

KARAKTERISTIK *CLEAT* TERHADAP PERMEABILITAS DAN KANDUNGAN GAS PADA BATUBARA ANGGOTA M3 FORMASI MUARAENIM DI DAERAH MANGUNJAYA, PROVINSI SUMATRA SELATAN

CLEAT CHARACTERIZATION ON PERMEABILITY AND GAS CONTENT IN M3 MEMBERS OF MUARAENIM FORMATION AT MANGUNJAYA AREA, SOUTH SUMATRA PROVINCE

Muhammad Abdurachman Ibrahim¹ dan Tito Harianto²

¹Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi

²Universitas Padjajaran

abdurachman.ibrahim@esdm.go.id

ABSTRAK

Cekungan Sumatra Selatan merupakan cekungan batubara dengan sumber daya batubara terbesar kedua di Indonesia. Hal ini membuka peluang untuk dapat memanfaatkannya, salah satunya yaitu melakukan eksplorasi gas metana batubara. Kandungan gas dan nilai permeabilitas sangat memengaruhi potensi gas metana batubara pada suatu wilayah. Permeabilitas batubara sangat dikontrol oleh sistem *cleat* yang berkembang pada lapisan batubara tersebut. Studi mengenai karakteristik *cleat* pada batubara sangat diperlukan untuk melihat kemungkinan jalur keluarnya gas metana dalam batubara. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara karakteristik batubara, sistem *cleat* yang berkembang, dan pendekatan nilai permeabilitasnya. Anggota M3 Formasi Muaraenim diambil sampel batubaranya untuk dilakukan analisis *microcleat*. Anggota M3 ini merupakan lapisan batubara yang tidak dalam, memiliki ketebalan yang cukup baik, dan merupakan target selain anggota M2 yang telah terbukti mempunyai potensi gas metana batubara. Analisis *microcleat* dilakukan untuk mengamati *face cleat*, *butt cleat*, *aperture*, dan spasi. Korelasi hasil perhitungan permeabilitas terhadap kandungan gas dan kedalaman lapisan batubara memberikan gambaran bahwa dengan semakin besar nilai permeabilitas, maka semakin besar kandungannya.

Kata kunci: gas metana batubara, *cleat*, permeabilitas, kandungan gas

ABSTRACT

South Sumatra Basin is the second largest resource of coal basin in Indonesia. The abundance of coal in this basin has opened up opportunities to exploring coal bed methane. Gas content and permeability affect the potential of coal bed methane in an area. Coal permeability is highly controlled by the cleat system that develops in the coal seam. Studies on cleat characterization in coal are mandatory to see the possible escape routes of methane gas in coal. This research was conducted to determine the relationship between the characteristics of coal, cleat system, and permeability. Coals from M3 of Muaraenim Formation were sampled for microcleat analysis. Coals from M3 is not to deep, having a good coal thickness, and one of the coal bed methane seams target, M3 members can be another coal bed methane target, besides M2 members which have proved to be coal bed methane target. Microcleat analysis was performed to observe face cleat, butt cleat, aperture and spacing. The correlation between permeability to gas content and depth of coal, illustrates that the greater permeability, the greater gas content.

Keywords: coal bed methane, *cleat*, permeability, gas content

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya batubara yang cukup signifikan, tetapi batubara yang terdapat pada kedalaman >100 m masih banyak yang belum terungkap. Batubara bawah permukaan memiliki banyak potensi yang dapat dikembangkan, di antaranya tambang dalam (*underground mining*), mengubahnya menjadi gas melalui *underground coal gasification* dan diekstraksi kandungan gas metananya.

Cekungan Sumatra Selatan merupakan cekungan batubara dengan sumber daya batubara terbesar kedua di Indonesia. Sumber dayanya sebesar 51 miliar ton dan cadangannya sebesar 12 miliar ton. Sebagian besar batubara di cekungan ini termasuk batubara peringkat rendah hingga sedang (<6.100 kal/gr, adb) (PSDMBP, 2020). Keterdapatannya batubara yang melimpah ini membuka peluang untuk dapat dimanfaatkan, salah satunya dengan memproduksi gas metana yang ada di batubara secara *in-situ*.

Eksplorasi dan eksploitasi gas metana batubara (GMB) belum dilakukan secara intensif, karena terbatasnya informasi dan studi mengenai gas tersebut. Salah satu aspek yang memengaruhi keekonomian suatu lapangan GMB adalah nilai permeabilitas. Permeabilitas batubara akan sangat dikontrol oleh sistem *cleat* yang berkembang pada lapisan batubara tersebut. Studi mengenai karakteristik *cleat* pada batubara sangat diperlukan untuk melihat kemungkinan jalur keluarnya gas metana dalam batubara. *Cleat* dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu aktivitas tektonik, struktur geologi, dan proses pembatubarannya (Linggadipura, dkk., 2016; Yudha dan Purnama, 2019).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara karakteristik batubara, sistem *cleat* yang berkembang, dan pendekatan nilai permeabilitasnya.

GEOLOGI REGIONAL

Secara regional, daerah penyelidikan termasuk dalam Cekungan Sumatra Selatan (Gambar 1). Cekungan ini terbentuk pada Pra-Tersier hingga Tersier Awal pada saat fasa ekstensi barat-timur (Darman dan Sidi, 2000).

Stratigrafi Tersier Cekungan Sumatra Selatan dibagi menjadi dua sekuen, yaitu fasa transgresif dan regresif. Kelompok Telisa, yaitu Formasi Gumai atau Telisa masuk dalam fasa transgresif. Kelompok Palembang, yaitu Formasi Airbenakat (Palembang Bawah), Formasi Muaraenim (Palembang Tengah), dan Formasi Kasai (Palembang Atas) masuk dalam fasa regresif (Patra Nusa Data, 2006).

Struktur geologi yang ada merupakan bagian dari fasa tektonik kompresi Plio-Plistosen yang membentuk sesar-sesar dan antiklinorium pada batuan Tersier di Cekungan Sumatra Selatan. Antiklin dan sinklin saling berhubungan dengan arah sumbu lipatan barat laut-tenggara. Jurus perlapisan batuan secara regional berarah barat laut-tenggara dan timurlaut-baratdaya, dengan kemiringan lapisan batuan mengikuti sayap lipatan. Sesar regional berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya (Patra Nusa Data, 2006).

Formasi Muaraenim sebagai formasi pembawa batubara mempunyai penyebaran cukup luas di daerah penelitian. Mengacu pada penyelidikan Shell (1978), dalam Ilyas dkk. (2000), formasi ini dibagi menjadi empat anggota. Urutan anggota dari tua ke muda, yaitu Anggota M1, M2, M3, dan M4. Setiap anggota memiliki lapisan batubara utama dengan ciri khas masing-masing lapisan (Tabel 1).

Anggota M1 mempunyai lapisan batubara utama, yaitu Lapisan Kladi dan Lapisan Merapi. Anggota M1 disusun oleh sedimen

klastik halus yang terdiri dari batupasir, batulempung, batulanau, dan sisipan lapisan batubara tipis tidak menerus (Ilyas dkk., 2000).

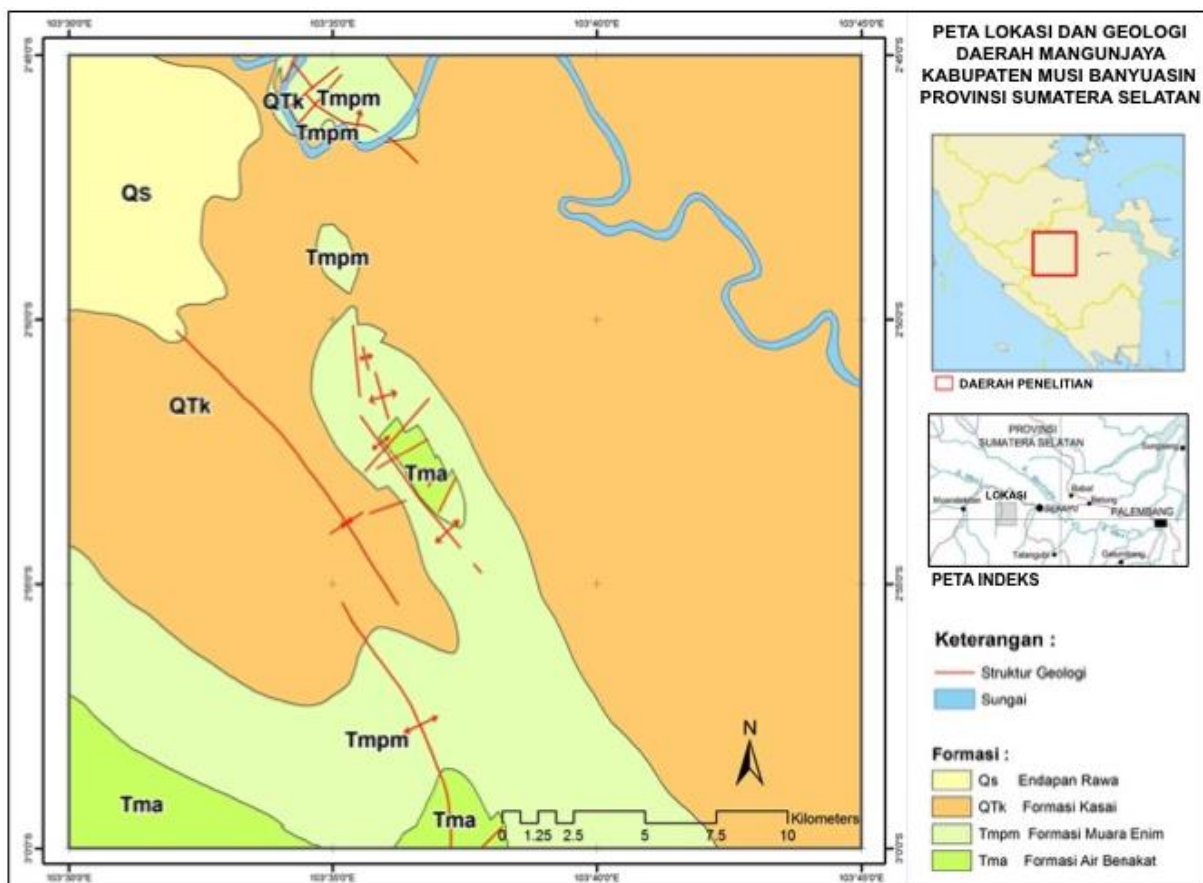
Anggota M2 mempunyai lapisan batubara utama, yaitu Lapisan Petai, Lapisan Suban/Pengadang, dan Lapisan Mangus. Anggota M2 disusun oleh perselingan batulanau dengan batulempung dan sisipan batupasir dan batubara (Ilyas dkk., 2000).

Anggota M3 mempunyai lapisan batubara utama, yaitu Lapisan Burung dan Lapisan Benuang. Anggota M3 disusun oleh batupasir dan sedikit perselingan batulanau dengan batulempung serta

beberapa lapisan batubara (Ilyas dkk., 2000).

Anggota M4 mempunyai lapisan batubara utama, yaitu Lapisan Kebon, Lapisan Babat, Lapisan Lematang, dan Lapisan Niru. Anggota M4 disusun oleh perselingan batupasir dan batulempung di bagian bawah, perselingan batulanau, dan batulempung di bagian atas serta beberapa lapisan batubara (Ilyas dkk., 2000).

Formasi Muaraenim di daerah penelitian mempunyai ketebalan antara 400-600 m yang diketahui dari hasil pengeboran minyak bumi dan mempunyai kemiringan relatif kecil, umumnya kurang dari 10° (Ilyas dkk., 2000).



Gambar 1. Peta lokasi dan geologi daerah penelitian (Ibrahim dkk., 2017)

Tabel 1. Stratigrafi daerah Mangunjaya dan sekitarnya (Shell, 1978, dalam Ilyas, dkk., 2000)

UMUR		FORMASI & ANGGOTA		CEKUNGAN SUMATERA SELATAN (Shell Mijnbouw, 1978)	
				PEMERIAN LITOLOGI	LAPISAN BB
PLIOSEN		KASAI		Batulempung, biru-hijau, batupasir hijau glaukonitan, batu apung, lensa batubara	
M I O S E N	A T A S	M	M4	Batulempung tufaan, hijau kebiruan, lempung pasiran, pasir halus-kasar, abu-abu – putih, sedikit glaukonit tebal 120 – 200 m, mengandung lapisan batubara Niru, Lematang, Babat dan Kebon	■ Niru ■ Lematang ■ Babat ■ Kebon
		A	M3	Perselingan batupasir dan batulanau, biru-hijau, batulempung abu-abu, hijau dan coklat, horizon pasir 3 – 6 m terletak 40 m diatas lapisan batubara Mangus dan terdapat kantong-kantong gas. Tebal 100 – 280 m mengandung lapisan batubara Benuang dan Burung	■ Benuang ■ Burung
		E	M2	Batulempung dan batulempung pasiran, coklat-abu-abu, batupasir halus – sedang, abu-abu coklat, bagian bawah berwarna hijau abu-abu, tebal 40 – 120 m mengandung lapisan batubara Mangus, Suban/Pengadang, dan Petai	■ Mangus ■ Suban/Pengadang ■ Petai
		I	M1	Batupasir, batulanau dan batulempung, abu-abu kecoklatan dan sedikit glaukonitan, tebal 100 – 250 m mengandung lapisan batubara Merapi dan Kladi	■ Merapi ■ Kladi
	N	T E N G A H	AIR BENAKAT		Batulempung dan serpih pasiran, abu-abu kecoklatan dan abu-abu kebiruan, sebagian napalan, batupasir halus, abu-abu kehijauan, glaukonitan.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis *microcleat* dengan mikroskop petrografi batuan terhadap sampel batubara dari lapisan I, J (Lapisan Benuang), dan K (Lapisan Burung), yaitu anggota M3 Formasi Muaraenim.

Analisis *microcleat* digunakan untuk melihat *face cleat*, *butt cleat*, mengukur spasi, dan mengukur *aperture* untuk menghitung pendekatan permeabilitas. Rumus perhitungan pendekatan permeabilitas berdasarkan sistem *cleat* menggunakan rumus dari Harpalani dan Chen (1995) dalam Suarez-Ruiz dan Crelling (2008) yang diadopsi untuk digunakan pada lapisan batubara. Rumus tersebut sebagai berikut:

$$k = b^3/12s$$

- dengan k = permeabilitas (mD)
- b = lebar rekahan/*aperture* (mm)
- s = *spacing* (mm)

Analisis laboratorium seperti peringkat batubara, proksimat, petrografi organik, kandungan gas, dan komposisi gas mengacu pada laporan batubara daerah Mangunjaya PSDMBP (2017).

Analisis data dilakukan dengan cara menghubungkan semua data yang ada menggunakan korelasi regresi, kemudian diambil kesimpulan melihat faktor-faktor yang ada.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lapisan Batubara

Data batubara pada penelitian ini didapatkan dari hasil pengeboran pada titik MJ02 yang telah dilakukan oleh PSDMBP pada tahun 2017 di daerah Mangunjaya. Bor MJ02 memiliki total kedalaman 485 m, menembus 11 lapisan batubara, dengan ketebalan bervariasi antara 0,36 s.d.14,35 m. Lapisan batubara diberikan notasi E, F, G, I, J, K, L, M, N, O, dan P. Lapisan batubara disetarakan dengan Anggota M4, yaitu Lapisan Kebon (Lapisan E), Anggota

M3 yaitu Lapisan Benuang (Lapisan J) dan Burung (Lapisan K), serta Anggota M2 yaitu Lapisan Mangus (Lapisan O) dan Suban (Lapisan P), sedangkan Lapisan F, G, I, L, M, N merupakan lapisan gantung atau bukan merupakan lapisan utama, seperti terlihat pada Tabel 2.

Batubara di daerah penelitian secara megaskopis mempunyai warna hitam kecoklatan, kusam (10% cerah), gores coklat kehitaman, mengotori tangan, terdapat resin dan pirit, masih terlihat sisa tumbuhan, pengotor pada beberapa bagian berupa batubara lempungan dan batupasir kasar, pecahan subkonkoidal, *cleat* kadang terlihat, keras, rapuh, batas kontak dengan lapisan batuan lainnya gradasi hingga tegas (Ibrahim dkk., 2017).

Penelitian ini mengambil sampel batubara untuk dilakukan analisis *microcleat* pada lapisan I, J, dan K. Lapisan-lapisan batubara ini merupakan Anggota M3 Formasi Muaraenim. Anggota M3 merupakan lapisan batubara yang cukup tebal, dengan kedalaman lapisan batubara yang belum dalam, serta peringkat batubara sedang (5.100-6.100 kal/gr, adb). Anggota M3 ini dapat menjadi target batubara selain anggota M2 yang telah terbukti mempunyai potensi gas metana batubara.

Batubara Lapisan I pada lubang bor MJ02 berada pada kedalaman 79,30-81,18 meter dengan ketebalan 1,88 meter. Secara megaskopis berwarna hitam kecoklatan, masih terdapat sisa tumbuhan, dan berlapis. Kontak tajam planar dengan batulempung di bagian atasnya dan tajam tak beraturan dengan batupasir halus di bagian bawah (Ibrahim dkk., 2017).

Batubara Lapisan J/Benuang pada lubang bor MJ02 berada pada kedalaman 93,00-99,25 meter dengan ketebalan 6,25 meter. Lapisan batubara ini berwarna hitam kecoklatan, masih terdapat sisa tumbuhan, dan berlapis. Kontak tajam planar dengan batulempung di bagian atasnya dan tajam tak beraturan dengan batupasir halus dibagian bawah (Ibrahim dkk., 2017).

Batubara Lapisan K/Burung pada lubang bor MJ02 berada pada kedalaman 117,65-123,33 meter dengan ketebalan 5,68 meter. Pengotor pada lapisan batubara ini hanya resin dengan nodul batupasir, terdapat sisa tumbuhan, berlapis, kontak atas gradasi tak beraturan dengan batulanau, dan kontak bawah tegas planar dengan batupasir sangat halus hingga halus (Ibrahim dkk., 2017).

Tabel 2. Kedalaman lapisan batubara dari bor MJ02 (Ibrahim dkk., 2017)

Kedalaman Batubara MJ02			
Atap Lapisan (m)	Dasar Lapisan (m)	Tebal (m)	Lapisan Batubara
9,20	23,55	14,35	E / Kebon
27,07	29,33	2,26	F
44,50	45,45	0,95	G
79,30	81,18	1,88	I
93,00	99,25	6,25	J / Benuang
117,65	123,33	5,68	K / Burung
152,16	152,52	0,36	L1
153,25	153,90	0,65	L2
182,45	182,85	0,40	M
228,16	228,96	0,80	N
260,46	271,10	10,64	O / Mangus
281,30	282,80	1,50	P / Suban

Hasil analisis proksimat dan nilai kalori batubara dari Lapisan I, J, dan K (Tabel 3), yaitu kandungan karbon tertambat (*Fixed Carbon / FC*) antara 37,25-42,25% (adb), kandungan air (*Moisture / M*) antara 9,78-12,03% (adb), zat terbang (*Volatile Matter / VM*) antara 43,16-48,66% (adb), kandungan abu (*Ash*) antara 2,85-4,43% (adb), dan berat jenis antara 1,38-1,46. Nilai kalori batubara antara 5.561-5.952 kal/gram (adb) atau 6.596-6.908 kal/gram (daf). Rata-rata nilai kalori Lapisan I, J, dan K yaitu 5.868 kal/gram (adb), 5.774 kal/gram (adb), dan 5.735 kal/gram (adb).

Hasil analisis petrografi organik (Tabel 3) memiliki nilai reflektansi vitrinit antara 0,24-0,32%. Komposisi maseral didominasi oleh vitrinit antara 58,4-92,6%, inertinit antara 1,8-33,6%, dan liptinit antara 0,8-13,2%. Material mineral yang ditemukan berupa lempung antara 0,8-7,6%, oksida besi pada beberapa sampel sebesar 0,2%, dan pirit antara 0,4-2,4%. Rata-rata reflektansi vitrinit Lapisan I, J, dan K yaitu 0,27%, 0,27%, dan 0,28%. Berdasarkan ASTM (1992), dilihat dari nilai reflektansi vitrinit, maka batubara Lapisan I, J, dan K termasuk dalam batubara peringkat lignit.

Menurut Sosrowidjojo (2013), *reservoir* lapisan batubara di Muaraenim yang mempunyai potensi GMB memiliki maseral vitrinit antara 58,9-83%, reflektansi vitrinit antara 0,3-0,5%, kandungan karbon tertambat (FC) antara 18,4-48,4% (adb), kandungan air (M) antara 12,4-24,5% (adb), zat terbang (VM) antara 29,1-53,97% (adb), kandungan abu (*ash*) antara 5,6-19,8% (adb), dan berat jenis antara 1,3-1,5. Berdasarkan nilai-nilai properti batubara untuk GMB tersebut, lapisan batubara I, J, dan K pada penelitian ini masih berada pada rentang tersebut, sehingga menjanjikan untuk menjadi *reservoir* GMB.

Potensi GMB

Analisis kandungan gas dalam batubara dilakukan dengan metode desorpsi menggunakan kanister, sementara analisis komposisi gas dilakukan menggunakan alat gas kromatografi yang diuji pada saat kegiatan lapangan. Hasil analisis komposisi gas menunjukkan prosentase gas metana dan gas lainnya seperti hidrogen, oksigen, nitrogen, dan karbondioksida.

Kandungan gas total dalam batubara rata-rata dari Lapisan I sebesar 2,1025 scf/ton, Lapisan J sebesar 4,9462 scf/ton, dan Lapisan K sebesar 8,5177 scf/ton. Prosentase gas metana rata-rata Lapisan I sebesar 11,85%, Lapisan J sebesar 23,22%, dan Lapisan K sebesar 47,22%. Kandungan gas metana rata-rata dari Lapisan I sebesar 0,2485 scf/ton, Lapisan J sebesar 1,1617 scf/ton, dan Lapisan K sebesar 3,9999 scf/ton. Kandungan gas dalam batubara meningkat dengan semakin dalamnya lapisan batubara. Prosentase gas metana juga meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman lapisan batubara (Tabel 4).

Berdasarkan hasil eksplorasi GMB oleh badan usaha di Cekungan Sumatra Selatan yang dikumpulkan Divisi Perencanaan Eksplorasi (2016), lapisan batubara anggota M3 Formasi Muaraenim memiliki ketebalan antara 2-12 m, dengan kandungan gas antara 12-76 scf/ton, pada kedalaman >300 m (Tabel 5). Apabila kandungan gas dan komposisi gas metana semakin meningkat dengan diiringi bertambahnya kedalaman lapisan batubara, maka diinterpretasikan lapisan batubara I, J, dan K pada penelitian ini, dengan kedalaman >300 m, akan memiliki kandungan gas yang sesuai pada rentang tersebut, sehingga mempunyai potensi GMB.

Tabel 3. Hasil analisis proksimat dan petrografi organik (Ibrahim dkk., 2017)

Sampel	M	VM	FC	Ash	SG / RD	Kalori	Rata-rata kalori	% Rv	Komp, Maseral (%)			Material Mineral (%)			Rata-rata % Rv
									V	I	L	Lempung	Oksida Besi	Pirit	
I - 18	10,43	47,73	38,7	3,14	1,38	5840	5868	0,27	63,2	24,6	8,2	2	-	2,0	0,27
I - 19	10,16	48,66	37,25	3,93	1,44	5896		0,27	66,6	15,8	13,2	3,2	0,2	1,0	
J - 20	11,71	43,53	40,78	3,98	1,46	5561		0,26	92,6	1,8	2,8	1,4	0,2	1,2	0,27
J - 21	9,78	47,07	38,81	4,34	1,42	5817		0,24	61,0	29,4	3,2	5,6	-	0,8	
J - 23	11,53	46,06	39,02	3,39	1,44	5678	5774	0,24	74,0	18,2	2,8	3,0	0,2	1,8	0,27
J - 22	10,49	47,64	38,6	3,27	1,45	5860		0,31	58,4	33,6	0,8	5,4	-	1,8	
J - 24	10,63	48,46	37,7	3,21	1,41	5952		0,29	64,0	28,8	3,0	3,0	-	1,0	0,28
K - 25	11,70	44,96	39,06	4,28	1,44	5637		0,32	81,0	8,1	0,8	7,6	-	2,4	
K - 26	11,04	46,56	38,96	3,44	1,41	5828		0,26	72,2	9,6	2,0	4,6	-	1,6	0,28
K - 27	11,39	44,39	41,20	3,02	1,43	5805	5735	0,29	68,8	25,2	4,0	0,8	-	1,2	
K - 28	11,36	43,54	42,25	2,85	1,46	5728		0,28	74,2	22,0	1,0	2,4	-	0,4	0,4
K - 29	12,03	43,16	41,38	4,43	1,38	5677		0,27	76,4	11,0	8,6	3,6	-	0,4	

Tabel 4. Hasil kandungan dan komposisi gas dalam batubara (Ibrahim dkk., 2017)

Sampel	Kedalaman (m)	Q1 (ml)	Q2 (ml)	Q3 (ml)	Qtotal (ml)	Gas (scf/ton)	Rata-rata Gas (scf/ton)	CH4 rata-rata (%)	Rata-rata CH4 (%)	Gas metana (scf/ton)	Rata-rata Gas metana (scf/ton)
I - 19	80,55 - 81,10	0,00	112,00	0,00	112,00	2,25		11,38		0,26	
J - 20	93,60 - 94,15	21,00	143,00	0,00	164,00	3,51		15,10		0,53	
J - 21	94,58 - 94,13	50,80	274,00	0,00	324,80	5,83		14,54		0,85	
J - 23	96,10 - 96,65	35,70	230,50	0,00	266,20	4,57	4,95	31,61	23,22	1,44	1,16
J - 22	97,80 - 98,35	38,80	239,00	0,00	277,80	4,82		25,88		1,25	
J - 24	98,50 - 99,00	17,00	285,00	0,00	302,00	6,01		28,97		1,74	
K - 25	117,60 - 118,16	70,90	428,00	0,00	498,90	9,14		42,97		3,93	
K - 26	118,75 - 119,30	72,10	468,30	0,00	540,40	9,92		46,13		4,58	
K - 27	120,00 - 120,56	32,99	384,50	0,00	417,49	7,72	8,52	53,82	47,23	4,16	3,99
K - 28	120,95 - 121,50	26,70	383,00	0,00	409,70	7,55		50,34		3,80	
K - 29	122,75 - 123,31	27,70	427,00	0,00	454,70	8,25		42,88		3,54	

Tabel 5. Hasil Eksplorasi GMB di Cekungan Sumatra Selatan (Divisi Perencanaan Eksplorasi, 2016)

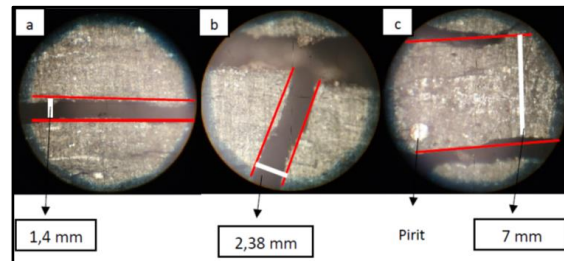
BASIN	AREA	WORKING AREA	DEPTH TARGET	FORMATION/ZONE	SEAMS	GAS CONTENT (Scf/ton)	PERMEABILITY (mD)	PRODUCTION TEST (gas)	
					THICKNESS (m)				
South Sumatera	Muara Enim	ME	450 - 650 m	Muara Enim	M4	x	15 - 46 Scf/Ton	48 - 90 mD	11 - 120 Mscfd
		ME I			M3	2 - 6 m	12 - 76 Scf/Ton	92 mD	
		ME II			M2	6 - 23 m	55 - 199 Scf/Ton	7 - 16 mD	
		ME III			M1	1 - 3 m	103 Scf/Ton	x	
	Suban	Suban I	400 - 550 m	Muara Enim	M4	5 - 18 m	18 - 22 Scf/Ton	38 - 52 mD	x
		Suban II			M3	x	60 - 74 Scf/Ton	x	
					M2	6 - 7 m	80 - 120 Scf/Ton	x	
					M1	x	x	x	
	Tanjung Enim	Tanjung Enim	350 - 500 m	Muara Enim	M4	x	x	x	0.03 Mscfd
					M3	x	x	x	
					M2	4 - 8 m	107 - 122 Scf/Ton	x	
					M1	x	x	x	
	Ogan Komeriing	Ogan Komeriing I Ogan Komeriing II	400 - 550 m	Muara Enim	M4	0.9 m	35 Scf/Ton	x	10 Mscfd
					M3	2 - 12 m	22 - 65 Scf/Ton	x	
					M2	2 - 14 m	33 - 89 Scf/Ton	10 - 35 mD	
					M1	x	x	x	
	Air Benakat	Air Benakat I Air Benakat II Air Benakat III	300 - 400 m	Muara Enim	M4	3 - 9.9 m	28 - 82 Scf/Ton	13 - 27 mD	x
					M3	2 - 8 m	x	x	
					M2	2.5 - 10 m	38 - 108 Scf/Ton	2 - 2.5 mD	
					M1	x	x	x	

Analisis Microcleat

Karakteristik *cleat* (rekahan batubara) dapat dilihat melalui pengamatan terhadap jenis *cleat*, jarak antar-*cleat* (spasi), lebar bukaan (*aperture*), pengisi, panjang, orientasi bidang *cleat*, dan derajat fragmentasi *cleat*. Terdapat dua *cleat* dalam batubara, yaitu *face cleat* yang merupakan *cleat* utama, biasanya tidak terpotong oleh bidang *cleat* lainnya, dan *butt cleat* yang merupakan bidang *cleat* lainnya, biasanya tegak lurus terhadap bidang *face cleat* dan terpotong oleh adanya *face cleat*. Analisis *microcleat* dilakukan di bawah mikroskop untuk melihat spasi *cleat*, *aperture*, pengisi, dan panjang *cleat*, terhadap delapan sampel batubara lapisan I, J, dan K.

Sampel I19 diperoleh dari lapisan batubara pada kedalaman 80,55-81,10 m. Hasil analisis *microcleat* pada sampel I19 memperlihatkan *cleat* yang banyak dan memiliki rekahan yang jelas, sehingga mudah untuk membedakan antara *face cleat* dan *butt cleat*. Batubara ini memiliki bukaan (*aperture*) yang sedang dan tidak terisi mineral. Selain itu terdapat juga bukaan yang sempit pada beberapa tempat, khususnya pada *butt cleat*. Jarak spasi antar-*cleat* lebar. Terdapat mineral

pirit pada sampel yang ditemukan pada bagian luar bukaan. Pengukuran *aperture* pada sampel ini menghasilkan 45 pengukuran *face cleat*, 25 pengukuran *butt cleat*, dan 18 pengukuran spasi (Gambar 2).



Gambar 2. Analisis *microcleat* sampel I19. a). *face cleat* b). *butt cleat* c). spasi

Sampel J21 diperoleh dari lapisan batubara pada kedalaman 94,13-94,58 m. Hasil analisis *microcleat* pada sampel J21 memperlihatkan rekahan yang banyak dan jelas, sehingga mudah untuk membedakan antara *face cleat* dan *butt cleat*. Memiliki variasi bukaan dari yang lebar hingga menyempit pada *face cleat*, serta di beberapa tempat terisi mineral. Pada *butt cleat* bukaan sedang hingga sempit. Jarak spasi antar-*cleat* lebar. Terdapat oksidasi pada sampel yang ditemukan pada bagian luar bukaan. Pengukuran *aperture* pada

sampel ini menghasilkan 42 pengukuran *face cleat*, 24 pengukuran *butt cleat*, dan 17 pengukuran spasi.

Sampel J23 diperoleh dari lapisan batubara pada kedalaman 96,10-96,65 m. Hasil analisis *microcleat* pada sampel J23 memperlihatkan rekahan yang banyak tetapi kurang jelas, sehingga sulit untuk membedakan antara *face cleat* dan *butt cleat*. Memiliki bukaan yang lebar, akan tetapi kebanyakan terisi mineral pada *face cleat*. Pada *butt cleat* bukaan sedang hingga sempit. Jarak spasi antar-*cleat* lebar. Terdapat sklerotinit dari jamur menunjukkan lingkungan oksidasi dan lembab, ditemukan pada bagian luar bukaan, serta banyak ditemukan mineral pada *aperture*. Pengukuran *aperture* pada sampel ini menghasilkan 42 pengukuran *face cleat*, 20 pengukuran *butt cleat*, dan 16 pengukuran spasi.

Sampel J24 diperoleh dari lapisan batubara pada kedalaman 98,50-99,00 m. Hasil analisis *microcleat* pada sampel J24 memperlihatkan rekahan yang banyak, di beberapa tempat memiliki rekahan yang hancur, sehingga sulit membedakan antara *face cleat* dan *butt cleat*. Pada beberapa tempat memiliki bukaan yang lebar dan masih terdapat mineral pirit serta proses oksidasi. Selain itu terdapat bukaan yang sempit dan tidak menerus, sehingga kemenerusan *cleat* terputus. Jarak spasi antar-*cleat* lebar. Pengukuran *aperture* pada sampel ini menghasilkan 47 pengukuran *face cleat*, 16 pengukuran *butt cleat*, dan 15 pengukuran spasi.

Sampel K25 diperoleh dari lapisan batubara pada kedalaman 117,60-118,16 m. Hasil analisis *microcleat* pada sampel K25 memperlihatkan rekahan yang banyak dan jelas, sehingga mudah untuk membedakan antara *face cleat* dan *butt cleat*. *Face cleat* memiliki bukaan yang lebar hingga sempit, pada beberapa tempat terisi mineral. *Butt cleat* memiliki bukaan yang sempit serta kemenerusan patah-patah, sehingga tidak menerus. Jarak spasi antar-*cleat* lebar. Pengukuran *aperture*

pada sampel ini menghasilkan 38 perhitungan *face cleat*, 23 pengukuran *butt cleat*, dan 16 pengukuran spasi.

Sampel K26 diperoleh dari lapisan batubara pada kedalaman 118,75-119,30 m. Hasil analisis *microcleat* pada sampel K26 memperlihatkan rekahan yang sedikit tetapi cukup jelas, sehingga mudah untuk membedakan antara *face cleat* dan *butt cleat*. *Face cleat* memiliki bukaan yang lebar hingga sempit. *Butt cleat* memiliki bukaan yang lebar, pada beberapa tempat terisi mineral, serta kemenerusan yang patah-patah. Jarak spasi antar-*cleat* lebar. Terdapat mineral pirit pada beberapa tempat di bagian luar *aperture*. Pengukuran *aperture* pada sampel ini menghasilkan 35 perhitungan *face cleat*, 18 pengukuran *butt cleat*, dan 14 pengukuran spasi.

Sampel K27 diperoleh dari lapisan batubara pada kedalaman 120,00-120,56 m. Hasil analisis *microcleat* pada sampel K27 memperlihatkan rekahan yang sedikit tetapi cukup jelas, sehingga mudah untuk membedakan antara *face cleat* dan *butt cleat*. *Face cleat* memiliki bukaan yang lebar, di sekitar dan bagian dalam *aperture* terdapat beberapa mineral. *Butt cleat* memiliki bukaan yang sedang hingga sempit, beberapa tempat terisi mineral serta kemenerusan patah-patah. Jarak spasi antar-*cleat* lebar. Terdapat mineral pirit di beberapa tempat. Pengukuran *aperture* pada sampel ini menghasilkan 32 perhitungan *face cleat*, 15 pengukuran *butt cleat*, dan 12 pengukuran spasi.

Sampel K28 diperoleh dari lapisan batubara pada kedalaman 120,95-121,50 m. Hasil analisis *microcleat* pada sampel K28 memperlihatkan rekahan yang sedikit tetapi cukup jelas, sehingga mudah untuk membedakan antara *face cleat* dan *butt cleat*. *Face cleat* memiliki bukaan yang cukup jelas. *Butt cleat* memiliki bukaan yang lebar hingga sempit, dengan kemenerusan yang patah-patah. Jarak spasi antar *cleat* lebar. Terdapat proses oksidasi pada beberapa tempat di luar bagian *aperture*. Pengukuran *aperture*

pada sampel ini menghasilkan 40 perhitungan *face cleat*, 20 pengukuran *butt cleat*, dan 14 pengukuran spasi.

Cleat yang bukaannya terisi oleh mineral akan cenderung menghambat gas keluar dibandingkan dengan *cleat* yang bukaannya terbuka. *Cleat* yang terisi ini juga akan mengurangi permeabilitas dari batubara. Hal ini terlihat pada beberapa sampel yang memiliki bukaan terisi mineral, *cleat* cenderung tidak menerus, sehingga dapat mempengaruhi nilai permeabilitas (Linggadipura, dkk., 2016; Yudha dan Purnama, 2019).

Cleat juga dapat terbentuk oleh adanya aktivitas tektonik dan proses pematubaraan. *Cleat* daerah Mangunjaya diinterpretasikan banyak dipengaruhi aktivitas tektonik. Hal ini terlihat oleh pengamatan jarak spasi *cleat* dan *aperture cleat* yang tidak mempunyai hubungan dengan proses pembebanan atau proses pematubaraan. *Cleat* akibat proses endogenik atau bersamaan pematubaraan akan cenderung tegak lurus bidang perlapisan, serta akibat tekanan dan temperatur *cleat* cenderung mengecil. *Cleat* akibat eksogenik atau gaya tektonik akan cenderung memiliki dua pasang *cleat* yang saling membentuk sudut, serta tidak terlalu berpengaruh terhadap tekanan dan temperatur (Linggadipura, dkk., 2016; Yudha dan Purnama, 2019).

Perhitungan Permeabilitas

Perhitungan permeabilitas dengan rumus merupakan metode pendekatan terhadap nilai permeabilitas dari suatu sampel batubara yang dianalisis *microcleat*. Pendekatan permeabilitas ini digunakan untuk membantu dalam menganalisis suatu *reservoir* GMB. Hasil permeabilitas dari rumus mungkin saja akan berbeda dengan hasil nilai permeabilitas dengan metode tes langsung, akan tetapi nilai pendekatan permeabilitas sangat berguna untuk analisis lebih lanjut. Perhitungan permeabilitas menggunakan data dari *face cleat* sebagai rekahan utama dalam batubara.

Sampel I19 memiliki nilai *aperture* 1,0 mm, spasi 3,6 mm, dan pendekatan permeabilitas sebesar 0,02 mD. Sampel J21 memiliki nilai *aperture* 1,6 mm, spasi 4,4 mm, dan pendekatan permeabilitas sebesar 0,08 mD. Sampel J23 memiliki nilai *aperture* 2,0 mm, spasi 6,6 mm, dan pendekatan permeabilitas sebesar 0,10 mD. Sampel J24 memiliki nilai *aperture* 1,2 mm, spasi 3,8 mm, dan pendekatan permeabilitas sebesar 0,04 mD. Sampel K25 memiliki nilai *aperture* 1,6 mm, spasi 3,7 mm, dan pendekatan permeabilitas sebesar 0,09 mD. Sampel K26 memiliki nilai *aperture* 1,8 mm, spasi 2,8 mm, dan pendekatan permeabilitas sebesar 0,17 mD. Sampel K27 memiliki nilai *aperture* 1,6 mm, spasi 5,4 mm, dan pendekatan permeabilitas sebesar 0,06 mD. Sampel K28 memiliki nilai *aperture* 2,4 mm, spasi 3,6 mm, dan pendekatan permeabilitas sebesar 0,32 mD.

Nilai pendekatan permeabilitas terkecil terdapat pada sampel I19 pada kedalaman 81,1 m, sedangkan terbesar terdapat pada sampel K28 pada kedalaman 121,50 m. Rata-rata nilai pendekatan permeabilitas lapisan I, J, dan K, yaitu 0,02 mD, 0,07 mD, dan 0,16 mD. Nilai permeabilitas dalam lapisan batubara meningkat dengan semakin dalamnya lapisan batubara (Tabel 6).

Apabila lapisan batubara I, J, dan K berada pada kedalaman target GMB, yaitu >300 m, maka berdasarkan penelitian semakin dalam lapisan batubara dengan nilai permeabilitas semakin bertambah, anggota M3 Formasi Muaraenim dapat mempunyai potensi GMB. Menurut Sosrowidjojo (2013), potensi *reservoir* GMB di Formasi Muaraenim mempunyai nilai permeabilitas hingga 10 mD, sedangkan menurut hasil eksplorasi GMB oleh badan usaha di Cekungan Sumatra Selatan yang dikumpulkan Divisi Perencanaan Eksplorasi (2016), nilai permeabilitas anggota M3 Formasi Muaraenim dapat mencapai 92 mD.

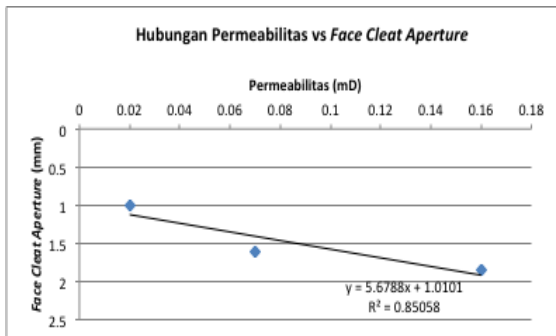
Tabel 6. Hasil Perhitungan Permeabilitas

Sampel	Kedalaman (m)	Face Cleat Aperture (mm)	Face Cleat Spasi (mm)	Pendekatan Permeabilitas (mD)	Rata-rata Pendekatan Permeabilitas (mD)
I - 19	80,55 - 81,10	1,00	3,60	0,02	0,02
J - 21	94,58 - 94,13	1,60	4,40	0,08	
J - 23	96,10 - 96,65	2,00	6,60	0,10	
J - 24	98,50 - 99,00	1,20	3,80	0,04	0,16
K - 25	117,60 - 118,16	1,60	3,70	0,09	
K - 26	118,75 - 119,30	1,80	2,80	0,17	
K - 27	120,00 - 120,56	1,60	5,40	0,06	
K - 28	120,95 - 121,50	2,40	3,60	0,32	

Korelasi Regresi

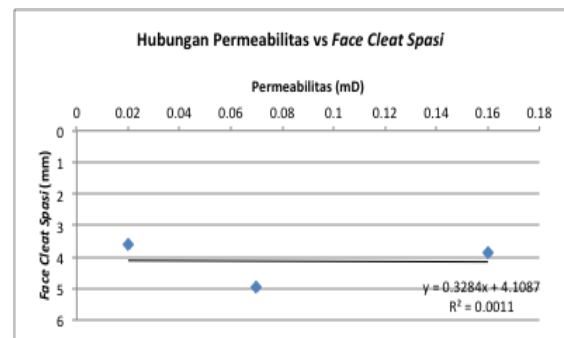
Hasil perhitungan permeabilitas dimasukkan dalam grafik untuk dihubungkan dengan berbagai parameter lainnya. Titik-titik korelasi dalam grafik juga dihubungkan dengan garis regresi linier untuk mendapatkan persamaan dan koefisien regresi. Nilai yang di plot hanya tiga mewakili nilai rata-rata berbagai parameter dari lapisan batubara I, J, dan K.

Keterkaitan antara pendekatan permeabilitas terhadap *face cleat aperture* berbanding lurus, sehingga semakin besar atau lebar *aperture face cleat* maka nilai permeabilitasnya juga semakin besar (Gambar 3).



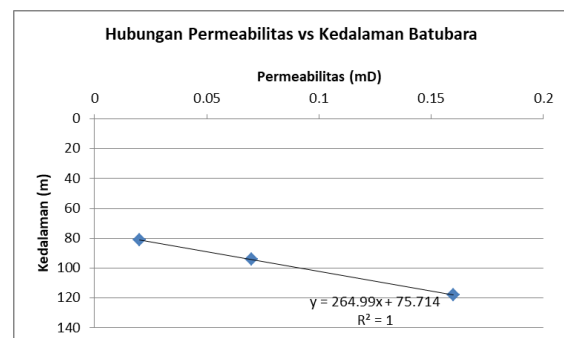
Gambar 3. Grafik permeabilitas terhadap *face cleat aperture*

Keterkaitan antara pendekatan permeabilitas terhadap *face cleat spasi* tidak saling berhubungan. Dapat diinterpretasikan bahwa pada penelitian ini nilai permeabilitas tidak berpengaruh langsung terhadap spasi *face cleat* (Gambar 4).



Gambar 4. Grafik permeabilitas terhadap *face cleat spasi*

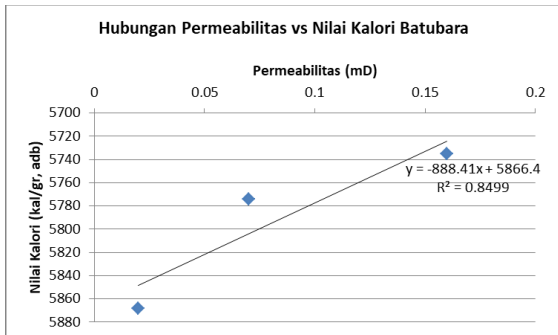
Keterkaitan antara pendekatan permeabilitas terhadap kedalaman lapisan batubara berbanding lurus, sehingga semakin dalam lapisan batubara maka semakin besar nilai permeabilitasnya (Gambar 5).



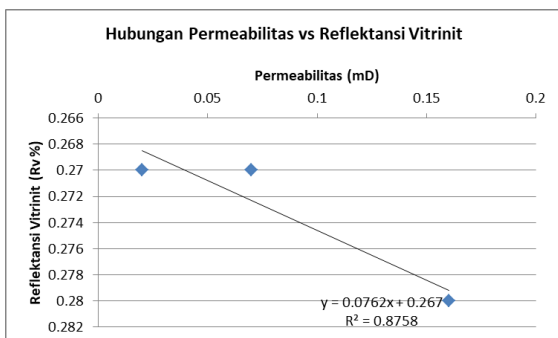
Gambar 5. Grafik permeabilitas terhadap kedalaman lapisan batubara

Keterkaitan antara pendekatan permeabilitas terhadap nilai kalori batubara berbanding terbalik (Gambar 6), sedangkan keterkaitan antara pendekatan permeabilitas terhadap reflektansi vitrinit

berbanding lurus (Gambar 7). Nilai kalori batubara meningkat dengan nilai permeabilitas yang semakin mengecil, sedangkan reflektansi vitrinit semakin meningkat diikuti nilai permeabilitas yang semakin besar.

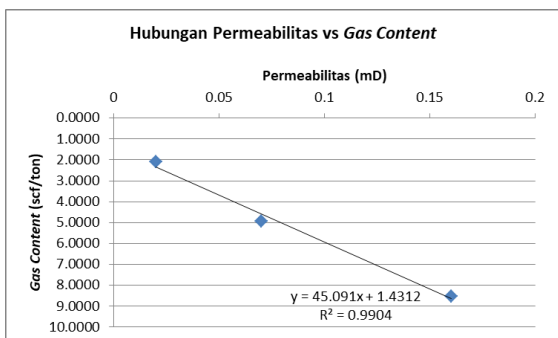


Gambar 6. Grafik permeabilitas terhadap nilai kalori batubara



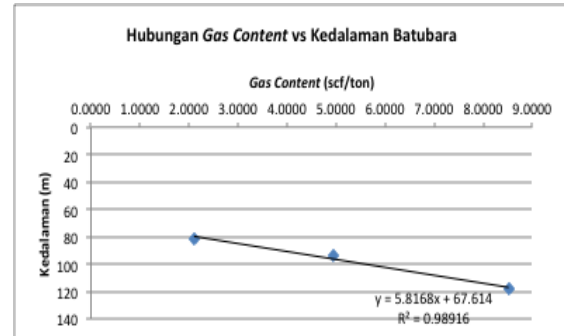
Gambar 7. Grafik permeabilitas terhadap reflektansi vitrinit

Keterkaitan antara pendekatan permeabilitas terhadap kandungan gas berbanding lurus, sehingga semakin besar nilai permeabilitas, maka semakin besar juga nilai kandungan gasnya (Gambar 8).



Gambar 8. Grafik permeabilitas terhadap gas content

Keterkaitan antara kedalaman lapisan batubara terhadap kandungan gas berbanding lurus, sehingga semakin dalam lapisan batubara maka semakin besar kandungan gas (Gambar 9).



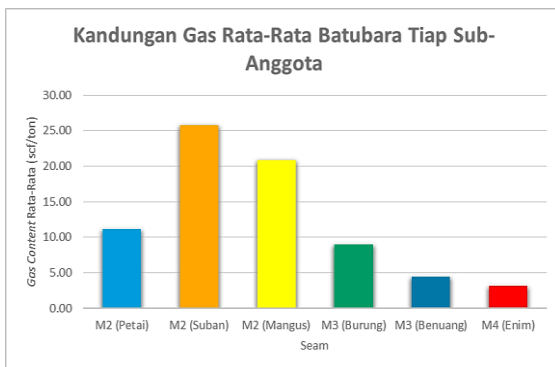
Gambar 9. Grafik kandungan gas terhadap kedalaman lapisan batubara

Grafik korelasi kedalaman terhadap kandungan gas mendapatkan persamaan $y = 5,8168 x + 67,614$, maka apabila dimasukkan nilai ambang batas kandungan gas minimal 10 scf/ton sesuai kriteria lapisan batubara yang berpotensi untuk GMB berdasarkan hasil diskusi dengan Divisi Perencanaan Eksplorasi (2016),, maka diperlukan kedalaman lapisan batubara minimal 125,78 m. Apabila kedalaman lapisan batubara sesuai kriteria potensi gas metana batubara minimal berada pada kedalaman 300 m, dihitung menggunakan persamaan, maka akan didapatkan kandungan gas sebesar 39,95 scf/ton.

Grafik korelasi permeabilitas terhadap kandungan gas mendapatkan persamaan $y = 45,091 x + 1,4312$, maka apabila dimasukkan kandungan gas minimal 10 scf/ton, didapatkan permeabilitas 0,19 mD. Apabila dimasukkan kandungan gas 39,95 scf/ton, dengan harapan mempunyai kedalaman lapisan batubara 300 m, maka diperlukan permeabilitas sebesar 0,85 mD. Dengan demikian, apabila tidak melihat faktor lain, hanya berdasarkan perhitungan, dengan asumsi korelasi kedalaman terhadap kandungan gas, serta korelasi permeabilitas terhadap kandungan gas, maka anggota M3 Formasi

Muaraenim pada daerah Mangunjaya akan mempunyai potensi gas metana batubara yang cukup menjanjikan sesuai kriteria potensi GMB, yaitu kedalaman minimal lapisan batubara 300 m, kandungan gas 39,95 scf/ton, dan diperlukan permeabilitas lapisan batubara sebesar 0,85 mD.

Cekungan Sumatra Selatan saat ini masih merupakan cekungan yang memiliki potensi GMB cukup baik di Indonesia. Berdasarkan hasil rangkuman data oleh Divisi Perencanaan Eksplorasi (2019) dalam paparan mengenai GMB, sebagian besar badan usaha GMB di Cekungan Sumatra Selatan menasar anggota M2 Formasi Muaraenim. Anggota M2 secara potensi memang lebih menjanjikan dibandingkan dengan anggota lainnya (Gambar 10), akan tetapi dalam penelitian ini memperlihatkan, apabila anggota M3 Formasi Muaraenim mempunyai kedalaman yang cukup untuk GMB, ketebalan batubara yang cukup tebal, serta kondisi *reservoir* GMB dengan permeabilitas yang bagus, maka bukan tidak mungkin anggota M3 akan menjadi target GMB di Cekungan Sumatra Selatan.



Gambar 10. Kandungan gas tiap anggota Formasi Muaraenim (Corinna, 2019)

Menurut Sosrowidjojo, 2013, potensi *reservoir* GMB di Formasi Muaraenim mempunyai nilai permeabilitas hingga 10 mD, *gas content* lebih besar dari 15 scf/ton, kandungan gas metana hingga 90%, tebal lapisan batubara berkisar 10 m, dengan kedalaman antara 400 – 800 m. Berdasarkan data tersebut, maka potensi GMB di Formasi Muaraenim masih cukup

baik, sehingga penelitian dan pembuktian masih sangat dibutuhkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis *microcleat*, semakin dalam lapisan batubara, maka *aperture face cleat* semakin lebar. Terlihat dari pengamatan dibawah mikroskop, beberapa mineral seperti pirit, lempung, dan oksida besi mengisi *cleat*.

Lebar *aperture face cleat* memengaruhi nilai permeabilitas. Semakin besar nilai permeabilitas, maka semakin besar kandungan gasnya. Penelitian membuktikan bahwa semakin dalam lapisan batubara, maka semakin besar nilai permeabilitas, dan semakin besar kandungan gasnya. *Cleat* pada daerah penelitian diinterpretasikan di kontrol oleh aktivitas tektonik, *aperture* yang diamati merupakan *aperture* eksogenik yang tidak terpengaruhi oleh pembebanan atau proses pembatubaraan. Hal ini dilihat dari hubungan antara peringkat batubara dari nilai kalori batubara dan reflektansi vitinit yang saling tidak berhubungan, serta tidak terkait dengan spasi dan *aperture cleat*. Kedalaman sampel batubara yang masih dangkal juga memengaruhi proses terjadinya *cleat* pada daerah penelitian.

Anggota M3 Formasi Muaraenim mempunyai potensi GMB dengan target kedalaman >300 m sehingga cukup untuk *reservoir* GMB, ketebalan batubara cukup tebal, serta kondisi permeabilitas baik. Penelitian ini memperlihatkan anggota M3 Formasi Muaraenim dapat mempunyai kandungan gas 39,95 scf/ton, pada permeabilitas lapisan batubara sebesar 0,85 mD, dengan kedalaman lapisan batubara 300 m.

Saran

Pengujian permeabilitas secara langsung perlu dilakukan pada lubang bor pada target lapisan batubara, sehingga dapat membandingkan asumsi-asumsi yang ada. Pembuktian kandungan gas dan

permeabilitas pada anggota M3 dari Formasi Muaraenim perlu dilakukan untuk melihat potensi anggota M3 pada kedalaman minimal 300 m.

DAFTAR PUSTAKA

- Bishop, M.G., 2001, *South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System*, United State Geological Survey, Colorado.
- Corinna, A., 2019, *Skripsi : Pengaruh Karakteristik Batubara Terhadap Gas Content pada Formasi Muaraenim di Cekungan Sumatra Selatan*, Universitas Padjajaran, Bandung.
- Darman, H. dan Sidi, F.H., 2000, *An Outline of The Geology of Indonesia*, Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Jakarta.
- Divisi Perencanaan Eksplorasi, 2016, *Materi presentasi: Tahapan dan Pencapaian Eksplorasi GMB Indonesia*, SKK Migas, Jakarta.
- Divisi Perencanaan Eksplorasi, 2019, *Materi presentasi: Sumber Daya Migas Unkonvensional (GMB)*, SKK Migas, Jakarta.
- Ibrahim, M.A., Rahmat, S.B., Ulfa, R.M., Priyono, Susana, N., 2017, *Evaluasi Potensi CBM dan Batubara Bawah Permukaan Daerah Mangunjaya dan sekitarnya, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatra Selatan*, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Bandung. Laporan tidak dipublikasikan.
- Ilyas, S., Ibrahim, D., Fatimah, 2000, *Pengkajian Endapan Batubara Bersistem Dalam Cekungan Sumatra Selatan Di Daerah Sekayu – Mangunjaya, Kabupaten Musi Banyuasin, Provinsi Sumatra Selatan*, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung. Laporan tidak dipublikasikan.
- Linggadipura, R.D., Prasetyo, M.H., Dimas, E., 2016, *Karakteristik Kuantitatif Cleat Sebagai Indikator Gas Metana Batubara di Kabupaten Bengkulu Utara, Provinsi Bengkulu*, Proceedings Seminar Kebumihan Ke-9, hal. 199-210.
- Patra Nusa Data, 2006, *Indonesia Basin Summaries*, PT Patra Nusa Data, Jakarta.
- PSDMBP, 2020, *Laporan Neraca Sumber Daya Batubara, Gambut, dan GMB*, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Bandung.
- Sosrowidjojo, I.B., 2013, *Coal Geochemistry of The Unconventional Mearaenim Coalbed Reservoir, South Sumatra Basin: A Case Study From The Rambutan Field*, Indonesian Mining Journal, Vol.16, No.2, p. 71-81.
- Suarez-Ruiz, I. dan Crelling, J.C., 2008, *Applied Coal Petrology*, Elsevier, Burlington.
- Yudha, S.S. dan Purnama, A.B., 2019. Identifikasi karakteristik kekar batubara Lapisan Batubara D berbasis pengamatan singkapan, korelasi data log sonic dan kualitas massa batuan (RQD). *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, vol. 15, no. 2, h. 77-88.

Diterima	: 15 Februari 2021
Direvisi	: 22 Februari 2021
Disetujui	: 18 Mei 2021