

# PERUBAHAN KOMPOSISI MASERAL DALAM BATUBARA WAHAU SETELAH PROSES PENGERINGAN/UPGRADING

## *Changes in Wahau's Coal Maceral Composition After Upgrading Process*

MIFTAHUL HUDA, SILTI SALINITA dan NINING S. NINGRUM

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara  
Jalan Jenderal Sudirman 623 Bandung 40211  
Telp. (022) 6030483, Fax. (022) 6003373  
e-mail: [huda@tekmira.esdm.go.id](mailto:huda@tekmira.esdm.go.id)

---

### ABSTRAK

Sebagian besar sumber daya batubara Indonesia adalah batubara peringkat rendah. Batubara ini dapat ditingkatkan nilai kalornya dengan melakukan proses pengeringan (*upgrading*). Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perubahan komposisi sub-maseral dan reflektan vitrinit setelah proses pengeringan. Penelitian *upgrading* ini dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode hidrotermal dan oksidasi terhadap percontoh batubara Muara Wahau. Hasil penelitian menunjukkan persentase grup maseral eksinit berkurang dan grup maseral vitrinit bertambah setelah proses pengeringan. Dalam grup maseral vitrinit, akibat proses pemanasan desmokolinit lebih stabil dibandingkan dengan maseral lainnya. Pada suhu pengeringan yang tinggi (> 150°C), persentase inertinit lebih tinggi pada kondisi atmosfer teroksidasi dibandingkan persentase inertinit hasil proses hidrotermal. Dalam grup maseral inertinit, sklerotinit lebih stabil oleh proses pemanasan dibandingkan maseral lainnya. Nilai rata-rata reflektan vitrinit meningkat pada proses pengeringan hidrotermal dan konstan setelah proses oksidasi. Perubahan struktur molekul batubara antara lain putusannya ikatan C-C pada senyawa alifatik dan terbentuknya senyawa aromatik terkondensasi diperkirakan sebagai penyebab terjadinya perubahan komposisi maseral dan perubahan nilai rata-rata reflektan vitrinit.

Kata kunci: proses pengeringan, maseral, hidrotermal, reflektan vitrinit

### ABSTRACT

Most of Indonesia's coal resources are low rank coals. The heating value of the coal could be increased through drying/upgrading process. The objective of this study is to determine the changes in sub-macerals composition and the average value of vitrinite reflectance after the upgrading process. This research was conducted using two upgrading methods, namely hydrothermal and oxidation towards Muara Wahau coal samples. The results show that percentage of exinite maceral group decreases and vitrinite maceral group increases after upgrading. Among the vitrinite group maceral, desmocolinite is the most stable on heating. At temperature of above 150°C, inertinite percentage is higher on upgrading under oxidation compared to that under hydrothermal conditions. Among inertinite maceral group, sclerotinite is the most stable on heating. The average value of vitrinite reflectance increased after hydrothermal and constant after oxidation process. Changes in the molecular structure of coal, among others breaking the C-C bond in aliphatic compounds and the formation of condensed aromatic compounds, are expected to cause the alteration of maceral and changes in average value of vitrinite reflectance.

Keywords: upgrading, maceral, hydrothermal, vitrinite reflectance

## PENDAHULUAN

Batubara merupakan batuan mampu bakar yang terbentuk jutaan tahun yang lalu. Batuan ini terdiri atas sisa-sisa tumbuhan purba yang mengalami proses metamorfosis akibat proses biokimia dan geokimia. Jika proses biokimia mengubah sisa tanaman menjadi gambut, maka proses geokimia yang terjadi setelah penimbunan mengubah gambut menjadi lignit atau batubara berperingkat rendah. Proses geokimia seterusnya akan mengubah lignit sampai menjadi batubara berperingkat tinggi, yakni antrasit (Orem dan Finkelman, 2014).

Indonesia mempunyai sumber daya batubara sebesar 120,5 miliar ton untuk tambang terbuka dan 41 miliar ton tambang bawah permukaan serta jumlah cadangan batubara sebesar 31 miliar ton (Aryono, 2015). Sebagian besar sumberdaya batubara Indonesia adalah batubara peringkat rendah. Umumnya batubara dimanfaatkan secara langsung untuk menghasilkan panas sebagai energi proses pada industri dan energi pada pembangkit tenaga listrik. Selain digunakan langsung sebagai bahan bakar, batubara juga dapat dikonversi menjadi bahan bakar gas, bahan bakar cair atau karbon aktif. Pada batubara peringkat rendah dapat dilakukan proses pengeringan/*upgrading* sebelum proses konversi untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan nilai kalor. Batubara dengan kadar air yang lebih rendah dalam proses konversinya memerlukan reaktor yang lebih kecil, sehingga dapat mengurangi biaya investasi.

Proses pengeringan batubara pada suhu tertentu dapat mengubah sifat kimia batubara, sehingga akan berpengaruh pada efektivitas proses konversi. Proses pengeringan batubara dengan cara hidrotermal pada suhu di atas 150°C akan menyebabkan perubahan dari gugus fungsi oksigen dan akan menghasilkan batubara yang memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi serta kandungan oksigen yang rendah (Sakaguchi *dkk.*, 2008). Pada suhu 230°C, karboksilat yang terdapat pada struktur batubara akan terdekomposisi dan membentuk karbon dioksida (Zhang *dkk.*, 2016). Pada suhu lebih tinggi (350°C) dan tekanan 30 bar, proses hidrotermal dapat menghilangkan sulfur organik di dalam batubara. Perubahan komposisi kimia ini mungkin akan diikuti oleh

perubahan komposisi maseral batubara (Timpe *dkk.*, 2001).

Maseral adalah bahan organik yang secara optik homogen dan mempunyai sifat fisika dan kimia tertentu yang terbentuk secara alami (Scott, 2002). Maseral pada batubara analog dengan mineral pada batuan. Maseral terbagi atas tiga grup, yaitu grup maseral vitrinit, eksinit dan inertinit. Grup maseral vitrinit berasal dari bahan sel dinding ataupun serat-serat kayu dari suatu tumbuhan. Eksinit berasal dari unsur-unsur yang mengandung lilin dan resin suatu tumbuhan, seperti halnya spora, kutikula, ganggang (alga) dan getah. Grup maseral inertinit sebenarnya berasal dari bahan yang sama dengan bahan pembentuk maseral vitrinit, akan tetapi bahan tersebut telah mengalami proses oksidasi (Suárez-Ruiz dan Crelling, 2008).

Mastalerz, Hower dan Taulbee (2013) dan Chen, Mastalerz dan Schimmelmann (2012) mempelajari komposisi kimia maseral lignit menggunakan FT-IR (*Fourier transform infrared*) spektroskopi. Grup maseral vitrinit lebih banyak mengandung senyawa aromatik dibandingkan eksinit. Dalam grup eksinit, maseral sporinit mempunyai kandungan aromatik lebih tinggi dibandingkan maseral kutinit dan algininit. Eksinit mempunyai rantai senyawa alifatik lebih panjang dibandingkan vitrinit. Dalam grup eksinit, maseral algininit mempunyai senyawa aromatik paling panjang. Meningkatnya jumlah aromatik diikuti oleh peningkatan nilai reflektan vitrinit. Perubahan nilai reflektan vitrinit merupakan salah satu indikasi derajat pematubaraan. Semakin tinggi nilai reflektan vitrinit, maka derajat pematubaraan akan semakin tinggi (Suárez-Ruiz dan Crelling, 2008).

Komposisi maseral batubara memengaruhi proses pemanfaatannya. Vitrinit lebih mudah digerus dibandingkan dengan eksinit dan inertinit. Vitrinit pada batubara kokas mengaglomerasi saat dipanaskan, sehingga berfungsi sebagai semen untuk pembuatan kokas, tetapi kokas yang kuat perlu maseral inertinit dalam jumlah tertentu (Thomas, 2012). Fungsi inertinit dalam pembuatan kokas analog dengan pasir pada campuran beton. Semakin banyak jumlah vitrinit semakin tinggi *swelling index* batubara (Stanger *dkk.*, 2013). Vitrinit lebih reaktif

dalam proses pencairan batubara secara langsung dibandingkan dengan inertinit (Suárez-Ruiz dan Crelling, 2008; Jin *dkk.*, 2014). Ukuran pori maseral lebih berpengaruh pada efektifitas proses pencairan batubara dibandingkan dengan luas permukaan maseral (Feng, Li dan Li, 2013). Karakteristik pelepasan zat terbang pada proses pemanasan juga berbeda antara maseral inertinit dan vitrinit (Zhang, Hower and Liu, 2016).

Perubahan komposisi maseral setelah proses pengeringan perlu diketahui, karena akan memengaruhi efektifitas proses pemanfaatan selanjutnya. Handayani dan Gusnadi (2015) mempelajari pengaruh perlakuan hidrotermal, karbonisasi dan oksidasi terhadap perubahan kelompok maseral dan hasil analisa proksimat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan komposisi sub-kelompok maseral dan reflektan vitrinit dari batubara Muara Wahau setelah proses pengeringan, sehingga karakteristik batubara setelah proses tersebut dapat diprediksi. Disamping itu pada makalah ini transformasi dari satu grup maseral ke grup maseral lainnya oleh proses perlakuan panas akan dijelaskan. Di daerah Muara Wahau (Kalimantan Timur) terdapat sumber daya batubara yang cukup besar (Santoso dan Daulay, 2005a, 2005b; Santoso dan Utoyo, 2012; Santoso, 2015) yang potensial untuk dijadikan bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) mulut tambang atau dikonversi menjadi bahan bakar atau bahan bakar cair (SuaraKutim.com, 2015)

## METODE

Batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah batubara yang berasal dari Kecamatan Muara Wahau, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur. Untuk mengetahui karakteristik batubara tersebut dilakukan analisis proksimat, sulfur dan nilai kalor dengan mengikuti standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Proses pengeringan batubara dilakukan dengan dua cara, yaitu cara hidrotermal dan oksidasi. Cara hidrotermal dilakukan pada suhu 150, 250, 300 dan 350°C dan tekanan 30 bar. Oksigen dalam *autoclave* dibilas sebelum proses hydrothermal dengan cara meniupkan gas

nitrogen untuk mencegah reaksi oksidasi. Cara oksidasi dilakukan pada suhu yang sama, tetapi pada atmosfer udara dan tekanan kamar. Untuk kedua proses tersebut, ukuran batubara dan berat percontoh berturut-turut adalah  $-7+32$  mesh dan 200 gram. Untuk analisis komposisi maseral (petrografi), batubara hasil proses tersebut digerus dan diayak menjadi berukuran  $\pm 1$  mm atau menggunakan ayakan  $-16+35$  mesh. Analisis maseral dilakukan menggunakan mikroskop sinar pantul *Carl Zeiss Microscope* dan *Point Counter Model F* dengan pembesaran 500 kali. Klasifikasi dan terminologi maseral menggunakan standar Australia AS2856 (Australian Standard, 1986). Pengukuran reflektan dilakukan pada permukaan partikel-partikel vitrinit, menggunakan sinar hijau monokromatik panjang gelombang 546 nm. Untuk mengukur refleksi maksimum, polarizer diatur dalam posisi 45°. Lensa yang digunakan adalah lensa dengan pembesaran yang tinggi, yaitu 50 kali.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Peringkat dan Komposisi Maseral Batubara

Batubara dikelompokkan berdasarkan peringkat, tipe dan *grade*. ASTM mengklasifikasikan peringkat batubara berdasarkan kadar karbon terikat dan nilai kalor. Peringkat batubara dengan nilai karbon terikat  $>69\%$  ditentukan berdasarkan kadar karbon terikat, sedangkan peringkat batubara dengan nilai karbon terikat  $<69\%$  ditentukan berdasarkan nilai kalor. Berdasarkan standar ASTM, batubara diklasifikasikan ke dalam lignit, subbituminus, bituminus dan antrasit (Tabel 1).

Pengelompokan batubara berdasarkan *grade/kualitas* tergantung pada penggunaannya tetapi umumnya batubara yang mempunyai kadar abu dan belerang tinggi dianggap mempunyai kualitas rendah.

Tabel 2 menampilkan hasil analisis proksimat dan nilai kalor batubara Muara Wahau. Kadar karbon dan nilai kalor batubara ini dalam kondisi *air dried basis* (adb) berturut-turut adalah 36,72% dan 5819 kal/g. Batubara ini mempunyai kandungan abu  $<10\%$  (adb) dan total sulfur yang sangat rendah ( $<1\%$ , adb).

Tabel 1. Klasifikasi peringkat batubara berdasarkan ASTM

Kelas	Grup	Karbon Padat (% dmmf)		Zat Terbang (% dmmf)		Nilai Kalor (mmf)			
		>	<	>	<	Btu/lb		Mj/kg	
		>	<	>	<	>	<	>	<
Antrasit	Meta-antrasit	98	—	—	2				
	Antrasit	92	98	2	8				
	Semiantrasit	86	92	8	14				
Bituminus	Zat terbang rendah	78	86	14	22				
	Zat terbang medium	69	78	22	31				
	Zat terbang Tinggi A	—	69	31	—	14.000	—	32,6	—
	Zat terbang Tinggi B					13.000	14.000	30,2	32,6
	Zat terbang Tinggi C					11.500	13.000	26,7	30,2
Subbituminus	Subbituminus A					10.500	11.500	24,4	26,7
	Subbituminus B					9.500	10.500	22,1	24,4
	Subbituminus C					8.300	9.500	19,3	22,1
Lignit	Lignit A					6.300	8.300	14,7	19,3
	Lignit B					—	6.300	—	14,7

Tabel 2. Karakteristik batubara Muara Wahau berdasarkan ASTM

Parameter Analisis	Hasil	Metode
Air lembab (% adb)	12,34	ASTM D.3373
Abu (% adb)	2,58	ASTM D.3174
Zat terbang (% adb)	48,36	ISO 562
Karbon terikat (% adb)	36,72	ASTM D.3172
Sulfur (% adb)	0,15	ASTM 3177
Nilai kalor (kal/g, adb)	5.819	ASTM D.720

Basis yang digunakan untuk penentuan peringkat batubara standar ASTM adalah *moist mineral matter free* (mmmf). Tabel 3 menampilkan komposisi batubara Muara Wahau dalam basis mmmf. Kadar karbon, kadar zat terbang dan nilai kalor lebih tinggi dalam basis mmmf dibandingkan dalam basis perhitungan adb, karena pada basis perhitungan mmmf tidak ada air dan abu/mineral. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 3, batubara tersebut diklasifikasikan menurut ASTM termasuk peringkat rendah (lignit) dengan kadar karbon padat <69% (mmmf) dan nilai kalor <8.300 kal/g (mmmf).

Hasil analisis maseral batubara Muara Wahau ditampilkan pada Tabel 4. Grup maseral vitrinit mendominasi komposisi batubara ini. Dalam grup vitrinit, maseral desmokolinit jumlahnya paling banyak. Desmokolinit akan banyak terbentuk di bawah kondisi marin, sementara itu telovitrinit akan banyak terbentuk di bawah kondisi air tawar (Styan dan Bustin, 1983). Eksinit batubara Muara Wahau relatif banyak, hampir semua subgrup eksinit ada di batubara

Muara Wahau. Sporinit dan kutinit juga terdeteksi meskipun sedikit kandungannya. Resinit terlihat banyak sekitar 5,6%. Suberinit pada batubara Muara Wahau terjadi pada lapisan batubara yang vertikal menandakan bahwa maseral ini diendapkan pada saat gambut belum berkembang. Inertinit batubara Muara Wahau didominasi oleh sklerotinit yang merupakan turunan dari jamur atau fungi yang berkembang pada lingkungan basah (Anggayana, Rahmad dan Widayat, 2014). Menurut Suárez-Ruiz dan Crelling (2008), sedikitnya kandungan vitrinit dapat memberikan petunjuk bahwa lapisan batubara tersebut relatif berada di bagian atas, sedangkan banyaknya vitrinit menunjukkan lapisan batubara tersebut berada di bagian bawah. Pada lingkungan laut dangkal (*lower delta plain*) umumnya kandungan vitrinit banyak, sebaliknya pada lingkungan laut dalam (*upper delta plain*) dan *meandering fluvial*, bila vitrinit banyak, maka ditafsirkan kecepatan penurunan cekungan berjalan cepat, artinya muka air tinggi. Sedangkan jika kandungan

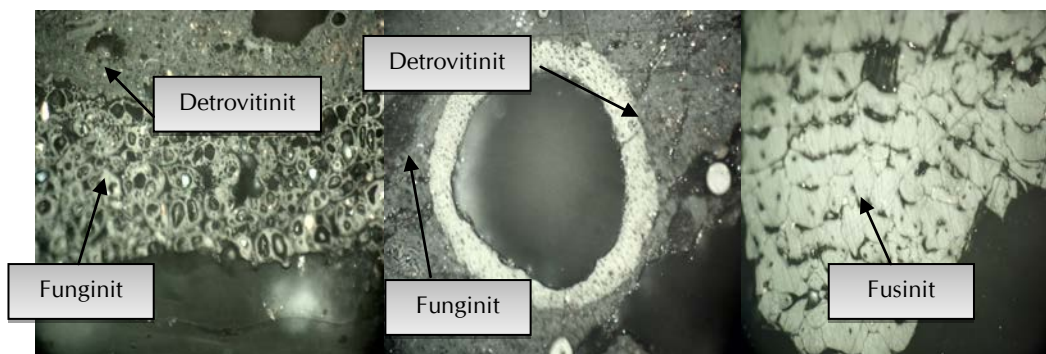
vitritin sedikit ditafsirkan kecepatan penurunan berjalan pelan, artinya muka air rendah.

Gambar 1 menampilkan beberapa maseral batubara daerah penelitian. Grup maseral inertinit di bawah sinar biasa menunjukkan warna abu-abu muda hingga putih, funginit terlihat seperti jamur. Kelompok vitritin terlihat berwarna abu-abu sampai gelap.

### Transformasi Maseral oleh Adanya Proses Hidrotermal dan Oksidasi

Batubara tersusun dari senyawa-senyawa kimia yang mengandung unsur karbon, hidrogen, nitrogen dan oksigen, tetapi kadar unsur-unsur tersebut pada masing-masing grup maseral tidak sama. Perbedaan komposisi kimia pada masing-masing maseral memengaruhi hasil dari perlakuan panas pada batubara. Gambar 2 menampilkan perubahan komposisi maseral setelah proses hidrotermal dan oksidasi. Peningkatan suhu dari 30°C ke 150°C, baik dengan cara hidrotermal maupun oksidasi, meningkatkan persentase vitritin, tetapi

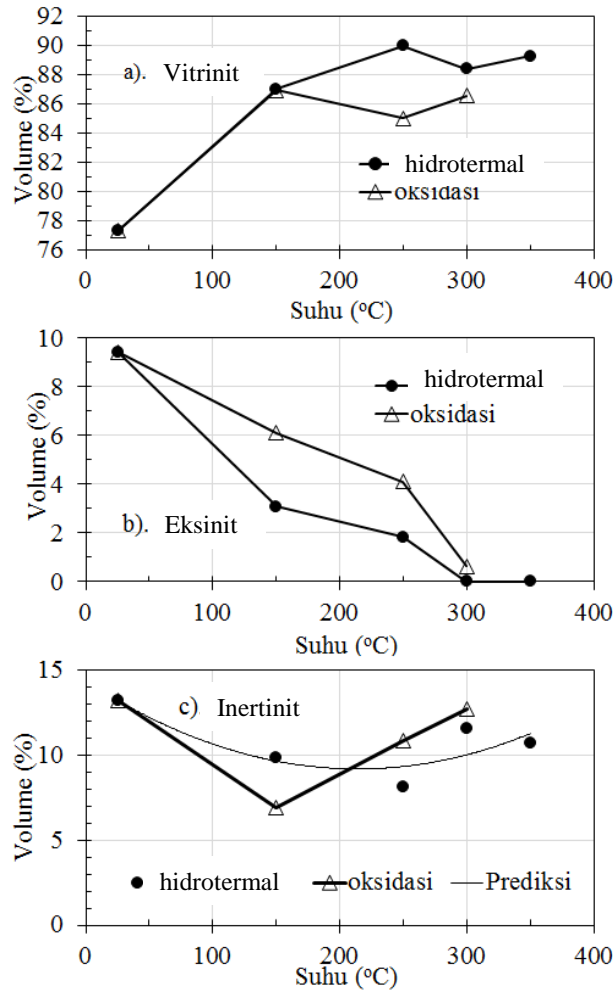
persentase vitritin cenderung konstan setelah suhu perlakuan panas dinaikkan dari 150°C ke 350°C (Gambar 2a). Perlakuan panas dengan cara hidrotermal lebih banyak menghasilkan vitritin dibandingkan dengan cara oksidasi. Hal berbeda diamati pada eksinit. Jumlah maseral ini berkurang dengan adanya perlakuan panas. Semakin tinggi suhu, semakin berkurang jumlah eksinit. Perlakuan panas dengan cara hidrotermal menghasilkan jumlah eksinit lebih rendah dibandingkan perlakuan panas cara oksidasi (Gambar 2b). Menurut Handayani dan Gusnadi (2015) semakin meningkatnya suhu, kandungan eksinit berkurang, pada suhu 350°C tidak terlihat sama sekali dikarenakan kandungan maseral dalam eksinit menguap dimana eksinit kaya akan hidrogen dan zat terbang. Perubahan jumlah inertinit ditampilkan pada Gambar 2c. Jumlah inertinit menurun setelah perlakuan panas suhu 150°C, tetapi kenaikan suhu berikutnya 150°C-350°C meningkatkan persentase inertinit (kondisi oksidasi) atau cenderung konstan (kondisi hidrotermal).



Gambar 1. Morfologimaseral batubara (pembesaran 500x)

Tabel 3. Hasil analisis karbon padat, zat terbang dan nilai kalor dalam *moist mineral matter free* (mmmf) untuk penentuan klasifikasi ASTM

Parameter Analisis	Hasil	Metode
Karbon padat (% mmmf)	43,29	D 388-05
Zat terbang (% mmmf)	56,71	D 388-05
Nilai kalor (kal/g, mmmf)	6863	D 388-05



Gambar 2. Perubahan komposisi maseral setelah proses hidrotermal dan oksidasi.

Tabel 4. Analisis maseral batubara Muara Wahau

No	Paramater Analisis (% vol)	Hasil
1	Vitrinit	69,0
2	Telovitrinit	21,2
3	Detrovitrinit	43,4
4	Gelovitrinit	4,4
5	Eksinit	8,4
6	Sporinit	0,4
7	Kutinit	1,0
8	Resinit	5,6
9	Alginit	0,2
10	Suberinit	1,2
11	Inertinit	11,8
12	Fusinit	1,0
13	Semifusinit	3,6
14	Funginit/Sklerotinit	5,2
15	Inertodetrinit	2,0
16	Mineral Pengotor	10,8
17	Oksida	1,0
18	Lempung	2,4
19	Pirit	7,4
20	Rv rata-rata	0,29

Fenomena berkurangnya jumlah eksinit (Gambar 2b) dan bertambahnya jumlah vitrinit (Gambar 2a) juga terjadi dalam pembatubaraan alami. Menurut Suárez-Ruiz dan Crelling (2008), maseral grup eksinit makin berkurang dengan meningkatnya proses pembatubaraan, karena pengaruh suhu saat proses pembatubaraan tersebut. Ini menandakan bahwa eksinit tidak stabil bila dipanaskan. Perubahan eksinit menjadi vitrinit oleh proses pemanasan dimungkinkan karena putusya ikatan C-C dalam senyawa alifatik yang banyak terdapat pada eksinit. Ikatan C-C dalam senyawa alifatik lebih lemah dibandingkan dengan yang ada pada senyawa aromatik (Gray, 1994). Dengan berkurangnya jumlah senyawa alifatik pada eksinit, hal ini menyebabkan rasio alifatik/aromatik menurun, sehingga mirip rasio alifatik/aromatik pada grup maseral vitrinit.

Jumlah inertinit berkurang pada pemanasan suhu 150°C, tetapi jumlahnya bertambah lagi pada suhu pemanasan yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena tidak semua inertinit adalah inert (tidak reaktif), atau dengan kata lain sebagian inertinit pada kenyataannya adalah reaktif. Menurut Guerrero, Diez dan Borrego (2013), semakin rendah peringkat batubara, semakin banyak inertinit yang reaktif. Bertambahnya jumlah inertinit pada suhu di atas 150°C terjadi karena transformasi eksinit menjadi inertinit. Grup maseral inertinit di alam terbentuk karena proses oksidasi. Oleh sebab itu, proses oksidasi dalam penelitian ini juga menghasilkan jumlah inertinit lebih banyak dibandingkan dengan proses hidrotermal (Gambar 2c) (Scott, 2002).

Hasil pengamatan perubahan komposisi maseral pada setiap variasi suhu tertera pada Tabel 4. Komposisi subgrup telovitrinit menurun, terutama pada suhu 300°C. Subgrup gelovitrinit juga menurun dengan meningkatnya suhu hidrotermal. Sebaliknya, subgrup desmokolinit meningkat signifikan seiring dengan naiknya suhu. Ini berarti di dalam grup vitrinit, maseral desmokolinit mempunyai ikatan antar unsur yang paling kuat. Menurut Iglesias *dkk.* (2000), di dalam grup vitrinit ada bagian yang mempunyai struktur aromatik yang terkondensasi (*condensed aromatic structure*) yang lebih stabil oleh pengaruh suhu dan sebagian mempunyai struktur yang mudah bergerak yang tidak stabil. Karena berdasarkan hasil penelitian ini desmokolinit paling stabil di antara maseral vitrinit lainnya, maka diperkirakan desmokolinit mempunyai struktur senyawa aromatik yang terkondensasi.

Pada grup maseral inertinit, maseral sklerotinit adalah yang paling stabil oleh proses pemanasan. Menurut Scott (2002), sklerotinit tidak hilang oleh proses pemanasan, tetapi nilai reflektannya meningkat. Perlakuan dengan cara oksidasi memberikan hasil serupa, yaitu dibandingkan maseral lainnya desmokolinit dan sklerotinit lebih stabil oleh pengaruh panas. Pengujian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui komposisi kimia maseral desmokolinit dan sklerotinit, sehingga mempunyai karakteristik tetap stabil oleh

pemanasan pada suhu tertentu dibandingkan maseral lainnya.

### **Pengaruh Proses Pengeringan pada Reflektan Vitrinit**

Adanya kenaikan suhu pada proses hidrotermal juga berpengaruh terhadap nilai rata-rata reflektan vitrinit. Tabel 5 dan Gambar 3 menampilkan perubahan reflektan setelah proses hidrotermal. Batubara Muara Wahau pada awalnya mempunyai nilai reflektan vitrinit 0,29 atau peringkat lignit. Perlakuan hidrotermal pada suhu 250°C meningkatkan nilai reflektan menjadi 0,44 yang setara dengan batubara subbituminus B dan perlakuan pada suhu 350°C meningkatkan nilai reflektan menjadi 0,87 atau setara dengan peringkat batubara bituminus zat terbang tinggi.

Dalam proses pematubaraan alami, kenaikan reflektan vitrinit (kenaikan peringkat batubara) diikuti oleh perubahan struktur molekul makro dari batubara. Menurut Wang *dkk.* (2008), lignit mempunyai struktur molekul dengan rata-rata jumlah cincin aromatik 1-2 dan batubara bituminus mempunyai cincin aromatik antara 3-4. Ini menandakan bahwa dalam proses pematubaraan alami terjadi reaksi kondensasi yang meningkatkan jumlah cincin aromatik. Struktur molekul untuk setiap peringkat batubara diilustrasikan pada Gambar 4. Peningkatan nilai reflektan oleh proses hidrotermal mengindikasikan proses ini adalah mirip proses pematubaraan di alam, karena adanya tekanan dan suhu.

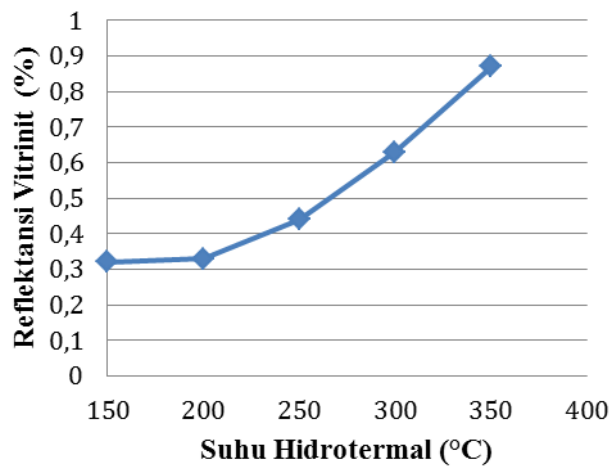
Hasil yang berbeda terjadi pada proses pemanasan batubara Muara Wahau pada atmosfer teroksidasi (Tabel 6). Reflektan vitrinit batubara ini tidak meningkat, meskipun oksidasi dilakukan sampai dengan suhu 300°C. Hal ini mungkin karena oksidasi batubara menghambat terjadinya reaksi kondensasi senyawa aromatik, karena oksidasi batubara berpotensi menghasilkan ikatan silang (*cross linking*) (Elders, 2015). Ikatan silang antar karbon dan oksigen (C-O-C) sangat stabil walaupun dipanaskan, sehingga menghambat reaksi kondensasi senyawa aromatik.

Tabel 4. Pengaruh suhu hidrotermal terhadap komposisi sub-maseral

Maseral (% vol)	Suhu hidrotermal °C				
	25	150	250	300	350
Telovitrinit	23,8	3,1	8,2	6,1	16,2
Detrovitrinit	48,7	81,5	79,8	79,9	71,1
Gelovitrinit	4,9	2,5	2,0	2,4	2,0
Vitrinit	77,4	87,0	90,0	88,4	89,3
Sporinit	0,45	0	0,41	0	0
Cutinit	1,12	1,02881	0	0	0
Resinit	6,28	0,41152	1,02	0	0
Alginit	0,22	0,41152	0	0	0
Suberinit	1,35	1,23457	0	0	0
Telalginit	0	0	0,41	0	0
Eksinit	9,42	3,09	1,84	0	0
Fusinit	1,1	1,4	0	2,44	0
Semifusinit	4,0	0	1,6	0,61	2,0202
Sklerotinit	5,8	7,8	6,1	7,52	7,07071
Inertodetrinit	2,2	0,6	0,4	1,02	1,61616
Inertinit	13,2	9,9	8,2	11,6	10,7

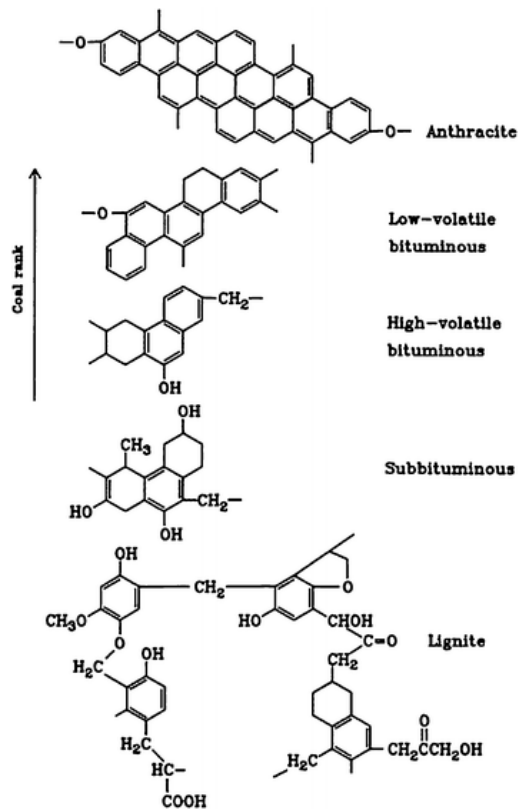
Tabel 5. Hasil analisis reflektan vitrinit setelah proses hidrotermal

Suhu (°C)	RV <sub>max</sub> (% Ro)	Peringkat (ASTM)
150°C	0,32	Lignit
200°C	0,33	Lignit
250°C	0,44	Subbituminus B
300°C	0,63	Subbituminus A
350°C	0,87	Bituminus zat terbang tinggi



Gambar 3. Grafik pengaruh suhu terhadap nilai reflektan vitrinit





Gambar 4. Struktur molekul batubara (Vasireddy dkk., 2011)

Tabel 6. Hasil analisis reflektan vitrinit setelah perlakuan panas dalam atmosfer teroksidasi

Suhu (°C)	RV <sub>max</sub> (%)	Peringkat (ASTM)
150 °C	0,27	Lignit
200 °C	0,27	Lignit
250 °C	0,23	Lignit
300 °C	0,27	Lignit

## KESIMPULAN

Perubahan komposisi maseral dan nilai reflektan vitrinit dari batubara Muara Wahau setelah proses pengeringan telah diteliti dengan kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposisi maseral batubara Muara Wahau didominasi oleh vitrinit. Dalam grup vitrinit, desmokolinit jumlahnya paling banyak. Hampir semua subgrup eksinit ada di batubara Muara Wahau. Sporinit dan kutinit juga terdeteksi meskipun sedikit kandungannya. Resinit terlihat banyak sekitar 5,6%. Inertinit batubara Muara Wahau didominasi oleh sklerotinit dan funginit yang merupakan turunan dari

jamur atau fungi yang berkembang pada lingkungan basah.

2. Persentase grup maseral eksinit berkurang dan grup maseral vitrinit bertambah setelah proses pengeringan. Hal ini mungkin karena eksinit lebih banyak mengandung senyawa alifatik dengan ikatan C-C yang lemah dibandingkan grup maseral vitrinit. Dalam grup maseral vitrinit, desmokolinit lebih stabil oleh proses pemanasan dibandingkan maseral lainnya.
3. Pada suhu pengeringan tinggi (>150°C), persentase inertinit lebih tinggi pada kondisi atmosfer teroksidasi dibandingkan hidrotermal
4. Dalam grup maseral inertinit, sklerotinit lebih stabil oleh proses pemanasan dibandingkan maseral lainnya.
5. Nilai rata-rata reflektan vitrinit meningkat pada pengeringan hidrotermal dan relatif konstan setelah proses oksidasi. Hal ini diperkirakan terjadi reaksi kondensasi senyawa aromatik pada proses hidrotermal, sementara pada proses oksidasi reaksi kondensasi tersebut

terhambat karena pembentukan ikatan silang C-O-C.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara yang telah membiayai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Sherly A. Gusnadi yang telah membantu penelitian ini dan pemerintahan daerah Kecamatan Muara Wahau, Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur yang telah menyediakan batubara sebagai bahan baku penelitian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anggayana, K., Rahmad, B. and Widayat, A. H. (2014) "Depositional Cycles of Muara Wahau Coals, Kutai Basin, East Kalimantan," *Indonesian Journal on Geoscience*, 1(2). doi: 10.17014/ijog.v1i2.183.
- Aryono, G. (2015) *Laporan kinerja tahun 2015*. Jakarta.
- Australian Standard (1986) *Coal maceral analysis*. North Sidney.
- Chen, Y., Mastalerz, M. and Schimmelmann, A. (2012) "Characterization of chemical functional groups in macerals across different coal ranks via micro-FTIR spectroscopy," *International Journal of Coal Geology*, 104, pp. 22–33. doi: 10.1016/j.coal.2012.09.001.
- Elvers, B. (2015) *Ullmann's energy: Resources, processes, product*. Weinheim, Germany: Wiley VCH.
- Feng, J., Li, J. and Li, W. (2013) "Influences of chemical structure and physical properties of coal macerals on coal liquefaction by quantum chemistry calculation," *Fuel Processing Technology*, 109, pp. 19–26. doi: 10.1016/j.fuproc.2012.09.033.
- Gray, M. R. (1994) *Upgrading Petroleum Residues and Heavy Oils*. Chemical I. New York: Marcel Dekker.
- Guerrero, A., Diez, M. A. and Borrego, A. G. (2013) "Effect of volatile matter release on optical properties of macerals from different rank coals," *Fuel*, 114, pp. 21–30. doi: 10.1016/j.fuel.2012.05.023.
- Handayani, H. E. and Gusnadi, S. A. (2015) "Pengaruh proses hydrothermal dan oksidasi terhadap perubahan komposisi maseral pada batubara," *Jurnal Teknik Kimia*, 21(1), pp. 37–46. Available at: <http://jtk.unsri.ac.id/index.php/jtk/article/view/197/268>.
- Iglesias, M. ., Jiménez, A., del Río, J. . and Suárez-Ruiz, I. (2000) "Molecular characterisation of vitrinite in relation to natural hydrogen enrichment and depositional environment," *Organic Geochemistry*, 31(12), pp. 1285–1299. doi: 10.1016/S0146-6380(00)00086-3.
- Jin, L., Han, K., Wang, J. and Hu, H. (2014) "Direct liquefaction behaviors of Bulianta coal and its macerals," *Fuel Processing Technology*, 128, pp. 232–237. doi: 10.1016/j.fuproc.2014.07.033.
- Mastalerz, M., Hower, J. C. and Taulbee, D. N. (2013) "Variations in chemistry of macerals as reflected by micro-scale analysis of a Spanish coal," *Geologica Acta*, 11(4), pp. 483–493. doi: 10.1344/105.000002054.
- Orem, W. H. and Finkelman, R. B. (2014) "Coal formation and geochemistry," in *Treatise on Geochemistry*. 2nd ed. Elsevier, pp. 207–232. doi: 10.1016/B978-0-08-095975-7.00708-7.
- Sakaguchi, M., Laursen, K., Nakagawa, H. and Miura, K. (2008) "Hydrothermal upgrading of Loy Yang Brown coal - Effect of upgrading conditions on the characteristics of the products," *Fuel Processing Technology*, 89(4), pp. 391–396. doi: 10.1016/j.fuproc.2007.11.008.
- Santoso, B. (2015) *Petrologi batubara Sumatera dan Kalimantan: jenis, peringkat dan aplikasi*. Jakarta: LIPI Press.
- Santoso, B. and Daulay, B. (2005a) "Significance of type and rank of selected Kutai coals with respect to their utilisation characteristics," *Indonesian Mining Journal*, 8(3), pp. 1–12.
- Santoso, B. and Daulay, B. (2005b) "Type and rank of selected Tertiary Kalimantan coals," *Indonesian Mining Journal*, 8(2), pp. 1–12.
- Santoso, B. and Utoyo, H. (2012) "Karakteristik petrografis batubara Sebatik-Kalimantan Timur berdasarkan aspek geologisnya," *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 8(2), pp. 69–77.

- Scott, A. C. (2002) "Coal petrology and the origin of coal macerals: a way ahead?," *International Journal of Coal Geology*, 50(1–4), pp. 119–134. doi: 10.1016/S0166-5162(02)00116-7.
- Stanger, R., Xie, W., Wall, T., Lucas, J. and Mahoney, M. (2013) "Dynamic behaviour of coal macerals during pyrolysis – Associations between physical, thermal and chemical changes," *Proceedings of the Combustion Institute*, 34(2), pp. 2393–2400. doi: 10.1016/j.proci.2012.07.003.
- Styan, W. B. and Bustin, R. M. (1983) "Petrography of some Fraser river delta peat deposits: Coal maceral and microlithotype precursors in temperate-climate peats," *International Journal of Coal Geology*, 2(4), pp. 321–370. doi: 10.1016/0166-5162(83)90016-2.
- SuaraKutim.com (2015) *PT BEP bangun PLTU 2 x 300 MW di Wahau*. Available at: <http://www.suarakutim.com/pt-bep-bangun-pltu-2-x-300-mw-di-wahau/> (Accessed: January 1, 2016).
- Suárez-Ruiz, I. and Crelling, J. (2008) *Applied coal petrology: The role of coal petrology in coal utilization*. 1st Editio. Elsevier.
- Thomas, L. (2012) *Coal Geology*. Second Edi. Wiley-Blackwell.
- Timpe, R. ., Mann, M. ., Pavlish, J. . and Louie, P. K. . (2001) "Organic sulfur and hap removal from coal using hydrothermal treatment," *Fuel Processing Technology*. 2nd Editio. John Wiley & Sons, Inc., 73(2), pp. 127–141. doi: 10.1016/S0378-3820(01)00201-6.
- Vasireddy, S., Morreale, B., Cugini, A., Song, C. and Spivey, J. J. (2011) "Clean liquid fuels from direct coal liquefaction: chemistry, catalysis, technological status and challenges," *Energy Environmental Science*, 4(2), pp. 311–345. doi: 10.1039/C0EE00097C.
- Wang, Z., Shui, H., Pei, Z. and Gao, J. (2008) "Study on the hydrothermal treatment of Shenhua coal," *Fuel*, 87(4–5), pp. 527–533. doi: 10.1016/j.fuel.2007.03.017.
- Zhang, L., Hower, J. C. and Liu, W. (2016) "Devolatilization and kinetics of maceral concentrates of bituminous coals," *Fuel Processing Technology*, 154, pp. 147–155. doi: 10.1016/j.fuproc.2016.08.026.
- Zhang, Y., Wu, J., Wang, Y., Miao, Z., Si, C., Shang, X. and Zhang, N. (2016) "Effect of hydrothermal dewatering on the physico-chemical structure and surface properties of Shengli lignite," *Fuel*, 164, pp. 128–133. doi: 10.1016/j.fuel.2015.09.055.

