

LINGKUNGAN PENGENDAPAN FORMASI PEMBAWA BATUABARA WARUKIN
DI DAERAH KANDANGAN DAN SEKITARNYA, KALIMANTAN SELATAN
*DEPOSITIONAL ENVIRONMENT OF THE WARUKIN COAL BEARING FORMATION
IN KANDANGAN AND SURROUNDING AREA, SOUTH KALIMANTAN*

Oleh : R. Heryanto dan H.Panggabean

Pusat Survei Geologi
Jalan Diponegoro No. 57 Bandung

Abstrak

Daerah Kandangan dan sekitarnya termasuk ke dalam Kabupaten Hulu Sungai Selatan, Propinsi Kalimantan Selatan. Formasi Warukin di daerah ini terletak di tepi timur Cekungan Barito. Di daerah ini, Cekungan Barito yang dialasi oleh batuan Pratersier berupa campuran batuan kerak benua dan kerak samudera. Cekungan ini diisi oleh batuan sedimen Formasi Tanjung, Berai, dan Warukin berumur Eosen sampai Miosen, yang kemudian secara tidak selaras ditindih oleh Formasi Dahor berumur Plio-Plistosen. Formasi Warukin tersusun oleh batulempung warna kelabu sampai kehitaman dengan sisipan batupasir dan batubara. Ketebalan lapisan batubara berkisar antara 0,5 sampai dengan 12 m. Batubara warna hitam, kilap kusam (*dull – dull banded*), ringan, mengandung banyak resin dan memperlihatkan struktur kayu. Batubara dari Formasi Warukin tersusun oleh maseral vitrinit (59,4-86,6%), eksinit atau liptinit (0,8-9,5%), dan inertinit (3,4-17,4%). Berdasarkan diagram segitiga fasies TFD, menunjukkan bahwa contoh batubara dari Formasi Warukin termasuk dalam fasies *wet forest swamp* atau *telmatic*. Sementara itu berdasarkan diagram fasies GI (*Gelification Index*) versus TPI (*Tissue Preservation Index*) menunjukkan bahwa contoh batubara dari Formasi Warukin termasuk dalam fase *transgressive* dari fasies limnic sampai fasies *lower delta plain*.

Kata kunci : batubara, maseral, Formasi Warukin, Kandangan, Cekungan Barito

Abstract

Kandangan area belongs to the South Hulu Sungai the District, South Kalimantan Province. The Warukin Formation in this area is situated in the eastern margin of the Barito Basin. In this area, the basin is underlain by Pre-Tertiary rocks comprising an assortment of rocks of continental and oceanic crusts. The Barito Basin was filled by sedimentary rocks of the Tanjung, Berai, and Warukin Formations having an age of ranging from Eocene to Miocene which was then unconformably succeeded by the Plio-Pleistocene Dahor Formation. The Warukin Formation consists of grey- to blackish color of claystone, intercalated by sandstone and coal seams. The thickness of coal ranges from 0.5 to 12 meters. The coal is black, dull to dull banded, light, contains abundant of resins and showing a woody structure. The Warukin coal seam composed by macerals of vitrinite (59.4-86.6%), exinite or liptinite (0.8-9.5%), and inertinite (3.4-17.4%). Based on a triangle diagram of TFD facies shows that coal samples of the Warukin Formation categorized into a wet forest swamp or telmatic facies. Furthermore, the plotting Gelification Index (GI) versus Tissue Preservation Index (TPI) the coal seams of the Warukin Formation was deposited in the transgressive phase, at limnic facies, to lower delta plain facies.

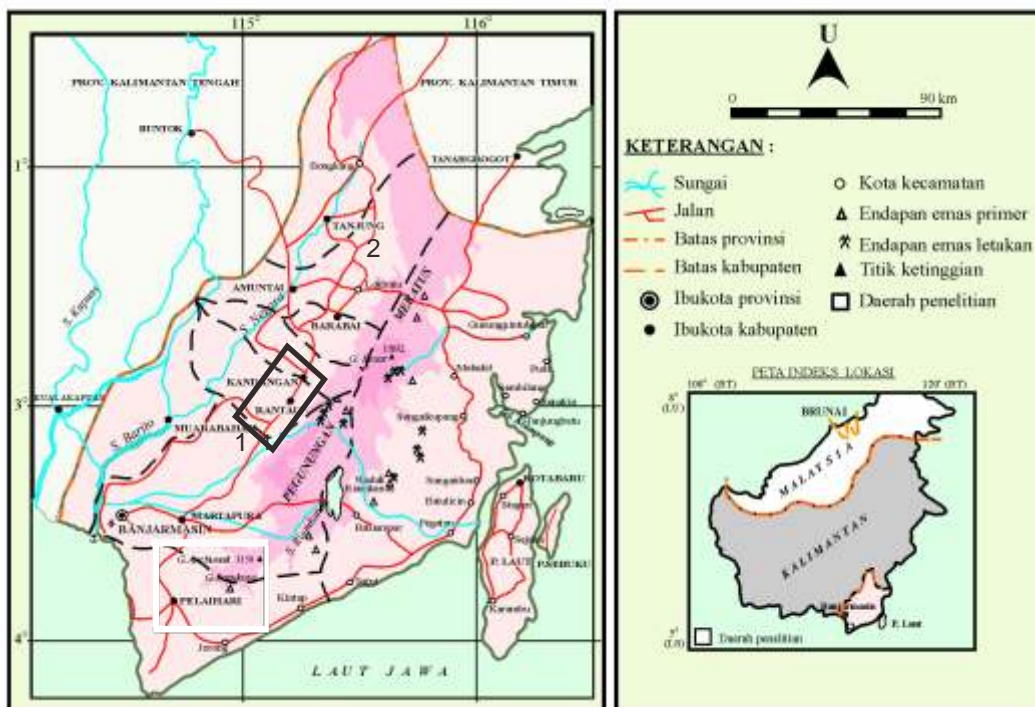
Keywords : coal, maceral, Warukin Formation, Kandangan, Barito Basin

Pendahuluan

Cekungan Barito merupakan salah satu cekungan yang memiliki potensi sumber daya energi yang sangat besar di Provinsi Kalimantan Selatan, diantaranya potensi sumberdaya batubara. Formasi Warukin sebagai formasi pembawa batubara memiliki sebaran yang sangat luas di

cekungan ini, dan tersingkap baik di daerah Kandangan. Formasi Warukin merupakan batuan sedimen berumur Miosen yang diendapkan secara selaras di atas Formasi Berai dan ditindih tidak selaras oleh Formasi Dahor. Dengan latar belakang tersebut, karakteristik batuan dan lingkungan pengendapan dari unit batuan pembawa batubara pada Formasi Warukin di daerah Kandangan sangat menarik untuk diteliti.

Naskah diterima : 12 Maret 2013
Revisi terakhir : 06 Juni 2013



Gambar 1.1. Peta Lokasi daerah penelitian

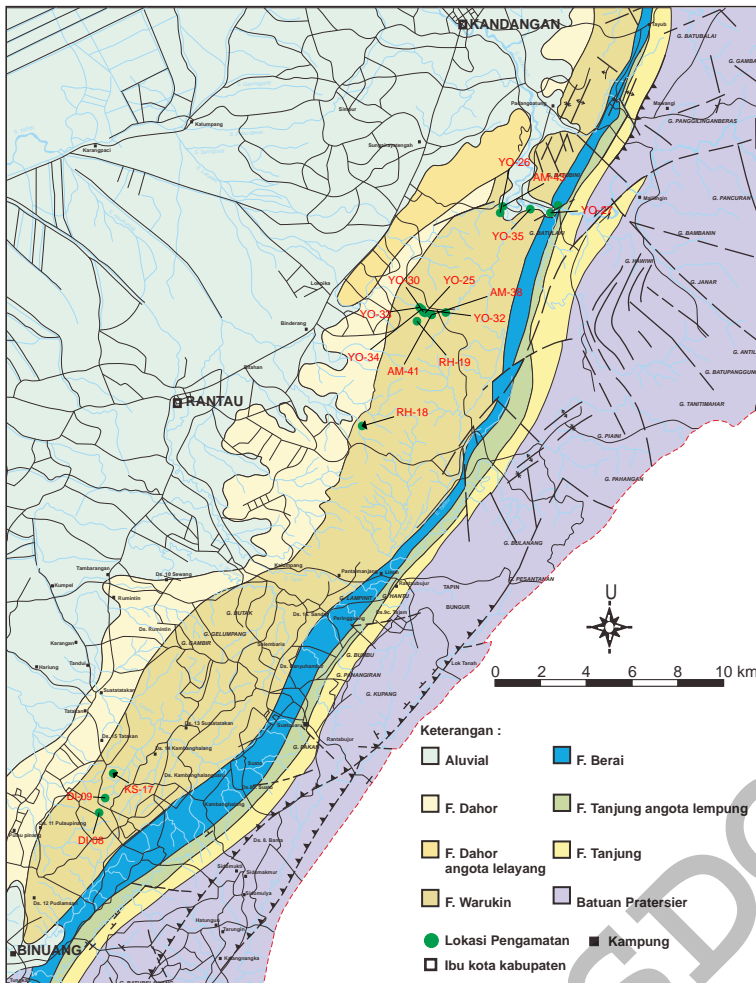
Penelitian ini dilakukan pada tahun 2007, meliputi daerah Kabupaten Hulu Sungai Selatan dengan ibukotanya Kandangan dan Kabupaten Tapin dengan ibukotanya Rantau, Provinsi Kalimantan Selatan (Gambar 1). Tujuan utama penelitian adalah untuk mengetahui karakteristik batubara dalam Formasi Warukin, baik secara megaskopis maupun secara mikroskopis. Selain itu juga untuk mengetahui lingkungan pengendapan batubara, berdasarkan analisis petrografi organik dan palinologi, serta karakteristik runtunan dan asosiasi dari unit batuan pembawa batubara.

Metode penelitian yang dilakukan di lapangan adalah melakukan penampang terukur untuk mengetahui runtunan dan asosiasi batuan sedimen pembawa batubara, dan melakukan pengamatan struktur sedimen pada batuan sedimen pembawa batubara tersebut. Runtunan sedimen dan struktur sedimen tersebut dapat menentukan lingkungan pengendapan batuan sedimen pembawa batubara.

Analisis petrografi organik dilakukan di Laboratorium Pusat Survei Geologi (PSG) dan Tekmira semuanya di Bandung. Analisis dilakukan pada 8 percontoh batubara untuk mengidentifikasi komposisi maseral dan material mineral yang menyusun batubara. Jenis dan komposisi maseral tersebut selanjutnya menjadi dasar dari lingkungan pengendapan batubara. Sembilan percontoh darai lempung karbonan telah dilakukan analisis palinologi di Laboratorium Pusat Survei Geologi (PSG), Bandung, untuk mengetahui umur dan lingkungan pengendapan batuan pembawa batubara.

Geologi Cekungan Barito telah dipelajari sejak sebelum kemerdekaan Indonesia, di antaranya oleh Krol (1920 dan 1925), diikuti oleh Koolhoven (1933 dan 1935), van Bemmelen (1949), dan Marks (1956), namun penelitian terdahulu tersebut hanya melakukan dalam rangka pemetaan geologi secara setempat-setempat. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (sekarang Pusat Survei Geologi) telah melakukan pemetaan geologi sistematis berskala 1 : 250.000 di daerah ini sejak tahun 1970an, dan selesai dipublikasikan pada tahun 1994. Daerah penelitian dan sekitarnya termasuk Lembar Amuntai (Heryanto dan Sanyoto, 1994) dan Lembar Banjarmasin (Sikumbang dan Heryanto, 1994). Pemetaan geologi berskala 1 : 100.000 baru dilakukan di beberapa tempat di antaranya Lembar Belimbing (Heryanto dr., 1998).

Penelitian khusus telah dilaksanakan di antaranya oleh Hartono dr. (2000) mengenai evolusi magmatik di Kalimantan Selatan. Sihombing dr. (2000) dan Suminto dr. (2002), mempelajari geologi Paleogen serta keterkaitan palinologi dengan keberadaan batubara di Kalimantan Selatan. Sedangkan Kusumah (2008) melakukan penelitian tentang pengaruh tektonik terhadap deformasi batua Kapur dan Tersier di daerah Belimbing Kalimantan Selatan. Sejumlah publikasi ilmiah daerah ini juga telah diterbitkan (Heryanto, 1999a&b, 2000a&b, 2008), Heryanto dan Panggabean (2001 dan 2004), Heryanto dan Hartono (2003), dan Heryanto dr. (2003).



Gambar 2.. Peta Geologi Daerah Penelitian.

Tataan Geologi

Geologi dan stratigrafi daerah penelitian tersaji dalam Gambar 2. Batuan sedimen Tersier yang ditemukan di daerah ini dialasi oleh batuan Pratersier yang terdiri atas granit dan diorit yang termasuk dalam Batuan Granit Belawaiyan berumur Kapur Awal. Batuan ini menerobos batuan malihan berumur Jura. Di atas batuan tersebut terendapkan batulempung Formasi Paniungan dan batugamping Formasi Batununggal yang berumur akhir Kapur Awal. Tidak selaras di atasnya ditindih oleh batuan sedimen Kelompok Pitap yang terdiri atas Formasi Pudak, Keramaian dan Manunggul. Kelompok ini menjemari dengan batuan gunung api Kelompok Haruyan (Formasi Pitanak dan Paau). Kedua kelompok batuan tersebut berumur Kapur Akhir (Heryanto dan Hartono, 2003; Heryanto dr, 2003; Heryanto, 2010).

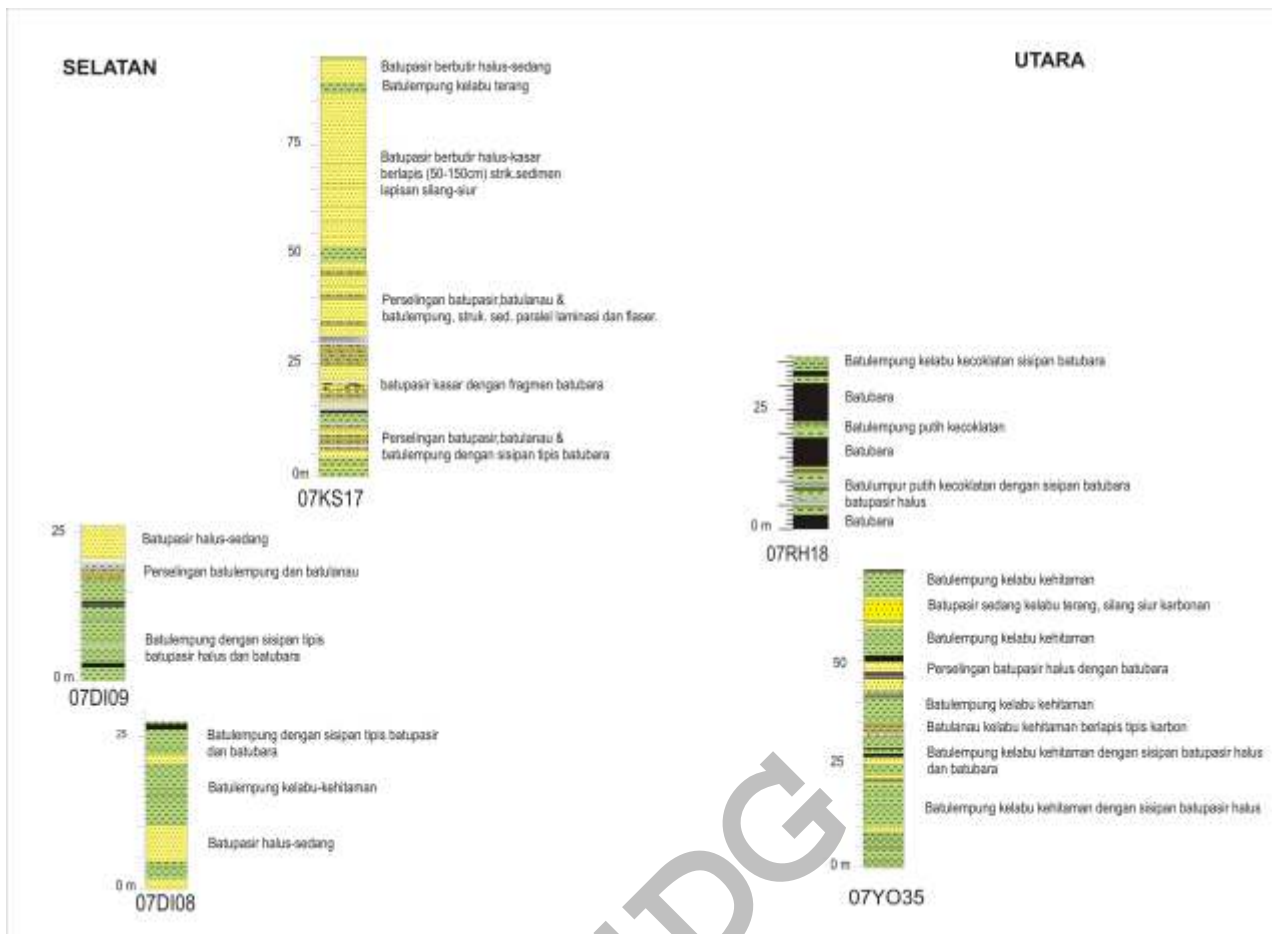
Batuan sedimen Tersier tertua di daerah ini adalah Formasi Tanjung berumur Eosen Akhir yang terbagi menjadi tiga bagian dan satu anggota. Bagian bawah yang tersusun oleh perselingan batupasir berbutir kasar,

batupasir konglomeratan, dan konglomerat berlapis tebal sampai masif yang terendapkan dalam lingkungan fluviatil. Bagian tengah tersusun oleh perselingan antara batulempung dan batubara yang terendapkan dalam lingkungan dataran banjir dan lingkungan rawa. Bagian atas tersusun oleh perselingan batulanau dan batupasir halus-sedang yang terendapkan dalam lingkungan deltaik. Anggota Lempung tersusun oleh batulempung, setempat dengan sisipan tipis batupasir halus gampingan (Heryanto, 2009). Formasi Tanjung tertindih secara selaras oleh batugamping Formasi Berai yang berumur Oligo-Miosen. Formasi Berai di Cekungan Barito bagian utara dan barat menjemari dengan Formasi Montalat. Formasi Warukin berumur Miosen Tengah menindih secara selaras Formasi Berai. Kemudian, Formasi Warukin ditindih secara tidak selaras oleh Formasi Dahor yang berumur Plio-Plistosen (Heryanto, 2008).

Sesar di daerah ini umumnya bersifat normal (sesar normal) sampai dengan geser normal, membentuk penyesaran bongkah (*block faulting*). Pada blok bagian turun ditempati oleh endapan kelompok batuan Tersier, khususnya Formasi Tanjung (Kusumah, 2008).

Formasi Warukin

Formasi Warukin di daerah penelitian tersingkap mulai dari selatan di daerah Kecamatan Binuang Kabupaten Rantau menyebar ke arah timur laut sampai dengan daerah Pagat Kabupaten Hulu Sungai Tengah di utara (Gambar 2). Korelasi kolom stratigrafi Formasi Warukin di daerah ini tersaji dalam Gambar 3. Di bagian selatan di daerah Binuang bagian bawah (07DI08; Gambar 3) Formasi Warukin ditempati oleh batulempung dengan sisipan tipis batupasir halus dan batubara. Lapisan batupasir berbutir halus sampai sedang berwarna putih kecoklatan dijumpai sebagai sisipan tebal 5 m. Batulempung warna kelabu terang sampai kelabu gelap (Gambar 4), setempat berwarna putih sampai kecoklatan dan tufan. Kemudian di atasnya (07DI09; Gambar 3) batulempung warna kelabu sampai kehitaman dengan sisipan batubara (Gambar 5), kemudian pada bagian atasnya dijumpai lapisan batupasir berbutir halus sampai sedang warna putih kecoklatan, dan sangat rapuh (tidak kompak). Batubara berwarna hitam, kilap kusam (*dull - dull banded*), ringan.



Gambar 3. Korelasi penampang terukur batuan sedimen Formasi Warukin di daerah Binuang



Gambar 4 Foto singkapan batulempung warna kelabu terang sampai kelabu gelap, setempat berwarna putih sampai kecoklatan dan tufan. Termasuk Formasi Warukin, yang tersingkap di lokasi 07DI08.



Gambar 5. Foto singkapan batulempung warna kelabu sampai kehitaman dengan sisipan batubara, dan batupasir tidak kompak, termasuk Formasi Warukin. Tersingkap di lokasi 07DI09.



Gambar 6. Foto singkapan batulanau warna kelabu dengan sisipan batupasir warna kelabu kecoklatan rapuh, dengan ketebalan lapisan berkisar antara 25-150 cm. Termasuk Formasi Warukin yang tersingkap di lokasi 07KS17)



Gambar 7. Foto singkapan patupasir halus-sedang, kurang kompak, dengan struktur sedimen laminasi sejajar dan mengandung lensi batubara. Termasuk Formasi Warukin yang tersingkap di lokasi 07KS17.



Gambar 8. Foto singkapan perulangan batulumpur dan batubara, Formasi Warukin, yang tersingkap di daerah penambangan PT PAMA di daerah Tapin lokasi 07RH18.



Gambar 9 Foto singkapan batubara Formasi Warukin warna hitam, kilap kusam (*dull - dull banded*), ringan, mengandung banyak resin, tersingkap di lokasi 07RH18.

Selanjutnya di bagian atas di formasi ini (07KS17; Gambar 3) didominasi oleh perselingan (25-150 cm) batupasir halus, batulanau dan batulempung kelabu sampai kehitaman dengan dengan struktur sedimen paralel laminasi dan *flaser* (Gambar 6). Sisipan lapisan batubara setebal 25 cm, setempat dijumpai batupasir berbutir kasar dengan fragmen batubara (Gambar 7). Semakin ke atas berubah menjadi perselingan batupasir halus sampai sedang, setempat dengan sisipan batupasir kasar, dengan struktur sedimen perlapisan sejajar dan silangsiur.

Di bagian utara di daerah Kandangan, Formasi Warukin tersusun oleh batulempung warna kelabu sampai kehitaman dengan sisipan batupasir dan batubara. Bagian bawah dari runtunan batuan ini (07YO35; Gambar 3) terdiri atas dominasi batulempung warna kelabu sampai

kehitaman dengan sisipan batupasir berbutir halus - sedang, dengan struktur sedimen paralel laminasi dari material karbon, *flaser* dan *burrow*. Sisipan batubara dijumpai dengan ketebalan 0,3 - 1,5 m. Lapisan batupasir dengan ketebalan berkisar antara 0,5 sampai dengan 5 m. Batubara berwarna hitam, kilap kusam (*dull - dull banded*), ringan. Batupasir berbutir halus sampai sedang berlapis baik, memperlihatkan struktur sedimen lapisan sejajar dan silang-siur (Gambar 3). Di bagian atas pada lokasi 07RH18 (Gambar 3), runtunan batuan di lokasi ini secara umum terdiri atas perulangan batulumpur dan batubara dengan sedikit sisipan batupasir (Foto 5). Di lokasi ini terdapat tiga lapisan batubara yang cukup tebal, dengan ketebalan lapisan antara 3 sampai 8 meter. Batubara di lokasi ini, berwarna hitam, kilap kusam (*dull - dull banded*), ringan, mengandung banyak resin (Gambar 9) dan memperlihatkan struktur kayu (Gambar 10).

Sebagai sisipan diantara batubara tersebut adalah batulumpur berwarna kelabu, terang sampai gelap, putih sampai kecoklatan yang secara fisik sangat lunak.

Analisis laboratorium

Hasil analisis laboratorium menggunakan mikroskop terhadap karakter batubara terutama maseral yang dikandungnya, dan pengamatannya mengacu kepada *International Committee for Coal Petrology* (1963), *Bustin dr.*, (1983) dan *American Society for Testing and Materials* (ASTM) (1981). Analisis 8 percotot batubara yang diambil di daerah penelitian menghasilkan bahwa mereka tersusun oleh maseral vitrinit (59,4-86,6%) yang terdiri atas *telocollinite* (11-44,4%), *detrovitrinite* + *desmocollinite* (41,2-63,4%), dan *gelocollinite* + *corpocollinite* (0-4%). Sementara itu kandungan maseral eksinit atau liptinit (0,8-9,5%) terdiri atas *sporinite* (0-4,0%), *cutinite* (0-3,0%), *resinite* (0-5,4%), *alginite* (0-1,8%), *suberinite* (0-1,6%), dan *fluorinate* (0-0,4%). Adapun kandungan maseral inertinit (3,4-17,4%) terdiri atas *fusinite* (0-1,0%), *semifusinite* (2,4-4,8%), *sclerotinite* (0,4-12%), dan *inertodetrinite* (0-2,0%). Sedangkan material mineral yang dijumpai dalam batubara di Formasi Warukin adalah mineral lempung (0,4-6%), mineral pirit (0,6-6%), dan mineral karbonat (0,4-4,6%). Nilai reflektan vitrinit rata-rata (Rv) berkisar antara 0,42 dan 0,45 %, dengan nilai reflektan minimum 0,38-0,44 % dan nilai reflektan maksimum 0,44-0,48 %. Hasil analisis maseral terhadap contoh batubara ditampilkan di dalam Tabel 1.

Hasil analisis dengan menggunakan mikroskop terhadap fosil polen yang dikandung batuan serpih karbonan juga telah didapatkan secara baik. Dari empat percotot batulempung karbonan dari Formasi Warukin mengandung polen : *Austrobuxus nitidus Bombacaceae*, *Bombax* sp, *Calophyllum*, *Camptostemon*, *Casuarina*, *Celtis* sp, *Chenopodium*, *Discoidites borneensis*, *Durio*, *Euphorbiaceae*, *Echitriletesporites*, *Ficus* sp, *Florschuetzia trilobata*, *Florschuetzia levipoli*, *Ficus* sp, *Palaquium* sp, *Palmae*, *Palmaepollenites* sp, *Pinus pollenites*, *Psitriporitespollenites*, *Retitricolporites*, *Retitriletesporites*, *Symplocos* sp, *Spinizonocolpites echinatus*, *Shorea*, *Striatricolpites catatumbus*, *Triporitepollenites*, *Triletesporites*, *Verrucatosporites usmensis*, *Acrostichum aureum*, *Acrostichum speciosum*, *Laevigatosporites*, *Retitriletesporite*, *Zonocostites ramonae*, dan Spora fungi. Fosil polen penunjuk umur antara lain *Austrobuxus nitidus*, *Florschuetzia levipoli*, *Callophyllum*, *Camptostemon*, *Discoidites borneensis*, *Palmaepollenites* dan *Verrucatosporites usmensis* mencerminkan umur percotot ini Miosen. Hadirnya *Acrostichum aureum*, *Discoidites borneensis*, *Florschuetzia levipoli*, *Zonocostites ramonae*, *Camptostemon*, *Discoidites borneensis*, *Verrucatosporites usmensis* dan

Spinizonocostites echinatus. Semua fosil polen yang di dapat di sini dapat memberikan gambaran lingkungan pengendapannya yang akan di bahas di bawah ini.

Lingkungan Pengendapan

Di bagian selatan, bagian bawah Formasi Warukin di lokasi 07DI08 (Gambar 3), ditempati oleh batulempung, menunjukkan bahwa di daerah tersebut merupakan daerah paparan banjir, daerah paparan delta, ataupun dataran pasang surut (*tidal flat*). Dijumpainya lapisan batupasir halus sampai sedang setebal 5 m, menunjukkan adanya saluran limpahan (*crevasse splays* atau *tidal channel*). Kemudian ke arah di lokasi 07DI09 dijumpainya sisipan tipis batubara menunjukkan adanya pengaruh dari lingkungan rawa.

Tidak dijumpai fragmen resin dan struktur kayu pada lapisan batubara di lokasi ini menunjukkan bahwa organik material yang menyusun bukan berasal dari pepohonan besar yang banyak mengandung getah tetapi berasal dari tanaman perdu atau mangrove, hal ini juga ditunjang oleh analisis polen yang dijumpai dalam batulempung karbonan yang mengandung polen tanaman ini.

Analisis petrografi organik (Tabel 1) pada percotot batubara, menunjukkan banyak kandungan mineral pirit diantaranya pirit *fromboidal*. Kehadiran mineral ini menunjukkan bahwa pada pembentukan batubara tersebut pernah dipengaruhi oleh lingkungan air laut.

Pada bagian atas Formasi Warukin pada lokasi 07KS17, dijumpai lapisan batupasir berbutir kasar dengan fragmen batubara yang berasosiasi dengan perselingan batupasir halus, batulanau, dan batulempung dengan struktur sedimen paralel laminasi dan *flaser*. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan batupasir kasar merupakan endapan saluran yang berasosiasi dengan lingkungan pasang surut (*tidal channel*).



Gambar 10. Foto singkapan batubara Formasi Warukin warna hitam, kilap kusam (dull dull banded), ringan, memperlihatkan struktur kayu, tersingkap di lokasi 07RH18.

Tabel 1 . Hasil Analisis Petrologi Organik Batubara Formasi Warukin di daerah Kandungan

No.	No. Contoh	FOR	%													Rv												
			MA	SI	Tl	Dt	Gl	V	Sp	Cu	Re	Alg	Lpt	Sb	Flu	E	F	Sf	Sc	Idt	I	Cly	Py	Crb	MM	Min	Max	Av
1.	07AMA1A	Wkn	34,6	49,2	1,0	84,8	-	3,0	2,0	-	1,6	-	-	-	-	6,6	-	2,6	1,0	0,6	4,2	2,2	1,4	0,8	4,4	0,44	0,48	0,45
2.	07AMA3B	Wkn	44,4	42,2	-	86,6	-	-	1,4	0,4	0,6	0,6	-	-	3,0	-	4,6	2,6	-	7,2	1,2	0,6	1,4	3,2	0,44	0,46	0,45	
3.	07RH18A	Wkn	31,0	59,6	-	90,6	0,4	0,4	-	-	-	-	-	-	0,8	0,4	2,6	0,4	-	3,4	2,2	2,6	0,4	5,2	0,38	0,44	0,42	
4.	07RH19C	Wkn	11,0	63,4	-	74,4	-	0,4	2,0	-	-	-	-	-	2,4	0,6	4,8	12,0	-	17,4	4,8	0,6	0,4	5,8	0,42	0,46	0,45	
5.	07RH19D	Wkn	23,0	47,4	-	70,4	1,8	0,8	3,0	0,6	-	-	-	-	8,2	0,6	3,8	7,0	-	11,4	0,4	5,0	4,6	10,0	0,44	0,46	0,44	
6.	07D008A	Wkn	34,4	41,6	4,0	80,0	-	0,8	3,4	-	0,4	0,2	-	-	4,8	0,6	4,0	4,6	2,0	11,2	2,0	1,6	0,4	4,0	0,44	0,46	0,45	
7.	07D009B	Wkn	25,0	41,2	-	66,2	3,8	0,6	5,4	1,8	2,0	1,6	0,2	-	15,4	0,2	2,4	6,2	0,4	9,2	4,0	3,6	1,6	9,2	0,42	0,46	0,45	
8.	07Y035A	Wkn	13,4	46,0	-	59,4	4,0	0,2	2,4	1,2	-	1,4	0,4	-	9,6	1,0	2,6	12,6	0,4	16,6	6,0	6,0	1,0	14,4	0,42	0,46	0,44	

Keterangan

- Tl : telocollinite
- Dt : detrovitrinite (+ desmocolonite)
- Gl : gelocollinite (+ corpocollinite)
- V : vitrinite (vitrinit)
- MM : mineral matter
- Sp : sporinite
- Cu : cutinite
- Re : resinite
- Alg : alginite
- Rv : vitrinite reflectance
- Min : minimum
- Max : maximum
- Lpt : lipodetrinite
- Sb : suberinite
- Flu : fluorinite
- E : exinite (eksipit)
- Min : minimum
- Max : maximum
- F : fusinite
- Sf : semifusinit
- Sc : sclerotinite
- Idt : inertodetrinite
- I : inertinite
- Cly : clay
- Py : pyrite
- Crb : carbonates
- Av : rata-rata (average)

Selanjutnya ke arah atas dijumpai batupasir halus – kasar, berlapis baik dengan ketebalan 50 sampai 150 cm, dengan struktur sedimen silang siur yang kemudian di tindih oleh lapisan batu lumpur. Runtunan batupasir dengan struktur sedimen lapisan silang-siur merupakan endapan saluran sedangkan lapisan batulumpur merupakan paparan banjir atau *over bank*. Keadaan tersebut menunjukkan bahwa di lokasi ini lingkungan pengendapan berubah dari pasang surut menjadi lingkungan fluviatil. Dengan demikian di bagian selatan daerah penelitian Formasi Warukin telah terendapkan dalam lingkungan deltaik atau pasang surut, dan kemudian berubah menjadi lingkungan fluviatil.

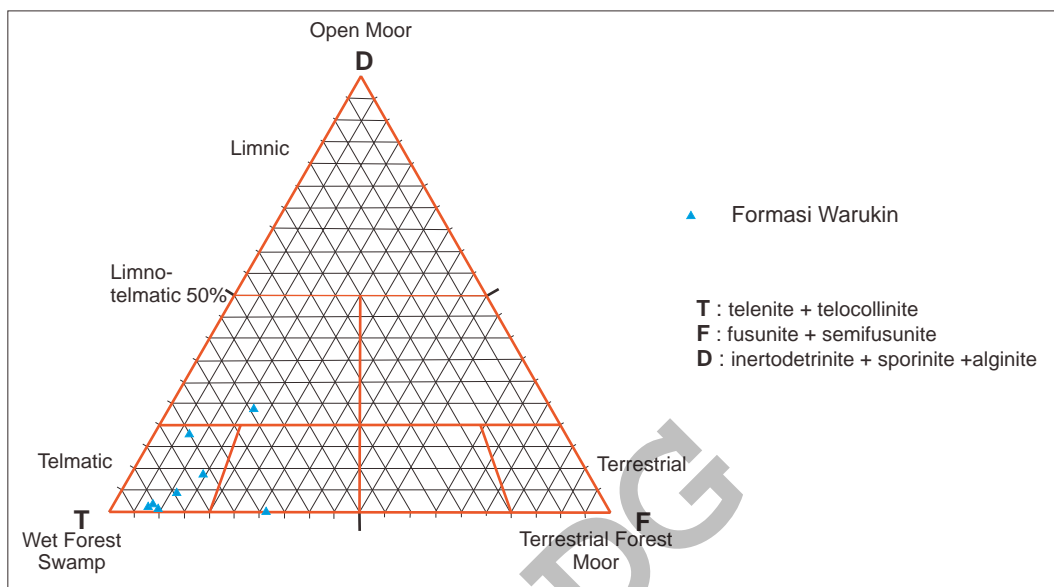
Di bagian utara daerah penelitian bagian bawah Formasi Warukin (lokasi 07Y035) tersusun oleh atas dominasi batulempung warna kelabu sampai kehitaman dengan sisipan batupasir berbutir halus - sedang, dengan struktur sedimen paralel laminasi dari material karbon, *flaser* dan burrow. Adanya struktur sedimen paralel laminasi dan flaser menunjukkan bahwa bagian bawah dari Formasi Warukin di lokasi ini terendapkan dalam lingkungan pasang surut. Sedangkan dijumpainya *burrow* menunjukkan merupakan daerah oksidasi dan dekat permukaan dimana adanya kehidupan. Runtunan batuan tersebut menunjukkan bahwa daerah ini merupakan tidal flat atau delta plain. Dijumpainya batupasir berbutir halus sampai sedang berlapis baik, memperlihatkan struktur sedimen lapisan sejajar dan silang-siur (Gambar 3), menunjukkan endapan-endapan saluran limpahan (*crevasse splays* atau *tidal channel*). Dijumpainya sisipan batubara di bagian bawah formasi ini dipengaruhi oleh lingkungan rawa. Dijumpai framboidal pirit dalam batubara di daerah ini menunjukkan bahwa selama pengendapannya batubara ini dipengaruhi oleh lingkungan air laut.

Tidak dijumpainya resin dan struktur kayu menunjukkan bahwa organik material yang menyusun batubara tersebut berasal dari tanaman perdu seperti tanaman di daerah pasang surut yaitu mangrove sesuai dengan analisis polen. Ke arah atas (lokasi 07RH18), lapisan batubara dijumpainya kandungan resin yang cukup banyak (Gambar 9) dan ditunjang juga dijumpainya struktur kayu (Gambar 10) sehingga batubara di sini menunjukkan bahwa bahan organik yang menyusunnya berasal dari jenis pepohonan besar dan tinggi. Dengan demikian lingkungan rawa tempat pengendapan batubara ini berada di lingkungan hutan hujan (*rain forest*) atau rawa air tawar (*fluvial swamp*). Dijumpainya struktur sedimen silang-siur dan *flaser* menunjukkan bahwa adanya pengaruh saluran limpahan dan lingkungan pasang surut.

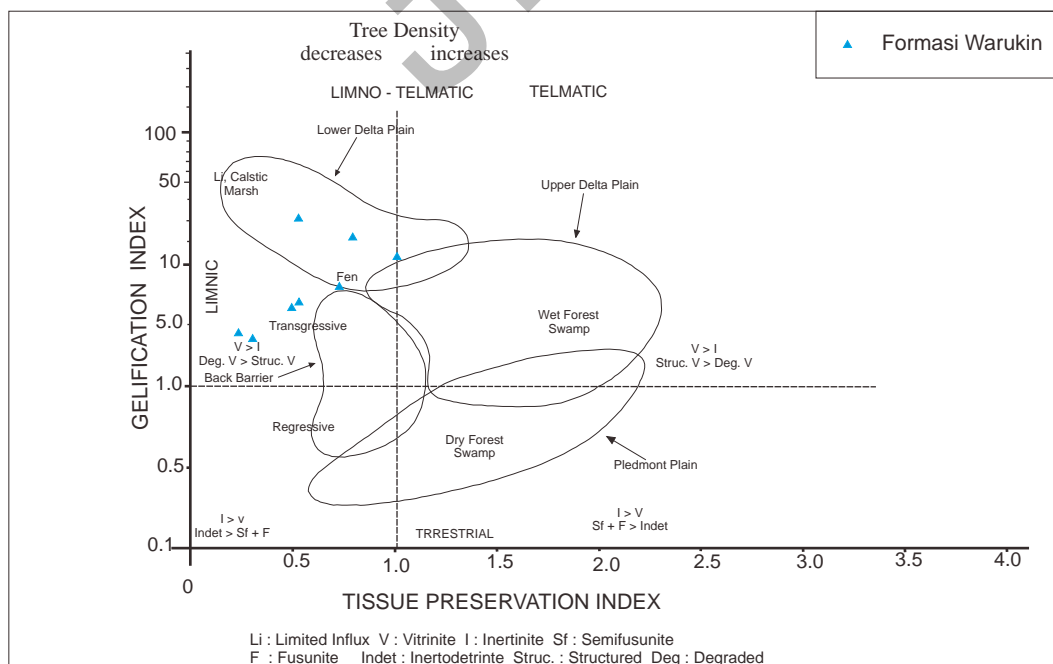
Analisis petrografi batubara (Tabel 1) yang kemudian direkalkulasi menjadi GI (*Gelification Index*), TPI (Tissue Preservation Index), T (*telovitrinit: telinit + telokolonit*), F (*fusinit + semifusinit*), dan D (*dispersed organic mater : inertodetrinit + sporinit + alginite*), yang tersaji dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil rekalkulasi GI, TPI, T, F, dan D, untuk batubara dari Formasi Warukin

No	Contoh	GI	TPI	T		F		D	
				%TFD	%TFD	%TFD	%TFD		
1.	07AM41A	20.19	0.72	34.6	91.53	2.6	6.88	0.6	1.58
2.	07AM43B	12.03	1.09	44.4	89.88	4.6	9.31	0.4	0.81
3.	07RH18A	30.2	0.56	31.0	90.12	3	8.72	0.4	1.16
4.	07RH18C	4.43	0.21	11.0	67.07	5.4	32.93	0	0
5.	07RH18D	6.52	0.49	23.0	67.07	4.4	14.76	2.4	8.06
6.	07DI08A	7.55	0.74	34.4	83.90	4.6	11.22	2.0	4.88
7.	07DI09B	7.35	0.57	25.0	75.30	2.6	7.83	6	18.07
8.	07YO30A	3.81	0.27	13.4	59.29	3.6	15.92	5.6	24.79



Gambar 11. Diagram segitiga fasies (Diessel, 1982), untuk batubara di Formasi Warukin



Gambar 12. Diagram fasies (Diessel, 1986 dan Lamberson dr., 1991), untuk batubara di Formasi Warukin.

GI adalah *vitritin* / *semifusinit* + *inertodetrinit* + *sklerotinit*, sementara itu TPI adalah *telovitritin* + *semifusinit* / *detrovitritin* + *gelovitritin* + *inertodetrinit* + *sklerotinit*. Hasil rekalkulasi tersebut kemudian diplot ke dalam diagram fasies TFD (Diessel, 1982; Gambar 11) dan diagram fasies GI versus TPI (Diessel, 1986 dan Lamberson dr., 1991; Gambar 12).

Berdasarkan diagram fasies Diessel (1982) seperti tersaji dalam Gambar 11, batubara Formasi Warukin diendapkan dalam *wet forest swamp*, sedangkan berdasarkan diagram Diessel (1986) dan Lamberson dr. (1991) seperti yang tersaji dalam Gambar 12, menunjukkan bahwa batubara dalam Formasi Warukin terbentuk dalam fasies *lower delta plain*. Sedangkan berdasarkan material mineral pada batubara yaitu mineral pirit dan karbonat menunjukkan adanya pengaruh lingkungan laut. Dengan demikian lingkungan pengendapan Formasi Warukin adalah mulai dari paparan banjir, *tidal flat* atau *lower delta plain*, yang secara setempat dipengaruhi oleh saluran limpahan (*crevasse splay*) atau *upper delta plain*.

Analisis palinologi pada batulempung karbonan Formasi Warukin menunjukkan kandungan polen antara lain *Austrobuxus nitidus*, *Florschuetzia levipoli*, *Callophyllum*, *Camptostemon*, *Discoidites borneensis*, *Palmaepollenites* dan *Verrucatosporites usmensis*, yang mencerminkan umur percontohan ini Miosen. Hadirnya *Acrostichum aureum*, *Discoidites borneensis*, *Florschuetzia levipoli*, *Zonocostites ramonae*, *Camptostemon*, *Discoidites borneensis*, *Verrucatosporites usmensis* dan *Spinizonocostites echinatus* mencerminkan lingkungan *back mangrove* sampai *fresh water swamp*.

Acuan

- American Society for Testing and Materials (ASTM), 1981. Annual Book of ASTM standard; (Part 26). American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
- Bustin, R.M., Cameron, A.R., Grieve, D.A., dan Kalkreuth, W.D., 1983. *Coal Petrology : Its Principle, Methods, and Applications*. , Geological Association of Canada, Short Course Notes Volume 3, Victoria, British Columbia, May 8-10, 1983, 273 h.
- Diessel, C.F.K., 1982. An appraisal of coal facies based on maceral characteristics. *Australian Coal Geology*, 4 (2), h.474-484.
- Diessel, C.F.K., 1986. On the correlation between coal fasies and depositional environment. *Proceedings 20th Symposium of Department Geology, University of New Castle, New South Wales*, h.19-22.
- Hartono, U., Sukanto, R., Surono, dan Panggabean, H., 2000. Evolusi Magmatik Kalimantan Selatan. *Publikasi Khusus No 23*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Heryanto, R., 1999a. Petrografi Batupasir Formasi Manunggul di daerah Alimukim, Kalimantan Selatan., *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*,. IX (93), h. 16-26.

Kesimpulan

- Hasil pengamatan struktur sedimen beberapa singkapan di lapangan mengungkapkan bahwa lingkungan pengendapan Formasi Warukin adalah deltaik dengan pengaruh pasang surut, dan kemudian berubah menjadi lingkungan fluviatil.
- Berdasarkan tekstur dan struktur sedimen, analisis petrografi organik pada batubara, serta kandungan polen dalam batulempung karbonan batuan penyusun Formasi Warukin, menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan Formasi Warukin adalah mulai dari paparan banjir, *tidal flat* atau *lower delta plain*, yang secara setempat dipengaruhi oleh saluran limpahan (*crevasse splay*) atau *upper delta plain* yang dipengaruhi *back mangrove* sampai *fresh water swamp*.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Kepala Pusat Survei Geologi yang telah memberikan dukungan mulai dari penelitian lapangan sampai dengan penulisan makalah ini. Selain itu, ucapan terima kasih ini juga ditujukan kepada rekan sejawat yang telah mendukung penelitian ini serta memberikan kritik, saran dan diskusi mengenai isi makalah ini.

- Heryanto, R., 1999b. Diagenesa Batupasir Formasi Manunggul di Daerah Alimukim, Kalimantan Selatan., *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, IX (98), h. 16-26.
- Heryanto, R., 2000a. Pengendapan batuan sedimen Kelompok Pitap di bagian selata Pegunungan Meratus. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, X (109), h. 2-19.
- Heryanto, R., 2000b. Tataan Stratigrafi, Dalam : Hartono, U., Sukamto, R., Surono and Panggabean, H. (Eds), Evolusi Magmatik, di Kalimantan Selatan., *Publikasi Khusus, No 23*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Heryanto, R., 2007. Laporan Penelitian Proses Sedimentasi dan Tektonika Cekungan Tersier Barito Bagian Tengah, Kalimantan Selatan. Laporan Internal, Pusat Survei Geologi
- Heryanto, R., 2008. Paleogeografi Cekungan Tersier Barito, Kalimantan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan IAGI 37*, Buku 1, h. 238-257.
- Heryanto, R. dan Sanyoto, P., 1994. *Peta Geologi Lembar Amuntai, Kalimantan Selatan, skala 1 : 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Heryanto, R., Sutrisno, Sukardi, dan Agustianto, D., 1998. *Peta Geologi Lembar Belimbing, Kalimantan Selatan Skala 1 : 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Heryanto, R. dan Panggabean, H., 2001. The Deposition of the Pitap Group, in the Meratus Mountains, Southeast Kalimantan. *FOSI 2nd Regional Seminar, May 14, 2001, Jakarta – Indonesia*.
- Heryanto, R., dan Hartono, U., 2003. Stratigraphy the Meratus Mountains, South Kalimantan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, XIII (133), h. 2-24.
- Heryanto, R., Sanyoto, P., dan Panggabean, H., 2003. Depositional Setting of the Sedimentary Rocks of Pitap Group, in the northern Meratus High (Amandit, Alimukim and paramasan Areas), Southeast Kalimantan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, XIII (141), h. 2-21.
- Heryanto, R. dan Panggabean, H., 2004. Fasies, Sedimentologi Formasi Tanjung di Bagian Barat, Tengah dan Timur Tinggian Meratus, Kalimantan Selatan. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, XIV (3), h. 78-93.
- International Committee for Coal Petrology. 1963. *International Handbook of Coal Petrology – 2nd edition*; Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, France.
- Koolhoven, W.C.B., 1933. Het primaire diamant - voorkomen in Zuider - Borneo (Voorloopige medeeling). *De Mijningenieur*, XIV, h. 138 - 144.
- Koolhoven, W.C.B., 1935. Het primaire voorkomen van den Zuid Borneo diamant : Minjw Genootsch, *Kolonien Nederland Geologische Verhandelingen, Geologie Serie*, 11, h.189-232.
- Krol, L.H., 1920. Over de geologie van een gedeelte van de Zuideren Oosterafdeeling van Borneo. *Jaarboek van het Mijnwezen, Nederlandsch Oost-Indie, verhandelingen*, 47, 1918 deel.
- Krol, L.H., 1925. Eenige cijfers uit de 3 etages van het Eocen en uit het jong Tersier van Martapoera. *Geologische Mijnbouw Genootschap Verhandelingen*, Geologische Serie 8, h. 342-366.
- Kusumah, K.D., 2008. Pengaruh tektonik terhadap pola deformasi batuan berumur Kapur Akhir dan Tersier (Eosen-Miosen) di daerah Belimbing Kalimantan Selatan. Tesis S-2, Fakultas Geologi, Universitas Padjadjaran Bandung, tidak dipublikasikan.
- Lamberson, M.N., Bustin, R.M., dan Kalkreuth, W.D., 1991. Lithotype (maceral) composition and variation as correlated with paleo-wetland environment, Gates Formation, northeastern British Columbia, Canada. *International Journal of Coal Geology*, 18, h. 67-124.
- Marks, P., 1956. Stratigraphic Lexicon of Indonesia. *Publikasi Keilmuan No. 31*, Djawatan Geologi, Bandung, 233 h.

- Sihombing, T., Polhaupessy, A.A., Sudijono, Maryanto, S., Suyoko, Purnamaningsih, dan Kawoco, P., 2000. Pengkajian Geologi Paleogen Daerah Kalimantan Selatan : Dengan acuan khusus palinologi batubara. *Laporan Kegiatan Teknis, Daftar Isian Kegiatan Suplemen (DIKS), Tahun Anggaran 2000.*
- Sikumbang, N. dan Heryanto, R., 1994. *Peta Geologi Lembar Banjarmasin, Kalimantan Selatan skala 1 : 250.000.* Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Stopes, M.C., 1919. On the four visible ingredients in banded bituminous coal. *Proceedings of the Royal Society, B.*, 90, h. 470-480.
- Suminto, Sudijono, Hasibuan, F., Polhaupessy, A.A., Purnamaningsih, dan Limbong, A., 2002. Palinologi Batubara Formasi Tajung di Cekungan Barito, Kalimantan Selatan. *Laporan Kegiatan Teknis, Daftar Isian Kegiatan Suplemen (DIKS), Tahun Anggaran 2002.*

JSDG