

SKRIPSI

ANALISIS DISTRIBUSI *IRONSTONE SIDERITE* BERDASARKAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN FORMASI LATI SUB-CEKUNGAN BERAU MENGUNAKAN ELEKTROFASIES PADA DATA GEOFISIKA WELL LOGGING

Disusun dan diajukan oleh:

**REDONDO
D061201012**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

ANALISIS DISTRIBUSI *IRONSTONE SIDERITE* BERDASARKAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN FORMASI LATI SUB-CEKUNGAN BERAU MENGUNAKAN ELEKTROFASIES PADA DATA GEOFISIKA WELL LOGGING

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
(S.T.) Pada Program Studi Teknik Geologi
Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin*

**OLEH:
REDONDO
D061201012**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS DISTRIBUSI *IRONSTONE SIDERITE* BERDASARKAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN FORMASI LATI SUB-CEKUNGAN BERAU MENGUNAKAN ELEKTROFASIES PADA DATA GEOFISIKA WELL LOGGING

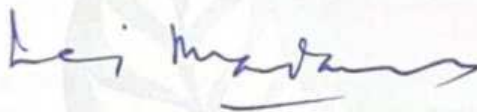
Disusun dan diajukan oleh

REDONDO
D061201012

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 3 Oktober 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

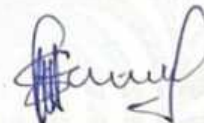
Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phil
NIP. 19800428 200501 1 001

Pembimbing Pendamping



Dr. Sultan, S.T., M.T
NIP.19700705 199702 1 002

Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 19771214 200501 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Redondo
NIM : D061201012
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*“Analisis Distribusi Ironstone Siderite Berdasarkan Lingkungan Pengendapan
Formasi Lati Sub-Cekungan Berau Menggunakan Elektrofasies Pada Data
Geofisika Well logging”*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

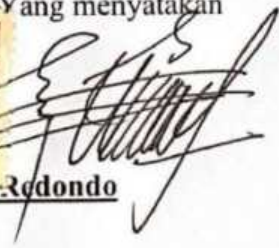
Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 1 Oktober 2024

Yang menyatakan


Redondo



ABSTRAK

REDONDO. *Analisis Distribusi Ironstone Siderite Berdasarkan Lingkungan Pengendapan Formasi Lati Sub-Cekungan Berau Menggunakan Elektrofases Pada Data Geofisika Well logging (dibimbing oleh Adi Maulana dan Sultan)*

Lingkungan pengendapan batubara memengaruhi material yang terbentuk bersamaan dengan pengendapan batubara. *Siderite* menjadi salah satu mineral yang terbentuk pada lingkungan pengendapan *oxygen-free* seperti danau, sungai, dan laut. Kehadiran *ironstone siderite* pada setiap *overburden* dan *interburden* batubara di Pit Parapatan PT Berau Coal mengakibatkan sulitnya proses pembersihan material tanpa proses peledakan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sebaran *ironstone siderite* berdasarkan lingkungan pengendapan menggunakan elektrofases pada data geofisika well logging. Variabel bebas pada penelitian ini adalah data logging geofisika yang terdiri dari *gamma ray log* dan *density log*. Sedangkan variabel terikat adalah lingkungan pengendapan dan distribusi *ironstone siderite*.

Analisis elektrofases dilakukan untuk mengetahui pola pengendapan, sehingga diketahui lingkungan pengendapan daerah penelitian adalah delta pada zona *transitional lower delta plain*. Adapun karakteristik kurva condong ke kanan untuk *gamma ray log* dan juga condong ke kanan untuk *density log*. Hal ini adalah gambaran tingginya densitas *siderite* dibandingkan litologi disekitarnya. Pada daerah penelitian, *ironstone siderite* dijumpai di setiap *interburden* seam batubara, yakni pada *interburden* antara seam K-L, L-M, M-N, N-O, O-P, P-Q, Q-R, R-S, dan S-T dengan ukuran bervariasi mulai dari 0.04 m hingga 0.88 m dengan rata-rata keseluruhan 0,312 m. *Siderite* menyebar berupa *ironstone* atau nodul. Di beberapa tempat dijumpai *siderite* berbentuk layer tipis (*lensis*).

Kata Kunci: *Ironstone Siderite, Lingkungan Pengendapan, Elektrofases*



ABSTRACT

REDONDO. *Analysis of Ironstone Siderite Distribution by Depositional Environment of Lati Formation Berau Sub-Basin Utilizing Electrofacies on Geophysical Well logging Data. (guided by Adi Maulana and Sultan)*

The depositional environment of coal affects the formation of materials alongside coal deposition. Siderite is one of the minerals formed in oxygen-free deposition environments such as lakes, rivers, and seas. The presence of ironstone siderite in every overburden and interburden of coal at Pit Parapatan PT Berau Coal, results in difficulty in cleaning materials without the blasting process.

This study was conducted to determine the distribution of ironstone siderite based on depositional environment using electrofacies on geophysical well logging data. The independent variables in this study are geophysical logging data consisting of gamma ray logs dan density logs. The dependent variables are deposition environments and the distribution of ironstone siderite.

Electrofacies analysis was conducted to determine the deposition patterns, thereby identifying the depositional environment of the study areas as a delta in the transitional lower delta plain zone. The characteristics show a right-leaning curve for the gamma ray log and also a right-leaning curve for the density log. This indicates the high density of siderite compared to the surrounding lithology. In the study area, ironstone siderite is found in every interburden seam of coal namely between seams K-L, L-M, M-N, N-O, O-P, P-Q, Q-R, R-S, and S-T, with sizes ranging from 0.04 m to 0.88 m, with an overall average of 0.312 m. siderite spreads in the form of ironstone or nodules. In some places, siderite is found in thin layers (lenses).

Keywords: *Ironstone Siderite, Depositional Environment, Electrofacies*



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN TUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
KATA PENGANTAR.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Waktu, Letak, dan Kesampaian Daerah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Batubara Kabupaten Berau Kalimantan Timur.....	5
2.2 Geologi Regional	6
2.2.1 Fisiografi Regional.....	6
2.2.2 Stratigrafi Regional	9
2.2.3 Struktur Geologi Regional	9
2.3 Batubara	10
2.3.1 Genesa Batubara.....	10
2.3.2 Genesa Berdasarkan Tempat Pembentukan	11
2.3.3 Faktor Pembentuk Batubara.....	12
2.3.4 Klasifikasi Batubara	14
Bentuk-Bentuk Lapisan Batubara	15
Lingkungan Pengendapan Batubara Horne, dkk (1978)	17
Proses Eksplorasi Batubara	23
Pemetaan Geologi	24



2.4.2	Metode Well Logging	25
2.4.2.1	<i>Log Gamma Ray (GR Log)</i>	26
2.4.2.2	<i>Log Density</i>	27
2.4.3	Korelasi Batuan	30
2.5	Proses Penambangan Batubara	30
2.6	Overburden	32
2.7	<i>Siderite</i>	33
2.7.1	<i>Siderite</i> Pada Endapan Sedimen	34
2.7.2	Kenampakan <i>Siderite</i> Pada Data <i>Well Logging</i>	36
2.8	Elektrofasies	36

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 39

3.1	Variabel Penelitian	39
3.2	Metode Penelitian	39
3.3	Tahapan Penelitian	40
3.3.1	Tahap Pendahuluan	40
3.3.2	Tahap Pengambilan Data (Akuisisi Data) Logging Geofisika	40
3.3.2.1	Pengeboran Geologi (<i>Geological Drilling</i>)	41
3.3.2.2	Deskripsi Inti Batuan (<i>Core Description</i>)	42
3.3.2.3	Peralatan Akuisisi Data Logging Geofisika	42
3.3.2.4	Tahapan Logging Geofisika	43
3.3.3	Tahap Pengumpulan Data	45
3.3.4	Tahap Pengolahan dan Analisis Data	45
3.3.4.1	Pengolahan Data Rekaman Awal <i>Well Logging</i>	46
3.3.4.2	Pembuatan Kurva <i>Well Logging</i> dan Interpretasi Litologi	46
3.3.4.3	Pembuatan Model Korelasi Antar Sumur	47
3.3.4.4	Analisis Elektrofasies	48
3.3.4.5	Filterisasi Posisi <i>Ironstone Siderite</i> Terhadap Seam Batubara	49
3.3.4.6	Identifikasi Sebaran <i>Ironstone Siderite</i>	49
3.3.5	Tahap Penyusunan Laporan	50
3.4	Diagram Alir	50

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 52

4.1	Geologi Daerah Penelitian	52
4.1.1	Stratigrafi Daerah Penelitian	52
4.1.1.1	Satuan Batulempung	53
4.1.1.1.1	Umur	53
4.1.1.1.2	Lingkungan Pengendapan	54
	Satuan Batubara	54
	Umur	55
	Lingkungan Pengendapan	55
	Satuan Batupasir	55
	Umur	57



4.1.1.3.2	Lingkungan Pengendapan	58
4.1.2	Struktur Geologi Daerah Penelitian	58
4.2	Lingkungan Pengendapan	62
4.2.1	Deskripsi Sumur dan Metode Korelasi	62
4.2.2	Penentuan Pemberian Marker	62
4.2.3	Interpretasi Marker Stratigrafi.....	64
4.2.4	Analisis Lingkungan Pengendapan	64
4.2.4.1	Interpretasi Litologi.....	64
4.2.4.2	Lingkungan Pengendapan	65
4.3	Rekapitulasi Data <i>Ironstone Siderite</i>	72
4.4	Karakteristik <i>Ironstone Siderite</i> Pada Geofisika Well Logging	74
4.5	Distribusi <i>Ironstone Siderite</i> Berdasarkan Seam Batubara.....	83
4.5.1	Distribusi Interburden Antara Seam K dan Seam L.....	85
4.5.2	Distribusi Interburden Antara Seam L dan Seam M.....	86
4.5.3	Distribusi Interburden Antara Seam M dan Seam N	86
4.5.4	Distribusi Interburden Antara Seam N dan Seam O	87
4.5.5	Distribusi Interburden Antara Seam O dan Seam P.....	87
4.5.6	Distribusi Interburden Antara Seam P dan Seam Q.....	88
4.5.7	Distribusi Interburden Antara Seam Q dan Seam R	88
4.5.8	Distribusi Interburden Antara Seam R dan Seam S	89
4.5.9	Distribusi Interburden Antara Seam S dan Seam T	89
4.6	Kenampakan <i>Ironstone Siderite</i> di Lapangan	100
4.7	Mekanisme Pembentukan <i>Ironstone Siderite</i> di Daerah Penelitian..	101
BAB V	PENUTUP.....	103
5.1	Kesimpulan	103
5.2	Saran.....	104
DAFTAR PUSTAKA		105



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Peta tunjuk lokasi penelitian	4
Gambar 2.	Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Situmorang dan Burhan, 1995).....	7
Gambar 3.	Peta Tektonik Pulau Kalimantan dan posisi cekungan sedimen (Islah dan Fujiono, 2005).....	8
Gambar 4.	Tahapan umum pembentukan batubara	11
Gambar 5.	Bentuk-bentuk batubara.....	17
Gambar 6.	Model lingkungan pengendapan batubara di lingkungan delta (Horne, dkk 1979; modifikasi dari Ferm. 1976)	18
Gambar 7.	Penampang lingkungan pengendapan pada bagian <i>back-barrier</i> (Horne, 1978).....	19
Gambar 8.	Sekuen vertikal endapan pada <i>trought lower delta plain</i> (Baganz, dkk, 1975)	20
Gambar 9.	Penampang lingkungan pengendapan pada bagian <i>upper delta plain-fluvial</i> (Horne, 1978)	22
Gambar 10.	Sekuen vertikal endapan <i>transitional lower delta plain</i> (Horne, 1978)	23
Gambar 11.	Respon <i>log gamma ray</i> terhadap litologi (Hower, 2002)	27
Gambar 12.	Respon litologi terhadap <i>log density</i> (Rider, 1996)	28
Gambar 13.	Grafik hubungan antara satuan CPS dan gr/cc (Rider, 1996)...	29
Gambar 14.	Proses penambangan batubara Site Binungan PT Berau Coal .	31
Gambar 15.	Kenampakan <i>siderite</i> dari data <i>well logging</i>	36
Gambar 16.	Respon gamma ray terhadap variasi ukuran butir dan lingkungan pengendapan.....	38
Gambar 17.	Pengeboran geologi (PT Berau Coal)	41
Gambar 18.	Sampling and deskripsi inti batuan (PT Berau Coal)	42
	19. Proses logging geofisika (PT Berau Coal).....	44
	20. Tampilan dari data .LAS file (PT Berau Coal, 2023).....	46



Gambar 21.	Pengolahan data <i>well logging</i> menggunakan Petrel 2017 by Schlumberger	47
Gambar 22.	Korelasi antar sumur menggunakan <i>software</i> Petrel 2017 by Schlumberger	48
Gambar 23.	Analisis elektrofases dengan pendekatan klasifikasi Horne (1978)	49
Gambar 24.	Interpretasi menggunakan IDW	50
Gambar 25.	Diagram alir penelitian	51
Gambar 26.	Singkapan batuan di daerah PT Berau Coal difoto dari arah N160°E	52
Gambar 27.	Satuan Batulempung difoto dari arah N169°E.....	53
Gambar 28.	Satuan Batubara difoto dari arah N163°E.....	54
Gambar 29.	Batupasir sedang difoto dari arah N160°E memperlihatkan struktur <i>bedding-lamination</i> dan nodul <i>siderite</i> serta perselingan batulempung	56
Gambar 30.	Batupasir halus difoto dari arah N172°E memperlihatkan struktur <i>bedding-lamination</i> dan nodul <i>siderite</i> serta sisipan batulempung.....	57
Gambar 31.	Batupasir difoto dari arah N163°E memperlihatkan struktur <i>bedding-lamination</i> dan nodul <i>siderite</i> serta sisipan batulempung.....	57
Gambar 32.	Kolom stratigrafi daerah penelitian	60
Gambar 33.	Peta Geologi Regional Daerah Penelitian.....	61
Gambar 34.	Korelasi sumur lapisan kunci.....	63
Gambar 35.	Korelasi data <i>well logging</i> dengan singkapan dekat sumur PD-21-020	65
Gambar 36.	Hasil interpretasi litologi pada sumur PD-12-071, PD-12-072, PD-12-077, PD-12-085	67
Gambar 37.	Fasies <i>Interdistributary Bay</i> dengan pola <i>Serrated</i> di bawah seam R pada sumur PD-12-061, PD-12-063, PD-12-064, PD-12-067, dan PD-12-069	68
38.	Fasies <i>Interdistributary Bay</i> dengan pola <i>Serrated</i> pada sumur PD-12-060, PD-12-062, PD-12-084, dan PD-12-086...	70



Gambar 39.	Fasies <i>Crevasse Splay</i> dengan pola <i>Funnel</i> pada sumur PD-12-066, PD-12-068, PD-12-080, dan PD-12-083	71
Gambar 40.	Lingkungan pengendapan Delta daerah penelitian (ditunjukkan oleh kotak merah.....)	72
Gambar 41.	Persentase sumur dengan keterdapat <i>ironstone</i>	73
Gambar 42.	Peta Sebaran Titik Sumur pada daerah penelitian	74
Gambar 43.	Peta lintasan sampel <i>well logging</i> yang diolah di Petrel 2017..	77
Gambar 44.	Interpretasi posisi <i>siderite</i> terhadap seam batubara pada titik pengeboran PD-12-068, PD-12-066, dan PD-12-065	78
Gambar 45.	Interpretasi posisi <i>siderite</i> terhadap seam batubara pada titik pengeboran PD-12-069, PD-12-067, dan PD-12-078	79
Gambar 46.	Interpretasi posisi <i>siderite</i> terhadap seam batubara pada titik pengeboran PD-12-071, PD-12-072, PD-12-077, dan PD-12-085	80
Gambar 47.	Interpretasi posisi <i>siderite</i> terhadap seam batubara pada titik pengeboran PD-12-079, PD-12-075, PD-12-076, dan PD-12-079	81
Gambar 48.	Interpretasi posisi <i>siderite</i> terhadap seam batubara pada titik pengeboran PD-12-077, PD-12-082, PD-12-080, dan PD-12-083	82
Gambar 49.	Interpretasi posisi <i>siderite</i> terhadap seam batubara pada titik pengeboran PD-12-081, PD-12-084, PD-12-062, PD-12-064, PD-12-061, PD-12-063	83
Gambar 50.	Grafik koefisien determinasi antara interburden seam batubara dengan ukuran <i>ironstone siderite</i>	85
Gambar 51.	Grafik koefisien determinasi antara interburden seam batubara dengan jumlah <i>ironstone siderite</i>	85
Gambar 52.	Peta sebaran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam K dan seam L	91
Gambar 53.	Peta sebaran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam L dan seam M.....	92
Gambar 54.	Peta sebaran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam M dan seam N	93



Gambar 55.	Peta sebaran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam N dan seam O	94
Gambar 56.	Peta sebaran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam O dan seam P	95
Gambar 57.	Peta sebaran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam P dan seam Q	96
Gambar 58.	Peta sebaran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam Q dan seam R	97
Gambar 59.	Peta sebaran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam R dan seam S	98
Gambar 60.	Peta sebaran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam S dan seam T	99
Gambar 61.	Kenampakan mineral <i>siderite</i> yang memperlihatkan bentuk nodul pada lereng tambang. Difoto dari arah N163°E	100
Gambar 62.	Kenampakan <i>ironstone siderite</i> yang mengisi batupasir bagian utara daerah penelitian.....	101
Gambar 63.	Kenampakan <i>boulder</i> dan pecahan-pecahan mineral <i>ironstone siderite</i>	101
Gambar 64.	Model konseptual lingkungan pengendapan pada daerah penelitian	102
Gambar 65.	Pemodelan sederhana pembentukan <i>ironstone siderite</i> pada fasies <i>interdistributary bay</i>	103
Gambar 66.	Pemodelan sederhana pembentukan <i>ironstone siderite</i> pada fasies <i>crevasse splay</i>	104



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Daftar titik sumur daerah penelitian	110
Lampiran 2	Daftar titik sumur yang terdapat <i>ironstone siderite</i>	116
Lampiran 3	Tabel log <i>gamma ray</i> , <i>long density</i> , dan <i>short density</i>	121
Lampiran 4	Ukuran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam K-L	129
Lampiran 5	Ukuran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam L-M	130
Lampiran 6	Ukuran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam M-N	131
Lampiran 7	Ukuran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam N-O	132
Lampiran 8	Ukuran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam O-P ..	133
Lampiran 9	Ukuran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam P-Q ..	134
Lampiran 10	Ukuran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam Q-R	136
Lampiran 11	Ukuran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam R-S ..	138
Lampiran 12	Ukuran <i>ironstone siderite</i> pada interburden antara seam S-T ..	139
Lampiran 13	Peta Stasiun Pengamatan	140
Lampiran 14	Peta Titik Sumur	141
Lampiran 15	Penampang Stratigrafi.....	142



DAFTAR ISTILAH

Istilah	Arti dan Penjelasan
Antiklin	lipatan yang ada di permukaan bumi dengan bentuk busur atau cekungan terbalik
Arches	lipatan yang dibentuk oleh dua bidang perlapisan yang kemiringannya saling berhadapan ke arah bidang sumbu
Brittle	sifat mudah hancur tapi bisa dipotong-potong
Caliper log	representasi diameter lubang bor sepanjang kedalaman
Channel	saluran sungai
Coarsening upward	suksesi mengasar ke atas
Continental Margin	batas kontinen
Core box	tempat atau wadah hasil sampel pengeboran
Core drilling	proses pengambilan sampel menggunakan bor
Crevasse splay	endapan kipas banjir akibat pecahnya tanggul alam
Cross bedding	perlapisan sedimen bersilang atau saling memotong
Deltaik	lingkungan pengendapan di delta sungai
Density log	kurva yang menunjukkan besarnya densitas
Elektrofases	set kurva log yang menunjukkan karakteristik suatu lapisan yang dapat dibedakan dengan yang lainnya
Enrichment	pengayaan
Kemas/Fabrik	Derajat keterkaitan antar butiran penyusun batuan atau hubungan antar butir
Funnel	profil berbentuk corong yang menunjukkan pengkasaran regresi ke atas, kebalikan dari bentuk bell
Gamma ray log	kurva yang menunjukkan besaran intensitas radioaktif yang ada dalam formasi
Interburden	lapisan yang berada diantara dua buah lapisan batubara
Interdistributary bay	daerah badan air terbuka yang dikelilingi oleh tanggul atau rawarawa yang terhubung ke laut terbuka oleh saluran pasang surut
Ironstone	batuan yang mengandung besi
Keybed	lapisan kunci
Konkoidal	pecahan mineral yang membentuk seperti rumah siput
atigrafi	cabang dari stratigrafi yang mempelajari umur strata batuan dalam hubungannya dengan waktu
on	struktur lapisan sedimen yang menunjukkan perlapisan yang sejajar (horizontal) berukuran kurang dari beberapa sentimeter



Lensis	lapisan tipis memanjang
Lithostratigrafi	penggolongan batuan secara sistematis menjadi satuan-satuan bernama yang bersendi pada ciri-ciri litologi
Logging	teknik untuk mengambil data-data dari formasi dan lubang sumur dengan menggunakan peralatan khusus
Maximum flooding surface	titik balik antara fase transgresif menuju fase regresif ditandai dengan kenaikan muka air laut secara maksimal
Meander	aliran sungai berkelok-kelok yang terbentuk karena pengendapan dan pengikisan
Nodul	struktur sekunder batuan yang berbentuk bulat atau tidak teratur
Oolitik	struktur dimana fragmen klastik diselubungi oleh mineral non klastik, bersifat konsentris dengan diameter kurang dari 2 mm
Overburden	lapisan tanah dan batu yang ada di atas lapisan batubara
Permeabilitas	kemampuan suatu batuan untuk meloloskan fluida
Pit	tambang terbuka
Porositas	Perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh batuan, dan dinyatakan dalam persen
Sekuen	pembagian sedimen berdasarkan kesamaan genetis yang dibatasi oleh bidang non deposisi
Sequence boundary	batas atas dan bawah satuan siklus stratigrafi adalah bidang ketidak selarasan atau bidang-bidang keselarasan padanannya
Serrated	bentuk dari fase agresi
Sesar	patahan pada lapisan penyusun bumi yang mengalami pergerakan
Shale base line	garis yang ditarik dari titik yang memiliki harga paling tinggi yang mengisyaratkan bahwa daerah tersebut merupakan daerah impermeabel
Siderite	mineral yang tersusun dari besi(II) karbonat (FeCO_3)
Sinklin	struktur batuan yang menekuk ke atas dari garis median, hingga membentuk lembah
Splitting	lapisan batubara yang bercabang
Subsekuen	sungai yang arah aliran airnya tegak lurus dengan kemiringan lereng
Suksesi	rangkaian strata atau satuan batuan dalam urutan kronologis
Wrench Fault	patahan yang terjadi akibat adanya gerakan transform lempeng tektonik dengan pergerakan relatif berarah horizontal mengikuti arah patahan



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Arti dan Penjelasan
.LAS	<i>Log ASCII Standart</i>
BRD	<i>Bed Resolution Density</i>
CPS	<i>Count Per Secon</i>
FDS	<i>Formation Density Sonde</i>
GR	<i>Gamma Ray</i>
gr/cc	<i>satuan densitas batuan</i>
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
LSD	<i>Long Spacing Density</i>
SP	<i>Spontaneous Potential</i>
SSD	<i>Short Spacing Density</i>



KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Distribusi *Ironstone Siderite* Berdasarkan Lingkungan Pengendapan Pada Formasi Lati, Sub-Cekungan Berau Menggunakan Elektrofases Pada Data Geofisika Well Logging”**. Tugas Akhir ini adalah salah satu dari beberapa persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan dan memperoleh gelar sarjana pada Program Studi S1 Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Selama kegiatan penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, membimbing, mengarahkan, dan mendukung sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Teristimewa penulis haturkan terima kasih kepada Ayahanda M. Aras dan Ibunda Warna Tambi selaku orang tua, Kakanda Hardiana Ar beserta keluarga yang selama ini memberikan kasih sayang, dukungan moril dan materil, dan doa yang tiada hentiya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan pendidikan sebagai sarjana.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari peran serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karenanya, dengan rasa rendah hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phil sebagai dosen pembimbing utama dan Bapak Dr. Sultan, S.T., M.T selaku dosen pembimbing pendamping penulis yang telah turut berandil besar dalam proses pengambilan dan pengolahan data, serta penulisan Tugas Akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T. dan Ibu Meinarni Thamrin, S.T., M.T. sebagai dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan tenaganya dalam memberikan saran dan masukan serta kritik yang membangun kepada penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng sebagai Ketua Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

apak/Ibu Dosen dan pengajar Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah dengan sabar dan ikhlas



memberikan ilmunya kepada penulis selama menempuh pendidikan perkuliahan.

5. Bapak/Ibu tenaga administrasi Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Yoki Dwi Asmoro, S.T., M.T sebagai pembimbing Kerja Praktik di PT Berau Coal.
7. Teman-teman sekaligus keluarga saya mahasiswa Teknik Geologi Universitas Hasanuddin Angkatan 2020 (*Radar20*) yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
8. Kakak-kakak dan adik-adik di Himpunan Mahasiswa Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH) dan *American Association of Petroleum Geologists* Universitas Hasanuddin *Student Chapter* (AAPG UNHAS SC) yang selalu menjadi teman diskusi penulis dalam bidang apapun.
9. Semua rekan dan pihak yang telah membantu penulis sampai detik ini dan belum sempat disebutkan. Terima kasih untuk uluran tangan dan kerendahan hati yang kalian miliki.
10. Terima kasih kepada semua produk kopi yang setia menemani penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT sesuai dengan sifatnya. Oleh karenanya, saran dan masukan sangat diharapkan oleh penulis demi perbaikan Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat baik dalam penambahan wawasan dan dapat dijadikan sebagai referensi dalam kegiatan selanjutnya, serta tentunya berkah dan bernilai ibadah di sisi Allah SWT.

Selasa, 1 Oktober 2024

Redondo



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara dengan kondisi geologi yang sangat kompleks dan terdiri atas banyak cekungan-cekungan sedimen. Cekungan-cekungan sedimen ini merupakan tempat pengendapan material-material sedimen, salah satunya adalah batubara. Batuan sedimen hasil pembusukan material organik (tumbuhan) yang telah mati mengalami proses *coalification* menjadi produk-produk batubara. Terdapat beberapa jenis batubara yang dipengaruhi oleh faktor fisika dan kimia alam yang mengubah selulosa menjadi lignit, sub-bituminus, bituminus, sampai antrasit (Alpen dan Sousa, 2002)

Sejauh ini, batubara sebagai bahan galian non logam yang merupakan komoditas utama telah berkontribusi besar terhadap pendapatan negara dan memainkan peran penting dalam mendorong perekonomian nasional. Salah satu wilayah penghasil batubara yang penting adalah Provinsi Kalimantan Timur. Provinsi ini menjadi produsen batubara terbesar di Indonesia dan merupakan wilayah terbesar kedua dalam potensi sumber daya batubara (Ibrahim, 2005)

Pada pembentukan batubara, lingkungan pengendapan sangat berperan penting karena hal ini memengaruhi material yang terbentuk bersamaan dengan kejadian pembentukan batubara. Salah satu produk dari proses pengendapan adalah terbentuknya *ironstone* berupa *siderite*. Mineral ini biasanya terbentuk pada lingkungan pengendapan yang *oxygen-free* seperti danau, sungai, dan laut.

Berdasarkan kondisi lapangan di Pit Parapatan PT. Berau Coal, terdapat *ironstone siderite* yang menempati hampir setiap overburden dan interburden batubara. Hal ini mengakibatkan sulitnya proses pembersihan material tanpa proses *blasting* atau hanya menggunakan metode *ripping*. Oleh karena itu, diperlukan penelitian terkait identifikasi sebaran *ironstone Siderite* (FeCO_3) pada Pit Parapatan PT. Berau Coal berdasarkan data lapangan dan korelasi data *logging* geofisika di

Latih, Sub-Cekungan Berau, Cekungan Tarakan, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur untuk memaksimalkan efektivitas unit penambangan



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan sebelumnya, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan, yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana lingkungan pengendapan lingkungan pengendapan daerah penelitian?
2. Bagaimana karakteristik logging geofisika yang menggambarkan keterdapatan *ironstone siderite*?
3. Bagaimana sebaran *ironstone siderite* di daerah penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sebaran *ironstone siderite* pada Formasi Latih, Sub-Cekungan Berau, Cekungan Tarakan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui lingkungan pengendapan daerah penelitian.
2. Mengetahui karakteristik *logging* geofisika yang menggambarkan keterdapatan *ironstone siderite*.
3. Memetakan sebaran *ironstone siderite* di daerah penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian terkait kehadiran *ironstone siderite* pada Formasi Latih yang ada di Pit Parapatan PT Berau Coal ini diharapkan dapat memberikan manfaat di beberapa aspek, seperti:

1. Dapat menambah wawasan dan pengetahuan tentang lingkungan pengendapan batubara yang berimplikasi pada kehadiran *ironstone siderite*.
2. Dapat dijadikan data tambahan untuk keberlangsungan daerah eksplorasi Pit Parapatan maupun wilayah pertambangan lain dalam hal pembersihan material overburden sehingga dapat menekan munculnya kompleksitas dan risiko biaya dalam produksi batubara.



apat dijadikan referensi dan rujukan dalam bidang pendidikan, khususnya ada bidang ilmu kebumian seperti geologi, dan geofisika maupun industri pertambangan.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, cakupan permasalahan dibatasi pada pola penyebaran *ironstone siderite* di Formasi Latih terhadap lingkungan pengendapan yang diproyeksikan ke dalam bentuk peta.

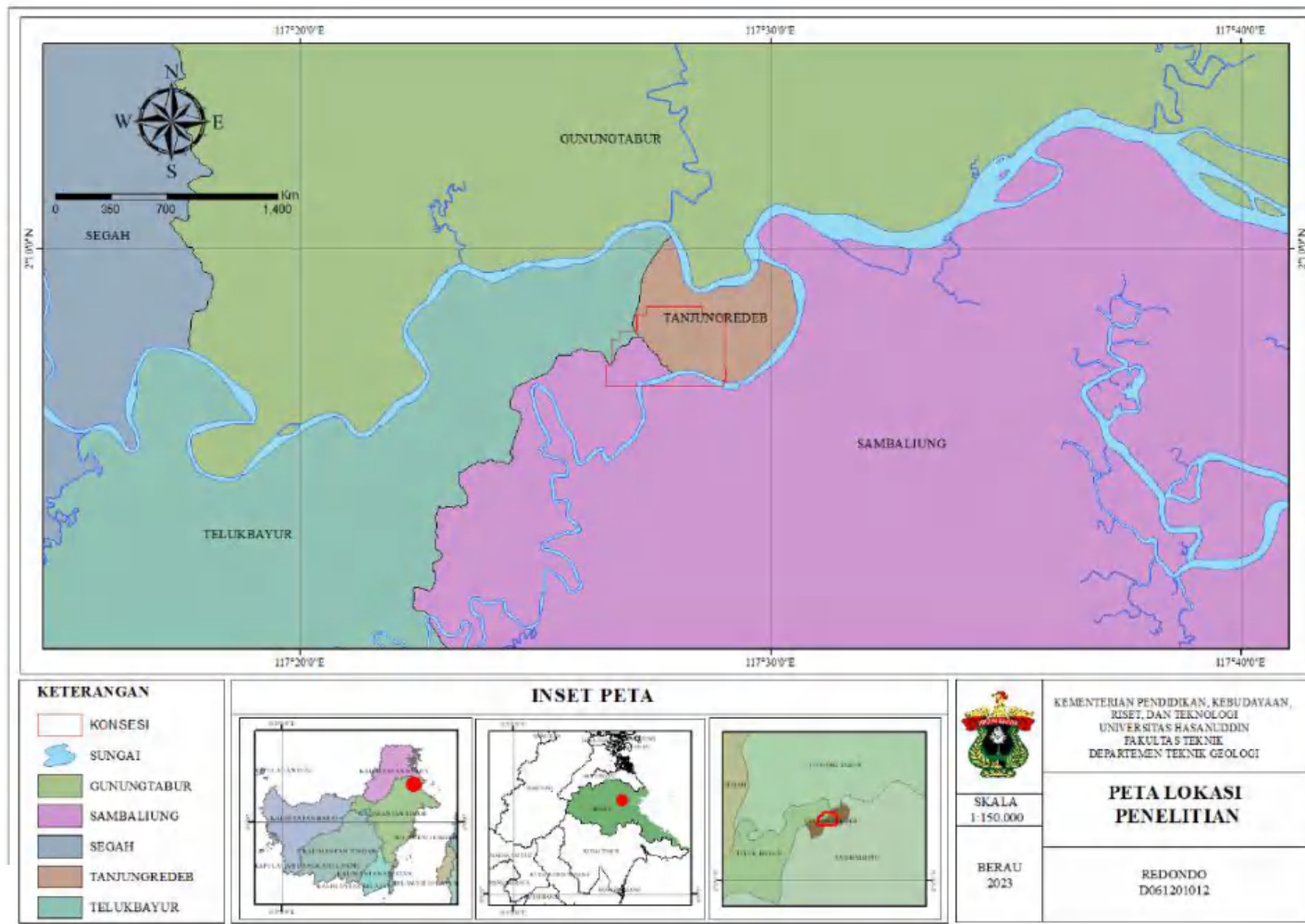
1.6 Waktu, Letak, dan Kesampaian Daerah

Penelitian ini dilaksanakan mulai tanggal 4 September 2023 sampai 29 Maret 2024 di wilayah konsesi PT. Berau Coal Pit Parapatan, Kecamatan Sambaliung dan sekitarnya, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur seperti pada Gambar 1.

Lokasi penelitian ini dapat dijangkau dari Kampus Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dengan cara sebagai berikut:

1. Kampus Teknik Gowa - Bandara Sultan Hasanuddin
Ditempuh dengan menggunakan kendaraan darat seperti motor atau mobil dari Kampus Teknik Gowa menuju Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar di Maros selama kurang lebih 75 menit atau ± 28 km.
2. Bandara Sultan Hasanuddin - Bandara Balikpapan
Perjalanan dilanjutkan menggunakan pesawat udara dari Bandar Udara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar di Maros menuju Bandar Udara Internasional Sultan Aji Muhammad Sulaiman Sepinggian di Balikpapan selama ± 1 jam.
3. Bandara Balikpapan - Bandara Kalimantan
Setelah tiba di Bandara Balikpapan, dilanjutkan menuju Bandar Udara Kalimantan di Berau selama ± 1 jam 20 menit.
4. Bandara Kalimantan - Pit Parapatan
Lokasi penelitian dapat ditempuh menggunakan kendaraan darat dari Bandara Kalimantan menuju Pit Parapatan ke arah Tenggara (*SouthEast/SE*) sejauh ± 7 km atau sekitar 15 menit perjalanan.





Gambar 1. Peta tunjuk lokasi penelitian



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Batubara Kabupaten Berau Kalimantan Timur

Batubara secara umum adalah batuan sedimen dari hasil pembakaran sisa tumbuhan dengan warna cokelat sampai hitam akibat pengaruh proses fisika dan kimiawi berjuta-juta tahun yang lalu sehingga batuan ini memiliki kandungan karbon yang tinggi dan mudah mengalami pembakaran (Wolf, 1984 dalam Anggayana, 2002).

Berau, Kalimantan Timur merupakan salah satu penghasil batubara terbesar di Pulau Kalimantan. Penelitian oleh Tossin dan Kadir (1996) menyebutkan bahwa daerah ini berada pada Cekungan Tarakan yang memiliki empat sub-cekungan meliputi Tarakan, Tidung, Berau, dan Muara. Situmorang dan Burhan (1995) membagi tatanan stratigrafi menjadi Formasi Sembakung, Formasi Lati, Formasi Labanan, dan Formasi Domaring, Formasi Sinjin, dan Aluvium.

Penelitian ini berada pada Formasi Lati yang terendapkan pada lingkungan sungai hingga delta sehingga berpotensi menjadi pembawa batubara. Suwarna dan Hermanto (2007) menyimpulkan bahwa formasi ini layak ditambang sesuai dengan kualitasnya yang memiliki nilai pembakaran mencapai lebih dari 5.600 kal/gr. Maryanto (2011) dalam penelitiannya membagi keterdapatan batubara menjadi tiga perlapisan berdasarkan korelasi bawah permukaan, yaitu perlapisan bawah (*lower seams*), perlapisan tengah (*middle seams*), dan perlapisan atas (*upper seams*).

Perlapisan bawah memiliki jumlah dan tebal yang terbatas karena dipengaruhi oleh kedudukan lingkungan pengendapan pada saat itu. Bagian tengah secara umum masih terendapkan di lingkungan delta sehingga masih sangat terpengaruh air laut, dicirikan dengan mineral karbonat yang masih cukup banyak. Sedangkan bagian atas adalah daerah delta dengan pengaruh pasang-surut yang cukup kuat, akan tetapi pengaruh fluvial masih sangat dominan (Maryanto, 2011)

Keterdapatan perlapisan batubara di Kabupaten Berau terbentuk di an rawa-rawa (*swamp*) pada hutan hujan yang berada di daerah delta ngai beriklim basah pada kala Miosen Tengah. Batubara yang terdapat di anjung Redeb (di sekitar lokasi penelitian) memiliki mutu sangat baik



dengan memperhatikan keadaan lokasi pengendapan yang menunjukkan pematangan batubara di daerah ini berkaitan dengan gradien geothermal akibat penimbunan batuan sedimen di atas Formasi Lati (Maryanto, 2011).

2.2 Geologi Regional

Geologi regional secara umum daerah penelitian berasal dari publikasi Peta Geologi Lembar Tanjung Redeb, skala 1:250.000 terbitan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung oleh Situmorang dan Burhan pada tahun 1995.

Areal Parapatan terletak pada Sub-cekungan Berau yang merupakan anak dari Cekungan Tarakan (Gambar 2). Cekungan Tarakan merupakan salah satu dari 3 (tiga) Cekungan Tersier utama yang terdapat di bagian timur *continental margin* Kalimantan (dari utara ke selatan: Cekungan Tarakan, Cekungan Kutai dan Cekungan Barito), dicirikan oleh adanya batuan sedimen klastik sebagai penyusun yang dominan dengan ukuran halus sampai kasar dan beberapa endapan karbonat (Situmorang dan Burhan, 1995).

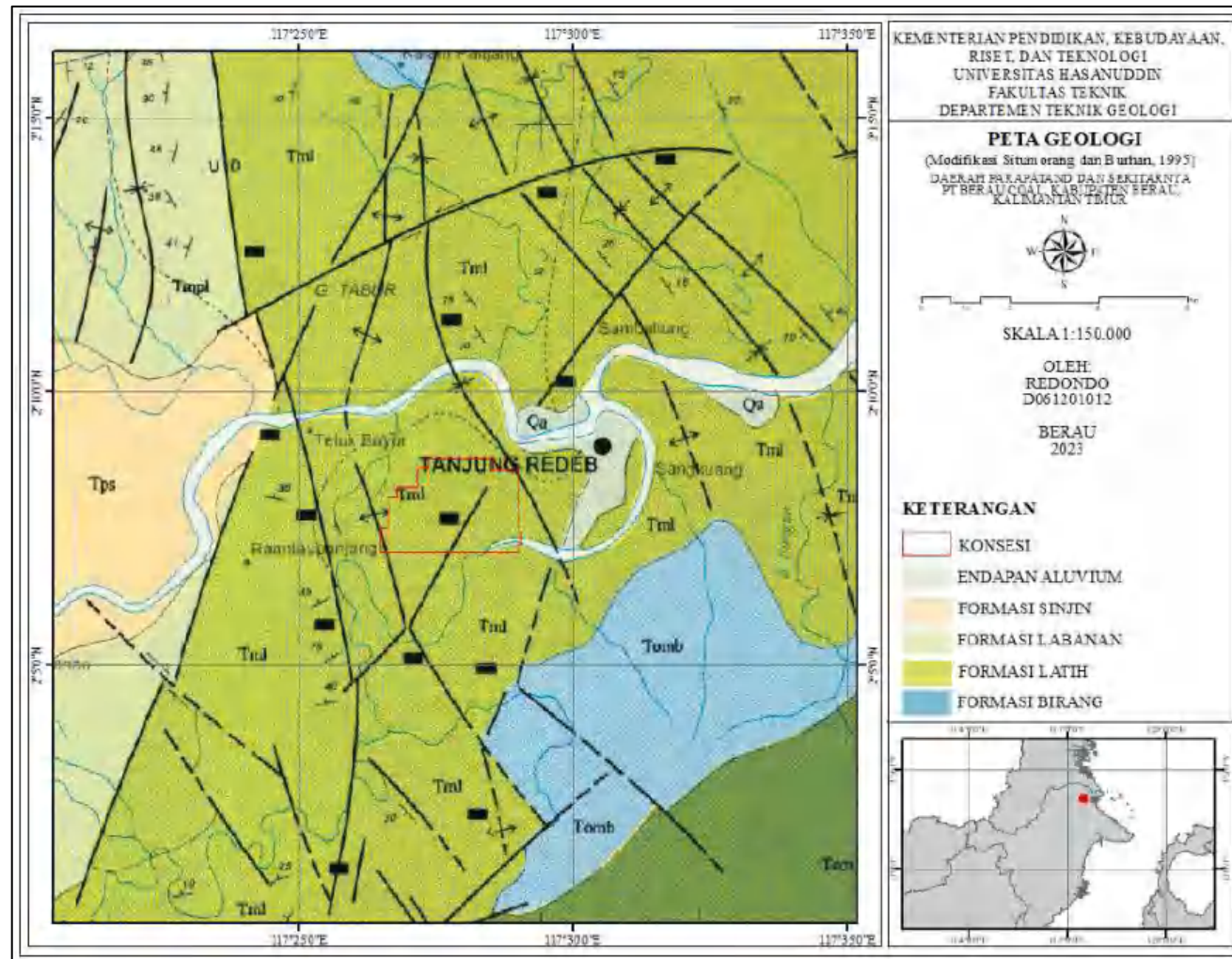
2.2.1 Fisiografi Regional

Secara fisiografi, Cekungan Tarakan bagian barat dibatasi oleh lapisan pra-Tersier Pegunungan Kuching dan dipisahkan dari Cekungan Kutai oleh kelurusan timur-barat Pegunungan Mangkalihat yang dapat dilihat pada Gambar 3. Cekungan Tarakan berupa depresi berbentuk busur yang terbuka ke Timur ke arah Selat Makassar/Laut Sulawesi yang meluas ke utara (Sabah) dan berhenti pada zona subduksi di Pegunungan Semporna dan merupakan cekungan paling utara di Kalimantan (Islah dan Fujiono, 2005)

Tektonik cekungan Tarakan menjadi lebih stabil pada Miosen Tengah Atas sampai Pliosen dengan pengendapan sedimen deltaik yang berasal dari sebelah barat melalui beberapa sistem drainase. Fase tektonik terakhir adalah kompresi yang dihasilkan dari koalisi lempeng Filipina dengan Borneo *wrench fault* yang memotong Selat Makassar mulai Pliosen Atas dan berlanjut hingga saat ini.

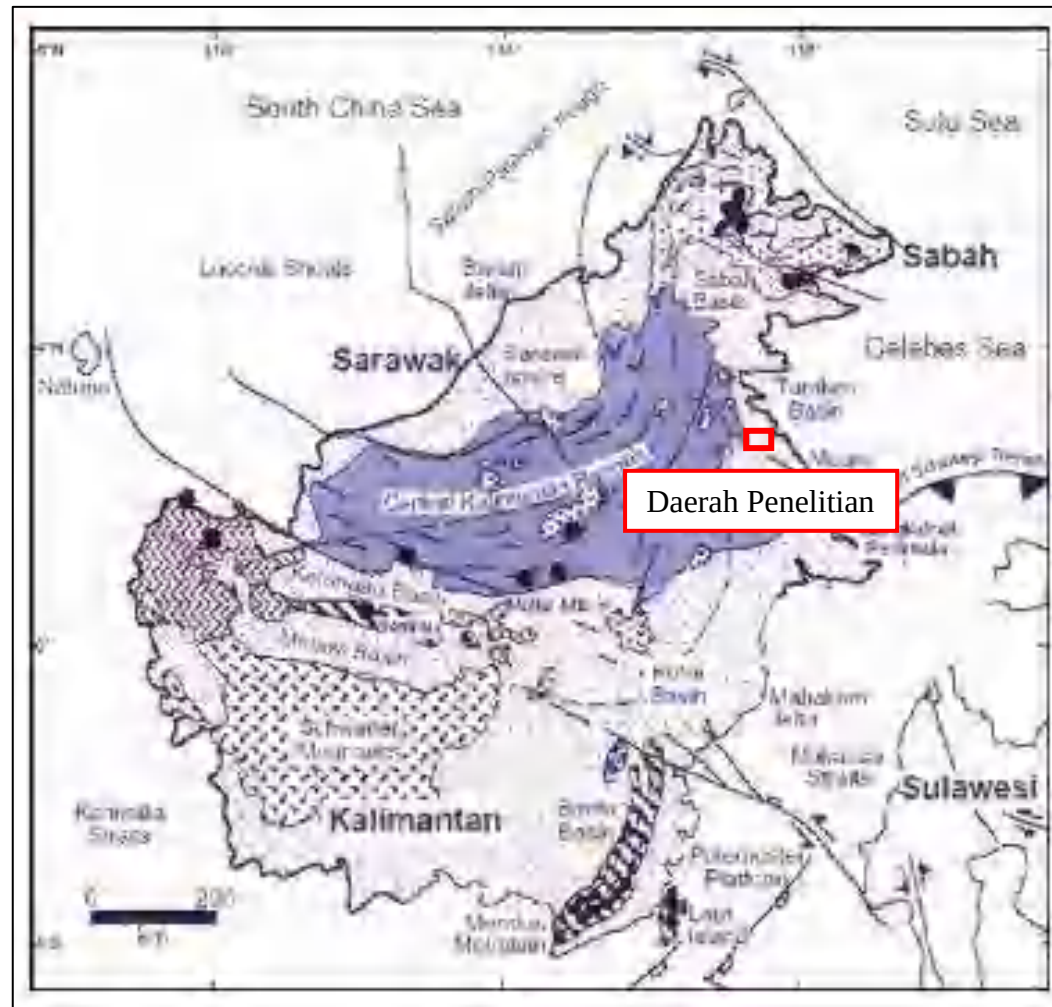
si selama periode ini membentuk busur-busur (*arches*) Sebatik, Ahus, Tarakan, dan Latih





Gambar 2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Situmorang dan Burhan, 1995)





Gambar 3. Peta Tektonik Pulau Kalimantan dan posisi cekungan sedimen (Islah dan Fujiono, 2005)



2.2.2 Stratigrafi Regional

Formasi Tabalar yang disusun oleh napal abu-abu, batupasir, serpih, sisipan batugamping dan konglomerat alas di bagian bawah, batugamping dolomit, kalkarenit, dan sisipan napal di bagian atas; diendapkan dalam lingkungan fluvial-laut dangkal dengan tebal satuan mencapai 1000 meter berumur Eosen-Oligosen (Situmorang dan Burhan, 1995).

Formasi Birang disusun oleh perselingan napal, batugamping dan tuff di bagian atas, dan perselingan napal, rijang, konglomerat, batupasir kuarsa dan batugamping di bagian bawah; tebal satuan batuan lebih dari 1100 meter. Dijumpai beberapa fosil sehingga dapat diketahui umur lapisan Oligosen-Miosen (Situmorang dan Burhan, 1995).

Formasi Latih dijumpai batupasir kuarsa, batulempung, batulanau, dan batubara di bagian atas; bersisipan serpih pasir dan batugamping di bagian bawah. Lapisan batubara (0,2-5,5 m), berwarna hitam, coklat; tebal satuan batuan kurang lebih 800 meter dan diendapkan dalam lingkungan delta, estuarin, serta laut dangkal. Mengandung fosil antara lain *Pra Orbulina glomerosa* dan *Pra Orbulina transitoria*. Formasi ini berumur sekitar Miosen Awal-Miosen Tengah (Situmorang dan Burhan, 1995).

Formasi Labanan disusun oleh perselingan konglomerat aneka bahan, batupasir, batulanau, batulempung disisipi batugamping dan batubara. Lapisan batubara (20-150 cm), berwarna hitam, coklat. Tebal formasi ini diperkirakan 450 meter dan diendapkan pada lingkungan fluvial. Umur formasi ini adalah Miosen Akhir-Pliosen. Endapan aluvium dengan tebal lebih dari 40 meter disusun oleh lumpur, lanau, kerikil, kerakal, dan gambut berwarna kelabu sampai kehitaman (Situmorang dan Burhan, 1995).

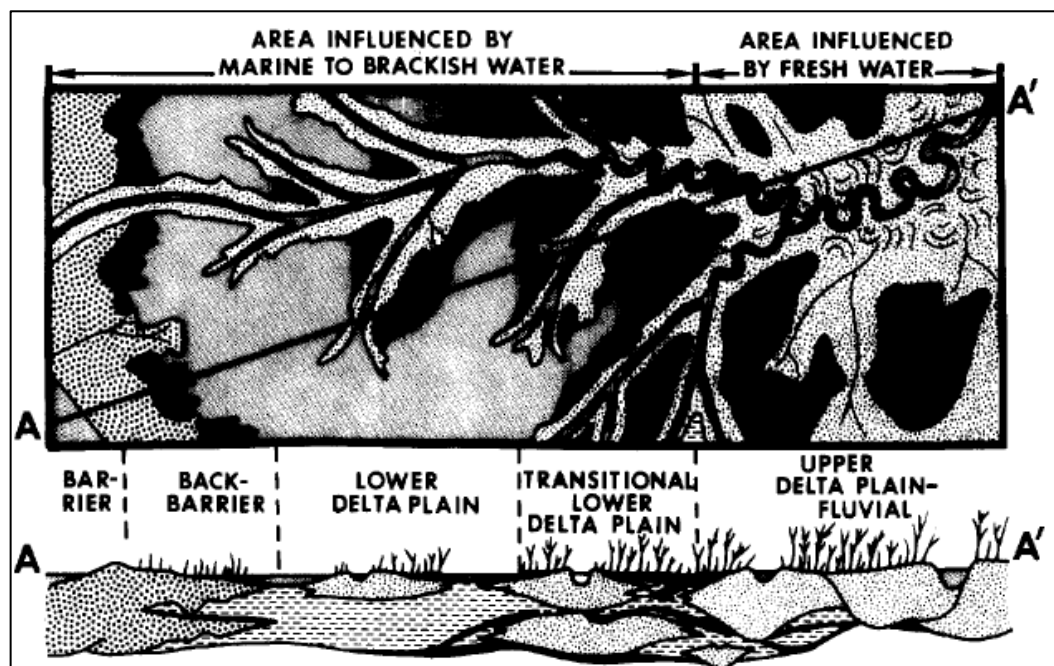
2.2.3 Struktur Geologi Regional

Daerah ini dipengaruhi oleh struktur geologi berupa lipatan, sesar normal, sesar geser, dan kelurusan. Arah utama mengarah barat laut - tenggara dan barat imur laut. Adapun struktur lipaan berupa antiklin dan sinklin yang i barat laut - tenggara dan barat daya – timur laut (Situmorang dan Burhan,



2.3 Lingkungan Pengendapan Batubara Horne, dkk (1978)

Pengendapan batubara merupakan proses yang kompleks dari kejadian geologi. Dalam proses penentuan lingkungan pengendapan, diperlukan adanya suatu model geologi. Model geologi regional ini adalah lingkungan geologi di mana proses-proses geologi yang membentuk endapan batubara berlangsung serta faktor-faktor pengendaliannya yang menyebabkan endapan batubara terbentuk di tempat tersebut dan pada waktu tertentu. Horne dkk (1978) menggambarkan model lingkungan pengendapan batubara pada lingkungan delta pada Gambar 4.



Gambar 4. Model lingkungan pengendapan batubara di lingkungan delta (Horne, dkk 1979; modifikasi dari Ferm, 1976)

a) Lingkungan *Barrier*

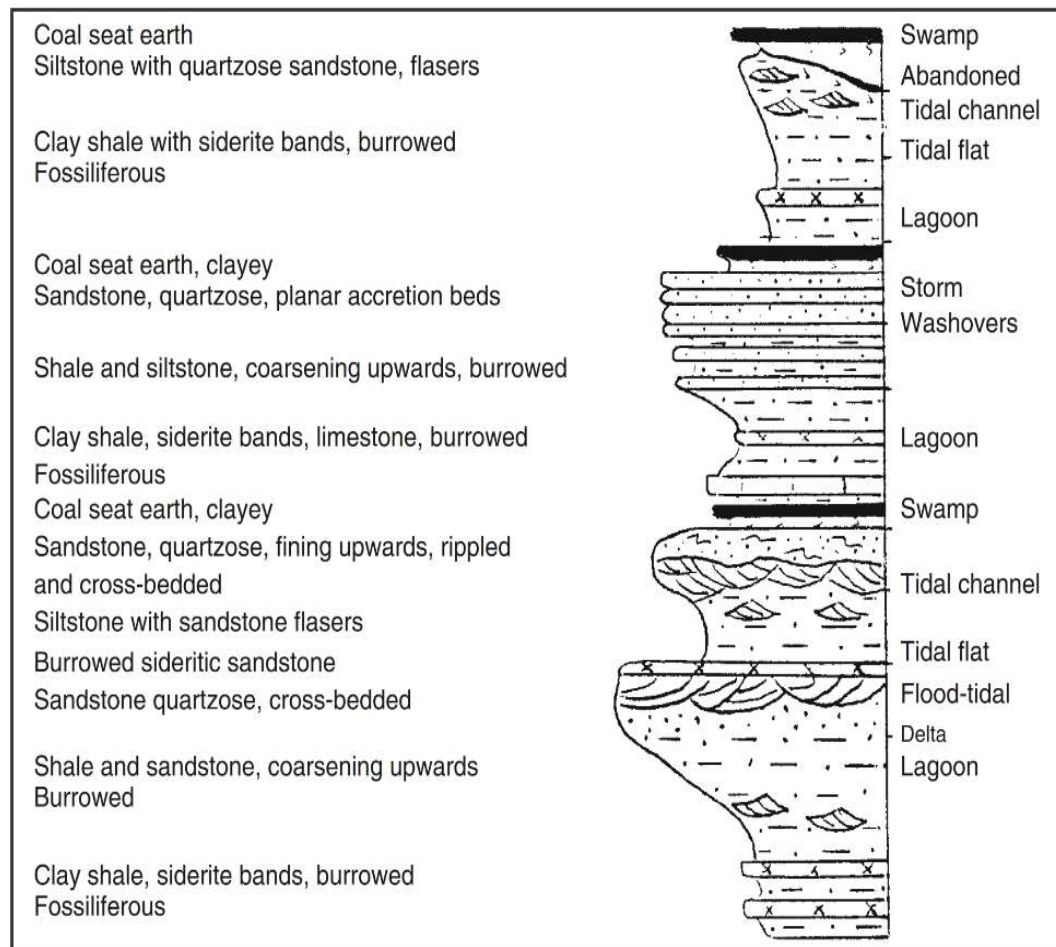
Ke arah laut batupasir butirannya semakin halus dan berselang-seling dengan serpih gampingan merah kecokelatan sampai hijau. Batuan karbonat dengan fauna laut ke arah darat bergradasi menjadi serpih berwarna abu-abu gelap sampai hijau tua yang mengandung fauna air payau. Batupasir pada lingkungan ini lebih bersih dan sortasi lebih baik karena pengaruh gelombang dan pasang surut.



lingkungan Pengendapan *Back-Barrier*

lingkungan barrier pada Gambar 5 mempunyai peranan penting, yaitu enutup pengaruh oksidasi dari air laut dan mendukung pembentukan

gambut di bagian daratan. Kriteria utama mengenal lingkungan barrier adalah hubungan lateral dan vertikal dari struktur sedimen dan pengenalan tekstur batupasirnya. Ke arah laut batupasir butirannya menjadi halus dan selang-seling dengan serpih gampingan merah kecokelatan sampai hijau. Batuan karbonat dengan fauna laut ke arah darat bergradasi menjadi serpih berwarna abu-abu gelap sampai jauh tua yang mengandung fauna air payau.



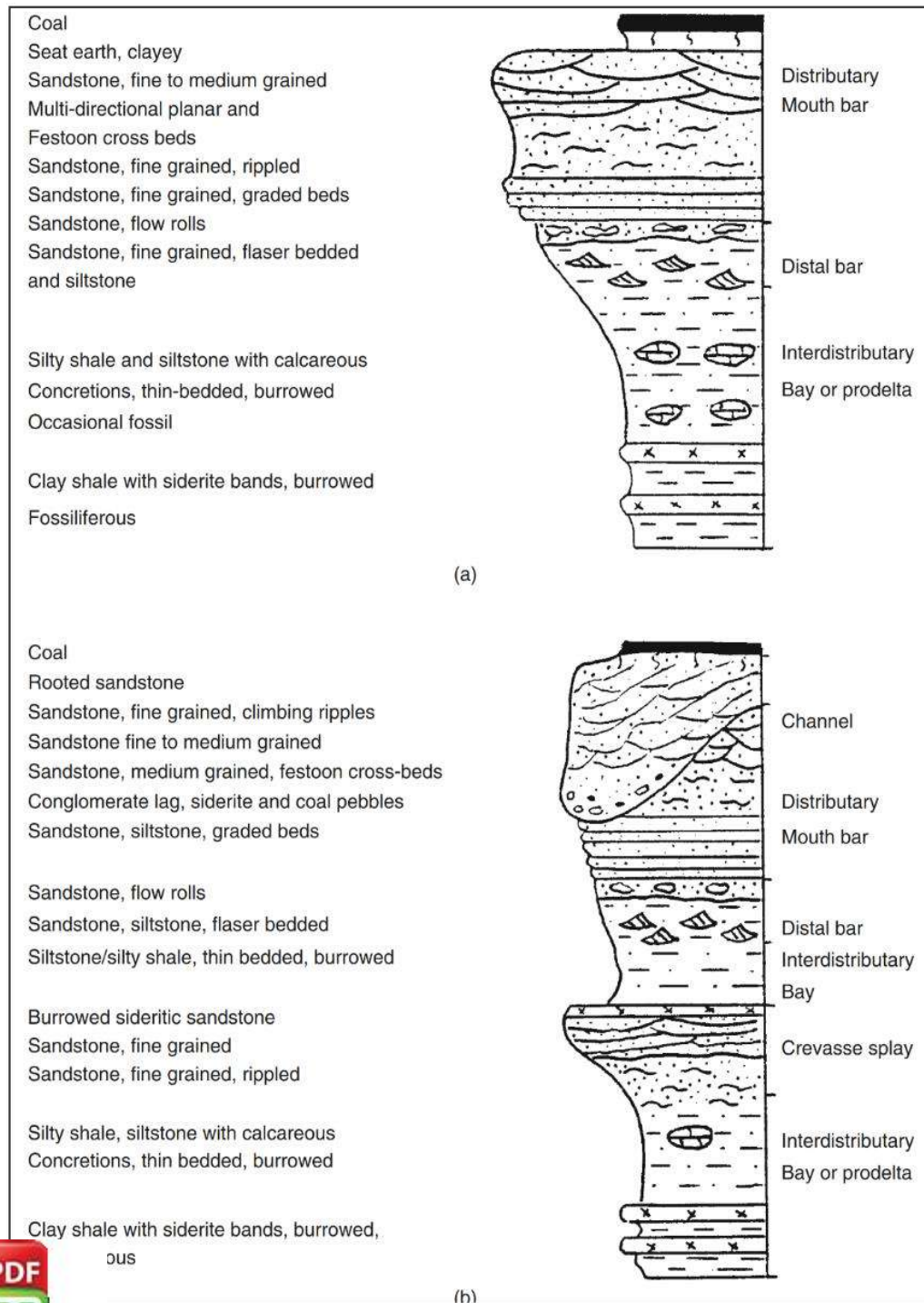
Gambar 5. Penampang lingkungan pengendapan pada bagian *Back-Barrier* (Horne, dkk, 1978)

c) Lingkungan Pengendapan *Lower Delta Plain*

Endapan yang mendominasi adalah serpih dan batulanau yang mengkasar ke atas. Pada bagian bawah dari teluk terisi oleh urutan lempung-serpih abu-abu gelap sampai hitam, kadang-kadang terdapat batulumpur siderit yang penyebarannya tidak teratur. Lingkungan *lower delta plain* tubarannya tipis, pola sebarannya umumnya sepanjang *channel* atau jurus pengendapan, bentuk lapisan ditandai oleh hadirnya *splitting* oleh endapan



crevasse splay dan kandungan sulfurnya agak tinggi. Model pengendapan sedimen pada lingkungan pengendapan *lower delta plain* secara vertikal dapat dilihat pada Gambar 8. yang dibuat oleh Baganz, dkk (1975) dalam Horne (1978).



6. Sekuen vertikal endapan pada *trough lower delta plain* (Baganz dkk, 1975 dalam Horne, 1978) (a) Sekuen mengkasar keatas, (b) Sekuen yang sama, dipotong oleh *splay deposit*



d) Lingkungan Pengendapan *Upper Delta Plain-Fluvial*

Dalam lingkungan *upper delta plain* atau fluvial, endapan batubara terbentuk sebagai tubu-tubuh podshaped pada bagian lapisan bawah dari daratan banjir yang berbatasan dengan *channel* sungai *meander*.

Lapisan batubara yang dihasilkan cenderung sejajar dengan kemiringan pengendapan, tetapi sedikit yang menerus dibandingkan dengan fasies *lower delta plain*. Berhubung bagian yang teratur sedikit jumlahnya mengikuti *channel* sungai, maka lapisan-lapisannya tebal sampai sangat tebal dengan jarak yang relatif pendek dengan sejumlah *split* mungkin berkembang dengan hubungannya dengan endapan tanggul yang kontemporer.

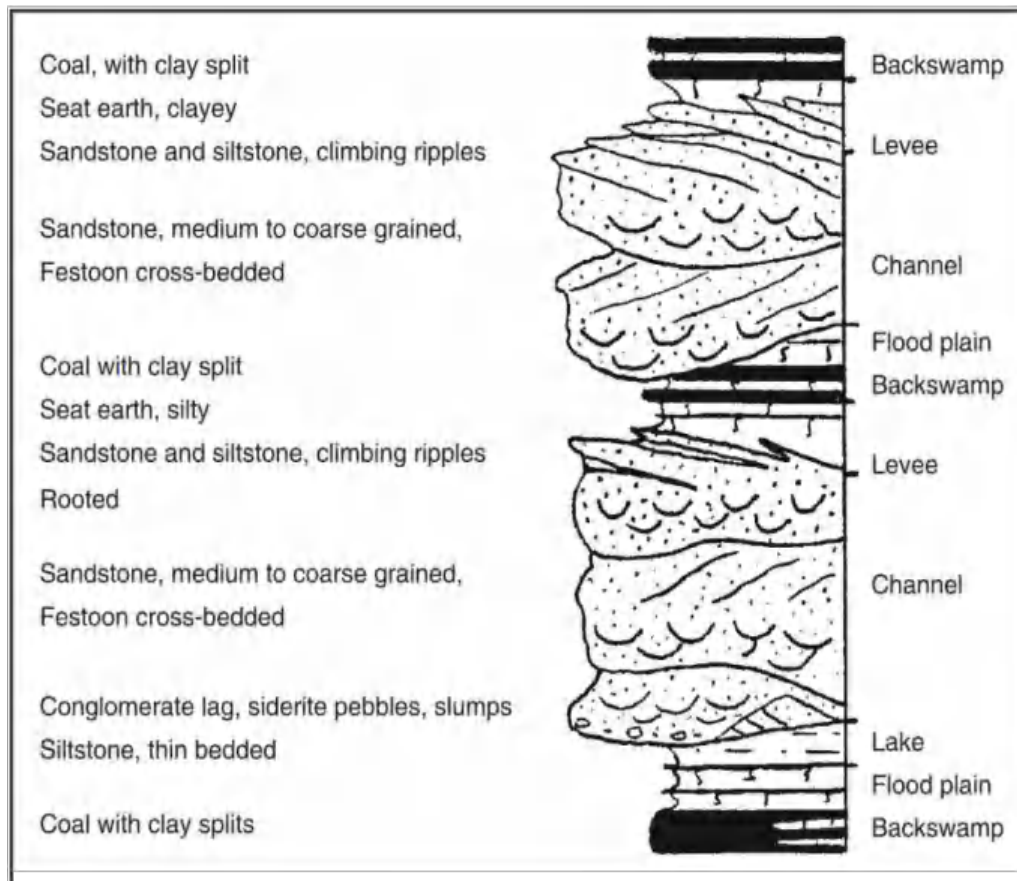
Bentuk lapisan yang mungkin juga dimodifikasi secara besar-besaran oleh perkembangan washout pada tingkat akhir dari poses pengendapan

Tersusun dari urutan dan asosiasi fasies yang terdiri dari :

1. *Floodplain*: batulanau dan batulempung.
2. *Backswamp*: batubara; *seat rock* lempungan dengan fosil tanaman melimpah.
3. *Levee*: batupasir dan batulanau, *lamination – cross bedding*, perlapisannya tidak teratur, *climbing ripple*, struktur akar, sortasi buruk.
4. *Channel*: Batupasir, pasir sedang – kasar, struktur *climbing ripple* pada bagian atas festoon cross bedding pada bagian bawah, *scouring* (penggerusan) pada bagian dasar lapisan ; endapan konglomerat, *siderite* krakal dan hancuran batubara migrasi pada bagian bawah diatas bidang gerus; *finning upward* ; *multisorted* (migrasi lateral ke berbagai arah).

Pada Gambar 7, Horne, dkk (1978) menggambarkan penampang vertikal dari material yang terendapkan pada lingkungan pengendapan *Upper Delta Plain Fluvial*





Gambar 7. Penampang lingkungan pengendapan pada bagian *Upper Delta Plain-Fluvial* (Horne, 1978)

e) Lingkungan Pengendapan *Transitional Lower Delta Plain*

Endapan yang merupakan transisi antara *upper delta plain* dan lingkungan *lower delta plain* yang ditandai dengan rawa yang intensif pada pengisian yang hampir lengkap dari *interdistributary bay*.

Lapisan bertebaran pada umumnya tersebar meluas dengan kecenderungan agak memanjang sejajar dengan jurus pengendapan. Seperti di tepi daerah dekat *channel* kontemporer dan oleh *washout* yang disebabkan oleh aktivitas *channel* subsekuen. Sekuen vertikal lingkungan pengendapan ini dapat dilihat pada Gambar 8.

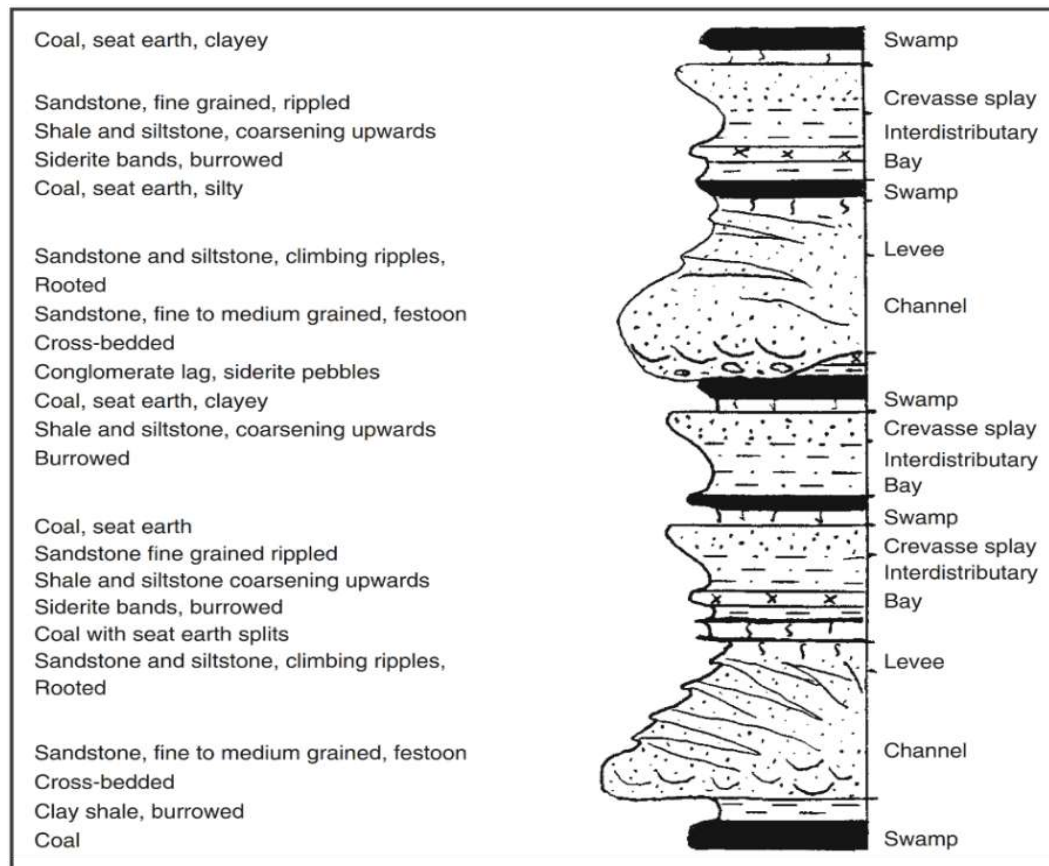
Tersusun dari urutan dan asosiasi fasies yang terdiri dari:

1. *Swamp*: batubara; *seat rock* lempungan.
2. *Creavase Spaly*: batupasir, pasir halus, *ripple*; *coarsening upward*.
- Interdistributary Bay*: serpih dan batulanau dengan nodul *siderite*, struktur *burrow*, mengandung fauna air payau – *marine*.
- Leeve: batupasir dan batulanau, *lamination* – *cross bedding*,



perlapisannya tidak teratur, *climbing ripple*, struktur akar, sortasi buruk, perlapisannya tidak teratur, *climbing ripple*, struktur akar, sortasi buruk.

5. *Channel*: Batupasir, pasir halus – medium, struktur *climbing ripple* pada bagian atas *festoon cross bedding* pada bagian bawah, *scouring* (penggerusan) pada bagian dasar lapisan ; endapan konglomerat dan *siderite* krakal mengisi pada bagian bawah diatas bidang gerus; *finning upward*; multisorted (migrasi lateral ke berbagai arah).



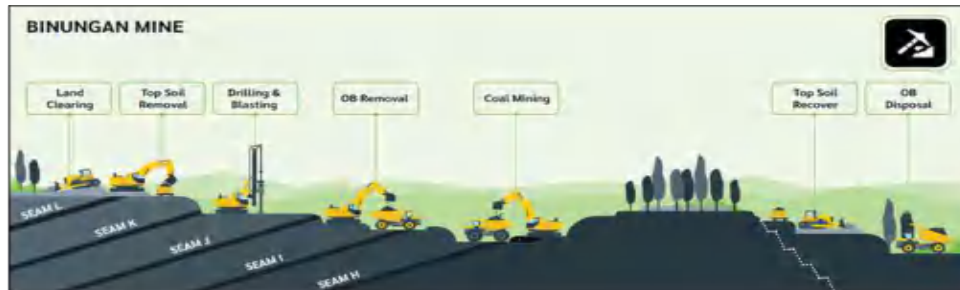
Gambar 8. Sekuen vertikal endapan *transitional lower delta plain* (Horne, 1978)

2.4 Proses Penambangan Batubara

Sistem penambangan yang banyak ditemukan dalam penambangan batubara adalah sistem tambang terbuka. Hal ini dikarenakan sebagian besar batubara terdapat pada dataran rendah atau pada topografi yang landai emiringan lapisan batubara yang kecil yaitu $<30^\circ$. Sistem pertambangan pada setiap lokasi pertambangan berbeda-beda, tergantung pada pola



penyebaran sumber daya yang akan di tambang, seperti pada Gambar 12 yang memperlihatkan proses penambangan batubara di salah satu *site mining operation* PT Berau Coal.



Gambar 12. Proses penambangan batubara Site Binungan PT Berau Coal.

Sistem tambang terbuka melakukan pembukaan lahan dan penggalian tanah serta batuan penutup. Tanah dan batuan tersebut akan ditimbun terlebih dahulu pada *disposal area* yang nantinya akan ditimbun kembali pada lubang bekas galian sebelumnya (*backfilling*). Mineral-mineral sulfida yang terkandung di batuan penutup dan batubara akan terekspose sehingga terdapat peningkatan kecepatan reaksi antara mineral-mineral tersebut dengan udara dan air (Skousen, 2012).

Terdapat 5 tahap dalam penambangan batubara, yaitu meliputi:

- a) Pembersihan lahan (*land clearing*) merupakan kegiatan yang dilakukan untuk membersihkan lahan yang akan ditambang dari vegetasi seperti pohon sampai rumput, dari yang berukuran kecil hingga besar.
- b) Pengupasan tanah pucuk (*top soil removal*) yaitu proses pemindahan tanah bagian atas yang berfungsi untuk menyelamatkan tanah dengan humus tinggi agar tidak rusak. Tanah pucuk atau *top soil* ini diambil dan dipindahkan ke *disposal area* sebagai tempat penyimpanan sementara.
- c) Pengupasan tanah penutup (*stripping overburden*). Pada proses ini terdapat dua cara dalam melakukannya, apabila tanah pada overburden terbilang lunak, maka dapat dilakukan dengan proses *ripping*. Sedangkan apabila tanahnya cukup keras, dapat dilakukan dengan metode *blasting*.
- d) Penimbunan tanah (*material removal*) merupakan kegiatan pemindahan material bongkaran sebelumnya menggunakan *excavator* jenis *backhoe* dan *front loading* menuju ke *disposal area* yang telah direncanakan dan ditentukan oleh perusahaan pertambangan. Penimbunan tanah penutup dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan *backfilling* dan penimbunan



secara langsung. *Backfilling* merupakan metode penambangan yang efektif untuk mengurangi kandungan asam dari kegiatan penambangan yang dilakukan maupun lahan tambang yang telah digunakan (Skousen, 2012).

- e) Penambangan batubara (*coal getting*) merupakan proses pengambilan batubara dari pembersihan, proses pengangkutan *raw coal* menggunakan *dumpruck* (*coal hauling*), proses pemecahan batubara ukuran besar menjadi ukuran kecil (*coal crushing*), hingga pengisian batubara ke alat angkut untuk kemudian diangkut menuju tempat penampungan (*stockpile*).

2.5 Overburden

Overburden adalah istilah dalam dunia pertambangan yang merujuk pada material yang berada di atas area yang ekonomis untuk dieksploitasi, seperti batubara. Batuan *overburden* adalah batuan yang menekan dan mengkonsolidasi material di bawahnya. Dalam melakukan eksploitasi, *overburden* ini perlu disingkirkan terlebih dahulu. Lapisan *overburden* biasanya terdiri dari tiga jenis, yaitu *top soil* atau lapisan tanah paling atas yang masih memiliki unsur hara, *sub-soil* yang merupakan lapisan tanah antara *top soil* dan *overburden*, serta lapisan inti tanah (Olga dkk, 2023).

Tanah penutup atau *overburden* merupakan material yang memiliki sifat mudah lepas atau *unconsolidated*. Menurut Tenriajeng, dkk (2003), *overburden* tersusun atas material-material berbeda, yaitu *top soil*, *common soil*, dan *rock*. Adapun penjelasan dari ketiga jenis material tersebut adalah sebagai berikut:

- a) *Top Soil*

Top soil adalah material yang biasanya terletak di bagian atas dan memiliki sifat lunak serta mudah digali, seperti material eks-penimbunan yang kedalamannya kurang lebih 2 meter. Jenis tanah ini masih mengandung akar-akar organik atau humus. Jika dilihat dari sifat material ini, dalam proses penggalian cukup dengan menggunakan *excavator backhoe*.

- b) *Common Soil*



Common soil merupakan material yang bersifat agak keras atau lebih keras daripada material pada *top soil*, sehingga dalam penggaliannya membutuhkan cara lain seperti metode *ripping* menggunakan *bulldozer*.

Beberapa material yang termasuk ke dalam bagian *common soil* adalah *shale*, *siltstone*, *clay*, dan lain sebagainya.

c) *Rock*

Rock atau dalam Bahasa Indonesia disebut batu merupakan material yang memiliki kekerasan paling besar dibandingkan dengan *top soil* dan *common soil*. Proses penggalian material *rock* ini diharuskan menggunakan metode selain daripada ripping, contohnya adalah peledakan atau *blasting*. Namun, proses *blasting* tidak dapat dilakukan disembarang tempat, harus memperhatikan aspek lingkungan seperti keterdapatn pemukiman penduduk di sekitar lokasi *blasting*. Contoh material yang termasuk ke dalam *rock* adalah granit, andesit, batupasir pejal, dan lain-lain.

2.6 Metode Well Logging

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

Menurut Setiahadiwibowo (2016) metode well logging adalah suatu perekaman berdasarkan sifat fisis di sepanjang sumur bor yang dilakukan kemudian bergerak secara perlahan-lahan dengan maksud agar sensor yang diturunkan ke dalam sumur bor dapat mengetahui adanya hal-hal yang ditemuinya. Kegiatan untuk mendapatkan data log disebut “*logging*”. *Logging* memberikan data yang

n untuk mengevaluasi secara kuantitatif banyaknya sumber daya di ada situasi dan kondisi yang sesungguhnya. Grafik log memberikan



informasi yang dibutuhkan untuk mengetahui sifat-sifat batuan dan cairan (Harsono, 1993).

Secara umum well logging diartikan sebagai suatu pencatatan atau perekaman data bawah permukaan secara bersambung dan teratur dari bawah sampai atas lubang sumur dengan menggunakan parameter geofisika. Log adalah suatu grafik kedalaman dari satu set data yang menunjukkan parameter yang diukur secara berkesinambungan pada sebuah sumur (Chopra dan Gibson, 2000).

2.6.1 Elektrofasies

Menurut Selley (1978) dalam Wibowo, dkk (2023), log gamma ray mencerminkan variasi dalam satu suksesi ukuran besar butir. Suatu suksesi ukuran besar butir tersebut menunjukkan perubahan energi pengendapan. Well log biasanya digunakan untuk membedakan sekuen bawah permukaan ke dalam elektrofasies yang memiliki bentuk yang sama dan berbeda dari beberapa unit. Penggunaan sistematis dari log dikembangkan pada akhir decade dan digunakan dalam studi sedimentologi dari reservoir hidrokarbon (Pirson, 1963; Serra, 1989; Posamentier dan Allen, 1999; Baouche dkk, 2020 dalam Radwan 2021).

Selley (1978) dalam Radwan (2021) berpendapat bahwa kurva well log (misalnya, GR dan SP) mencerminkan distribusi ukuran butir dalam suksesi sedimen dan lingkungan pengendapannya. Kemudian, banyak peneliti memperkenalkan beberapa klasifikasi untuk bentuk kurva log yang berbeda guna menginterpretasikan fasies pengendapan di bawah permukaan berdasarkan bentuk kurva log. Diantara banyaknya jenis kurva well log, pola dari log GR adalah yang paling banyak digunakan dalam menganalisis lingkungan pengendapan di bawah permukaan.

Cant (1992) membagi pola kurva GR menjadi lima bentuk yang mencerminkan lingkungan pengendapan yang berbeda (Gambar 14). Tiap-tiap pola lingkungan pengendapan berdasarkan kurva log gamma ray adalah sebagai berikut:

a) *Cylindrical*



Cylindrical merupakan bentuk dasar yang mewakili homogenitas dan idealitasnya. Bentuk *cylindrical* diasosiasikan dengan endapan sedimen *braided*

channel, estuarine atau sub-marine channel fill, anastomosed channel, eolian dune, tidal sand.

b) *Funnel shape*

Profil berbentuk corong (*funnel*) menunjukkan pengkasaran regresi atas yang merupakan bentuk kebalikan dari bentuk *bell*

c) *Bell Shape*

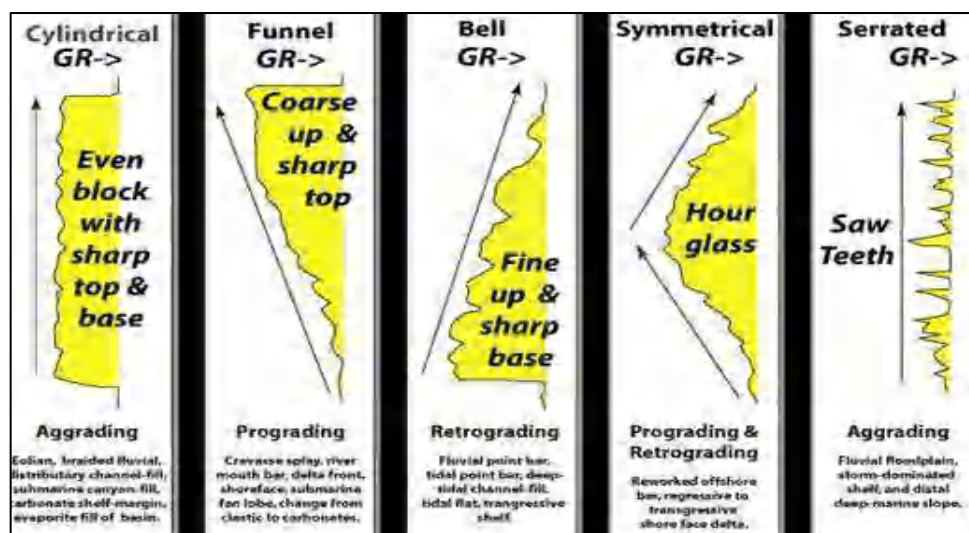
Profil berbentuk bell menunjukkan penghalusan ke arah atas, kemungkinan akibat pengisian *channel (channel fills)*. Bentuk bell dihasilkan oleh endapan *point bars*, tidal deposit *transgressive shelfsands (Dominated tidal)*, *sub marine channel* dan endapan turbidit.

d) *Symmetrical-Asymmetrical Shape*

Bentuk *symmetrical* merupakan kombinasi antara bentuk *bell-funnel*. Kombinasi *coarsening-finning upward* ini dapat dihasilkan oleh proses bioturbasi.

e) *Serrated*

Bentuk ini merupakan dasar untuk mewakili heterogenitas batuan reservoir. Umumnya mengidentifikasikan lapisan tipis silang siur (*thin interbedded*). Unsur endapan tipis mungkin berupa *crevasse splay, overbanks* regresi dalam laguna serta turbidit.



Gambar 14.

Respon gamma ray terhadap variasi ukuran butir dan lingkungan pengendapan (Cant, 1992 dalam Walker, 1992)



2.6.2 Log gamma ray (GR Log)

Log gamma ray merupakan metode pengukuran yang memanfaatkan sinar gamma dari unsur-unsur radioaktif dalam lapisan batuan melalui lubang sumur atau bor. Unsur-unsur radioaktif yang biasanya terdapat dalam batuan adalah Uranium (U), Thorium (Th), dan Kalium (K), yang secara berkelanjutan memancarkan sinar gamma dalam bentuk pulsa-pulsa energi radiasi tinggi (Rider, 1996).

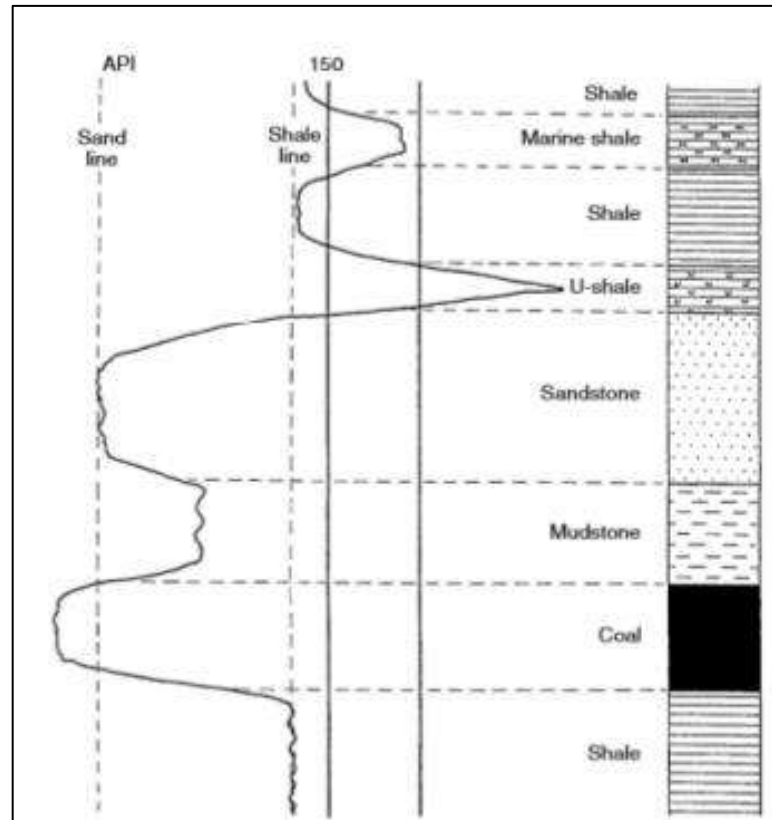
Sinar gamma mampu menembus batuan dan dideteksi oleh sensor sinar gamma yang umumnya berupa detektor sintilasi. Parameter yang direkam adalah jumlah dari pulsa yang tercatat persatuan waktu (sering disebut cacah GR) (Akbari dan Sutrisno, 2014).

Menurut Akbari dan Sutrisno (2014) menjelaskan kegunaan log gamma ray secara umum, sebagai berikut:

- a) Evaluasi kandungan *shale* (V_{shale})
- b) Menentukan lapisan permeabel dan non permeabel berdasarkan sifat radioaktif.
- c) Ketebalan lapisan batuan
- d) Korelasi antar sumur

Unsur radioaktif umumnya banyak terdapat dalam *shale* dan *clay*, namun sedikit sekali terdapat dalam *claysandstone*, *limestone*, *coal*, *gypsum*, dan lain-lain. Oleh karena itu, *shale* dan *clay* akan memberikan respon gamma yang sangat signifikan dibandingkan dengan batuan lain seperti batubara. Pengukuran log gamma ray dilakukan dengan menurunkan instrumen gamma ray ke dalam lubang bor dan merekam radiasi sinar gamma untuk setiap interval tertentu (Ardhityasari, 2017).





Gambar 9. Respon log gamma ray terhadap litologi (Hower, 2002)

Penafsiran litologi dengan menggunakan log gamma ray dalam eksplorasi batubara didasarkan pada sebuah model *sand base line*. *Sand base line* adalah garis lurus yang ditarik pada log gamma ray yang menunjukkan batas penginterpretasian litologi pasir. Sedangkan *shale base line* adalah garis lurus yang ditarik pada log gamma ray yang digunakan sebagai batas penarikan lempung. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9 di mana terjadi perubahan respon log gamma ray terhadap perbedaan litologi (BPB, 1981).

Log gamma ray yang berbentuk *cylindrical/boxcar*, menunjukkan jenis suplai sedimen *aggrading* atau pertumbuhan secara vertikal. Suplai sedimen tertumpuk pada area tertentu dan terakumulasi serta meningkatkan elevasi permukaan tanah membentuk bentang alam yang baru seperti delta atau dataran banjir. Bentuk log gamma ray ini menunjukkan bahwa material sedimen yang terendakan memiliki keseragaman butir yang hampir sama, yang menunjukkan ada lokasi ini memiliki energi pengendapan yang kuat dan konstan. pola log gamma ray ini menunjukkan lingkungan pengendapan saluran



fluvial dan karbonat, terumbu karang, ngarai bawah laut, distribusi delta *prograding*, bukit pasir dan isi evaporit pada basin.

Log gamma ray yang berpola *funnel*, *coarse up*, dan *sharp top*, memiliki jenis suplai sedimen *prograding*. Suplai sedimen *prograding* yaitu akumulasi endapan sedimen pada garis pantai yang terjadi ketika sedimen terakumulasi pada bagian depan dari deposit yang ada, sehingga garis pantai akan bertambah ke arah laut. Dari *GR log pattern* ini menunjukkan bahwa material sedimen yang terendapkan memiliki ukuran butir yang tidak seragam yaitu mengkasar ke atas sehingga menunjukkan bahwa energi pengendapan semakin kuat dan tidak konstan yang umumnya menunjukkan lingkungan pengendapan *creevasse splay*, sungai, *mouth bar*, *delta front*, *shoreface* dan *submarine fan lobe*.

Log gamma ray *trend bell fine up* dan *sharp base* dengan jenis suplai sedimen retrograding yaitu adalah kebalikan dari progradasi. Ini mengacu pada gerakan mundur atau mundurnya garis pantai atau endapan sedimen. Retrogradasi terjadi ketika laju sedimentasi lebih rendah daripada laju kenaikan permukaan laut atau proses erosi lainnya, yang mengakibatkan erosi dan migrasi fitur sedimen ke arah darat. Dari *GR log pattern* ini menunjukkan bahwa material sedimen yang terendapkan menghalus ke atas yang menunjukkan bahwa energi pengendapannya semakin kecil dan tidak konstan yang umumnya menunjukkan lingkungan pengendapan point bar pada sungai, point bar pada laut dangkal, *deep tidal channel fill*, *deltaic channels*, *proximal deep sea setting* dan *tidal flat*.

Log gamma ray *trend symmetrical/hour glass* dengan jenis suplai sedimen *prograding* dan *retrograding*. Pada *gamma ray log pattern* ini merupakan zona dimana laju sedimentasi dan laju kenaikan permukaan laut atau proses erosi terjadi secara bergantian dengan energi yang berbeda-beda. Pada daerah yang memiliki *gamma ray log trend symmetrical/hour glass* menunjukkan bahwa perubahan energi pengendapan kecil lalu berubah menjadi besar dan mengecil lagi. Hal ini terjadi karena suplay sedimen yang awalnya *prograding* menjadi *retrograding* sehingga material kasar akan tersendapkan pada tengah-tengah. Pola log gamma ray umumnya menunjukkan lingkungan pengendapan, *reworked offshore bar* *passive to transgressive shore face delta*.



Log gamma ray *trend serated/irregular*, *log pattern* ini menunjukkan jenis suplai sedimen *agrrading*. Suplai sedimen *agrrading* yaitu pertumbuhan secara vertikal endapan sedimen atau penumpukan endapan sedimen pada area tertentu, sehingga sedimen terendapkan dan terakumulasi serta menghasilkan peningkatan elevasi permukaan tanah membentuk bentang alam yang baru seperti delta dan dataran banjir. Pada daerah yang memiliki *log gamma ray trend serated/irregular* menunjukkan bahwa energi pengendapan kecil dan konstan yang umumnya menunjukkan bahwa lingkungan pengendapannya *fluvial floodplain*, *storm dominated shelf*, *mixed tidal flat*, *debris flow*, *canyon fill*, dan *deep marine-slope*.

2.6.3 Log Density

Log densitas atau *log density* merupakan log porositas yang mengukur kerapatan elektron dalam suatu formasi. Hal inilah yang menjadi dasar bagi *geologist* untuk mengidentifikasi adanya mineral, gas, hidrokarbon, dan reservoir pasir yang mengandung lempung dalam susunan formasi yang lebih kompleks (Schlumberger, 1997).

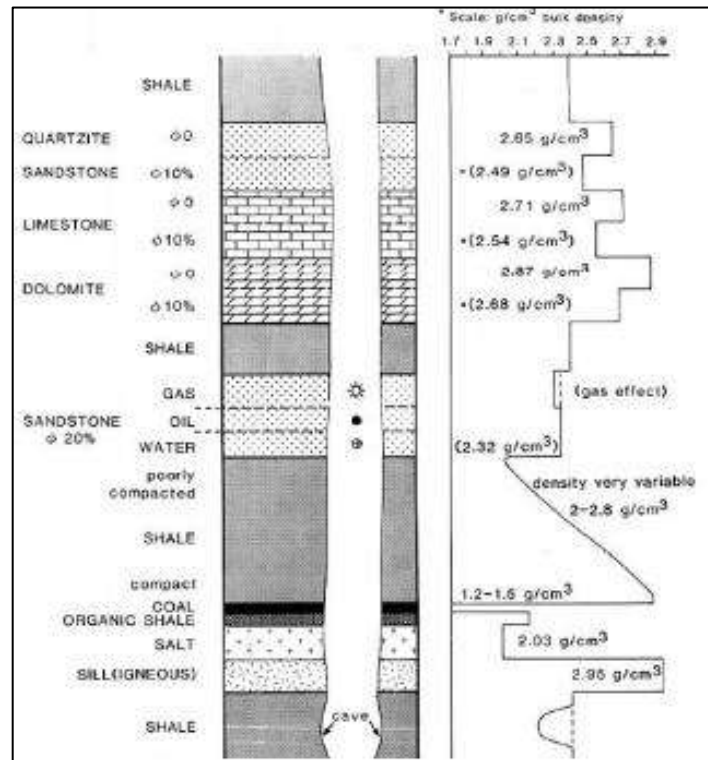
Prinsip kerja *log density* yaitu suatu sumber radioaktif dari alat pengukur dipancarkan sinar gamma dengan intensitas energi tertentu menembus formasi / batuan. Batuan terbentuk dari butiran mineral, mineral tersusun dari atom-atom yang terdiri dari proton dan elektron. Partikel sinar gamma membentur elektron-elektron dalam batuan. Akibat benturan ini sinar gamma akan mengalami benturan energi (*loose energy*). Energi yang kembali sesudah mengalami benturan akan diterima oleh detektor yang berjarak tertentu dengan sumbernya. Makin lemahnya energi yang kembali menunjukkan makin banyaknya elektron-elektron dalam batuan, yang berarti makin banyak/padat butiran/mineral penyusun batuan persatuan volume.

Prinsip pengukuran log densitas adalah memancarkan energi sinar gamma dari sumber radiasi ke dinding lubang bor. Pada saat radiasi ditembakkan dengan energi tertentu ke dinding lubang bor, foton yang membawa sinar gamma akan

akan dengan elektron pada batuan. Peristiwa ini lebih dikenal sebagai Efek (Asquith dan Gibson, 1982). Gambar 10 memperlihatkan perbedaan *g density* terhadap litologi.



Dalam Harsono (1993) dijelaskan besar kecilnya energi yang diterima oleh detek tergantung dari besarnya densitas matriks batuan, besarnya porositas batuan, dan besarnya densitas kandungan yang ada dalam pori-pori batuan.



Gambar 10. Respon litologi terhadap *log density* (Rider, 1996).

Pada penelitian yang dilakukan, satuan dari log densitas adalah counts per second (CPS). Oleh karena itu, untuk memudahkan perhitungan maka dilakukan kalibrasi satuan dari CPS ke gr/cc. Apabila defleksi log dalam satuan CPS menunjukkan nilai yang tinggi, maka akan menunjukkan nilai yang rendah dalam satuan gr/cc (Putro dkk, 2014).

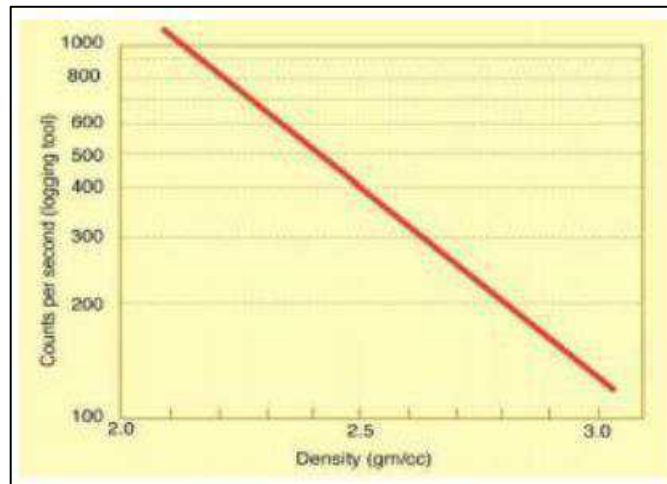
Pemanahan adalah apabila nilai dalam CPS tinggi berarti sinyal radioaktif yang ditangkap kembali oleh sensor juga tinggi, hal ini disebabkan sinyal radioaktif yang mengukur kerapatan elektron batuan hanya sedikit, karena kerapatan elektron batuan hanya sedikit atau rendah maka nilai kerapatan massa batuan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

uan dalam gr/cc juga lebih tinggi (Putro dkk., 2014).

rafik hubungan besarnya intensitas energi sinar gamma yang ditangkap dan densitas batuan yang terukur dapat dilihat pada Gambar 11. Satuan



pengukuran pada alat logging (CPS) berbanding terbalik secara eksponensial dengan nilai densitas batuan (gr/cm³). Jika pengukuran intensitas sinar gamma menunjukkan nilai yang tinggi maka densitas batuan menunjukkan nilai yang rendah (Rider, 1996).



Gambar 11. Grafik hubungan antara santuan CPS dan gr/cc (Rider, 1996)

Berdasarkan **Gambar 11**, dapat diperoleh rumus sebagai berikut:

$$Y = 177598e^{-2.4325x} \quad (1)$$

Dimana,

Y : nilai densitas dalam satuan CPS

X : nilai densitas dalam satuan gr/cc

Secara eksponensial kurva hubungan antara satuan CPS dengan gr/cc (Rider, 1996). *Log density* terdiri dari 2 macam yaitu *Long Spacing Density* (LSD) dan *Short Spacing Density* (SSD) atau *Bed Resolution Density* (BRD). *Long spacing density* digunakan untuk evaluasi seam karena menunjukkan densitas yang mendekati sebenarnya berkat pengaruh yang kecil dari dinding lubang bor. Sedangkan *short spacing density* mempunyai resolusi vertikal yang tinggi, maka cocok untuk pengukuran ketebalan seam.

2.7 Siderite



derite (FeCO₃) secara etimologi berasal dari Bahasa Yunani *sideros* adalah mineral *ferrous* yang terbentuk dari proses mineralisasi yang da kondisi lingkungan *oxygen-free* seperti danau, sungai, dan sedimen laut

(Halas dkk, 2004), dan bahkan juga dapat berasal dari material ekstraterestrial seperti meteorit (Treiman dan Romanek, 1998).

Siderite adalah mineral golongan nitrat, karbonat, dan borat yang memiliki system kristal heksagonal. Secara umum, kenampakan mineral *siderite* memiliki bentuk kristal rhombohedral dengan melengkung dan lurik. Bitryoidal, kompak, oolitik, memiliki warna yang beragam seperti kuning sampai cokelat gelap atau berwarna hitam ketika ditemukan Mangan (Montana dkk, dalam Simon & Schuster's Guide to Rocks and Minerals, 1999).

Dalam buku Simon & Schuster's Guide to Rocks and Minerals (1999), mineral *siderite* memiliki kekerasan dalam skala mohs (3,5-4) atau *semi-hard*, berat, *fragile*, memiliki pecahan sempurna *rhombohedral*. Derajat kejernihan transparan atau *translucent* dengan *vitreous luster* (Annibale dkk, dalam Simon & Schuster's Guide to Rocks and Minerals, 1999).

Siderite sangat mudah ditemukan pada urat hidrotermal dengan temperatur *medium to low*, berasosiasi dengan *fluorite*, *barite*, *galena*, *sphalerite*, dan lain sebagainya. *Siderite* juga biasanya ditemukan pada endapan sedimen oolitik yang terbentuk dalam lingkungan pengendapan air permukaan dengan kadar oksigen yang rendah. Biasanya berasosiasi dengan lempung dan material karbonat (Annibale dkk, dalam Simon & Schuster's Guide to Rocks and Minerals, 1999).

Mineral ini dinilai cukup penting (mengandung sekitar 48% Fe) karena bebas dari kandungan sulfur atau fosfat dan kadang juga mengandung banyak mangan. *Siderite* juga biasanya menarik para kolektor dan ilmuwan yang mendalami endapan bijih (Annibale dkk, Simon & Schuster's Guide to Rocks and Minerals, 1999).

2.7.1 *Siderite* Pada Endapan Sedimen

Siderite adalah mineral *iron-bearing* karbonat yang umum dijumpai pada lingkungan laut atau danau, dengan FeCO_3 sebagai komponen utama. *Siderite* (FeCO_3 , densitas 3960 kg/m^3 ; Hurlburt, 1971) berwarna kecoklatan dengan derajat



n translucent yang terkristalisasi sama dengan *hexagonal (rhombohedral)* hingga saat ini, telah banyak dilakukan studi terkait karakteristik, ne pembentukan, dan lingkungan formasi dari *siderite*. Namun,

mekanisme pembentukan *siderite* sampai sekarang masih menjadi fokus utama dalam perdebatan. Chen, dkk (1982) mengatakan bahwa genesis dari *siderite* sama dengan sedimentogenesis atau genesis hidrotermal.

Siderite pada endapan sedimen sering dijumpai di dalam *shale*, lempung, dan lapisan batubara, biasanya juga ditemukan pada oolitik dan berbentuk nodul, hadir bersamaan dengan *oolitic hematite*, *oolitic chlorite*, dan *goethite*. *Siderite* dapat terbentuk dari genesa pembentukan yang sangat berbeda dengan restorasi *paleoenvironment* (Xie, dkk, 2021).

Menurut Frederich, dkk (2003), *siderite* adalah mineral yang terbentuk di tempat (*in-situ*) pada lingkungan pengendapan sedimen. Hal ini terjadi karena penyebabnya terbatas pada lingkungan *anoxic non-sulfidic methanic*, dan terjadi dalam endapan organik halus yang terakumulasi dengan cepat sehingga menyebabkan terbentuknya CO_2 sebagai akibat dari oksidasi bahan organik dan sebagian lainnya terbentuk melalui reduksi Mn dan oksihidroksida Fe.

Siderite terbentuk selama reduksi besi yang dipengaruhi oleh mikroorganisme sebagai akseptor electron selama proses anaerob saat diagenesis awal. *Siderite* dalam batulempung dan batupasir yang berhubungan dengan seam batubara biasanya berbentuk *spherosiderite*, yaitu *rhodochrosite* mikrokristalin. Selain itu, di dekat tepi danau *freshwater*, *siderite* berbentuk koloid (*colloidal siderite*) sering terbentuk saat iklim sedang. Pembentukannya biasanya bergantung terutama pada kondisi Eh dan pH di dalam cekungan yang menentukan variasi mineral yang mengandung besi dari *calcareous hematite*, *magnetite*, dan *rhodonite* hingga *siliceous* bijih besi, bahkan *pyrite*. *Siderite* akan terendapkan pada Eh di bawah 0 (volt) dan dalam rentang pH 7 sampai 9, tergantung pada Fe dan C terlarut. *Siderite* akan menghilang seiring dengan menurunnya aktivitas HCO_3^- pada $^a\log\text{HCO}_3^- = -3$ dan peningkatan aktivitas HPO_4^{2-} pada $^a\log\text{HPO}_4^{2-} = -3$ (Frederich, dkk, 2003).

Zhang, dkk (2020) berpendapat bahwa pembentukan *siderite* dengan ciri mikromorfologi yang berbeda lebih dekat dengan fluktuasi *sea-level*, yang mana seperti perubahan siklus yang dikontrol oleh sekuen stratigrafi. Di Arzberg, endapan bijih *siderite* berbentuk lapisan yang interkalasi dengan



argillaceous metasediments adalah hasil dari proses *post-volcanic* dan mikrobiologi (Dill dkk, 2010).

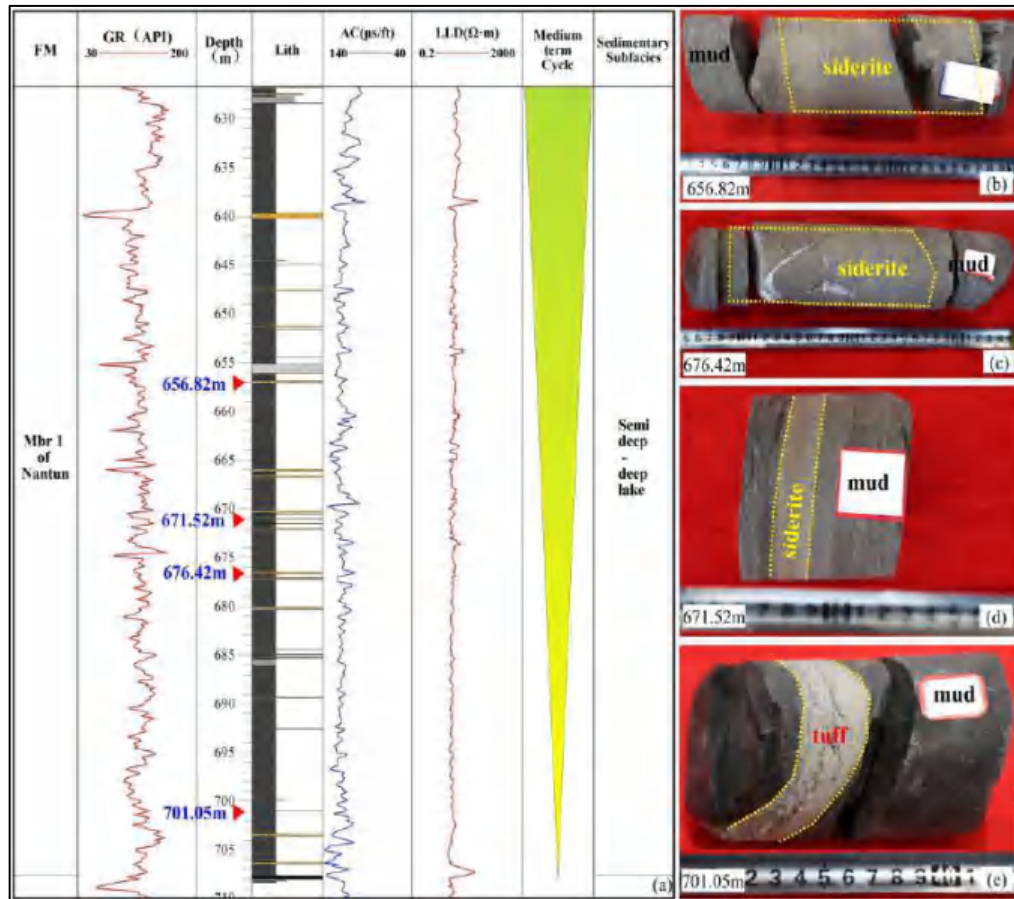
Beberapa penelitian percaya bahwa *siderite* juga berasal dari hasil transformasi melalui reduksi bahan organik selama proses reduksi. Siehl dan Thein (1989) berpendapat bahwa *siderite* mungkin diubah dari oksida besi yang kaya silika selama diagenesis di lingkungan yang bersifat reduksi. Sedangkan Burkhalter dkk (1995) mengatakan bahwa aktivitas mikroba kemungkinan juga memainkan peran dalam akumulasi besi di lingkungan dekat pantai. Mekanisme pembentukan *siderite* lainnya, seperti reduksi sulfat oleh bakteri, oksidasi anaerob dari metana, dan dekarboksilasi termal bahan organik juga dapat menyediakan karbon untuk pembentukan *siderite* (Santelli dkk, 2001; Shen dkk, 2017; Yang dkk, 2021).

Meskipun genesis *siderite* yang sangat kompleks, umumnya *siderite* authigenik terbentuk ketika Fe^{2+} yang dapat larut dan bersifat reduksi dikombinasikan dengan $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$ dalam lingkungan yang kaya besi, rendah oksigen, dan rendah sulfat. Pembentukan *siderite* authigenik ini erat kaitannya dengan aktivitas biologis dan secara langsung mengindikasikan tingginya konsentrasi CO_2 (Xie dkk, 2021).

2.8.2 Kenampakan *Siderite* Pada Data Well logging

Dari kurva logging, nilai-nilai anomali dari nilai puncak rendah pada GR, namun nilai puncak lebih tinggi pada LD dan SD, yang merupakan hasil dari *siderite enrichment* (Gambar 13). Secara makroskopis, keberadaan *siderite* mirip dengan lapisan batulempung, namun densitas *siderite* jauh lebih tinggi daripada densitas batulempung (Xie dkk, 2023).



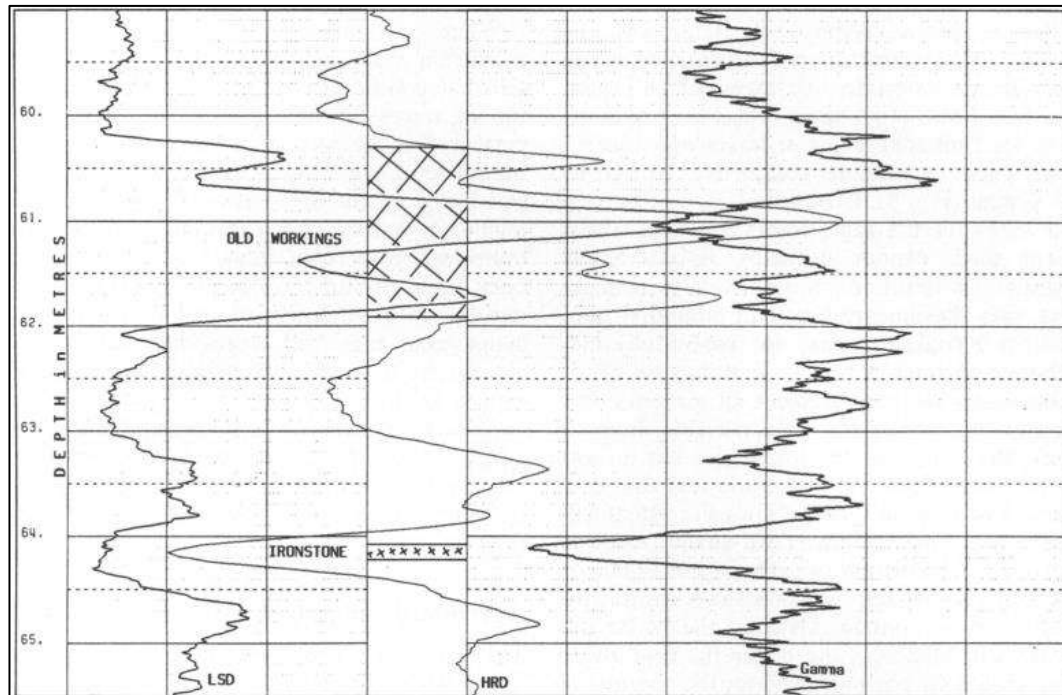


Gambar 13. Kenampakan *siderite* dari data well logging

Siderite pada dasarnya memiliki densitas yang mirip dengan pirit. *Siderite* bersifat non-konduktif dan tidak menunjukkan pembacaan *false* pada *log resistivity* (Xie dkk, 2023).

Siderite pada well log menampilkan perbedaan kurva yang sangat kontras. Keberadaan *siderite* membuat kontras grafik log sangat besar sehingga lapisan-lapisannya akan terlihat lebih tebal dari yang sebenarnya, terutama pada log Long Spacing Density (LSD) karena jarak yang lebih panjang antara sumber dengan detektor. Pada respon gamma ray juga akan relatif rendah dibandingkan batuan lainnya (MacCALLUM, 1992)





Gambar 14. Respon geofisika well logging yang memperlihatkan keberadaan *ironstone*

