

ANALISIS PERINGKAT DAN LINGKUNGAN PENGENDAPAN LAPISAN BATUBARA BAWAH PERMUKAAN FORMASI MUARAENIM DI AREA OGAN KOMERING, CEKUNGAN SUMATRA SELATAN

WAHYU PROBO ANANTO^{*1}, DARDJI NOERADI¹, DWIHARSO NUGROHO¹

1. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jln. Ganesha No. 10, Bandung 40132 *Korespondensi: wahyuproboananto@gmail.com

Sari - Cekungan Sumatra Selatan adalah salah satu cekungan di Indonesia dengan prospektivitas batubara yang besar, selain potensi batubara permukaan cekungan ini juga memiliki potensi sumberdaya gas metana batubara (*coal bed methane*) terbesar di Indonesia (183 TCF) yang terkait dengan batubara bawah permukaan Formasi Muaraenim. Daerah penelitian secara spesifik berada di area Ogan Komeri yang merupakan area dengan prospektivitas migas dan batubara bawah permukaan baik. Akibatnya, banyak aktivitas eksplorasi dan eksploitasi migas serta eksplorasi gas metana batubara di wilayah tersebut yang berimplikasi pada melimpahnya data bawah permukaan yang tersedia. Oleh karena itu batubara di cekungan ini terutama yang berada di bawah permukaan perlu dianalisis lebih lanjut untuk menentukan peringkatnya yang akan berhubungan dengan tipe gas metana yang terbentuk dan kuantitasnya. Sementara itu lingkungan pengendapan batubara menjadi penting sebagai kerangka berpikir dalam menentukan penyebaran batubara di bawah permukaan. Metodologi yang digunakan dalam interpretasi dan analisis data di atas meliputi analisis peringkat batubara berdasarkan ASTM D-388 (1999) yang dimodifikasi oleh Moore (2012) dan Thomas (2013), klasifikasi batubara peringkat rendah oleh Bielowicz (2012), dan analisis lingkungan pengendapan batubara dengan menggunakan diagram terner tipe maseral utama (*principal maceral type*) serta grafik *Tissue Preservation Index* (TPI) vs *Gelification Index* (GI). Penelitian ini menunjukkan jika berdasarkan analisis proksimat dan pantulan vitrinit yang dilakukan, batubara di daerah penelitian merupakan batubara peringkat rendah (*low rank coal*) dengan rentang peringkat dari lignit - subbituminus. Sementara itu analisis lingkungan pengendapan yang dilakukan menghasilkan lingkungan *lower delta plain* dengan kemungkinan fasies arsitektur berupa endapan *interdistributary marsh - tidal flat* dengan rezim hidrologi *limnic* sehingga berada pada lingkungan dataran gambut yang relatif basah / banyak air (*more wet mire*) dan dengan suplai klastik kasar yang terbatas (*limited influx clastic marsh*).

Kata kunci: batubara Formasi Muaraenim, peringkat batubara, lingkungan pengendapan batubara, proksimat batubara, maseral, *Tissue Preservation Index*, *Gelification Index*.

Abstract - South Sumatra Basin is one of the basins in Indonesia with great coal prospects, apart from coal this basin has the largest potential for coal bed methane gas in Indonesia (183 TCF) which is associated with the subsurface coal of the Muaraenim Formation. The research area is specifically located in the Ogan Komeri area which has great prospects for hydrocarbon and subsurface coal related to coal bed methane. As a result, so many hydrocarbon exploration and exploitation activities as well as coal bed methane exploration occurred in this region, which has implications for the abundance of subsurface data. Therefore subsurface coal in this basin needs further study to determine its rank which will be related to the methane type (thermogenic or biogenic) and its quantity. Meanwhile, the coal depositional environment is important as a framework for determining the distribution of subsurface coal. The methodology used in this study includes analysis of coal rank based on ASTM D-388 (1999) modified by Moore (2012) and Thomas (2013), classification of low-rank coal by Bielowicz (2012), and analysis of coal depositional environment using a ternary diagram of principal maceral type and graph of *Tissue Preservation Index* (TPI) vs *Gelification Index* (GI). This study shows that based on proximate and vitrinite reflection, the coal in the study area is low-rank coal (lignite - sub-bituminous). Meanwhile, the depositional environment analysis resulting the lower delta plain environment with possible architectural facies of interdistributary marsh-tidal flat deposits with a limnic hydrological regime which is related to a relatively wet peatland environment (*more wet mire*) and with limited clastic supply (*limited influx clastic marsh*).

Key words: Muaraenim coal-bearing formation, coal rank, coal depositional environment, coal proximate, maceral, *Tissue Preservation Index*, *Gelification Index*.

1. PENDAHULUAN

Kualitas dan peringkat lapisan batubara bawah permukaan yang mengandung gas metana

batubara atau CBM (*Coal Bed Methane*) dapat diperkirakan salah satunya melalui analisis proksimat. Batubara dengan peringkat

bituminus (terutama *high volatile bituminous*) akan lebih cenderung mengandung gas termogenik, sedangkan batubara peringkat rendah (*low rank coal*) akan lebih cenderung mengandung gas biogenik yang merupakan hasil dari pembusukan material organik akibat aktivitas mikroba dan bakteri pada saat proses pengambutan (Moore, 2012).

Analisis batubara yang dibahas dalam studi ini adalah analisis yang fundamental dilakukan pada batubara, mencakup analisis jenis dan kualitas (peringkat) batubara dan analisis penentuan lingkungan pengendapan. Kedua analisis tersebut dilakukan dengan beberapa metode agar hasilnya dapat saling melengkapi dan komprehensif.

Formasi Muaraenim yang menjadi objek studi ini (**Gambar 1**) menurut Spruyt (1956) terbagi menjadi dua anggota. Bagian bawah dari Formasi Muaraenim disebut sebagai Anggota Coklat (*Brown Member*) karena ciri batulempungnya yang berwarna coklat atau terdapat corak kecoklatan yang dominan pada warna utama, sedangkan bagian atas dari Formasi Muaraenim disebut sebagai Anggota Biru (*Blue Member*) karena ciri batulempungnya yang berwarna biru dengan

corak kehijauan yang dominan. Batas Anggota Coklat dengan Anggota Biru berkebetulan sama dengan batas Anggota M1-M2 dengan Anggota M3-M4.

Sementara itu Shell Mijnbouw (1978) membagi anggota Formasi Muaraenim berdasarkan asosisasi litologi penyusunnya dan kandungan batubara di dalamnya. Ada empat anggota yang terdefiniskan, yaitu anggota M1, M2, M3, dan M4. Anggota M1 memiliki dua lapisan batubara utama yang dikenal sebagai Lapisan Kladi dan Lapisan Merapi. Anggota M2 memiliki tiga lapisan batubara utama yang dikenal sebagai Lapisan Petai, Lapisan Suban, dan Lapisan Mangus. Anggota M1 dan M2 menurut Shell Mijnbouw (1978) dapat disetarakan dengan Anggota Coklat menurut Spruyt (1956). Anggota M3 terdiri dari dua lapisan batubara utama yang disebut sebagai Lapisan Burung dan Lapisan Benuang, sedangkan anggota M4 terdiri dari empat lapisan batubara utama yang disebut sebagai Lapisan Kebon, Lapisan Enim/Benakat, Lapisan Lematang, dan Lapisan Niru. Anggota M3 dan M4 menurut Shell Mijnbouw (1978) dapat disetarakan dengan Anggota Biru menurut Spruyt (1956).

AGE	FORMATION	LITHOLOGICAL DESCRIPTION	SEAM
QUATERNARY	ALUVIUM	Various terrestrial types of deposits, often reworked Kasai deposits	
PLIOCENE	KASAI	Continental tuffaceous gravels, sands, clays (400-1000m thick)	
	Blue Mb.	M4	Niru Lematang Babat / Benakat
		M3	Kebon Benuang Burung
		M2	Mangus Suban
MIOCENE	LATE	M1	Petai Merapi Kladi
		Brown Mb.	
MIDDLE	AIR BENAKAT	Shallow marine sandstones, claystones (100-11100m thick)	

Gambar 1. Kolom stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan khususnya pada Formasi Muaraenim yang menunjukkan pembagian anggota Formasi Muaraenim menjadi dua anggota (*Brown* dan *Blue Member*) menurut kenampakan warna dominan batulempungnya (Spruyt, 1956); dan Anggota M1-M4 berdasarkan asosiasi litologi penyusunnya serta kandungan batubara di dalamnya (Shell Mijnbouw, 1978).

2. DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan pada studi ini adalah data sumur bor yang mencakup log tali kawat (*wireline log*), deskripsi keratan sumur (*cutting description*), laporan biostratigrafi pada Sumur CBM-11 dan CBM-13, dan laporan analisis batubara (proksimat dan maseral) pada Sumur CBM-1 dan CBM-2.

Metodologi yang digunakan dalam interpretasi dan analisis data di atas meliputi analisis peringkat batubara berdasarkan ASTM D-388 (1999) yang dimodifikasi oleh Moore (2012) dan Thomas (2013), klasifikasi batubara peringkat rendah oleh Bielowicz (2012), dan analisis lingkungan pengendapan batubara dengan menggunakan diagram terner tipe maseral utama (*principal maceral type*) serta grafik *Tissue Preservation Index* (TPI) vs *Gelification Index* (GI).

3. HASIL ANALISIS

3.1 Analisis Peringkat Batubara

3.1.1 Analisis Peringkat dengan Data Proksimat Batubara

Data proksimat batubara pada studi ini diperoleh dari Sumur CBM-1 dan CBM-2. Penentuan peringkat batubara dilakukan berdasar data tersebut dengan menggunakan diagram kompilasi penentuan peringkat batubara oleh Moore (2012) dan Thomas (2013).

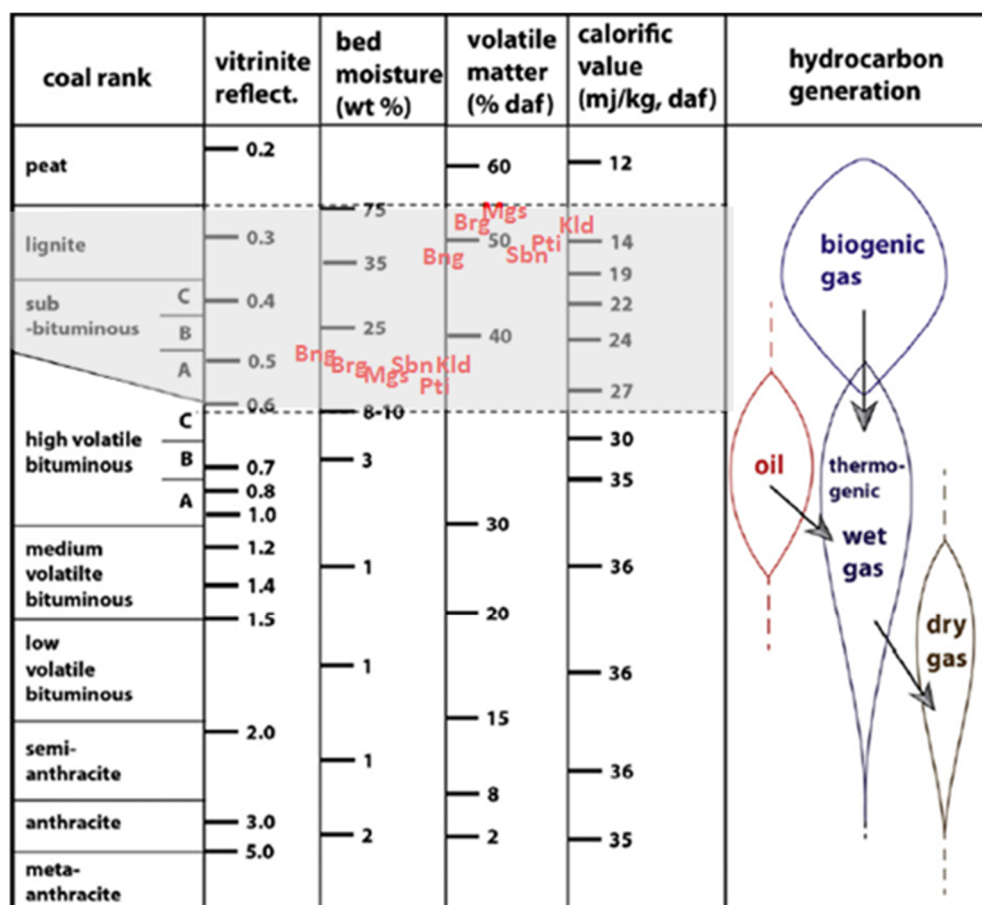
Tabel 1 dan **Tabel 2** menunjukkan data proksimat yang tersedia dan digunakan dalam analisis ini. Setelah nilai proksimat tersebut diplot pada diagram, jika menggunakan diagram kompilasi oleh Moore (2012) pada **Gambar 2** batubara di daerah penelitian memiliki rentang peringkat lignit - subbituminus, sedangkan menurut diagram kompilasi oleh Thomas (2013) pada **Gambar 3** batubara di daerah penelitian jatuh pada peringkat subbituminus. Hasil kedua metode tersebut menunjukkan kesamaan bahwa batubara di daerah penelitian merupakan batubara peringkat rendah (*low rank coal*).

Tabel 1. Nilai analisis proksimat pada Sumur CBM-1. Keterangan: VM (*volatile matter*) dan FC (*fixed carbon*).

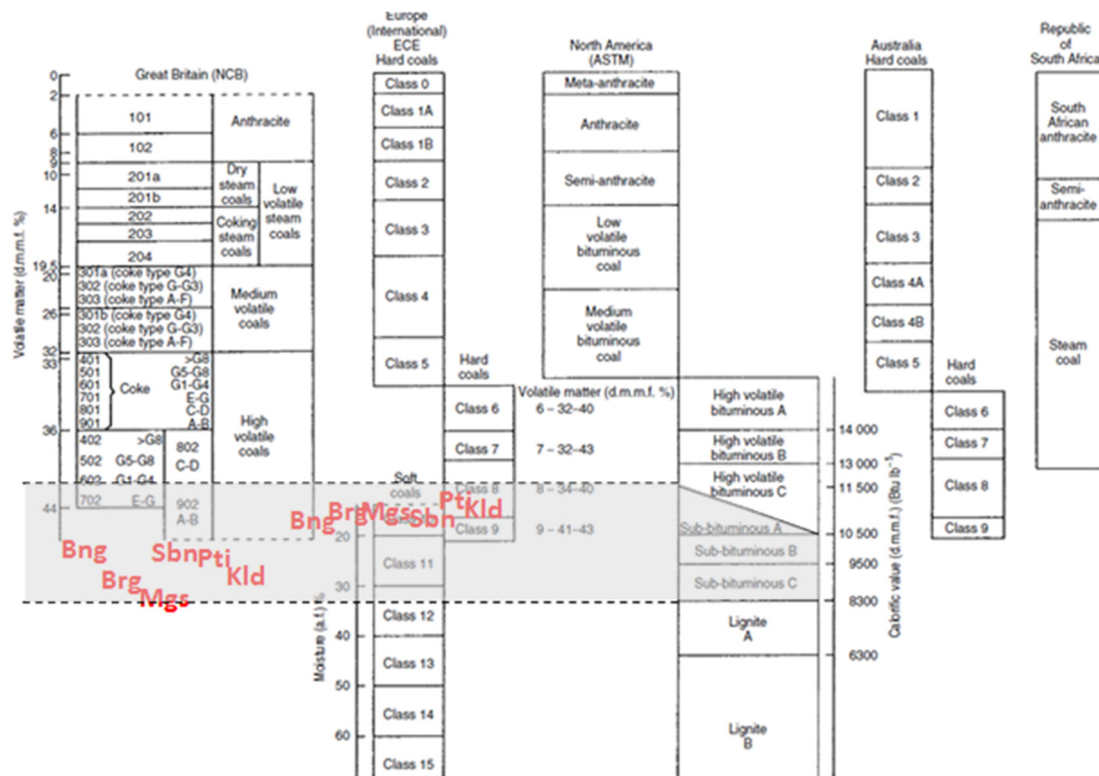
No	Kedalaman m	Lapisan Batubara	Analisis Proksimat CBM-1					
			Moisture	Ash	VM	VM	FC	FC
			% ad	% ad	% ad	% daf	% ad	% daf
1	454.5	Benuang	14,84	4,56	38,22	47,42	42,38	52,58
2	497.43	Burung	13,66	7,30	41,28	52,23	37,76	47,77
3	542.54	Mangus A1	10,41	32,20	31,42	54,75	25,97	45,25
4	580.7	Suban B2	13,46	11,37	38,14	50,74	37,03	49,26
5	615.1	Petai	8,08	36,38	25,38	45,70	30,16	54,30

Tabel 2. Nilai analisis proksimat pada Sumur CBM-2. Keterangan: VM (*volatile matter*) dan FC (*fixed carbon*).

No	Kedalaman m	Lapisan Batubara	Analisis Proksimat CBM-2					
			Moisture	Ash	VM	VM	FC	FC
			% ad	% ad	% ad	% daf	% ad	% daf
1	454.5	Benuang	14,96	4,36	39,65	49,14	41,03	50,86
2	497.43	Benuang	15,21	3,89	39,50	48,83	41,40	51,17
3	542.54	Burung	14,74	3,50	42,54	52,03	39,22	47,97
4	580.7	Mangus A1	13,80	4,76	41,66	51,15	39,78	48,85
5	615.1	Mangus A2	13,94	6,96	44,44	56,18	34,66	43,82
6	659.395	Suban B1	15,18	6,24	40,43	51,45	38,15	48,55
7	699.842	Suban B1	15,66	4,72	38,80	48,73	40,82	51,27
8	740.289	Suban B1	14,20	2,95	37,28	45,00	45,57	55,00
9	780.736	Suban B2	13,23	7,61	38,06	48,08	41,10	51,92
10	821.183	Suban B2	13,38	8,46	39,80	50,92	38,36	49,08
11	861.63	Petai	12,83	11,67	39,40	52,19	36,10	47,81
12	902.077	Kladi	12,98	3,45	45,19	54,07	38,38	45,93
13	942.524	Kladi	14,82	5,22	39,04	48,82	41,12	51,43



Gambar 2. Penentuan peringkat batubara menggunakan data proksimat yang diplot pada diagram kompilasi oleh Moore (2012), huruf merah mewakili kode penamaan tiap lapisan batubara dan nilai *moisture* serta *volatile matter*-nya.



Gambar 3. Penentuan peringkat batubara menggunakan data proksimat yang diplot pada diagram kompilasi oleh Thomas (2013), huruf merah mewakili kode penamaan tiap lapisan batubara dan nilai *moisture* serta *volatile matter*-nya.

3.1.2 Analisis Peringkat dengan Data Pantulan Vitrinit

Bielowicz (2012) mengusulkan klasifikasi baru untuk batubara peringkat rendah. Klasifikasi tersebut membagi peringkat batubara tingkat rendah dari rentang gambut - subbituminus menggunakan pantulan vitrinit (%Ro) dari jenis maseral *ulminite* / *collotellinite*. Maseral *ulminite* / *collotellinite* termasuk dalam grup maseral huminit yang merupakan maseral prekursor dari vitrinit dan hanya hadir pada batubara peringkat rendah. Oleh karena itu klasifikasi ini akan lebih sesuai

diterapkan pada batubara peringkat rendah, sedangkan klasifikasi menggunakan %Ro yang lebih umum digunakan seperti Stach dkk (1982) akan lebih sesuai diaplikasikan pada batubara peringkat sedang - tinggi. Berdasarkan klasifikasi tersebut, gambut memiliki nilai pantulan vitrinit < 0,15%; ortho-lignit memiliki nilai pantulan vitrinit antara 0,15% - 0,35%; meta-lignit memiliki nilai pantulan vitrinit antara 0,35% - 0,4%; dan subbituminus memiliki nilai pantulan vitrinit antara 0,4% - 0,5% (**Tabel 3**).

Tabel 3. Klasifikasi penentuan peringkat batubara untuk batubara peringkat rendah dari Bielowicz (2012).

Peringkat Batubara (Coal Rank)	% Vitrinite Reflectance (Bielowicz, 2012)
Peat	<0,15
Ortho-Lignite (soft brown coal)	0,15 - 0,35
Meta-lignite (dull brown coal)	0,35 - 0,40
Sub bituminous (bright brown coal)	0,40 - 0,50

Terdapat dua sumur di daerah penelitian yang memiliki data pantulan vitrinit, yaitu Sumur CBM-1 (**Tabel 4**) dan Sumur CBM-2 (**Tabel 5**). Jika pantulan vitrinit tersebut diplot terhadap kedalaman seperti pada **Gambar 4**, maka terlihat peringkat batubara berdasarkan klasifikasi dari Bielowicz (2012) berkisar antara lignit - subbituminus, hasil yang kurang lebih sama dengan metode sebelumnya. Ringkasan penentuan peringkat batubara dengan menggunakan nilai proksimat dan pantulan vitrinit dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Tabel 7**. Hal lain yang teramati adalah adanya perbedaan nilai pantulan vitrinit antara dua sumur tersebut. Secara kuantitatif, nilai rata-rata pantulan vitrinit pada Sumur CBM-1 sebesar 0,36% yang artinya lebih tinggi dari nilai rata-rata pantulan vitrinit pada Sumur CBM-2 sebesar 0,22%. Selain itu secara kualitatif terlihat bahwa data pantulan vitrinit pada Sumur CBM-1 lebih bergeser ke kanan (nilai %Ro semakin membesar).

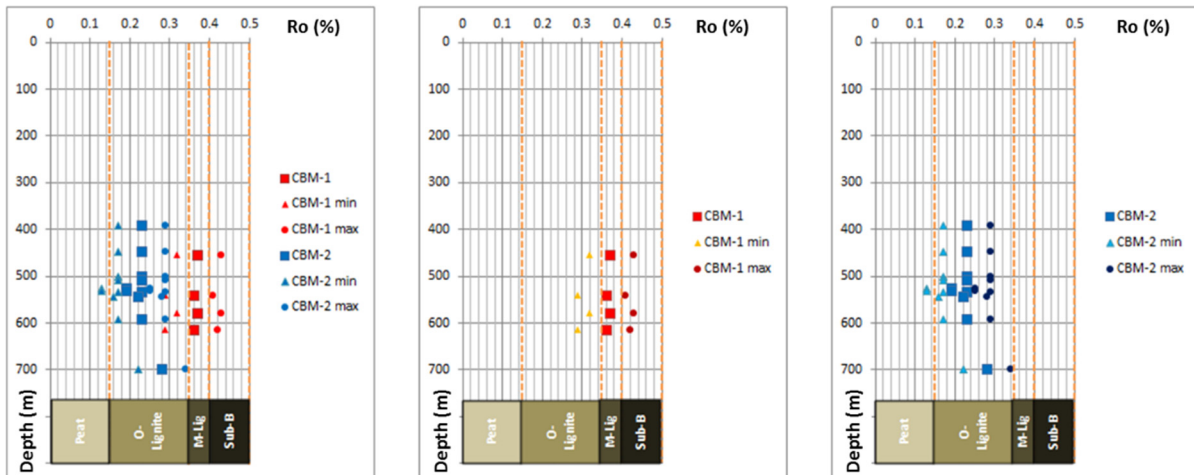
Perbedaan peringkat batubara tersebut diduga dipengaruhi oleh perbedaan termal (gradien geotermal) yang terjadi di kedua sumur. Walaupun sebetulnya pengaruh lain seperti perbedaan posisi lapisan batubara dalam kerangka stratigrafi sikuen, perkembangan progradasi garis pantai Sumatra ke arah timurlaut dan kaitannya dengan umur batuan serta tebal lapisan penutup (*overburden*) dan burial, pengaruh proses sedimentasi yang terjadi di lingkungan pengendapan yang berbeda, dan aktivitas vulkanisme pada masa itu mungkin saja berkontribusi terhadap kualitas atau peringkat batubara di daerah penelitian. Berdasarkan dugaan tersebut dan ketersediaan data untuk melakukan analisis, maka yang akan dibahas lebih lanjut pada bagian selanjutnya adalah pengaruh gradien geotermal terhadap kualitas batubara di daerah penelitian.

Tabel 4. Nilai rata-rata pantulan vitrinit maksimum (%Ro max) pada Sumur CBM-1, rata-rata data tersebut sebesar 0,36.

No	Kedalaman	Lapisan Batubara	Reflektansi Vitrinit
	m		(mean Ro %)
1	454.5	Benuang	0,37
2	497.43	Burung	n.a.
3	542.54	Mangus A1	0,36
4	580.7	Suban B2	0,37
5	615.1	Petai	0,36

Tabel 5. Nilai rata-rata pantulan vitrinit maksimum (%Ro max) pada Sumur CBM-2, rata-rata data tersebut sebesar 0,22.

No	Kedalaman	Lapisan Batubara	Reflektansi Vitrinit
	m		(mean Ro %)
1	454.5	Benuang	0,23
2	497.43	Benuang	n.a.
3	542.54	Burung	0,23
4	580.7	Mangus A1	0,23
5	615.1	Mangus A2	0,23
6	659.395	Suban B1	0,19
7	699.842	Suban B1	0,19
8	740.289	Suban B1	0,23
9	780.736	Suban B2	n.a.
10	821.183	Suban B2	0,22
11	861.63	Petai	0,23
12	902.077	Kladi	0,28
13	942.524	Kladi	n.a.



Gambar 4. Plot nilai pantulan vitrinit minimum, rata-rata, dan maksimum terhadap kedalaman pada Sumur CBM-1 (poin kotak merah) dan Sumur CBM-2 (poin kotak biru). Grafik kiri merupakan plot pada kedua sumur, sedangkan grafik tengah adalah plot di Sumur CBM-1 saja dan grafik kanan adalah plot di Sumur CBM-2 saja.

Tabel 6. Ringkasan penentuan peringkat batubara dengan menggunakan nilai proksimat dan pantulan vitrinit pada Sumur CBM-1.

No	Kedalaman m	Lapisan Batubara	Analisis Proksimat CBM-1						Reflektansi Vitrinit (mean Ro %)	Peringkat Batubara Analisis Proksimat	Peringkat Batubara (Bielowicz, 2012)
			Moisture % ad	Ash % ad	VM % ad	VM % daf	FC % ad	FC % daf			
1	454.5	Benuang	14,84	4,56	38,22	47,42	42,38	52,58	0,37	Lignit - Sub bituminus	O Lignit - Sub bituminus
2	497.43	Burung	13,66	7,30	41,28	52,23	37,76	47,77	n.a.	Lignit - Sub bituminus	-
3	542.54	Mangus A1	10,41	32,20	31,42	54,75	25,97	45,25	0,36	Lignit - Sub bituminus	O Lignit - Sub bituminus
4	580.7	Suban B2	13,46	11,37	38,14	50,74	37,03	49,26	0,37	Lignit - Sub bituminus	O Lignit - Sub bituminus
5	615.1	Petai	8,08	36,38	25,38	45,70	30,16	54,30	0,36	Lignit - Sub bituminus	O Lignit - Sub bituminus

Tabel 7. Ringkasan penentuan peringkat batubara dengan menggunakan nilai proksimat dan pantulan vitrinit pada Sumur CBM-2.

No	Kedalaman m	Lapisan Batubara	Analisis Proksimat CBM-2						Reflektansi Vitrinit (mean Ro %)	Peringkat Batubara Analisis Proksimat	Peringkat Batubara (Bielowicz, 2012)
			Moisture % ad	Ash % ad	VM % ad	VM % daf	FC % ad	FC % daf			
1	454.5	Benuang	14,96	4,36	39,65	49,14	41,03	50,86	0,23	Lignit - Sub bituminus	O Lignit
2	497.43	Benuang	15,21	3,89	39,50	48,83	41,40	51,17	n.a.	Lignit - Sub bituminus	-
3	542.54	Burung	14,74	3,50	42,54	52,03	39,22	47,97	0,23	Lignit - Sub bituminus	O Lignit
4	580.7	Mangus A1	13,80	4,76	41,66	51,15	39,78	48,85	0,23	Lignit - Sub bituminus	O Lignit
5	615.1	Mangus A2	13,94	6,96	44,44	56,18	34,66	43,82	0,23	Lignit - Sub bituminus	O Lignit
6	659.395	Suban B1	15,18	6,24	40,43	51,45	38,15	48,55	0,19	Lignit - Sub bituminus	O Lignit
7	699.842	Suban B1	15,66	4,72	38,80	48,73	40,82	51,27	0,19	Lignit - Sub bituminus	O Lignit
8	740.289	Suban B1	14,20	2,95	37,28	45,00	45,57	55,00	0,23	Lignit - Sub bituminus	O Lignit
9	780.736	Suban B2	13,23	7,61	38,06	48,08	41,10	51,92	n.a.	Lignit - Sub bituminus	-
10	821.183	Suban B2	13,38	8,46	39,80	50,92	38,36	49,08	0,22	Lignit - Sub bituminus	O Lignit
11	861.63	Petai	12,83	11,67	39,40	52,19	36,10	47,81	0,23	Lignit - Sub bituminus	O Lignit
12	902.077	Kladi	12,98	3,45	45,19	54,07	38,38	45,93	0,28	Lignit - Sub bituminus	O Lignit - M Lignit
13	942.524	Kladi	14,82	5,22	39,04	48,82	41,12	51,43	n.a.	Lignit - Sub bituminus	-

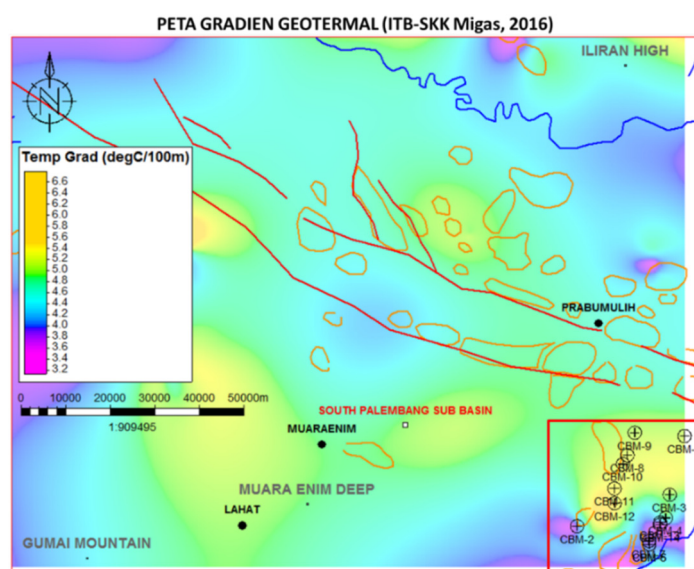
3.1.3 Analisis Pengaruh Gradien Geotermal pada Peringkat Batubara

Perbedaan antara nilai pantulan vitrinit di Sumur CBM-1 dengan CBM-2 kemungkinan terjadi karena pengaruh termal yang berbeda di kedua sumur. **Gambar 5** menunjukkan peta gradien geotermal (ITB-SKK Migas, 2016) di Sub Cekungan Palembang Selatan. Terlihat pada peta tersebut jika Sumur CBM-1 berada pada area gradien geotermal sebesar $> 5,2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, sedangkan Sumur CBM-2 berada pada area gradien geotermal sebesar $3,2 - 4,4^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

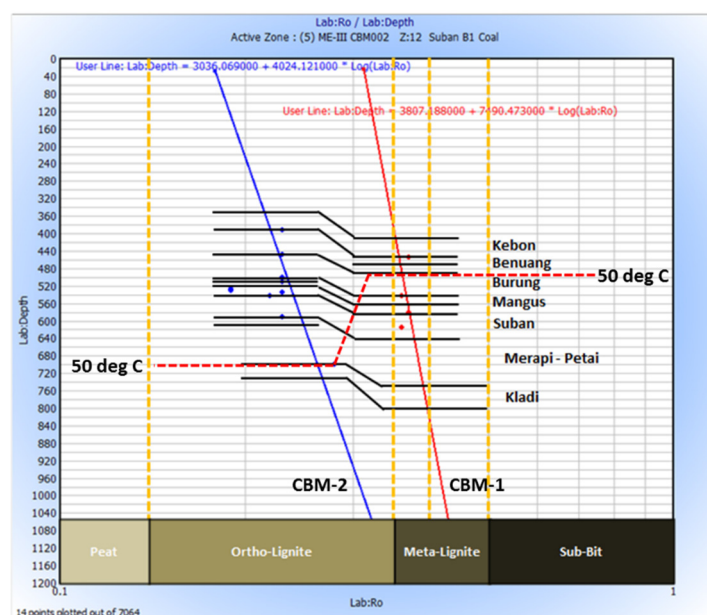
Gambar 6 menunjukkan pengaruh beda gradien geotermal pada nilai pantulan vitrinit yang juga berkorelasi dengan kematangan material organik pada Sumur CBM-1 dan Sumur CBM-2. Seperti terlihat pada gambar tersebut, kedua sumur sebetulnya belum memasuki jendela kematangan yang berkorelasi dengan nilai pantulan vitrinit sebesar 0,6% (Peters dan Cassa, 1994) yang terjadi pada peringkat batubara bituminus atau pada temperatur kurang lebih sebesar $100^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ (Stach dkk, 1982). Posisi lapisan batubara di Sumur CBM-1 (Lapisan Burung dan lapisan-lapisan batubara di bawahnya) sebagian telah melewati temperatur 50°C

(batas akhir diagenesis dan mulai memasuki jendela katagenesis), sedangkan lapisan batubara di Sumur CBM-2 masih berada pada jendela diagenesis. Artinya bila terdapat gas metana di dalam lapisan batubara di daerah penelitian, maka gas metana tersebut kemungkinan besar berasosiasi dengan proses biogenik.

Estimasi posisi kedalaman jendela kematangan di daerah penelitian dapat dilakukan dengan menghitung kedalaman yang dicapai rentang temperatur $100^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$. Bila gradien geotermal Sumur CBM-1 menggunakan nilai $5,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, maka jendela kematangan akan berada pada kedalaman sekitar 1.500 - 1.600 m (**Tabel 8**). Untuk Sumur CBM-2, bila menggunakan gradien geotermal sebesar $3,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, maka jendela kematangan akan berada pada sekitar kedalaman 2.400 - 2.500 m (**Tabel 8**). Artinya Sumur CBM-1 akan lebih cepat memasuki jendela katagenesis dibanding Sumur CBM-2, kondisi yang paling sesuai dengan terbentuknya gas metana secara termogenik. Karena posisi sumur-sumur yang dianalisis pada studi ini terletak di tinggian, maka area yang memiliki potensi gas metana batubara termogenik akan berada lebih ke arah dalaman cekungan.



Gambar 5. Peta gradien geotermal di Sub Cekungan Palembang Selatan (ITB-SKK Migas, 2016). Kotak merah pada sudut kanan peta menunjukkan daerah penelitian.



Gambar 6. Pengaruh beda gradien geotermal pada nilai pantulan vitrinit yang juga berkorelasi dengan kematangan material organik pada Sumur CBM-1 dan Sumur CBM-2.

Tabel 8. Estimasi posisi kedalaman jendela kematangan di daerah penelitian dengan menghitung kedalaman yang dicapai rentang temperatur 100°C - 110°C. Warna merah mencerminkan temperatur kematangan, sedangkan warna kuning mencerminkan batas jendela diagenesis dengan jendela katagenesis

Kedalaman (m)	CBM-1 Temp (°C)	CBM-1 Temp (°C)	Kedalaman (m)	CBM-1 Temp (°C)	CBM-1 Temp (°C)
	*Gradien Termal = 5,5°C / 100 m	*Gradien Termal = 3,5°C / 100 m		*Gradien Termal = 5,5°C / 100 m	*Gradien Termal = 3,5°C / 100 m
0	25	25	1300	96,5	70,5
100	30,5	28,5	1400	102	74
200	36	32	1500	107,5	77,5
300	41,5	35,5	1600	113	81
400	47	39	1700	118,5	84,5
500	52,5	42,5	1800	124	88
600	58	46	1900	129,5	91,5
700	63,5	49,5	2000	135	95
800	69	53	2100	140,5	98,5
900	74,5	56,5	2200	146	102
1000	80	60	2300	151,5	105,5
1100	85,5	63,5	2400	157	109
1200	91	67	2500	162,5	112,5

3.2 Analisis Lingkungan Pengendapan Batubara

Lingkungan pengendapan pada studi ini diinterpretasikan dengan beberapa metode, merujuk laporan biostratigrafi di Sumur CBM-11 dan CBM-13; menggunakan grafik tipe maseral utama (*principal maceral type*) dan dengan plot silang *Tissue Preservation Index* (TPI) vs *Gelification Index* (GI).

3.2.1 Tinjauan Analisis Biostratigrafi Untuk Paleobatimetri

Analisis mikrofosil pada laporan biostratigrafi Sumur CBM-11 dan CBM-13 menunjukkan lingkungan paleobatimetri supralitoral untuk Formasi Muaraenim atas (Lapisan Benuang dan lapisan-lapisan batubara di atasnya) dan litoral untuk Formasi Muaraenim bawah (Lapisan Burung dan lapisan-lapisan batubara di bawahnya) (Pertamina, 1975; dan

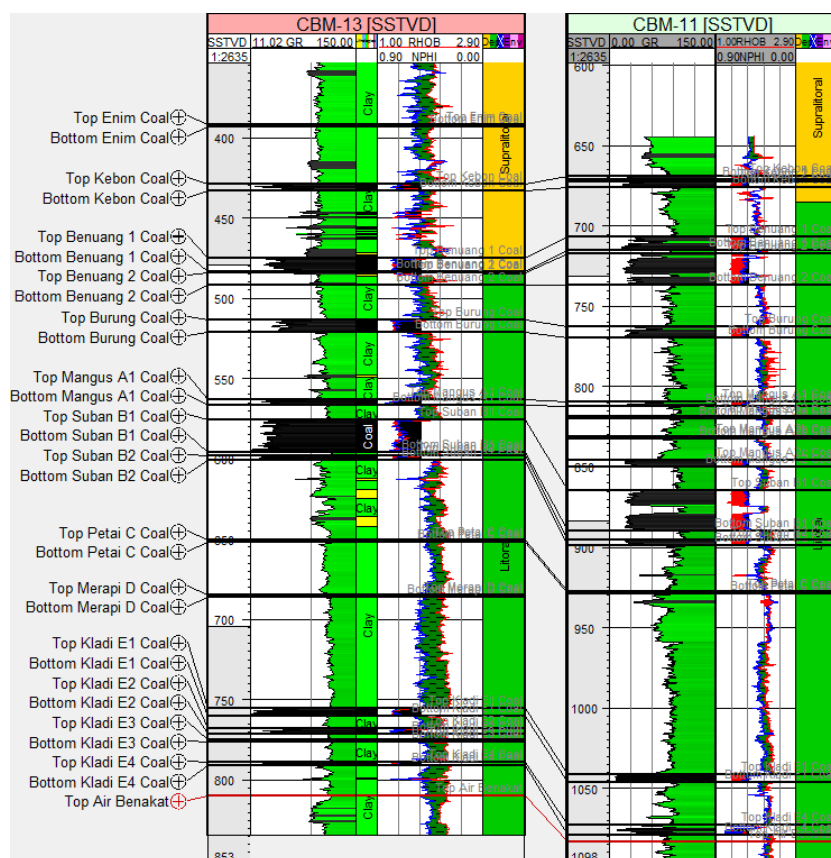
Pertamina, 1989). **Tabel 9** adalah ikhtisar laporan biostratigrafi Sumur CBM-11 dan CBM-13. **Gambar 7** menunjukkan korelasi sumur dengan informasi interval posisi kedalaman paleobatimetri sesuai **Tabel 9**.

Merujuk pada lingkungan pengendapan pada lapisan sedimen pembawa batubara (Diessel, 1992), lingkungan supralitoral pada endapan batubara dan *coal-bearing* kemungkinan berasosiasi dengan lingkungan dataran gambut

(*peatland environment*) berupa *upper delta plain - alluvial plain* dengan fasies arsitektur berupa endapan *backswamp - overbank*; sedangkan lingkungan litoral pada endapan batubara dan *coal-bearing* kemungkinan berasosiasi dengan lingkungan dataran gambut (*peatland environment*) berupa *lower delta plain - coastal marshes* dengan fasies arsitektur kemungkinan berupa endapan *interdistributary swamp - interdistributary marsh - tidal flat*.

Tabel 9. Ikhtisar laporan biostratigrafi Sumur CBM-11 dan CBM-13 serta lingkungan dataran gambut (*peatland environment*) yang kemungkinan terbentuk berdasarkan Diessel (1992).

Sumur	Kedalaman (m)	Zonasi Batimetri	Peatland Environment (Diessel, 1992)
CBM-11	0 - 685	Supralitoral (Terrestrial)	Upper Delta Plain - Alluvial Plain (backswamp-overbank)
CBM-11	685 - 1135	Litoral (Paralic)	Lower Delta Plain - Coastal Marshes
CBM-13	0 - 530	Supralitoral (Terrestrial)	Upper Delta Plain - Alluvial Plain (backswamp-overbank)
CBM-13	530 - 900	Litoral (Paralic)	Lower Delta Plain - Coastal Marshes



Gambar 7. Interval posisi kedalaman paleobatimetri Sumur CBM-11 dan CBM-13 sesuai Tabel 9. Warna hijau menunjukkan interval litoral (Lapisan Burung dan lapisan-

lapisan batubara di bawahnya) dan warna oranye menunjukkan interval supralitoral (Lapisan Benuang dan lapisan-lapisan batubara di atasnya).

3.2.2 Analisis Maseral untuk Lingkungan Pengendapan

Terdapat tiga jenis grup maseral yang dideskripsikan pada laporan analisis maseral (**Tabel 10** dan **Tabel 11**), yaitu grup maseral vitrinit; grup maseral liptinit; dan grup maseral inertinit. Grup maseral vitrinit merupakan material organik yang berasal dari jaringan tumbuhan kayu-kayuan (*woody material*) sehingga secara *in situ* berkorelasi dengan lingkungan pengendapan darat. Grup maseral inertinit sama seperti grup maseral vitrinit, berasal dari jaringan tumbuhan kayu-kayuan dan berasosiasi dengan lingkungan pengendapan darat juga. Perbedaan kedua grup maseral tersebut adalah inertinit mengalami proses oksidasi atau degradasi dalam

pengendapannya sehingga relatif inert atau tidak menghasilkan hidrokarbon. Oksidasi yang terjadi besar kemungkinan karena air di lingkungan tersebut tidak cukup banyak (lebih banyak terekspos / bersentuhan dengan udara bebas), selain itu influks sedimen klastik kasar yang cukup tinggi dapat menyebabkan material organik menjadi terdegradasi. Grup maseral liptinit berasal dari material tumbuhan nonkayu berukuran mikro seperti spora, polen, resin, lapisan lilin (kutikula), dan ganggang. Kemunculan grup maseral jenis ini dalam jumlah signifikan dapat mencirikan lingkungan yang bersifat reduksi seperti laut atau danau (tergantung pada jenis maseral dan submaseral yang dominan).

Tabel 10. Laporan analisis maseral pada Sumur CBM-1.

Analisis Maseral CBM-1					
Vitrinit		Liptinit		Inertinit	
Vol (%)	Vol (% mmf)	Vol (%)	Vol (% mmf)	Vol (%)	Vol (% mmf)
87,95	93,00	2,68	2,83	4,02	4,24
87,55	91,40	5,64	5,80	2,68	2,80
91,06	94,11	3,90	3,93	2,00	1,96
85,44	90,22	3,59	3,79	5,74	5,99

Tabel 11. Laporan analisis maseral pada Sumur CBM-2.

Analisis Maseral CBM-1					
Vitrinit		Liptinit		Inertinit	
Vol (%)	Vol (% mmf)	Vol (%)	Vol (% mmf)	Vol (%)	Vol (% mmf)
83,60	93,72	3,00	3,36	2,60	2,91
86,40	94,74	2,20	2,41	2,60	2,85
89,20	96,12	1,40	1,51	2,20	2,37
79,00	91,44	1,20	1,39	6,20	7,18
73,00	93,35	2,60	3,32	2,60	3,32
72,80	91,92	2,60	3,28	3,80	4,80
52,80	90,10	3,20	5,46	2,60	4,44
89,20	93,50	1,40	1,47	4,80	5,03
90,20	97,83	0,80	0,87	1,20	1,30
88,80	94,87	0,80	0,85	4,00	4,27

Gambar 8 adalah hasil plot diagram terner dari data pada **Tabel 10** dan **Tabel 11**, terlihat pada diagram tersebut bahwa keseluruhan data terletak pada bagian vitrinit dan inertinit yang tinggi (> 90%) sehingga mencerminkan bahwa

material penyusun batubara berasal dari lingkungan darat - transisi deltaik. Bila dicermati pada tabel sebetulnya persentase inertinit tidak cukup banyak (1,2% - 6,2%), sehingga kemungkinan batubara di daerah

penelitian diendapkan pada lingkungan darat - transisi deltaik yang lebih bersifat reduksi dan basah (*wet mire*) dengan influks sedimen klastik kasar yang tidak terlalu banyak. Lingkungan tersebut relatif sesuai dengan rujukan laporan biostratigrafi dari Sumur CBM-11 dan CBM-13 yang telah dianalisis pada metode sebelumnya. Kehadiran maseral vitrinit yang mendominasi berimplikasi baik juga untuk prospektivitas gas metana batubara secara umum, karena pada daerah dalaman yang telah melewati jendela kematangan akan lebih berpotensi untuk menghasilkan gas terutama metana.

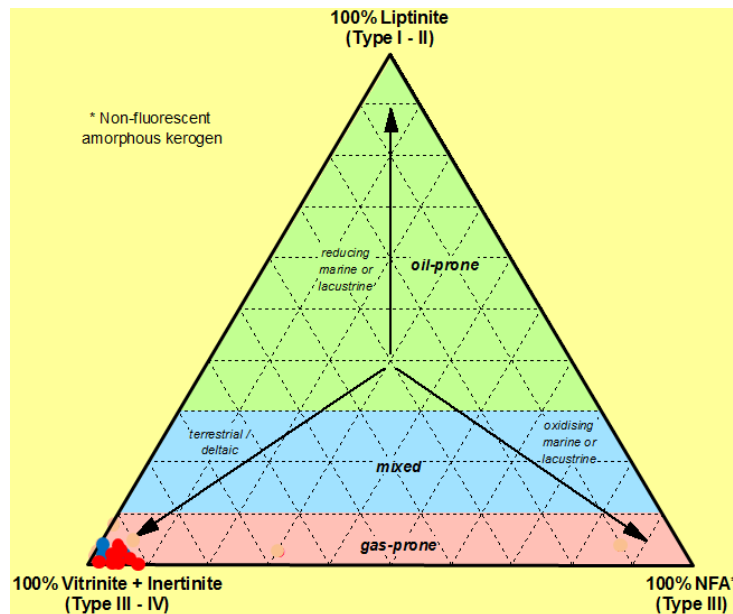
Metode selanjutnya yang dilakukan adalah plot silang *Tissue Preservation Index* (TPI) vs *Gelification Index* (GI). *Tissue Preservation Index* (TPI) menggambarkan derajat antara struktur jaringan maseral yang terawetkan dan struktur jaringan yang terdekomposisi serta menunjukkan derajat humifikasi yang terjadi pada lingkungan tempat proses penggabutan terjadi (Diessel, 1992). Derajat humifikasi yang tinggi menunjukkan nilai TPI yang kecil, karena terjadi penghancuran jaringan sel tumbuhan. Struktur sel tanaman perdu (*herbaceous*) yang kaya selulosa akan lebih mudah dirusak bakteri dibanding lignin tumbuhan kayu-kayuan. Hal tersebut karena lignin berfungsi sebagai struktur penyokong sel tumbuhan yang ditemukan melimpah pada tanaman kayu. Nilai TPI yang tinggi berbanding lurus dengan kelimpahan lignin yang menunjukkan kecenderungan kehadiran tumbuhan-tumbuhan kayu, dalam hal ini adalah submaseral telovitrinit.

Gelification Index (GI) adalah rasio antara maseral yang terbentuk karena proses gelifikasi dengan yang terbentuk akibat proses oksidasi, yang menggambarkan kontinuitas kelembaban dari lingkungan gambut tersebut

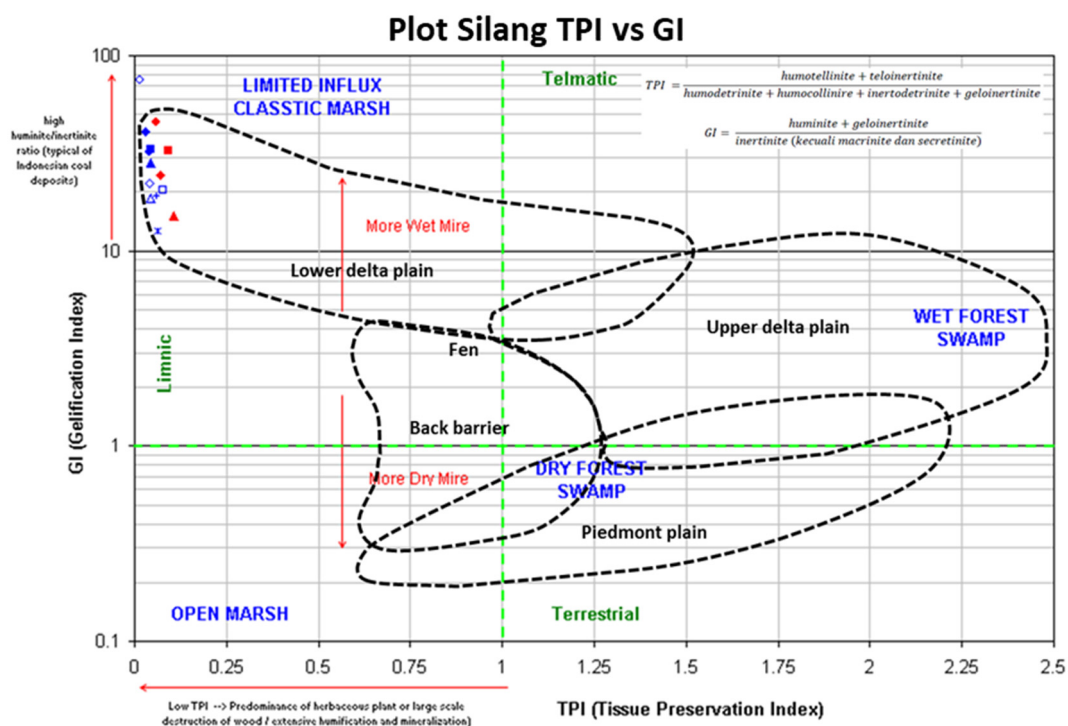
terendapkan (Diessel, 1992). Nilai GI umumnya tinggi pada batas cekungan yang kering, tetapi menjadi tinggi ketika terjadi penurunan cekungan.

Gambar 9 menunjukkan hasil plot silang antara *Tissue Preservation Index* (TPI) dan *Gelification Index* (GI). Terlihat pada grafik bahwa semua data jatuh pada nilai TPI rendah dan GI yang tinggi, tepatnya pada area rezim hidrologi *limnic* sehingga berada pada lingkungan dataran gambut yang relatif basah / banyak air (*more wet mire*) dan dengan suplai klastik kasar yang terbatas (*limited influx clastic marsh*). Hasil plot tersebut relatif koheren dengan hasil tinjauan analisis biostratigrafi dan tipe maseral utama yang telah dibahas pada paragraf sebelumnya dan dengan sejarah perkembangan lingkungan dataran gambut (*peatland environment*) yang terjadi di daerah penelitian.

Lingkungan pengendapan yang sesuai dengan analisis tersebut adalah *lower delta plain* yang memang secara sedimentasi memiliki influks klastik kasar relatif sedikit serta lingkungannya selalu basah. Sementara itu secara fasies arsitektur, lingkungan yang mungkin berdasarkan kriteria tersebut berdasarkan Diessel (1992) adalah endapan *interdistributary marsh - tidal flat* yang secara garis besar masih sesuai dengan hasil interpretasi lingkungan pengendapan yang dilakukan pada metode-metode sebelumnya (litoral - supralitoral secara tinjauan biostratigrafi dan darat - transisi deltaik dari analisis tipe maseral utama). Lingkungan pengendapan seperti ini umumnya menghasilkan batubara dengan distribusi lateral yang cukup baik tetapi dengan kandungan pengotor anorganik (dalam bentuk abu dari sedimen klastik halus dan/atau sulfur) yang cukup tinggi.



Gambar 8. Grafik plot tipe maseral utama untuk menentukan lingkungan pengendapan di daerah penelitian.



Gambar 9. Plot silang antara *Tissue Preservation Index* (TPI) dan *Gelification Index* (GI) menunjukkan nilai TPI rendah dan GI tinggi. Titik merah merupakan data maseral dari Sumur CBM-1, sedangkan titik biru merupakan data maseral dari Sumur CBM-2.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan jika berdasarkan dua analisis yang dilakukan (proksimat dan pantulan vitrinit) batubara di daerah penelitian adalah batubara peringkat rendah (*low rank coal*) dengan rentang peringkat antara lignit -

subbituminus. Peringkat ini berimplikasi kepada prospektivitas gas metana batubara (CBM) di daerah penelitian akan bersifat biogenik yang merupakan hasil pembusukan dari material organik akibat aktivitas mikroba dan bakteri pada saat proses penggambutan

dan pembatubaraan awal terjadi. Sementara itu analisis lingkungan pengendapan yang dilakukan menghasilkan lingkungan *lower delta plain* dengan kemungkinan fasies arsitektur berupa endapan *interdistributary marsh - tidal flat* dengan rezim hidrologi *limnic* sehingga berada pada lingkungan dataran gambut yang relatif basah / banyak air (*more wet mire*) dan dengan suplai klastik kasar yang terbatas (*limited influx clastic marsh*). Lingkungan pengendapan seperti ini akan menghasilkan batubara dengan distribusi lateral yang cukup baik tetapi dengan kandungan pengotor anorganik (dalam bentuk abu dari sedimen klastik halus dan/atau sulfur) yang cukup tinggi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Pertamina Hulu Energi Metana Sumatera 4 (PHE Metra 4) yang telah menyediakan data analisis batubara, mikrofosil, dan log tali kawat dari sumur CBM-1, CBM-2, CBM-11, dan CBM-13.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (1999): ASTM D388-99 - Standard Classification of Coals by Rank, American Standard on Testing Materials.
- Bielowicz, B. (2012): A new technological classification of low-rank coal on the basis of Polish deposits, *Fuel*, 96, hal 497-510.
- Diessel, C. F. K. (1992): *Coal-Bearing Depositional System*. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
- ITB-SKK Migas. (2016): Penyusunan pedoman parameter keteknikan eksplorasi untuk Uji Kandungan Lapisan (UKL) di Cekungan Sumatera Selatan, tidak dipublikasikan.
- Moore, T. A. (2012): Coalbed methane: A review, *International Journal of Coal Geology*, 101, hal. 36-81
- Pertamina. (1975): Laporan penyelidikan mikropaleontologi sumur Beringin-1, laporan internal, tidak dipublikasikan.
- Pertamina. (1989): Laporan penyelidikan mikropaleontologi sumur ASD-A1, laporan internal, tidak dipublikasikan.
- Peters, K. E., and Cassa, M. R. (1994): Applied source rock geochemistry, dalam Magoon, L. B., and Dow, W. G., *The petroleum system-from source to trap: AAPG Memoir 60*.
- Shell Mijnbouw NV. (1978): Geological study of the Bukit Asam coal mines, Jakarta, laporan internal, tidak dipublikasikan.
- Spruyt, J. M. (1956): Subdivision and nomenclature of the Tertiary sediments of the Palembang-Djambi Basin, tidak dipublikasikan.
- Stach, E., Mackowsky, M-Th., Teichmuller, M., Taylor, G. H., Chandra, D., and Teichmuller, R. (1982): *Stach's textbook of coal petrology*. Gebruder Borntraeger, Berlin-Stuttgart.
- Thomas, L. (2013): *Coal geology second edition*, Wiley-Blackwell, West Sussex, UK.