

Karakteristik Lingkungan Pengendapan Batubara Formasi Haloq dan Formasi Batuayau, Cekungan Kutai Atas: Pendekatan Organik dan Anorganik

Oleh :

Annisa¹
Mulyono Dwiantoro²

Abstrak

Batubara pada Formasi Haloq dan serpih karbonan pada Formasi Batuayau yang berasal dari Cekungan Kutai Atas telah diteliti karakteristik lingkungan pengendapannya menggunakan pendekatan ilmiah organik (petrografi organik), komposisi kimia batubara (proksimat dan ultimat), dan anorganik (*x-ray diffraction*). Analisis petrografi organik dalam menentukan material organik pembentuk, jenis rawa gambut, dan lingkungan pengendapan batubara menggunakan indikator *Tissue Preservation Index* (TPI), *Gelification Index* (GI), *Groundwater Index* (GWI), dan *Vegetation Index* (VI). Berdasarkan keempat indikator tersebut, batubara Formasi Haloq merupakan jenis rawa gambut *ombrotrophic* yang diendapkan pada kondisi *limnic* dengan tipe *high moor*. Hasil uji proksimat menunjukkan bahwa batubara pada Formasi Haloq memiliki nilai kandungan abu 2,7-6,2% (adb), lengas bawaan 1,62-3,06% (adb), zat terbang 39,9-45,1% (adb), karbon tertambat 46,7-52,4% (adb). Adapun serpih karbonan pada Formasi Batuayau memiliki nilai kandungan abu 63,3-70,2% (adb), lengas bawaan 2,45-2,49% (adb), zat terbang 14,4-18,8% (adb), dan karbon tertambat 12,9-15,4% (adb). Kedua contoh batuan tersebut memiliki rerata kandungan sulfur yang tinggi yaitu 1,53% (adb) pada Formasi Haloq dan 1,78% (adb) pada Formasi Batuayau. Hasil analisis *x-ray diffraction* menunjukkan bahwa pada batubara dan serpih karbonan hadir mineral *beidelite* yang merupakan ubahan dari *smectite*, dan mineral *nacrite* yang merupakan ubahan dari *kaolinite*. *Melanterite* dan *magnesiocopiate* merupakan mineral sulfat sekunder yang diindikasikan terbentuk akibat pengaruh oksidasi pada pirit. Berdasarkan analisis indikator TPI, GI, GWI, dan VI, batubara pada Formasi Haloq diinterpretasikan terbentuk pada lingkungan pengendapan *lower delta plain*. Adapun serpih karbonan pada Formasi Batuayau diinterpretasikan terbentuk pada lingkungan pengendapan yang sama berdasarkan pada kemiripan maseral dan perubahan karakter mineralnya.

Kata kunci: lingkungan pengendapan, Formasi Haloq, Formasi Batuayau, Cekungan Kutai Atas, organik dan anorganik.

-
1. Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan
 2. Dosen Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

Abstract

Examples of coal and carbonaceous shale from the Mahakam Ulu examined to determine the characteristics of the depositional environment. The scientific approach used include organic petrographic analysis, XRD, proximate and ultimate. Organic petrographic analysis to determine the forming material, facies and depositional environment of coal by using indicators Tissue Preservation Index (TPI), Gelification Index (GI), Groundwater Index (GWI) and Vegetation Index (VI). Plot between Tissue Preservation Index (TPI) and Gelification Index (GI) using diagram of Lamberson indicates that coal is deposited at limnic condition (low moor), while plot between Groundwater Index (GWI) and Vegetation Index (VI) shows that coal is deposited at ombrotrophic condition in bog's shape (high moor). The facies condition changes from low moor to high moor will affect the characteristic for both of mineral and maceral within coal and shaley coal. Changes mineral characteristics revealed by the presence of secondary clay minerals such as beidelite which is the transformation of smectite, and nacrite which is the transformation of kaolinite, while the oxidized pyrite transformed become sulphates such as melanterite and magnesiocopiate. The facies changes also lead to the prolific of sclerotinite. The presence melanterite Formation Sandstone Formation Haloq and magnesiocopiate Batuayau was indicated for the high value of total sulfur for both formations. Based on the higher value of GI and TS, coal samples from Batupasir Halog Formation were assigned for lower delta plain environment. While the shaley coal from Batuayau Formation which have a higher sulfur and mineral characteristics changes, then also assigned for the lower delta plain environment.

Keys word: low moor, high moor, serpih karbonan, batubara, xrd, petrografi organik.

1. Pendahuluan

Formasi Batupasir Haloq dan Formasi Batuayau terletak di Kabupaten Mahakam Ulu, masing-masing formasi diambil contoh, yaitu batubara pada Formasi Batupasir Haloq dan serpih karbonan pada Formasi Batuayau untuk dianalisis karakteristik lingkungan pengendapan. Analisis komposisi maseral dan mineral digunakan sebagai indikator yang terkait dengan lingkungan pengendapan batubara dan serpih karbonan.

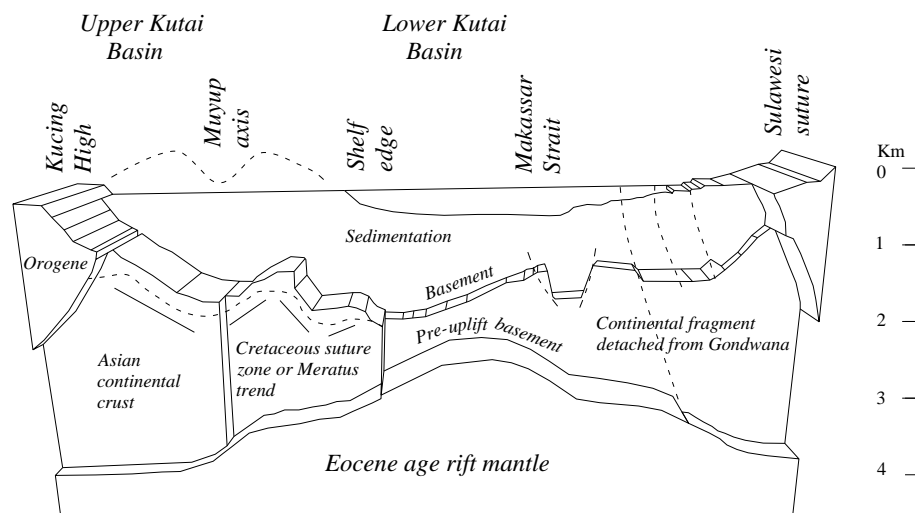
Metode penelitian yang dilakukan berdasarkan pendekatan ilmiah untuk mengetahui apakah komposisi maseral dapat menentukan lingkungan pengendapan batubara pada Formasi Batupasir Haloq, sedangkan karekteristik mineralogi apakah dapat mengidentifikasi kondisi lingkungan pengendapan pada kedua formasi.

Pembahasan secara detail pada komposisi maseral dan mineralogi terhadap lingkungan pengendapan kedua formasi akan dijelaskan lebih lanjut.

2. Geologi

Daerah Mahakam Ulu termasuk dalam Peta Geologi lembar Long Pahangai. Secara geologi regional, daerah ini termasuk ke dalam Cekungan Kutai, yang dibatasi di sebelah utara oleh Tinggian Mangkalihat, Zona Sesar Bengalon, dan Sangkulirang. Adapun disebelah selatan dibatasi oleh Zona Sesar Adang yang bertindak sebagai zona sumbu cekungan sejak Akhir Paleogen hingga sekarang (Moss dan Chamber, 1999). Pada bagian Barat dibatasi oleh *Central Kalimantan Range* yang dikenal sebagai Kompleks Orogenesa Kuching, berupa Metasedimen Kapur yang telah terangkat dan telah terdeformasi, dan di bagian timur berbatasan dengan Selat Makassar.

Arah pengendapan sedimen di Cekungan Kutai dimulai dari Tinggian Kuching di sebelah barat hingga ke timur menuju Selat Makassar, oleh karena itu Cekungan Kutai terbagi menjadi dua cekungan yaitu Cekungan Kutai Bagian Atas dan Cekungan Kutai Bagian Bawah (Calvert, 1999), sementara wilayah Mahakam Ulu berada di Cekungan Kutai Bagian Atas (Gambar 1). Cekungan Kutai Bagian Atas merupakan wilayah tektonik utama yang terangkat sebagai hasil dari pembalikan/inversi Miosen Awal dari *depocenter* Paleogen dan selanjutnya mengalami erosional.



Crustal Composition underlies Kutai Basin

Gambar 1. Arah pengendapan sedimen mulai dari Cekungan Kutai bagian Atas sampai Cekungan Kutai bagian Bawah (Calvert, (1999).

3. Material dan Metode Penelitian

Contoh diperoleh dari singkapan (outcrop) dengan cara channel sampling pada dua formasi yaitu Formasi Batupasir Haloq dan Formasi Batuayau. Contoh berjumlah enam terdiri empat contoh batubara pada Formasi Batupasir Haloq dan dua contoh serpih karbonan pada Formasi Batuayau.

Selanjutnya contoh direduksi ukurannya dan dibagi menjadi dua yaitu untuk arsip dan analisis. Bagian contoh yang akan dianalisis dibagi menjadi empat: untuk analisis komposisi kimia, analisis petrografi dan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD).

3.1 Analisis Komposisi Kimia

3.1.1 Analisis Proksimat

Batubara terdiri dari campuran heterogen senyawa-senyawa organik dan sejumlah material inorganik dalam bentuk kelembaban dan mineral. Komposisi komponen organik alamiah tergantung pada jenis-jenis dan bagian tumbuhan pembentuknya pada awal masa penggabutan. Komponen batubara dapat dianalisis melalui berbagai macam jenis analisis, salah satunya adalah analisis proksimat.

Analisis proksimat merupakan analisis untuk menentukan komposisi utama batubara yang terdiri dari empat jenis yaitu kelembaban/lengas (*moisture*), zat terbang (*volatile matter*), karbon tertambat (*fixed carbon*), kandungan abu (*ash content*). Analisis proksimat merupakan analisis fundamental yang sangat penting dalam penggunaan praktis batubara. Contoh tersebut telah dianalisis di Laboratorium tekMIRA proksimat (ASTM D3173, ASTM D3174, ISO 562, ASTM D3172, ASTM 5865)

3.1.2 Analisis Ultimat

Analisis ultimat digunakan untuk penentuan jumlah unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), Nitrogen (N), dan sulfur (S). Kandungan karbon, hidrogen, dan oksigen digunakan untuk menilai karakteristik pengkokasan, gasifikasi, dan likuifaksi batubara. Sedangkan kandungan nitrogen dan sulfur menunjukkan potensi pencemaran yang dapat ditimbulkan dari pemanfaatan batubara tersebut. Ketika batubara dibakar karbon dan hidrogen dibebaskan sebagai CO₂ dan H₂O. CO₂ bisa berasal dari mineral karbonat yang ada, dan H₂O bisa berasal dari mineral lempung atau *inherent moisture* pada *air-dried coal* atau pada keduanya. Contoh tersebut telah dianalisis di Laboratorium tekMIRA mencakup (ASTM D5373, ASTM D4239, ASTM 3176)

3.2 Analisis Komposisi Maseral

Analisis komposisi maseral menggunakan mikroskop sinar pantul merk Carl Zeiss Axioo A2m dan *point counter swift* dengan perbesaran 500 kali. Sedangkan untuk identifikasi grup maseral liptinit menggunakan sinar ultraviolet (*fluorescence*). Klasifikasi maseral batubara menggunakan standar AS 2856 (Standard Association of Australia, 1986). Jumlah pengamatan yang dilakukan terhadap masing-masing bidang poles dalam penelitian ini sebanyak 500 pengamatan tersebar di seluruh permukaan contoh.

3.3 Indikator Fasies Lingkungan Pengendapan

Penentuan fasies lingkungan pengendapan menggunakan parameter utama, yaitu *Tissue Preservation Index* (TPI) dan *Gelification Index* (GI) berdasarkan diagram Lamberson dkk., (1991). Salah satu parameter untuk pembentukan suatu lahan gambut yaitu kondisi tingkat pengaruh airtanah yang dipresentasikan melalui nilai GWI (*Groundwater Index*) dan VI (*Vegetation Index*) berdasarkan diagram Calder dkk., (1991).

$$TPI = \frac{\text{Telinit} + \text{Telocolinit} + \text{Pseudovitrinit} + \text{Semifusinit} + \text{Fusinit}}{\text{Vitrodetrinit} + \text{Desmocolinit} + \text{Inertodetrinit}}$$

$$GI = \frac{\text{Huminit} + \text{Geloinertinit}}{\text{Inertinit (kecuali macrinit)}}$$

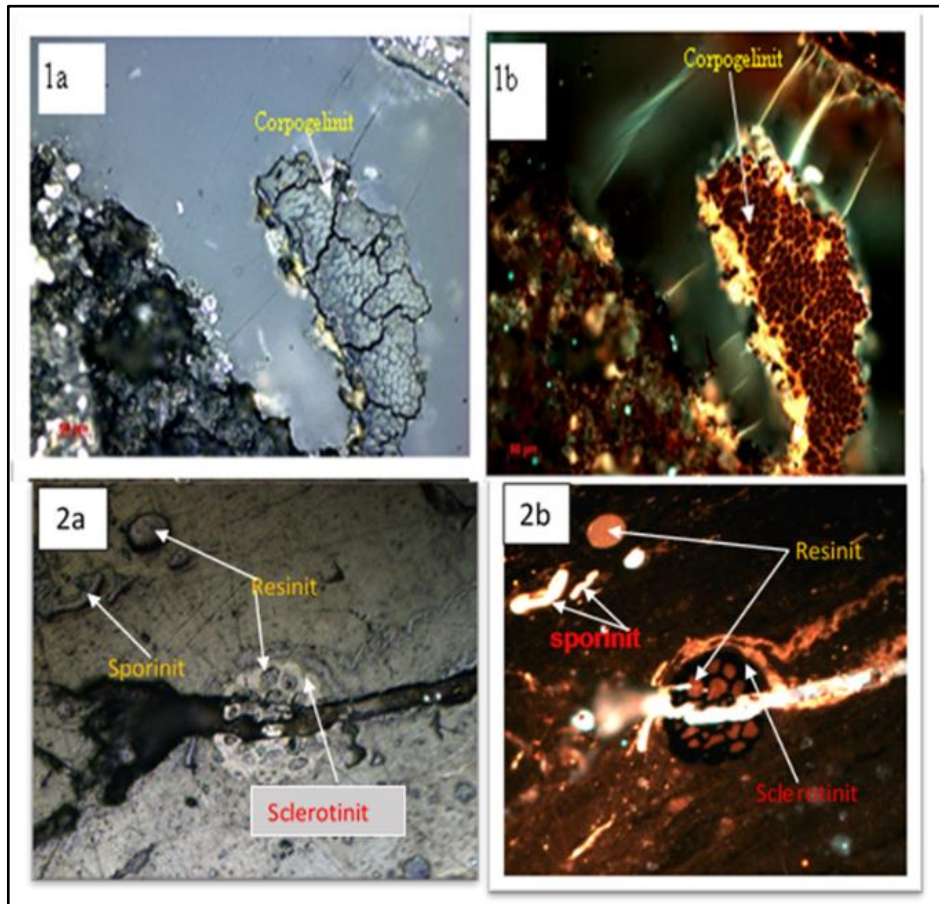
$$GWI = \frac{\text{Gelocolinit} + \text{Corpocolinit} + \text{Mineral Matter}}{\text{Telinit} + \text{Telocolinit} + \text{Desmocolinit}}$$

$$VI = \frac{\text{Telinit} + \text{Telocolinit} + \text{Fusinit} + \text{Semifusinit} + \text{Resinit}}{\text{Desmocolinit} + \text{Inertodetrinit} + \text{Liptodetrinit} + \text{Sporinit} + \text{Cutinit}}$$

4. Hasil

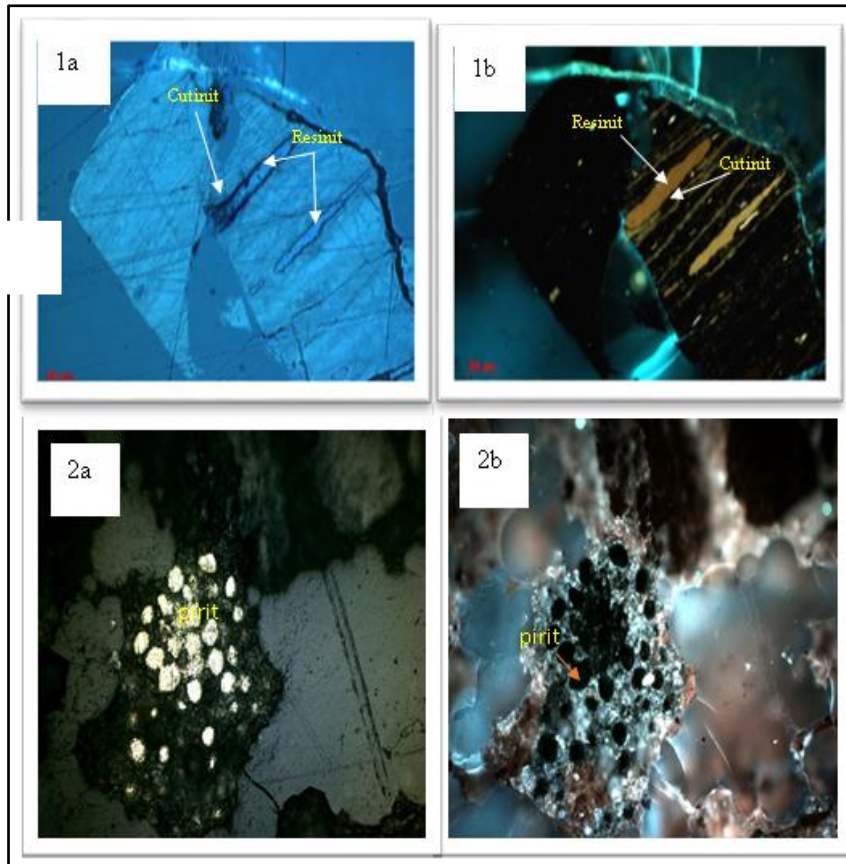
Hasil dari pengamatan komposisi maseral dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil uji total komposisi maseral dan mineral, analisis proksimat, analisis ultimat dan reflektan vitrinit dapat dilihat pada Tabel 2.

Batubara pada Formasi Batupasir Haloq, diwakili oleh empat titik contoh dengan kode contoh yaitu : HBG, MMH 0504, MMH 0502, dan MGD 0703. Grup maseral yang paling dominan adalah vitrinit, hadir dengan persentase (60 - 81,40 % vol.) (rata-rata 73,38 % vol.), diikuti oleh grup maseral liptinit, dengan kehadiran (5,4 - 12,8 % vol.) (rata-rata 10,2 % vol.), dan grup maseral inertinit dengan persentase 5,4 - 10,6 (% vol.) (rata-rata 8,2% vol.). Komposisi mineral pada masing-masing contoh yaitu, kode contoh HBG dengan persentase 7,4 (% vol.), kode contoh MMH 0504 dengan komposisi mineral 12,2 (% vol.), kode contoh MMH 0502 dengan komposisi mineral 8,8 (% vol.), dan MDG 0703 4,6 (% vol.). Pengamatan petrografi organik batubara Formasi Batupasir Haloq dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Hasil pengamatan tipikal maseral pada contoh di Formasi Batupasir Haloq. Menunjukkan kombinasi antara maseral corpogelinit dan resinit (1a dan 1b). Maseral sclerotinit, resinit dan sporinit (2a dan 2b). Sisi kiri merupakan hasil pengamatan menggunakan *normal/white light* dan sisi kanan menggunakan *fluoresence light*.

Serpih karbonan pada Formasi Batuayau, yang diwakili oleh dua titik contoh dengan kode contoh yaitu : MRH 0806 dan MRH 0801. Grup maseral yang paling dominan adalah vitrinit, komposisi maseral antara 57,9 % - 59 % (rata-rata 58,45 %). Diikuti oleh grup maseral liptinit, komposisi maseral antara 6%-8 % (rata-rata 7 %). Selanjutnya grup maseral inertinit 2,9 % - 3,3 % (rata-rata 3,1 %). Komposisi mineral pada masing-masing contoh yaitu, contoh MMH 0806 dengan komposisi mineral 29,7 %, dan contoh MRH 0801 dengan komposisi mineral 33,2 % (semua proporsi maseral dan mineral dinyatakan dalam % volume). Pengamatan petrografi organik batubara Formasi Batuayau dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil pengamatan tipikal maseral pada contoh di Formasi Batuyayu menunjukkan maseral resin and cutin (1a dan 1b), pirit framboidal (2a dan 2b). Sisi kiri merupakan hasil pengamatan menggunakan *normal/white light* dan sisi kanan menggunakan *fluorescence light*.

Hasil penggambaran titik contoh pada diagram TPI dan GI menurut Lamberson dkk., (1991) menunjukkan bahwa sebagian besar titik contoh batubara Formasi Batupasir Haloq mempunyai nilai TPI < 1 dan GI > 1 . Berdasarkan posisi titik tersebut maka batubara terendapkan pada kondisi Limnic (Lowmoor) di lingkungan back barrier – lower delta plain (Gambar 4). Adapun Formasi Batupasir Haloq umumnya memiliki nilai GWI antara 0,10 – 0,25 (rata-rata 0,16) dan nilai GI antara 0,30 – 2,43 (rata-rata 0,84).

Hasil penggambaran titik contoh pada diagram fasies GWI terhadap VI menurut Calder dkk., (1991) secara genesa sebagian besar titik contoh batubara Formasi Batupasir Haloq berada pada lingkungan ombrotrophic yang berbentuk bog (high moor). Nilai GWI $< 0,5$ yang menunjukkan tingkat gelifikasi lemah (Gambar 5).

Hasil analisis *x-ray diffraction* mengindikasikan bahwa mineral-mineral yang terdapat pada contoh batubara terbentuk secara singenetik maupun epigenetik (Tabel 3).

Tabel 1. Hasil analisis komposisi maseral.

Kode Contoh	Vitrinite (%)										Liptinite (%)								Inertinite (%)						
	Tex	Tex-UI	E-UI	Tel	Att	Den	Des	Corp	Prg	Eug	Spo	Cut	Res	Lip	Alg	Sub	Fluo	Exsu	Bitu	Fus	Smf	Scl	Int	Mic	Mac
Formasi Batupasir Haloq																									
HBG-1102	0.0	0.0	0.0	19.2	0.0	0.0	61.4	0.8	0.0	0.0	1.8	1.2	1.4	0.6	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	4.0	0.6	0.0	0.0
MMH-0504	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	54.6	3.4	0.0	0.0	2.3	1.4	1.7	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0
MMH-05021	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	56.0	2.8	0.0	0.0	1.3	0.6	2.3	0.0	1.6	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	0.0	0.0
MDG-0703	0.0	0.0	0.0	12.3	0.0	0.0	59.7	5.3	0.0	0.0	1.9	1.7	2.7	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7	0.0	0.0	0.0
Formasi Batuayau																									
MRH-0806	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	51.7	0.3	0.0	0.0	2.3	1.1	1.9	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0
MRH-0801	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0	50.8	0.0	0.0	0.0	1.1	1.7	0.0	0.0	1.1	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0

Keterangan

Tex : *Textinite* *Den* : *Densinite* *Spo* : *Sporinite* *Alg* : *Alginite* *Bitu* : *Bituminite*
Tex-UI : *Texto-Ulminite* *Des* : *Descomolinite* *Cut* : *Cutinite* *Sub* : *Suberinite* *Mic* : *Micrinite*
E-UI : *Eu-Ulminite* *Corp* : *Corpogelinite* *Res* : *Resinite* *Int* : *Inertodetrinite* *Mac* : *Macrinite*
Tel : *Tellocolinite* *Prg* : *Porigelinite* *Fus* : *Fusinite* *Fluo* : *Fluorinite* *Smf* : *Semifusinite*

Tabel 2. Hasil analisis total komposisi maseral dan mineral, komposisi kimia, dan reflektan vitrinit.

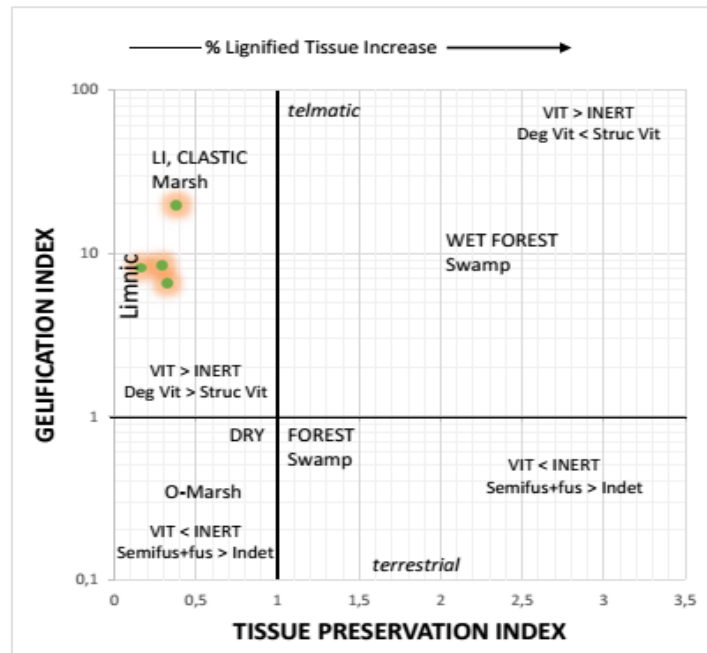
Kode Contoh	TM	IM	A	VM	FC	CV	C	H	N	S	O	Grup Maseral			MM	Rr
	%ar	%adb	%adb	%adb	%adb	Cal/g.	%adb	%adb	%adb	%adb	%adb	Vitrinit	Liptinit	Inertinit	%	(%)
Formasi Batupasir Haloq																
HBG-1102	??	3,06	5,22	45,1	46,7	7.487	75,2	6,49	1,18	3,55	8,33	81,4	5,8	5,4	7,4	0,48
MMH 0504	2,61	2,23	6,19	39,9	51,7	7.542	76,5	6,22	1,38	0,95	8,73	67,0	12,8	8,0	12,2	0,48
MMH 05021	2,68	2,22	3,37	42	52,4	7.851	79,3	6,48	1,48	0,91	8,46	69,8	12,8	10,6	6,8	0,48
MDG 0703	1,72	1,62	2,66	43,9	51,8	8.113	82,2	6,53	1,7	0,7	6,26	75,8	9,3	9,3	5,6	0,54
Formasi Batu Ayau																
MRH 0806	9,42	2,49	63,3	18,8	15,4	2.260	24,9	3,18	0,51	0,31	7,82	59,0	8,0	3,3	29,7	0,53
MRH 0801	7,54	2,45	70,2	14,4	12,9	1.568	18,1	2,53	0,41	3,25	5,44	57,9	6,0	2,9	33,2	0,48

Keterangan:

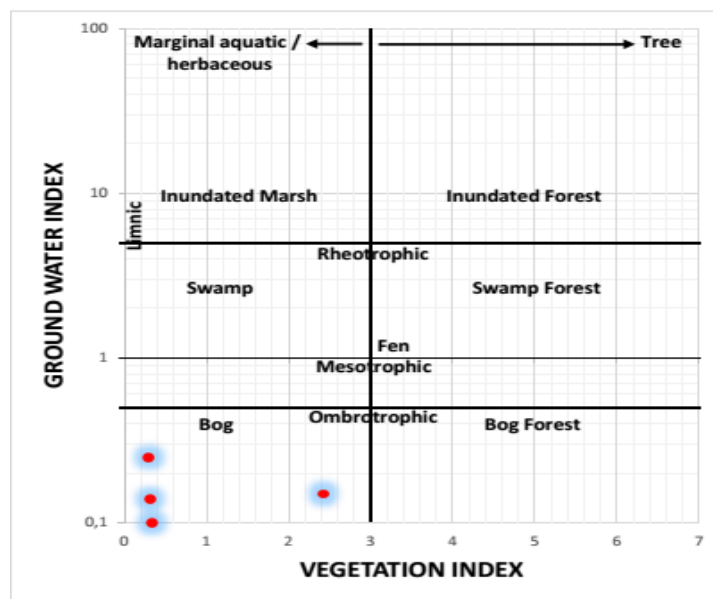
TM: *Total Moisture* *VM*: *Volatile Matter* *C*: *Carbon* *S*: *Sulfur* *Rr*: *Random Reflectance*
IM: *Inherent Moisture* *FC*: *Fixed Carbon* *H*: *Hydrogen* *O*: *Oxygen*
A: *Ash* *CV*: *Calorific Value* *N*: *Sulfur* *MM*: *Mineral Matter*

Tabel 3. Hasil analisis X-ray Diffraction.

Kode Sampel	Analisis XRD				
	Mineral	Rumus Kimia	Sistem Kristal	Kelas Mineral	Nama
HBG-1102	<i>Quartz</i>	SiO_2	<i>Hexagonal</i>	Silikat	<i>Silicon Oxide</i>
	<i>Melanterite</i>	$Fe + 2SO_4 \cdot 7H_2O$	<i>Monoclinic</i>	Sulfat	<i>Iron Sulfate Hydrate</i>
	<i>Zaherite-18A</i>	$Al_{12} (SO_4)_5 (OH)_{26} \cdot 20H_2O$	<i>Triclinic</i>	Sulfat	<i>Aluminum Sulfate Hydroxide Hydrate</i>
MMH 0504	<i>Quartz</i>	SiO_2	<i>Hexagonal</i>	Silikat	<i>Silicon Oxide</i>
	<i>Kaolinite#1\ITA\RG</i>	$Al_2 (Si_2O_5) (OH)_4$	<i>Triclinic</i>	Lempung	<i>Aluminum Silicate Hydroxide</i>
MMH 05021	<i>Quartz</i>	SiO_2	<i>Hexagonal</i>	Silikat	<i>Silicon Oxide</i>
	<i>Kaolinite#1\ITA\RG</i>	$Al_2 (Si_2O_5) (OH)_4$	<i>Triclinic</i>	Lempung	<i>Aluminum Silicate Hydroxide</i>
MDG 0703	<i>Quartz</i>	SiO_2	<i>Hexagonal</i>	Silikat	<i>Silicon Oxide</i>
	<i>Kutnohorite, Magnesian</i>	$Ca (Mn, Mg) (CO_3)_2$	<i>Rhombohedral</i>	Karbonat	<i>Calcium Manganese Carbonat</i>
MRH 0806	<i>Quartz</i>	SiO_2	<i>Hexagonal</i>	Silikat	<i>Silicon Oxide</i>
	<i>Kaolinite#1\ITA\RG</i>	$Al_2 (Si_2O_5) (OH)_4$	<i>Triclinic</i>	Lempung	<i>Aluminum Silicate Hydroxide</i>
	<i>Beidellite-12A</i>	$Na_0.3Al_2 (Si, Al)_4O_{10} (OH)_2 \cdot 2H_2O$	<i>Hexagonal</i>	Lempung	<i>Sodium Aluminum Silicate Hydroxide Hydrate</i>
MRH 0801	<i>Quartz</i>	SiO_2	<i>Hexagonal</i>	Silikat	<i>Silicon Oxide</i>
	<i>Magnesiocopiapite</i>	$MgFe_4 + 3 (SO_4) 6 (OH)_2 \cdot 20H_2O$	<i>Triclinic</i>	Sulfat	<i>Magnetic Iron Sulfat Hydroxide Hydrate</i>
	<i>Nacrite</i>	$Al_2Si_2O_5 (OH)_4$	<i>Monoclinic</i>	Lempung	<i>Aluminium Silicon Oxide Hydrate</i>



Gambar 4. Plot nilai TPI dan GI pada Formasi Batupasir Haloq menunjukkan lingkungan limnic dan marsh (Lamberson dkk., 1991)



Gambar 5. Plot nilai GWI dan VI pada Formasi Batupasir Haloq menunjukkan kondisi bog (Calder dkk., 1991)

5. Pembahasan

5.1. Fasies dan Lingkungan Pengendapan

Berdasarkan plot nilai TPI dan GI pada diagram fasies Lamberson, dkk (1991) contoh batubara diendapkan pada kondisi *limnic* (*low moor*), sementara hasil plot GWI dan VI menunjukkan berada pada lingkungan *ombrotrophic* yang

berbentuk *bog* (*high moor*). Berdasarkan plot nilai GWI dan VI terlihat bahwa hampir semua titik cenderung terletak dalam zona bog yang mempunyai nilai GWI $< 0,2$ dan VI $< 0,1$. Hal tersebut menunjukkan bahwa batubara pada lokasi tersebut indeks muka airnya rendah dan indeks vegetasinya juga rendah sehingga menghasilkan gambut ombrotrofik dengan tumbuhan asalnya adalah *herbaceous* (perdu). Satu titik lainnya menunjukkan nilai GWI $< 0,2$ dan VI $> 0,2$, artinya bahwa batubara pada lokasi tersebut indeks muka airnya rendah dan indeks vegetasi yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa maseral pada contoh berasal dari tumbuhan hutan (kayu). Calder, dkk (1991), menyatakan bahwa kondisi *limnic* dicirikan oleh tipe gambut eutrofik (*low moor*), sementara untuk gambut *bog* (*raised bog*) maka tipe gambutnya adalah *high moor* yang terbentuk secara *ombrotrophic*.

Berdasarkan nilai TPI – GI dan GWI – VI yang telah tergambar pada kedua diagram fasies tersebut, untuk studi lingkungan pengendapan batubara Formasi Batupasir Haloq terdapat adanya kontradiksi dalam penerapannya. Kontradiksi pendapat Diessel, (1986) dan Calder, (1991), untuk batubara Formasi Batupasir Haloq memiliki karakteristik yang khas yaitu genesa gambut yang diendapkan pada kondisi *limnic* (*low moor*) dengan tipe gambut *ombrotrophic* (*high moor*).

Gambut Formasi Batupasir Haloq pembentukannya diasumsikan berawal dari mire yang diendapkan pada kondisi *limnic*. Kondisi tersebut memiliki ciri tipe *low moor* dengan genesanya *rheotrophic*, tumbuhan asalnya didominasi oleh tumbuhan tingkat tinggi dan suplai air berasal tanah. Selanjutnya akibat akumulasi penumpukan gambut yang relatif cepat dan berulang, maka gambut akan berbentuk seperti kubah (Dome) dengan tipe gambut *high moor*.

Anggayana dkk., (2014) menjelaskan bahwa pengertian *limnic* adalah gambut yang berbentuk kubah atau *raised bog*. Sebagian besar gambut terendam air dan muka air mengikuti perkembangan kubah. Muka air tersebut merupakan batas antara zona jenuh air (terendam air) dengan zona tidak jenuh air (kering).

5.2. Hubungan Mineral dengan Fasies Lingkungan Pengendapan

Berdasarkan hasil interpretasi XRD, mineral-mineral yang ada pada contoh meliputi: kwarsa, kaolinit, nacrite, baidellite, kutnohorite magnesian, zaherite, melanterite dan magnesioopiate.

Hasil penggambaran fasies lingkungan pengendapan maka batubara Formasi Batupasir Haloq berada pada lingkungan pengendapan kondisi *limnic*. Gambut akan selalu terendam di bawah muka air (*low moor*) (Diessel, 1986) sedangkan penggambaran pada diagram GWI dan VI menurut Calder dkk., (1991) menunjukkan bahwa batubara terbentuk secara *ombrotrophic* (*high moor*). Seiring pertumbuhan gambut dari *low moor* ke *high moor* membentuk lingkungan oksidasi, dimana gambut *high moor* dalam kondisi berhubungan langsung dengan udara luar.

Hal tersebut mengindikasikan bahwa zona jenuh air (terendam) dan zona tidak jenuh air (kering) dipengaruhi oleh perubahan musim, yaitu musim panas dan musim hujan yang sesuai dengan kondisi tropis. Perubahan musim tersebut dapat menyebabkan fluktuasi muka air. Calder dkk., (1991) menyatakan fluktuasi muka air pasang dan surut sangat tergantung dari frekuensi, variasi besaran dan jangka

waktu terjadinya. Fluktasi muka air dapat mempengaruhi keanekaragaman paleoflora dan lingkungan diagenesa.

Perubahan fluktasi muka air yang disebabkan oleh banjir musiman) menyebabkan kadar oksigen dalam air menjadi tinggi (Calder dkk., 1991 dalam Basuki, 2013). Berdasarkan pernyataan tersebut, mineral-mineral yang ada pada kondisi limnic sebagian besar akan mengalami perubahan (transformasi) akibat oksidasi yang diduga kuat dipengaruhi oleh tingginya kandungan oksigen di dalam air dan juga perubahan dari kondisi basah – lembab – kering.

Perubahan kondisi fasies tersebut dari low moor ke high moor mempengaruhi karakteristik mineral dan maseral baik pada batubara ataupun serpih karbonan. Perubahan karakteristik mineral dibuktikan dari hadirnya mineral sekunder lempung yaitu beidelite yang merupakan transformasi dari smectite, dan nacrite yang merupakan transformasi dari kaolinite, sementara pirit mengalami oksidasi menjadi mineral sulfat seperti melanterite dan magnesiocopiate. Perubahan fasies tersebut juga menyebabkan melimpahnya maseral sclerotinite. Hadirnya melanterite pada Formasi Batupasir Haloq dan magnesiocopiate pada Formasi Batuayau diduga sebagai penyebab tingginya nilai total sulfur pada kedua formasi.

Berdasarkan nilai GI dan TS yang tinggi pada contoh batubara dari Formasi Batupasir Haloq, maka diinterpretasikan terendapkan pada lingkungan *lower delta plain*. Adapun contoh serpih karbonan dari Formasi Batuayau yg memiliki nilai TS tinggi dan terjadinya perubahan karakteristik mineral, maka diinterpretasikan terbentuk pada lingkungan *lower delta plain*

6. Kesimpulan dan Saran

Batubara pada Formasi Batupasir Haloq merupakan bagian dari Cekungan Kutai Atas, yang terendapkan pada kondisi *limnic (low moor)* dengan genesa gambut *ombrotrophic (high moor)*. Kondisi ini menjelaskan bahwa telah terjadi perubahan *paleoflora* dan fasies selama akumulasi gambut. Perubahan ini dipengaruhi oleh fluktasi muka air akibat perubahan musim tahunan (kondisi basah - kering) pada iklim tropis. Perubahan kondisi fasies basah - lembab - kering mempengaruhi karakterisasi mineral dan maseral pada lingkungan tersebut. Terdapatnya mineral-mineral lempung sekunder seperti *baidellite* (transformasi dari *smectite*) dan *nactite* (transformasi dari *kaolinite*). Hadirnya *melanterite* pada Formasi Batupasir Haloq dan *magnesiocopiate* Formasi Batuayau serta diperkuat adanya kesamaan melimpahnya komposisi maseral sclerotinit pada masing-masing contoh, maka kedua formasi diendapkan pada lingkungan pengendapan yang sama yaitu lingkungan *lower delta plain*.

Daftar Pustaka

- Anggayana, K., Rahmad, B., Widayat, A.H., dan Hede, A.N.H., (2014): Limnic in ombrotrophic peat type as the origin of Muara Wahau coal, Kutei Basin, Indonesia, *Journal of The Geological Society of India*. **83**, 555-562.
- Australian Standard – AS 2586. (1986): *Coal maceral analysis*, The Standard Association of Australia, NSW, Australia.

- Annual book of ASTM. (2005) : ASTM *Standard D 5187* Standard Test Method for Determination of Crystallite Size (Lc) of Calcined Petroleum Coke by X-Ray Diffraction.
- Calder, J.H., Gibling, M.R., dan Mukhopadhyay, P.K. (1991): Peat formation in a Westphalian piedmont setting, Cumberland Basin, Nova Scotia: implications for the maceral-based interpretation of rheotrophic and raise paleomires, *Bull Soc. Geol.*, **162**, 283-298, France.
- Diessel, CFK. (1991): On the correlation between coal facies and depositional environments. *The University of New Castle*.
- Lamberson, M.N., Bustin, R.M., dan Kalkreuth, W. (1991): Litho type (maceral) composition and variations correlated with paleo-wetland environments, Gates Formation, northeastern British Columbia. *International Journal of Coal Geology*, **18**, 87-124, Amsterdam.
- Moss, S.J. dan Chambers, J.L.C. (1999): Depositional modelling and facies architecture of rift and inversion in the Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia, *Jurnal of Asians Earth Science*, **17**, 157-181.
- Rahmad, B., (2013): Pengembangan model genesa batubara Muara Wahau, Kalimantan Timur, berdasarkan karakteristik maseral, geokimia organik dan isotop karbon stabil. Disertasi Program Doktor, Institut Teknologi Bandung.