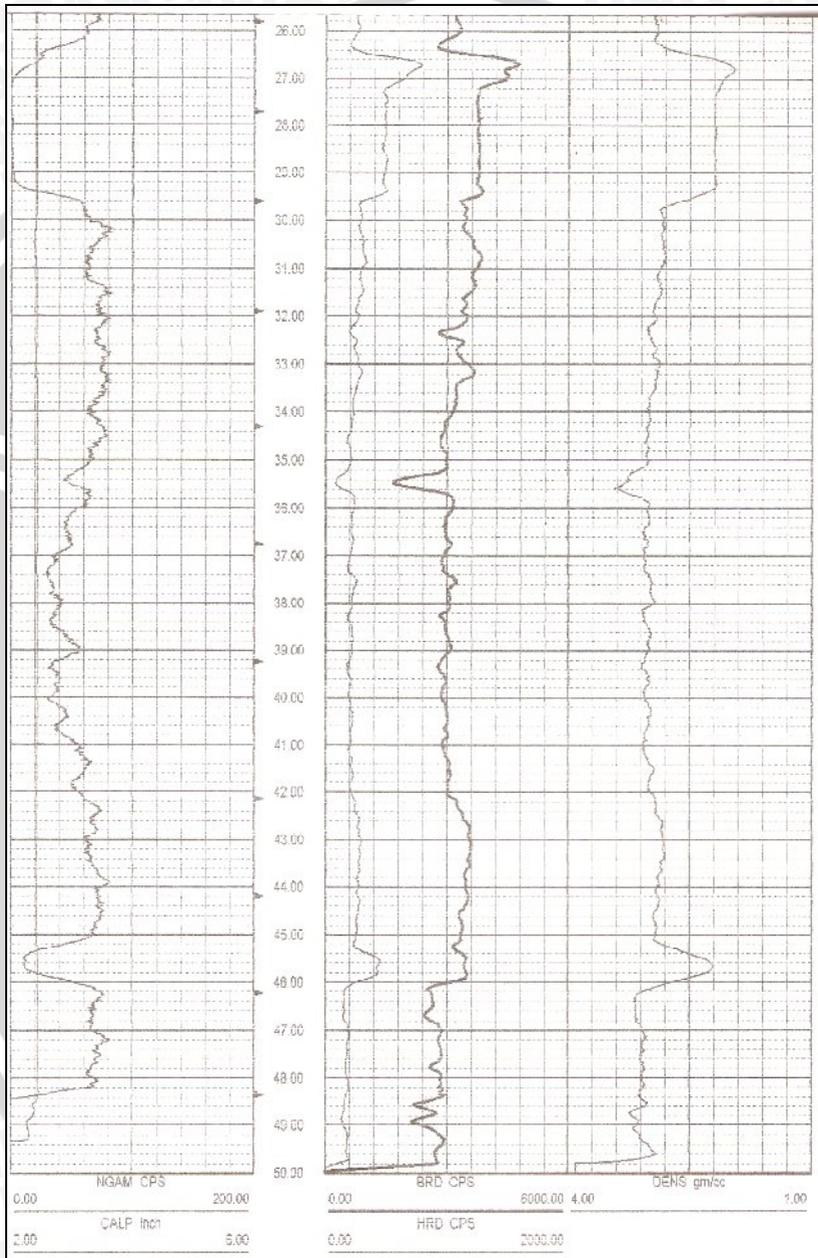


Gambar 4.3. Data log (kurva log) untuk sumur F 008

F 008



Lanjutan F 008



Keterangan:

Pada kurva log F 008 didapatkan beberapa pembacaan btupasir (*sandstone*), batulumpur (*mudstone*), dan batubara (*coal*) antara lain pada selang kedalaman:

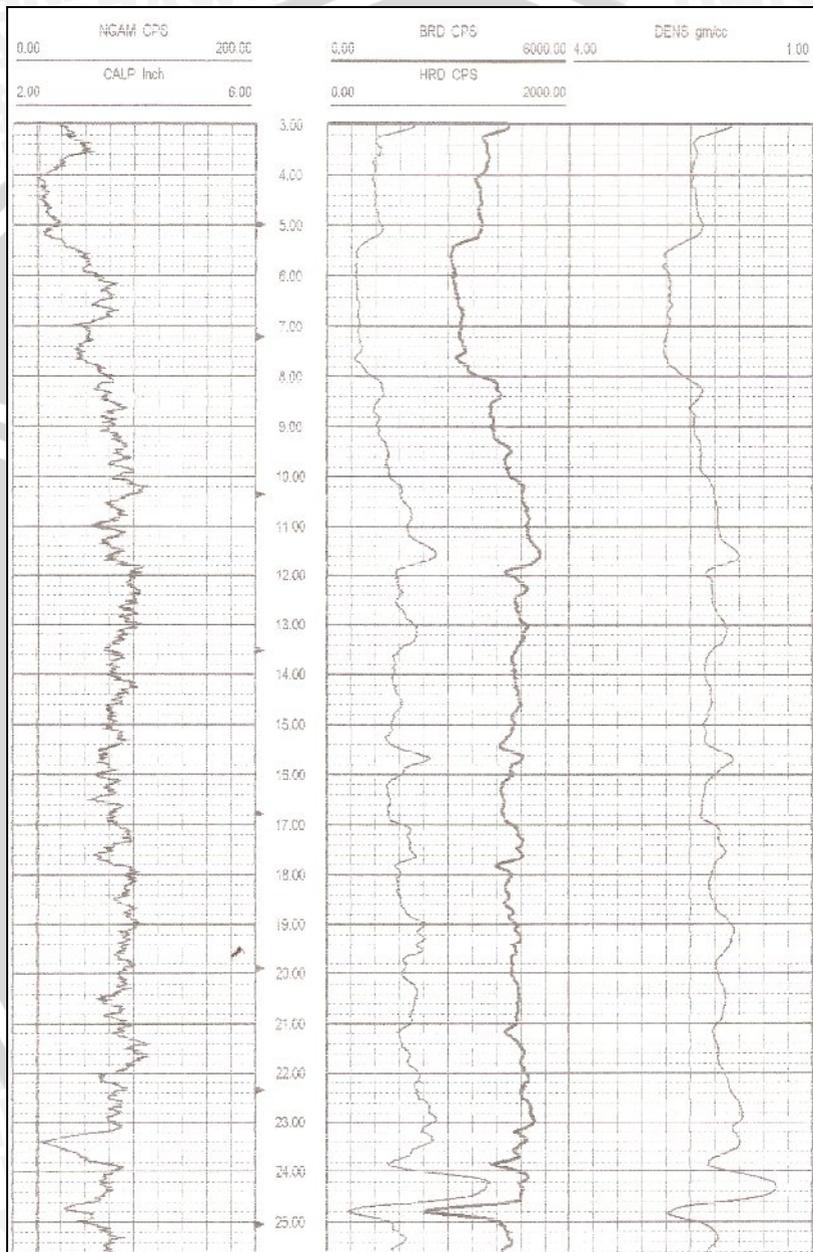
Tabel 4.3 pembacaan litologi data log pada *hole* F 008

Litologi (batuan)		
<i>Mudstone</i> (MS)	<i>Sandstone</i> (SS)	<i>Coal</i> (CO)
4,50 – 5 m	3 – 4,50 m	26,20 – 29,50 m
5,20 - 5,70 m	5 – 5,20 m	45,20 – 46 m
8,30 -11,20 m	5,70 – 8,30 m	
19,60 - 26,20 m	11,20 – 19,60 m	
29,50 - 36,90 m	36,90 – 41 m	
41 – 45,20 m		
46 – 48,30 m		

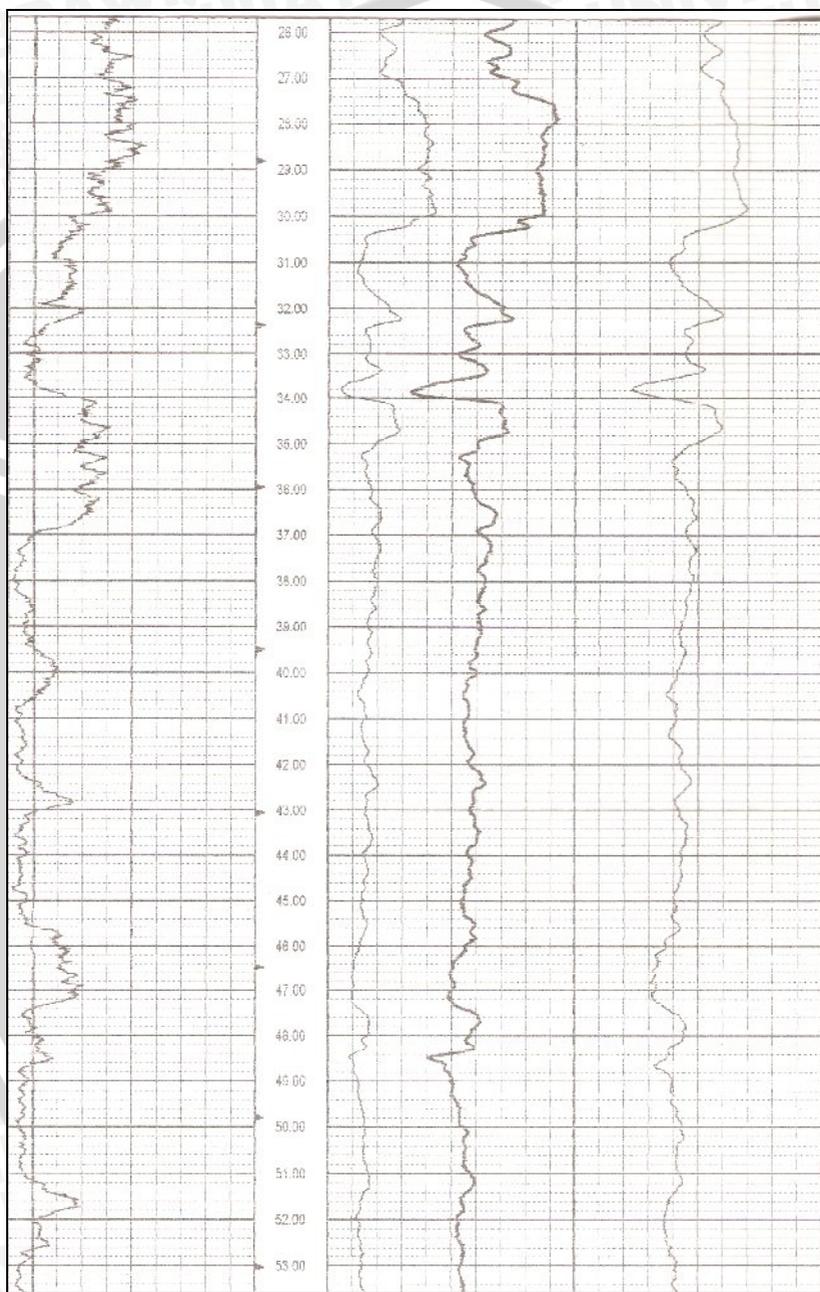


Gambar 4.4. Data log (kurva log) untuk sumur F 009

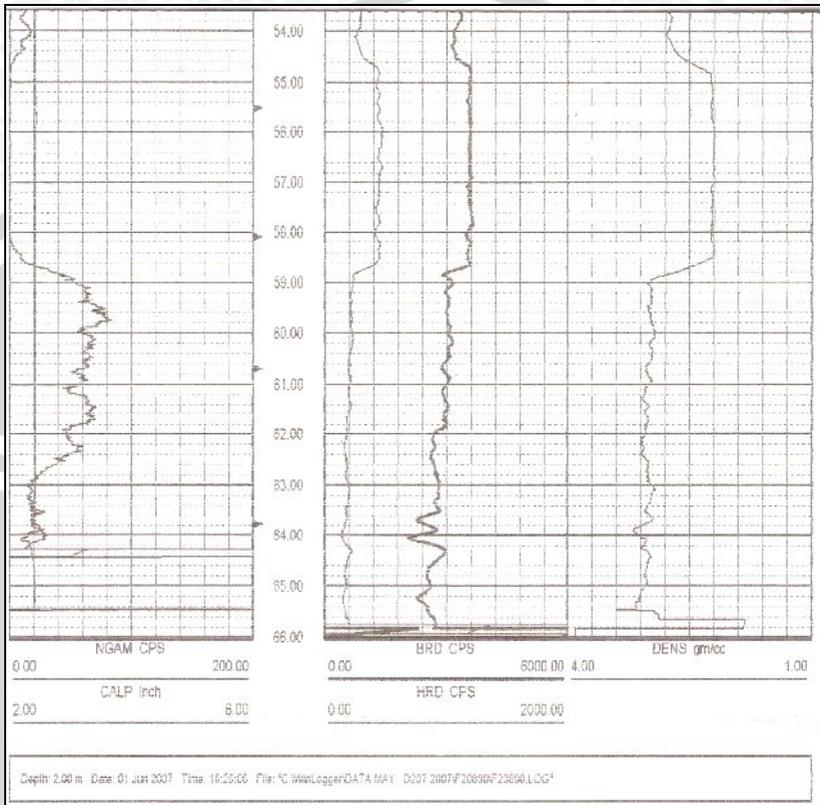
F 009



Lanjutan F 009



Lanjutan F 009



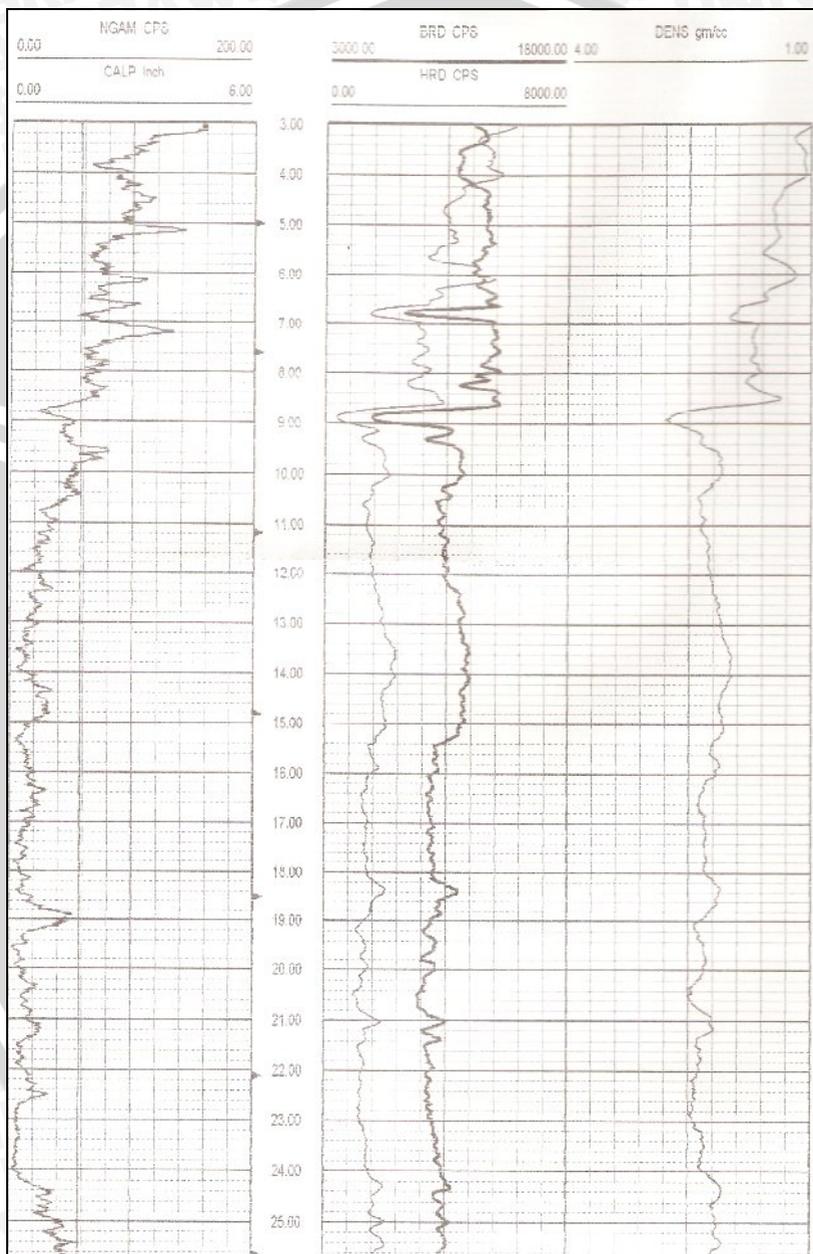
Keterangan:

Pada kurva log F 009 didapatkan beberapa pembacaan btupasir (*sandstone*), batulumpur (*mudstone*), dan batubara (*coal*) antara lain pada selang kedalaman:

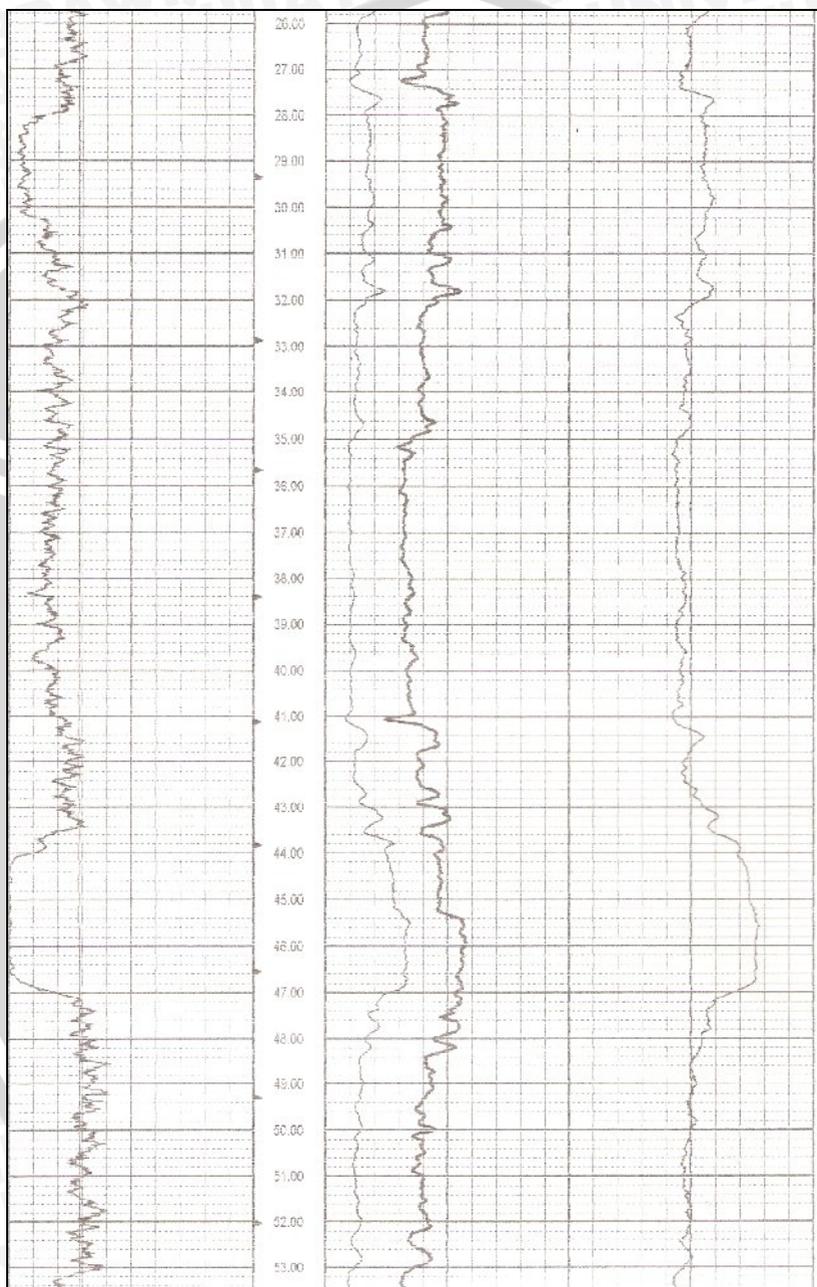
Tabel 4.4 pembacaan litologi data log pada *hole* F 009

Litologi (batuan)		
<i>Mudstone</i> (MS)	<i>Sandstone</i> (SS)	<i>Coal</i> (CO)
5,60 – 23,20 m	32,10 – 33,90 m	54,60 – 58,80 m
23,60 – 32,10 m	37 – 45,70 m	
33,90 – 37 m	47,20 – 54,60 m	
45,70 – 47,20 m	62,40 – 64,20 m	
58,80 – 62,40 m		

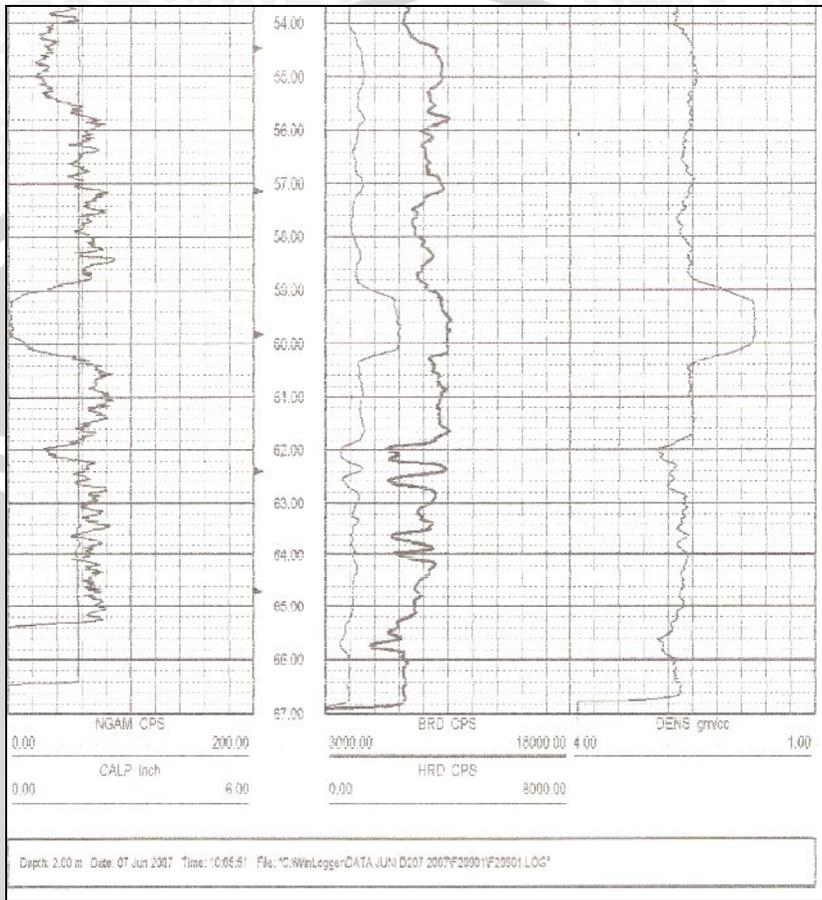
Gambar 4.5. Data log (kurva log) untuk sumur F 011
F 011



Lanjutan F 011



Lanjutan F 011



Keterangan:

Pada kurva log F 011 didapatkan beberapa pembacaan btupasir (*sandstone*), batulumpur (*mudstone*), dan batubara (*coal*) antara lain pada selang kedalaman:

Tabel 4.5 pembacaan litologi data log pada *hole* F 011

Litologi (batuan)		
<i>Mudstone</i> (MS)	<i>Sandstone</i> (SS)	<i>Coal</i> (CO)
3 – 10,50 m	11 – 24,20 m	43,70 – 47 m
41,10 – 43,70 m	27,90 – 41,10 m	59 – 60,20 m
47 – 53 m	53 – 55,50 m	
55,50 – 59 m		
60,20 – 65,20 m		

4.2 Penentuan Litologi Berdasarkan Data Log

4.2.1 Log *gamma-ray*

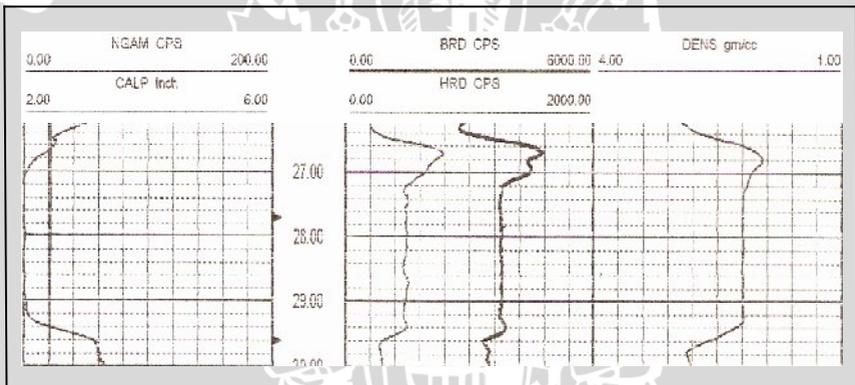
Tingkat radiasi sinar gamma di alam dipengaruhi oleh komposisi kimia batuan tersebut. Serpih (*shales*) mengandung mineral lempung *potassium* dan sedikit *uranium*, *thorium* serta produk penyertanya, sehingga dapat dikatakan bahwa respon dari sinar gamma yang paling kuat adalah terdapat pada serpih (*shales*) dan batulumpur (*mudstone*). Selanjutnya respon akan berkurang setara dengan berkurangnya “serpih” tersebut. Menurut kurva log, respon dari sinar gamma akan mulai berkurang pada litologi batulempung (*siltstone*) dan batupasir kotor (*dirty sandstone*) dan pada litologi batupasir bersih (*clean sandstone*) dan batubara (*coal*), umumnya memiliki respon sinar gamma yang relatif sangat lemah. Karena itu dapat dikatakan pada litologi tersebut, defleksi kurva dari sinar gamma akan cenderung ke arah kiri yaitu ke arah yang lebih rendah nilai *gamma ray*-nya. Pada batubara, nilai *log*nya hampir mendekati nol.

Adapun satuan yang digunakan biasanya ditentukan dengan standar internasional yaitu API (*American Petroleum Institute*) unit. KPC menggunakan log dalam satuan CPS (*Counts Per Second*) dimana 1 CPS = 1,04 API. CPS merupakan suatu satuan yang termasuk ke dalam dimensi waktu (frekuensi). CPS merupakan cara pengukuran yang lebih statistik sehingga tidak akan pernah ditemui

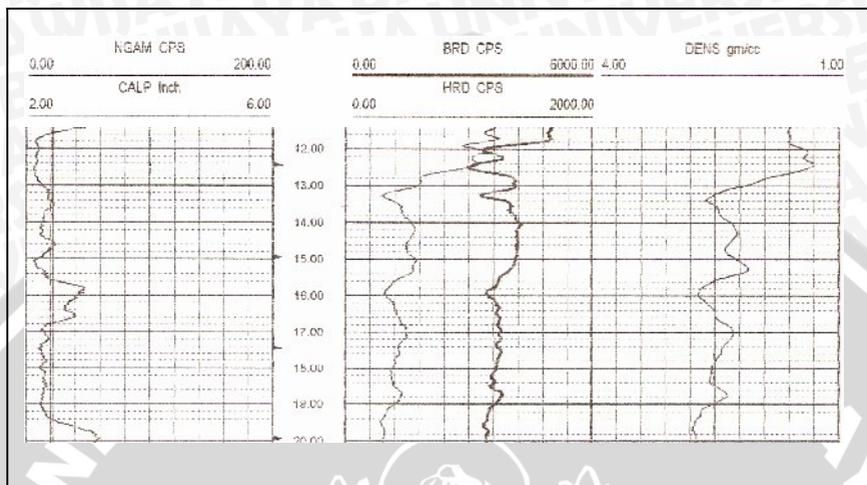
nilai gamma yang sama di tempat yang sama dengan kecepatan logging yang sama pula.

Komposisi kimia dan tingkat radiasi sinar gamma cenderung konstan untuk jenis litologi di suatu tempat terbatas tetapi dapat berbeda secara gradual untuk daerah yang lebih luas atau antara tambang yang berjauhan. Pada Lokasi Pit Melawan ini banyak didominasi oleh litologi pasir (*sandstone*).

Secara visual, dari respon log *gamma-ray* sangat mudah dibedakan antara batubara (*coal*), batulumpur (*mudstone*) ataupun batupasir (*sandstone*). Namun, adakalanya respon batubara (*coal*) dapat sangat mirip dengan respon batupasir (*sandstone*) karena nilai dari pancaran sinar gamma kedua litologi tersebut hampir sama. Karena itu diperlukan perbandingan melalui respon dari *log density*-nya. Nilai densitas dari batupasir (*sandstone*) lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai densitas dari batubara.



Gambar 4.6. Respon log untuk litologi batubara (*coal*)



Gambar 4.7. Respon log untuk litologi *sandstone*

Dari contoh gambar di atas terlihat jelas bahwa yang membedakan antara litologi batupasir (*sandstone*) dan batubara (*coal*) adalah terletak pada nilai densitasnya.

Respon *log* gamma untuk jenis litologi, yaitu antara lain: (BPB instrument limited, 1981)

Tabel 4.6 nilai *gamma-ray* untuk berbagai jenis litologi dalam satuan API

<i>Gamma-Ray</i>		
Batulumpur (<i>mudstone</i> (MS))	Batupasir (<i>sandstone</i> (SS))	Batubara (<i>coal</i> (CO))
80-150 API	16-64 API	0-60 API

Jika dikalibrasikan ke dalam satuan CPS, maka nilai gama tersebut akan berubah menjadi:

Tabel 4.7 nilai *gamma-ray* untuk berbagai jenis litologi dalam satuan CPS

<i>Gamma-ray</i>		
Batulumpur (<i>mudstone</i> (MS))	Batupasir (<i>sandstone</i> (SS))	Batubara (<i>coal</i> (CO))
77-144,23 CPS	15,4-61,5 CPS	0-57,7 CPS

Berdasarkan data log dari 5 sampel *hole* didapatkan berbagai variasi nilai gamma dari tiap jenis batuan, bahkan meskipun dalam jenis batuan yang sama memiliki respon gamma yang berbeda dan tidak pernah sama satu sama lain. Hal ini kemungkinan disebabkan karena kandungan mineral dari batuan tersebut. Karena semakin banyak batuan tersebut mengandung serpih, maka respon gamma akan semakin tinggi, dan begitu juga sebaliknya.

Beberapa nilai gama dari data log masing masing *hole* (dalam satuan CPS) yaitu:

Tabel 4.8 nilai *gamma-ray* berdasarkan data Log untuk masing-masing *hole*

Sumur (<i>hole</i>)	<i>Gamma-ray</i> (dalam satuan CPS)		
	Batulumpur (<i>mudstone</i> (MS))	Batupasir (<i>sandstone</i> (SS))	Batubara (<i>coal</i> (CO))
F 003	45,49-110,96	3,26-34,01	0-8,15
F 007	66,87-82,98	8,58-30,94	0-15,4
F 008	69,52-102,23	8,95-29,14	0-15,15
F 009	57,45-130,62	8,22-33,35	0-19,73
F 011	81,01-115,46	5,15-34,94	0-86,53

Pengklasifikasian nilai gamma di atas didasarkan pada pembacaan log yang menunjukkan masing-masing litologi batuan. Respon dari nilai gamma di atas berbeda-beda dan didasarkan pada nilai maksimum dan minimum defleksi dari masing-masing kurva log. terlihat jelas bahwa batubara memiliki nilai gamma yang paling rendah. Log *gamma ray* sangat umum digunakan dalam eksplorasi batubara dan merupakan alat utama untuk identifikasi litologi dan sejarah pengendapan dari urutan stratigrafinya.

Perbedaan nilai gamma tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kondisi lubang (lubang tersebut basah atau kering), rongga pada lubang bor, cairan pemboran, casing, serta batang bor yang digunakan.

Log *gamma ray* juga digunakan untuk korelasi antar lubang bor. Umumnya mereka menunjukkan pola yang konstan untuk setiap jenis litologi di suatu daerah yang terbatas, perubahan kontras antara litologi akan sangat terpola pada lognya. Log ini tidak digunakan untuk menentukan ketepatan kontak batas lapisan batubara dikarenakan resolusinya yang jelek, sehingga tidak dibuat dalam skala yang lebih detail.

4.2.2 Log *density* (HRD)

Dalam *logging*, sinar gamma dihasilkan oleh sumber radioaktif. Ketika sinar melalui material dengan nilai densitas rendah (udara) maka hanya sedikit yang akan dipantulkan kembali ke detektor sehingga hasil *recordingnya* akan rendah pula.

Bila densitas material bertambah, maka hasil *recordingnya* juga akan membesar pula. Skala log densitas dari berbagai litologi batuan biasanya berada diantara nilai densitas air dan aluminium, yaitu sekitar $1,1 \text{ gr/cm}^3$ hingga 3 g/cm^3 . Namun skala pada log tersebut dapat diubah untuk mendapatkan material yang diinginkan karena memang sulit untuk membedakan litologi batuan dalam skala format tersebut.

Zona berongga dalam lubang bor juga akan menunjukkan densitas yang rendah yang mirip dengan lapisan batubara pada tampilan log densitas. Log *density* terdiri atas 3 log, yaitu Log BRD, HRD, dan LSD. Log BRD lebih efektif untuk mengetahui densitas yang terdapat pada zona berongga pada lubang. Hal ini dikarenakan kekuatan paparan dari BRD yaitu 14 cm sehingga lebih peka terhadap adanya zona yang berongga. Untuk menentukan adanya *top (roof)* dan *bottom (floor)* khususnya pada lapisan batubara, maka log yang digunakan adalah log HRD dan LSD. Hal ini dikarenakan kedua log tersebut memiliki kekuatan paparan yang lebih jauh yaitu HRD (28 cm) dan LSD (48 cm) sehingga mampu mendeteksi *roof* dan *floor* dari *density*-nya.

Kondisi dari lubang bor juga harus dipertimbangkan jika log *density* akan digunakan untuk kuantifikasi. Adanya cairan dalam zona peronggaan (*caved*) akan mengurangi atau membuat nilai *density* batuan tersebut akan menjadi rendah sehingga umumnya harus dibandingkan dengan bentuk lubang bor.

Berdasarkan nilai dari data log *density*, dapat didapatkan suatu pengklasifikasian litologi. Adapun log *density* yang digunakan untuk menentukan litologi ini adalah berdasarkan nilai kuantitas dari log HRD yang terdapat pada masing-masing *hole*. Log HRD memiliki paparan yang jauh. Pengklasifikasian ini berbeda untuk masing-masing *hole* dikarenakan perbedaan pancaran radioaktif dari sinar gamma. Dari data log yang ada, didapatkan beberapa nilai kuantitas (*dalam satuan CPS*) yang didapatkan dari masing-masing *hole* tersebut antara lain:

Tabel 4.9 nilai HRD berdasarkan data log untuk masing-masing *hole*

Sumur (<i>hole</i>)	HRD (<i>Hgh Resolution Density</i>) (dalam satuan CPS)		
	Batulumpur (<i>mudstone</i> (MS))	Batupasir (<i>sandstone</i> (SS))	Batubara (<i>coal</i> (CO))
F 003	252,97-1024,26	341,5-630,15	672,42-845,08
F 007	162,25-358,42	169,37-397,53	399,39-476,69
F 008	153,66-339,49	181,89-234,72	424,94-503,18
F 009	157,79-921,17	163,19-384,72	395,74-502,78
F 011	835,38-1780,15	734,34-1964,43	2018,19-2801,68

Sinar gamma yang dipancarkan akan bertumbukan dengan elektron-elektron dalam batuan, sehingga semakin banyak elektron maka semakin padat batuan tersebut dan akan berkurang pula intensitas dari sinar gamma yang kembali.

Hal ini dikarenakan pada log *density* juga terdapat suatu *receiver* atau penerima yang mencacah sinar gamma yang kembali.

4.3 Korelasi Data Log dan Data Core

Analisa data dimulai dengan melihat serta mengamati variasi dari nilai log sehingga didapatkan nilai batasan-batasan berbagai litologi yang terdapat dalam formasi batuan pada suatu *hole*. *Hole* yang diamati adalah data log pada *hole* F 003, F 007, F 008, F 009, dan F 011. Nilai yang diamati adalah nilai *gamma ray* dan *density*-nya. Jenis litologi yang ditentukan adalah *mudstone* (MS), *sandstone* (SS), dan *coal* (CO). Hal ini dikarenakan hanya ketiga litologi tersebut yang dapat dengan mudah dikenali berdasarkan bentuk kurva dari data log. Nilai *gamma ray* yang dipakai sebagai klasifikasi untuk menentukan litologi terdapat pada tabel 4.2.

Selain itu, dari nilai logging juga dapat ditentukan jenis litologi tersebut yaitu dengan mencocokkan bentuk kurva log dengan nilai kuantitas yang terdapat dalam data LAS. Adapun nilai HRD yang dibuat sebagai dasar pengklasifikasian sangat bervariasi di tiap *hole*. Hal ini dikarenakan pancaran radioaktif yang bervariasi pula. Pengamatan terhadap nilai HRD ini bertujuan untuk membedakan batupasir (*sandstone*) dan batubara (*coal*) dimana kedua jenis batuan tersebut memiliki nilai gamma yang relatif hampir sama sehingga untuk membedakannya diperlukan adanya *density*. Untuk itulah diambil salah satu variabel dari log *density* yaitu HRD karena HRD

merupakan detektor yang mendeteksi terhadap resolusi batuan yang dideteksi dengan skala yang lebih tinggi.

Dari kurva log yang telah dicocokkan dengan data LAS, maka didapatkan beberapa nilai kuantitas HRD untuk litologi SS dan CO yang berbeda pada tiap *hole*, antara lain:

Tabel 4.10 nilai kuantitas HRD litologi SS dan CO untuk tiap *hole* (pada kedalaman maksimum dan minimum)

Sumur (<i>hole</i>)	Jenis batuan	Nilai <i>High Resolution Density</i> (HRD)	
		Maksimum (kedalaman)	Minimum (kedalaman)
F 003	SS	630,15 CPS (49,5 m)	341,5 CPS (54,51 m)
	CO	845,08 CPS (64,72 m)	672,42 CPS (61,45 m)
F 007	SS	397,53 CPS (38,79 m)	169,37 CPS (42,45 m)
	CO	476,69 CPS (27,73m)	399,39 CPS (29,6 m)
F 008	SS	234,72 CPS (41,58 m)	181,89 CPS (39,41 m)
	CO	503,18 CPS (29,35 m)	424,94 CPS (45,66 m)
F 009	SS	384,72 CPS (43,56 m)	163,19 CPS (48,4 m)
	CO	502,78 CPS (55,99 m)	395,74 CPS (57,51 m)
F 011	SS	1964,43 CPS (31,77 m)	734,34 CPS (53,28 m)
	CO	2801,68 CPS (45,48 m)	2018,19 CPS (43,97 m)

Setelah dianalisa, didapatkan nilai kuantitas HRD maksimum pada F 003 untuk jenis litologi SS adalah 630,15 CPS yang terdapat pada kedalaman 49,5 m dan nilai minimumnya adalah 341,5 CPS pada kedalaman 54,51 m, sedangkan untuk litologi CO didapatkan nilai HRD maksimumnya adalah 845,08 CPS yang terdapat pada selang kedalaman 64,72 m dan nilai minimumnya adalah 672,42 CPS pada kedalaman 61,45 m. Pada F 007 didapatkan

nilai maksimum HRD untuk litologi SS 397,53 CPS yang terdapat di kedalaman 38,79 m dan untuk nilai HRD minimumnya adalah 169,37 CPS pada kedalaman 42,45 m. Sedangkan nilai HRD maksimum untuk litologi CO sebesar 476,69 CPS yang terletak pada di kedalaman 27,73 m dan minimumnya pada kedalaman 29,6 m yaitu sebesar 399,39 CPS.

Pada F 008 didapatkan nilai HRD maksimum untuk litologi SS sebesar 234,72 CPS yang terletak pada kedalaman 41,58 m dan nilai minimumnya terletak pada kedalaman 39,41 m yaitu sebesar 181,89 CPS. Sedangkan untuk litologi CO didapatkan nilai maksimum HRD sebesar 503,18 CPS pada kedalaman 29,35 m dan nilai minimum terletak pada kedalaman 45,66 m yaitu sebesar 424,94 CPS. Untuk F 009 didapatkan nilai HRD maksimum sebesar 384,72 CPS untuk litologi SS yang terletak pada kedalaman 43,56 m dan nilai minimum terletak pada kedalaman 48,4 m yaitu sebesar 163,19 CPS, sedangkan untuk litologi CO didapatkan nilai HRD maksimum pada kedalaman 55,99 m yaitu sebesar 502,78 CPS dimana nilai minimumnya adalah sebesar 395,74 CPS yang terletak pada selang kedalaman 57,51 m.

Hasil analisa dari F 011 didapatkan nilai HRD maksimum untuk litologi SS sebesar 1964,43 CPS yang terletak pada kedalaman 31,77 m dan nilai minimumnya adalah 734,34 CPS pada kedalaman 53,28 m. Sedangkan litologi CO memiliki nilai HRD maksimum sebesar 2801,68 CPS yang terletak pada kedalaman 45,48 m dimana nilai HRD minimum CO adalah sebesar 2018,19 CPS yang terletak pada kedalaman 43,97 m.

Data LAS (nilai logging) diubah ke dalam *software Microsoft excel* yang kemudian dimasukkan suatu rumusan atau formula dengan memasukkan batasan-batasan nilai kuantitas dari *gamma ray* dan HRD yang telah ditetapkan. Bentuk formula yang digunakan yaitu fungsi logika “IF” dan “AND”, yaitu “=IF(AND(logical1,logical2,...))”. Nilai-nilai kuantitas serta litologi tersebut dimasukkan sebagai logikal-logikal yang ada. Jika kriteria yang ada memenuhi yaitu nilai kuantitas gama dan HRD sesuai dengan litologi yang telah ditetapkan, maka excel akan membaca secara langsung jenis litologi tersebut. Namun jika tidak sesuai dengan syarat-syarat dari logical litologi tersebut, maka excel akan langsung membaca “FALSE” sehingga litologi tidak bisa terbaca. Data-data pembacaan excel bias terlihat pada lampiran.

Setelah didapatkan litologi menurut pembacaan excel, maka selanjutnya dikorelasikan dengan data *core* atau data lapangan yang sesuai dengan pengamatan langsung. Gabungan data *core* dan logging disebut dengan data *reconcile*, dimana dari data tersebut dapat dilihat jenis litologi serta letak kedalamannya. Jenis litologi berdasarkan data *reconcile* dapat dilihat pada lampiran.

Setelah dikorelasikan, yaitu antara data *core* dengan pembacaan litologi dari excel berdasarkan nilai kuantitas yang telah ditetapkan tersebut di atas, terdapat beberapa litologi batuan yang sama. Sebagai contoh seperti terlihat pada *hole* F 003 pada kedalaman sekitar 2 - 16 m keduanya menunjukkan litologi MS. Meskipun tidak secara keseluruhan terbaca namun sebagian besar menyatakan bahwa pada kedalaman tersebut terdapat Litologi MS. Selain itu juga yang terdapat pada *hole* F 007 dimana didominasi oleh litologi SS. Kedua data menunjukkan bahwa rata-rata menyatakan banyak terdapat litologi SS tersebut, seperti yang terletak pada kedalaman sekitar 36 - 44 m dimana sama-sama menunjukkan litologi SS. Pada F 008, pembacaan litologi berdasarkan excel tidak sepenuhnya bias terbaca namun beberapa litologi yang terbaca hampir secara keseluruhan sama dengan litologi pada data *core*nya.

Pada *hole* F 009 baik pembacaan litologi secara excel maupun berdasarkan data *core*nya, sama-sama menunjukkan bahwa pada *hole* tersebut banyak didominasi oleh litologi MS dan SS pada kedalaman yang hampir sama, seperti yang terletak pada kedalaman 6 - 26 m menunjukkan litologi MS. Sedangkan pada F 011 banyak didominasi oleh litologi SS yang terlihat pada kedalaman sekitar 10 - 24 m keduanya hampir sama menunjukkan bahwa pada kedalaman tersebut terdapat litologi SS.

Untuk litologi CO, setelah dikorelasikan, dari kedua data sama-sama menunjukkan pada kedalaman yang hampir sama baik pada data log (excel) maupun pada data *core*nya. Pada F 003 yaitu terletak pada kedalaman 60,12 m - 68,98 m yang menunjukkan CO, sedangkan pada F 007 CO terletak pada kedalaman 27,05 m - 30,1 m. Pada F 008, CO terletak kurang lebih pada kedalaman 27,17 m - 29,29 m dan pada F 009 terletak pada 54,63 m - 58,64 m serta pada *hole* F 011, litologi CO jelas terlihat pada kedalaman 43,97 m - 46,72 m juga terletak pada kedalaman 59,09 m - 60,12 m.

Namun adakalanya dalam pembacaan litologi tersebut ada yang tidak terbaca atau biasa juga salah dalam pembacaannya. Misalnya yang terdapat pada *hole* F 003 tepatnya pada kedalaman

21,21 – 22,35 m dimana menurut pembacaan excel terbaca sebagai SS tapi menurut data *core* dia merupakan litologi SS. Selain itu juga seperti yang terlihat pada *hole* lain, yaitu pada F 007 yang terlihat bahwa pada kedalaman 13,56 – 14,28 m dimana pada pembacaan excel adalah litologi CO sedangkan menurut *core* pada kedalaman tersebut masuk ke dalam litologi SS dan begitu juga yang biasa terlihat pada korelasi-korelasi lain yang terlihat pada *hole-hole* yang lain, dimana pembacaan litologi di excel tidak sama dengan data *core*nya. Hal tersebut terjadi karena dimungkinkan oleh beberapa factor, yaitu bisa saja kesalahan pada penentuan batasan-batasan nilai kuantitas HRD yang dibuat atau bisa juga terjadi suatu casing dimana lubang kurang sempurna. Pada *casing* tersebut terdapat sekat yang mengakibatkan akan terjadi penembakan sinar menjadi lebih banyak sehingga nilai HRD menjadi semakin besar. Selain itu bisa disebabkan terjadi *caving* (adanya runtuhan pada lubang) sehingga untuk mencegah *caving* tersebut dipasang *steel casing*. *Caving* ini disebabkan adanya *sandstone* atau *coal* yang hancur karena faktor adanya getaran pada saat *melogging* atau karena adanya tekanan oleh cairan pemboran (air). *Caving* tersebut bisa menyebabkan defleksi dari kurva *density* akan menjadi lebih rendah dan nilai pancaran sinar menjadi lebih besar (HRD).

Deskripsi terhadap log juga sering terjadi kesalahan. Jika pada saat proses *logging* tidak terisi cukup air, maka akan memberikan efek pada nilai gamma serta *density*-nya dimana pada kurva tersebut akan terlihat seolah-olah terdapat banyak *parting*. Untuk itulah jika terjadi *caving*, maka yang harus diperhatikan adalah pada kurva *density*-nya.

Pada data *core* atau *reconcile* terdapat litologi KL. Litologi KL ini bukanlah suatu litologi tersendiri tapi istilahnya adalah “*coreloss*”. KL ini merupakan batuan yang tidak teridentifikasi (tidak muncul pada saat *coring*) jadi litologi tersebut bisa saja menjadi MS atau SS atau SL atau bisa saja litologi yang lain.

Nilai dari Gamma relatif tidak terpengaruh oleh kondisi suatu lubang dan *gamma-ray* log bukanlah untuk mengukur ukuran butir batuan (*grainsize*). *Gamma-ray* juga bukan untuk menunjukkan batuan tersebut *reservoir* atau tidak.

Pada batuan berbutir halus terdapat kecenderungan bahan-bahan organik lebih mudah terakumulasi serta berasosiasi dengan mineral-mineral radioaktif, sehingga bisa ditemukan kemungkinan bahwa *sandstone* memiliki nilai gamma yang tinggi jika banyak

mengandung mineral *feldspar*, *mica*, dan material vulkanik serta mengandung unsur uranium pada zona *unconformity*. Pada litologi MS yang terbaca sebagai SS atau bisa dikatakan terdapat MS dalam lapisan SS tersebut. Hal ini akan terjadi percampuran mineral radioaktif dan non radioaktif sehingga nilai gamma yang terekam akan menunjukkan nilai campuran dan pada kasus seperti maka harus lebih diperhatikan lagi. Nilai gamma pada litologi *sandstone* sendiri bisa saja tidak sama pada beda selang kedalaman atau bisa juga pada selang kedalaman yang sama. *Sandstone* terbagi atas “dirty” sand dan “clean” sand, dimana nilai gamma *dirty sand* tidak harus lebih rendah dari *clean sand* yang berukuran lebih halus.

Dari hasil analisa juga dapat dilihat bahwa nilai kuantitas dari HRD bukan merupakan nilai densitas insitu atau nilai densitas sebenarnya dari litologi tersebut, jadi nilai tersebut merupakan besarnya atau banyaknya sinar gamma yang dipancarkan oleh Log densitas. Nilai yang terekam merupakan nilai pancaran dari radiasi terhadap litologi tersebut. Dapat dikatakan juga bahwa berdasarkan nilai kuantitasnya, nilai HRD berbanding terbalik dengan nilai densitas namun berbanding lurus dengan nilai gamma. Jadi jika dilihat secara kuantitasnya, semakin kecil nilai densitas litologi tersebut maka akan semakin besar nilai HRD-nya. Hal ini dikarenakan semakin banyak sinar gamma yang dipancarkan, jadi semakin besar nilai gamma maka semakin besar pula nilai HRD-nya.

Dari seluruh analisa data di atas dapat disimpulkan bahwa ternyata jenis litologi batuan tidak dapat ditentukan berdasarkan nilai secara kuantitas (berdasarkan nilai *gamma-ray* serta nilai HRD). Hal ini karena berkaitan dengan nilai HRD dan gamma pada masing-masing litologi berbeda satu sama lain, selain itu meskipun nilai kuantitasnya sudah ditentukan tetapi tetap tidak bisa secara tepat menentukan jenis litologi tersebut. Karena itu pengamatan secara visual (data *core*) tetap dibutuhkan untuk menentukan jenis litologi tersebut selain menggunakan data log.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

- a) Pada daerah eksplorasi di Pit Melawan PT. Kaltim Prima Coal (KPC) ditemukan jenis batulumpur (*mudstone*), batupasir (*sandstone*), dan batubara (*coal*) dimana pada tiap *hole* memiliki nilai *high resolution density* (*hrd*) yang berbeda-beda.
- b) Jenis batuan tidak dapat ditentukan hanya berdasarkan nilai kuantitasnya (baik berdasarkan nilai *gamma-ray* ataupun nilai *high resolution density* (*hrd*)) sehingga data lapangan yang berupa *report reconcile* masih diperlukan untuk korelasi dalam menentukan jenis batuan.
- c) Respon log gamma untuk berbagai jenis batuan antara lain yaitu:
 - Batulumpur (*mudstone* (MS)) : 77-144,23CPS.
 - Batupasir (*sandstone* (SS)) : 15,4-61,5 CPS.
 - Batubara (*coal* (CO)) : 0-57,7 CPS.
- d) Nilai *high resolution density* dari masing-masing sumur antara lain:
 - F 003 (MS: 252,97-1024,26 CPS; SS: 341,5-630,15 CPS; CO: 672,42-845,08 CPS).
 - F 007 (MS: 162,25-358,42 CPS; SS: 169,37-397,53 CPS; CO: 399,39-476,69 CPS).
 - F 008 (MS: 153,66-339,49 CPS; SS: 181,89-234,72 CPS; CO: 424,94-503,18 CPS).
 - F 009 (MS: 157,79-921,17 CPS; SS: 163,19-384,72 CPS; CO: 395,74-502,78 CPS).
 - F 011 (MS:835,38-1780,15CPS; SS: 734,34-1964,43CPS; CO: 2018,19-2801,68CPS).
- e) Respon batulumpur (*mudstone*) terhadap detektor sinar gamma sangat kuat dan untuk batubara (*coal*) dan batupasir (*sandstone*) memiliki respon sangat lemah terhadap detektor sinar gamma.

- f) Nilai *gamma-ray* dan HRD masing-masing batuan bisa berbeda bergantung pada komposisi mineral yang terkandung dalam batuan dan berdasarkan penelitian, nilai-nilai tersebut bisa berbeda pada batuan yang sama (dalam satu *hole*).

5.2 Saran

Pada pembacaan kurva log untuk menentukan suatu jenis litologi perlu diperhatikan log gamma dan log *density* karena kedua log tersebut merupakan variabel yang saling mempengaruhi satu sama lain. Selain itu juga perlu adanya ketelitian dalam pengamatan sampel *core*, untuk mencegah adanya *human error* sehingga pembacaan litologi yang didapatkan akan lebih akurat lagi.

Untuk menentukan suatu jenis litologi tidak dapat dilihat hanya berdasarkan pada nilai kuantitas dari log tersebut. Namun, perlu juga dibantu dengan adanya data *core* (pengamatan secara visual di lapangan) untuk mengkorelasikannya.



DAFTAR PUSTAKA

- Anggawirya, Erhans. 2003. **Microsoft Office XP**. PT. Ercontara Rajawali dan WIT : Jakarta.
- Anonymous. 2005. **Shale dan Radioaktif**. <http://www.mail-archive.com/iagi-net@iagi.or.id/html>. Diakses tanggal 10 Mei 2008.
- Anonymous. 2006. **Petrophysics Interpretation II**. Elnusa: Jakarta.
- Anonymous. 2007^a. **SinarGamma**. http://id.wikipedia.org/wiki/Sinar_gamma. Diakses tanggal 10 Mei 2007.
- Anonymous. 2007^b. **Well Log Interpretation**. http://www.wellog.com/WELLOG_log_interpretation.htm. Diakses tanggal 10 Mei 2008.
- Anonymous. 2008. **Geology Department**. PT. KPC: Sangatta.
- Berkman, D.A. 1995. **Field Geologists' Manual**. The Australian Institute of Mining and Metalurgy: Australia.
- BPB Instruments. 1981. **Coal Interpretation Manual**. BPB Instruments Limited : England.
- Firth, David. 2000. **Log analysis for Mining Applications**. Reeves Wireline Services.
- Fransisca, Iin. 2005. **Understanding Fluid & Lithology Prediction via Well Seismic Fusion - Power Point Presentation**. Landmark a Halliburton Company: Jakarta.
- Harsono, A. 1997. **Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log**. Schlumberger Oilfield Services: Jakarta.
- Koesoemadinata. 2003. **Catatan Kuliah Geologi Eksplorasi**. ITB: Bandung.

Robertson. 1984. **Geophysical Borehole Log Interpretation In Coal Exploration.** National Oil Company and Coal Corporation :Philippine.

Schlumberger. 1984. **Log Interpretation Charts.** Schlumberger well Services: USA.

Verhoef, P.N.W. 1989. **Geologi Untuk Teknik Sipil.** Erlangga : Jakarta.

Warmada, I Wayan. 2005. **Porositas Batu Pasir dan Parameter Empiris Yang Berpengaruh.** <http://warmada.staff.ugm.ac.id/Porosity/>. Lab Bahan Galian, FT. UGM: Yogyakarta. Diakses tanggal 10 Mei 2008.



Lampiran 1 Jenis-jenis batuan berdasarkan *report reconcile*

LITOLOGI BERDASARKAN REPORT RECONCILE

Keterangan:

SEDIMENTARY RELATIONSHIP

- IB : *interbedded* (lapisan batuan yang saling menempel)
IL : *interlaminated* (jenis batuan yang berlapis-lapis)
IM : *intermixed* (lapisan batuan yang tercampur)
IR : *irregularly interbedded* (lapisan batuan yang tidak semua menempel)

LITHOLOGY

- C1 : *coal* (batubara)
IZ : *ironstone* (batubesi / batuan yang keras dan kuat)
KL : *core loss* (batuan yang tidak teridentifikasi tapi bukan batubara)
LC : *lost core* (kemungkinan batubara)
MS : *mudstone* (batulumpur)
SC : *shaley coal* (serpih batubara)
SS : *sandstone* (batupasir)
SL : *siltstone* (batulempung)
XM : *carbonaceous mudstone* (batulumpur yang mengandung zat arang)
- MS70-SS30 : MS 70% - SS 30%
SL70-SS30 : SS 70% - SS 30%
SS60-MS40 : SS 60% - MS 40%
MS60-SS40 : MS 60% - SS 40%
MS80-SS20 : MS 80% - SS 20%
MS90-SS10 : MS 90% - SS 10%
SL60-SS40 : SL 60% - SS 40%
SS70-MS30 : SS 70% - MS 30%
MS55-SS45 : MS 55% - SS 45%
SS90-MS10 : SS 90% - MS 10%
SS80-MS20 : SS 80% - MS 20%
MS60-CO40 : MS 60% - CO 40%
SS60-SL40 : SS 60%- SL 40%

Lampiran 2 Jenis-jenis batuan berdasarkan pembacaan *excel*

LITOLOGI BERDASARKAN NILAI KUANTITAS (EXCEL)

Keterangan:

LITHOLOGY

CO : *COAL* (BATUBARA)
MS : *MUDSTONE* (BATULUMPUR)
SS : *SANDSTONE* (BATUPASIR)



F 003

Lithology	Depth-From	Depth-To
MS	2.98	16.43
SS	16.43	16.74
CO	16.74	16.885
MS	16.885	18.79
CO	18.79	19.105
SS	19.105	19.8
CO	19.8	20.145
SS	20.145	22.365
CO	22.365	22.875
SS	22.875	26.75
MS	26.75	27.3
SS	27.3	27.86
CO	27.86	28.86
SS	28.86	29.405
CO	29.405	29.605
SS	29.605	29.93
CO	29.93	30.625
SS	30.625	31.86
CO	31.86	32.53
SS	32.53	59.975
CO	59.975	68.875
SS	68.875	69.08
MS	69.08	72.23
SS	72.23	74.12



F 007

Lithology	Depth-From	Depth-To
MS	3.05	4.485
CO	4.485	4.615
SS	4.615	4.775
CO	4.775	5.295
SS	5.295	6.615
CO	6.615	7.47
SS	7.47	7.515
CO	7.515	8.835
SS	8.835	9.015
MS	9.015	9.265
SS	9.265	10.225
CO	10.225	10.295
SS	10.295	10.47
CO	10.47	10.585
SS	10.585	10.715
CO	10.715	10.74
SS	10.74	10.795
CO	10.795	10.975
SS	10.975	11.355
MS	11.355	11.52
SS	11.52	11.82

CO	11.82	11.96
SS	11.96	11.98
CO	11.98	12.03
SS	12.03	12.395
CO	12.395	12.425
SS	12.425	12.635
CO	12.635	14.315
SS	14.315	14.69
CO	14.69	15.015
SS	15.015	15.25
CO	15.25	15.53
SS	15.53	15.555
CO	15.555	15.575
SS	15.575	15.885
CO	15.885	16.565
SS	16.565	17.69
CO	17.69	18.045
SS	18.045	18.17
CO	18.17	18.395
SS	18.395	18.605
CO	18.605	18.835
SS	18.835	19.06
CO	19.06	19.43
SS	19.43	19.64

CO	19.64	20.11
SS	20.11	26.125
MS	26.125	26.64
SS	26.64	27.025
CO	27.025	30.18
SS	30.18	30.245
MS	30.245	31.925
SS	31.925	32.43
MS	32.43	34.02
SS	34.02	34.295
MS	34.295	34.4
SS	34.4	34.77
MS	34.77	35.365
SS	35.365	35.59
MS	35.59	35.815
SS	35.815	35.96
MS	35.96	36.16
SS	36.16	38.545
CO	38.545	38.635
SS	38.635	38.645
CO	38.645	38.79
SS	38.79	43.32

F008

Lithology	Depth-From	Depth-To
MS	4.56	6.72
CO	6.72	8.46
MS	8.46	12.85
CO	12.85	18.65
MS	18.64	26.2
SS	26.2	26.42
CO	26.42	29.555
MS	29.555	36.04
SS	36.04	41.01
MS	41.01	48.18



F009

Lithology	Depth-From	Depth-To
CO	3.17	3.265
MS	3.265	3.55
CO	3.55	3.64
SS	3.64	3.76
CO	3.76	3.94
SS	3.94	4.12
CO	4.12	4.2
SS	4.2	4.255
CO	4.255	5.18
SS	5.18	5.465
MS	5.465	24.61
SS	24.61	24.745
MS	24.745	30.305
SS	30.305	31.715
CO	31.715	31.955
MS	31.955	32.185
CO	32.185	32.335
SS	32.335	33.255
CO	33.255	33.965
MS	33.965	35.99
SS	35.99	36.99
CO	36.99	37.43
SS	37.43	37.53
CO	37.53	38.16
SS	38.16	38.49
CO	38.49	38.565
SS	38.565	42.29
CO	42.29	42.505

SS	42.505	46.855
MS	46.855	47.15
SS	47.15	54.495
CO	54.495	58.65
SS	58.65	58.99
MS	58.99	60.99
SS	60.99	61.15
MS	61.15	61.805
SS	61.805	62.165
MS	62.165	62.35
SS	62.35	64.27



F 011

Lithology	Depth-From	Depth-To
MS	3.42	8.6
SS	8.6	9.365
MS	9.365	9.94
SS	9.94	13.18
CO	13.18	14.26
SS	14.26	14.84
CO	14.84	15.06
SS	15.06	18.27
CO	18.27	18.38
SS	18.38	24.93
CO	24.93	24.985
SS	24.985	25.72
MS	25.72	25.965
SS	25.965	26.365
MS	26.365	26.7
SS	26.7	31.875
MS	31.875	32.165
SS	32.165	41.475
MS	41.475	41.59
SS	41.59	41.74
MS	41.74	42.11
SS	42.11	43.155
MS	43.155	43.435
SS	43.435	43.685
CO	43.685	46.99
SS	46.99	47.07
MS	47.07	53.145
SS	53.145	55.48
MS	55.48	58.825

SS	58.825	59.065
CO	59.065	60.125
SS	60.125	60.225
MS	60.225	65.36



F 003

Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-from	Depth-To	Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-from	Depth-To
					SS	45.11	45.79
					KL	45.79	48.16
					SS	48.16	48.23
	MS	2.95	12.15		KL	48.23	51.26
	KL	12.15	12.2	IL	SS60-MS40	51.26	51.79
	MS	12.2	17.9		KL	51.79	59.92
	KL	17.9	18.12	IL	SS60-MS40	59.92	60.08
	MS	18.2	19.45		C1	60.08	61.01
	KL	19.45	21.2		LC	61.01	61.41
	MS	21.2	23.13		C1	61.41	65.04
	SS	23.13	23.25		LC	65.04	65.11
	MS	23.25	23.9		C1	65.11	66.63
	KL	23.9	24.2		LC	66.63	66.76
IM	MS70-SS30	24.2	27.2		C1	66.76	67.36
	MS	27.2	27.75		LC	67.36	67.41
IM	SL70-SS30	27.75	29.55		C1	67.41	68.95
	SC	29.55	29.67		XM	68.95	68.99
	XM	29.67	30		MS	68.99	71.99
	KL	30	30.2		KL	71.99	72.36
	SS	30.2	33.2	IL	MS80-SS20	72.26	75.16
	MS	33.2	38.35		KL	75.16	75.31
	SS	38.35	38.4	IL	MS80-SS20	75.31	75.98
	KL	38.4	38.86				
	MS	38.86	39.18				
	IZ	39.18	39.43				
	MS	39.43	40.86				
IL	SS60-MS40	40.86	42.01				
IL	MS60-SS40	42.01	42.38				
	SS	42.38	43.47				
	KL	43.47	45.11				

F 007

Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-From	Depth-To
	SO	2.97	2.98
	MS	2.98	4
	SS	4	4.9
	KL	4.9	6.25
	SS	6.25	6.54
	MS	6.54	6.75
	SS	6.75	6.99
	C1	6.99	7.13
	MS	7.13	7.18
	KL	7.18	9.25
IL	MS90-SS10	9.25	9.55
	SS	9.55	10.4
	KL	10.4	11.1
IL	MS60-SS40	11.1	12.25
	SL	12.25	12.33
	SS	12.33	14.29
	KL	14.29	14.45
	SS	14.45	15.28
	KL	15.28	16.15
	SS	16.15	16.98
	KL	16.98	18.25
	SS	18.25	18.77
	KL	18.77	21.25
	SS	21.25	22.75
	KL	22.75	24.25
	SS	24.25	24.87
	KL	24.87	25.3

Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-From	Depth-To
	SS	25.3	25.87
IL	MS90-SS10	25.87	26.11
	KL	26.11	26.55
IR	MS60-SS40	26.55	26.78
	MS	26.78	26.98
	C1	26.98	30.11
	MS	30.11	31.97
	IZ	31.97	32.08
	MS	32.08	32.87
	KL	32.87	33.15
	MS	33.15	34.7
IL	SL60-SS40	34.7	36.05
	SS	36.05	40.6
	KL	40.6	41.35
	SS	41.35	43
	KL	43	43.15
	SS	43.15	44.95
	KL	44.95	44.99

F 008

Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-From	Depth-To
IB	SS	2.97	4
	SS70-MS30	4	10.35
	MS	10.35	11.4
	SS	11.4	12
	KL	12	15.15
	SS	15.15	15.95
	KL	15.95	18.15
	MS	18.15	19.8
	KL	19.8	21.15
	MS	21.15	26.46
	C1	26.46	26.53
	XM	26.53	26.63
	C1	26.63	26.8
	LC	26.8	27
	C1	27	29
	LC	29	29.25
	C1	29.25	29.4
	LC	29.4	29.45
MS	29.45	35.13	
IZ	35.13	35.18	
SL	35.18	35.25	
MS	35.25	35.22	
IZ	35.33	35.48	
KL	35.48	35.7	
IL	SS60-MS40	35.7	37.37
	KL	37.37	37.7
	SS	37.7	38.64

Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-From	Depth-To
	KL	38.64	38.99
	SS	38.99	42.15
	MS	42.15	45.06
	SS	45.06	45.09
	KL	45.09	45.15
	MS	45.15	45.26
	C1	45.26	45.36
	MS	45.36	45.39
	C1	45.39	45.94
	MS	45.94	46.89
	KL	46.89	46.94
IL	MS80-SS20	46.94	48.48
		48.48	50



F 009

Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-From	Depth-To
	SO	2.97	6
	MS	6	11.55
	KL	11.55	11.7
	MS	11.7	12.5
	KL	12.5	14.75
	MS	14.75	21.15
	KL	21.15	21.35
	MS	21.35	23.31
	C1	23.31	23.77
	KL	23.77	23.85
	MS	23.85	26.85
IM	MS90-SS10	26.85	29.95
IL	MS55-SS45	29.95	32.25
	SS	32.25	32.75
	KL	32.75	32.95
	SS	32.95	33.65
	MS	33.65	34.95
	KL	34.95	35.25
	MS	35.25	35.89
	KL	35.89	36.35
	MS	36.35	37.27
	SS	37.27	37.42
	KL	37.42	39.35
	SS	39.35	40.35
	KL	40.35	42.35
IL	SS90-MS10	42.35	42.93
	KL	42.93	45.35

Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-From	Depth-To
IL	SS90-MS10	45.35	45.8
IL	SS60-MS40	45.8	47.15
	SS	47.15	47.7
	KL	47.7	48.35
	SS	48.35	48.48
	KL	48.48	51.35
IL	SS60-MS40	51.35	51.99
IL	SS70-MS30	51.99	52.62
	SS	52.62	53.39
	KL	53.39	54.24
	SS	54.24	54.5
	MS	54.5	54.6
	C1	54.6	54.74
	LC	54.74	55.17
	C1	55.17	57.19
	LC	57.19	57.64
	C1	57.64	58.36
	LC	58.36	58.42
	C1	58.42	58.72
	MS	58.72	58.92
IM	MS90-SS10	58.92	60.46
	KL	60.46	60.64
	MS	60.64	62.51
IL	SS80-MS20	62.51	62.84
	KL	62.84	63.35
	SS	63.35	64.52
	KL	64.52	66.03

F 011

Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-From	Depth-To	Sedimentary Relationship	Lithology	Depth-From	Depth-To
IM	SO	2.97	2.98	IL	KL	28.4	29.75
	MS60-CO40	2.98	6		SS	29.75	30.25
	MS	6	6.78	IL	SL60-SS40	30.25	30.67
	IZ	6.78	6.85	SS	30.67	31.15	
	MS	6.85	8.9	KL	31.15	31.55	
	KL	8.9	9.15	SS	31.55	40.22	
	SL	9.15	10.82	IZ	40.22	40.51	
	SS	10.82	11.9	IR	MS60-SS40	40.51	40.73
	KL	11.9	12.15	IR	MS70-SS30	40.73	41.6
	SS	12.15	13.9	KL	41.6	42.15	
	KL	13.9	14.9	IL	MS60-SS40	42.15	43.15
	SS	14.9	16.15	MS	43.15	43.72	
	KL	16.15	16.45	C1	43.72	43.81	
	SS	16.45	16.8	MS	43.81	43.94	
KL	16.8	18.15	C1	43.94	46.73		
SS	18.15	18.45	MS	46.73	46.93		
IB	MS70-SS30	18.45	18.75	IL	MS60-SS40	46.93	47.37
	SS	18.75	19.35	MS	47.37	50.89	
	KL	19.35	21.15	KL	50.89	51	
	SS	21.15	21.75	MS	51	51.15	
	KL	21.75	24.15	IB	MS70-SS30	51.15	53.04
IB	SL	24.15	24.57	SS	53.04	55.53	
	SS	24.57	24.92	MS	55.53	58.85	
	SS60-SL40	24.92	26.75	C1	58.85	59.58	
	KL	26.75	27.1	LC	59.58	60.18	
	IL	SL70-SS30	27.1	28	C1	60.18	60.25
SS		28	28.4	MS	60.25	61.9	
				IZ	61.9	62	
			MS	62	64.83		
			KL	64.83	65.1		
			MS	65.1	67.01		

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

