

Geologi dan Hubungan Karakteristik Fisik Batubara Berdasarkan Lingkungan Pengendapan Pada Daerah Separi, Kec. Tenggara Seberang, Kab. Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

Muhammad Gangsar Adhiya Rizky^{1*}, Novrijal Ramadhany^{2*}, Bayu Satrio Nugroho^{3*}, Setia Pambudi^{4*}

¹⁻⁴Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Article Info

Article history:

Received Jun, 2026

Revised Jun, 2026

Accepted Jun, 2026

Kata Kunci:

Batubara, Formasi Balikpapan, Litotipe, Maseral, Lingkungan Pengendapan

Keywords:

Coal, Balikpapan Formation, Lithotype, Maseral, Depositional Environment

ABSTRAK

Ketidakteragaman variasi karakteristik fisik batubara merekam kondisi pembentukan gambut untuk mendukung penafsiran lingkungan pengendapan batubara, sehingga pemahaman faktor pengendalinya menjadi kunci untuk memprediksi sebaran batubara serta mendukung dalam kegiatan eksplorasi. Formasi Balikpapan Daerah Separi blom terpetakan secara terpadu pada Lingkungan pengendapan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kondisi geologi daerah penelitian, menganalisis karakteristik fisik batubara, menafsirkan lingkungan pengendapannya, dan mengungkap hubungan sistematis di antara keduanya. Metode penelitian mencakup pemetaan geologi permukaan, analisis data *well logging*, analisis maseral, serta identifikasi palinologi. Seluruh data tersebut diintegrasikan melalui interpretasi litofasies dan diagram fasies batubara TPI-GI serta GWI-VI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daerah penelitian tersusun atas dua satuan batuan tak resmi dalam Formasi Balikpapan berumur Miosen Tengah, yaitu Satuan Batupasir dan Satuan Batulempung Balikpapan. Pada daerah tersebut berkembang sesar naik Separi bertipe *left reverse slip fault*. Batubara terekam pada enam *seam*, yakni *seam* 1, 2, 4, 9, 10, dan 11, dengan delapan litotipe yang mencerminkan ragam kondisi pembentukannya. Komposisi maseral didominasi vitrinit dengan collodetrinit sebagai penyusun utama dan menghasilkan nilai GI yang tinggi (0,2-52,54) nilai tersebut menandakan gelifikasi intensif pada lingkungan pengendapan *marsh wet* memiliki tingkat oksigen yang rendah dikarenakan genangan air yang tinggi menciptakan kondisi anoksik (minim oksigen). Sistem pengendapan ditafsirkan sebagai *lower delta plain* yang dicirikan oleh empat asosiasi fasies, yaitu *channel*, *interdistributary bay*, *crevasse splay*, dan *swamp*, serta diperkuat oleh asosiasi palinologi penciri *back mangrove*. Karakteristik fisik batubara mencerminkan lingkungan pengendapannya terhadap keberadaan litotipe *bright coal* dan *banded bright coal* yang kaya vitrinit terbentuk pada rawa stabil, sedangkan *dull coal*, *shaly coal*, dan *claystone* berpengotor tinggi berkembang pada *interdistributary bay*. Pirit *framboidal* pada *seam* 1, 9, dan 11 merekam intrusi air laut pada lingkungan anoksik.

ABSTRACT

The heterogeneity of coal physical characteristic variations records peat-forming conditions to support the interpretation of coal depositional environments, so that understanding its controlling factors becomes the key to predicting coal distribution and supporting

exploration activities. The Balikpapan Formation in the Separi Area has not been comprehensively mapped in terms of its depositional environment. This study aims to identify the geological conditions of the research area, analyze the physical characteristics of coal, interpret its depositional environment, and reveal the systematic relationship between the two. The research methods include surface geological mapping, well logging data analysis, maceral analysis, and palynological identification. All data were integrated through lithofacies interpretation and coal facies diagrams of TPI-GI and GWI-VI. The results indicate that the research area is composed of two informal rock units within the Middle Miocene Balikpapan Formation, namely the Balikpapan Sandstone Unit and the Balikpapan Claystone Unit. A left reverse slip fault type of Separi thrust fault develops within the area. Coal is recorded in six seams, namely seams 1, 2, 4, 9, 10, and 11, with eight lithotypes reflecting various formation conditions. The maceral composition is dominated by vitrinite with collodetrinite as the main constituent, producing high GI values (0.2–52.54); these values indicate intensive gelification in a marsh wet depositional environment characterized by low oxygen levels due to high water inundation creating anoxic conditions. The depositional system is interpreted as a lower delta plain characterized by four facies associations, namely channel, interdistributary bay, crevasse splay, and swamp, further supported by back mangrove palynological associations. The physical characteristics of coal reflect its depositional environment, as evidenced by the presence of bright coal and banded bright coal lithotypes rich in vitrinite formed in stable swamp settings, whereas dull coal, shaly coal, and highly impure claystone developed in the interdistributary bay. Framboidal pyrite in seams 1, 9, and 11 records marine water intrusion in an anoxic environment.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Name: Setia Pambudi

Institution: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

Email: 111220250@student.upnyk.ac.id

1. PENDAHULUAN

Batubara merupakan sumber daya energi fosil yang menempati posisi strategis dalam kebutuhan energi nasional. Provinsi Kalimantan Timur menjadi salah satu daerah penghasil batubara terbesar di Indonesia karena sebagian besar cadangannya terakumulasi di dalam Cekungan Kutai. Cekungan ini tergolong cekungan sedimen Tersier terbesar dan terdalam di Indonesia bagian barat yang berkembang ditepi tenggara Mikrokontinen Sunda hingga Selat Makassar (Moss & Chambers, 1999; Yuniardi, 2012). Salah satu satuan pembawa batubara paling produktif di cekungan tersebut adalah Formasi Balikpapan berumur Miosen Tengah. Formasi ini terbentuk dalam sistem deltaik Proto-Mahakam dan tersusun atas perselingan batupasir, batulempung, serta lapisan batubara (Supriatna dkk., 1995; Bachtiar dkk., 2013), sehingga pemahaman terhadap kondisi geologi dan karakter batubaranya menjadi penting bagi pengembangan ilmu kebumih.

Daerah Separi, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, secara geologi menempati bagian bawah Cekungan Kutai yang perkembangannya dikendalikan oleh progradasi Delta Mahakam pada Kala Miosen. Sejumlah penelitian telah dilakukan di kawasan ini dan sekitarnya, antara lain interpretasi lingkungan pengendapan batubara di Samarinda melalui analisis maseral dan mikrolitotipe (Win, 2014), rekonstruksi sistem fluviodeltaik Kelompok Balikpapan berbasis elektrofases (Jamaluddin dkk., 2023), serta kajian pengayaan material organik Formasi Kampungbaru di tepi timur cekungan (Jamaluddin dkk., 2024b). Pada aspek biologi, keterkaitan karakter batubara dengan lingkungan pengendapan telah dikaji di Sangatta (Aditama dkk., 2018), sedangkan kendali struktur geologi terhadap sebaran batubara ditelaah di Kutai Barat (Widagdo, 2013). Rangkaian kajian tersebut memperlihatkan bahwa karakter batubara di Cekungan Kutai sangat dipengaruhi oleh kerangka fasies pengendapan deltaik.

Secara teoretis, lingkungan pengendapan ditentukan melalui tiga aspek, yaitu fisika, kimia, dan biologi (Selley, 1985). Proses sedimentasi yang berlangsung di dalamnya menghasilkan tipe lingkungan yang berbeda (Nichols, 2009) sehingga karakter batubara dapat diamati langsung di lapangan, mulai dari litotipe hingga komposisi maseralnya. Variasi jenis gambut serta kondisi rawa basah atau kering yang dipengaruhi air tanah atau air hujan dapat ditafsirkan melalui pendekatan fasies batubara, yakni diagram *Tissue Preservation Index-Gelification Index* (TPI-GI) (Diessel, 1986) dan diagram *Groundwater Index-Vegetation Index* (GWI-VI) (Calder dkk., 1991). Dengan demikian, perbedaan karakter fisik antarlapisan batubara pada hakikatnya mencerminkan dinamika lingkungan pengendapan tempat material organik tersebut terakumulasi (Horne dkk., 1978; Lamberson dkk., 1991).

Karakteristik fisik batubara, yang meliputi litotipe, kilap, pecahan, kekerasan, serta komposisi maseral secara megaskopis dan mikroskopis, merupakan parameter penting dalam pengamatan langsung di lapangan yang mencerminkan kondisi lingkungan pengendapan pada material organik yang mengalami akumulasi dari sisa tumbuhan. Urgensi penggunaan karakteristik fisik dalam penelitian ini terletak pada menentukan variasi fasies gambut secara vertikal antarlapisan batubara, yang pada bagian-bagian tertentu dapat menjadikan kunci dalam memperkirakan sebaran lateral lapisan batubara secara lebih akurat. Dalam konteks sistem delta yang dinamis seperti Delta Mahakam, perubahan karakter fisik antara satu *seam* dan *seam* lainnya mencerminkan pasang surut muka air, perubahan tipe vegetasi, serta intensitas proses humifikasi dan gelifikasi yang berlangsung selama pembentukan gambut.

Permasalahan utama penelitian ini adalah belum tersedianya kajian mengenai variasi karakteristik fisik batubara yang dikendalikan oleh lingkungan pengendapan pada Formasi Balikpapan di daerah Separi. Penelitian terdahulu umumnya masih bersifat parsial dan terbatas pada satu lapisan atau satu parameter, misalnya interpretasi fasies pengendapan berdasarkan *logs inside casing* (Margaesa dkk., 2013) dan analisis total sulfur pada *seam* setempat (Tresnanto dkk., 2014). Kajian lain menunjukkan bahwa batubara di Cekungan Kutai cenderung memiliki karakter dan lingkungan pengendapan yang berbeda dalam setiap rangkaian pembentukannya (Suhayadi, 2022). Setiap lapisan batubara terbentuk dengan sifat yang berbeda antarlokasi akibat perbedaan jenis tumbuhan penyusun dan kondisi pengendapannya. Ketiadaan kerangka hubungan yang menyeluruh menyulitkan prediksi sebaran batubara secara lateral maupun vertikal.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengangkat judul “Geologi dan Hubungan Karakteristik Fisik Batubara Berdasarkan Lingkungan Pengendapan Daerah Separi, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur”. Penelitian ini

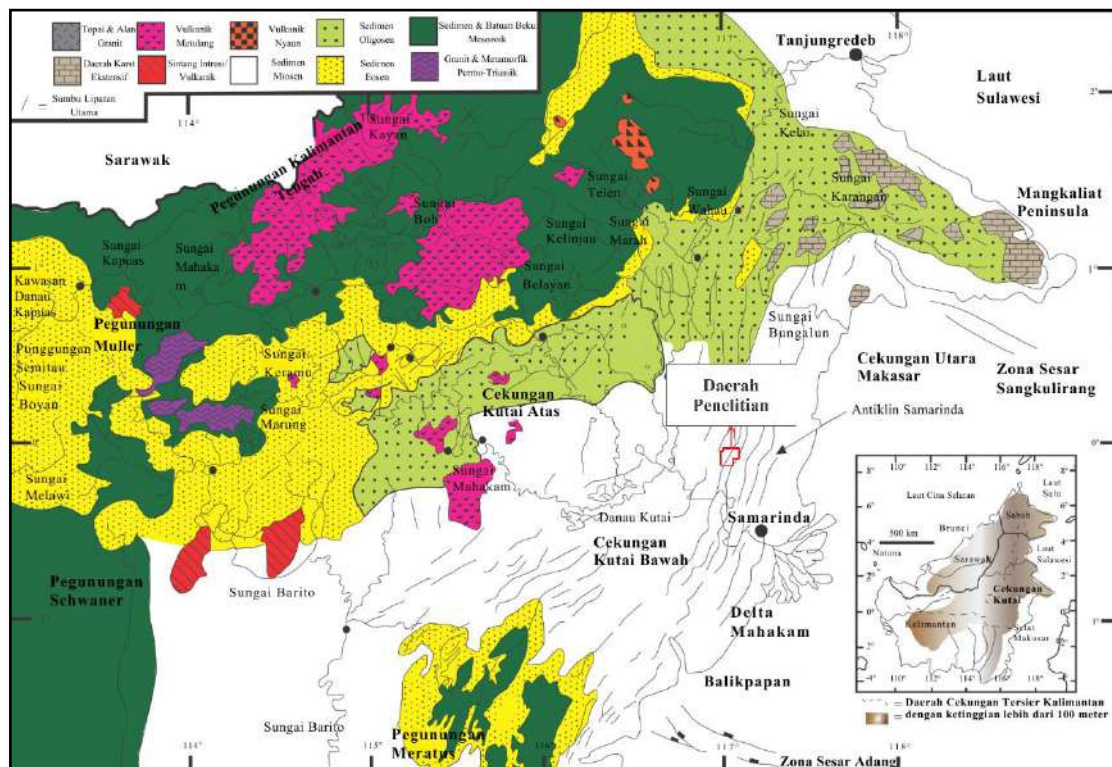
memadukan pemetaan geologi permukaan, analisis data *well logging*, pengamatan maseral, serta identifikasi palinologi yang seluruhnya diinterpretasikan melalui pendekatan litofasies dan diagram fasies batubara. Secara teoretis, hasilnya diharapkan memperkaya pemahaman mengenai keterkaitan sistematik antara lingkungan pengendapan dan karakter fisik batubara pada sistem deltaik Formasi Balikpapan. Secara praktis, penelitian ini diharapkan menyediakan dasar interpretasi sebaran dan kualitas batubara bagi institusi akademik maupun industri pertambangan.

Penelitian ini bertujuan mengungkap hubungan antara karakteristik fisik batubara dan lingkungan pengendapannya pada Formasi Balikpapan di daerah penelitian. Tujuan khususnya meliputi: (1) mengidentifikasi kondisi geologi daerah penelitian dan (2) menentukan karakteristik fisik batubara beserta hubungannya dengan lingkungan pengendapan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Lokasi penelitian berada di dalam cakupan Cekungan Kutai yang memiliki umur Tersier. Pembentukan cekungan ini dibagi menjadi dua unit perkembangan, yaitu aktivitas pengangkatan tektonik berlangsung ketika Miosen Awal membentuk bagian atas cekungan di atas sedimen Paleogen dan pada interval Neogen bagian bawahnya justru berkembang menindahi endapan Paleogen yang telah lebih dahulu tersusun (Moss & Chambers, 1999). Dalam penelitian ini, fokus kajian diarahkan pada bagian bawah dari Cekungan Kutai telatak pada Gambar 1.



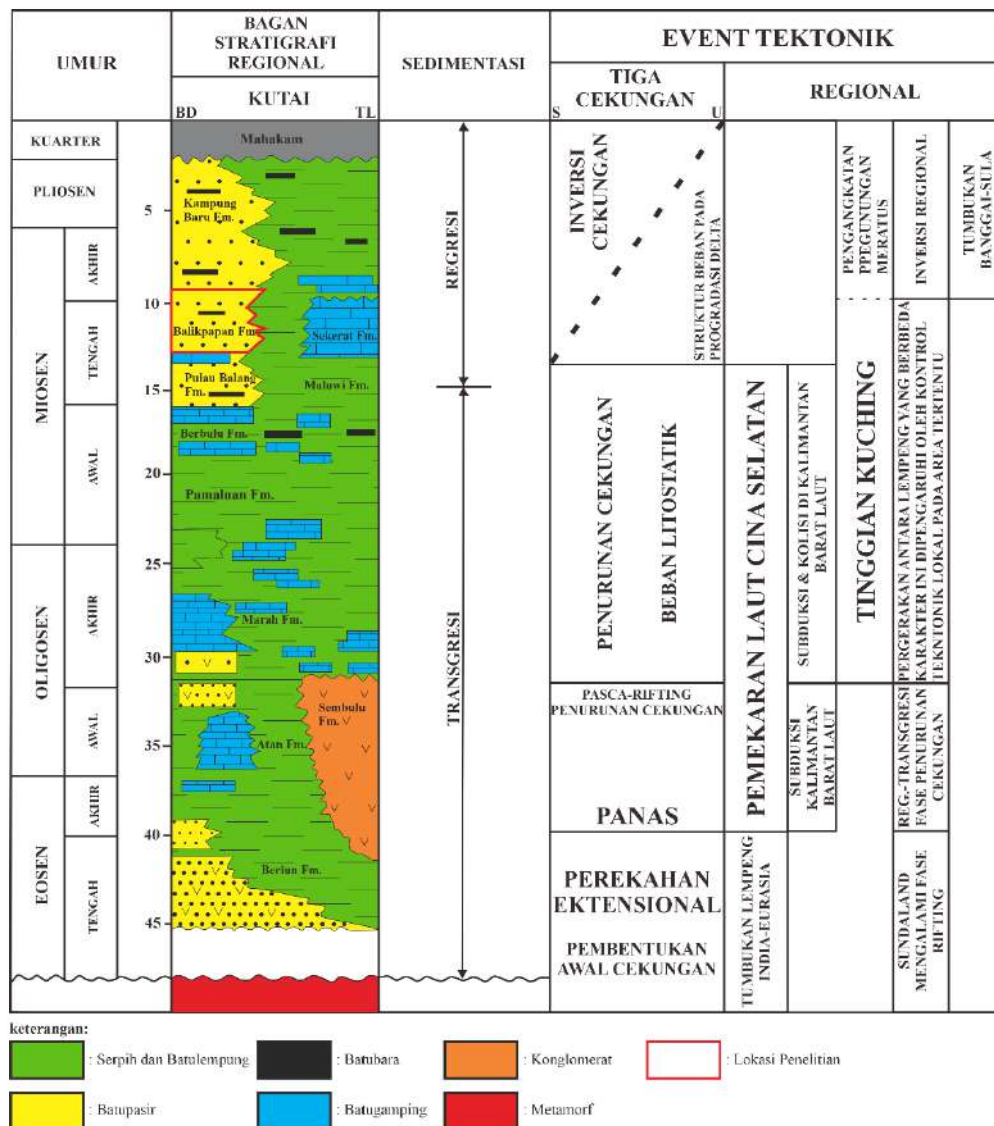
Gambar 1. Fisiografi Cekungan Kutai (dimodifikasi dari Moss & Chambers, 1999).

Cekungan Kutai merupakan area yang terpengaruh oleh Lempeng Eurasia. Di sekeliling wilayah tersebut, aktivitas tektonik dari tiga lempeng raksasa turut

membentuk dinamika perkembangan cekungan, yakni Lempeng India-Australia dari arah selatan, Lempeng Pasifik di timur, dan Lempeng Eurasia di bagian utara. Interaksi kompleks antarlempeng tersebut kemudian mengendalikan proses perkembangan struktural maupun sejarah pembentukan cekungan secara signifikan, sehingga karakter geologi Cekungan Kutai tidak dapat dilepaskan dari pengaruh sistem tektonik regional (McClay dkk., 2000).

2.2 *Stratigrafi Regional*

Paleografi Cekungan Kutai mengalami tiga fase yaitu fase rifting pada masa Eosen Tengah dan membentuk tinggian berarah timur laut–barat daya, fase subsidence selama Oligosen Awal hingga Oligosen Akhir mengubah kondisi paleogeografi dari laut dangkal menjadi dominan laut, dan terakhir fase pengangkatan selama Miosen Awal hingga Miosen Akhir yang dipicu proses docking Mikrokontinen Luconia dan mengakhiri subduksi Laut Cina Selatan. Fase pengangkatan memicu proses progradasi delta, sehingga mengakibatkan akumulasi sedimen bertambah signifikan dan membentuk sejumlah kompleks delta di sepanjang garis pantai timur Pulau Kalimantan. Proses sedimentasi tertua di Cekungan Kutai diawali oleh kehadiran Formasi Berium dan setelah fase tersebut, aktivitas sedimenter berkembang secara bertahap membentuk rangkaian stratigrafi yang semakin muda hingga akhirnya menghasilkan endapan bercorak deltaik di Delta Mahakam seperti pada kolom stratigrafi Cekungan Kutai menurut Satyana (1999) pada Gambar 2.



Gambar 2. Kolom Stratigrafi Cekungan Kutai (dimodifikasi dari Satyana, 1999).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dalam upaya mencari, mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasi topik penelitian. Rumusan masalah penelitian ini berhubungan dengan kondisi geologi daerah penelitian, yang meliputi masalah stratigrafi, geomorfologi, dan struktur geologi. Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan sistematis, yaitu tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap analisis dan pengolahan data, dan tahap penyusunan laporan. Tahap pengumpulan data dilakukan melalui pemetaan geologi untuk mendapatkan data geomorfologi, data log struktur geologi, dan stratigrafi daerah penelitian. Pada tahap analisis, dilakukan analisis geomorfologi, sampel batuan, profil stratigrafi, korelasi stratigrafi, kekar dan sesar, dan analisis pendekatan lingkungan pengendapan berdasarkan aspek fisika, kimia dan biologi. Pada beberapa tahap analisis seperti analisis sampel batuan, dilakukan analisis untuk mendukung data permasalahan dari penelitian ini seperti pada analisis petrografi didapatkan tujuh lokasi pengamatan 03, 07, 12, 15, 28, dan 39 berguna untuk mengetahui susunan mineral pada litologi yang terdapat pada daerah penelitian, teruntuk analisis mikropaleontologi didapatkan enam lokasi

pengamatan 03, 07, 12, 15, 38 dan 39 tetapi pada analisis ini tidak ditemukan fosil pada lokasi pengamatan yang teramati lalu penulis menggantikan analisis tersebut dengan menggunakan analisis palinologi, analisis maseral didapatkan lima lokasi pengamatan 03, 07, 14, 15, dan 17 untuk mendapatkan lingkungan pengendapan batubara, dan analisis palinologi didapatkan lima lokasi pengamatan 03, 07, 12, 15 dan 38 untuk mendapatkan interpretasi umur dan lingkungan pengendapan pada satuan batuan daerah penelitian.

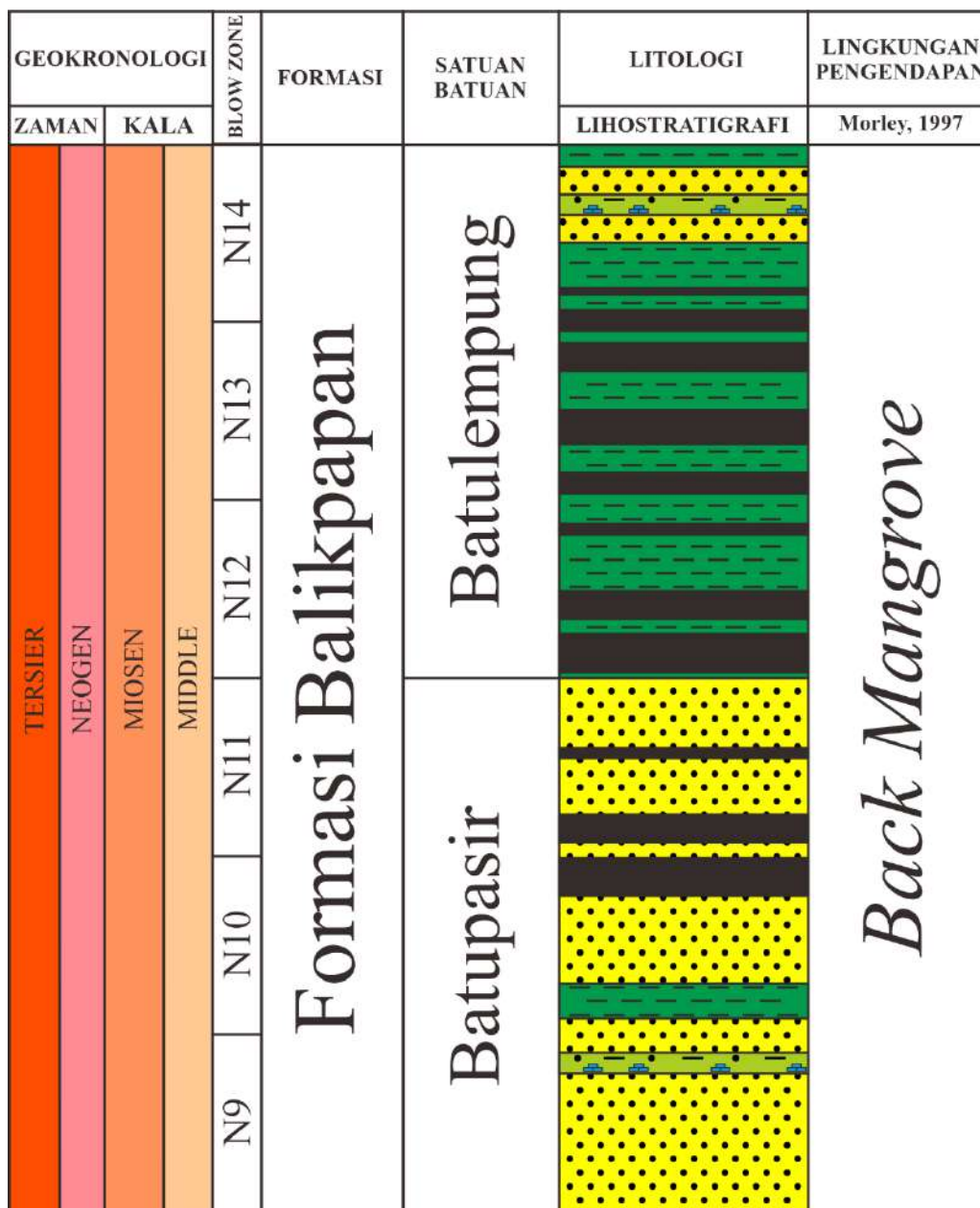
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Stratigrafi Daerah Penelitian

Dari analisis petrografi untuk menentukan litologi yang merujuk pada sistem litostratigrafi, wilayah penelitian terklasifikasi menjadi dua satuan batuan tidak resmi, yaitu Satuan Batupasir Balikpapan dan Satuan Batulempung Balikpapan. Melalui pengamatan langsung terhadap singkapan batuan serta pengukuran stratigrafi di lapangan, kolom stratigrafi wilayah penelitian disusun dan ditampilkan pada Gambar 3.

Penentuan pembagian satuan batuan pada wilayah kajian ini dilakukan dengan merujuk pada sistem litostratigrafi yang berpedoman pada Sandi Stratigrafi Indonesia (Komisi Sandi Stratigrafi Indonesia, 1996). Dalam pendekatan ini, lapisan-lapisan batuan dilakukan secara terstruktur ke dalam satuan-satuan bernama yang ditentukan melalui karakter litologinya. Pengelompokan tersebut menitikberatkan pada jenis batuan, kombinasi penyusunnya, serta kesamaan sifat litologi yang berhasil diidentifikasi langsung di lapangan. Selain itu, digunakan juga dominasi jenis batuan yang tersingkap di area penelitian sebagai dasar utama penentuan satuan, yang kemudian diperkuat oleh data profil singkapan digunakan untuk menyusun hubungan stratigrafinya, sehingga diperoleh kerangka hubungan vertikal antar lapisan yang lebih jelas sebagai fondasi pembagian satuan batuan. Visualisasi tersebut mempertegas distribusi satuan batuan di wilayah studi. Dari analisis tersebut, wilayah penelitian akhirnya terklasifikasi menjadi dua satuan batuan tidak resmi yang disusun berdasarkan urutan stratigrafi dari yang paling tua hingga termuda, yaitu:

1. Satuan Batupasir Balikpapan
2. Satuan Batulempung Balikpapan



Gambar 3. Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian.

Satuan Batupasir Balikpapan, meliputi 65% dari daerah penelitian. Satuan ini memperlihatkan susunan litologi kompleks dengan komponen batupasir yang lebih dominan dan berasosiasi dengan beberapa sisipan batuan lain seperti batulempung, batulanau karbonatan, dan batubara. Dalam kondisi tertentu, batupasir juga berulang-ulang berseling dengan batulempung atau batubara membentuk pola perlapisan yang tidak seragam di lingkungan pengendapan tersebut. Penentuan umur Satuan Batupasir Balikpapan didasarkan pada analisa *polen* di beberapa lokasi pengamatan dan didapatkan, *polen Florschuetzia trilobata*, *Stenochlaenidites papuanus* dan *Florschuetzia meridionalis*. Berdasarkan hasil tersebut didapat umur Satuan Batupasir Balikpapan yang ada pada daerah telitian Miosen Tengah. Hubungan stratigrafi Satuan Batupasir Balikpapan dengan Satuan Batulempung Balikpapan, yakni Satuan Batupasir Balikpapan mempunyai hubungan yang selaras dengan Satuan Batulempung Balikpapan seperti pada Gambar 4.

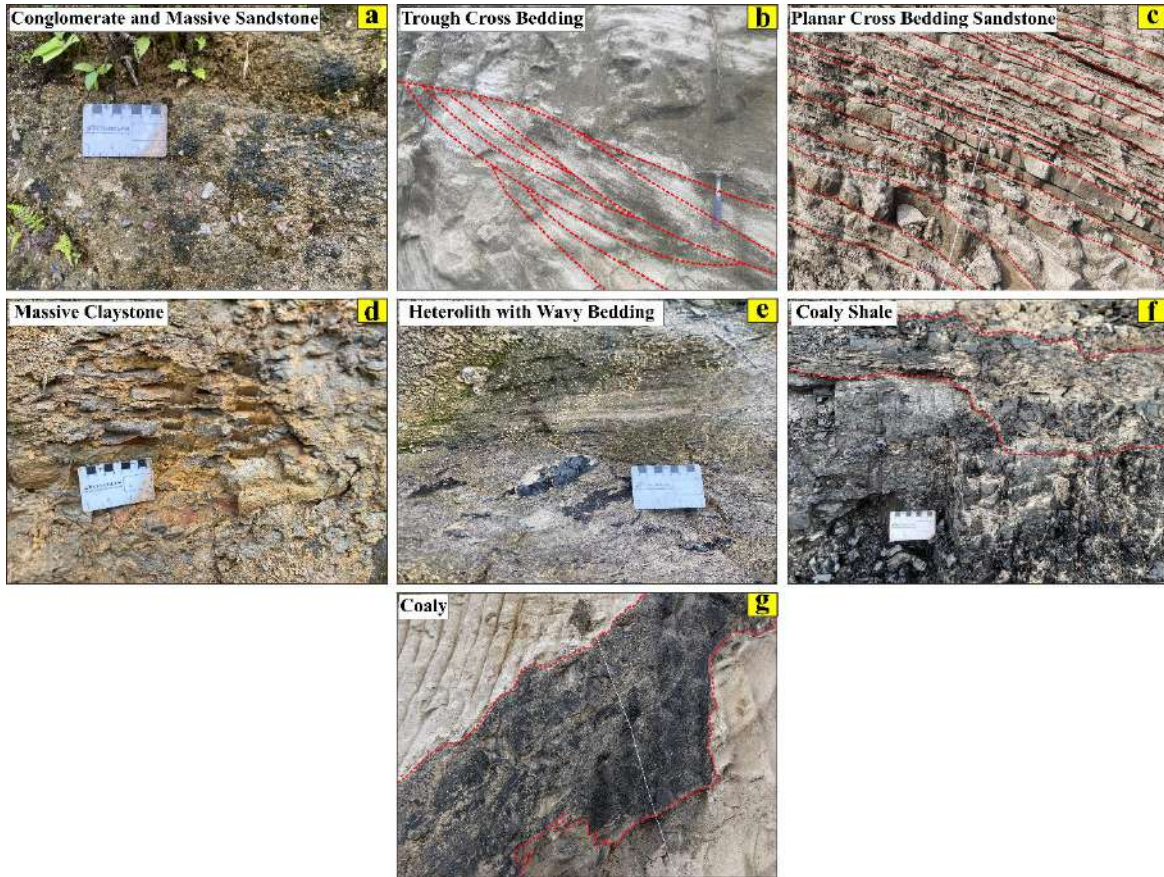


Gambar 4. Kontak Satuan Batuan Pada Lokasi Pengamatan Lp-39 dengan Azimuth N 278° E.

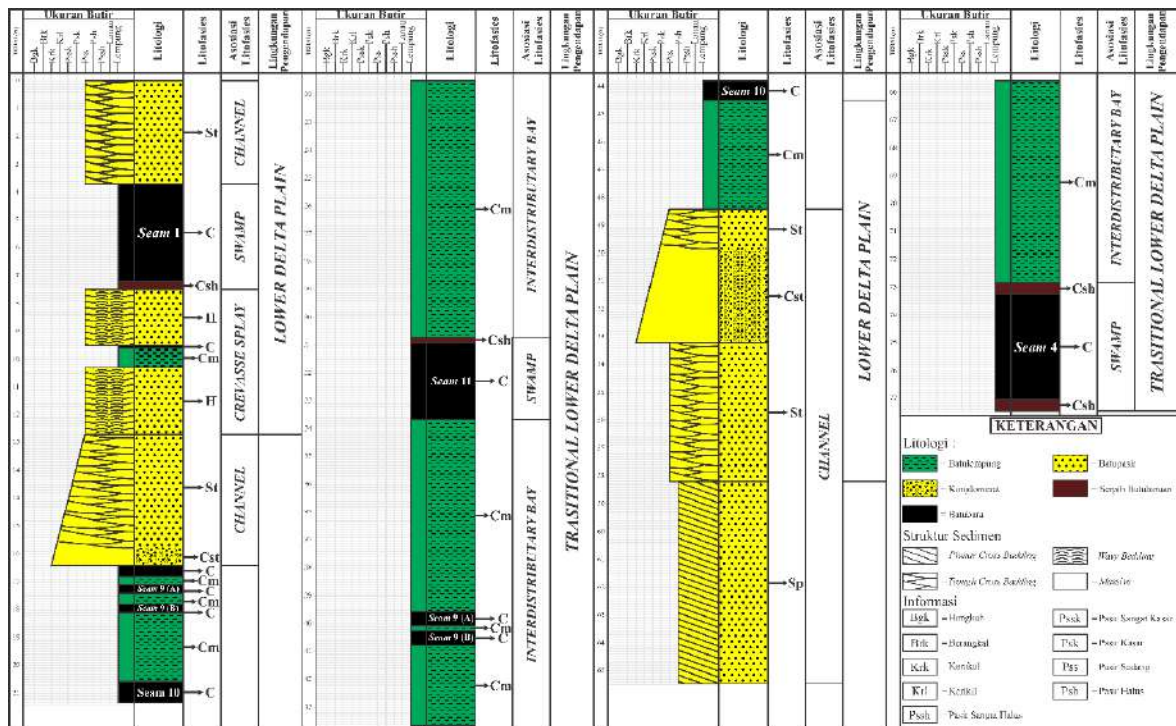
Satuan Batulempung Balikpapan muncul dominan di bagian timur wilayah penelitian dengan pola penyebaran yang mengikuti arah timur laut–barat daya dan memiliki luas sebaran mencapai 35% dari total lokasi penelitian. Satuan ini tersusun oleh rangkaian batuan sedimen yang mencakup batulempung dengan sisipan batubara, batupasir yang diselingi batulanau karbonatan, serta material sedimen halus lainnya. Penentuan umur Satuan Batulempung Balikpapan pada daerah telitian juga didapat dari analisa *polen* di beberapa lokasi pengamatan dan didapatkan *polen* *Florschuetzia trilobata*, *Florschuetzia meridionalis* dan *Stenochlaenidites papuanus*. Berdasarkan hasil tersebut didapat umur Satuan Batulempung Balikpapan yang ada pada daerah telitian Miosen Tengah.

4.2 Analisis Fasies

Litofasies menggambarkan proses yang terjadi dalam pembentukan batuan dan tetap memperhatikan ciri khusus dari kelompok batuan atau dinamakan asosiasi fasies yang mencerminkan lingkungan pengendapannya. Litofasies yang teramati di kawasan penelitian adalah *Conglomerate and massive sandstone*, *Planar Cross Bedding sandstone*, *Trough Cross Bedding*, *Sandstone dominated heterolith*, *Massive claystone*, *Coaly shale*, dan *Coaly* seperti pada Gambar 5. Hasil identifikasi litofasies dari variasi litologi, tekstur, dan struktur sedimen di kawasan penelitian, terdapat empat asosiasi fasies, meliputi *swamp*, *crevasse splay*, *interdistributary bay*, dan *channel* yang menggambarkan lingkungan pengendapan *lower delta plain*. Di sisi lain, asosiasi fasies berupa *swamp*, *channel*, serta *interdistributary bay*, juga menunjukkan keterkaitan dengan lingkungan *transitional lower delta plain*. Acuan pengelompokan fasies di kawasan penelitian, mengadaptasi model lingkungan pengendapan batubara yang diperkenalkan oleh Horne (1978), seperti pada Gambar 6.



Gambar 5. (a) Litofasies Conglomerate and Massive Sandstone, (b) Litofasies Trough Cross Bedding, (c) Litofasies Planar Cross Bedding Sandstone, (d) Litofasies Massive Claystone, (e) Litofasies Heterolith with Wavy Bedding, (f) Litofasies Coaly Shale, (g) Litofasies Coaly.

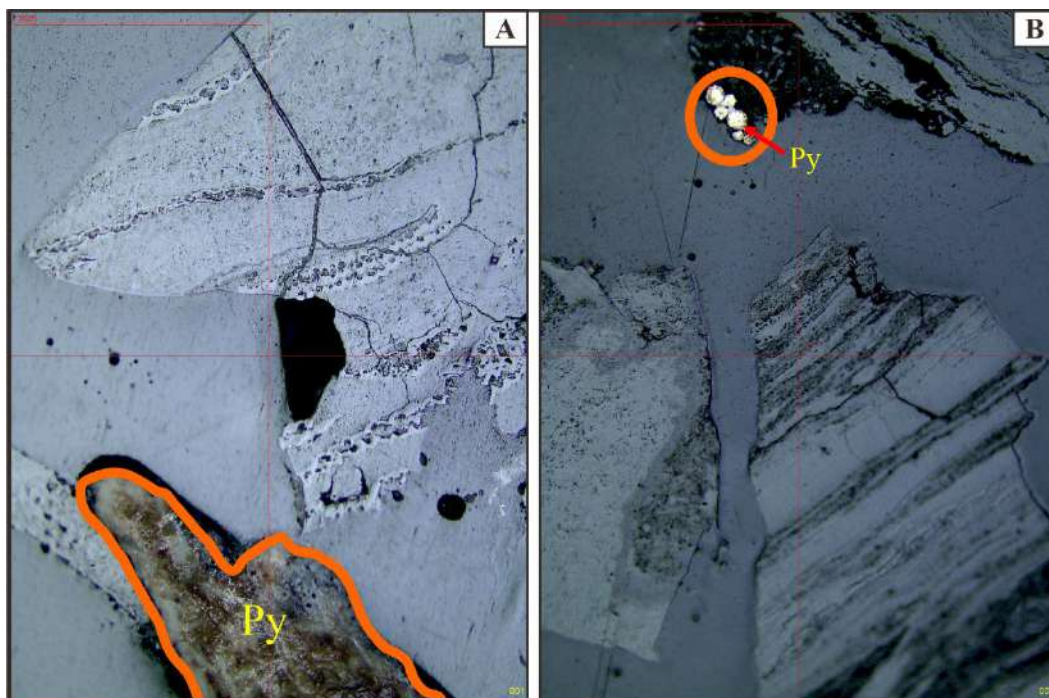


Gambar 6. Hasil Pengukuran Penampang Stratigrafi Daerah Penelitian.

4.3 Lingkungan Pengendapan Satuan Batupasir Balikpapan

Pengamatan lingkungan pengendapan litologi dilihat berdasarkan tiga aspek, yaitu aspek fisika, kimia, dan biologi. Berdasarkan hasil pengamatan megaskopis singkapan, aspek fisika menunjukkan beberapa litotipe batubara, yaitu *banded bright coal*, *banded coal*, *dull coal* dan *shaly coal* serta memiliki lapisan yang tebal. Pengotor pada lapisan batubara ini ditunjukkan oleh hadirnya mineral *resin* dan *parting* yang keterdapatannya setempat – setempat pada lapisan batubara.

Kehadiran sulfur dalam jumlah besar yang terikat sebagai *pyrite* tipe *framboidal* serta *massive* menandakan keterlibatan lingkungan *marine* selama fase pengendapan berlangsung terlihat pada Gambar 7. Dalam batubara terdapat presentase kemunculan mineral pirit dan digunakan sebagai pendekatan analisis aspek kimia. Pada Tabel 1 merupakan hasil analisis mineral batubara, didapatkan kehadiran mineral pirit dari beberapa lokasi pengambilan sampel batubara berkisar antara 0,74% hingga 13,47%. Tingginya kandungan pirit ini menunjukkan bahwa proses pembentukan gambut berlangsung dalam kondisi sedimentasi yang menerima pengaruh intrusi air laut maupun perairan payau. Kandungan *Clay* pada analisis mineral metter menunjukkan angka 0,37% - 0,55%, sedangkan pada analisis *mineral metter* menunjukkan angka 0,37% - 1,29%, mengindikasikan kuarsa yang tinggi. Karakteristik ini menunjukkan lingkungan pengendapan batubara pada Formasi Balikpapan berada pada sistem sedimentasi yang memperoleh pengaruh air laut dan pada saat pembentukan lapisan tersebut terjadi peningkatan suplai sedimen halus, kemungkinan akibat banjir, *crevasse splay*, atau pengaruh pasang surut.



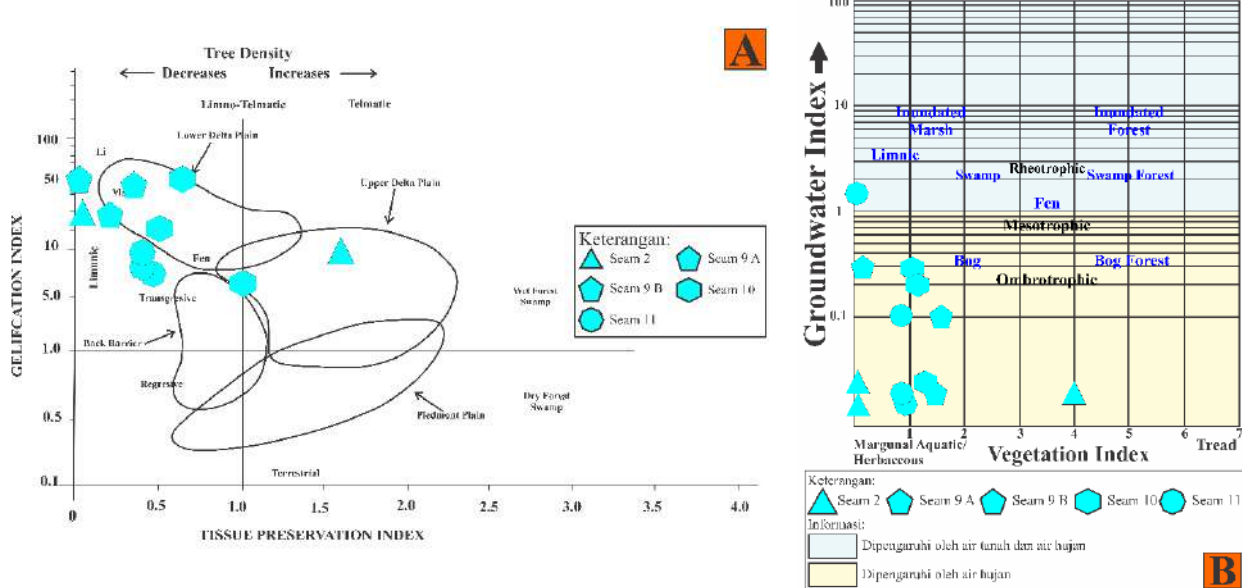
Gambar 7. (A) Fotomikrograf Massive Pyrite, (B) Fotomikrograf Framboidal Pyrite.

Tabel 1. Data Analisis Maseral (Kandungan Mineral).

Analisis Maseral			Batubara Formasi Balikpapan						
Kelompok Maseral	Sub-Kelompok Maseral	Maseral	Seam 1			Seam 4			
			SM 1-1T	SM 1-2M	SM 1-3B	SM 4-1T	SM 4-2M	SM 4-3B	SM 4-4F
MINERALS MATTER		Quartz	0,37%	0,37%	0,55%		0,92%		1,29%
		Pyrit	2,58%	2,21%	2,21%		1,48%	0,74%	13,47%
		Clay		0,55%		0,37%			

Berdasarkan hasil analisis spora dan *polen* untuk aspek biologi pada sampel penelitian, didapatkan fosil *polen* yaitu *Florschuetzia meridionalis*, *Gonystylus*, *Alga*, *Cynobacteria*, *Justicia* (*Acanthaceae*), *Marginiopollis concinnus* dan *Melanorrhea sp.* Fosil *polen* tersebut menurut Morley (1998) merupakan penciri dari sub lingkungan *back mangrove* (*Lower Delta Plain*), sehingga dapat disimpulkan bahwa Satuan Batulempung Balikpapan diendapkan pada lingkungan *lower delta plain* – *Transitional lower delta plain*.

Berdasarkan hasil analisis, rentang nilai TPI tercatat sebesar 0,12% - 0,47%, sedangkan GI berada pada kisaran 1,42% - 27,55%. Melalui pemetaan lima titik sampel ke dalam diagram TPI-GI yang dikembangkan oleh Diessel (1986) pada Gambar 8 (A), *seam* batubara menunjukkan karakteristik GI > 1 disertai TPI < 1. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses akumulasi gambut berlangsung pada lingkungan *limnic* (*low moor*), yaitu kawasan rawa danau yang tergenang air (Taylor, 1998). Sedangkan nilai GWI, didapatkan antara 0,01% – 0,82% dan nilai VI antara 0,07% – 1,02%. Hasil dari perbandingan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam diagram GWI – VI Gambar 8 (B).



Gambar 8. (A) Indikator Fasies Batubara TPI – GI (Diessel, 1986), (B) Indikator Fasies Batubara GWI – VI (Calder, 1991).

4.4 Lingkungan Pengendapan Satuan Batulempung Balikpapan

Berdasarkan hasil pengamatan megaskopis singkapan, aspek fisika menunjukkan beberapa litotipe batubara, yaitu *bright coal*, *banded bright coal*, *banded coal*, *banded dull coal*, *dull coal*, *fibrous coal*, *shaly coal* dan *claystone*, serta memiliki lapisan yang tebal. Pengotor pada lapisan batubara ini

ditunjukkan oleh hadirnya mineral *resin* dan *parting* yang keterdapatannya setempat – setempat pada lapisan batubara.

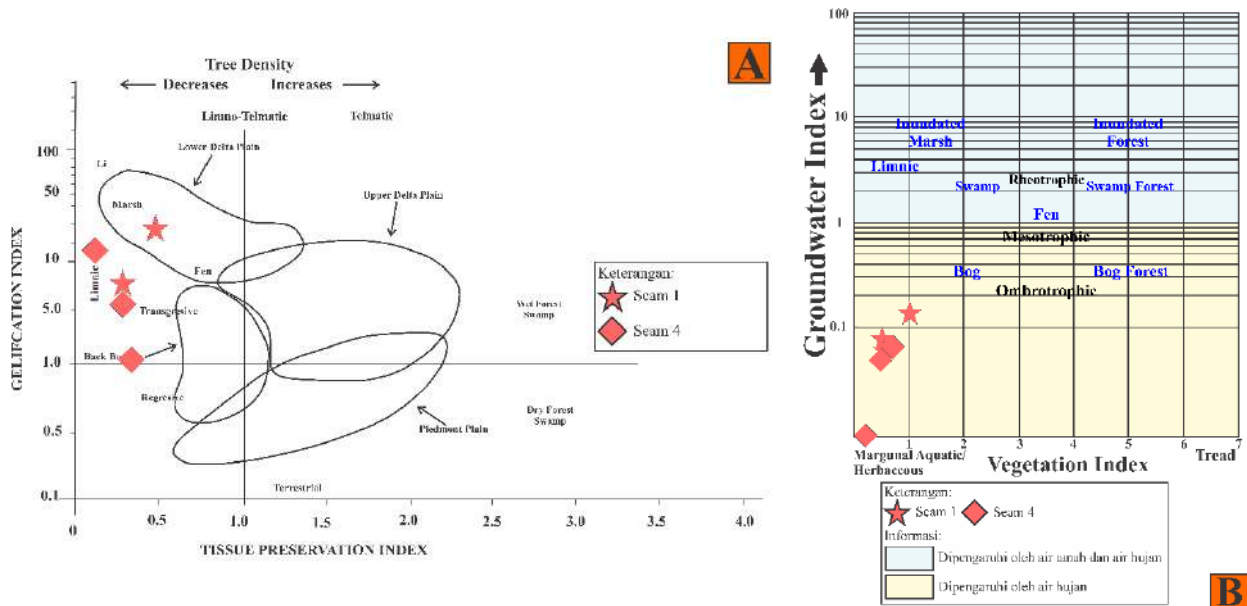
Kehadiran sulfur dalam jumlah besar yang terikat sebagai *pyrite* tipe *framboidal* serta *massive* menandakan keterlibatan lingkungan *marine* selama fase pengendapan berlangsung terlihat pada Gambar 7. Pada Tabel 2 merupakan hasil analisis mineral batubara, didapatkan kehadiran mineral pirit dari beberapa lokasi pengambilan sampel batubara berkisar 0,18% hingga 20,18%. Tingginya kandungan pirit ini menunjukkan bahwa proses pembentukan gambut berlangsung dalam kondisi sedimentasi yang menerima pengaruh intrusi air laut maupun perairan payau. Kandungan *Clay* pada analisis mineral metter menunjukkan angka 0,55% - 0,92%, sedangkan pada analisis *mineral metter* menunjukkan angka 0,37% - 1,29%, mengindikasikan kuarsa yang tinggi. Karakteristik ini menunjukkan lingkungan pengendapan batubara pada Formasi Balikpapan berada pada sistem sedimentasi yang memperoleh pengaruh air laut dan pada saat pembentukan lapisan tersebut terjadi peningkatan suplai sedimen halus, kemungkinan akibat banjir, *crevasse splay*, atau pengaruh pasang surut.

Tabel 2. Data analisis maseral (kandungan mineral).

Analisis Maseral			Batubara Formasi Balikpapan													
Kelompok Maseral	Sub-Kelompok Maseral	Maseral	Seam 2			Seam 9				Seam 10			Seam 11			
			SM 2-1R	SM 2-2T	SM 2-1M	SM 9(A)-1T	SM 9(A)-2M	SM 9(B)-1T	SM 9(B)-2M	SM 10-1T	SM 10-2M	SM 10-3B	SM 11-1R	SM 11-2T	SM 11-3M	SM 11-4RB
MINERALS MATTER		Quartz	2,02%		0,37%	0,92%		0,73%	0,18%		0,92%		0,55%			1,10%
		Pyrit	0,73%	0,55%	0,37%	2,20%		14,50%	0,18%	1,83%	5,87%	0,18%	0,73%	0,18%		20,18%
		Clay	0,92%								0,55%	0,55%				

Berdasarkan hasil analisis spora dan *polen* untuk aspek biologi pada sampel penelitian, didapatkan fosil *polen* yaitu *Florschuetzia meriodinalis*, *Gonystilus*, *Timonius*, *Alga*, *Cynobacteria*, *Marginiopollis concinnus*, *Retitricolporites annulatus*, *Striapollis bellus*, *Heterocolpites sp*, *Randiapollis sp*, *Melanorrhea sp* dan *Macaranga*. Fosil *polen* tersebut menurut Morley (1998) merupakan penciri dari sub lingkungan *back mangrove (Lower Delta Plain)*, sehingga dapat disimpulkan bahwa Satuan Batulempung Balikpapan diendapkan pada lingkungan *lower delta plain – Transitional lower delta plain*.

Dari hasil pengeplotan pada Gambar 9. (A) didapatkan rata – rata lingkungan pengendapan ini terendapkan pada lingkungan *limno-telmatic* mengarah ke arah lingkungan transisi, dimana karakteristik batubara mendominasinya maseral sebagai indikator berupa tipe maseral collodetrinit salah satu penciri daerah *marsh*, didukung dengan harga TPI rendah sampai menengah serta harga GI tinggi sampai sangat tinggi. Sedangkan, untuk hasil pengeplotan GWI – VI pada Gambar 9. (B) menunjukkan bahwa dari beberapa sampel yang telah diamati, batubara pada daerah penelitian ini dipengaruhi oleh air hujan akibat pengaruh iklim tropis untuk proses penggabungan. Pada sampel *seam* sebelas mengalami proses dipengaruhi air hujan dan air tanah, dimana ini mengindikasikan adanya penurunan permukaan air tanah yang mengakibatkan batubara mengalami penggabungan antara air tanah dan air hujan.



Gambar 9. (A) Indikator Fasies Batubara TPI – GI (Dissel, 1986), (B) Indikator Fasies Batubara GWI – VI (Calder, 1991).

Berdasarkan analisis fasies batubara menggunakan pendekatan Diessel (1986) dan Calder (1991), karakteristik pembentukan batubara memperlihatkan dominasi ekosistem rawa *marsh* yang berkembang pada kondisi *limnic* atau *low moor*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa akumulasi gambut berlangsung pada rawa bertipe *bog* yang morfologinya menyerupai tonjolan kubah maupun punggung gambut, dengan suplai air lebih banyak dikendalikan oleh genangan permukaan daripada pengaruh *drainase fluvial* aktif. Berdasarkan *vegetation index* (VI) maka jenis tumbuhan asal pembentuk batubara Balikpapan adalah tanaman perdu (*harbaceous*). Berdasarkan hasil analisa palinologi, lingkungan pengendapan batubara Formasi Balikpapan diendapkan pada lingkungan *back mangrove* (*lower delta plain*).

5. KESIMPULAN

Stratigrafinya terdiri atas Satuan Batupasir Balikpapan dan Satuan Batu lempung Balikpapan yang selaras dan berumur Miosen Tengah. Karakteristik fisik batubara teramati pada enam lapisan, yaitu *Seam 1, 2, 4, 9, 10, dan 11*. Pengamatan megaskopis mengidentifikasi delapan litotipe Diessel (1965), yaitu *bright coal, banded bright coal, banded coal, banded dull coal, dull coal, fibrous coal, shaly coal, dan claystone*. Litotipe tersebut umumnya keras dan rapuh, kecuali *shaly coal* serta *claystone* yang lunak, dengan *brightness* 5-60%. Maseralnya didominasi vitrinit, dengan pengotor *resin, parting* lempung, dan pirit 0,18-20,11%.

Lingkungan pengendapan daerah penelitian dicirikan oleh tujuh litofasies yang membentuk empat asosiasi fasies, yaitu *channel, interdistributary bay, crevasse splay, dan swamp*. Diagram TPI-GI, menempatkan gambut pada rawa marsh berkondisi *limnic*, sedangkan diagram GWI-VI, menunjukkan pasokan air dominan dari air hujan. Kehadiran polen penciri *back mangrove*, serta pirit *framboidal* menegaskan lingkungan *lower delta plain* yang dipengaruhi air payau

Karakteristik fisik batubara mencerminkan dinamika lingkungan pengendapannya. Litotipe *bright coal* dan *banded bright coal* yang kaya vitrinit terbentuk pada rawa *swamp* stabil, sedangkan *dull coal, shaly coal, dan claystone* yang berpengotor tinggi berkembang pada *interdistributary bay*. Pirit

framboidal pada Seam 1, 9, dan 11 merekam intrusi air laut anoksik. Dengan demikian, lingkungan pengendapan yang mengontrol litotipe dan maseral, sementara hidrologi menentukan gelifikasi dan proses material organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, A., Purnama, Y. S., Suandhi, P. A., Krisyuniyanto, A., Rozalli, M., Nugroho, D. H. H., & Suleiman, A. (2013). *The Tertiary paleogeography of the Kutai Basin and its unexplored hydrocarbon plays*.
- Calder, J. H., Gibling, M. R., & Mukhopadhyay, P. K. (1991). *Peat formation in a westphalian B piedmont setting, cumberland basin, Nova Scotia: Implications for the maceral-based interpretation of rheotrophic and raised paleomires*. Contribution series No. 91-002.
- Diessel, C. F. K. (1965). Correlation of macro-and micropetrography of some New South Wales coals. *Proceedings-General*, 6, 669–677.
- Diessel, C. F. K. (1986). On the correlation between coal facies and depositional environments. *Proceeding of 20th Symposium of Department of Geology. University Newcastle, NSW pp 19-22*.
- Horne, J. C., Ferm, J. C., Caruccio, F. T., & Baganz, dan B. P. (1978). Depositional models in coal exploration and mine planning in Appalachian region. *AAPG Bulletin*, 62(12), 2379–2411.
- Indonesia, K. S. S. (1996). *Sandi Stratigrafi Indonesia. Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, 14.
- Jamaluddin, Schöpfer, K., Wagreich, M., Maria, Gier, S., & Fathy, D. (2024b). Effect of Depositional Environment and Climate on Organic Matter Enrichment in Sediments of the Upper Miocene–Pliocene Kampungbaru Formation, Lower Kutai Basin, Indonesia. *Geosciences*, 14(6), 164.
- Jamaluddin, Wagreich, M., Gier, S., Schöpfer, K., & Battu, D. P. (2023). Sedimentary Environments and Paleoclimate Control of the Middle Miocene Balikpapan Group, Lower Kutai Basin (Indonesia): Implications for Evaluation of the Hydrocarbon Potential. *Minerals*, 13(10), 1259.
- Lamberson, M. N., Bustin, R. M., & Kalkreuth, W. (1991). Lithotype (maceral) composition and variation as correlated with paleo-wetland environments, Gates Formation, northeastern British Columbia, Canada. *International Journal of Coal Geology*, 18(1–2), 87–124.
- Margaesa, D., Isnaniawardhani, V., & Mardiana, U. (2013). FASIES PENGENDAPAN BATUBARA SEAM X25 FORMASI BALIKPAPAN BERDASARKAN LOG INSIDE CASING DI DAERAH SEPARI, KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 8(3), 141–152.
- McClay, K., Dooley, T., Ferguson, A., & Poblet, J. (2000). Tectonic evolution of the Sanga Sanga Block, Mahakam Delta, Kalimantan, Indonesia. *AAPG Bulletin*, 84(6), 765–786.
- Morley, R. J. (1998). Palynological evidence for Tertiary plant dispersals in the SE Asian region in relation to plate tectonics and climate. *Biogeography and Geological Evolution of SE Asia*, 1, 211–234.
- Moss, S. J., & Chambers, J. L. C. (1999). Tertiary facies architecture in the Kutai basin, Kalimantan, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17(1–2), 157–181.
- Nichols, G. (2009). Introduction: Sedimentology and stratigraphy. *In Sedimentology and Stratigraphy*.
- Satyana, A. H., Nugroho, D., & Surantoko, I. (1999). Tectonic controls on the hydrocarbon habitats of the Barito, Kutei, and Tarakan Basins, Eastern Kalimantan, Indonesia: major dissimilarities in adjoining basins. *Journal of Asian Earth Sciences*, 17(1–2), 99–122.
- Selley, R., C. (1985). *Ancient Sedimentary Environment 3rd Edition*. Cornell University Press.
- Suhayadi, F. (2022). Kajian Lingkungan Pengendapan Berdasarkan Karakteristik Batubara Formasi Pulau Balang. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 1-8.
- Supriatna, S., Sukardi, & Rustandi, E. (1995). *Geological Map Of The Samarinda Sheet, Kalimantan 1:250.000 Scale*. Geological Research And Development Centre 1995.
- Taylor, G. H., Teichmüller, M., Davis, A., Diessel, C. F. K., Littke, R., & Robert, P. (1998). *Organic petrology*.
- Tresnanto, T., Andriana S., Y., & Muljana, B. (2014). Analisis Anomali Kandungan Total Sulfur dalam Penentuan Lingkungan Pengendapan Batubara Seam X78 Formasi Balikpapan di Daerah Separi, Kalimantan Timur. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 9(2), 121–138.
- Win, C. T. (2014). A Comparison of Maceral and Microlithotype Indices for Interpretation of Coals in the Samarinda Area, Lower Kutai Basin, Indonesia. *Advances in Geology*, 2014, Artikel 571895.
- Yuniardi, Y. (2012). Petroleum System Cekungan Kutai Bagian Bawah, Daerah Balikpapan dan Sekitarnya, Propinsi Kalimantan Timur. *Bulletin of Scientific Contribution*, 10(1), 12–17.