

Geologi dan Studi *Cleat* Terhadap Kualitas Batubara Pada Daerah Air Panas, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur

Melia Fajri Sukma Arya¹⁾, RM. Basuki Rahmad^{*1)}

¹⁾Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Jl. Padjajaran (Ring Road Utara) No. 104, Condongcatur, Sleman, Yogyakarta

*basukirahmad@upnyk.ac.id

Abstrak – Lokasi penelitian berada pada Daerah Air Panas, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur dan termasuk dalam Cekungan Kutai dengan formasi pembawa batubara yaitu Formasi Balikpapan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi geologi lokal pada daerah penelitian dan pengaruh *cleat* terhadap kualitas batubara. Tahapan penelitian meliputi studi pustaka, pemetaan geologi, dan pengambilan data *cleat*. Adapun analisis yang dilakukan berupa analisis pola pengaliran, analisis bentuklahan, analisis petrografi, analisis struktur geologi, analisis mikropaleontologi, analisis lingkungan pengendapan, dan analisis *cleat* terhadap kualitas batubara. Hasil analisis menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki pola pengaliran radial dan sub-trellis. Kondisi geomorfologi terdiri atas bentuklahan lahan penambangan, kolam tambang/*sump*, lahan timbunan/*disposal*, tubuh sungai, rawa, dataran limpah banjir, perbukitan struktural, dan bukit sisa. Stratigrafi daerah penelitian dari tua ke muda disusun oleh Satuan batulempung Balikpapan, Satuan batupasir Balikpapan dan endapan aluvial. Berdasarkan penampang stratigrafi terukur didapatkan lingkungan pengendapan yaitu *Transisional Lower Delta Plain*. Struktur geologi yang berkembang terbentuk akibat tegasan utama yang memiliki arah Tenggara-Barat Laut menghasilkan struktur kekar, *cleat*, dan lipatan. Karakteristik *cleat* pada daerah penelitian menunjukkan pola normal dan tidak terpengaruhi oleh proses geologi berupa struktur geologi (*endogenic cleat*). Kajian studi khusus menunjukkan bahwa data *attribute cleat* berupa panjang *cleat*, spasi *cleat*, dan bukaan *cleat* dapat mempengaruhi kualitas lapisan batubara terutama pada nilai *ash*, total sulfur, dan *calorific value*.

Kata Kunci: Batubara, *Cleat*, Formasi Balikpapan, Geologi, Kualitas

Abstract – The research location is in Air Panas Area, Loa Janan Subdistrict, Kutai Kartanegara Regency, East Kalimantan Province and is included in the Kutai Basin with coal-bearing formation which is Balikpapan Formation. This study aims to determine the local geological conditions in the study area and the influence of *cleat* on coal quality. The research stages include literature study, geological mapping, and *cleat* data collection. The analysis was conducted in the form of flow pattern analysis, landform analysis, petrographic analysis, geological structure analysis, micropaleontology analysis, depositional environment analysis, and *cleat* analysis on coal quality. The analysis shows that the study area has radial and sub-trellis flow patterns. Geomorphological conditions consist of mining landforms, mine ponds/sumps, dumps, river bodies, swamps, flood plains, structural hills, and remnant hills. The stratigraphy of the study area from old to young is composed by Balikpapan mudstone unit, Balikpapan sandstone unit and alluvial deposits. Based on the measured stratigraphic cross section, the depositional environment is Transitional Lower Delta Plain. The developed geological structure is formed due to the main thrust that has Southeast-Northwest direction that produces *cleat*, and fold structures. *Cleat* characteristics in the study area show a normal pattern and are not affected by geological processes in the form of geological structures (*endogenic cleat*). Special study studies show that *cleat* attribute data in the form of *cleat* length, *cleat* spacing, and *cleat* openings can affect the quality of coal seams, especially on *ash*, total sulfur, and *calorific value*.

Keywords: Balikpapan Formation, *Cleat*, Coal, Geology, Quality

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Batubara merupakan salah satu komoditas energi terbesar Indonesia sehingga perlu dilakukan eksplorasi untuk menemukan daerah prospek. Eksplorasi batubara dapat ditemukan pada beberapa tempat di Indonesia khususnya di Pulau Kalimantan. Secara fisiografis daerah penelitian berada pada Cekungan Kutai dengan formasi pembawa batubara yaitu Formasi Balikpapan. Daerah penelitian memiliki ciri khas yaitu dengan hadirnya *cleat* pada lapisan batubara. *Cleat* adalah

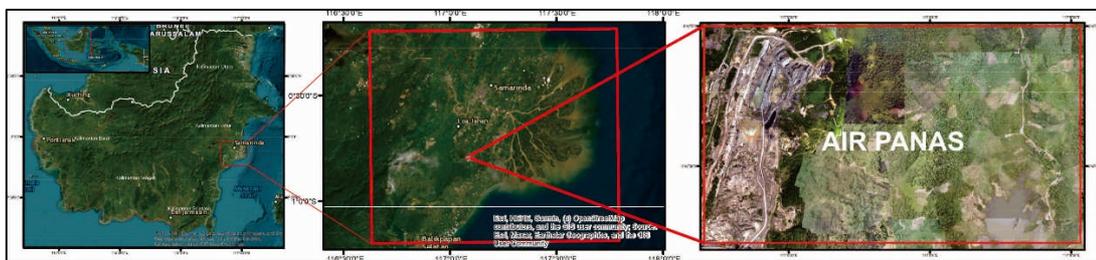
rekahan alami di dalam lapisan batubara yang bersifat terbuka, terdiri atas *face cleat* dan *butt cleat*. Kehadiran *cleat* yang terisi oleh mineral-mineral pengotor dapat berpengaruh terhadap kualitas batubara. Adapun atribut *cleat* berupa panjang *cleat*, spasi *cleat*, dan bukaan *cleat* berpengaruh terhadap nilai *ash*, total sulfur, dan *calorific value*. Studi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi geologi lokal daerah penelitian serta pengaruh *cleat* terhadap kualitas batubara.

Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah melakukan pengamatan dan pengambilan data geologi pada daerah penelitian yang meliputi geomorfologi, sebaran litologi, stratigrafi, struktur geologi, serta untuk mengetahui hubungan *cleat* terhadap kualitas batubara. Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah menganalisis kondisi geologi lokal meliputi keadaan pola pengaliran, geomorfologi, sebaran litologi, struktur geologi, hubungan stratigrafi, tektonik yang berkembang serta menganalisis hubungan *cleat* terhadap kualitas batubara pada daerah penelitian.

Lokasi Penelitian

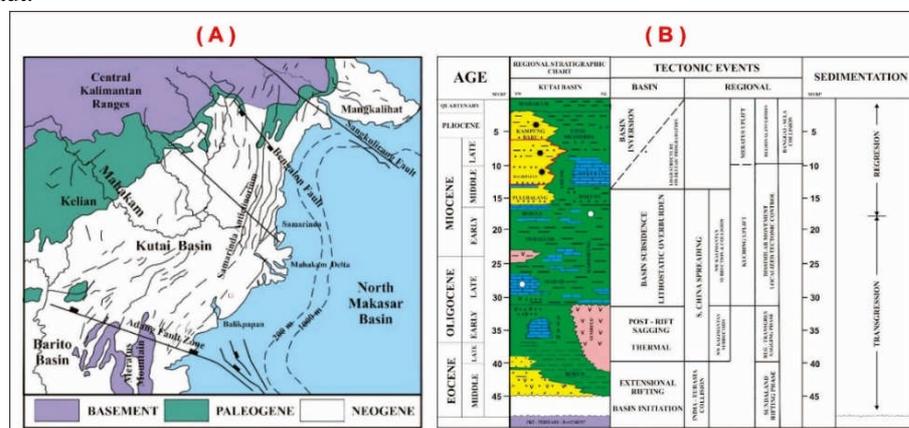
Secara administratif, daerah penelitian terletak pada Izin Usaha Pertambangan (IUP) PT. Kaltim Batumanunggal di Daerah Air Panas, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur (**Gambar 1**) lebih tepatnya secara *Universal Transverse Mercator* (UTM) terletak pada zona 50S dengan koordinat X = 509642 – 512613 mE dan Y = 9911991 – 9913417 mE. Daerah penelitian memiliki luasan area 1,5 km x 3km atau 4,5 km².



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian

Geologi Regional

Daerah penelitian secara fisiografis termasuk ke dalam Cekungan Kutai (Sukardi, 1995). Formasi pembawa batubara yaitu Formasi Balikpapan. Formasi ini dicirikan oleh litologi berupa batupasir, batulempung, batulanau, tuf dan batubara. Pada perselingan batupasir kuarsa, batulempung, dan batulanau memperlihatkan struktur silang siur. Tebal formasi +2000 meter dengan lingkungan pengendapan muka daratan-delta. Umur formasi ini Miosen Tengah - Miosen Akhir (**Gambar 2B**). Struktur geologi regional berupa antiklinorium samarinda (**Gambar 2A**). Pembentukan antiklinorium samarinda terbagi menjadi empat fase yaitu pertama fase kompresi dan pengangkatan pada Oligosen hingga Miosen Awal. Fase kedua yaitu Fase progradasi delta dan sedimentasi pada Miosen Awal. Fase ketiga yaitu Fase gravitasi dan pelongsoran massa pada Miosen Tengah hingga Miosen Akhir. Fase Terakhir yaitu fase *rebound isostatic* dan penyesuaian struktural pada Miosen Akhir hingga sekarang. Daerah penelitian berada pada antiklin palaran yang mempunyai trend arah Barat Daya – Timur Laut.

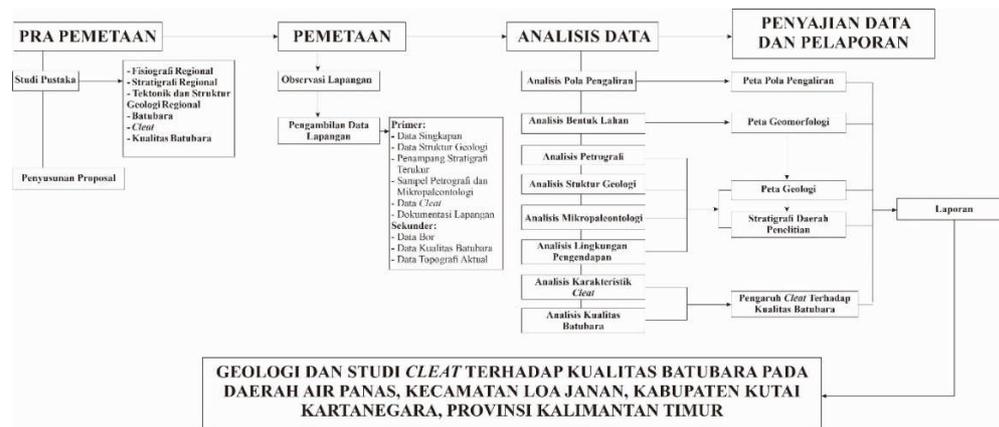


Gambar 2. (A) Struktur Geologi Regional Cekungan Kutai (Allen & Chambers, 1998), (B) Stratigrafi Daerah Penelitian. Lokasi Daerah Penelitian Diberi Tanda Garis Merah

METODE

Daerah penelitian merupakan area tambang dan area terbuka yang belum ditambang (*greenfield*) yang memiliki kondisi geologi dengan sktruktur *cleat* yang menarik untuk diteliti. Adapun metode pendekatan yang digunakan untuk menganalisis studi *cleat* terhadap kualitas batubara sebagai berikut:

1. Pengambilan data primer berupa informasi terkait dengan singkapan batuan seperti kedudukan lapisan batuan, deskripsi litologi, data struktur geologi (kekar dan *cleat*), sampel petrografi (5 sampel) dan mikropaleontologi (3 sampel), dan *measuring section*.
2. Pengolahan data sekunder berupa data bor untuk mendukung data geologi seperti stratigrafi serta data sekunder berupa kualitas batubara (nilai *ash*, total sulfur, dan *calorific value*) pada *seam* 12, 15, 16 lower, 16 upper, 17 lower, dan 17 upper.
3. Pengambilan data karakteristik *cleat* baik *face cleat* dan *butt cleat* berupa kedudukan, panjang, spasi, jarak, dan material/mineral pengisi *cleat*.
4. Analisis kualitas batubara menurut (ASTM D388, 2005).
5. Analisis karakteristik *cleat* pada poin 3 digunakan untuk mengetahui orientasi *cleat* dengan *software Dips* yang kemudian didapatkan rotasi *cleat* (kedudukan *face cleat* dengan lapisan) untuk mengetahui genesa pembentukan *cleat* (Apriani dkk, 2013).
6. Analisis hubungan *cleat* terhadap kualitas batubara dengan membandingkan data *cleat* (panjang, spasi, bukaan) dengan data kualitas batubara (nilai *ash*, total sulfur, *calorific value*) dengan menggunakan interpolasi dan menghasilkan peta *isopath* pada *software Global Mapper*.
- 7.

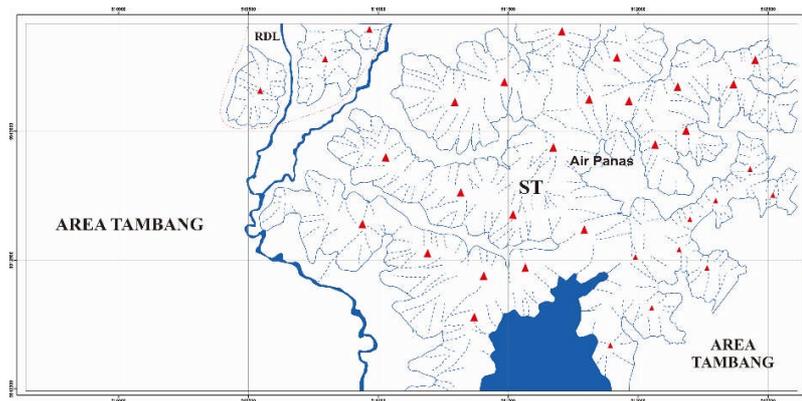


Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pola Pengaliran

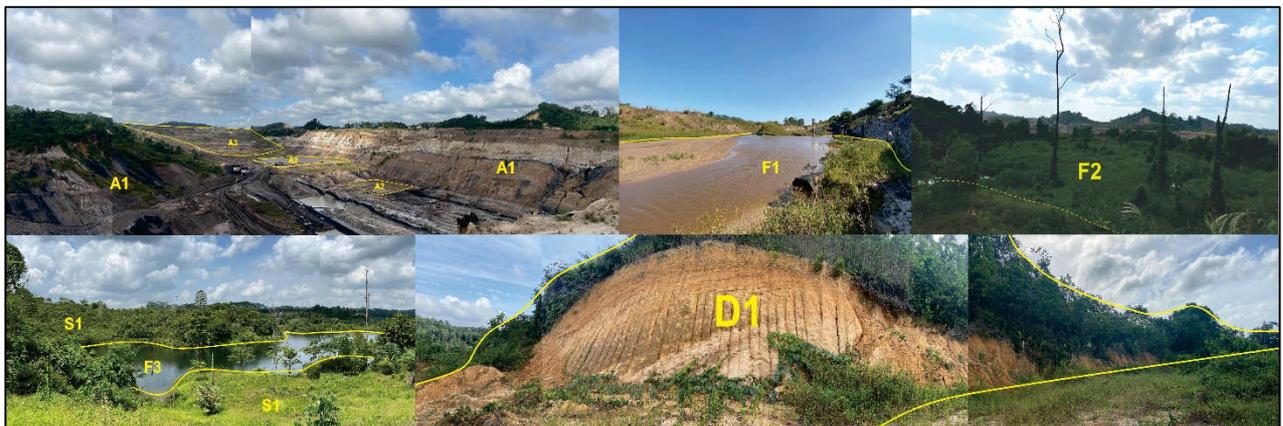
Berdasarkan pengamatan topografi pada daerah penelitian dengan memperhatikan aspek berupa puncak, lembah, dan sungai, didapatkan bahwa daerah penelitian mempunyai pola pengaliran berupa pola pengaliran radial dan pola pengaliran *sub-trelis*. Pola pengaliran radial memiliki arah sungai kesegala arah sedangkan pola pengaliran *sub-trelis* memiliki arah sungai Tenggara-Barat Laut dan Barat Daya – Timur Laut. Pola pengaliran *sub-trelis* ini berkaitan erat dengan struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian berupa kekar dan lipatan.



Gambar 4. Pola Pengaliran Daerah Penelitian

Geomorfologi

Secara aspek geomorfologi daerah penelitian terbagi atas delapan bentuklahan yaitu lahan penambangan, kolam tambang/*sump*, lahan timbunan/*disposal*, tubuh sungai, rawa, dataran limbah banjir, perbukitan struktural, dan bukit sisa.



Gambar 5. Kenampakan Satuan Bentuklahan, Lahan Penambangan (A1), Kolam Tambang / *Sump* (A2), dan Lahan Timbunan / *Disposal* (A3), Tubuh Sungai (F1), Dataran Limbah Banjir (F2), Rawa-Rawa (F3), Perbukitan Struktural (S1), dan Bukit Sisa (D1)

Stratigrafi

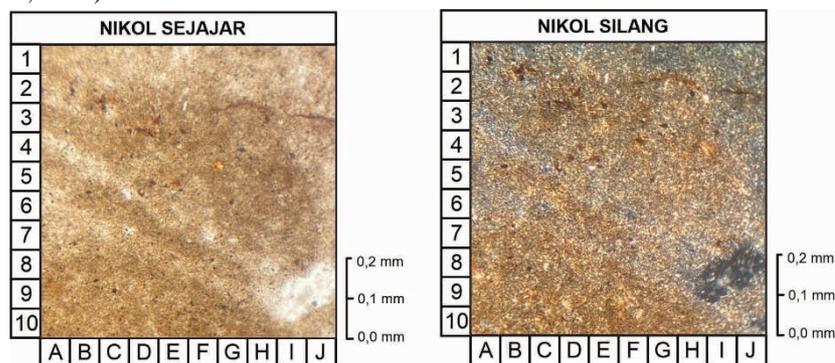
Dasar pengelompokan satuan batuan pada daerah penelitian menggunakan metode *measuring section* serta analisis data bor. Sehingga didapatkan bahwa daerah penelitian tersusun yang paling tua yaitu Satuan batulempung Balikpapan, Satuan batupasir Balikpapan, dan Endapan Aluvial.

WAKTU GEOLOGI		FORMASI	TEBAL	LITHO-STRATIGRAFI	PEMERIAN
ZAMAN	KALA				
KUARTER	HOLOSEN	ENDAPAN ALUVIAL	5 m		<p>Endapan Aluvial Satuan ini menempati 10% pada daerah penelitian yang tersusun atas material dari hasil pengendapan sungai memiliki sifat berupa material lepas dengan berbagai macam ukuran butir dari halus hingga kasar. Endapan ini diendapkan pada Holosen dengan lingkungan pengendapan darat.</p>
TERSIER	MIOSEN TENGAH-AKHIR (Satyana, 1995)	FORMASI BALIKPAPAN	426 m		<p>Satuan batupasir Balikpapan Satuan ini menempati 20% pada daerah penelitian yang tersusun atas batupasir karbonan, dengan sisipan batupasir kuarsa, batulempung, batubara, batu serpih, dan batulempung sisipan serpih karbonan. Struktur sedimen yang dijumpai berupa masif, perlapisan, dan menyerpih. Satuan ini diendapkan secara selaras bersamaan dan setelah Satuan batulempung Balikpapan pada kala Miosen Tengah hingga Miosen Akhir, dan di lingkungan <i>Transisional Lower Delta Plain</i> sub-lingkungan pengendapan <i>crevasse splay</i>.</p>
		FORMASI BALIKPAPAN	876 m		<p>Satuan batulempung Balikpapan Satuan ini menempati 70% pada daerah penelitian yang tersusun atas batulempung dengan sisipan batulempung karbonan, batupasir karbonan, batupasir, batubara, <i>shallycoal</i>, batuserpih, batulempung sisipan serpih karbonan, batulempung pasir, batupasir lempungan, dan soil. Struktur sedimen yang dijumpai berupa masif, perlapisan, <i>flaser</i>, dan menyerpih. Satuan ini diendapkan pada kala Miosen Tengah hingga Miosen Akhir dan di lingkungan <i>Transisional Lower Delta Plain</i> sub-lingkungan pengendapan <i>swamp-interdistributary bay</i>.</p>

Gambar 6. Stratigrafi Telitian (Penulis, 2024)

Satuan batulempung Balikpapan

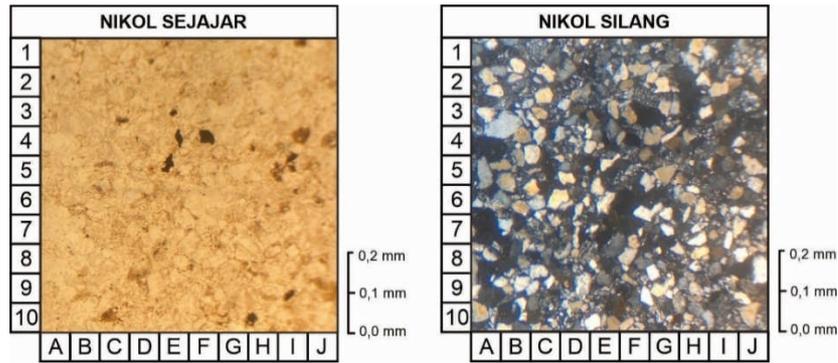
Satuan ini menempati 70% daerah penelitian dan memiliki ketebalan 876 meter berdasarkan pada penampang geologi. Satuan ini terdiri atas litologi batulempung dengan sisipan batulempung karbonan, batupasir karbonan, batupasir, batubara, *shallycoal*, batuserpih, dan soil. Berdasarkan penampang statigrafi terukur, dapat diinterpretasikan bahwa Satuan Batulempung Balikpapan terendapkan pada lingkungan *Transisional Lower Delta Plain* (J.C Horne, 1987) dengan sub-lingkungan pengendapan *Swamp – Interdistributary Bay*. Satuan ini diendapkan pada Kala Miosen Tengah hingga Miosen Akhir (Satyana, 1999).



Gambar 7. Sayatan Petrografi Litologi Batulempung Satuan batulempung Balikpapan Bernama *Mudrock* (Selley, 2000)

Satuan batupasir Balikpapan

Satuan ini menempati 20% daerah penelitian dan memiliki ketebalan satuan 426 meter berdasarkan pada penampang geologi. Satuan ini terdiri atas batupasir dengan sisipan batupasir kuarsa, batulempung, batuserpih, dan batubara. Berdasarkan penampang statigrafi terukur, dapat diinterpretasikan bahwa Satuan batupasir Balikpapan terendapkan pada lingkungan *Transisional Lower Delta Plain* mengacu pada klasifikasi (J.C Horne, 1987) dengan sub-lingkungan pengendapan *Crevasse Splay*. Satuan ini diendapkan pada Kala Miosen Tengah hingga Miosen Akhir (Satyana, 1999)



Gambar 8. Sayatan Petrografi Litologi Batupasir Satuan batulempung Balikpapan Bernama *Feldspatic Wacke* (Pettijohn., 1987)

Endapan Aluvial

Endapan aluvial menempati 10% dari total luas daerah penelitian. Endapan ini terbentuk akibat sebuah proses sedimentasi sungai yang kemudian diendapkan di dekat tubuh sungai. Endapan ini merupakan material lepas yang belum terkompaksi, memiliki resistensi sangat rendah, dan memiliki ukuran butir yang beragam. Endapan aluvial berumur holosen – resen dan proses pengendapannya masih berjalan hingga saat ini. Satuan endapan ini terendapkan pada lingkungan darat (sungai).



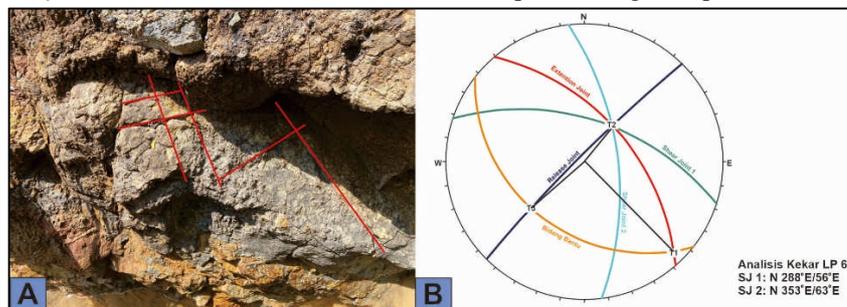
Gambar 9. Kenampakan Endapan Aluvial pada Daerah Penelitian

Struktur Geologi

Kekar Gerus

Kekar Gerus Lokasi Pengamatan 65

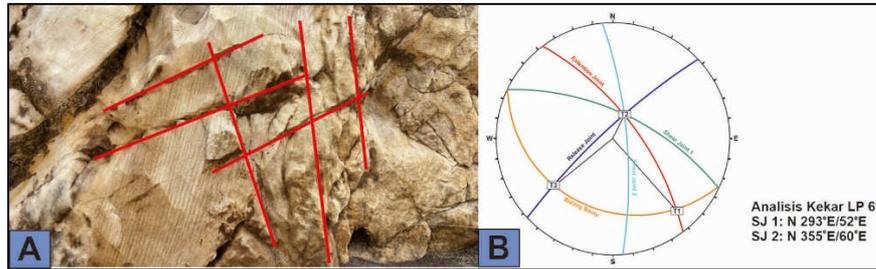
Pada lokasi pengamatan 65 ditemukan kekar gerus berpasangan atau shear joint dengan kedudukan *shear joint* 1 N 288°E/56°E dan *shear joint* 2 N 353°E/63°E. Kekar ini ditemukan pada litologi batupasir.



Gambar 10. A) Kenampakan Kekar Pada Lokasi Pengamatan 65, B) Analisis Stereografis Kekar Lokasi Pengamatan 65

Kekar Gerus Lokasi Pengamatan 69

Pada lokasi pengamatan 69 ditemukan kekar gerus berpasangan atau shear joint dengan kedudukan *shear joint* 1 N 293°E/52°E dan *shear joint* 2 N 355°E/60°E. Kekar ini ditemukan pada litologi batupasir.



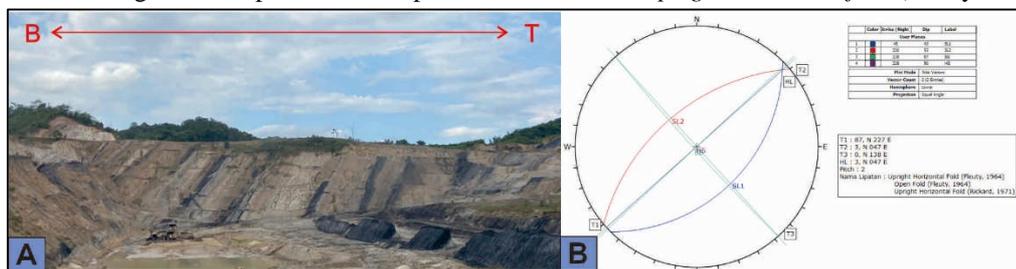
Gambar 11. A) Kenampakan Kekar Pada Lokasi Pengamatan 65, B) Analisis Stereografis Kekar Lokasi Pengamatan 65

Cleat

Cleat merupakan rekahan alami yang terdapat pada batubara dan terdiri atas *face cleat* dan *butt cleat*. *Cleat* tersebut terdapat pada *seam* 12, 15, 16 lower, 16 upper, 17 lower, dan 17 upper. Berdasarkan analisis rotasi *cleat* yaitu pada *face cleat* dan kedudukan lapisan batubara, didapatkan bahwa rotasi semua *cleat* yang ada tersebut menunjukkan hasil >70° yang mana termasuk dalam genesa *cleat* endogenik. Kajian lebih lanjut mengenai *cleat* akan dibahas lebih dalam pada bab tersendiri.

Lipatan Antiklin

Struktur lipatan yang dijumpai pada daerah penelitian didapatkan dari adanya data kedudukan lapisan batuan yang memiliki arah kemiringan yang berlawanan. Lapisan batuan pada sisi barat daerah penelitian memiliki kedudukan N211°E/51° dan pada timur daerah penelitian memiliki kedudukan N045°E/38°. Berdasarkan hasil data pada lapangan dan dilakukan analisis stereografis, didapatkan nama lipatan tersebut adalah *upright horizontal fold* (Fleuty, 1964).

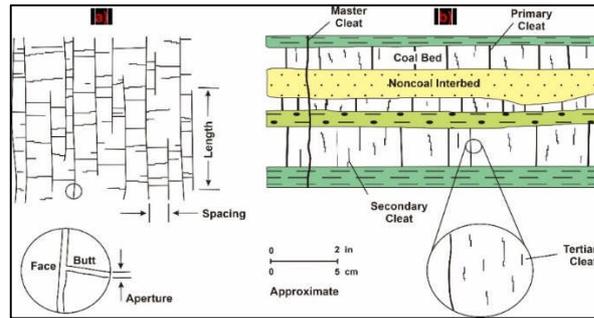


Gambar 12. A) Kenampakan Sayap Barat Antiklin yang Memiliki Kemiringan Arah Barat Laut , B) Analisis Stereografis Lipatan

Studi Cleat terhadap Kualitas Batubara

Cleat

Cleat merupakan rekahan alami yang ada di dalam lapisan batubara yang bersifat terbuka, terdiri atas *face cleat* dan *butt cleat*. Adanya *cleat* dapat disebabkan beberapa faktor yaitu mekanisme pengendapan, petrografi batubara, derajat batubara, tektonik (stuktur geologi), dan aktifitas penambangan. Berdasarkan genesanya, pembentukan *cleat* terbagi menjadi dua yaitu *endogenic cleat* dan *exogenic cleat*. *Endogenic cleat* dibentuk oleh gaya intenal akibat pengeringan atau penyusutan material organik. Sedangkan *exogenic cleat* dibentuk oleh gaya eksternal yang berhubungan dengan kejadian tektonik.



Gambar 13. Kenampakan Face Cleat dan Butt Cleat (Laubach, 1977) a) Tampak Atas b) Tampak Samping

Karakteristik Cleat

Pengambilan data *attribute cleat* meliputi kedudukan *face cleat* dan *butt cleat*, panjang *butt cleat* dan *face cleat*, spasi *face cleat* dan *butt cleat*, bukaan *face cleat* dan *butt cleat*, dan mengamati *cleat* tersebut terisi mineral pengotor atau tidak. Pengambilan data ini digunakan dalam mengetahui orientasi *cleat*, rotasi *cleat*, genesa pembentukan *cleat*, maupun untuk analisis hubungan *cleat* dengan kualitas batubara.

Tabel 1. Karakteristik Cleat pada Seam Batubara pada Daerah Penelitian

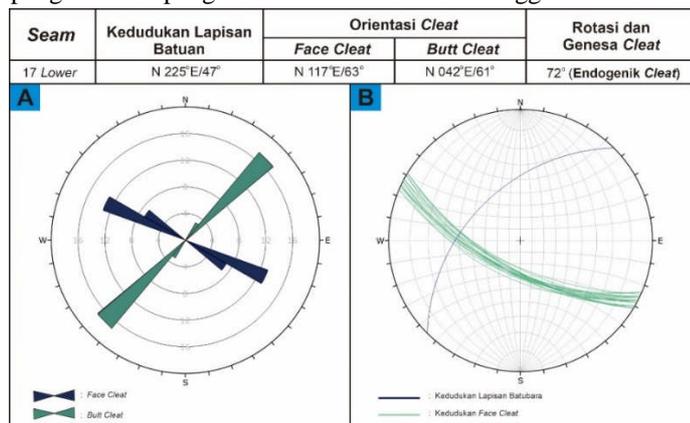
Seam	Kedudukan		Avg Panjang (cm)		Avg Spasi (cm)		Avg Bukaan (mm)		Isian / Pengotor	Kedudukan Lapisan
	Face	Butt	Face	Butt	Face	Butt	Face	Butt		
12	127/79	040/74	19.495	1.583	1.705	1.58	0.745	0.397	Tidak Ada	211/44
15	127/71	037/53	29.385	1.692	1.31	0.9575	1.51	0.8975	Tidak Ada	230/55
16 Lower	131/75	038/45	21.33	1.595	1.427	1.349	0.883	0.476	Tidak Ada	225/46
16 Upper	130/71	035/62	23.764	1.6305	1.384	1.3375	0.9425	0.5275	Tidak Ada	227/43
17 Lower	117/63	042/61	21.05	1.605	1.4325	1.482	0.825	0.449	Mineral Sulfur	225/47
17 Upper	128/73	036/59	20.59	1.546	1.486	1.443	0.791	0.365	Tidak Ada	230/52

Orientasi Cleat

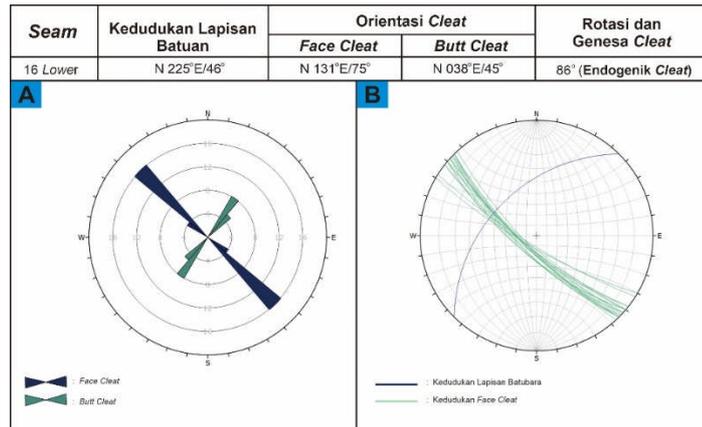
Pengambilan data orientasi *cleat* ini dilakukan dengan mengukur kedudukan dari *face cleat* dan *butt cleat* serta kedudukan lapisan batubara itu sendiri. Pengukuran ini dilakukan pada *seam* 12, 15, 16 lower, 16 upper, 17 lower, dan 17 upper. Kedudukan ini kemudian dianalisis menggunakan software *Dips* 6.0 untuk didapatkan arah orientasi.

Rotasi Cleat

Pengamatan rotasi *cleat* ditujukan untuk menentukan genesa dari *cleat*. Genesa *cleat* dapat ditentukan berdasarkan sudut rotasi yang dihasilkan pada *cleat* terhadap bidang perlapisan batubara dimana jika sudut yang dihasilkan pada interval 70 – 90° digolongkan sebagai *cleat* endogenik dan jika sudut yang dihasilkan <70° sebagai *cleat* eksogenik (Apriani dkk, 2013). Hasil pengukuran lapangan ini kemudian diolah menggunakan software *Dips* 6.0 .



Gambar 14. Rotasi Cleat Seam 17 Lower Menunjukkan Rotasi Cleat Paling Kecil



Gambar 15. Rotasi Cleat Seam 16 Lower Menunjukkan Rotasi Cleat Paling Tinggi

Dari analisis pada setiap cleat yang ada yaitu pada cleat seam 12, seam 15, seam 16 lower, seam 16 upper, seam 17 lower, dan seam 17 upper menunjukkan hasil rotasi cleat >70°. Hal tersebut menunjukkan bahwa semua cleat yang ada pada daerah penelitian merupakan cleat endogenik atau cleat yang terbentuk bersamaan saat pembentukan batubara.

Kualitas Batubara

Karakteristik Fisik Batubara

Penelitian ini mengamati karakteristik pada seam batubara yang ada. Pengamatan ini meliputi warna, gores, kilap, kekerasan, pecahan, ada atau tidaknya struktur cleat, dan ada atau tidaknya mineral pengotor pada cleat yang ada pada seam batubara tersebut.

Tabel 2. Karakteristik Fisik Batubara pada Daerah Penelitian

No	Seam	Warna	Gores	Kilap	Kekerasan	Pecahan	Pengotor	Cleat
1	12	Hitam Kusam (dull)	hitam	arang	moderately	blocky	tidak ada	ada
2	15	Hitam Mengkilap (bright)	hitam kecokelatan	bright	moderately	blocky	tidak ada	ada
3	16 LOWER	Hitam Mengkilap (bright)	hitam	bright	moderately	blocky	tidak ada	ada
4	16 UPPER	Hitam Mengkilap (bright)	hitam kecokelatan	bright	moderately	blocky	tidak ada	ada
5	17 LOWER	Hitam Mengkilap (bright)	hitam kecokelatan	bright	moderately	blocky	mineral sulfur	ada
6	17 UPPER	Hitam Kusam (dull)	hitam	arang	moderately	blocky	tidak ada	ada

Kualitas Batubara

Menggunakan rumus persamaan menurut (ASTM D-338, 2005) :

$$CV (dmmf) = \frac{((1,8185 \times CV (adb)) - (50 \times TS (adb))) \times 100}{100 - ((1,08 \times Ash (adb)) + (0,55 \times TS (adb)))} \quad (1)$$

Kualitas batubara ini menggunakan uji proksimat yang mengidentifikasi nilai ash, total sulfur, dan calorific value. Berdasarkan uji proksimat batubara pada seam 12, seam 15, seam 16 lower, seam 16 upper, seam 17 lower, dan seam 17 upper didapatkan hasil sebagaimana pada tabel berikut:

Tabel 3. Analisis Proksimat Batubara

SEAM	ASH (%)	TS (%)	CV (adb)	CV (btu/lb)
12	1.99	0.24	5899	10713.0503
15	2.84	1.33	6067	10962.5408
16 Lower	2.44	0.98	5424	9811.37
16 Upper	2.34	0.97	5582	10099.31
17 Lower	2.73	1.78	5582	10057.9396
17 Upper	3	1.06	5805	10499.5695

Dari hasil analisis proksimat tersebut dimasukkan kedalam rumus. Parameter uji proksimat yang digunakan yaitu nilai ash, total sulfur, dan calorific value pada kondisi air dry basis (adb). Kemudian dari didapatkan bawa nilai kalori paling tinggi didapatkan pada seam 15 yaitu dengan nilai kalori 10962.54 Btu/lb dan nilai kalori paling rendah yaitu pada seam 16 lower yaitu 9811.37 Btu/lb.

Class/Group	Fixed Carbon Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Volatile Matter Limits (Dry, Mineral-Matter-Free Basis), %		Gross Calorific Value Limits (Moist, Mineral-Matter-Free Basis)				Agglomerating Character
	Equal or Greater Than	Less Than	Greater Than	Equal or Less Than	Btu/lb		M/kg ^c		
					Equal or Greater Than	Less Than	Equal or Greater Than	Less Than	
Anthracitic:									
Meta-anthracite	98	2	} nonagglomerating
Anthracite	92	98	2	8	...	...	...	...
Semi-anthracite ^d	86	92	8	14	...	...	...	...
Bituminous:									
Low volatile bituminous coal	78	86	14	22	} commonly agglomerating ^f
Medium volatile bituminous coal	69	78	22	31	...	...	...	...
High volatile A bituminous coal	...	69	31	...	14 000 ^g	...	32.6	...	
High volatile B bituminous coal	...	...	...	...	13 000 ^g	14 000	30.2	32.6
High volatile C bituminous coal	...	...	...	...	11 500	13 000	26.7	30.2
Subbituminous:									
Subbituminous A coal	10 500	11 500	24.4	26.7	} nonagglomerating
Subbituminous B coal	...	...	...	...	9 500	10 500	22.1	24.4
Subbituminous C coal	...	...	...	...	8 300	9 500	19.3	22.1
Lignite:									
Lignite A	...	...	...	...	6 300 ^g	8 300	14.7	19.3
Lignite B	...	...	...	...	...	6 300	...	14.7

Gambar 16. Peringkat Batubara pada Daerah Penelitian (ASTM D 388, 2005)

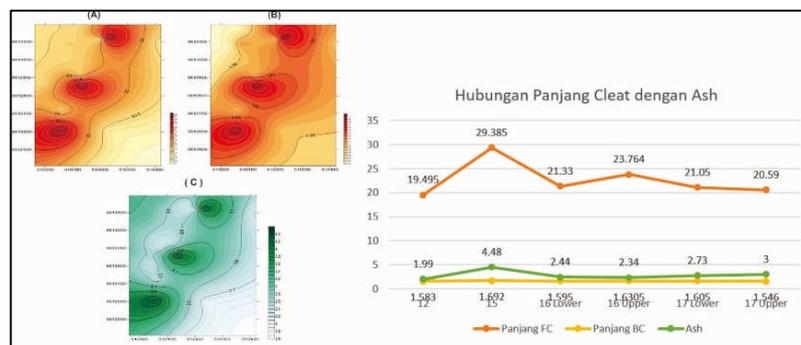
Berdasarkan perhitungan data analisis proksimat yang telah dimasukkan rumus, didapatkan peringkat batubara *seam 12* dan *seam 15* adalah *Subbituminous A Coal* sedangkan *seam 16 lower*, *seam 16 upper*, *seam 16 lower*, dan *seam 17 upper* adalah *Subbituminous B Coal* (ASTM D 388, 2005).

Hubungan Cleat Terhadap Kualitas Batubara

Hubungan Panjang Cleat Terhadap Analisis Proksimat

Hubungan Panjang Cleat Terhadap Nilai Ash

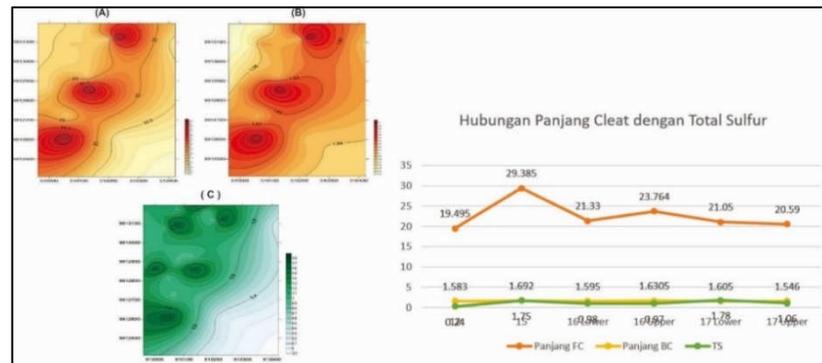
Lapisan batubara yang memiliki panjang *face cleat* maupun panjang *butt cleat* yang tinggi, memiliki kandungan *ash* pada lapisan batubara yang tinggi pula. Hal ini ditunjukkan pada gambar A dan B yang berwarna merah atau tepatnya pada *seam 15* menunjukkan kandungan *ash* yang tinggi pada gambar C ditunjukkan dengan kontur berwarna hijau tua (Gambar 17) Pada grafik juga ditunjukkan pada trend *seam 15* garis oranye (panjang FC) dengan nilai 29.385 cm memiliki trend naik dengan garis hijau (nilai ash) dengan nilai ash yaitu 4.48%. Oleh karena itu panjang *face cleat* dan *butt cleat* mempengaruhi kandungan *ash* pada lapisan batubara dengan hubungan positif.



Gambar 17. Hubungan Panjang Cleat Terhadap Nilai Ash Menggunakan Metode Interpolasi dan Grafik

Hubungan Panjang Cleat Terhadap Nilai Total Sulfur

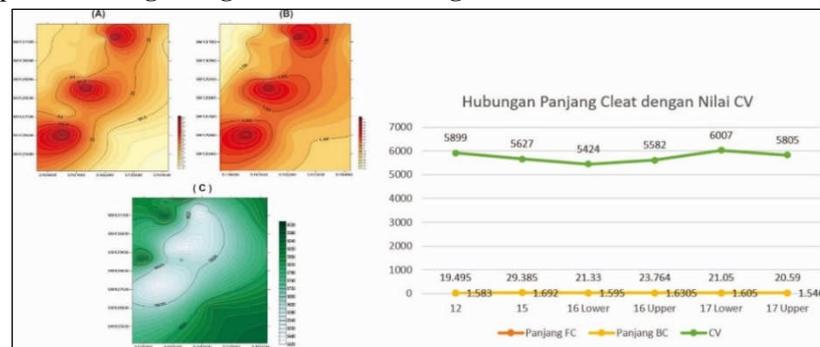
Lapisan batubara yang memiliki panjang *face cleat* maupun panjang *butt cleat* yang tinggi, memiliki kandungan total sulfur pada lapisan batubara yang tinggi pula. Hal ini ditunjukkan pada gambar A dan B yang berwarna merah atau tepatnya pada *seam 15* menunjukkan kandungan total yang tinggi pada gambar C ditunjukkan dengan kontur berwarna hijau tua (Gambar 18). Namun pada gambar C menunjukkan 2 area yang memiliki nilai total sulfur yang tinggi, hal tersebut dikarenakan pada *cleat seam 17 lower* terisi oleh mineral sulfur. Pada grafik juga ditunjukkan pada trend garis oranye pada *seam 15* menunjukkan trend naik dengan nilai panjang *face cleat* 29.385 cm seperti halnya pada *seam* yang sama namun pada garis hijau (nilai total sulfur) menunjukkan trend yang naik juga dengan nilai total sulfur 1.75%. Oleh karena itu panjang *face cleat* dan *butt cleat* mempengaruhi kandungan total sulfur pada lapisan batubara dengan hubungan positif.



Gambar 18. Hubungan Panjang Cleat Terhadap Nilai Ash Menggunakan Metode Interpolasi dan Grafik

Hubungan Panjang Cleat Terhadap Nilai Calorific Value

Lapisan batubara yang memiliki panjang *face cleat* maupun panjang *butt cleat* yang tinggi, memiliki kandungan *calorific value* pada lapisan batubara yang rendah. Hal ini ditunjukkan pada gambar A dan B yang berwarna merah atau tepatnya pada *seam 15* menunjukkan kandungan *calorific value* yang rendah pada gambar C ditunjukkan dengan kontur berwarna putih (Gambar 19). Oleh karena itu, panjang *face cleat* dan *butt cleat* terhadap *calorific value* ini merupakan **hubungan negatif** atau **berbanding terbalik**.

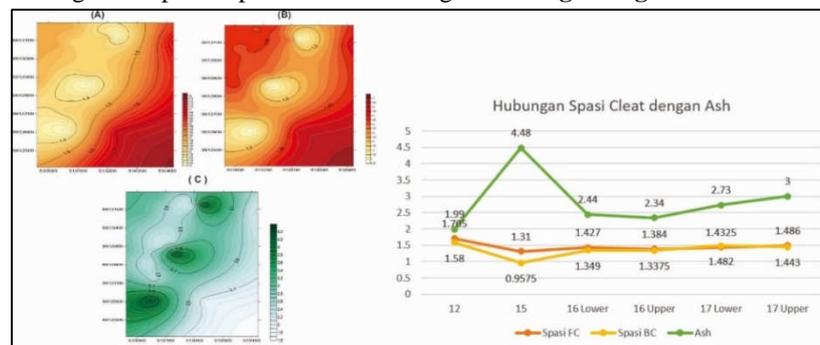


Gambar 19. Hubungan Panjang Cleat Terhadap Nilai Ash Menggunakan Metode Interpolasi dan Grafik

Hubungan Spasi Cleat Terhadap Analisis Proksimat

Hubungan Spasi Cleat Terhadap Nilai Ash

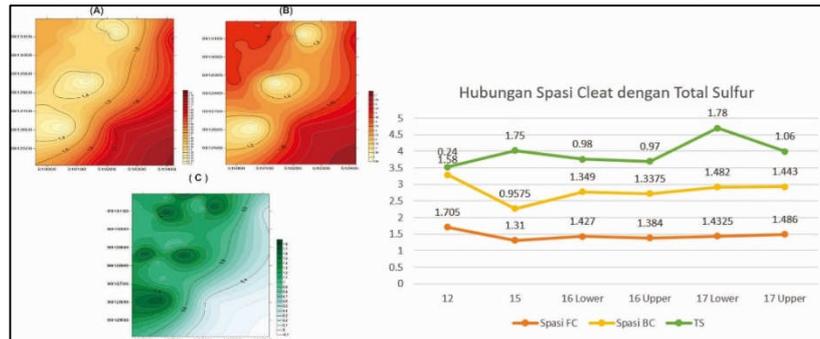
Lapisan batubara yang memiliki spasi *face cleat* maupun spasi *butt cleat* yang rendah, memiliki kandungan *ash* pada lapisan batubara yang tinggi. Hal ini ditunjukkan pada gambar A dan B yang berwarna kuning muda atau tepatnya pada *seam 15* menunjukkan kandungan *ash* yang tinggi pada gambar C ditunjukkan dengan kontur berwarna hijau tua (Gambar 20). Pada grafik ditunjukkan pada *seam 15* trend garis oranye (spasi FC) nilai 1.31 cm dan trend garis kuning (spasi BC) nilai 0.9575 cm memiliki trend turun, namun garis hijau (nilai *ash*) dengan nilai 4.48% menunjukkan trend yang naik. Hal ini dikarenakan bahwa semakin kecil spasi maka semakin rapat dan banyak *cleat* yang ada pada lapisan batubara tersebut. Oleh karena itu spasi *face cleat* dan *butt cleat* mempengaruhi kandungan *ash* pada lapisan batubara dengan **hubungan negatif** atau **berbanding terbalik**.



Gambar 20. Hubungan Spasi Cleat Terhadap Nilai Ash Menggunakan Metode Interpolasi dan Grafik

Hubungan Spasi Cleat Terhadap Nilai Total Sulfur

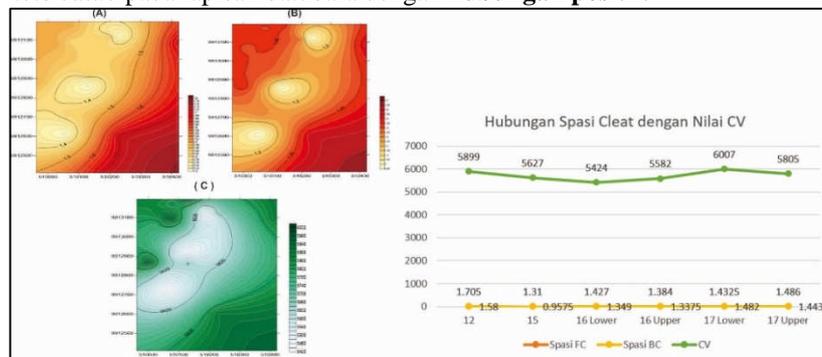
Lapisan batubara menunjukkan bahwa lapisan batubara yang memiliki spasi *face cleat* maupun *butt cleat* yang rendah, memiliki kandungan total sulfur pada lapisan batubara yang tinggi. Hal ini ditunjukkan pada gambar A dan B yang berwarna kuning muda atau tepatnya pada *seam 15* menunjukkan kandungan total sulfur yang tinggi pada gambar C ditunjukkan dengan kontur berwarna hijau tua (**Gambar 21**). Namun pada gambar C menunjukkan 2 area yang memiliki nilai total sulfur yang tinggi, hal tersebut dikarenakan pada *cleat seam 17 lower* terisi oleh mineral sulfur. Pada grafik ditunjukkan pada *seam 15* trend garis oranye (spasi FC) dengan nilai 1.31 cm dan trend garis kuning (spasi BC) dengan nilai 0.9575 cm memiliki trend turun, namun garis hijau (nilai total sulfur) dengan nilai 1.75% memiliki trend naik. Oleh karena itu spasi *face cleat* dan *butt cleat* mempengaruhi kandungan total sulfur pada lapisan batubara dengan **hubungan negatif** atau **berbanding terbalik**. Hal ini dikarenakan bahwa semakin kecil spasi maka semakin rapat dan banyak *cleat* yang ada pada lapisan batubara tersebut



Gambar 21. Hubungan Spasi Cleat Terhadap Nilai Total Sulfur Menggunakan Metode Interpolasi dan Grafik

Hubungan Spasi Cleat Terhadap Nilai Calorific Value

Lapisan batubara yang memiliki spasi *face cleat* maupun *butt cleat* yang rendah, memiliki kandungan *calorific value* pada lapisan batubara yang rendah juga. Hal ini ditunjukkan pada gambar A, B yang berwarna kuning muda atau tepatnya pada *seam 15* menunjukkan kandungan *calorific value* yang rendah pada gambar C ditunjukkan dengan kontur berwarna putih (**Gambar 22**). Oleh karena itu spasi *face cleat* dan *butt cleat* mempengaruhi kandungan *calorific value* pada lapisan batubara dengan **hubungan positif**.

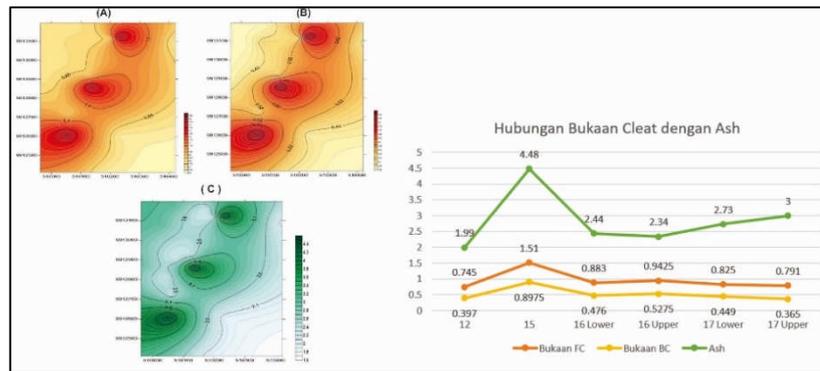


Gambar 22. Hubungan Spasi Cleat Terhadap Nilai Calorific Value Menggunakan Metode Interpolasi dan Grafik

Hubungan Bukaan Cleat Terhadap Analisis Proksimat

Hubungan Bukaan Cleat Terhadap Nilai Ash

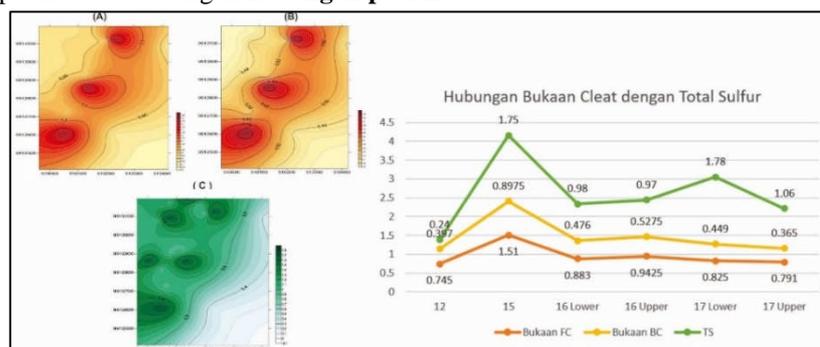
Lapisan batubara yang memiliki bukaan *face cleat* maupun *butt cleat* yang tinggi, memiliki kandungan *ash* pada lapisan batubara yang tinggi pula. Hal ini ditunjukkan pada gambar A dan B yang berwarna merah atau tepatnya pada *seam 15* menunjukkan kandungan *ash* yang tinggi pada gambar C ditunjukkan dengan kontur berwarna hijau tua (**Gambar 23**). Pada grafik ditunjukkan pada *seam 15* trend garis oranye (bukaan FC) dengan nilai 1.51 mm dan trend garis kuning (bukaan BC) dengan nilai 0.89 mm memiliki trend naik, begitu juga dengan trend garis hijau (nilai ash) dengan nilai 4.48% memiliki trend yang naik juga. Oleh karena itu bukaan *face cleat* dan *butt cleat* mempengaruhi kandungan *ash* pada lapisan batubara dengan **hubungan positif**.



Gambar 23. Hubungan Bukaian *Cleat* Terhadap Nilai *Ash* Menggunakan Metode Interpolasi dan Grafik

Hubungan Bukaian *Cleat* Terhadap Nilai Total Sulfur

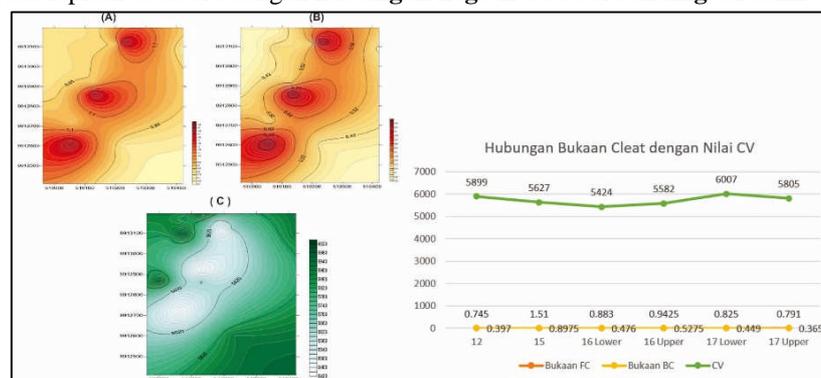
Lapisan batubara yang memiliki bukaian *face cleat* maupun *butt cleat* yang tinggi, memiliki kandungan total sulfur pada lapisan batubara yang tinggi pula. Hal ini ditunjukkan pada gambar A dan B yang berwarna merah atau tepatnya pada *seam 15* menunjukan kandungan total yang tinggi pada gambar C ditunjukkan dengan kontur berwarna hijau tua (**Gambar 24**). Namun pada gambar C menunjukan 2 area yang memiliki nilai total sulfur yang tinggi, hal tersebut dikarenakan pada *cleat seam 17 lower* terisi oleh mineral sulfur. Pada grafik ditunjukkan pada *seam 15* trend garis oren (bukaian FC) dengan nilai 1.51 mm dan trend garis kuning (bukaian BC) dengan nilai 0.89 mm memiliki trend naik, begitu juga dengan trend garis hijau (nilai total sulfur) dengan nilai 1.75% memiliki trend yang naik juga. Oleh karena itu bukaian *face cleat* dan *butt cleat* mempengaruhi kandungan total sulfur pada lapisan batubara dengan **hubungan positif**.



Gambar 24. Hubungan Bukaian *Cleat* Terhadap Nilai Total Sulfur Menggunakan Metode Interpolasi dan Grafik

Hubungan Bukaian *Cleat* Terhadap Nilai *Calorific Value*

Lapisan batubara yang memiliki bukaian *face cleat* maupun *butt cleat* yang tinggi, memiliki kandungan *calorific value* pada lapisan batubara yang rendah. Hal ini ditunjukkan pada gambar A dan B yang berwarna merah atau tepatnya pada *seam 15* menunjukkan kandungan *calorific value* yang rendah pada gambar C ditunjukkan dengan kontur berwarna putih (**Gambar 25**). Oleh karena itu bukaian *face cleat* dan *butt cleat* mempengaruhi kandungan *calorific value* pada lapisan batubara dengan **hubungan negatif** atau **berbanding terbalik**.



Gambar 25. Hubungan Bukaian *Cleat* Terhadap Nilai *Calorific Value* Menggunakan Metode Interpolasi dan Grafik

PENUTUP

Kesimpulan

Kondisi Pola Pengaliran daerah penelitian mempunyai pola pengaliran radial dan *sub-trellis*. Kondisi geomorfologi dibagi menjadi delapan bentuklahan. Bentuklahan Lahan Penambangan, Kolam Tambang/*Sump*, Lahan Timbunan/*Disposal*, Tubuh Sungai, Dataran Limpah Banjir, Rawa, Bukit Sisa, dan Perbukitan Struktural. Stratigrafi daerah penelitian dari tua ke muda disusun oleh Satuan batulempung Balikpapan dan Satuan batupasir Balikpapan (Miosen Tengah-Miosen Akhir) dan Endapan Aluvial yang berumur Holosen – Resen. Berdasarkan penampang stratigrafi terukur didapatkan lingkungan pengendapan daerah penelitian yaitu *Transisional Lower Delta Plain*. Struktur geologi pada daerah penelitian berupa kekar gerus, *cleat*, serta lipatan antiklin *Upright Gentle Plunging Fold*.

Berdasarkan hasil stereografis rotasi *cleat* pada daerah penelitian merupakan jenis endogenik yaitu *cleat* yang terbentuk saat bersamaan dengan pengendapan batubara. Peringkat batubara pada daerah penelitian termasuk dalam *Subbituminous A dan B*. Berdasarkan karakteristik *face cleat* dan *butt cleat* yang diamati meliputi panjang, spasi, dan bukaan sangat berpengaruh dalam kualitas batubara terutama pada nilai *ash*, total sulfur, dan *calorific value*.

Saran

Menambah variabel kuantitatif data *atribute cleat* agar hasil semakin akurat. Menggunakan kualitas batubara dengan parameter lainnya seperti total *moisture*, *fixed carbon*, dan *volatile matter*. Analisis mikrofosil polen untuk mendapatkan umur formasi. Pengambilan data *cleat* sebaiknya menggunakan metode *scanline* yang panjang agar terlihat kuantitas *cleat* yang beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyani, N., Suharmono, Momen, M., Djaelani, S., Sodli, A., Satria, A., Murtani, A.,S. (2013). Integrated Cleat Analysis and Coal Quality on CBM Exploration in Sangatta II Field, Kutai Basin, East Kalimantan. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 37.
- Allen, G. P., dan Chamber, J. L. C. (1998). Sedimentation in The Modern and Miocene Mahakam Delta, 24th. *Indonesian Petroleum Association Proceedings*, 1998, p.7-231.
- Fluety, M.J. (1964). *The Description of Folds*. London: Geologist Association.
- Horne, J.C., Perm, F. T. Caruccio, and B. P. Baganz. (1978). Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian. *AAPG Bulletin*, vol 62, no 12.
- Laubach, S. E., Marrett, R. A., Olson, J. E., & Scott, A. R. (1998). Characteristics and Origins of Coal Cleat. *International Journal of Coal Geology*, 35(1-4), 175-207.
- Pettijohn, F.J.(1975). *Sedimentary Rocks*. Harper and Row Limited: New York.
- Richard, C. Selley. (2000) *Applied Sedimentology Second Edition*. Academic Press: San Diego.
- Satyana, A. H., Nugroho, D., dan Surantoko, I.(1999). Tectonic Controls on The Hydrocarbon Habitats of The Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: Major Dissimilarities in Adjoining Basins. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17(1-2), 99-122.
- Standard, A.S.T.M. (2005). *D388-05 in Classification of Coal by Rank*, ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States.
- Sukardi, N., Sikumbang, I., Umar, Sunaryo, R. (1995). *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan Timur Skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.