



KARAKTERISTIK BATUBARA FORMASI WARUKIN DI KALIMANTAN SELATAN SERTA IMPLIKASINYA PADA TEKNOLOGI PENCAIRAN BATUBARA

Edy Nursanto¹, Shofa Rijalul Haq^{1*}, Aldin Ardian¹

¹Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta

*Email: shofa.haq@upnyk.ac.id

ABSTRAK

Batubara di Indonesia didominasi oleh peringkat rendah (*low rank coal*) prosentase lebih dari 85% dari total cadangan batubara. Meskipun demikian, batubara peringkat rendah lebih mudah diolah untuk meningkatkan nilai tambahnya karena struktur molekul dan gugus hidroksil batubara peringkat rendah yang reaktif dibandingkan dengan batubara peringkat tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik batubara peringkat rendah formasi Warukin pada proses pencairan batubara. Data primer berupa pengambilan sampel batubara dan arah kedudukannya serta kemiringannya diperoleh dengan metode pengambilan *ply by ply*. Analisis proksimat, ultimat, maseral dan reflektan vitrinit dilakukan pada sampel-sampel tersebut dengan variasi pengujian, kemudian diolah dengan analisis secara teoritis empiris yang disajikan dalam bentuk tabel. Analisis data dilakukan berdasarkan hasil pengujian di laboratorium secara deskriptif kualitatif. Dengan penelitian ini, sebaran sifat dan kualitas batubara dapat dievaluasi, serta alternatif teknologi penambangan dengan pencairan dapat direncanakan secara efektif dan efisien dengan penciri maseral liptinit mempunyai persentasi besar, yaitu rata-rata 34,28 % pada lapisan.

Kata Kunci: Batubara Formasi Warukin; Lingkungan Pengendapan; Pemodelan Lingkungan Pengendapan Batubara; Pencairan Batubara.

ABSTRACT

Coal in Indonesia is dominated by low rank coal, a percentage of more than 85% of total coal reserves. However, low rank coal is easier to process to increase its added value because the molecular structure and hydroxyl groups of low rank coal are more reactive compared to high rank coal. This research aims to examine the characteristics of low rank coal from the Warukin formation in the coal liquefaction process. Primary data in the form of coal sampling and the direction of its position and slope were obtained using the ply by ply sampling method. Proximate, ultimate, maceral and vitrinite reflectance analyzes were carried out on these samples with a variety of tests, then processed with empirical theoretical analysis presented in tables and graphs. Data analysis was carried out based on qualitative descriptive laboratory test results. Plotting the maceral data onto a graph to determine the coal depositional environment based on the Gelification Index and the Tissue Preservation Index. With this research, the distribution of coal properties and quality can be evaluated, and alternative mining technologies with liquefaction can be planned effectively and efficiently with specially of liptinite content 34,28% on lower seam.

Keywords: Coal Depositional Environment Modeling; Coal Liquefaction; Depositional Environment; Warukin Formation Coal.

I. PENDAHULUAN

Batubara merupakan bahan bakar fosil yang sangat penting bagi kehidupan manusia, diantaranya sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik, bahan bakar cair pengganti bahan bakar minyak, bahan bakar utama dalam industri baja, alumunium, semen, pabrik kertas, dan lain-lain. Oleh karena itu, industri pertambangan batubara memegang peranan penting bagi perekonomian negara. Indonesia merupakan salah satu produsen batubara terbesar di dunia dan berada di peringkat ke-3 dunia dengan jumlah produksi sebesar 323,3 juta ton pada tahun 2018. Sementara itu, Cina menempati urutan pertama dengan jumlah produksi 1.828 juta ton, Amerika Serikat (364,5 juta ton), India (308 juta ton), dan Australia (301 juta ton) (*BP Statistical Review of World Energy*, Juni 2019). Kualitas batubara Indonesia secara umum berkualitas rendah sampai menengah dengan nilai kalori di bawah 6.100 kal/g. Salah satu cadangan batubara terbesar di Indonesia berada di Cekungan Barito, Kalimantan Selatan dan Cekungan Kutai, Kalimantan Timur yang memiliki nilai ekonomis tinggi karena batubaranya berumur tersier dan dimensinya yang cukup luas (165.000 km²) dan dalam (14.000 m) (Winarno dkk, 2019).

Formasi Warukin merupakan satu dari tiga formasi pembawa batubara di cekungan Barito yang telah dikaji oleh beberapa peneliti sebelumnya dan secara umum menunjukkan bahwa kualitas batubara di formasi ini termasuk dalam kategori

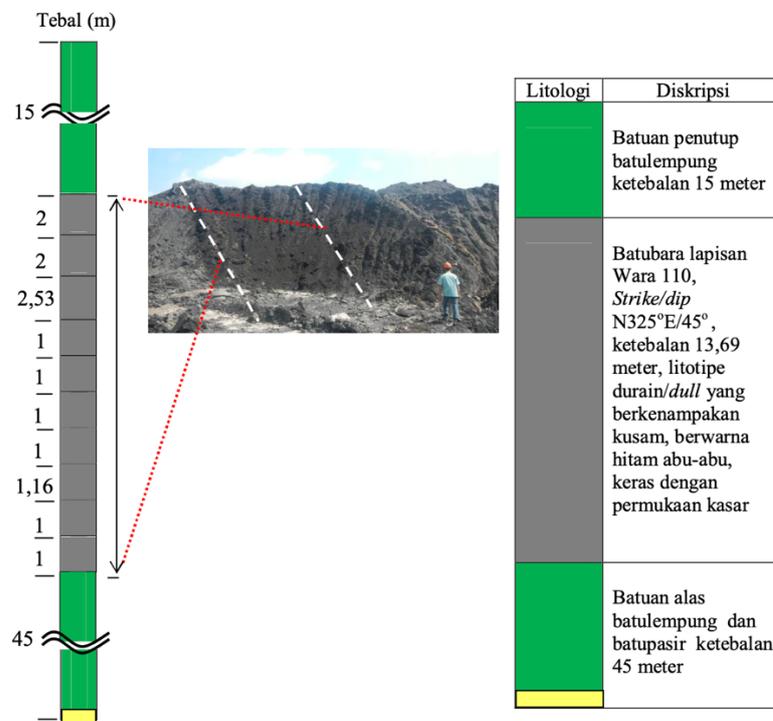
peringkat rendah (*low rank coal*) yang bervariasi dari lignit sampai sub bituminus (Winarno dkk., (2019) dan Suhayadi & Sriyanti (2022). Batubara peringkat rendah memiliki kalori yang rendah sehingga nilai ekonomisnya juga rendah. Tetapi jika dilihat dari sisi lain, beberapa dari batubara tersebut memiliki keuntungan, yaitu mempunyai sifat yang baik sebagai bahan bakar, seperti kadar sulfur rendah, kadar abu rendah, dan tingginya kandungan zat terbang. Batubara dengan spesifikasi tersebut jika pengolahannya dilakukan secara lebih efektif, maka akan sangat berguna baik untuk keperluan domestik maupun diekspor (Sule dkk., 1997). Pada tahap selanjutnya batubara diharapkan dapat digunakan sebagai bahan bakar sintesis berupa bahan bakar cair dan gas sintesis hasil proses konversi batubara. Penggunaan batubara yang telah dikonversi menjadi bahan bakar cair dan gas sintesis tersebut akan menjadi lebih efisien dan relatif bersih (Artanto dkk., 2000).

Mengacu pada Undang-Undang Nomor 3 tahun 2020 Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang pertambangan mineral dan batubara, disebutkan bahwa pengembangan nilai tambah batubara perlu dilakukan, di mana salah satunya melalui *coal liquefaction* (pencairan batubara). Oleh karenanya, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik batubara peringkat rendah formasi Warukin pada proses pencairan batubara. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif bagi pemanfaatan batubara di Indonesia. Selanjutnya, teknologi pencairan batubara juga dapat dikembangkan pada skala komersial, sehingga target penghematan bahan bakar migas dan mendayagunakan pemanfaatan batubara dapat dicapai sekaligus.

II. METODE

2.1. Bahan dan Material

Lokasi pengambilan sampel berada di izin usaha pertambangan batubara yang berlokasi di Kabupaten Barito, Provinsi Kalimantan Selatan. Pengambilan sampel batubara dilakukan pada lapisan atas, tengah, dan bawah dengan metode pengambilan *ply by ply* (Gambar 1). Analisis proksimat, ultimat, maseral dilakukan pada sampel-sampel tersebut. Analisis kandungan mineral dan unsur utamanya serta geokimia organik juga dilakukan, sedangkan percobaan pencairan batubara dilakukan dalam *autoclave* pada tekanan 1 atm dan temperatur 120°C. Fokus penelitian adalah pengaruh karakter maseral, mineral dan geokimia batubara peringkat rendah khususnya dari Formasi Warukin terhadap hasil pencairannya serta perilaku pencairan batubara terhadap perubahan variabel waktu dan berapa besar produk pencairan Batubara di bawah ini adalah sampling batubara Formasi Warukin.



Gambar tanpa skala

Gambar 1. *Sampling* batubara Formasi Warukin.

2.2. Uji Geokimia Batubara

Analisa mikroskopi untuk mengetahui komposisi dan tekstur maseral penyusun batubara dilakukan dengan standar Australia AS 2856 (1986). Untuk keperluan ini maka sampel batubara dipreparasi hingga lolos saringan 10 *mesh* dan tertahan 20 *mesh* kemudian dicampur dengan resin sebagai bahan pengikat. Setelah itu dilakukan pencetakan dalam bentuk briket ke dalam cetakan silikon berdiameter 3 cm dan dipoles dalam beberapa tahapan hingga mencapai permukaan yang halus. Pelaksanaan analisa maseral menggunakan mikroskop pantul LEICA DM RXP dengan 10x/20 M perbesaran lensa obyektif dan 20x0,40 IMM P perbesaran lensa okuler. Selanjutnya, sampel batubara juga diuji untuk analisis proksimat dan ultimat. Analisa proksimat meliputi kandungan abu (*ash*) (ASTM D 3173-73, 1994), kandungan air bawaan (*inherent moisture-IM*) (ASTM D 3174-73, 1994), kandungan zat terbang (*volatile matter-VM*) (ASTM D 3177-73, 1994) dan karbon tertambat (*fixed carbon-FC*), sedangkan analisa ultimat meliputi unsur-unsur pada batubara seperti C, H, O, N dan S. Standar analisa ultimat yang dipakai adalah: ASTM D 3176-89 (2009), ASTM D 4239-10 (2010), ASTM 5373-08 (2009). Analisa proksimat dan ultimat terhadap sampel batubara dilakukan di laboratorium batubara tekMIRA Bandung.

2.3. Uji Pencairan Batubara

Pencairan batubara (*liquefaction*) dapat dilakukan dengan proses mengubah batubara padat menjadi bahan bakar cair. Stone dan Park (1970) juga telah mengembangkan teknologi perubahan batubara peringkat rendah lignit dan subbituminus menjadi produk cair pada temperatur 120 °C dengan tekanan 1 atm. Batubara dan minyak bumi adalah senyawa yang tersusun dari karbon dan hidrogen, tetapi batubara terjadi dalam bentuk padatan. Batubara mempunyai berat molekul yang lebih besar dan kandungan hidrogen yang lebih kecil daripada minyak bumi. Whitehurst dan Mitchell (1980) menyimpulkan bahwa rasio H/C batubara antara 0,5-1,1. Rasio ini lebih kecil dibandingkan dengan rasio H/C minyak bumi yang berkisar antara 1,48-1,94. Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka diperlukan transformasi kimia untuk mengubah batubara menjadi bahan bakar cair dengan cara menambahkan atom hidrogen atau melepaskan karbon. Mekanisme reaksi pencairan batubara menurut Ningrum et al., 2000 menyatakan bahwa batubara yang diberi donor hidrogen dalam pencairan batubara akan menghasilkan alkana. Prosedur pencairan batubara yang dilakukan adalah sistem pencairan batubara langsung. Kondisi percobaan yang dilakukan adalah dengan mencampur batubara bersama-sama dengan pelarut air, donor hidrogen dan pemakaian katalis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Analisis Proksimat dan Ultimat

Analisis proksimat meliputi abu (*ash*), air bawaan (*inherent moisture-IM*) dan zat terbang (*volatile matter-VM*). Kadar abu adalah residu dari sisa pembakaran batubara. Abu batubara berasal dari mineral dan terbentuk bersamaan dengan pembentukan batubara selama proses pembatubaraan dan merupakan bagian integral dari substansi batubara. IM secara fisik terdapat dalam struktur pori internal batubara dan mempunyai tekanan uap lebih rendah dari tekanan uap normal. IM relatif sensitif pada kondisi atmosfer dan merupakan karakteristik dasar dari batubara. Kandungan IM yang tinggi, maka peringkat batubara semakin rendah (Sule, 1997). VM pada dasarnya terdiri dari gas-gas yang dapat terbakar seperti hidrogen, karbon monoksida dan metana serta uap-uap yang dapat terkondensasi seperti tar dan uap-uap seperti karbon dioksida dan air yang terbentuk oleh adanya degradasi termal substansi batubara dan proses kalsinasi serta dehidrasi mineral. Kadar VM batubara sangat berkaitan erat dengan peringkat batubara dan merupakan parameter penting dalam pengklasifikasian batubara. Hasil analisis proksimat (Tabel 1) menunjukkan bahwa kandungan abu dan kandungan air bawaan pada batubara di lapisan atas mempunyai nilai tinggi, yaitu 19,96- 30,90% dibandingkan dengan kandungan air bawaan pada lapisan bawah sebesar 12,89-20,40%. Berdasarkan genesanya, nilai kandungan air bawaan yang tinggi pada lapisan Wara tersebut mencerminkan nilai kalori rendah, sedangkan lapisan bawah mempunyai nilai kalori yang lebih tinggi. Hubungan antara kandungan air bawaan dan nilai kalori batubara juga telah dikemukakan oleh Tsai (1982) dan Alpern (2002).

Tabel 1. Hasil analisis proksimat

Lapisan	Abu (%)	IM (%)	VM (%)	FC (%)	FR (%)
Atas	1,24 - 1,74	19,96 - 29,43	40,6 - 49,5	26,69 - 31,45	0,54 - 0,70
Tengah	3,75 - 6,11	21,27 - 30,90	35,3 - 49,7	19,9 - 28,9	0,39 - 0,82
Bawah	1,03 - 1,72	12,89 - 18,77	45,3 - 46,9	34,3 - 39,4	0,7 - 0,85

IM = *Inherent moisture*, VM = *Volatile matter*, FC = *Fixed carbon*, FR = *Fuel ratio*

Hidrogen yang terdapat di dalam batubara dalam bentuk kombinasi alifatik dan aromatik. Selama proses pembatubaraan jumlah hidrogen berangsur-angsur semakin berkurang, terutama disebabkan oleh evolusi gas metana. Dengan demikian, kadar hidrogen merupakan parameter penting dan menentukan peringkat batubara. Unsur oksigen terjadi secara alamiah dalam batubara sebagai hidroksil, karboksil, metoksil dan grup karbonil serta sebagai unit-unit struktural fundamental yang dikenal sebagai oksigen tak-reaktif. Kadar oksigen dari suatu batubara semakin berkurang selama proses pembatubaraan, oleh adanya evolusi uap air dan oksida karbon dan oksigen ini merupakan parameter yang sangat menentukan peringkat batubara (Sule, 1997), sedangkan unsur nitrogen dalam batubara biasanya mempunyai kadar berkisar 0,5-2% dan tidak terkait dengan peringkat batubara, walaupun sebagian nitrogen bisa hilang selama proses pembatubaraan. Berdasarkan analisa ultimat, kandungan unsur karbon (C) pada batubara di lapisan atas yaitu 57,11-63,44% lebih rendah dibandingkan dengan kandungan karbon pada lapisan bawah yaitu 61,15-64,16%. Demikian juga kandungan unsur nitrogen pada batubara di lapisan atas, yaitu 0,54-0,69% lebih rendah dibandingkan dengan kandungan unsur nitrogen pada lapisan bawah, yaitu 1,18-1,25%, sedangkan kandungan unsur hidrogennya relatif mempunyai nilai yang sama. Kandungan unsur karbon merupakan bagian dari batubara tertambat yang telah kehilangan air dan mineralnya, hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N) dan sulfur (S) (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil analisis ultimat

Lapisan	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	H/C (%)
Atas	58,1 - 62,7	5,64 - 5,92	29,9 - 34,1	0,54 - 0,69	1,11 - 1,17
Tengah	57,11 - 61,5	5,37 - 6,3	24,6 - 33,3	0,52 - 0,68	1,13 - 1,28
Bawah	61,6 - 62,4	5,82 - 6,26	28,8 - 33,5	1,18-1,25	1,13 - 1,27

3.2. Hasil Pencairan Batubara dari Formasi Warukin

Batubara terbentuk melalui serangkaian proses geologi dan kimia yang kompleks. Dalam proses pembatubaraan, secara garis besar terdapat dua proses utama yang berperan, yaitu Diagenesis (*peatification*) dan Metagenesis (*Coalification*). Tahap Diagenetik atau Penggambutan (*Peatification*) Tahapan ini diawali dari terendapkannya material – material organik tumbuhan yang terperangkap dalam endapan sedimen yang nantinya akan terbentuk menjadi gambut. Gambut adalah sedimen organik yang dapat terbakar, dimulai pada saat dimana tumbuhan yang telah mati mengalami dekomposisi dan humifikasi dalam kondisi tertutup udara, tidak padat, memiliki kandungan air lebih dari 75% berat, dan kandungan karbon lebih kecil dari 60% dalam kondisi kering. Proses ini merupakan tahapan awal dari proses pembatubaraan, yang meliputi proses mikrobial dan perubahan kima (biokimia). Faktor yang sangat penting dalam proses ini adalah keberadaan air, fungsi, dan mikroorganisme (bakteri). Hasil pencairan untuk batubara lignit yaitu batubara lapisan atas, tengah, dan bawah dengan waktu reaksi pencairan 30 menit diperoleh produk sebesar 17,37-31,49%; 27,89-48,60 % dan 11,75-23,89 %, sedangkan untuk waktu reaksi pencairan 60 menit diperoleh produk 24,14-32,57%; 31,85-51,27%; 19,54-34,50 % dan 19,54-34,50 % (Tabel 3). Produk mengalami penurunan untuk proses waktu reaksi pencairan 90 menit sebesar 20,98-26,83%; 25,37-46,72 % dan 15,76-29,49 %. Pada waktu reaksi 120 menit juga mengalami penurunan, yaitu sebesar 13,41-22,59 %; 17,86-35,51 % dan 11,67-22,92 %. Kandungan maseral yang berpengaruh terhadap proses pencairan (lihat tabel 4) pada lapisan atas, tengah dan bawah untuk maseral vitrinit mempunyai nilai 80,18 %, 60,07 % dan 45,81 %, sedangkan maseral liptinit sebesar 11,56 % untuk lapisan atas, 22,10 % lapisan Tengah dan 34,28 % untuk lapisan bawah. Hal ini juga terjadi pada maseral inertinite, yaitu 3,30 % pada lapisan atas, 1,57 % di lapisan Tengah dan 15,01 % di lapisan bawah.

Tabel 3. Hasil Pencairan Batubara

Lapisan	Produk (%)			
	30 menit	60 menit	90 menit	120 menit
Atas	17,37-31,49	24,14-32,57	20,98-26,83	13,41-22,59
Tengah	27,89-48,60	31,85-51,27	25,37-46,72	17,86-35,51
Bawah	11,75-23,89	19,54-34,50	15,76-29,49	11,67-22,92

Tabel 4. Hasil Analisis Maseral Dalam Proses Pencairan

Lapisan	Maseral (%)		
	Vitrinit	Liptinit	Inertinit
Atas	80,18	11,56	3,30
Tengah	60,07	22,10	1,57
Bawah	45,81	34,28	15,01

3.3. Potensi Pencairan Batubara Formasi Warukin

Kehadiran mineral-mineral yang ada dalam batubara mempengaruhi hasil pencairannya karena komposisi kimia mineral yang terlihat dalam unsur utama di dalam batubara mempunyai peranan sebagai katalis dalam proses pencairan. Penelitian serupa juga telah dilakukan oleh Cui et al. (2002) yang menyatakan bahwa pengaruh mineral dalam batubara dapat mempengaruhi produk pencairan. Peranan katalis dalam pencairan batubara adalah membantu memasukkan atom hidrogen yang berasal dari disosiasi molekul hidrogen ke dalam batubara atau campuran batubara dengan pelarut sehingga menaikkan ketersediaan hidrogen aktif. Hidrogen tersebut berfungsi untuk menghidrogenasi senyawa aromatik, mempromosikan reaksi pemutusan ikatan dan menstabilkan radikal bebas. Dengan menggunakan katalis maka reaksi hidrogenasi antara gas hidrogen dan batubara yang telah terfragmentasi menjadi retak akibat panas yang berlangsung dengan sangat cepat (Hirano dan Kanda, 2001). Pada penelitian ini pengaruh mineral dalam proses pencairan tidak signifikan terhadap produknya. Hal ini disebabkan persentase kandungan mineral dalam batubara nilainya kecil, yaitu rata-rata 0,81-1,82% untuk batubara lapisan atas, sedangkan pada batubara lapisan bawah terlihat pengaruh mineral terhadap produk pencairannya cukup signifikan. Hal ini disebabkan kandungan mineral dalam batubara nilainya cukup besar, yaitu rata-rata 5,08% sehingga berpengaruh baik dan meningkatkan produk cair.

Pengaruh maseral liptinit pada proses pencairan yang terjadi pada batubara lapisan atas tidak berpengaruh signifikan pada berbagai periode waktu reaksi pencairan (lihat tabel 4), sedangkan pada batubara lapisan bawah pengaruh jumlah maseral liptinit telah berpengaruh dan meningkatkan hasil pencairannya mulai pada periode waktu reaksi 60, 90 dan 120 menit. Maseral liptinit kurang berpengaruh baik pada proses pencairan yang terjadi pada batubara lapisan atas. Hal ini dimungkinkan karena batubara lapisan atas merupakan batubara jenis lignit, sedangkan jumlah maseral liptinit pada batubara lapisan bawah lebih berpengaruh baik terhadap proses pencairan dan meningkatkan hasilnya karena batubara lapisan bawah termasuk jenis sub bituminus. Maseral liptinit dalam batubara mempunyai peranan penting dalam meningkatkan produk pencairan. Maseral liptinit pada batubara lapisan atas, bawah terdiri dari maseral sporinit, resinit, kutinit dan suberinit. Liptinit berasal dari bagian tumbuh-tumbuhan yang kaya hidrogen (Teichmüller, 1989), sehingga mudah untuk dibuat menjadi batubara cair. Peningkatan produk batubara cair karena pengaruh kandungan maseral liptinit juga telah dilakukan percobaannya oleh Jane et al. (2008) yang mengemukakan bahwa batubara yang banyak mengandung maseral liptinit mempunyai produk pencairan yang lebih banyak dibandingkan batubara yang sedikit mengandung maseral liptinit. Demikian juga Parkash et al. (1984) yang melakukan percobaan pencairan terhadap batubara lignit dan sub bituminus telah menyatakan bahwa semakin banyak kandungan maseral liptinit pada batubara, maka produk batubara cair yang dihasilkan juga semakin banyak.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dalam penelitian ini, beberapa poin dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kandungan air bawaan batubara relatif menjadi turun pada setiap penurunan kedalaman dari lapisan bagian atas (*roof*) menuju lapisan bagian bawah (*floor*). Penurunan ini disebabkan karena semakin menuju ke bawah pada lapisan batubara akan mengalami peningkatan tekanan dan temperatur pada saat proses pembentukannya, sehingga peningkatan temperatur akan menyebabkan kandungan air bawaan batubara menjadi berkurang. Kandungan air bawaan pada batubara akan mengalami penurunan sebanding dengan kedalamannya pada batubara peringkat rendah Formasi Warukin. Batubara peringkat rendah mudah dijadikan cair karena mempunyai rantai karbon panjang sehingga mudah putus menjadi radikal bebas.
2. Batubara lapisan atas relatif mempunyai kandungan air bawaan dan zat terbang yang lebih tinggi serta kandungan unsur karbon relatif rendah, hidrogen dan oksigen yang relatif tinggi dibandingkan pada batubara lapisan bawah. Hal ini disebabkan bahwa batubara atas merupakan batubara jenis lignit yang berdasarkan genesanya mempunyai kandungan air bawaan dan zat terbang yang tinggi serta kandungan unsur karbon rendah, kandungan hidrogen dan oksigen tinggi, sedangkan batubara lapisan bawah merupakan batubara jenis subbituminus yang mempunyai

kandungan air bawaan dan zat terbang rendah serta kandungan unsur karbon tinggi, kandungan hidrogen dan oksigen rendah.

3. Maseral vitrinit dan liptinit mempunyai peranan dan berpengaruh baik dalam proses pencairan batubara. Jumlah kandungan maseral liptinit dalam batubara dapat meningkatkan rasio atom H/C sehingga hasil konversi pencairan batubara juga menjadi meningkat yang merupakan penciri batubara peringkat rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta. Author mengucapkan terimakasih kepada direksi perusahaan batubara di Kabupaten Kutai Barat, Provinsi Kalimantan Timur yang telah memberikan akses dalam pengambilan sampel batubara dormasi Pulaubalang

DAFTAR PUSTAKA

- Alpern, B., Lemos, S.M.J., 2002, Documented International Enquiry on Solid Sedimentary Fossil Fuels; Coal: Definitions, Classifications, Reserves- Resources, and Energy, *International Journal of Coal Geology*, 50, pp. 3-41
- Australian Standard 2856, 1986, Coal Maseral Analysis, Standard Australia, 20 p.
- Artanto, Y., Jackson W.R., Redlich A.J., and Marshall M., 2000, Liquefaction Studies of Some Indonesia Low rank Coals, *Fuel*, Vol. 79, pp.1333-1340.
- ASTM Standar D 3173-73, 1994, Standard Methods for Moisture in The Analysis Sample of Coal and Coke, Volume 05.06, Gaseous Fuels, Coal and Coke, 47 p.
- ASTM Standar D 3175-77, 1994, Standard Methods for Volatile Matter in The Analysis Sample of Coal and Coke, Volume 05.06, Gaseous Fuels, Coal and Coke, 7 p.
- ASTM Standar D 3176-89, 2009, Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke, Volume 05.06, Gaseous Fuels, Coal and Coke, 6 p.
- ASTM Standar D 4239-10, 2010, Standart Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coke Using High Temperature Tube Furnace Combustion Methods (B), Volume 05.06, Gaseous Fuels, Coal and Coke, 12 p.
- ASTM Standar D 5373 – 08, 2009, Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal, Volume 05.06, Gaseous Fuel, Coal and Coke, 22 p.
- BP Statistical Review of World Energy*, 2019, 68th Edition, London.
- Cui, H., Yang, J., Liu, Z., Bi, J., 2002, Effects of Remained Catalysts and Enriched Coal Minerals on Devolatilization of Residual Chars from Coal Liquefaction, *Fuel*, Vol. 81, pp. 1525-1531
- Hirano, K., dan Kanda, Y., 2001, Study on Industrial Catalyst for Sub-bituminous Coal Liquefaction, *Fuel Processing Technology*, Vol. 72, pp. 35-45.
- Jane, M.H., Huang, W.L. and Machnikowska, H., 2008, Generation and Expulsion of Petroleum from Coal Macerals Visualized in-Situ During DAC Pyrolysis, *International Journal of Coal Geology*, Vol. 73, pp. 167-184.
- Ningrum, N.S., Rijwan, I., Astiti, M.W. dan Syahrial, 2000, *Peningkatan Perolehan Produk Cair Pada Pencairan Batubara Berkatalis*, Inhouse research PPPTM bandung, 48 p.
- Parkash, S., Du Plessis, M.P., Cameron, A.R. and Kalkreuth, W.D., 1984, Petrography of Low Rank Coals With Reference to Liquefaction Potensial, *International Journal of Coal Geology*, Vol.4, pp. 209-234.
- Stone, R.D., Park, L.G., Coal Liquefaction Process, 1970, *Patented*, United States Patent Office, 4p.
- Suhayadi. F & Sriyanti, 2022, Kajian Lingkungan Pengendapan Berdasarkan Karakteristik Batubara Formasi Pulau Balang, *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, Vol 2, No. 1, Hal 1 – 8.
- Sule, D., Sanwani, E., dan Sudarsono, A., 1997, *Course of Coal Utilization*, Teknik Pertambangan-ITB, 84 p.
- Teichmüller, M., 1989, *The Genesis of Coal from The Viewpoint of Coal Petrology*, International Journal of Coal Geology, Amsterdam-Printed in The Netherlands, p.1-87.
- Tsai, S.C., 1982, *Fundamentals of Coal Beneficiation and Utilization*, *Coal Science and Technology* 2, Scientific Publishing No. 375. New York. p.151- 159.

Winarno, A., Amijaya, D. H., Harijoko, A., 2019, Karakteristik Batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan Cekungan Kutai Bawah, Kalimantan Timur, Jurnal Geosapta, Vol.5, No. 1 , Hal 57 – 66.

Whitehurst, D.D., and Michell O.T., 1980, *Coal Liquefaction, The Chemical & Technology of Thermal Process*, Malvina F. New York, p.6-26.