



Geologi dan Karakteristik Geometri Lapisan Batubara di Daerah Bunati, Kecamatan Angsana, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan

Muhammad Faiq Hibatulloh^{1*}, Bambang Kuncoro¹, Agus Harjanto¹

¹Program Studi Teknik Geologi, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Abstrak

Berdasarkan fakta di lapangan, lapisan batubara dapat dijumpai dalam sebaran yang tidak teratur, tidak menerus, menebal dan menipis, terpisah dengan geometri yang bervariasi. Oleh karena itu, pemahaman mengenai geometri lapisan batubara menjadi penting, karena geometri lapisan batubara berhubungan langsung dengan sumberdaya dan cadangan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kondisi geologi, karakteristik fisik dan geometri lapisan batubara di daerah penelitian. Metode penelitian yang dilakukan mencakup studi pustaka, pemetaan geologi permukaan, profil singkapan, *profile composite*, pengamatan dan pengukuran struktur geologi. Daerah penelitian berada di Formasi Dahor yang terdiri atas satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor. Pola struktur berarah tenggara-baratlaut, dijumpai lapisan miring dengan kedudukan $N185^{\circ}-N242^{\circ}E/3^{\circ}-17^{\circ}$ serta arah umum *face cleat* $N280^{\circ}-N355^{\circ}E/62^{\circ}-89^{\circ}$. Kondisi geologi di daerah penelitian terdiri atas satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor. Kondisi geologi dan karakteristik geometri lapisan batubara di Satuan Batupasir Dahor dan Satuan Batulempung Dahor adalah berbeda, sedangkan karakteristik fisik lapisan batubara Satuan Batupasir Dahor dan Satuan Batulempung Dahor adalah sama kecuali pengotornya. Persamaan dan perbedaan tersebut dipengaruhi oleh proses-proses geologi (*syn-depositional* dan *post-depositional*) yang berlangsung.

Kata kunci: batubara; Bunati; Formasi Dahor; geologi; geometri; karakteristik.

Abstract

*Based on the facts in the field, coal seams can be found in an irregular, discontinuous, thickened and thinned distribution, separated with varying geometries. Therefore, an understanding of the geometry of the coal seam is important, because the geometry of the coal seam is directly related to resources and reserves. The objectives of the research are determining the geological conditions, physical characteristics and geometry of the coal seam in the research area. The research method includes literature study, mapping of surface geology, outcrop profile, composite profile, observation and measurement of geological structure. The research area is in the Dahor Formation which consists of Dahor sandstone units and Dahor claystone units. The structural pattern has a southeast-northwest direction, an inclined layer is found with a position of $N185^{\circ}-N242^{\circ}E/3^{\circ}-17^{\circ}$ and the general direction of the face cleat is $N280^{\circ}-N355^{\circ}E/62^{\circ}-89^{\circ}$. The geological conditions in the study area consist of Dahor sandstone units and Dahor claystone units. The geological conditions and the geometric characteristics of the coal seam in the Dahor sandstone unit and the Dahor claystone unit are different, while the physical characteristics of the coal seam in the Dahor sandstone unit and the Dahor claystone unit are the same except for the impurities. These similarities and differences are influenced by geological processes (*syn-depositional* and *post-depositional*) that take place.*

Keywords: coal; Bunati; Dahor Formation; geology; geometry; characteristics.

*) Korespondensi:

Diajukan : 16 Oktober 2021

Diterima : 3 Maret 2022

Diterbitkan : 20 April 2022

PENDAHULUAN

Menurut Jeremic (1985) parameter geometri lapisan batubara yang layak untuk ditambang dan stabil lapisannya memperhitungkan ketebalan, kemiringan, pola kedudukan atau sebaran, dan kemenerusan lapisan batubara. Kuncoro (2000) menyebutkan bahwa berdasarkan fakta di lapangan, lapisan batubara dapat dijumpai dalam sebaran yang tidak teratur, tidak menerus, menebal dan menipis, terpisah dengan geometri yang bervariasi. Geometri lapisan batubara merupakan aspek dimensi atau ukuran dari suatu lapisan batubara yang meliputi parameter ketebalan, kemiringan, kemenerusan, keteraturan, sebaran, bentuk, kondisi *roof* dan *floor*, *cleat*, dan pelapukan.

Kuncoro (2000) menjelaskan apabila kita ingin mencari endapan batubara yang memiliki cadangan ekonomis dan melibatkan parameter kualitas, kerekayasaan, ekonomi, lingkungan hidup, hukum, penambangan, dan pemanfaatannya, maka masalahnya akan menjadi kompleks dan memerlukan kepakaran tersendiri. Oleh karena itu, pemahaman mengenai geometri lapisan batubara menjadi penting, karena geometri lapisan batubara berhubungan langsung dengan sumberdaya dan cadangan.

Menurut Kuncoro (2000), dijelaskan bahwa geometri lapisan batubara berhubungan atau dipengaruhi oleh faktor lingkungan pengendapan dan proses tektonik yang berlangsung. Kedua faktor tersebut di atas dicerminkan oleh proses-proses geologi, yaitu:

1. Proses geologi yang berlangsung bersamaan dengan pembentukan lapisan batubara (*syn-depositional*): perbedaan kecepatan sedimentasi dan bentuk morfologi dasar pada cekungan, pola struktur yang sudah terbentuk

sebelumnya, dan kondisi lingkungan saat batubara terbentuk.

2. Proses geologi yang berlangsung setelah lapisan batubara terbentuk (*post-depositional*): adanya sesar, erosi oleh proses-proses yang terjadi di permukaan, atau terobosan batuan beku (intrusi).

Oleh karena itu, pemahaman mengenai kedua proses geologi tersebut juga menjadi penting guna menunjang interpretasi mengenai geometri lapisan batubara di daerah penelitian. Berdasarkan penjelasan-penjelasan di atas, maka perlu dan penting untuk melakukan penelitian dengan judul Geologi dan Karakteristik Geometri Lapisan Batubara di daerah Bunati, Kecamatan Angsana, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan.

Maksud penelitian ini adalah melakukan pengamatan secara detil mengenai kondisi geologi dan karakteristik geometri lapisan batubara di daerah penelitian. Tujuan dilakukannya penelitian geologi ini adalah untuk:

1. Mengetahui kondisi geologi di daerah penelitian
2. Mengetahui karakteristik fisik lapisan batubara di daerah penelitian.
3. Mengetahui karakteristik geometri lapisan batubara di daerah penelitian.

Ruang Lingkup dan Lokasi Penelitian

Daerah penelitian secara administratif berada di Provinsi Kalimantan Selatan (Gambar 1). Secara geografis berdasarkan koordinat sistem *Universal Transfer Mercator* (UTM) WGS84 zona 50S, dengan koordinat x_{max} : 349270 m, x_{min} : 344770 m; y_{max} : 9587770 m, y_{min} : 9587770 m.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian (Google Earth, 2021)

METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan berupa studi pustaka, pemetaan geologi permukaan, profil singkapan, *profile composite*, pengamatan dan pengukuran struktur geologi, serta mengetahui kondisi, karakteristik fisik dan geometri lapisan batubara di daerah penelitian.

Pemetaan geologi dilaksanakan dengan mengunjungi sebanyak 127 titik singkapan (LP) yang terdistribusi merata di daerah penelitian. Observasi seam batubara sendiri dilakukan pada total 61 titik stasiun pengamatan, dengan 3 LP berada di dalam area sedang ditambang dan 58 LP berada di area belum ditambang. Pada stasiun pengamatan tersebut, minimal terdapat singkapan dari salah satu dari 19 seam di daerah penelitian. Karakteristik fisik lapisan batubara yang diidentifikasi mencakup warna, gores, kilap, kekerasan, pecahan, berat, dan pengotor, sedangkan identifikasi karakteristik geometri lapisan dilakukan berdasarkan data strike, dip, tebal, bentuk, *sediment roof* dan *floor, cleat*, dan pelapukan

HASIL

Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian berada di Formasi Dahor yang terdiri atas satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor. Pola struktur berarah

tenggara-baratlaut, dijumpai lapisan miring dengan kedudukan $N185^{\circ}-N242^{\circ}E/3^{\circ}-17^{\circ}$ serta arah umum *face cleat* $N280^{\circ}-N355^{\circ}E/62^{\circ}-89^{\circ}$.

Geologi daerah penelitian dibangun berdasarkan kondisi geologi yang termasuk ke dalam Formasi Dahor dan dapat dikelompokkan menjadi satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor. Inventarisasi data analisis interpretasi peta topografi dan pengamatan di lapangan dalam penentuan pola pengaliran, pembagian bentuklahan, serta pengamatan litologi dan struktur geologi dapat dilihat pada Tabel 1.

Secara umum, seam dari kedua satuan litologi menunjukkan karakteristik fisik yang relatif sama, misalnya warna hitam-cokelat kehitaman, hasil goresan berwarna cokelat, serta mudah pecah dengan hasil pecahan yang uneven. Detail deskripsi karakteristik fisik dapat dilihat pada Tabel 2.

Jurus lapisan batubara yang termasuk ke dalam Satuan Batupasir Dahor memiliki rentang antara $N190^{\circ}E$ hingga $N240^{\circ}E$ dengan kemiringan yang relatif landai ($6^{\circ}-13^{\circ}$). Bentuk seam pada satuan ini melembar, kecuali pada seam 18A yang terlihat membentuk *splitting*. Jarak antar cleat yang teramati relatif bervariasi, yaitu 0,5-14 cm, dengan bukaan antara 0,5-8mm. Lapisan batubara yang berada pada interval Satuan Batulempung Dahor secara umum juga

Tabel 1. Kondisi geologi daerah penelitian

Variabel	Satuan batupasir Dahor	Satuan batulempung Dahor
Pola pengaliran	1. Jarak antar sungai orde 1 berkisar antara 0,2-2,6 cm ($\gg 0,9$ cm), 2. Didominasi mengalir di <i>bedrock stream</i> , dan 3. Bentuk lembah didominasi berbentuk U-V.	1. Jarak antar sungai orde 1 berkisar antara 0,2-3,5 cm ($\gg 1,2$ cm), 2. Didominasi mengalir di <i>alluvial stream</i> , dan 3. Bentuk lembah didominasi berbentuk U.
Geomorfologi	Jarak antar bukit berkisar antara 330-1160 m ($\gg 600-780$ m)	Jarak antar bukit berkisar antara 80-1300 m ($\gg 120-590$ m)
Litologi	Disusun oleh: 1. batupasir, 2. batulempung, 3. batulempung karbonan, 4. batubara, 5. batupasir karbonan, 6. batupasir lempungan 7. batulempung pasiran, 8. batupasir sisipan batupasir karbonan, 9. perselingan batulempung dan batupasir, dan 10. perselingan batulempung karbonan dan batupasir	Disusun oleh: 1. batupasir, 2. batulempung, 3. batulempung karbonan, 4. batubara, 5. batulanau, 6. batu serpih, 7. lapisan oksida besi, 8. perselingan batulempung karbonan dan batubara.
Stratigrafi	Satuan batupasir Dahor (Pliosen-Plistosen, menurut Rustandi, dkk. (1995))	Satuan batulempung Dahor (Pliosen-Plistosen, menurut Rustandi, dkk. (1995))
Struktur geologi	Dip lapisan $3^{\circ}-16^{\circ}$ ($\gg 7^{\circ}-9^{\circ}$)	Dip lapisan $4^{\circ}-9^{\circ}$ ($\gg 5^{\circ}-6^{\circ}$)
	Kedudukan <i>face cleat</i> berkisar antara $N320^{\circ}-N340^{\circ}E/87^{\circ}-89^{\circ}$	Kedudukan <i>face cleat</i> berkisar antara $N300^{\circ}-N310^{\circ}E/85^{\circ}-89^{\circ}$

Tabel 2. Karakteristik fisik lapisan batubara daerah penelitian

NO	SEAM	WARNA	GORES	KILAP	KEKERASAN	PECAHAN	BERAT	PENGOTOR									
SATUAN BATUPASIR DAHOR	1	19A	Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>	Amber, <i>clayband</i> , pirit									
									SATUAN BATULEMPUNG DAHOR	18A	Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 1-2x pecah)	<i>Blocky</i>	Amber, <i>clayband</i>	
	18B	Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 2-3x pecah)	<i>Blocky</i>	Amber										
								17A		Hitam	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>	Amber, <i>clayband</i>		
	17B	Cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Blocky</i>	Tidak dijumpai										
								17C		Hitam	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 1-2x pecah)	<i>Blocky</i>	Amber		
	16A	Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 2x pecah)	<i>Uneven</i>	Tidak dijumpai										
								15A		Hitam	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>	<i>Clayband</i>		
	14A	Cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 1-2x pecah)	<i>Uneven</i>	Amber, <i>clayband</i>										
								13A		Cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>	<i>Clayband</i>		
	12A	Cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Keras (dipukul 4-6x pecah)	<i>Uneven</i>	Amber, <i>clayband</i>										
								11A		Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Blocky</i>	Amber		
	11B	Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Blocky</i>	Amber										
								10A		Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 2x pecah)	<i>Uneven</i>	Tidak dijumpai		
	9A	Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 3x pecah)	<i>Blocky</i>	Tidak dijumpai										
								8A		Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>	Amber, pirit		
	7A	Cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 3x pecah)	<i>Uneven</i>	<i>Clayband</i>										
								6A		Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Keras (dipukul 4-6x pecah)	<i>Uneven</i>	<i>Clayband</i>		
	5A	Cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 1-2x pecah)	<i>Uneven</i>	Amber										
4A								Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Agak keras (dipukul 2x pecah)	<i>Blocky</i>	Tidak dijumpai				
	3A	Hitam	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>	Tidak dijumpai										
2A								Cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>	Tidak dijumpai				
	2B	Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Blocky</i>	<i>Clayband</i> , belerang (sulfur)										
1A								Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>	<i>Clayband</i>				
	1B	Cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Blocky</i>	Amber, <i>clayband</i> , belerang (sulfur)										
SATUAN BATUPASIR DAHOR								KISARAN MEAN (RATA-RATA) MODUS (SERING MUNCUL)	Hitam-cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)-keras (dipukul 4-6x pecah)	<i>Uneven-Blocky</i>	Agak berat-berat	Dijumpainya amber, <i>clayband</i> , pirit, hingga tidak dijumpainya pengotor		
	SATUAN BATULEMPUNG DAHOR	KISARAN MEAN (RATA-RATA) MODUS (SERING MUNCUL)	Hitam kecokelatan	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>									Agak berat	Amber dan <i>clayband</i>
SATUAN BATULEMPUNG DAHOR								KISARAN MEAN (RATA-RATA) MODUS (SERING MUNCUL)	Hitam-cokelat kehitaman	Cokelat	Kusam	Mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>	Agak berat	Amber dan <i>clayband</i>		
	SATUAN BATULEMPUNG DAHOR	KISARAN MEAN (RATA-RATA) MODUS (SERING MUNCUL)	Dominan hitam kecokelatan	Dominan cokelat	Dominan kusam	Dominan mudah pecah (dipukul sekali pecah)	<i>Uneven</i>									Dominan agak berat	Dominan amber dan <i>clayband</i>

menunjukkan bentuk melembar tanpa ada seam yang mengalami *splitting*. Jurus lapisan batubara pada satuan ini berada pada rentang N200°E hingga N242°E dengan kemiringan antara 4°-9°. Detail karakteristik geometri dari semua lapisan batubara dapat dilihat pada Tabel 3.

PEMBAHASAN

Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan pola pengaliran *sub-dendritik* yang dominan di daerah penelitian menunjukkan adanya perbedaan tekstur pengaliran, tempat mengalir dan bentuk lembah antara satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor, sehingga dapat diketahui bahwa:

1. Berdasarkan tekstur pengaliran yang berkembang di daerah penelitian dapat diinterpretasi pada kedua satuan batuan disusun oleh batuan berbutir halus-sedang dengan tingkat erosi yang relatif tinggi, namun berdasarkan dominasi jarak antar sungai orde 1 menunjukkan di satuan batupasir Dahor memiliki jarak yang lebih renggang dibandingkan satuan batulempung Dahor, maka dapat ditafsirkan di satuan batupasir Dahor disusun oleh batuan yang berbutir lebih kasar dibandingkan di satuan batulempung Dahor.
2. Berdasarkan tempat mengalirnya dapat ditentukan bahwa di satuan batupasir Dahor kecenderungannya mengalir di atas batuan dasar dan tersusun oleh batuan yang memiliki resistensi lemah-tinggi, sedangkan di satuan batulempung Dahor kecenderungannya mengalir di atas endapan alluvial dan tersusun oleh batuan yang memiliki resistensi lemah.
3. Berdasarkan bentuk lembah yang berkembang di daerah penelitian dapat ditentukan bahwa di satuan batupasir Dahor secara stratigrafi terdiri atas lembah yang disusun oleh batuan sedimen berbutir halus-sedang, sedangkan di satuan batulempung Dahor secara stratigrafi terdiri atas lembah yang disusun oleh batuan sedimen berbutir halus.

Berdasarkan analisis interpretasi peta topografi dan pengamatan di lapangan dalam pembagian bentuklahan berdasarkan aspek-aspek geomorfologi, menunjukkan satuan bentuklahan perbukitan bergelombang yang dominan di daerah penelitian namun terdapat

perbedaan jarak antar bukitnya. Berdasarkan hal tersebut dapat diketahui bahwa jarak antar bukit di satuan batupasir Dahor lebih renggang dibandingkan di satuan batulempung Dahor, maka dari perbedaan tersebut dapat ditafsirkan daerah penelitian dikontrol oleh morfologi berupa bentuklahan perbukitan bergelombang yang luas yang menunjukkan bahwa proses pelapukan dan erosi dari angin atau air masih berlangsung hingga saat ini.

Berdasarkan litologi yang berkembang di daerah penelitian menunjukkan pada kedua satuan memiliki perbedaan variasi litologi. Di satuan batupasir Dahor menunjukkan variasi litologi yang lebih bervariasi dibandingkan di satuan batulempung Dahor.

Penentuan satuan batuan berdasarkan kesatuan ciri litologi yang dominan yang diketahui berdasarkan pengamatan singkapan dan tiga lintasan stratigrafi terukur yang memotong perlapisan dari tua ke muda. Daerah penelitian dapat dikelompokkan dalam dua satuan batuan, yaitu satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor.

Berdasarkan analisis struktur geologi daerah penelitian menunjukkan adanya perbedaan antara satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor. Berdasarkan hal tersebut dapat ditafsirkan daerah penelitian dikontrol oleh struktur geologi berupa kemiringan lapisan batuan dan *cleat*.

Karakteristik Fisik Lapisan Batubara Daerah Penelitian

Warna Lapisan Batubara

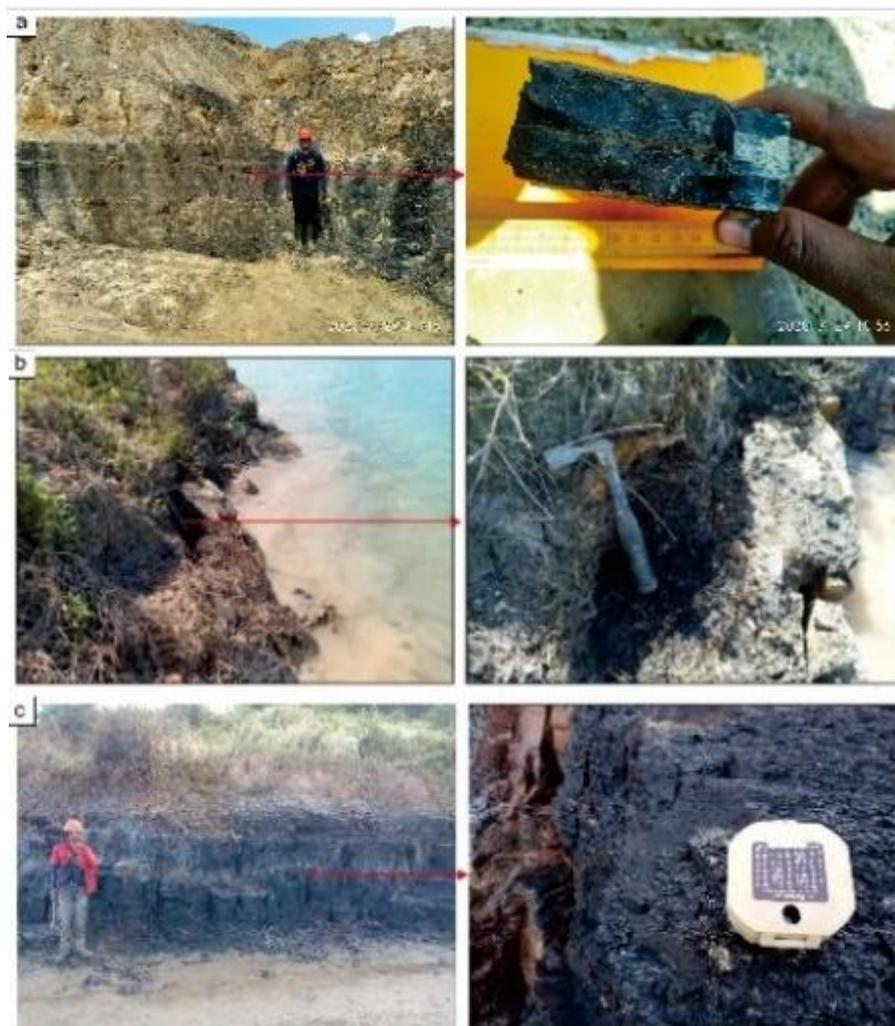
Menurut Bouska (1981) warna batubara dapat dijadikan sebagai dasar untuk mengindikasikan derajat *coalification* (tahap pembatubaraan). Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran warna lapisan batubara adalah hitam sampai cokelat kehitaman. Pada kedua satuan menunjukkan kecenderungan warna lapisan batubara yaitu hitam kecokelatan (Gambar 2.a) dan setempat menunjukkan warna hitam (Gambar 2.b), dan cokelat kehitaman (Gambar 2.c).

Gores Lapisan Batubara

Gores menggambarkan warna dari maseral dalam wujud serbuk (Bouska, 1981). Gores batubara merupakan parameter kualitatif terhadap derajat *coalification*. Semakin hitam gores, maka semakin tinggi derajat batubara atau *coal rank*. Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran, rata-rata, dan modus warna gores lapisan batubara

Tabel 3. Karakteristik geometri lapisan batubara daerah penelitian

NO	SEAM	STRIKE	DIP	TEBAL (m)	BENTUK	SEDIMENT ROOF	SEDIMENT FLOOR	CLEAT			ORIENTASI JURUS (CLEAT)	PELAPIKAN
								BUKAAN (mm)	MINERAL PENGISI	JARAK ANTAR CLEAT (cm)		
1	19A	N205°E	7°	1,98	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	1-5	Lempung	0,5-13 (>>1-4)	N300°-N340°E	Agak lapuk
2	18A	N200°E	4°	0,42	Splitting	Bip karbonat	Bip karbonat	1-5	Lempung	2-9 (>>3-4)	N305°-N352°E/85°-89°	Agak lapuk
	18B	N201°E	5°	1,67	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	0,5-2	Tidak dijumpai	1-14 (>>2-3)	N282°-N352°E/73°-89°	Agak lapuk
3	17A	N203°E	16°	0,12	Melembat	Bps karbonat	Bip karbonat	1-3	Lempung	3-5 (>>3-4)	N300°-N302°E/73°-79°	Lapuk
	17B	N200°E	13°	1,1	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	2-4	Lempung	2,5-3 (>>3)	N300°-N305°E/70°-75°	Agak lapuk
4	16A	N194°E	7°	0,74	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	2-5	Lempung	3-9 (>>3-4)	N300°-N305°E/67°-79°	Agak lapuk
	16B	N194°E	7°	0,74	Melembat	Bps karbonat	Bps karbonat	1-2	Tidak dijumpai	1-3 (>>1-2)	N330°-N355°E/73°-89°	Agak lapuk
5	15A	N250°E	7°	0,42	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	0,5-2	Tidak dijumpai	2-8 (>>2-3)	N320°-N340°E	Lapuk
6	14A	N205°E	6°	0,55	Melembat	Bps karbonat	Bps karbonat	Sulit diamati (tidak berkembang)	Tidak dijumpai	Sulit diamati (tidak berkembang)	N320°E/65°	Agak lapuk
7	13A	N200°E	5°	1,4	Melembat	Bps karbonat	Bip karbonat	2-8	Lempung	2-7 (>>3-4)	N325°E	Lapuk
8	12A	N200°E	9°	0,62	Melembat	Bps karbonat	Bps karbonat	1-3	Lempung	8-10 (>>8-9)	N325°-N355°E/62°-82°	Agak lapuk
9	11A	N190°E	13°	0,58	Melembat	Bps karbonat	Bip karbonat	0,5-1	Tidak dijumpai	0,5-2 (>>2)	N330°-N340°E/87°-89°	Agak lapuk
	11B	N197°E	9°	0,62	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	0,5-1	Tidak dijumpai	1-2 (>>2)	N320°-N340°E/81°-87°	Lapuk
10	10A	N198°E	3°	0,7	Melembat	Bps karbonat	Bip karbonat	0,8-1	Lempung	1-3 (>>2-3)	N350°-N355°E/81°-83°	Agak lapuk
11	9A	N200°E	9°	0,99	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	0,5-2	Lempung	2-9 (>>2-5)	N315°-N325°E/76°-86°	Lapuk
12	8A	N200°E	6°	0,46-0,1	Menembal-menipis	Bip karbonat	Bip karbonat	1-3	Lempung	1-3,7 (>>2-3)	N330°-N345°E/73°-89°	Lapuk
13	7A	N200°E	8°	1,78	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	2-5	Lempung	2-7 (>>4-7)	N310°-N340°E	Agak lapuk
14	6A	N200°E	4°	1,94	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	2-5	Lempung	1-5 (>>2-3)	N285°-N300°E	Agak lapuk
15	5A	N208°E	6°	0,66	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	0,5-3	Lempung	2-8 (>>2-5)	N300°-N310°E/75°-84°	Agak lapuk
16	4A	N221°E	6°	0,91	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	1-3	Lempung	4-9 (>>4-5)	N300°-N320°E/80°-88°	Agak lapuk
17	3A	N234°E	4°	0,5	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	0,5-5	Lempung	1-5 (>>2-4)	N290°-N310°E/85°-89°	Agak lapuk
18	2A	N231°E	9°	1,66	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	0,5-5	Lempung, bebarang (sulfur)	1-7 (>>2-4)	N290°-N310°E/84°-89°	Lapuk
19	1A	N237°E	8°	0,43	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	0,5-1	Tidak dijumpai	0,8-2 (>>0,8)	N300°-N310°E/84°-89°	Agak lapuk
19	1B	N240°E	5°	2,93	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	1-5	Lempung	0,5-3 (>>1-2)	N305°E	Agak lapuk
								0,5-3	Lempung	1-12 (>>4-7)	N295°-N310°E	Agak lapuk
SATUAN BATUPASIR DAHOR												
KISARAN	N190°E- N250°E	3°-16°		0,12-1,98	Melembat hingga setempat ter-splitting	Bip karbonat- bps karbonat	Bip karbonat- bps karbonat	0,5-8, serta terdapat lokasi yang tidak berkembang cleat-nya	Lempung hingga tidak terisi mineral	0,5-14 dan terdapat lokasi yang tidak berkembang cleat-nya	N282°-N355°E/62°-89°	Agak lapuk-lapuk
MEAN (RATA-RATA)	N203°E	8,5°		0,83	Melembat	Bps karbonat	Bip karbonat	4	Lempung	7	N315°E/75°	Agak lapuk
MODUS (SERING MUNCUL)	Dominan N200°E- N205°E	Dominan 7°-9°		Dominan 0,4-0,7	Dominan melembat	Dominan bip karbonat	Dominan bip karbonat	Dominan 1-5	Dominan lempung	Dominan 2-4	Dominan N320°- N340°E/87°-89°	Dominan agak lapuk
KISARAN	N200°E- N242°E	4°-9°		0,1-2,93	Melembat hingga setempat menembal-menipis	Bip karbonat- bps karbonat	Bip karbonat- bps karbonat	0,5-5	Lempung, bebarang (sulfur), hingga tidak terisi mineral	0,5-12	N280°-N345°E/73°-89°	Agak lapuk-lapuk
MEAN (RATA-RATA)	N210°E	6,7°		1,12	Melembat	Bip karbonat	Bip karbonat	2,5	Lempung	6	N310°E/86°	Agak lapuk
MODUS (SERING MUNCUL)	Dominan N220°E- N240°E	Dominan 5-6°		Dominan 0,91-1,94	Dominan melembat	Dominan bip karbonat	Dominan bip karbonat	Dominan 0,5-3	Dominan lempung	Dominan 2	Dominan N300°- N310°E/85°-89°	Dominan agak lapuk



Gambar 2. Kenampakan lapisan batubara (a) di satuan Batupasir Dahor LP 2; (b) di satuan Batupasir Dahor LP 16; dan (c) di satuan Batulempung Dahor LP 111.



Gambar 3. Kenampakan kilap lapisan batubara kusam (LP 111).

adalah dominan cokelat. Secara keseluruhan, warna gores lapisan batubara di daerah penelitian menunjukkan gores cokelat (Gambar 3.a).

Kilap Lapisan Batubara

Menurut Bouska (1981) kilap lapisan batubara mengindikasikan derajat *coalification* (tahap

pembatubaraan). Menurut Moore dan Ferm (1992) tingkat preservasi (pengawetan) dari komponen tumbuhan dalam batubara menyebabkan perbedaan kilap. Semakin tinggi tingkat preservasi komponen tumbuhan maka kilap semakin cemerlang (*bright*), sebaliknya semakin rendah tingkat preservasi komponen tumbuhan maka menghasilkan kilap kusam (*dull*). Secara keseluruhan kilap lapisan batubara di daerah penelitian adalah kusam (Gambar 3).

Kekerasan Lapisan Batubara

Menurut Bouska (1981) kekerasan lapisan batubara mengindikasikan derajat *coalification* (tahap pematubaraan). Tingkat kekerasan batubara meningkat perlahan seiring dengan kemajuan derajat *coalification*. Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran kekerasan lapisan batubara adalah mudah pecah (dipukul

sekali pecah)-keras (dipukul 4-6x pecah). Pada kedua satuan menunjukkan kecenderungan kekerasan lapisan batubara yaitu mudah pecah (dipukul sekali pecah).

Pecahan Lapisan Batubara

Menurut Bouska (1981) pecahan lapisan batubara mengindikasikan derajat *coalification* (tahap pematubaraan). Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran pecahan lapisan batubara adalah *uneven-blocky*. Pada kedua satuan menunjukkan kecenderungan pecahan lapisan batubara yaitu *uneven* (Gambar 4.a) dan setempat memiliki pecahan lapisan batubara *blocky* (Gambar 4.b).

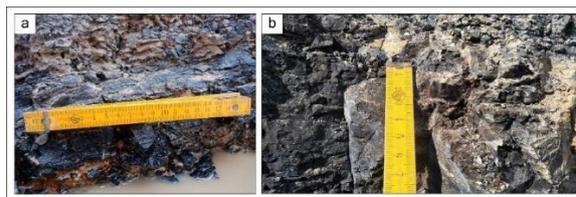
Berat Lapisan Batubara

Berat lapisan batubara berkaitan dengan kandungan yang ada di dalamnya yaitu pengotor dan kandungan air (*moisture*). Pengotor dalam lapisan batubara yang dapat mempengaruhi beratnya dapat berupa lempung. *Moisture* merupakan kandungan air atau kelembaban yang ada dalam batubara. Semakin berat suatu lapisan batubara maka semakin banyak kandungan air atau kelembaban yang ada dalam lapisan batubara tersebut. Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran berat relatif lapisan batubara adalah agak berat-berat. Pada kedua satuan menunjukkan kecenderungan berat relatif lapisan batubara pada yaitu agak berat dan setempat memiliki berat relatif lapisan batubara yaitu berat.

Pengotor Lapisan Batubara

Pengotor lapisan batubara dapat berupa material anorganik. Menurut Stach dkk., (1982), material anorganik dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok berdasarkan asalnya: (1) mineral dari tanaman asli; (2) mineral yang terbentuk pada tahap pertama proses pematubaraan atau mineral yang terbawa oleh media air dan angin ke dalam akumulasi gambut selama proses pematubaraan; dan (3) mineral yang terbentuk pada tahap kedua proses pematubaraan, setelah konsolidasi, reaksi larutan yang masuk ke dalam *cracks, fissures, cavities*, atau akibat alterasi mineral lainnya. Mineral yang umum dijumpai adalah mineral lempung, sulfida, dan oksida.

Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran pengotor batubara yaitu terdiri atas amber, *clayband*, pirit, belerang (sulfur), hingga tidak dijumpainya pengotor, rata-rata pengotor batubara terdiri atas amber dan *clayband*, dan modulusnya adalah dominan amber dan *clayband*.



Gambar 4. Kenampakan pecahan lapisan batubara (a) *uneven* dari satuan Batulempung Dahor di LP 23 dan (b) *blocky* dari satuan Batupasir Dahor LP 1.

Di satuan batupasir Dahor pengotor lapisan batubara terdiri atas amber, *clayband*, dan pirit (Gambar 5.a dan b), sedangkan di satuan batulempung Dahor pengotor lapisan batubara terdiri atas amber, *clayband*, pirit, dan belerang (sulfur) (Gambar 5.c, d dan e).

Keberadaan amber pada batubara merupakan hasil konsentrasi saat degradasi jaringan dinding sel tumbuhan yang berlangsung intensif (Brady, 1984 dalam Moore dan Ferm, 1992). Menurut Bouska (1981) amber akan bertahan terhadap proses dekomposisi dalam tahap pertama *coalification*. Amber akan menghilang pada tahap *coalification* selanjutnya akibat reaksi kimia yang mengubah molekul-molekul kecil menjadi polimer besar (proses polimerisasi), sehingga adanya amber mengindikasikan batubara berderajat rendah. Berdasarkan klasifikasi Stach (1982), amber termasuk material organik yang berasal dari tanaman asli.

Mineral lempung dalam hal ini *clayband* hadir dalam batubara karena terbawa oleh media air selama proses akumulasi. Mineral ini terbentuk seiring dengan proses pematubaraan, dari proses pengangkutan hingga proses pematubaraan sebagai pengisi rekahan dalam batubara. Berdasarkan pengklasifikasi Stach (1982) mineral lempung terbentuk pada tahap pertama proses pematubaraan atau mineral yang terbawa oleh media air dan angin ke dalam akumulasi gambut selama proses pematubaraan.

Kehadiran belerang (sulfur) pada *cleat* dapat dipengaruhi oleh proses-proses geologi yang berlangsung bersamaan maupun setelah pembentukan batubara. Keberadaan mineral pirit merupakan salah satu mineral yang memberikan kontribusi cukup besar terhadap kandungan sulfur di dalam batubara. Pirit yang dijumpai di daerah penelitian hadir tersebar sebagai butiran-butiran kecil kristal euhedral sampai anhedral yang berkelompok atau membentuk lapisan yang mengisi permukaan *cleat* batubara. Berdasarkan genesanya termasuk jenis pirit epigenetik yang



Gambar 5. Kenampakan pengotor lapisan batubara berupa (a) amber di satuan batupasir Dahor, LP 2; (b) *clayband* dan pirit di satuan batupasir Dahor, LP 2; (c) amber di satuan batulempung Dahor, LP 111; (d) *clayband* dan belerang (sulfur) di satuan batulempung Dahor, LP 110; dan (e) pirit di satuan batulempung Dahor, LP 100.

terbentuk setelah atau saat terjadi pembatubaraan (Gluskoster, 1970; Horne, 1978; Cook, 1999 dalam Kuncoro 2012). Berdasarkan pengklasifikasi Stach (1982) mineral pirit termasuk material organik yang yang terbentuk pada tahap kedua proses pembatubaraan, setelah konsolidasi, reaksi larutan yang masuk ke dalam rekahan, atau akibat alterasi mineral lainnya. Berdasarkan karakteristik fisik tersebut di atas, maka dapat diketahui bahwa karakteristik karakteristik fisik lapisan batubara satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor adalah sama kecuali pengotornya.

Di kedua satuan batubara tergolong berderajat rendah dengan memiliki karakteristik fisik warna hitam kecokelatan, gores cokelat, kilap kusam, kekerasan yang mudah pecah (dipukul sekali pecah), pecahan uneven, dan berat yang agak berat. Di satuan batupasir Dahor pengotor lapisan batubara terdiri atas amber, *clayband*, dan pirit, sedangkan di satuan batulempung Dahor terdiri atas amber, *clayband*, pirit, dan belerang (sulfur).

Karakteristik lapisan batubara dipengaruhi oleh tingkat derajat batubara. Tahap pembatubaraan (*coalification*) merupakan gabungan proses biologi, kimia, dan fisika yang terjadi karena pengaruh pembebanan dari sedimen yang menutupinya, temperatur, tekanan, dan waktu terhadap komponen organik dari gambut (Stach, 1982). Pada tahap ini presentase karbon akan meningkat, sedangkan presentase hidrogen dan oksigen akan berkurang (Fischer, 1927 dalam Susilawati 1992). Proses ini akan menghasilkan batubara dalam berbagai tingkat kematangan material organiknya mulai dari lignit, sub-bituminus, bituminus, semi-antrasit, antrasit, hingga meta-antrasit.

Ada tiga faktor yang mempengaruhi tingkat derajat batubara yaitu: suhu, tekanan serta lama waktu pembentukan, yang disebut sebagai kematangan (maturitas) organik. Proses awalnya, endapan tumbuhan berubah menjadi gambut/*peat*

yang selanjutnya berubah menjadi batubara muda (*lignite*) atau disebut pula batubara coklat (*brown coal*). Batubara muda adalah batubara dengan jenis maturitas organik rendah.

Setelah mendapat pengaruh suhu dan tekanan yang terus menerus selama jutaan tahun, maka batubara muda akan mengalami perubahan yang secara bertahap menambah maturitas organiknya dan mengubah batubara muda menjadi batubara sub-bituminus (*sub-bituminous*). Perubahan kimiawi dan fisika terus berlangsung hingga batubara menjadi lebih keras dan warnanya lebih hitam sehingga membentuk bituminus (*bituminous*) atau antrasit (*anthracite*). Dalam kondisi yang tepat, peningkatan maturitas organik yang semakin tinggi terus berlangsung hingga membentuk antrasit.

Dalam proses pembatubaraan, maturitas organik sebenarnya menggambarkan perubahan konsentrasi dari setiap unsur utama pembentuk batubara. Semakin tinggi peringkat batubara, maka kadar karbon akan meningkat, sedangkan hidrogen dan oksigen akan berkurang. Karena tingkat pembatubaraan secara umum dapat diasosiasikan dengan derajat batubara, maka batubara dengan tingkat pembatubaraan rendah disebut pula batubara berderajat rendah seperti lignit dan sub-bituminus biasanya berwarna kusam seperti tanah, warna gores kuning hingga kecokelatan, kilap berwarna kusam, lebih lembut dengan materi yang rapuh, pecahan yang tidak beraturan atau *uneven*, memiliki tingkat kelembaban (*moisture*) yang tinggi dan kadar karbon yang rendah, sehingga kandungan energinya juga rendah. Semakin tinggi derajat batubara, umumnya warnanya akan semakin hitam, warna gores yang semakin menghitam pula, kilap yang semakin cemerlang, akan semakin keras dan kompak, pecahan *blocky* hingga *choncoidal* serta. Selain itu, kelembabannya pun akan berkurang, sedangkan kadar karbonnya akan meningkat, sehingga kandungan energinya juga semakin besar.

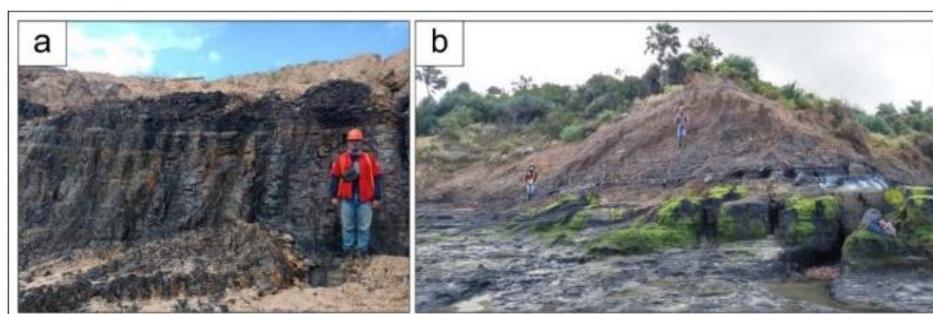
Karakteristik Geometri Lapisan Batubara Daerah Penelitian

Ketebalan Lapisan Batubara

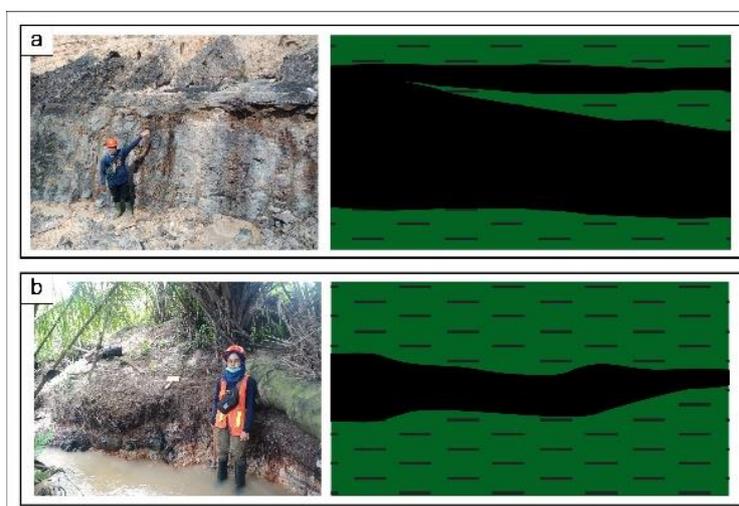
Ketebalan lapisan batubara adalah unsur penting yang langsung berhubungan dengan perhitungan cadangan, perencanaan produksi, sistem penambangan, dan umur tambang. Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran ketebalan lapisan batubara berkisar antara 0,12-2,93 m. Di satuan batupasir Dahor menunjukkan ketebalan lapisan batubara berkisar 0,12-1,98 m, sedangkan di satuan batulempung Dahor menunjukkan ketebalan lapisan batubara berkisar 0,1-2,93 m. Ketebalan lapisan batubara lebih dari 1 m menunjukkan kecenderungan berada di satuan batupasir Dahor bagian atas (Gambar 6.a) dan satuan batulempung Dahor bagian bawah (Gambar 6.b), sedangkan ketebalan lapisan batubara kurang dari 1 m menunjukkan kecenderungan berada di satuan batupasir Dahor bagian bawah dan satuan batulempung Dahor bagian atas. Berdasarkan hal tersebut ketebalan lapisan batubara di daerah penelitian

berhubungan dengan proses pengendapan yang ada di daerah penelitian. Proses pengendapan tersebut yaitu *syn-depositional* dan *post-depositional*. Proses pengendapan tersebut menjadi faktor pengendali tebal lapisan batubara di daerah penelitian.

Faktor pengendali ketebalan lapisan batubara di daerah penelitian yaitu faktor *splitting* (Gambar 7.a) yang termasuk dalam proses *syn-depositional*, dan faktor erosi (Gambar 7.b) yang termasuk dalam proses *post-depositional*. *Splitting* tersebut diinterpretasikan terjadi karena proses pengendapan batubara yang diikuti dengan gangguan berupa banjir dan menerobos tanggul alam (*levee*) dengan mekanisme yang berbeda sehingga menghasilkan endapan dengan ukuran butir yang lebih kasar. Ukuran butir yang lebih kasar mengindikasikan kecepatan arus yang lebih besar dan menghasilkan endapan *channel*. Endapan *channel* di daerah penelitian dicirikan oleh batupasir berbutir kasar-halus yang memiliki struktur perlapisan silang siur, perlapisan dan laminasi, batulanau dan batulempung yang



Gambar 6. Kenampakan ketebalan lapisan batubara (a) di satuan Batupasir Dahor bagian atas, LP 1 dan (b) di satuan Batulempung Dahor bagian bawah, LP 111.



Gambar 7. Kenampakan fenomena (a) *splitting* di satuan batupasir Dahor, LP 1 dan (b) penipisan di satuan batulempung Dahor, LP 100.

memperlihatkan pola menghalus ke atas. Berdasarkan pengamatan setempat di daerah penelitan kemenerusan lapisan batubara tersebut mengikuti kemiringan lapisan perlahan menipis dikarenakan proses erosi pada saat pengendapan batuan yang ada di atasnya.

Kemiringan Lapisan Batubara

Besarnya kemiringan lapisan batubara berpengaruh terhadap perhitungan cadangan ekonomis, nisbah pengupasan, dan sistem penambangan. Berdasarkan peta lintasan dan peta geologi daerah penelitian penelitian, diketahui bahwa kisaran ketebalan lapisan batubara berkisar antara 3° - 16° . Di satuan batupasir Dahor (Gambar 8.b) menunjukkan kecenderungan kemiringan lapisan batubara berkisar 3° - 16° ($\gg 7^{\circ}$ - 9°), sedangkan di satuan batulempung Dahor (Gambar 8.a) menunjukkan kecenderungan kemiringan lapisan batubara berkisar 4° - 9° ($\gg 5^{\circ}$ - 6°). Kemiringan lapisan batubara daerah penelitian termasuk dalam kategori lapisan landai karena memiliki kemiringan kurang dari 25° (Jeremic, 1985). Pola kedudukan lapisan batubara di daerah penelitian secara umum dipengaruhi oleh proses-proses geologi yang berlangsung setelah proses pengendapan batubara. Berdasarkan hal tersebut diinterpretasikan bahwa struktur geologi di daerah penelitian bekerja setelah proses pengendapan batubara itu selesai terlihat dalam singkapan batubara yang tersingkap di lapangan memiliki kemiringan atau telah mengalami deformasi batuan akibat gaya tektonik.

Pola Sebaran Lapisan Batubara

Pola sebaran lapisan batubara akan berpengaruh pada penentuan batas perhitungan cadangan dan pembagian blok penambangan. Oleh karena itu, faktor pengendalinya harus diketahui, yaitu

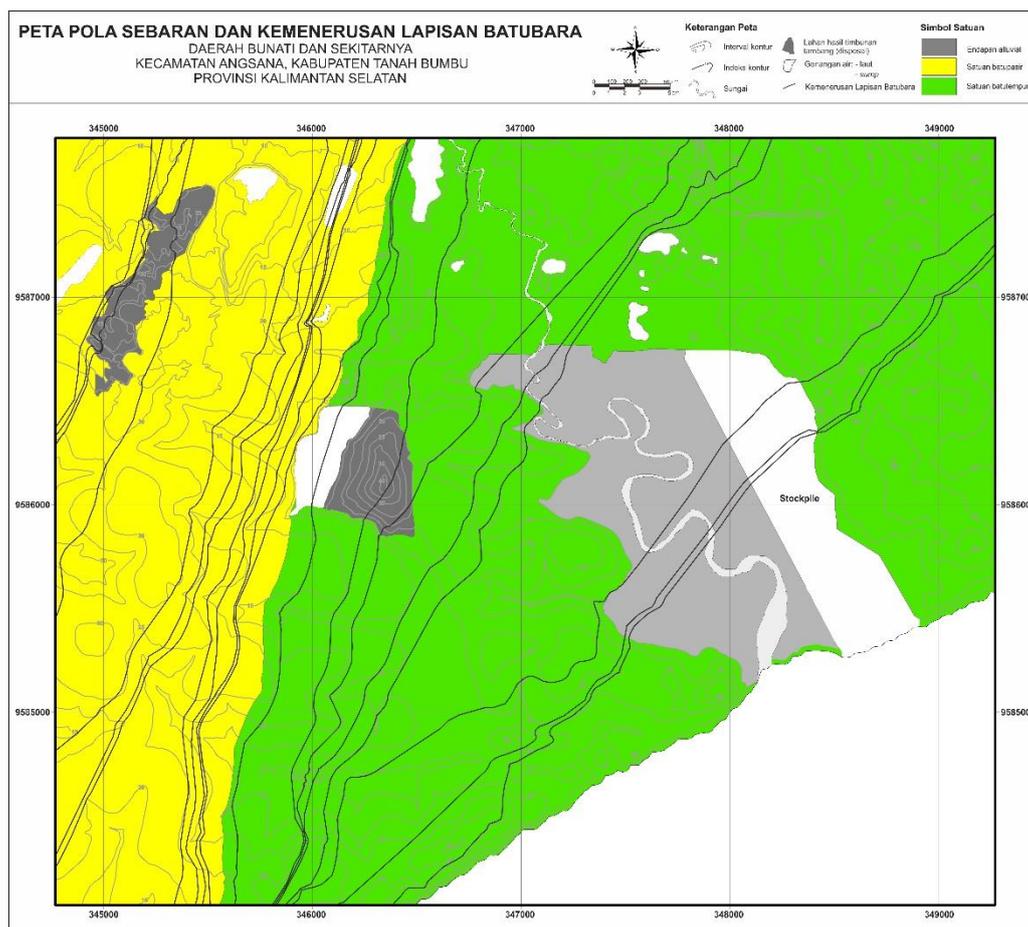
apakah dikendalikan oleh struktur lipatan (antiklin, sinklin, menunjam), homoklin, struktur sesar dengan pola tertentu atau dengan pensesaran kuat. Menurut Jeremic (1985) kedudukan lapisan batubara atau sebarannya ada yang teratur dan tidak teratur. Pola sebaran lapisan batubara didapat dari data permukaan berupa data kedudukan lapisan batuan maupun batubara yang kemudian dilakukan penarikan *cropline* menggunakan metode kontrol struktur (KS) dengan memperhatikan bentuk morfologi (hukum V). Pola sebaran lapisan batubara di daerah penelitian termasuk ke dalam kategori teratur karena tidak ditemukannya struktur geologi berupa lipatan ataupun sesar yang dapat mempengaruhi pola sebaran lapisan batubara di daerah penelitian (Jeremic, 1985). Pola sebaran dan kemenerusan lapisan batubara di daerah penelitian searah dengan jurus perlapisan yaitu timurlaut-baratdaya (Gambar 9).

Kemenerusan Lapisan Batubara

Berdasarkan data kemenerusan tersebut didukung dengan data kemiringan lapisan batubara dilakukan analisis sehingga diperoleh karakteristik pola sebaran dan kemenerusan lapisan batubara (Gambar 9), kisaran kemenerusan lapisan batubara berkisar antara $N190^{\circ}E$ - $N250^{\circ}E$. Di satuan batupasir Dahor menunjukkan kecenderungan kemenerusan lapisan batubara berkisar antara $N190^{\circ}E$ - $N250^{\circ}E$ ($\gg N200^{\circ}E$ - $N205^{\circ}E$), sedangkan di satuan batulempung Dahor menunjukkan kecenderungan kemenerusan lapisan batubara berkisar antara $N200^{\circ}E$ - $N242^{\circ}E$ ($\gg N220^{\circ}E$ - $N240^{\circ}E$). Faktor pengendali kemenerusan lapisan batubara perlu diketahui. Berdasarkan kondisi saat di lapangan bahwa kemenerusan lapisan batubara di daerah penelitian terpotong oleh topografi, dan tertutup endapan aluvial.



Gambar 8. Kenampakan kemiringan lapisan batubara (a) di satuan Batulempung Dahor, LP 111 dan (b) di satuan Batupasir Dahor di LP 97.



Gambar 9. Pola sebaran dan kemenerusan lapisan batubara daerah penelitian.

Kejadian yang mempengaruhi kemenerusan lapisan batubara yang ada di daerah penelitian ini dipengaruhi oleh erosi permukaan. Pola menerus dan tidak menerus lapisan batubara yang ada di daerah penelitian dipengaruhi oleh proses-proses yang berlangsung saat proses pengendapan berlangsung (*syn-depositional*) maupun setelah proses pengendapan berlangsung (*post-depositional*). Lapisan batubara yang ada di daerah penelitian memiliki pola kemenerusan searah dengan jurus perlapisan yaitu timurlaut-baratdaya (Gambar 9).

Keteraturan Lapisan Batubara

Keteraturan lapisan batubara ditentukan oleh pola kedudukan lapisan batubara, yaitu jurus dan kemiringan (Tabel 5). Keteraturan lapisan batubara ditentukan oleh pola kedudukan lapisan batubara, yaitu jurus dan kemiringan (Tabel 5). Kisaran pola kedudukan lapisan batubara berkisar antara $N190^{\circ}E-N250^{\circ}E/3^{\circ}-16^{\circ}$. Di satuan batupasir Dahor menunjukkan kecenderungan pola kedudukan lapisan batubara berkisar antara

$N190^{\circ}E-N250^{\circ}E$ ($\gg N200^{\circ}E-N205^{\circ}E$)/3-16 ($\gg 7-9$), sedangkan di satuan batulempung Dahor menunjukkan kecenderungan pola kedudukan lapisan batubara berkisar antara $N200^{\circ}E-N242^{\circ}E$ ($\gg N220^{\circ}E-N240^{\circ}E$)/4-9 ($\gg 5-6$). Pola lapisan batubara di daerah penelitian di permukaan (*crop line*) menunjukkan pola teratur yaitu garis reatif menerus, melengkung/meliuk pada elevasi yang hampir sama (Kuncoro, 2000).

Bentuk Lapisan Batubara

Bentuk lapisan batubara adalah perbandingan antara tebal lapisan batubara dan kemenerusannya. Kategori bentuk lapisan batubara yaitu: melembar, membaji, melensa, dan bongkah. Bentuk melembar merupakan bentuk yang umum dijumpai, oleh karena itu selain bentuk melembar, maka perlu dijelaskan faktor-faktor pengendalinya. Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran bentuk lapisan batubara melembar (Gambar 8.b) hingga setempat *splitting* yang berada di satuan batupasir Dahor (Gambar 7.a) dan menebal-mempis yang berada

di satuan Batulempung Dahor (Gambar 14.c). Secara keseluruhan bentuk lapisan batubara di daerah penelitian menunjukkan bentuk lapisan melembar. Bentuk lapisan batubara di daerah penelitian secara keseluruhan menunjukkan bentuk lapisan melembar yang merupakan bentuk yang umum dijumpai dan secara setempat dijumpai fenomena lapisan batubara berupa *splitting* di satuan batupasir Dahor dan penipisan di satuan batulempung Dahor. Sama halnya dengan ketebalan lapisan batubara di daerah penelitian, bentuk lapisan batubara juga berhubungan dengan proses pengendapan yang ada di daerah penelitian. Proses pengendapan tersebut yaitu *syn-depositional* dan *post-depositional*. Proses pengendapan tersebut menjadi faktor pengendali juga terhadap bentuk lapisan batubara di daerah penelitian.

Roof dan Floor

Kondisi *sediment roof* dan *floor*, meliputi jenis batuanannya, kekerasan, jenis kontak, kandungan karbonannya, bahkan sampai tingkat kerekatannya dalam kondisi kering maupun basah. Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran *sediment roof* dan *floor* lapisan batubara berupa batulempung karbonan sampai batupasir karbonan. Di satuan batupasir Dahor menunjukkan kecenderungan *sediment roof* lapisan batubara berupa batupasir karbonan dan *sediment floor*-nya berupa batulempung karbonan, serta setempat menunjukkan *sediment roof* dan *floor* lapisan batubara berupa batupasir karbonan dan batulempung karbonan (Gambar 10.a, b, dan c), sedangkan di satuan Batulempung Dahor menunjukkan kecenderungan *sediment roof* dan *floor* lapisan batubara berupa batulempung karbonan (Gambar 10.d). Kondisi *sediment roof* dan *floor* daerah penelitian secara umum memiliki kekerasan yang keras hingga lunak dan tingkat kerekatan yang lengket hingga tidak lengket dalam kondisi kering maupun basah serta jenis kontak batubara dengan *sediment roof* yang dijumpai berupa kontak yang berangsur kandungan karbonannya. Kontak batubara dengan *sediment roof* merupakan fungsi dari proses pengendapannya. Pada proses pengendapan yang berlangsung secara lambat diperlihatkan oleh kontak yang berangsur kandungan karbonannya, sebaliknya pada kontak yang tegas menunjukkan proses pengendapan berlangsung secara tiba-tiba.

Cleat

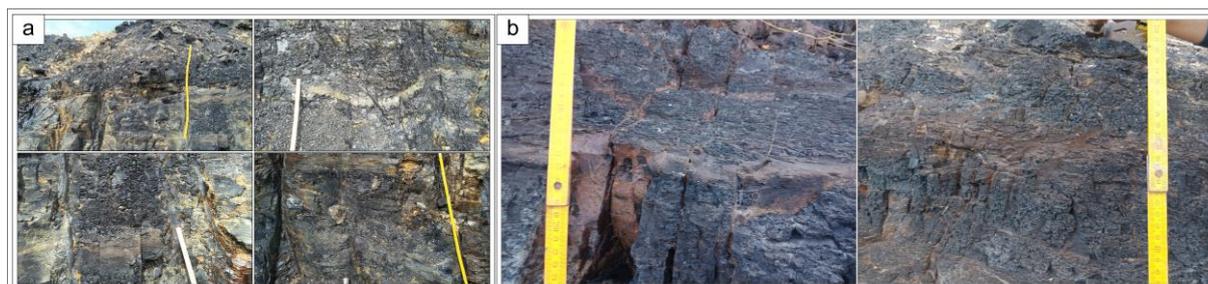
Laubach (1998) menjelaskan bahwa *cleat* adalah rekahan terbuka alami di lapisan batubara, sedangkan menurut Thomas (2013) *cleat* merupakan bukaan yang terjadi dalam dua set yang umumnya saling tegak lurus antar bidang dan juga tegak lurus terhadap perlapisan. *Cleat* adalah kekar di dalam lapisan batubara, umumnya menunjukkan pola *cleat*. Hal ini ditunjukkan oleh serangkaian retakan yang sejajar, biasanya berorientasi tegak lurus perlapisan. Satu rangkaian retakan disebut "*face cleat*", biasanya dominan dengan bidang individu yang lurus dan kokoh sepanjang beberapa meter. Di daerah penelitian, kisaran lebar bukaan *cleat* berkisar antara 0,5-8 mm dan terdapat lokasi yang tidak berkembang *cleat*-nya, jarak antar *cleat* berkisar antara 0,5-14 dan terdapat lokasi yang tidak berkembang *cleat*-nya, kedudukan *face cleat* berkisar antara N280°-N355°E/62°-89°, orientasi jurus *cleat* berkisar antara N280°-N355°E.

Di satuan batupasir Dahor yang diambil di daerah sudah ditambang menunjukkan kecenderungan lebar bukaan *cleat* berkisar antara 0,5-5 mm (>>2-5 mm) dan jarak antar *cleat* berkisar 0,5-14 cm (>>3-4 cm), kedudukan *face cleat* berkisar antara N282°-N352°E/67°-89°, orientasi jurus *cleat* berkisar antara N282°-N352°E, dengan memberikan kenampakan yang kurang terfragmenkan, sedangkan di satuan batupasir Dahor yang diambil di daerah belum ditambang menunjukkan kecenderungan lebar bukaan *cleat* berkisar antara 0,5-8 mm (>>1-5 mm) dan jarak antar *cleat* berkisar 0,5-10 cm (>>2-3 cm), kedudukan *face cleat* berkisar antara N315°-N355°E/62°-89°, orientasi jurus *cleat* berkisar antara N315°-N355°E, dengan memberikan kenampakan yang terfragmenkan (Gambar 11.a). Di satuan batulempung Dahor yang diambil di daerah belum ditambang kecenderungan lebar bukaan *cleat* berkisar antara 0,5-5 mm (>>0,5-3 mm) dan jarak antar *cleat* berkisar antara 0,5-12 cm (>>2), kedudukan *face cleat* berkisar antara N280°-N310°E/73°-89°, orientasi jurus *cleat* berkisar antara N280°-N310°E, dengan memberikan kenampakan yang kurang terfragmenkan (Gambar 11.b).

Lebar bukaan *cleat* telah dipengaruhi oleh peledakan, benturan alat berat saat penggalian, dibukanya lapisan penutup oleh kegiatan pengupasan lapisan penutup, atau akibat proses



Gambar 10. Kenampakan *sediment roof* lapisan batubara berupa (a) batupasir karbonan dan *sediment floor*-nya berupa batulempung karbonan, LP 43; (b) batupasir karbonan, LP 40; (c) batulempung karbonan, LP 1 di satuan batupasir Dahor; dan (d) batulempung karbonan, LP 110 di satuan batulempung Dahor.



Gambar 11. Kenampakan *cleat* dan pelapukan pada lapisan batubara (a) di satuan batupasir Dahor yang diambil di daerah sudah ditambang, LP 1 dan (b) di satuan batulempung Dahor yang diambil di daerah belum ditambang, LP 111

pelapukan pada lapisan batubara yang telah tersingkap. Akibat semua itu, cenderung membuat bidang *cleat* menjadi semakin terbuka. Lebar bukaan *cleat* yang dapat diamati secara kasat mata perlu menggunakan kaca pembesar, karena hampir tidak terlihat mata. Menurut Laubach et al. (1998), umumnya lebar bukaan *cleat* kurang dari 0,1 mm, meskipun kadang hadir mineral-mineral diagenetik yang mengisi rekahan *cleat* dan dapat mencapai 0,5 cm. Menurut (Gamson, 1993 dalam Laubach et al., 1998), lebar bukaan *cleat in situ* berkisar 0,001-20 mm.

Jarak antar bidang *cleat* dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti derajat batubara, komposisi batubara, tebal lapisan batubara, mineral pengisi, derajat deformasi tektonik dan kompaksi, serta umur batubara. Sejumlah peneliti telah mengamati variasi jarak *cleat* yang berkait dengan derajat batubara, yaitu mulai dari lignit sampai batubara bituminus bervolatil menengah dan batubara antrasit, hasilnya masing-masing batubara akan membentuk suatu sebaran jarak *cleat* tertentu (Laubach et al., 1998).

Berdasarkan Jeremic (1985) dalam Kuncoro (2012), jenis *cleat* di satuan batupasir Dahor merupakan jenis *induced cleat*. *Induced cleat* bersifat lokal akibat proses penambangan dengan adanya perpindahan beban kedalam struktur tambang. Frekuensi *induced cleat* tergantung pada tata letak tambang dan macam teknologi penambangan yang digunakan. Di satuan batulempung Dahor jenis *cleat* yang berkembang merupakan jenis *endogenous cleat*. *Endogenous cleat* dibentuk oleh gaya internal akibat pengeringan atau penyusutan material organik. Umumnya tegak lurus bidang perlapisan sehingga bidang kekar cenderung membagi lapisan batubara menjadi fragmen-fragmen tipis yang tabular. Perbedaan karakteristik geometri *cleat* dan derajat fragmentasi batubara di satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor, menunjukkan hubungan genetik antara karakteristik geometri *cleat* dan faktor pengendalinya. Karakteristik geometri *cleat* di satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor adalah berbeda. Hal ini dapat dijelaskan karena adanya perbedaan proses-proses geologi yang berlangsung setelah pembentukan awal *cleat*, yaitu perbedaan aktivitas pertambangan. Lapisan batubara di satuan batupasir Dahor telah dipengaruhi oleh aktivitas pertambangan, sedangkan di satuan batulempung Dahor tidak dipengaruhi oleh aktivitas pertambangan.

Kisaran mineral pengisi *cleat* yaitu berupa lempung hingga tidak dijumpainya mineral pengisi *cleat*, rata-rata mineral pengisi *cleat* yaitu lempung dengan modulusnya dominan lempung. Di satuan batupasir Dahor dijumpai mineral pengisi *cleat* berupa lempung, sedangkan di satuan batulempung Dahor dijumpai mineral pengisi *cleat* berupa lempung dan belerang (sulfur). Kehadiran mineral lempung dalam batubara karena terbawa oleh media air selama proses akumulasi. Mineral ini terbentuk seiring dengan proses pembatubaraan, dari proses penggabutan hingga proses pembatubaraan sebagai pengisi *cleat* dalam batubara. Kehadiran belerang (sulfur) pada *cleat* dapat dipengaruhi oleh proses-proses geologi yang berlangsung bersamaan maupun setelah pembentukan batubara.

Pelapukan

Tingkat pelapukan batubara penting ditentukan karena berhubungan dengan dimensi lapisan batubara, kualitas, perhitungan cadangan, dan penambangannya. Oleh karena itu karakteristik pelapukan dan batas pelapukan harus ditentukan. Pada batubara lapuk selain harus ditentukan batasnya dengan batubara segar, juga berpengaruh pada pengukuran tebalnya. Di daerah penelitian, diketahui bahwa kisaran kondisi pelapukan lapisan batubara adalah agak lapuk hingga lapuk. Pada kedua satuan menunjukkan kecenderungan kondisi pelapukan lapisan batubara yaitu agak. Tingkat pelapukan batubara penting ditentukan karena berhubungan dengan dimensi lapisan batubara, kualitas, perhitungan cadangan, dan penambangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan mengenai geologi dan karakteristik geometri lapisan batubara di daerah Bunati, Kecamatan Angsana, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi geologi di daerah penelitian terdiri atas satuan batupasir Dahor dan satuan batulempung Dahor. Kondisi geologi dan karakteristik geometri lapisan batubara di Satuan Batupasir Dahor dan Satuan Batulempung Dahor adalah berbeda, sedangkan karakteristik fisik lapisan batubara keduanya adalah sama kecuali pengotornya. Persamaan dan perbedaan tersebut dipengaruhi oleh proses-proses geologi (*syn-depositional* dan *post-depositional*) yang berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- Bouska, V., 1981. *Coal Science and Technology: Geochemistry of Coal*. Prague: Elsevier.
- Horne J.C., Perm, J.C., Caruccio, F.T., Baganz, B.P., 1978. Depositional Karakteristiks in Coal Exploration and Mining Planning in Appalachian Region. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 62(12), 2379-2411.
- Howard, J., 2017. Anthropogenic Soils. *Springer-International Publishing*, 29-31.
- Jeremic, M.L., 1985. *Strata Mechanics in Coal Mining*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Kuncoro, B., 2000. Geometri Lapisan Batubara. Yogyakarta: UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Kuncoro, B., 2012. Cleat Pada Lapisan Batubara dan Aplikasinya didalam Industri Pertambangan. *Prosiding Simposium dan Seminar Geomekanika Ke-1 Tahun 2012*.
- Laubach, S.E., Marret O., dan Scott, 1998. Characteristics and Origins of Coal Cleat: A Review. *International Journal of Coal Geology*, 35(1-4), 175–207. DOI: doi.org/10.1016/S0166-5162(97)00012-8
- Moore, T. dan Ferm, J., 1992. Composition and Grain Size of An Eocene Coal Bed in Southeartern Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Coal Geology*, 21(1-2), 1-30. DOI: [https://doi.org/10.1016/0166-5162\(92\)90033-S](https://doi.org/10.1016/0166-5162(92)90033-S)
- Rustandi, E., Nila, E.S., Sanyoto, P., Margono, U., 1995. *Peta Geologi Lembar Kotabaru, Kalimantan Selatan, Skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Stach, E., Mackowsky, M-Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R., 1982. *Stach's Textbook of Coal Petrology*. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.
- Susilawati, 1992. *Proses Pembentukan Batubara*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Thomas, L., 2013, *Coal Geology*. West Sussex: Wiley-Blackwell.