

Karakteristik dan Lingkungan Pengendapan Batubara Formasi Warukin di Desa Kalumpang, Binuang, Kalimantan Selatan.

Depositional Environment and Characteristic Coal of the Warukin Formation in Kalumpang District, Binuang, South Kalimantan

Dian Novita dan KUSDJI Darwin Kusumah

Pusat Survei Geologi, Jalan Diponegoro 57 Bandung 40122

E-mail: dn.diannovita@gmail.com

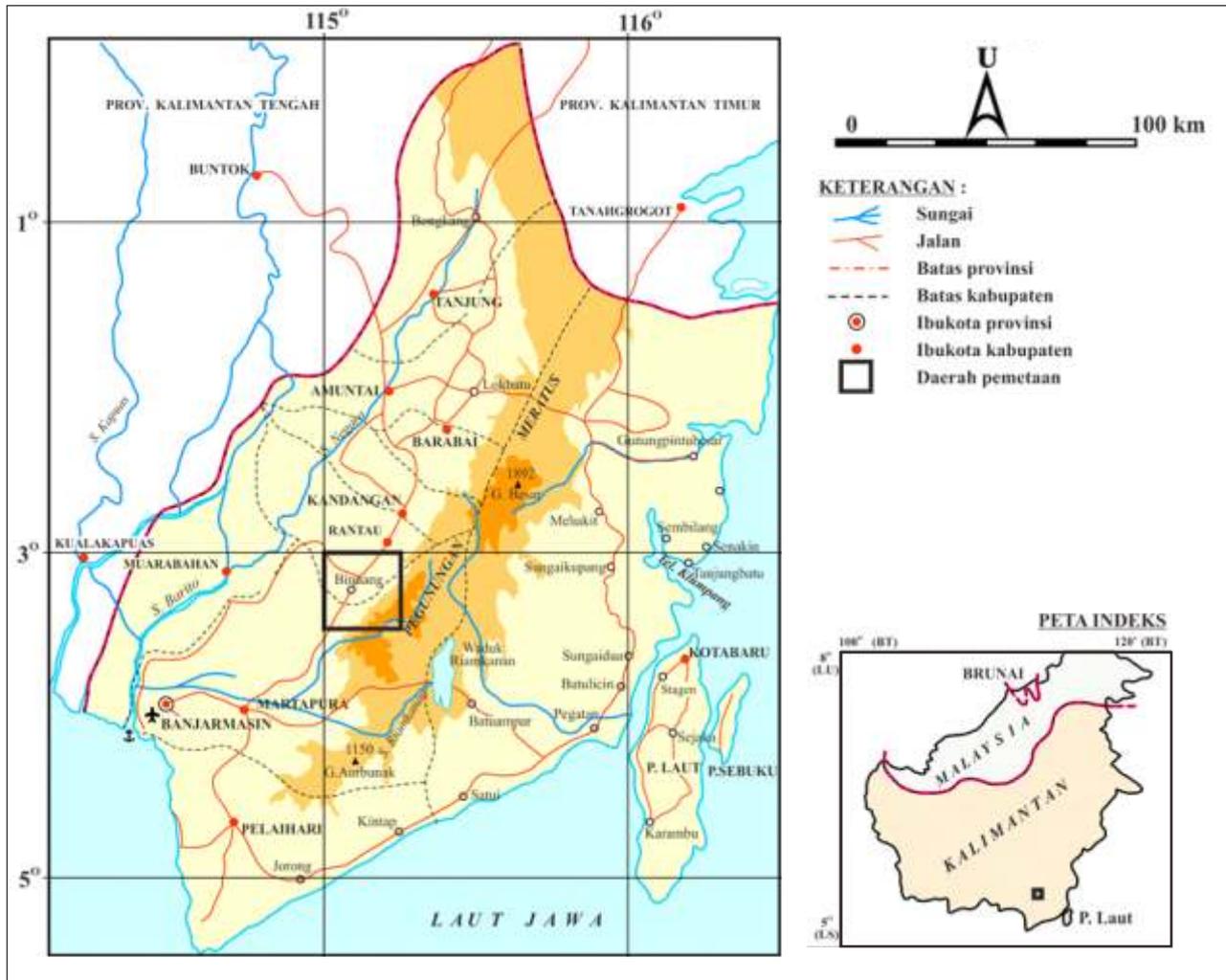
Naskah diterima : 21 Januari 2016, Revisi terakhir : 23 Mei 2016, Disetujui : 8 Juni 2016

Abstrak - Batubara masih menjadi salah satu sumber energi utama di Indonesia, utamanya sebagai pemasok energi pembangkit listrik. Formasi Warukin menjadi salah satu formasi pembawa batubara dalam kuantitas besar di Cekungan Barito. Berdasarkan litostratigrafi dan pengeplotan nilai TPI (*Total Preservation Index*) dengan GI (*Gelification Index*) dalam diagram fasies Diessel menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan batubara Formasi Warukin merupakan daerah delta dan dataran banjir yang masih kaya akan pasokan sedimen produk endapan *crevasse splay*. Dari nilai reflektansi vitrinit menunjukkan batubara berada pada peringkat *lignite* (0.29) hingga *high volatile bituminous C* (0.49). Berdasarkan zona pembentukan hidrokarbon, peringkat batubara dengan nilai vitrinit reflektan 0.49 telah berada pada zona awal pembentukan minyak. Dengan demikian ada indikasi kematangan batuan sumber untuk hidrokarbon dari Formasi Warukin

Kata kunci - batubara, fasies pengendapan, analisis maseral, potensi hidrokarbon

Abstract - Coal is still the main source of energy in Indonesia, especially as a supplier of energy power plants. Warukin Formation become one of the coal bearing formations in the Barito Basin in large quantity. Base on lithostratigraphy from vertical succession and plotting TPI (*Total Preservation Index*) and GI (*Gelification Index*) values in the facies diagram Diessel, indicated that coal depositional environment at Warukin Formation on Kalumpang village is in the upper part of deltaic system and floodplain areas which still rich sediment supply products from *crevasse splay*. Value the vitrinite reflectance indicates coal ranks lignite (0:29) to high volatile bituminous C (0.49). Based on the generation of hydrocarbon, coal rank with a value of vitrinite reflectance 0:49 has been at the beginning of the formation of the oil zone. There is an indication of the maturity of the source rock for hydrocarbons from the Warukin Formation.

Keywords - coal, depositional facies, maceral analysis, hydrocarbon potential



Sumber : Olahan Penulis.

Gambar 1. Peta lokasi penelitian. Berada di Kabupaten Tapin, Propinsi Kalimantan Selatan. Termasuk ke dalam Cekungan Barito.

PENDAHULUAN

Batubara masih menjadi salah satu sumber energi utama di Indonesia, salah satu daerah penghasil batubara terbesar di Indonesia adalah Kalimantan Selatan. Cekungan Barito yang berkembang di wilayah tersebut telah sejak lama dieksploitasi kandungan batubaranya. Formasi pembawa batubara yang cukup terkenal di Cekungan Barito adalah Formasi Warukin. Formasi ini terbentuk sejak Mio-Pliosen, tersusun atas perselingan batupasir kuarsa berbutir halus-kasar setempat konglomeratan dan batulempung dengan sisipan batulempung pasiran dan batubara. Diendapkan dalam lingkungan paralik dengan total ketebalan 1250 m.

Lokasi penelitian terdapat di Desa Kelumpang, Kabupaten Tapin, Propinsi Kalimantan Selatan (Gambar 1). Pengambilan data dilakukan pada satu area tambang yang sudah tidak aktif. Panjang tebing

keprasan sekitar 1 kilometer dengan ketinggian 30 m. Tersusun atas perselingan batupasir-batulempung dengan sisipan batubara. Ketebalan batubara berkisar antara 20 sentimeter-15 meter.

Batubara yang berkembang pada lokasi penelitian memiliki karakteristik yang agak berbeda dengan batubara Formasi Warukin pada umumnya. Tebal batubara yang mencapai 15 meter menjadi topik yang menarik untuk dikaji mengenai lingkungan pengendapan terbentuknya batubara Formasi Warukin pada lokasi penelitian dan potensinya sebagai kandidat batuan sumber di Cekungan Barito. Studi ini difokuskan kepada penentuan fasies pengendapan batubara berdasarkan data pengukuran stratigrafi terukur dan analisa maseral pada conto terpilih. Pengukuran stratigrafi menggunakan skala 1:100. Pengambilan conto pada singkapan permukaan dengan memperhatikan posisinya pada kolom stratigrafi terukur.

Dari penampang stratigrafi terukur yang dibuat di lapangan, diambil conto batubara dari beberapa perlapisan yang dianggap mewakili perlapisan batubara di jalur tersebut. Pengambilan conto permukaan menggunakan palu geologi dan pasak kemudian dibungkus dengan *aluminium foil* agar tidak hancur dan terhindar dari kontaminasi dan oksidasi. Analisa komposisi maseral dilakukan oleh BSI Lab di Serpong, Tangerang Selatan. Pengamatan menggunakan metode *point counting* sebanyak 500x dengan perbesaran 500. Interval (x) dan interval (y) 3. Klasifikasi maseral yang digunakan dalam analisa ini adalah standar Australia 2586 (1986) dan ASTM (2009).

Dari litostratigrafi dapat dijadikan dasar sebagai penentu lingkungan pengendapan batuan. Dengan analisis maseral yang ada dapat dilakukan analisis fasies dengan metode pengeplotan nilai *Tissue Preservation Index* (TPI) dan *Gelification Index* (GI) pada diagram Diessel. Perhitungan TPI dan GI menggunakan rumus yang telah dimodifikasi dari studi batubara peringkat rendah Formasi Tanjung Enim di Sumatra dimana maseral maseral telovitrinit diganti dengan humotelinit, detrovitrinit diganti oleh humodetrinit, dan gelovitrinit digantikan oleh *humoculinit* (Win, Chaw Thuzar *et al*, 2014).

$$\text{Nilai TPI :} \\ \frac{\text{humotelinite} + \text{teloinertinite}}{\text{humodetrinite} + \text{humocollinite} + \text{inertodetrinite} + \text{gelo-inertinite}}$$

$$\text{Nilai GI :} \\ \frac{\text{huminite} + \text{gelo-inertinite}}{\text{inertinite (macrinite and secretinite)}}$$

GEOLOGI REGIONAL

Stratigrafi Regional

Cekungan Barito yang secara fisiografi menempati sayap barat dari Tinggian Meratus. Heryanto (2010) memisahkan stratigrafi Cekungan Barito menjadi tiga kelompok yaitu : Pra-Kapur, Kapur Akhir, dan Tersier. Kelompok Pra-Kapur tersusun oleh batuan ultramafik yang berbatasan dengan batuan berumur Kapur Akhir dengan batas satuan berupa sesar. Dari conto rijang radiolaria yang ditemukan bersamaan dengan batuan ultramafik menunjukkan umur Jura-Kapur. Batuan ini diterobos oleh batuan beku gabro, diorite dan granit yang berumur Kapur Awal. Kelompok Kapur Akhir tersusun oleh batuan sedimen Kelompok Pitap dan Kelompok batuan Gunungapi Haruyan.

Kelompok Pitap terdiri atas Formasi Pudak, Formasi Keramaian, dan Formasi Manunggul yang saling menjemari. Kelompok Batuan Gunungapi Haruyan tersusun oleh Formasi Paau dan Formasi Pitanak. Kelompok Tersier memiliki hubungan tidak selaras dengan kelompok Kapur Akhir. Formasi paling tua adalah Formasi Tanjung berumur Eosen Tengah. Diatasnya, secara selaras terbentuk Formasi Berai berumur Oligo-Misoen. Formasi Warukin berumur Mio-Pliosen menindih secara selaras Formasi Berai kemudian ditindih secara tidak selaras oleh Formasi Dahor berumur Plio-Plistosen.

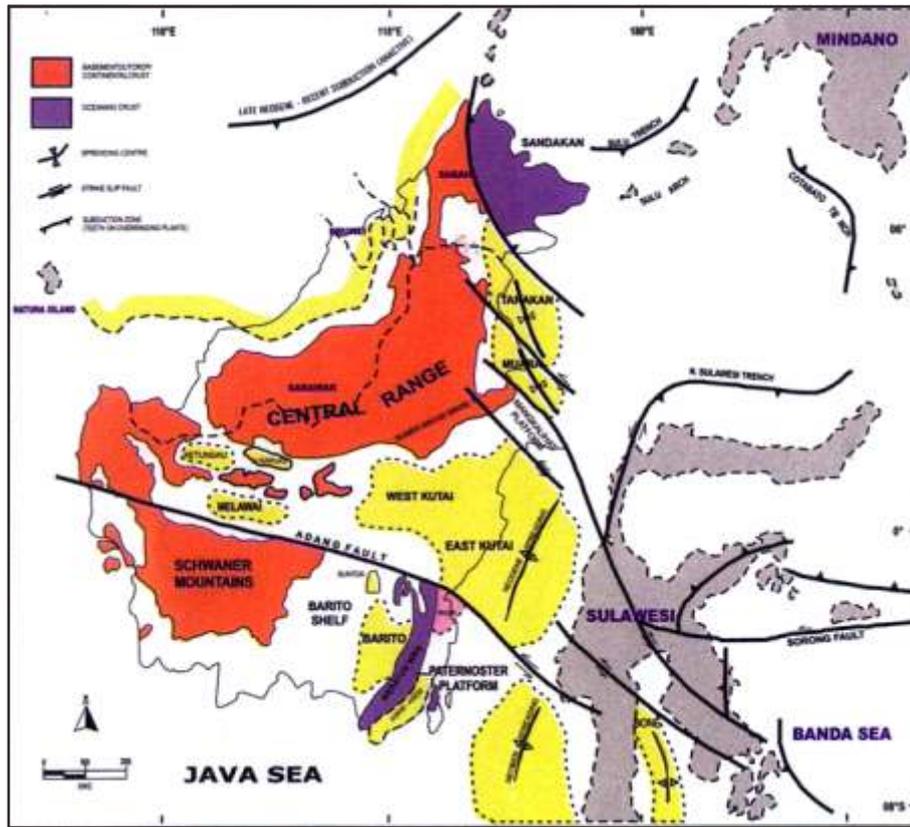
Struktur Geologi Regional

Arifullah (2004, dalam Heryanto 2010) menunjukkan bahwa Pulau Kalimantan terbentuk oleh elemen tektonik yang terdiri atas lempeng kontinen dan lempeng samudra (Gambar 2). Kegiatan tektonik dimulai sejak Jura yang menyebabkan bercampurnya batuan ultramafik dan malihan. Pada Kapur Awal atau sebelumnya terjadi penerobosan granit dan diorit yang menerobos ultramafik dan batuan malihan (Sikumbang & Heryanto, 1994). Menurut Satyana (2007 dalam Heryanto, 2010) *Paternosfer Platform* dari arah timur menunjam ke bawah *Schwaneer Continent* yang mengakibatkan slab ultramafik sebagai bagian orogenik Meratus yang terjadi pada kolosi Kapur Awal-Kapur Tengah. Kelompok tersebut disebut sebagai Kelompok Stratigrafi Pra-Kapur Akhir yang tersesar naikan sejak Jura-Kapur Awal. Pegunungan Meratus terangkat sejak Kapur Akhir yang mengakibatkan Kelompok Stratigrafi Tersier menindih secara tidak selaras di atas Kelompok Stratigrafi Kapur Akhir.

Pensesaran normal sejak Paleogen Awal mengawali terbentuknya Cekungan Barito yang menempati blok bagian turun, dan pensesaran normal terus berlanjut hingga kala Miosen.

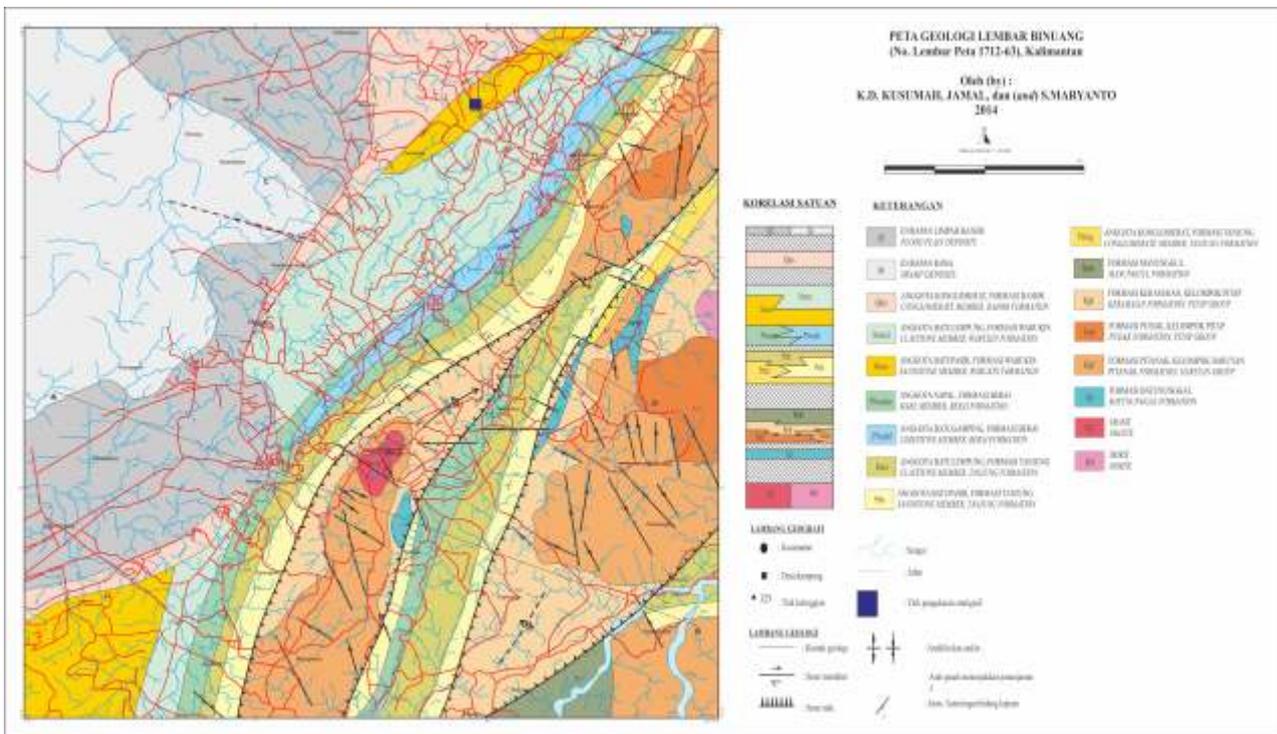
GEOLOGI DAERAH PENELITIAN

Jalur pengukuran stratigrafi di Desa Kalumpang merupakan bagian dari Formasi Warukin yang tersusun oleh perlapisan batupasir-batulempung dengan sisipan batubara (Gambar 3). Berdasarkan penelitian terdahulu, umur dari Formasi Warukin adalah Miosen Tengah. Pada kala Miosen Tengah-Akhir gejala tektonik inversi terlihat pada Formasi Warukin yang mengalami perlipatan kuat yang mencapai puncak pada kala Pliosen-Plistosen yang diakibatkan kolosi antara mikro kontinen Paternosfer dengan Lempeng kontinen Kalimantan hingga memunculkan Tinggian Meratus.



Sumber : Ariefullah dr. 2004 dalam Heryanto, 2010

Gambar 2. Elemen Tektonik Kalimantan memperlihatkan bahwa elemen tersebut merupakan sesar utama di Kalimantan



Sumber : Kusuma, dr. 2014

Gambar 3. Peta geologi lembar Biniang dan pengeplotan lokasi pengukuran stratigrafi

FASIES BATUBARA, MASERAL, DAN KEMATANGAN

Batubara merupakan hasil dari akumulasi tumbuhan pada lingkungan pengendapan tertentu. Akumulasi dari pengendapan *syn-sedimentary* atau *post-sedimentary* akan menghasilkan perbedaan pada peringkat dan derajat pematubaraan (Thomas, 2002). Bagian terkecil dari material organik pembentuk batubara yang dapat teramati oleh mikroskop disebut sebagai maseral. Stach(1975) menyebutkan berdasarkan bentuk, morfologi, ukuran, relief, struktur (*internal structure*), kesamaan komposisi kimia, warna pantulan, dan intensitas refleksi serta tingkat pematubaraan (*degree of coalification*), maseral dibedakan menjadi tiga kelompok utama, yaitu vitrinit, liptinit, dan intertinit.

Vitrinit merupakan hasil proses pematubaraan materi *humic* yang berasal dari selulosa dan *lignin* dinding sel tumbuhan yang mengandung serat kayu seperti akar, batang, dan daun. Sebagian besar batubara di Indonesia tersusun oleh kelompok maseral ini. Liptinit Berasal dari sisa tumbuhan tingkat rendah seperti spora, ganggang, getah tanaman dan serbuk sari. Intertinit Tersusun dari tumbuhan yang telah terbakar atau berasal dari maseral lain yang telah mengalami proses oksidasi yang disebabkan oleh bakteri dan jamur. Analisa yang dilakukan pada maseral pada studi kali ini berupa analisa nilai reflektansi vitrinit dan penentuan fasies pengendapan dengan pengeplotan nilai TPI (*Tissue Preservation Index*) dan GI (*Gelification Index*) pada diagram Diessel.

Nilai reflektansi vitrinit merupakan besarnya intensitas sinar yang dipantulkan kembali oleh maseral vitrinit. Pengukuran ini dilakukan di bawah medium minyak imersi. Nilai reflektansi vitrinit meningkat seiring dengan peningkatan derajat pematubaraan sehingga dapat digunakan sebagai parameter tingkat kematangan lapisan batubara. (Tabel 1)

Tabel 1. Peringkat Batubara Berdasarkan Nilai Reflektansi Vitrinit Menurut Klasifikasi ASTM 2009 (*American Society for Testing Material*)

Nilai Reflektansi Vitrinit (%)	Peringkat Batubara
< 0.37	<i>Lignite</i>
0.37-0.47	<i>Subbituminus</i>
0.47-0.57	<i>High volatile bituminous C</i>
0.57-0.71	<i>High volatile bituminous B</i>
0.71-1.10	<i>High volatile bituminous A</i>
1.10-1.50	<i>Medium volatile bituminous</i>
1.50-2.05	<i>Low volatile bituminous</i>
2.05-3.00	<i>Semi anthracite</i>
>3.00	<i>Anthracite</i>

Diessel (1986) menggunakan dua parameter untuk menentukan fasies pengendapan yaitu TPI dan GI. TPI (*Total Preservation Index*) merupakan perbandingan struktur jaringan pada maseral yang terawetkan dan struktur jaringan yang tidak terawetkan. Semakin tinggi nilai TPI menunjukkan semakin banyaknya vegetasi berkayu yang mengandung lignin yang lebih resisten. GI (*Gelification Index*) menyatakan perbandingan antara maseral yang terbentuk karena proses gelifikasi dan preses oksidasi.

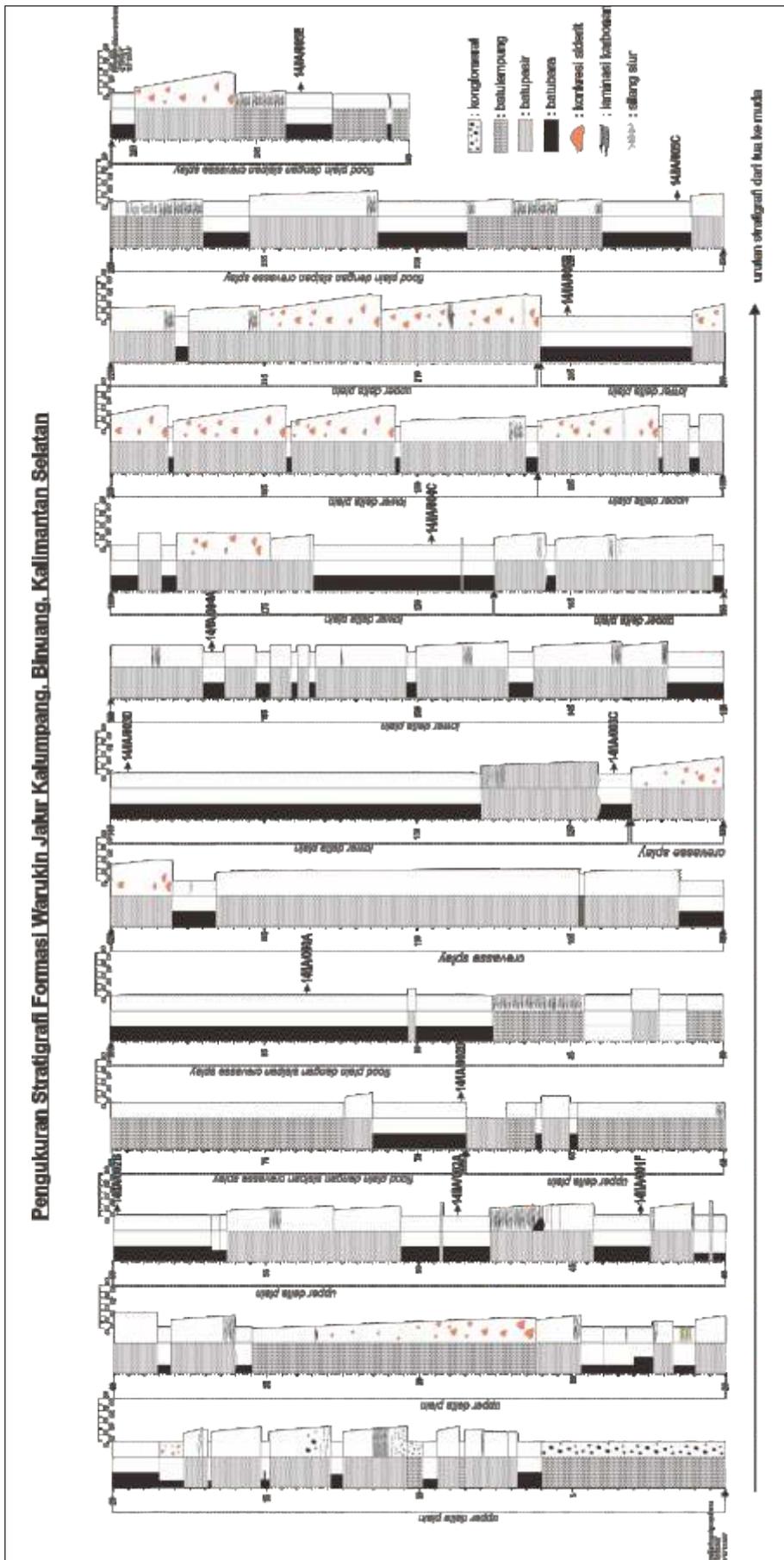
HASIL PENELITIAN

Stratigrafi Terukur Formasi Warukin

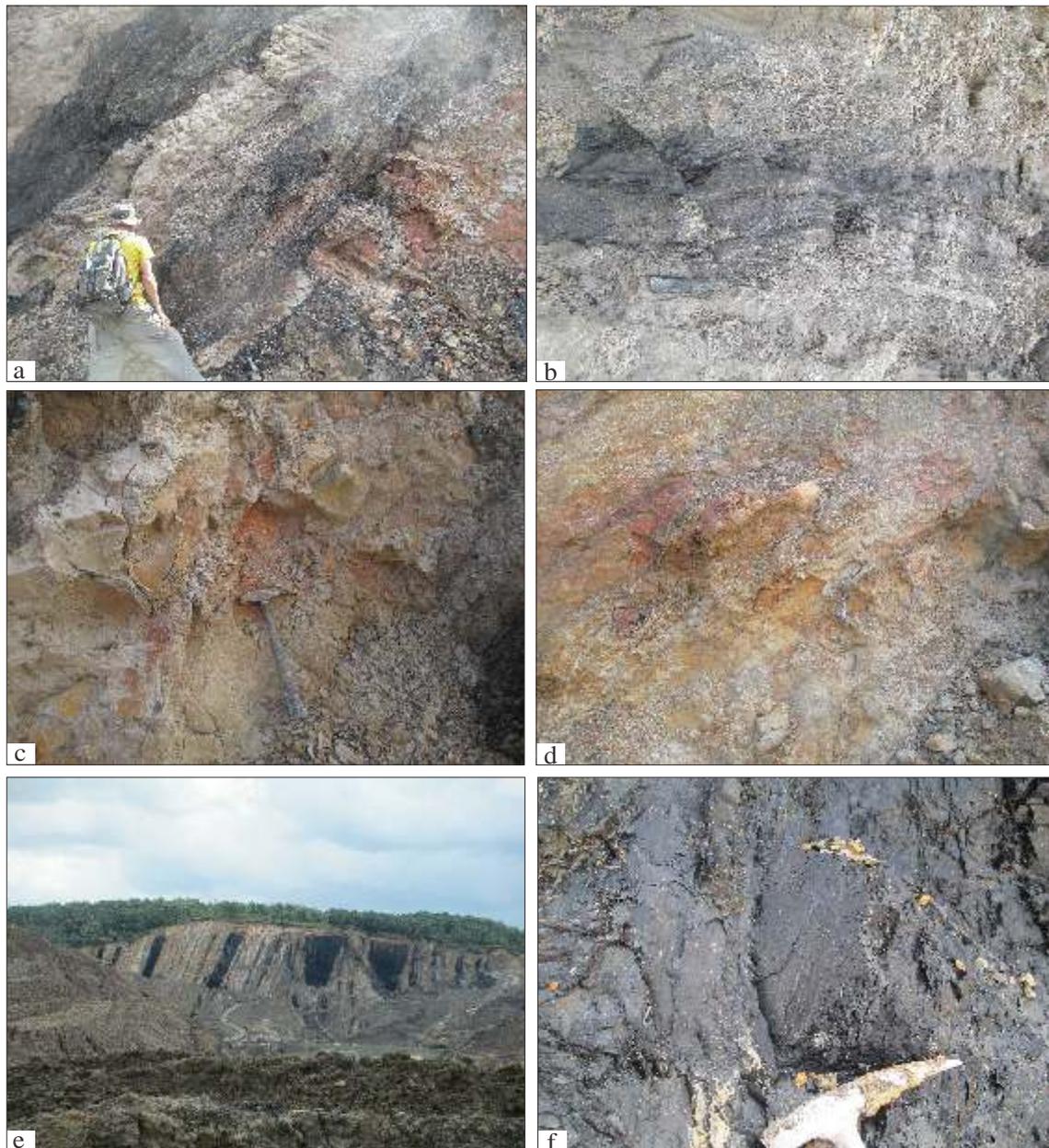
Jalur pengukuran stratigrafi terukur berada di Desa Kalumpang, Binuang, Kalimantan Selatan. Koordinat titik awal pengukuran E 115° 12' 17.93" ; S 02° 59' 56.97" dan berakhir pada koordinat E 115° 13' 7.5" ; S 02° 59' 54.4". Ketebalan total sedimen pada jalur tersebut 246 meter dengan kedudukan perlapisan N210°E/60°. Terbagi menjadi empat litofasies yaitu fasies konglomerat pasiran, batupasir, batulempung, dan batubara (Gambar 4).

Konglomerat pasiran sebagai bagian terbawah dari pengukuran stratigrafi di jalur Kalumpang memiliki ketebalan sekitar 6 meter (Gambar 5a). Masif dan cukup kompak. Kemas terbuka, sortasi buruk, bentuk fragmen agak membulat-membulad baik. Diameter fragmen berkisar 3 - 40 sentimeter. Fragmen berupa batupasir dan batulempung, Matriks berukuran pasir sedang-kasar dengan komposisi dominan plagioklas dan sedikit litik dari batuan sedimen. Batupasir berwarna kecoklatan-coklat muda. Struktur sedimen yang ditemui antara lain *graded bedding*, *wavy lamination*, *parallel lamination* (Gambar 5b) dan silang siur. Pengamatan secara megaskopis menunjukkan secara umum sortasi batupasir sedang, kemas tertutup, bentuk butir agak membulat. Komposisi batupasir dominan plagioklas dengan sedikit kuarsa. Di beberapa tempat ketebalan batupasir mencapai 11 meter (Gambar 5c).

Batulempung menjadi sisipan di antara batupasir. Bagian atas pengukuran stratigrafi pada batulempung banyak dijumpai konkresi siderit sehingga menjadikan batulempung lebih pejal (Gambar 5d). Secara megaskopis batulempung berwarna abu-abu kehitaman, pada bagian yang mengandung siderit berwarna kemerahan. Struktur sedimen yang umum dijumpai adalah laminasi paralel. Komposisi dominan plagioklas dan mineral lempung yang tidak dapat dibedakan dengan pengamatan megaskopis.



Gambar 4. Kolom stratigrafi terukur Formasi Warukin, Lintasan Desa Kalumpang, Binuang, Kalimantan Selatan. Dari analisa fasies yang dilakukan terdapat perubahan fasies dari *upper delta plain* menjadi *flood plain* dengan beberapa sisipan endapan *crevasse splay*. Kemunculan kongresi siletik pada fasies *flood plain* mengindikasikan sedimen terbentuk di lingkungan reduktif dan kaya akan material organik.



Sumber : Dok Penulis

Gambar 5 (a) Konglomerat pasiran pada bagian awal pengukuran stratigrafi; (b) Laminasi sejajar pada batupasir; (c) Tubuh batupasir masif; (d) Konkresi siderit pada batulempung; (e) Lapisan batubara dengan ketebalan berkisar 10 sentimeter -15 meter formasi warukin Binuang Kalimantan Selatan; (f) Foto *close up* batubara dengan kilat *dull bended*. Struktur daun yang berlapis masih sedikit teramati.

Batubara di jalur pengukuran memiliki ketebalan antara 10 sentimeter hingga 15 meter (Gambar 5e). Berwarna hitam kusam hingga agak mengkilap (*dull-dull bended*). Di beberapa perlapisan berupa batubara masif yang cukup kompak, sedangkan ada batubara yang rapuh dan memiliki intensitas cleat cukup tinggi (Gambar 5f).

Analisis Maseral Batubara

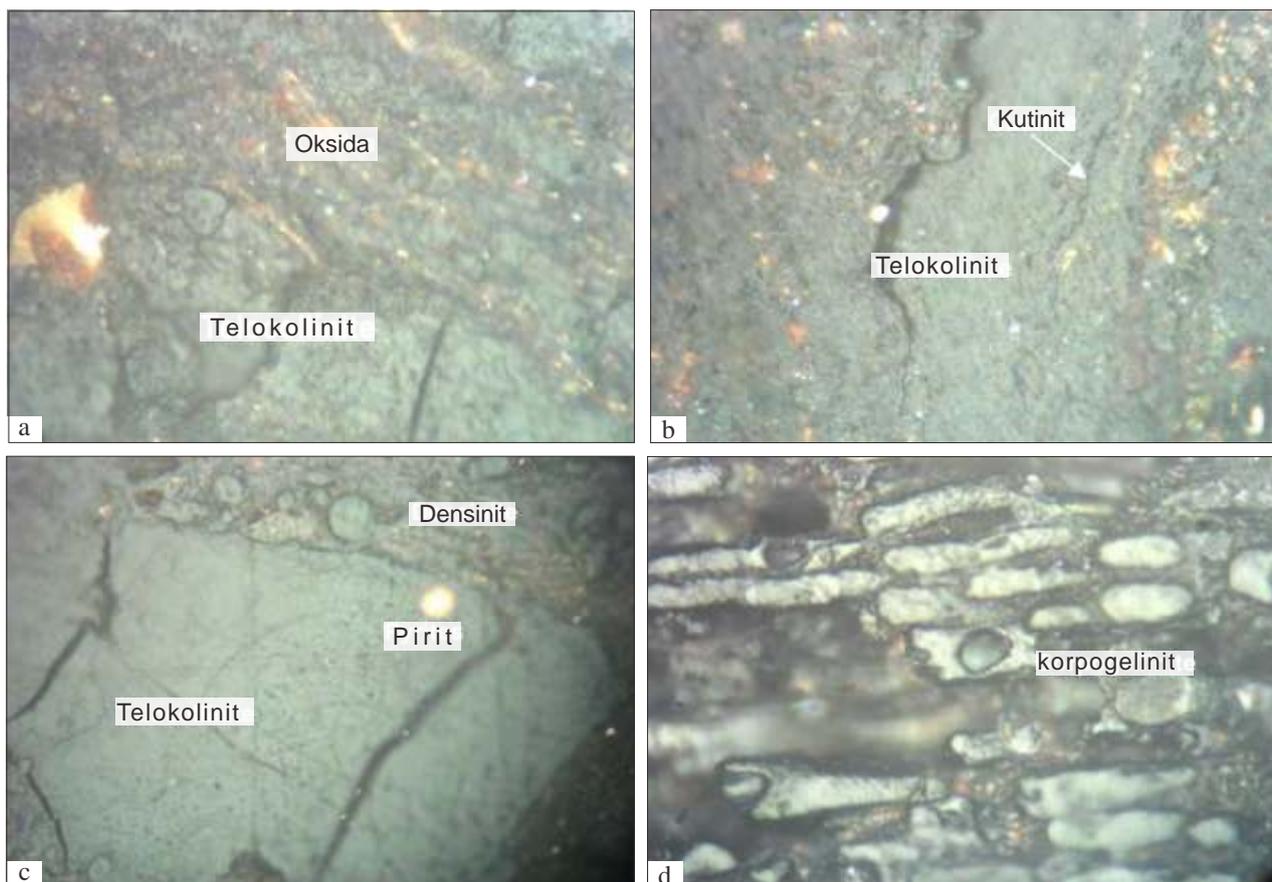
Analisis Komposisi Maseral

Pengamatan megaskopis conto batubara berwarna hitam dengan warna hitam. Memiliki kilap *dull* hingga *dull bended* pada beberapa conto (14/IA/002A dan 14/IA/004A). Pengamatan mikroskopis (Foto 6) menunjukkan maseral di dominasi oleh vitrinit dengan persentase 87.5% (conto 14/IA/001F) - 94% (conto 14/IA/004C). Hasil analisa maseral dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisa maseral

No	KodeConto	ANALISIS MASERAL																								TPI (Total Preservation Index)	GI (Gelification Index)							
		GRUP MASERAL (% vol)																																
		VITRINIT (HUMINIT)												LIPITIN (EXINIT)										INERTINITE				KANDUNGAN MINERAL						
		Telovitrinit (Humotefinit)		Detrovitrinit (Humodevitrinit)		Gelovitrinit (Humocofinit)		Sproinit	Kutin	Resin	Lipodent	Agnit	Suberit	Founit	Eksudatit	Bitumit	Telo-Inertinit			Detro-Inertinit		Gelo-Inertinit	Oksida	Pirit	Lempung									
Tektinit	Tekto-ulminit	F-ulminit	Telocollit	Atrinit	Densit	Desmocolinit	Korogelinit										Pongelinit	Eugelinit	Fusinit	Semfusinit	Sklerotinit					Inertodetrinit	Mikrinit	Makrinit	a	a				
1	14/A/001F	0.0	0.0	0.0	86.7	0.0	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0	87.5	0.5	1.1	0.0	1.5	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	2.5	0.4	0.2	0.0	0.5	3.6	0.8	3.5	0.4	1.67	24.5
2	14/A/002A	0.0	0.0	0.0	89.7	0.0	0.6	0.0	0.8	0.0	0.0	91.1	0.4	0.7	0.2	0.6	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.3	1.1	0.0	0.0	0.2	1.6	0.3	3.0	0.5	0.19	57.1
3	14/A/002B	0.0	0.0	0.0	90.6	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	91.3	0.3	0.6	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.3	0.7	0.3	0.0	0.2	1.5	0.6	4.5	0.2	0.25	61.0
4	14/A/002D	0.0	0.0	0.0	90.5	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	91.4	0.5	0.7	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	0.2	1.1	0.8	4.7	0.0	0.33	83.2
5	14/A/003A	0.0	0.0	0.0	91.7	0.0	0.7	0.0	0.4	0.0	0.0	92.8	0.3	0.5	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.4	0.2	0.3	0.0	0.2	1.1	0.5	3.8	0.0	0.25	84.6
6	14/A/003C	0.0	0.0	0.0	90.5	0.0	0.5	0.0	0.3	0.0	0.0	91.3	0.2	0.6	0.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.7	0.2	0.2	0.0	0.2	1.3	0.7	4.2	0.5	0.58	70.4
7	14/A/003D	0.0	0.0	0.0	91.6	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.0	92.2	0.5	0.4	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.2	0.9	0.5	0.4	0.0	0.3	2.3	1.1	2.1	0.6	0.69	40.2
8	14/A/004A	0.0	0.0	0.0	89.8	0.0	0.6	0.0	0.4	0.0	0.0	90.8	0.2	0.3	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.4	1.2	0.3	0.5	0.0	0.2	2.6	0.7	4.3	0.3	0.71	35.0
9	14/A/004C	0.0	0.0	0.0	92.9	0.0	0.6	0.0	0.5	0.0	0.0	94.0	0.2	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.3	0.6	0.2	0.4	0.0	0.2	1.7	0.5	2.2	0.4	0.35	55.4
10	14/A/005B	0.0	0.0	0.0	92.5	0.0	0.5	0.0	0.6	0.0	0.0	93.6	0.2	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	1.1	0.5	0.6	0.0	0.3	2.8	0.4	1.6	0.5	0.55	33.5
11	14/A/005C	0.0	0.0	0.0	90.8	0.0	0.7	0.0	0.3	0.0	0.0	91.8	0.2	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.4	0.7	0.4	0.5	0.0	0.3	2.3	0.5	2.6	1.3	0.39	40.1
12	14/A/005E	0.0	0.0	0.0	91.6	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	92.0	0.3	0.4	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.3	0.2	0.5	0.4	0.0	0.4	1.8	0.2	2.8	1.6	0.17	51.4

Sumber : olahan Penulis



Sumber : Dok Penulis

Gambar 6 (a) Maseral batubara subkelas *telokolinit* dan kandungan mineral oksida pada conto 14/IA/001F; (b) Maseral batubara subkelas *telokolinit* dan *kutininit* pada conto 14/IA/002B, (c) Maseral batubara subkelas *telokolinit* dan *densinit* serta mineral pirit pada conto 14/IA/003A, (d) Maseral batubara subkelas *korpogelinit* pada conto 14/IA/004A

Melihat persentase maseral batubara dari urutan tua ke muda terdapat perbedaan nilai maseral yang terkandung dalam conto terpilih. Nilai vitrinit mengalami perubahan nilai yang fluktuatif, begitu pula nilai maseral yang lain. Pola tersebut relatif sama dengan perubahan pola lingkungan pembentukan batubara Formasi Warukin di jalur Kalumpang.

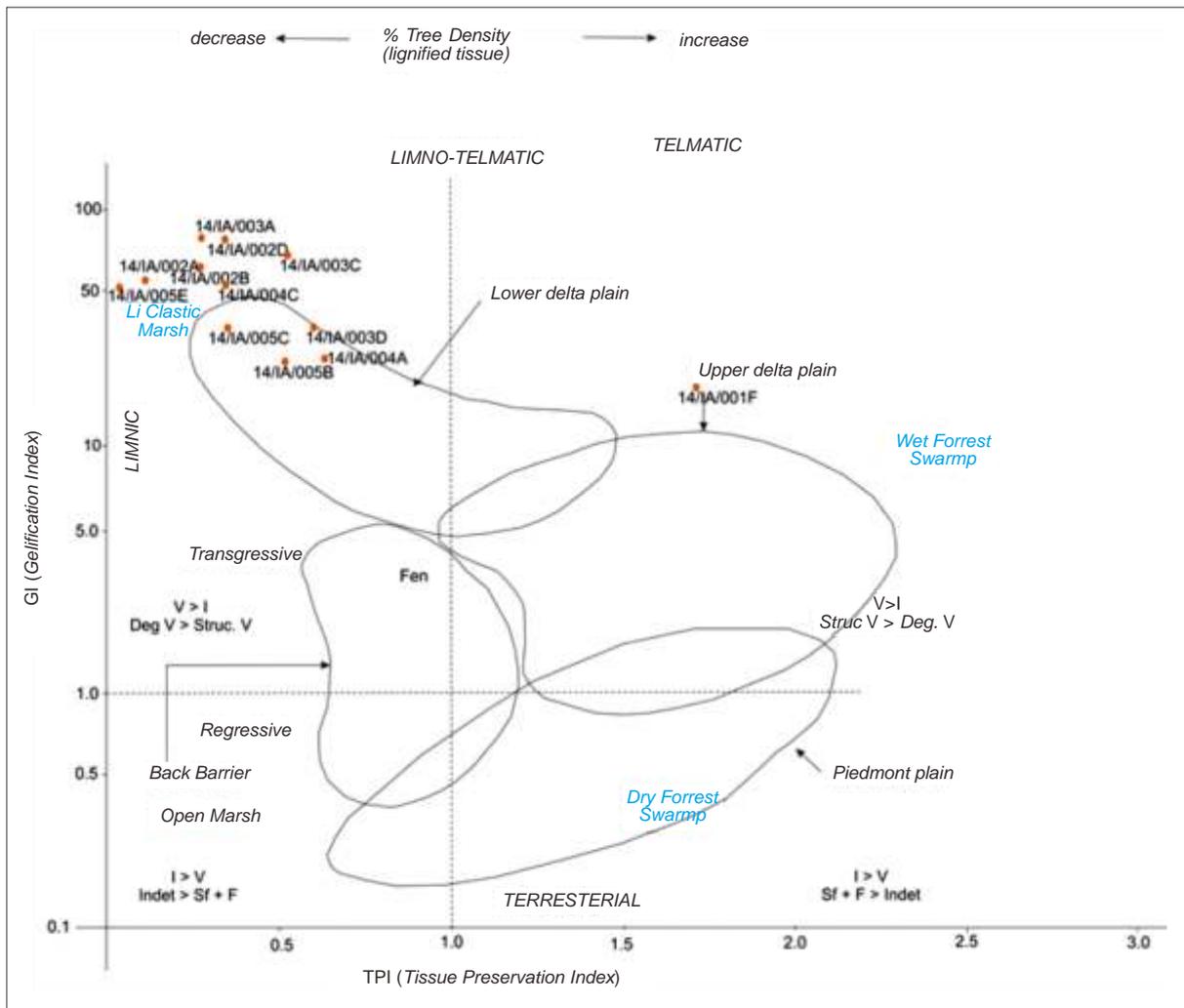
Fasies Batubara

Harga TPI ditentukan berdasarkan perbandingan maseral yang terawetkan dengan maseral yang tidak terawetkan. Resistensi suatu maseral ditentukan oleh komposisi tumbuhan pembentuk batubara itu sendiri. Tanaman yang banyak mengandung lignin, contohnya tumbuhan kayu, akan lebih resisten dibanding dengan tanaman yang banyak mengandung selulosa.

Dari harga TPI yang didapatkan dapat menunjukkan kelimpahan dari tanaman kayu atau tanaman perdu yang membentuk batubara tersebut. Makin tinggi nilai TPI menunjukkan tanaman kayu lebih dominan sebagai pembentuk batubara. Nilai GI merupakan perbandingan

maseral yang terbentuk karena proses gelifikasi dengan maseral yang terbentuk karena proses oksidasi. Dari harga tersebut dapat digunakan untuk menginterpretasi tinggi muka air tanah terhadap permukaan gambut. Dari kombinasi pengeplotan nilai TPI dan GI dapat digunakan untuk memperkirakan derajat dekomposisi dan kecepatan akumulasi tumbuhan.

Hasil perhitungan nilai TPI (*Total Preservation Index*) dan GI (*Gellification Index*) di plotkan pada diagram fasies Diessel (1986). Batubara Formasi Warukin di Desa Kalumpang, Binuang (Gambar 7) terendapkan dari lingkungan *upper delta fan* (conto 14/IA/001F), *clastic marsh* (conto 14/IA/002A, 14/IA/002B, 14/IA/002D, 14/IA/003A, 14/IA/003C, 14/IA/004C, 14/IA/005E) dan *lower delta plain* (14/IA/003D, 14/IA/004A, 14/IA/005B, 14/14/005C). Conto 14/IA/001F diendapkan pada lingkungan telmatik yang mengindikasikan bahwa batubara tersebut terbentuk secara insitu yang mana tanaman tumbuh, mati, membusuk, dan mengalami proses pembatubaraan di satu tempat yang sama.



Sumber : Diessel (1986)

Gambar 7. Pengeplotan nilai TPI dan GI pada diagram fasies Diessel.

Lingkungan purba pada saat batubara ini tersebut diinterpretasikan sebagai hutan basah yang kaya akan tanaman kayu. Kandungan maseral vitrinit lebih tinggi dari maseral intertinit.

Tujuh conto hasil analisis yang memperlihatkan lingkungan *clastic marsh* diendapkan pada kondisi *limnic* fase transgresi. Batubara diendapkan dalam kondisi subaquatic dimana proses pembatubaraan selalu tergenang oleh air dalam kurun waktu yang lama. Beberapa lapisan batupasir masif cukup tebal diinterpretasikan sebagai produk dari endapan *creversse splay* yang memotong lapisan batubara. Lingkungan ini kaya akan material organik dan tanaman kayu sehingga kandungan vitrinit pada batubara yang diendapkan pada lingkungan ini sangat tinggi.

Empat conto hasil analisis selanjutnya memperlihatkan lingkungan *lower delta plain* diendapkan pada kondisi *limnic* fase transgresi. Proses pembatubaraan

berlangsung pada kondisi *subaquatic*. Pada beberapa lapisan terdapat struktur sedimen silang siur, mengindikasikan ada pengaruh arus pasang surut di lingkungan pembentukan batubara.

Analisis Reflektansi Vitrinit

Nilai reflektansi vitrinit diperoleh dari rata-rata nilai seluruh pengukuran reflektansi pada satu conto batubara. Berdasarkan hasil pengukuran, peringkat batubara di Desa Kalumpang berada pada kisaran lignit hingga *high volatile bituminous C*. Hasil perhitungan dan peringkat batubara tersaji pada tabel 3.

DISKUSI

Hasil analisa dari data lapangan dan labratorium diperoleh ada keselarasan antara perubahan fasies litologi secara vertikal dengan komposisi maseral pada batubara.

Tabel 3. Analisis Reflektansi Vitrit dan Peringkat Batubara

No	Kode Sampel	Reflektansi Vitrit	Sandar Deviasi	Peringkat Batubara
1	14/IA/001F	0.29	0.03	<i>Lignite</i>
2	14/IA/002A	0.32	0.04	<i>Lignite</i>
3	14/IA/002B	0.34	0.04	<i>Lignite</i>
4	14/IA/002D	0.34	0.04	<i>Lignite</i>
5	14/IA/003A	0.40	0.07	<i>Subbituminous</i>
6	14/IA/003C	0.49	0.06	<i>High volatile bituminous C</i>
7	14/IA/003D	0.49	0.05	<i>High volatile bituminous C</i>
8	14/IA/004A	0.45	0.03	<i>Subbituminous</i>
9	14/IA/004C	0.42	0.05	<i>Subbituminous</i>
10	14/IA/005B	0.40	0.06	<i>Subbituminous</i>
11	14/IA/005C	0.39	0.06	<i>Subbituminous</i>
12	14/IA/005E	0.36	0.06	<i>Lignite</i>

Sumber : olahan Penulis

Secara keseluruhan, stratigrafi Formasi Warukin di daerah penelitian diendapkan mulai dari lingkungan upper delta plain. Litostratigrafi dialasi dengan konglomerat dan batupasir yang masih dominan dengan sisipan batubara. Dari kolom stratigrafi yang telah dibuat, dibagi menjadi beberapa fasies berdasarkan litofasiesnya (Gambar 4). Diawali dengan fasies *upper delta plain* berdasarkan atas kehadiran konglomerat pasiran dan tubuh batupasir yang cukup tebal serta disisipi batubara.

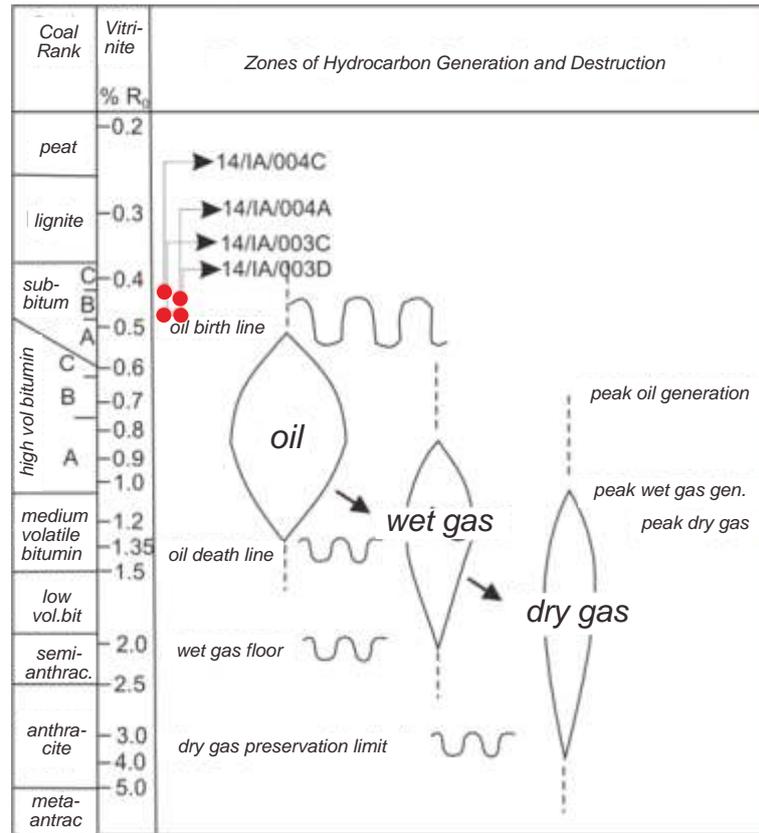
Secara vertikal, fasies berubah menjadi *flood plain* dengan beberapa sisipan *crevarsse splay*. Ditandai dengan meningkatnya ketebalan lapisan batubara. Dibeberapa lapisan terdapat sisipan batupasir masif cukup tebal, diinterpretasikan sebagai produk dari endapan *crevarsse splay* yang menerobos hingga ke daerah dataran banjir. Fasies pengendapan kembali mengalami perubahan menjadi lingkungan *lower delta* diindikasikan oleh semakin menipisnya lapisan batubara dan batupasir yang semakin menebal. Struktur sedimen berupa laminasi mulai intensif berkembang. Pada beberapa lapisan terbentuk laminasi bergelombang dan silang siur berupa *trough cross bed* yang menunjukkan adanya pengaruh arus pasang surut. Pada fasies *flood tidal* konkresi-konkresi siderit berkembang pesat mengindikasikan bahwa lingkungan pengendapan cenderung tertutup dan bersifat reduktif dan kaya akan material organik sehingga siderit dapat terbentuk.

Diperkuat dengan data pengeplotan nilai TPI dan GI dimana pada conto 14/IA/001F berada di daerah *wet swamp* mengarah ke *upper delta plain*. Lingkungan pembentukan batubara berubah ke arah *clastic marsh* dimana suplai sedimen masih intensif akan tetapi daerah tersebut memiliki konten organik yang tinggi dan tanaman yang rapat. Kondisi *limnic*

mengindikasikan lingkungan tersebut berupa daerah dataran banjir yang kaya akan tanaman sumber dari material organik pembentuk batubara. Formasi Warukin terbentuk sekitar Miosen Tengah dimana pada saat itu Indonesia terletak pada posisi khatulistiwa. Kondisi iklim hampir mendekati saat sekarang. Dengan curah hujan minimal 2.5 m/tahun kawasan Indonesia selalu beriklim basah sehingga batubara dapat terbentuk dengan baik.

Heryanto dan Panggabean (2013) melakukan penelitian mengenai lingkungan pengendapan batubara Formasi Warukin di daerah Kandangan, Kalimantan Selatan yang berjarak sekitar 30 km dari lokasi penelitian penulis. Hasil dari Heryanto & Panggabean (2013) menyebutkan bahwa lingkungan pengendapan Formasi Warukin di Kandangan berada di daerah deltaik dengan pengaruh pasang surut yang berubah menjadi lingkungan fluviatil. Berdasarkan diagram fasies Diessel (1986) batubara Formasi Warukin di daerah Kandangan terendapkan dalam *wet forest swamp*.

Perbedaan hasil analisis batubara di Binuang dan Kandangan dimungkinkan adanya perbedaan lingkungan pengendapan pada saat batubara Formasi Warukin terbentuk. Posisi Binuang lebih di selatan dari Kandangan. Diduga pada saat batubara Formasi Warukin terbentuk, area bagian utara telah mengarah ke laut terbuka sedangkan bagian selatan berupa lingkungan terestrial sehingga fluvial lebih dominan. Dibuktikan dengan lebih tingginya kandungan pirit di analisis batubara daerah Kandangan dimana menunjukkan telah terdapat pengaruh lingkungan laut. Sementara di Binuang lingkungan fluvial lebih dominan dengan ditemukannya fragmen resin yang menunjukkan vegetasi penyusun batubara berupa tumbuhan kayu.



Sumber : modifikasi dari Dow, 1978

Gambar 8. Hubungan peringkat batubara dan zona kehadiran migas. Bulatan merah merupakan hasil pengeplotan nilai reflektansi vitrinit dari conto batubara dengan nilai 0.42-0.49. Masuk ke dalam kisaran *subbituminous* hingga *high volatile bituminous C*. Menurut diagram Dow (1977) nilai tersebut berada di kisaran zona kelahiran minyak. Mengindikasikan adanya kematangan hidrokarbon dari material organik di Formasi Warukin.

Terdapat sedikit kandungan pirit karena pengaruh pasang surut arus laut pada saat muka air laut menggenangi cekungan pembentukan batubara.

Dari analisa reflektansi vitrinit diperoleh peringkat batubara di daerah penelitian berkisar antara lignit hingga *high volatile bituminous C* (conto 14/IA/003C dan 14/IA/003D). Kematangan batubara utamanya disebabkan oleh pembebanan (*overburden pressure*). Pada kondisi normal semakin bawah posisi batubara secara stratigrafi maka akan menghasilkan nilai kematangan yang semakin tinggi.

Berbeda dengan hasil di daerah penelitian yang menunjukkan batubara di bagian tengah memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding batubara pada posisi bawah. Hal ini di pengaruhi oleh adanya struktur geologi yang berkembang di sebelah tenggara daerah penelitian berupa *thrusting fault* dengan dimensi yang cukup besar (lihat peta geologi pada Gambar 3). Daerah

penelitian merupakan sayap homoklin yang terbentuk dari pensesaran dengan kemiringan batuan relatif tegak. Bagian tengah mendapat tekanan yang lebih besar karena proses kompresi. Hal tersebut menjadikan batubara pada bagian tengah dari pengukuran stratigrafi tersebut memiliki nilai lebih tinggi dibanding batubara di bagian bawah. Dari peringkat batubara yang diperoleh dari analisis reflektansi vitrinit, batubara di daerah penelitian berada pada kisaran lignit hingga *high volatile bituminous C*. Dihubungkan dengan zonasi pembentukan minyak dan gas dari Dow (1978), batubara dengan peringkat *high volatile bituminous C* berada pada garis kemunculan awal dari minyak (Gambar 8).

Heryanto (2014) melakukan penelitian pada batubara Formasi Tanjung sebagai batuan sumber hidrokarbon di Cekungan Barito. Dari diagram HI vs Tmax menunjukkan kerogen percontohan batubara di tepi barat cekungan sebagian besar termasuk dalam kerogen

tipe II. Apabila kerogen ini telah matang akan menghasilkan minyak dan gas. Analisis petrografi pada batubara Formasi Tanjung menunjukkan adanya kandungan maseral eksinit atau liptinit yang apabila kerogennya matang akan menghasilkan minyak.

Hasil analisis maseral batubara dari Formasi Warukin juga menunjukkan adanya kandungan maseral liptinit pada beberapa conto batubara. Analisis kerogen batubara Formasi Warukin juga dilakukan oleh Heryanto (2010) yang menunjukkan conto batubara yang termasuk dalam kerogen tipe II dan tipe III. Dengan kemungkinan adanya kematangan pada batubara Formasi Warukin dengan dasar pengeplotan pada Diagram Dow (1977, dengan modifikasi) memungkinkan juga terbentuk hidrokarbon dengan sumber batubara dari Formasi Warukin di Cekungan Barito. Terdapat batupasir yang cukup tebal yang berpotensi menjadi batuan reservoir dan adanya batu lempung yang bisa menjadi batuan tudung sebagai cebakan. Perlu dilakukan lebih lanjut untuk mendapat hasil yang lebih detail mengenai potensi hidrokarbon di Formasi Warukin.

KESIMPULAN

Dari analisa data dan diskusi yang telah dijabarkan diatas, maka ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Karakteristik maseral batubara di dominasi oleh komposisi vitrinit dengan persentase 87.5% - 94.0%, diikuti dengan persentase liptinit dan intertinit berkisar 0,7% - 3.9%. Kandungan mineral memiliki persentase 2.5% - 5.5% dominan oleh mineral pirit.

Dari nilai reflektansis vitrinit, batubara Formasi Warukin pada jalur Desa Kalumpang berada pada peringkat lignit-*high volatil bituminous C*.

Lingkungan pengendapan batubara Formasi Warukin di Desa Kalumpang berada pada daerah upper delta hingga marsh yang kaya akan konten material organik berupa tumbuhan berkayu. Dominan diendapkan pada kondisi *limnic* dimana selalu tergenang oleh air permukaan.

Dari korelasi zonasi pembentukan hidrokarbon oleh Dow, peringkat batubara di daerah penelitian telah masuk ke zona kemunculan awal minyak sehingga ada indikasi adanya batuan induk yang cukup matang sebagai sumber dari hidrokarbon.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis tujukan kepada Kepala Pusat Survei Geologi yang telah memberikan dukungan mulai dari penelitian lapangan hingga penulisan makalah. Selain itu, ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan tim pemetaan geologi rinci skala 1:50000 lembar Binuang, Kalimantan Selatan yang telah mendukung penelitian ini serta memberikan kritik, saran, dan diskusi selama proses penulisan makalah.

ACUAN

- Assosiation of Australia Standart, 1986, *Coal Maceral Analysis, AS 2586-1986*, Assosiation of Australia Standart House
- Diessel, C. F. K., 1986. On the correlation between coal facies and depositional environment. *Advances in the Study of the Sydney Basin. Proceedings 20th Symposium of Department Geology*, University of New Castle
- Dow, W.G, 1978, Petroleum Source Beds on Continental Slopes and Rise: *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, v 62, p.1584-1606
- Heryanto, R. ,2010, *Geologi Cekungan Barito Kalimantan*, Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung.
- Heryanto, R., 2014, Batubara Formasi Tanjung Sebagai Batuan Sumber Hidrokarbon di Cekungan Barito; *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral Vol 15 no 3 Agustus 2014*; p 105-114
- Heryanto,R & H.Panggabean, 2013, Lingkungan Pengendapan Formasi Pembawa Batubara Warukin di Daerah Kandangan dan Sekitarnya, Kalimantan Selatan, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral Vol 23 no 2 Juni 2013*; p93-102
- Kusumah, K.D., Jamal. & Maryanto,S., 2015, *Peta Geologi Lembar Binuang Kalimantan Selata skala 1:50000*, Pusat Survei Geologi. Belum Dipublikasikan.
- Sikumbang & Heryanto R., 1994. *Peta Geologi Lembar Banjarmasin, Skala 1 : 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Stach, E., Mackowsky, M-Th., Teichmuller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., & Teichmuller, R., 1975. *Stach's Textbook of Coal Petrology*. Gebruder Borntraeger, berlin-Stuttgart
- Thomas, L., 2002. *Coal Geology*. John Willey & Sons, Ltd. The Atrium Southern Gate, Chichester, England
- Win, Chaw Thuzar, D.H.Amijaya, S.S. Surjono, S.Husein, K.Watanabe, 2014, A Comparasion of Maceral adn Microlithotype Indices For Interpretation Coal in the Samarinda Area, Lower Kutai Basin, Indonesia, *Hindawi Publishing Corporation Vol 2014*, Artikel ID 571895
-