

KARAKTERISTIK BATUBARA FORMASI PULAUBALANG DAN BALIKPAPAN CEKUNGAN KUTAI BAWAH, KALIMANTAN TIMUR

Agus Winarno^{1,2}, D. Hendra Amijaya¹, Agung Harijoko¹

¹ Program Studi Doktor Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

² Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas teknik, Universitas Mulawarman

e-mail: *aguswinar71@gmail.com

ABSTRAK

Studi ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik batubara pada Cekungan Kutai Bawah terutama pada Formasi Pulaubalang dan Balikpapan. Sampel batubara pada penelitian berasal dari PT. Indominco Mandiri KW 01PB0435 Kalimantan Timur yang masuk kedalam Cekungan Kutai Bawah. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis petrografi dan mineralogi batubara, proksimat dan ultimat batubara, dan kimia anorganik serta organik batubara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batubara pada Formasi Pulaubalang dan Balikpapan di Cekungan Kutai Bawah termasuk dalam *Low Rank Coal* ($R_v < 0,60\%$ (vol.)) dan masuk ke dalam peringkat batubara subbituminous; Maseral batubara didominasi oleh kelompok maseral *huminite*, diikuti *intertinite*, dan yang paling sedikit *liptinite*; mineral terdiri mineral lempung (kaolinit dan illit), kuarsa, karbonat (siderite dan kalsit), sulfida (pirit dan markasit), dan oksida (goetit) yang sebagian besar merupakan jenis mineral singenetik, bersifat detrital (mineral lempung dan kuarsa), dan autigenik (mineral sulfida dan karbonat); dan batubara pada kedua formasi ini dibentuk oleh campuran struktur alifatik dan beberapa struktur aromatik dan memperlihatkan ikatan hidrogen yang lebih jelas (kaya *huminite*). Studi batubara ini diharapkan dapat menambah referensi tentang karakteristik batubara yang dapat berguna untuk mempelajari pemanfaatan batubara lebih lanjut.

Kata-kata kunci: subbituminous, maseral, mineral, alifatik, dan aromatik.

PENDAHULUAN

Batubara adalah batuan sedimen organik yang mengandung berbagai jumlah karbon, hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sulfur serta sejumlah elemen jejak lainnya, termasuk bahan mineral [1].

Karakteristik komposisi maseral dan mineral pada batubara akan mempengaruhi kualitas batubara, disamping itu karakteristik batubara juga dapat membatasi dalam pemanfaatannya [2]. Batubara secara geokimia terbentuk karena proses pembatubaraan yang terjadi akibat kenaikan temperatur, tekanan, dan waktu sehingga persentase unsur karbon dalam bahan asal pembentuk batubara cenderung meningkat, sedangkan kandungan unsur hidrogen dan oksigen dalam batubara menjadi berkurang. Proses pembatubaraan ini akan menghasilkan batubara dengan berbagai peringkat yang sesuai dengan tingkat kematangan bahan organiknya [3].

Salah satu peringkat batubara adalah batubara peringkat rendah (*Low-rank Coal*), di mana menurut [4] batubara peringkat rendah itu terdiri dari lignit dan batubara sub-bituminous. Keterdapatannya batubara peringkat rendah ini, di Indonesia sangat melimpah. Hal ini bisa dilihat dari Neraca Sumber Daya Energi [5], di mana Indonesia memiliki total sumberdaya batubara sebesar 120.525,42 juta ton dan cadangan 31.357,15 juta ton. Dari total sumberdaya dan cadangan batubara tersebut 90,46% adalah batubara peringkat rendah dengan rincian 25,36% adalah lignit dan 65,10% sub-bituminous. Kalimantan Timur memiliki total sumberdaya sekitar 47.402,47 juta ton dan cadangan 14.015,22 juta ton dengan potensi batubara peringkat rendah sekitar 42.880,27 juta ton untuk sumber daya dan cadangan 12.678,17 juta ton.

Cekungan Kutai merupakan cekungan yang memiliki nilai ekonomis tinggi, karena pada daerah ini ditemukan banyak endapan batubara yang berumur Tersier. Cekungan ini secara tektonik merupakan cekungan delta yang progradasi dengan lingkungan pengendapan batubaranya pada umumnya merupakan lingkungan fluvio-deltaik sampai *marine*. Secara tektonik proses pembentukan

batubara di Cekungan Kutai dipengaruhi oleh adanya proses genangan laut, regresi, dan transgresi yang mempengaruhi material sedimen pembentuk batubara. Urutan regresi di Cekungan Kutai mencakup lapisan klastik delta hingga paralik banyak mengandung lapisan-lapisan batubara dan lignit [6].

Formasi lapisan batubara utama di Cekungan Kutai adalah Formasi Awal Pulaubalang Miosen, Formasi Balikpapan Akhir Miosen dan Formasi Pliosien Kampungbaru (Gambar 2). Peringkat batubara di Cekungan Kutai dari rendah sampai sedang, mulai dari lignit sampai *high-volatile bituminous* [7]. Kualitas batubara Formasi Pulaubalang relatif sedang dengan peringkat dari lignit-bituminous [8], karena formasi batuan yang ada relatif muda (Kala Miosen Tengah) dan lingkungan pengendapan dipengaruhi oleh sistem fluvial dan pasang-surut laut, sehingga masuknya endapan sedimen pasti masih dominan. Peringkat batubara Formasi Balikpapan termasuk peringkat lignit subbituminous [8-10]. Batubara yang dihasilkan didominasi oleh *ombrotrophic* dan *autochthonous*, menunjukkan bahwa batubara tersebut terbentuk dalam rawa gambut (*peat bogs*) selama Miosen Tengah [8,10]. Peringkat batubara pada wilayah ini adalah *brown coal*, dengan lingkungan pengendapan *delta front-delta plain*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik batubara melalui studi petrologi (analisis maseral), mineralogi, kualitas batubara, dan geokimia batubara pada Formasi Pulaubalang dan Balikpapan di Cekungan Kutai bagian bawah, yang pada akhirnya akan menambah referensi tentang karakteristik dan pemanfaatan batubara Indonesia.

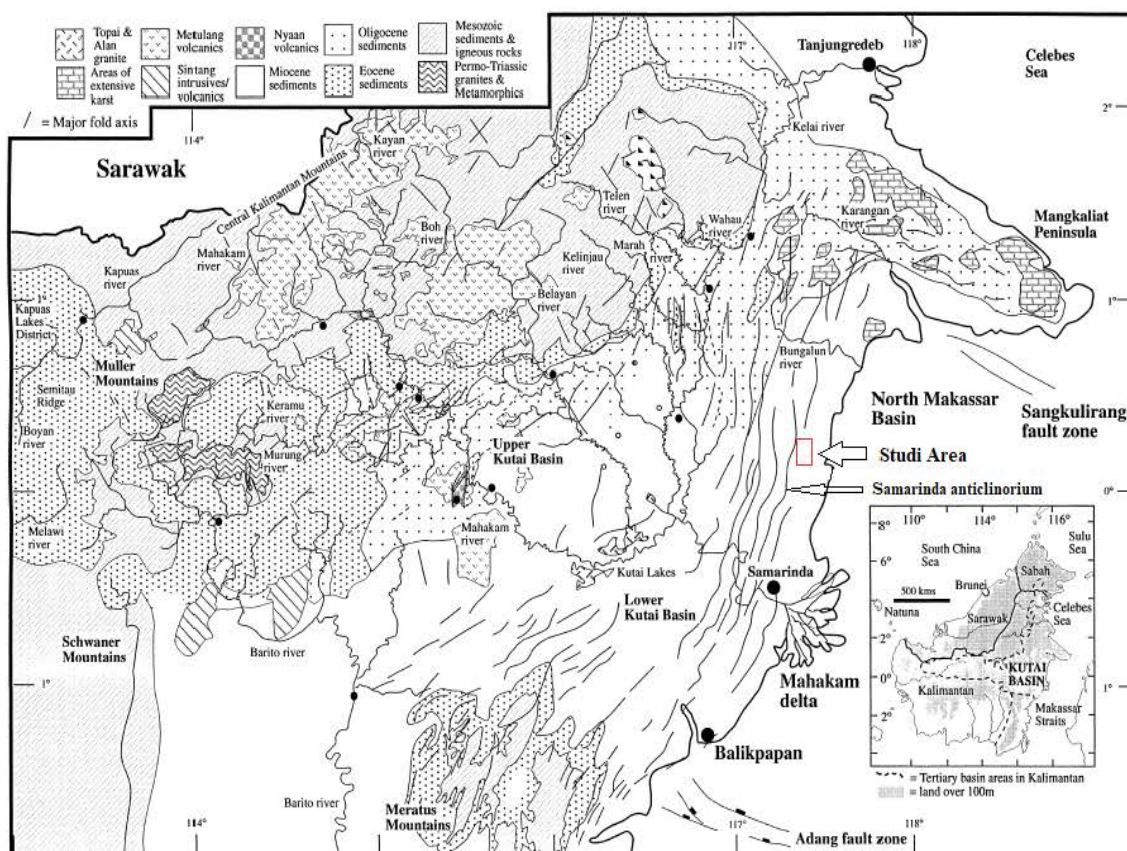
GEOLOGI REGIONAL CEKUNGAN KUTAI

Daerah penelitian termasuk ke dalam Cekungan Kutai (Gambar-1), di mana cekungan ini merupakan salah satu cekungan Tersier yang terbesar di Indonesia, luasnya 165.000 km² dan kedalamannya kurang lebih mencapai 14.000 m. Cekungan Kutai dibatasi di bagian utara oleh suatu daerah tinggian batuan dasar yang terjadi pada

Oligosen yaitu Tinggian Mangkalihat dan Sesar Sangkulirang yang memisahkannya dengan Cekungan Tarakan. Di bagian timur daerah cekungan ini, terdapat Delta Mahakam yang terbuka ke Selat Makasar. Di bagian barat, cekungan dibatasi oleh daerah Tinggian Kuching (*Central Kalimantan Ranges*) yang berumur Kapur. Di bagian tenggara cekungan ini, terdapat Paparan *Paternoster* yang dipisahkan oleh gugusan Pegunungan Meratus. Di bagian selatan cekungan ini, dijumpai Cekungan Barito yang dipisahkan oleh Sesar Adang [11-14].

Struktur geologi Cekungan Kutai yang berkembang adalah perlipatan yang relatif sejajar dengan garis pantai timur daerah Kalimantan Timur. Pada bagian utara Cekungan Kutai, pola umum perlipatan mempunyai arah utara-selatan sedangkan Cekungan Kutai bagian selatan berarah baratdaya-timurlaut (Gambar-1). [13] mengemukakan bahwasanya Cekungan Kutai dapat dibagi dalam dua bagian atau sub Cekungan, yaitu Cekungan

Kutai bagian atas dan Cekungan Kutai bagian bawah. Cekungan Kutai bagian atas terdapat di bagian barat laut yang merupakan area yang terangkat karena proses tektonik pada Miosen Bawah, sedangkan Cekungan Kutai bagian bawah terdapat di bagian timur dan lebih banyak dikenali pada endapan Neogenya daripada endapan-endapan regangan selama Paleogen yang merupakan deposenter di Cekungan Kutai bagian atas. Regangan-regangan yang terbentuk selama Paleogen tersebut telah mengalami inversi dan tererosi selama Neogen (Gambar-1). Cekungan Kutai Bawah bagian tengah terdapat Antiklinorium Samarinda (Gambar-1), yang terdiri dari perbukitan bergelombang sedang-kuat dan memanjang dengan arah relatif timurlaut-baratdaya dan membentuk morfologi lembah dan perbukitan bergelombang sedang hingga kuat sepanjang lebih dari 100 km.



Gambar-1. Peta geologi Cekungan Kutai, Kalimantan Timur dan perkiraan kontak *basement*-Tertiary, Eosen, Oligosen dan Miosen (modifikasi dari [13]).

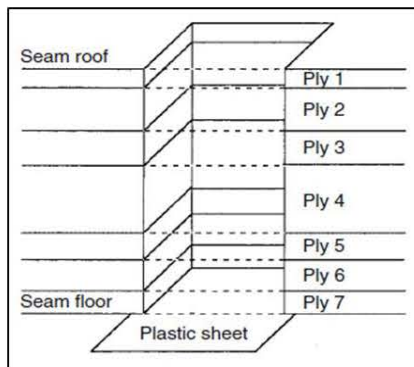
METODOLOGI

Pengambilan Sampel

Sampel batubara yang digunakan dalam penelitian ini dari PT. Indominco Mandiri KW 01PB0435 yang terletak pada Cekungan Kutai bagian bawah yang terdapat potensi batubara yaitu pada Formasi Pulaubalang (Tmptb) dan Balikpapan (Tmbp). Metode pengambilan sampel batubara menggunakan cara *channel sampling* dengan metode *channel ply sampling/ply by ply*. Metode *channel ply sampling/ply by ply* adalah metode yang paling baik untuk pengambilan sampel pada lapisan batubara karena lapisan batubara jarang yang homogen pada keseluruhan ketebalannya [15,16]. Cara pengambilan dengan metode *channel ply sampling/ply by ply* dilakukan mulai dari *roof*

menuju ke *floor* dengan membagi lapisan menjadi beberapa sub-bagian (Gambar 2). Jarak minimal sampel yang diambil adalah 0,25 m dari *roof* dan 0,25 m dari *floor* batubara dengan tebal masing-masing *ply* minimal 0,1 m dan maksimal 1,0 m, bila terdapat lapisan selain batubara dengan ketebalan >0,25 m maka lapisan tersebut tidak diambil. Berat masing-masing dari *ply* ini minimal adalah 2,0 kg.

Sampel batubara dari lapangan yang selanjutnya digunakan untuk analisis laboratorium berjumlah 10 sampel, yaitu dari Formasi Pulaubalang 5 sampel (EP2, EP9, WP1, WP2, dan WP5) dan Formasi Balikpapan 5 sampel (EB1, EB2, EB3, EB5, dan EB9).



Gambar-2. Prosedur *channel sampling* dengan metode *channel ply sampling/ply by ply* [4].

Analisis Laboratorium

Untuk mengetahui karakteristik batubara pada penelitian dilakukan beberapa analisis laboratorium sebagai berikut:

1. Analisis mikroskopis maseral dan mineral batubara
Analisis mikroskopis bertujuan untuk mengetahui komposisi dan tekstur maseral serta mineral penyusun batubara. Standar analisis yang digunakan adalah ASTM D-2798 [16] dan Standar Australia 2856 [17].
2. Analisis reflektansi (sinar pantul) vitrinit
Analisis reflektansi vitrinit bertujuan untuk mengetahui tingkat kematangan batubara dari lignit sampai antrasit dengan menggunakan mikroskop polar sinar pantul [18]. Standar analisis yang digunakan adalah ASTM D-2798 [16] dan Standar Australia 2856 [17].
3. Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)
Metode ini telah digunakan secara luas dalam mengidentifikasi mineral pada batubara. Untuk memberikan hasil yang terbaik, pada sampel batubara umumnya digunakan beberapa metode yaitu *raw coal*, *low temperature ashing* (LTA), dan *ash* 370 °C [19,20].
4. Analisis Proksimat dan Ultimat Batubara
Analisis proksimat batubara yang dilakukan terhadap sampel batubara bertujuan untuk mengetahui parameter kualitas batubara. Analisis proksimat meliputi kandungan lengas (*moisture content*) [21], kandungan abu (*ash content*) [22], zat terbang (*volatile matter*) [23], dan karbon tertambat (*fixed carbon*) [24]. Analisis ultimat meliputi unsur-unsur pada batubara seperti karbon, hidrogen, dan nitrogen [25]; sulfur [26]; dan oksigen [27].
5. Analisis kimia anorganik batubara
Analisis kimia anorganik bertujuan untuk menganalisis komposisi kimia pada sampel batubara dengan menggunakan alat *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Metode ini didasarkan pada prinsip eksitasi sampel dengan *X-Ray*. Instrumen yang digunakan untuk pengukuran ini disebut *X-Ray Fluorescence Spectrometer*. Alat ini terdiri atas sebuah tabung *X-Ray* yang berfungsi untuk memproduksi *primary X-Ray* yang mampu mendislokasi elektron-elektron kulit bagian dalam dari semua unsur yang akan diukur dalam sampel.
6. Analisis kimia organik batubara
Analisis kimia organik bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia batubara dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy*. *Fourier Transform Infrared* merupakan teknik yang didasarkan pada vibrasi (pergerakan) atom-atom dalam

molekul. *Fourier Transform Infrared* pada umumnya dihasilkan melalui sampel dan penentuan fraksi akibat dari sinar yang diabsorpsi pada energi tertentu. Energi tempat munculnya *peak* absorpsi berhubungan dengan frekuensi vibrasi suatu gugus fungsi atau kromofor yang terdapat dalam suatu molekul. Spektrofotometri IR ditujukan untuk penentuan gugus-gugus fungsi molekul pada analisis kualitatif [28]. Spektrum infra merah memberikan informasi penting tentang struktur molekul, khususnya fungsionalitas senyawa organik [29].

HASIL DAN DISKUSI

Kualitas Batubara

Hasil analisis proksimat dan ultimat pada penelitian ini digunakan untuk penentuan peringkat batubara yang digabungkan dengan data reflektansi vitrinit (Tabel-1), yang selanjutnya diringkaskan seperti disajikan dalam Tabel-2.

Pada Tabel-2 dapat dilihat bahwa untuk batubara Formasi Pulaubalang dihasilkan nilai rata-rata lengas 13,5%, zat terbang 40,6%, karbon tertambat 40,2%, karbon 63,2%, hidrogen 6,1%, oksigen 22,9%, dan Rv. maksimum 0,53% (vol.). Untuk batubara Formasi Balikpapan dihasilkan nilai rata-rata lengas 14,0%, zat terbang 40,8%, karbon tertambat 40,6%, karbon 59,2%, hidrogen 5,9%, oksigen 27,7%, dan Rv. maksimum 0,50% (vol.).

Berdasarkan nilai diatas pada Tabel-2, dan *Australian Standard* 2856 [17], maka batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan termasuk dalam *Low Rank Coal* dengan nilai Rv < 0,60% (vol.) dan masuk ke dalam peringkat batubara subbituminus.

Maseral Batubara

Persentase komposisi maseral batubara terdiri dari komposisi kelompok maseral (*huminite*, *liptinite* dan *inertinite*), sub kelompok maseral, dan tipe maseral serta terdapat pula persentase dari mineral matter. Hasil pengamatan laboratorium berdasarkan pada *Australian Standard* 2856 [17], komposisi maseral batubara Cekungan Kutai dapat dilihat pada Tabel-3 dan Gambar-3.

Hasil analisis menunjukkan komposisi kelompok maseral *huminite* mendominasi kandungan maseral batubara Formasi Pulaubalang mempunyai nilai rata-rata 66,4% dan Formasi Balikpapan 70,0% (Tabel-3). Kelompok maseral *huminite* disusun oleh subkelompok maseral *telohuminite* yang hanya terdiri dari maseral *telocollinite* dan subkelompok maseral *detrohuminite* yang hanya terdiri dari maseral *desmocollinite*. *Telocollinite* adalah sisa-sisa jaringan tumbuhan yang berasal dari batang, ranting, daun dan akar berbentuk fragmen-fragmen besar yang tergelifikasi lemah dan langsung terawetkan ketika akumulasi gambut berlangsung [30]. *Desmocollinite* adalah maseral yang tersusun oleh sisa-sisa tumbuhan yang berasal dari jaringan tumbuhan yang terurai menjadi butiran halus baik secara insitu maupun selama transportasi ketempatnya diendapkan [30]. Kenampakan di bawah mikroskop, maseral *desmocollinite* berupa campuran atau kumpulan dari pecahan *vitirinite* yang berukuran halus, lebih rapat, dan homogen seperti terlihat di Gambar-3 (a, c, dan d).

Tabel-1. Hasil analisis proksimat, ultimat, dan nilai reflektansi batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan.

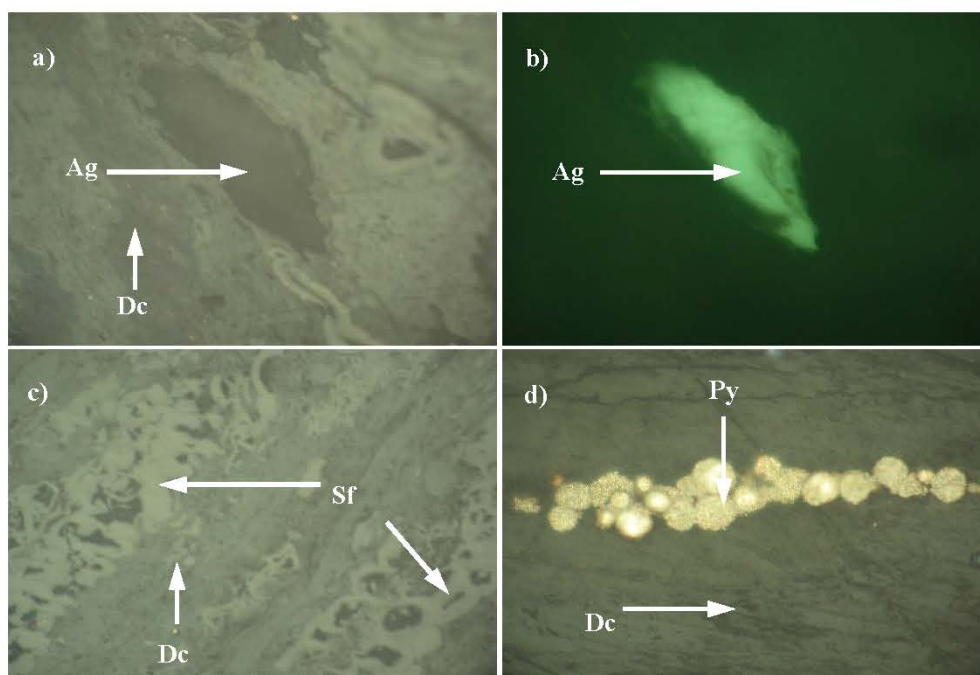
Sampel	Analisis Proksimat				Analisis Ultimat					Rv. Rata-rata maks.
	Lengas	Abu	Zat Terbang	Karbon Tertambat	Karbon	Hidrogen	Nitrogen	Sulfur	Oksigen	
	%, adb									
EP2	13,5	6,7	39,4	40,4	62,7	5,8	1,2	2,5	21,1	0,49
EP9	12,5	3,7	41,3	42,5	66,1	6,4	1,3	0,3	22,2	0,50
WP1	14,6	4,9	43,5	37,0	64,0	6,5	1,2	0,2	23,2	0,52
WP2	15,3	5,9	37,9	40,9	59,0	5,8	1,4	0,2	27,6	0,57
WP5	11,4	7,5	40,7	40,4	64,2	6,1	1,4	0,2	20,6	0,55
Rata-rata	13,5	5,7	40,6	40,2	63,2	6,1	1,3	0,7	22,9	0,53
EB1	13,8	5,8	39,6	40,8	59,4	6,1	1,4	0,2	27,1	0,45
EB2	13,7	4,7	41,3	40,3	59,6	5,9	1,3	1,9	26,5	0,54
EB3	14,3	4,6	41,0	40,2	59,7	6,0	1,3	1,3	27,0	0,57
EB5	14,4	2,6	41,2	41,7	58,8	5,6	1,3	0,4	31,2	0,51
EB9	13,8	4,9	41,1	40,2	58,7	6,0	1,4	2,3	26,8	0,43
Rata-rata	14,0	4,5	40,8	40,6	59,2	5,9	1,3	1,2	27,7	0,50

Tabel-2. Hasil nilai rata-rata analisis proksimat, ultimat, dan reflektansi vitrinit batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan

Parameter (% adb)	Formasi Pulaubalang	Formasi Balikpapan
Lengas	13,5	14,0
Zat Terbang	40,6	40,8
Karbon Tertambat	40,2	40,6
Karbon	63,2	59,2
Hidrogen	6,1	5,9
Oksigen	22,9	27,7
Rv_maks. (% vol.)	0,53	0,50
Peringkat Batubara	Subbituminus	Subbituminus

Kelompok maseral *liptinite* berwarna abu-abu sampai hitam pada sinar reflektan dan kuning kehijauan

atau kuning pada sinar flouresensi (Gambar-3a dan b). Kelompok maseral *liptinite* mempunyai kandungan tidak begitu signifikan bahkan cenderung rendah pada komposisi maseral batubara Formasi Pulaubalang mempunyai nilai rata-rata 2,7% dan Formasi Balikpapan 2,0% (Tabel-3). Kelompok maseral *liptinite* disusun oleh maseral *resinite*, *alginite*, *suberinite* dan *flourinite*. Kenampakan mikroskopis maseral *resinite* berbentuk bundar dan oval, maseral *alginite* berbentuk elip atau cakram, maseral *suberinite* berupa dinding (ruang) sel yang tipis yang terisi oleh maseral lain [31], dan maseral *flourinite* adalah *liptinite* sekunder dan kemungkinan berasal dari *resinite*. Rendahnya kandungan maseral *liptinite* membuktikan bahwa batubara terbentuk dari tumbuhan berkayu secara signifikan.



Gambar-3. Maseral batubara Cekungan Kutai pada sinar reflektan & fluorensensi 500X
a) asosiasi *alginite* (Ag) dengan *desmocollinite* (Dc) dan b) *alginite* (Ag), sampel EP9
c) asosiasi *semifusinite* (Sf) dengan *desmocollinite* (Dc), sampel WP2
d) asosiasi *pyrite* (Py) dengan *desmocollinite* (Dc), sampel EB9

Tabel-3. Hasil analisis maseral dan mineral pada batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan.

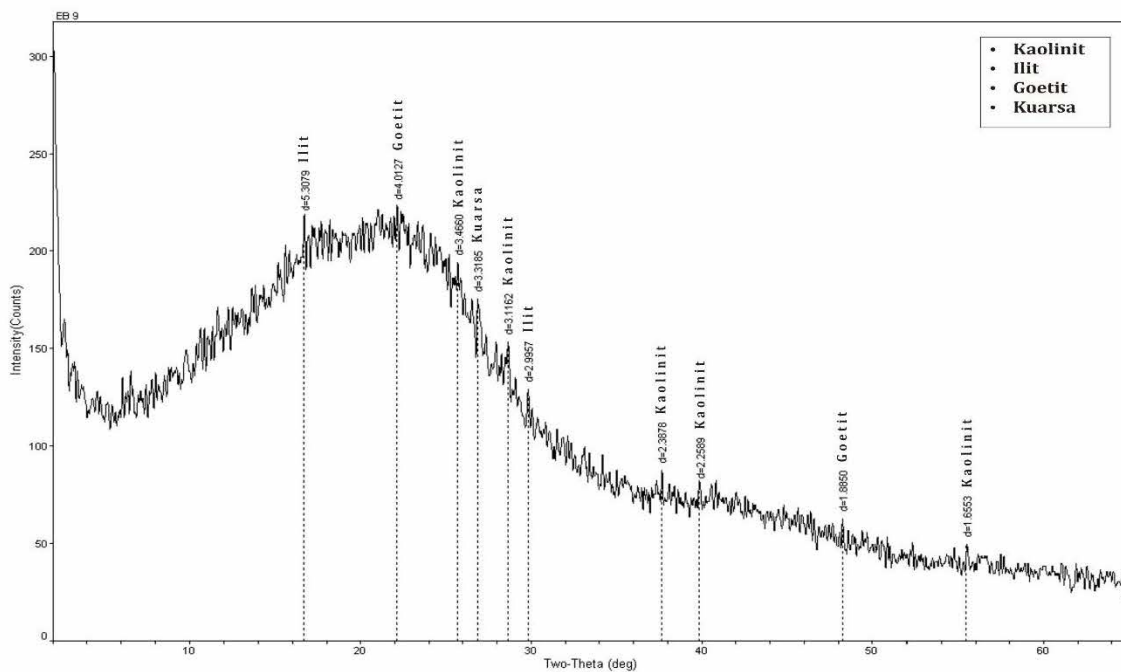
Komposisi Petrografi	Formasi Pulaubalang					Formasi Balikpapan				
	EP2	EP9	WP1	WP2	WP5	EB1	EB2	EB3	EB5	EB9
Maseral (% vol.)										
Textinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ulminite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Telocollinite	31,4	18,4	34,0	15,0	18,0	19,0	27,0	23,0	7,4	16,4
<i>Jumlah Telohuminit</i>	<i>31,4</i>	<i>18,4</i>	<i>34,0</i>	<i>15,0</i>	<i>18,0</i>	<i>19,0</i>	<i>27,0</i>	<i>23,0</i>	<i>7,4</i>	<i>16,4</i>
Attrinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Desmocollinite	33,4	49,0	32,6	46,6	53,6	48,4	31,4	57,4	56,6	63,4
<i>Jumlah Detrohuminite</i>	<i>33,4</i>	<i>49,0</i>	<i>32,6</i>	<i>46,6</i>	<i>53,6</i>	<i>48,4</i>	<i>31,4</i>	<i>57,4</i>	<i>56,6</i>	<i>63,4</i>
Corpohuminit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gelinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Jumlah Gelohuminit</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>
Total Huminit	64,8	67,4	66,6	61,6	71,6	67,4	58,4	80,4	64,0	79,8
Rata-rata Huminit			66,4					70,0		
Sporinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cutinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Resinite	1,0	2,0	1,0	2,8	0,0	1,0	2,4	1,0	2,0	1,0
Liptodetrinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Alginite	0,6	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
Suberinite	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0
Fluorinite	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Exsudatinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bituminite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total Liptinite	1,6	3,0	6,0	3,0	0,0	1,0	2,4	2,6	3,0	1,0
Rata-rata Liptinite			2,7					2,0		
Fusinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Semifusinite	28,0	12,6	11,0	29,4	0,0	26,0	18,6	2,0	18,0	0,0
Sclerotinite	4,0	17,0	15,4	5,6	16,0	4,0	7,6	9,0	11,0	10,6
Inertodetrinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Micrinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Macrinite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total Inertinite	32,0	29,6	26,4	35,0	16,0	30,0	26,2	11,0	29,0	10,6
Rata-rata Inertinite			27,8					21,4		
<i>Mineral matter (% vol.)</i>										
Pyrite	1,6	0,0	1,0	0,4	12,4	1,6	13,0	6,0	4,0	8,6
Clay	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	1,6	0,0	1,0	0,4	12,4	1,6	13,0	6,0	4,0	8,6
Rata-rata Mineral Matter			3,1					6,6		

Kelompok maseral *inertinite* mempunyai nilai rata-rata 27,8% untuk Formasi Pulaubalang dan 21,4 untuk Formasi Balikpapan (Tabel-3). Kelompok maseral *inertinite* pada sampel komposit Formasi Pulaubalang dan Balikpapan hanya disusun oleh maseral *semifusinite* dan *sclerotinite*. Maseral *semifusinite* memiliki kenampakan mikroskopis berupa rongga sel (lumens) hanya samar-samar atau sebagian terlihat, di mana ukuran dan bentuknya bervariasi dalam partikel yang sama (Gambar-3c). Maseral *sclerotinite* di bawah mikroskop berbentuk oval atau sirkular serta mempunyai reflektivitas yang tinggi, diduga berasal dari jamur *mycelia* yang mengandung melanin hitam. Maseral *inertinite* merupakan komponen yang mengalami oksidasi akibat berkurangnya kelembaban gambut. Kandungan maseral ini yang relatif rendah dapat mengindikasikan bahwa batubara berasal dari lingkungan pengendapan yang cenderung basah dan tingkat oksidasi yang rendah [32]. Dari hal ini, maka dapat ditunjukkan bahwa kondisi kelembaban gambut pada saat terbentuknya selalu terjaga dengan baik.

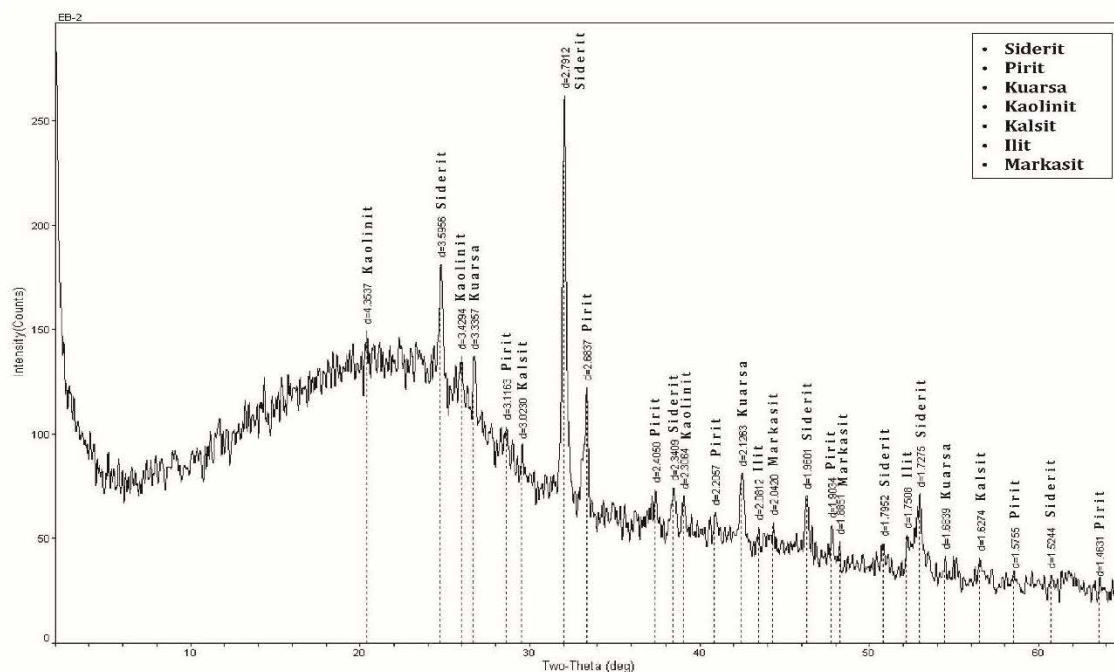
Komponen *mineral matter* pada sampel komposit batubara Cekungan Kutai yang muncul hanya mineral pirit mempunyai nilai rata-rata 3,1% untuk Formasi Pulaubalang dan 6,6% untuk Formasi Balikpapan (Tabel-3).

Mineral Batubara

Berdasarkan hasil analisis mineral batubara dengan menggunakan metode analisa *X-Ray Diffraction (XRD)* dan mengacu pada [33], maka pada Formasi Pulaubalang terdiri dari grup mineral lempung (kaolinit dan illit), kuarsa, dan oksida (goetit) (Gambar-4). Untuk Formasi Balikpapan terdiri dari grup mineral lempung (illit dan kaolinit), kuarsa, karbonat (siderite dan kalsit), dan sulfida (pirit dan markasit) (Gambar-5). Dari data tersebut menunjukkan bahwa jenis mineral yang terbentuk adalah mineral *matter* singenetik yaitu mineral *matter* yang terbawa oleh air atau angin ke dalam lapisan batubara di mana lapisan batubara tersebut sedang terbentuk (proses



Gambar-4. Grafik analisis *X-Ray Diffraction (XRD)* batubara Formasi Pulaubalang (sampel EP9)



Gambar-5. Grafik analisis *X-Ray Diffraction (XRD)* batubara Formasi Balikpapan (sampel EB2)

penggambutan/*peatification*) [34]. Kaolinit umumnya terdapat dalam lapisan batubara secara singenetik yang terkonsentrasi pada bidang perlapisan dan illit biasanya lebih banyak terdapat pada batubara dengan lapisan penutup batuan sedimen laut [35]. Kuarsa merupakan mineral singenetik dan jarang ditemukan sebagai epigentik [36].

Mineral-mineral yang lain seperti siderit yang terbentuk dalam kondisi reduksi dapat dianggap sebagai karbonat primer, sedangkan kalsit dapat terbentuk baik dalam lingkungan air tawar maupun laut [36] dan kalsit juga dapat terbentuk dengan baik pada fase singenetik akhir [37].

Pirit dan markasit merupakan mineral sulfida yang paling umum terdapat pada batubara. Kedua jenis mineral ini memiliki komposisi kimia yang sama (FeS_2) hanya berbeda dalam bentuk kristalnya. Pirit berbentuk kubik dan markasit berbentuk ortorombik. Mineral sulfida dapat terbentuk baik secara singenetik (pirit dan markasit) dalam berbagai bentuk [37]. Goetit adalah mineral yang tidak dapat teridentifikasi dengan jelas karena terdistribusi secara merata dalam batubara dengan jumlah yang termasuk klasifikasi sebagai mineral jarang, kecuali pada batubara yang terpegaruhi oleh kondisi oksidasi [38].

Geokimia Anorganik Batubara

Berdasarkan hasil analisis XRF batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan (Tabel 4), maka unsur anorganik yang dominan adalah SO_3 (0,2258 – 10,5000 %) yang hampir ada pada setiap sampel, unsur CaO , Fe_2O_3 , NiO , CuO , dan ZnO juga ada pada hampir semua sampel walaupun dengan persentase yang sedikit, sedangkan unsur SrO , Al_2O_3 , SiO_2 , dan TiO_2 tidak muncul pada semua sampel dan persentasenya juga sedikit.

Menurut [39] mineral dalam batubara bersifat detrital dan autigenik tersebar merata dalam material

anorganik. Mineral autigenik dalam batubara terutama sulfida, karbonat dan sulfat yang mengandung unsur utama Fe, Mg dan Ca, sedangkan mineral detrital adalah yang mengandung unsur utama Si, Al, K, dan Ti mewakili seperti mineral lempung dan kuarsa.

Berdasarkan hasil analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*) unsur utama (Al_2O_3 , SiO_2 , dan TiO_2) dan unsur jejak (NiO , CuO , ZnO , dan ZrO_2) sangat berasosiasi dengan alumosilikat (mineral lempung) dan mineral kuarsa. Unsur utama CaO dan unsur jejak SrO berasosiasi dengan mineral karbonat [39,40].

Tabel-4. Hasil analisis X-Ray Fluorescence batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan.

Sampel	Hasil XRF batubara Cekungan Kutai											
	SO_3	CaO	Fe_2O_3	NiO	CuO	ZnO	SrO	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	As_2O_3	ZrO_2
	%											
EP2	10,5000	0,2790	0,1870	0,0138	0,0059	0,0035	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
EP9	0,6379	0,3311	2,8060	0,0143	0,0050	0,0040	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
WP1	0,2258	0,5707	0,4699	0,0103	0,0033	0,0018	0,0014	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
WP2	0,5183	0,7788	0,5113	0,0168	0,0074	0,0000	0,0230	2,6117	4,5367	0,0000	0,0000	0,0000
WP5	0,7602	0,1821	0,7549	0,0104	0,0034	0,0027	0,0014	0,1993	2,1575	0,0515	0,0000	0,0000
EB1	0,4947	0,4083	1,0467	0,0137	0,0056	0,0041	0,0085	0,0000	0,0000	0,0000	0,0008	0,0519
EB2	3,2614	0,6470	0,5907	0,0111	0,0043	0,0024	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0087
EB3	6,2530	0,6767	1,0970	0,0160	0,0072	0,0041	0,0328	0,0000	0,0000	0,0000	0,0032	0,0000
EB5	3,7857	0,7901	0,8457	0,0107	0,0039	0,0018	0,0017	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
EB9	5,5143	0,1974	0,4956	0,0112	0,0052	0,0084	0,0000	0,0000	1,0329	0,0823	0,0007	0,0000

[41] menyatakan bahwa unsur Ca dan Fe sangat berasosiasi dengan karbonat dan pirit, sedangkan unsur Al dan Ti merupakan unsur yang diendapkan pada lingkungan pengendapan air tawar. Unsur utama Fe_2O_3 muncul pada semua sampel dan kemungkinan berasosiasi dari mineral goetit ($\text{FeO}[\text{OH}]$) [42]. Unsur utama (Fe, Ti, dan S), unsur jejak (As dan Ni) sangat berasosiasi dengan mineral pirit [39,43]. Unsur S dalam bentuk SO_3 hampir muncul pada semua sampel dengan persentase yang paling tinggi, menandakan bahwa batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan ini mengandung mineral pirit.

Gugus Kimia Batubara

Identifikasi gugus fungsi batubara dengan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dan struktur batubara dari setiap sampel. Analisis gugus fungsi terhadap sampel dilakukan pada semua sampel Formasi Pulaubalang dan Balikpapan (Gambar 6).

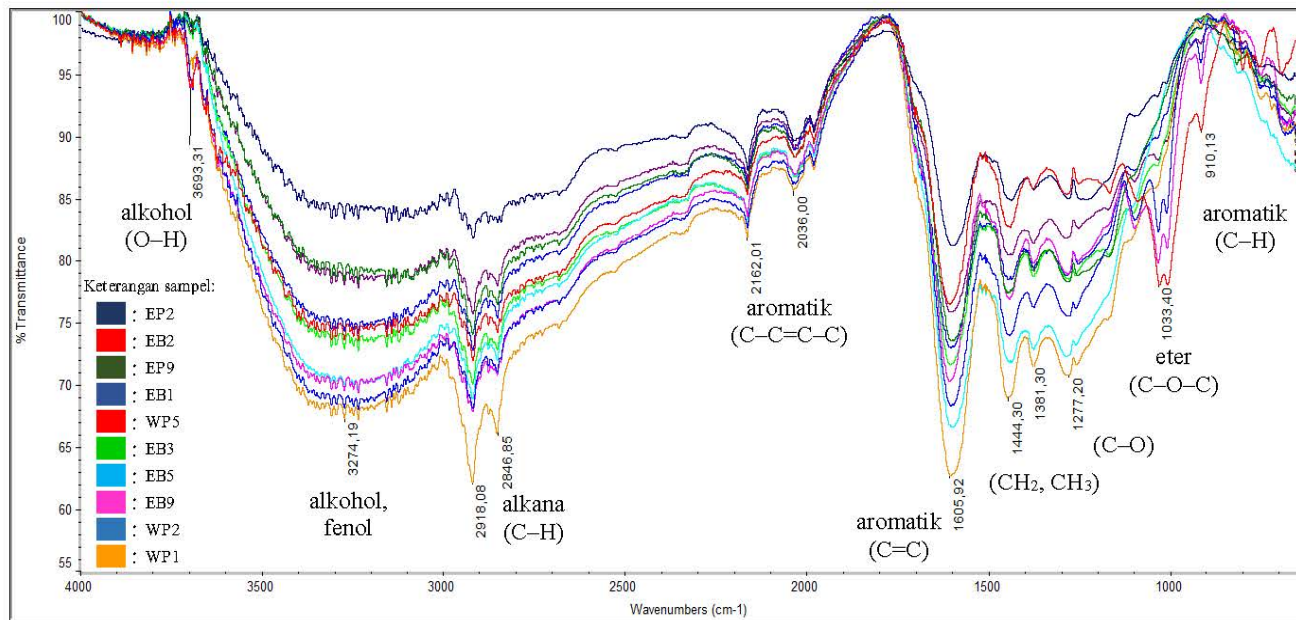
Batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan dengan berdasarkan pada [44] dan terlihat pada Gambar 6, menunjukkan spektrum FTIR batubara ikatan yang lebar pada kisaran $3700\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan terjadi gugus hidroksil (OH), yang merupakan spektra untuk batubara yang mengandung alifatik dan aromatik [45-47]. Batubara peringkat rendah jumlah gugus hidroksil cenderung lebih tinggi dari batubara peringkat tinggi, hal ini terkait dengan kandungan air yang ada pada batubara. Gugus fungsional yang hadir adalah alkohol ikatan hidrogen; alkohol (O–H) pada daerah serapan $3693,31\text{ cm}^{-1}$ dan fenol (O–H) pada daerah serapan $3274,19\text{ cm}^{-1}$. Regangan C–H alifatik yang menonjol terungkap dalam zona $3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$. Dua puncak pada sekitar 2900 cm^{-1} dan 2850 cm^{-1} menunjukkan karena peregangan getaran alifatik $-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_3$ [45,48,49]. Intensitas puncak pada 2920 cm^{-1} lebih besar

dari intensitas puncak pada 2850 cm^{-1} merupakan indikasi adanya rantai alifatik panjang dalam batubara [49].

Pada puncak sekitar 2160 cm^{-1} dan 2025 cm^{-1} muncul gugus $\text{C}\equiv\text{C}$ dari cincin aromatik [46]. Pada pita 1600 cm^{-1} yang disebabkan oleh peregangan getaran cincin aromatik $\text{C}=\text{C}$ [45,46,48]. Dua pita pada 1440 cm^{-1} dan 1380 cm^{-1} yang muncul dari vibrasi peregangan CH_3 dan CH_2 dari karbon alifatik. Pita pada 1275 cm^{-1} disebabkan vibrasi peregangan C–O yang menghubungkan gugus aromatik dan gugus nitrogen piridinik dari batubara. Pada pita 1010 cm^{-1} muncul adanya eter (C–O–C), karena kerusakan karbon alifatik yang lemah serta akibat getaran peregangan C–O dan C–H dalam struktur fenoksi [45,46]. Dalam daerah antara 900 cm^{-1} teramati mode aromatik (C–H). Perbedaan intensitas puncak menunjukkan bahwa batubara kaya *vitrinite* dan *inertinite* memiliki pola substitusi yang berbeda dalam struktur aromatiknya [45].

KESIMPULAN

1. Batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan termasuk dalam *Low Rank Coal* ($R_v < 0,60\%$ (vol.)) dan masuk ke dalam peringkat batubara subbituminus.
2. Maseral batubara Formasi Pulaubalang dan Formasi Balikpapan didominasi *huminit*, diikuti *inertinite*, dan *liptinite*, yang berasal dari tumbuhan perdu atau tumbuhan kayu lunak yang diendapkan pada daerah rawa yang dipengaruhi oleh naik turunnya air laut.
3. Mineral pada batubara Formasi Pulaubalang dan Formasi Balikpapan terdiri mineral lempung (kaolinit dan illit), kuarsa, karbonat (kalsit dan siderit), sulfida (pirit, markasit, dan kalkopirit), dan oksida (goetit) yang sebagian besar merupakan jenis singenetik.



Gambar-6. Spektrum infra merah sampel batubara Formasi Pulaubalang (sampel EP9)

4. Mineral pada batubara Formasi Pulaubalang dan Formasi Balikpapan bersifat detrital (mineral lempung dan kuarsa), dan autigenik (mineral sulfida dan karbonat).
5. Batubara Formasi Pulaubalang dan Balikpapan dibentuk oleh campuran struktur alifatik dan beberapa struktur aromatik dalam batubara

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada KEMENRISTEKDIKTI yang telah mendanai penelitian ini melalui hibah Penelitian Disertasi Doktor (PDD) 2018. PT. Indominco Mandiri (IMM) yang telah memberikan izin untuk mengambil sampel batubara dan analisis proksimat batubara. Ketua dan Staf Departemen Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada yang memberikan izin untuk mengakses laboratorium. Kami juga berterima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (tekMIRA) Bandung yang telah memberikan bantuan dalam pelaksanaan analisis maseral dan ultimat batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Van Krevelen, D.W. 1993. Coal, Typology-Physics-Chemistry-Constitution. 3rd Ed. Elsevier. Amsterdam. 979 p.
- [2] Anggayana, K. 1999. Genesa dan Kualitas Batubara. *Jurusan Teknik Pertambangan-FTM-ITB*. 56 p.
- [3] Taylor, G.H. Teichmüller, M. Davis, A. Diessel, C.F.K. Robert, P. dan Littke, R. 1998. Organic Petrology. *Gebrüder Borntraeger. Berlin. Stuttgart*.
- [4] Thomas, L. 2013. Coal Geology. 2nd Ed. Wiley-Blackwell. *John Wiley & Sons. Ltd. England*. 444 p.
- [5] Badan Geologi. 2014. Neraca Sumber Daya Energi. *Pusat Sumber Daya Geologi. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta*. 20 p.
- [6] Harkins, H.P., FX. Prihandono, J.A. Setiya Budhi, A.

Kusnida, D. 1999. Studi Regional Cekungan Batubara Daerah Pesisir Kalimantan Timur. *Badan Geologi. Pusat sumber Daya Geologi. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta*.

- [7] Situmorang, B. Dwiyoğa, C.D. Kustamsi, A. 2006. The untapped "Unconventional" Gas: CBM Resources of Kutai Basin with reference to the North Kutai Lama Field, Sangasanga area, East Kalimantan. *Proceedings of International Geosciences conference and exhibition. Jakarta August 14-16. 2006. Jakarta* 06-OT-07.
- [8] Widodo, S. Bechtel, A. Anggayana, A. Püttmann, W. 2009. Reconstruction of Floral Changes during Deposition of The Miocene Embalut Coal from Kutai Basin, Mahakam Delta, East Kalimantan, Indonesia by Use of Aromatic Hydrocarbon Composition and Stable Carbon Isotope Ratios of Organic Matter. *Organic Geochemistry*. 40. 206-218.
- [9] Ulfaniyah, N.I. Burhan, R.Y.P. 2014. Karakterisasi Geokimia Organik Batubara Samarinda. *Sains dan Terapan Kimia*. Vol. 8. No. 2 (Juli 2014). 57-68.
- [10] Win, C.T. 2015. Sedimentology and Organic Petrology of Coal and Coal-Bearing Sequences in The Samarinda Area, Lower Kutai Basin, Indonesia. *Disertation. The Post Graduate Program of Geological Engineering Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. Indonesia*.
- [11] Biantoro, E. Muritno, B.P. Mamuaya, J.M.B. 1992. Inversion Faults as the Major Structural Control on the Northern Part of the Kutai Basin, East Kalimantan. *Proceedings of 21st Annual Convention of Indonesian Petroleum Association*.
- [12] Moss, S.J. Chambers, J. Cloke, I. Satria, D. Ali, J.R. Baker, S. Milsom, J. & Carter, A. 1997. New

- Observations on the Sedimentary and Tectonic Evolution of the Tertiary Kutai Basin, East Kalimantan. *Petroleum Geology of Southeast Asia*. Geological Society Special Publication No. 126. 395-416.
- [13] Moss, S.J. Chambers, J.L.C. 1999. Depositional Modelling and Facies Architecture of Rift and Inversion in the Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia. *Indonesian Petroleum Association, Proceedings 27th Annual Convention*, Jakarta, 459-486.
- [14] Satyana, A.H. Nugroho, D. Surantoko, I. 1999. Tectonic Controls on the Hydrocarbon Habitats of the Barito, Kutai and Tarakan Basin, Eastern Kalimantan, Indonesia; Major Dissimilarities. *Journal of Asian Earth Sciences Special Issue*. Vol. 17. No. 1-2. Elsevier Science. Oxford. 99-120.
- [15] Speight, J.G. 2013. The Chemistry and Technology of Coal. 3rd edition. *CRC Press Taylor & Francis Group*. Broken Sound Parkway NW. Florida. 845 p.
- [16] ASTM D.2798-09. 2009. Standard Test Method for Microscopical Determination of the Vitrinite Reflectance of Coal. *ASTM International*. West Conshohocken. PA.
- [17] Australian Standard 2856. 1986. Coal Maceral Analysis, *Standard Australia*. 20 p.
- [18] Niekerk, D.V. Mitchell, G.D. and Mathews, J.P. 2010. Petrographic and Reflectance Analysis of Solvent-Swelled and Solvent-Extracted South African Vitrinite-Rich and Inertinite-Rich Coals. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 81. 45-52.
- [19] Ward, C.R. Taylor, J.C. Matulis, C.E. L.S. Dale, L.S. 2001. Quantification of Mineral Matter in The Argonne Premium Coals Using Interactive Rietveld-based X-Ray Diffraction. *International Journal of Coal Geology*. 46. 67-82.
- [20] Ward C.R. 2016. Analysis, Origin and Significant of Mineral Matter in Coal: An Update Review. *International Journal of Coal Geology*. 165. 1-27.
- [21] ISO 11722:2013. 2013. Solid Mineral Fuels - Hard Coal - Determination of Moisture in the General Analysis Test Sample by Drying in Nitrogen. *International Organization for Standardization*. Switzerland.
- [22] ISO 1171:2010 2010. Solid Mineral Fuels - Determination of Ash. *International Organization for Standardization*. Switzerland.
- [23] ISO 562:2010. 2010. Hard Coal and Coke - Determination of Volatile Matter. *International Organization for Standardization*. Switzerland.
- [24] ISO 17246:2010. 2010. Coal - Proximate Analysis. *International Organization for Standardization*. Switzerland.
- [25] ASTM D.5373-13. 2013. Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke. *ASTM International*. West Conshohocken. PA.
- [26] ASTM D.4239-04. 2004. Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion Methods. *ASTM International*. West Conshohocken. PA.
- [27] ASTM D.3176-89. 2002. Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke. *ASTM International*. West Conshohocken. PA.
- [28] Giwangkara S, E.G. 2006. Aplikasi Logika Syaraf Fuzzy Pada Analisis Sidik Jari Minyak Bumi Menggunakan Spektrofotometer Infra Merah Transformasi Fourier (FTIR). *Sekolah Tinggi Energi dan Mineral*. Cepu – Jawa Tengah.
- [29] Orrego, J.A. Hernandez, R.C. Mejia-Ospino, E. 2010. Structural Study of Colombian Coal by Fourier Transform Infrared Spectroscopy Coupled to Attenuated Total Reflectance (FTIR-ATR). *Revista Mexicana De Fisica* 56 (3). 251-254.
- [30] Falcon R.M.S. Snyman, C.P. 1986. An Introduction to Coal Petrography. *Geological Society of South Africa*. Johannesburg.
- [31] Teichmüller, M. 1989. The Genesis of Coal from the Viewpoint of Coal Petrology. *International Journal of Coal Geology*. vol. 12. 1-87.
- [32] Stach, E. Mackowsky, M.T.H. Teichmüller, M. Taylor, G.H. Chandra, D. Teichmüller, R. 1982. Stach's Textbook of Coal Petrology. *Gebrüder Borntraeger*. Berlin. Stuttgart. 535 p.
- [33] Bayliss, P. Smith, D.K. Mrose, M.E. Berry, L.G. 1980. Mineral Powder Diffraction File: Book 2. JCPDS, *International Centre for Diffraction Data*, 1601 Park Line. Swarthmore. Pennsylvania 19081. USA, 1168 p.
- [34] Kostova, I. Zdravkov, A. 2007. Organic Petrology, Mineralogy and Depositional Environment of The Kipra Lignite Seam, Maritza-West Basin, Bulgaria. *International Journal of Coal Geology*. 71. 527-541.
- [35] Ward, C.R. 1986. Review of Mineral Matter in Coal. *Australian Coal Geology. Geol. Soc. of Australia*. Vol. 6. 87-107.
- [36] Ranton, J.J. 1982. Mineral matter in coal in Meyer R.A. Coal Structure. *Academic press*. London. 283-324.
- [37] Diesel, C.F.K. 1992. Coal Bearing Depositional System. *Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg*. 721 p.
- [38] Taylor, G.H. Chandra, D. 1998. Gondwana Coal in Coal Petrology. *Gebrüder Borntraeger*. Berlin.

- Stuttgart. 191-194.
- [39] Akinyemi, S.A. Gitari, W.M. Akinlua, A. Petrik, L.F. 2012. Mineralogy and Geochemistry of Sub-Bituminous Coal and Its Combustion Products from Mpumalanga Province. South Africa. *INTECH*. <http://dx.doi.org/10.5772/50692>.
- [40] Životić, D. Wehner, H. Cvetković, O. Jovančević, B. Gržetić, I. Scheeder, G. Vidal, A. Šajnović, A. Ercegovic, M. Simić, V. 2008. Petrological, Organic Geochemical and Geochemical Characteristics of Coal from the Soko Mine Serbia. *International Journal of Coal Geology*. 73. 285-306.
- [41] Goodarzi, F. Sanei, H. Stasiuk, L.D. Sadeghi, B.H. Reyes, J. 2006. A Preliminary Study of Mineralogy and Geochemistry of Four Coal Samples from Northern Iran. *International Journal of Coal Geology*. Vol. 65. 35-50.
- [42] Nursanto, E. 2014. Karakteristik Maseral, Mineralogi dan Geokimia Batubara Formasi Warukin pada Cekungan Barito, Kalimantan Selatan dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Pencairan Batubara. *Disertasi*. Universitas Gadjah Mada.
- [43] Spears, D.A. Tewalt, S.J. 2009. The Geochemistry of Environmentally Important Trace Elements in UK Coals, with Special Reference to the Parkgate Coal in the Yorkshire-Nottinghamshire Coalfield, UK. *International Journal of Coal Geology*. 80. 157-166.
- [44] Skoog, D.A. Holler, F.J. Crouch, S.R. 2010. Principles of Instrumental Analysis, 6th edition. *Thomson Higher Education*. 10 Davis Drive. Belmont. CA. USA. 1039 p.
- [45] Niekerk, D.V. Pugmire, R.J. Solum, M.S. Painter, P.C. Mathews, J.P. 2008. Structural Characterization of Vitrinite-Rich and Inertinite-Rich Permian-Aged South African Bituminous Coals. *International Journal of Coal Geology*. 76. 290-300.
- [46] Malumbazo N. Wagner N.J. Bunt J.R. Van Niekerk D. Assumption H. 2011. Structural Analysis of Chars Generated from South African Inertinite Coals in a Pipe-reactor Combustion Unit. *Fuel Processing Technology*. 92. 743-749.
- [47] Okolo G.N. Neomagus, H.W.J.P. Everson, R.C. Roberts, M.J. Bunt, J.R. Sakurovs, R. Mathews, J.P. 2015. Chemical-structural Properties of South African Bituminous Coals: Insights from Wide Angle XRD-Carbon Fraction Analysis, ATR-FTIR, Solid State ¹³C NMR, and HRTEM Techniques. *Fuel*. 158. 779-792.
- [48] Amijaya, H. Littke, R. 2006. Properties of Thermally Metamorphosed Coal From Tanjung Enim Area, South Sumatra Basin, Indonesia with Special Reference to The Coalification Path of Macerals. *International Journal of Coal Geology*. 66. 271-295.
- [49] Baysal, M. Yürüm, A. Yıldız, B. Yürüm, Y. 2016. Structure of Some Western Anatolia Coals Investigated by FTIR, Raman, ¹³C Solid State NMR Spectroscopy and X-Ray Diffraction. *International Journal of Coal Geology*. 163. 166-176.