JURNAL
GEOSAINS DAN TEKNOLOGI
Volume 9 Nomer 2, Oktober 2026

Kontrol Lingkungan Pengendapan Transisional Terhadap Pengayaan Material Organik pada Sedimen Daerah Karang Joang, Balikpapan Utara, Kota Balikpapan

Jamaluddin*
Program Studi Rekayasa Geologi, Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan, Kota Balikpapan

Abstrak
Sedimen di daerah Karang Joang merepresentasikan sistem sedimentasi transisional yang kompleks. Variasi hidrodinamika dan laju sedimentasi di lingkungan ini menjadi faktor pengendali utama distribusi dan preservasi material organik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekayaan material organik pada suksesi sedimen silisiklastik di daerah Baturatna, Tepo, TPK Kariangau, dan Sei Wain. Analisis geokimia organik dilakukan terhadap 16 sampel batuan yang terdiri dari litofasies batubara, batulempung, dan batulanau untuk menentukan nilai *Total Organic Carbon* (TOC), *Total Inorganic Carbon* (TIC), *Calcite Equivalent* dan petrografi organik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai TOC pada daerah penelitian sangat bervariasi, berkisar antara 0,19 wt.% hingga 9,82 wt.%. Nilai tertinggi ditemukan pada batulempung karbonat di lokasi Baturatna (BR4 9,82 wt.% dan BR1 8,33 wt.%) yang dikategorikan sebagai batuan induk dengan potensi sangat baik. Sampel batulempung pada lokasi Tepo dan TPK Kariangau secara konsisten menunjukkan potensi baik hingga sangat baik dengan rerata TOC 1,36–3,84 wt.%. Sebaliknya, nilai TOC terendah terdapat pada batulanau (TP4 0,19 wt.%) yang mengindikasikan bahwa energi lingkungan pengendapan dan ukuran butir berpengaruh signifikan terhadap preservasi material organik. Rendahnya kandungan *Calcite Equivalent* (rata-rata < 2 wt.%) di seluruh lokasi mengindikasikan dominasi sistem pengendapan silisiklastik terigen dengan pengaruh laut yang minim. Analisis petrografi organik menunjukkan dominasi maseral vitrinit dan kelompok liptinit (sporinit, resinit, liptodetrinit) yang mengindikasikan input tumbuhan darat yang dominan. Kehadiran inertinit berupa funginit dan sklerotinit mengindikasikan degradasi biokimia pada fase awal penggambutan. Keberadaan mineral pirit (FeS_2) granular menunjukkan keterkaitan kontrol lingkungan pengendapan transisional dalam kondisi reduksi.

Kata kunci: Batuan Induk; Delta; Geokimia Organik; Silisiklastik; *Total Organic Carbon*.

Abstract
Sediments from Karang Joang represent a complex transitional sedimentary system. Variations in hydrodynamics and sedimentation rates are key controls on the distribution and preservation of organic matter. This study aims to evaluate the organic matter richness of siliciclastic sedimentary successions in the Baturatna, Tepo, TPK Kariangau, and Sei Wain areas. Organic geochemical analysis were conducted on 16 rock samples comprising coal, claystone, and siltstone lithofacies to determine Total Organic Carbon (TOC), Total Inorganic Carbon (TIC),,Calcite Equivalent and Organic petrography analysis. The results indicate that TOC values in the study area exhibit considerable variability, ranging from 0.19 wt.% to 9.82 wt.%. The highest TOC values occur in carbonaceous shale from the Baturatna area (BR4 9.82 wt.% and BR1 8.33 wt.%), which are classified as source rocks with excellent potential. Claystone samples from the Tepo and TPK Kariangau areas consistently show good to very good source rock potential, with average TOC values ranging from 1.36 to 3.84 wt.%. In contrast, the lowest TOC value is recorded in siltstone (TP4: 0.19 wt.%), indicating that depositional energy conditions and grain size exert a significant control on organic matter preservation. The low calcite equivalent values (average < 2 wt.%) across all locations indicate

* Korespondensi: Jamaluddin@sttmigas.ac.id
Diajukan : 23 Januari 2026
Diterima : 17 April 2026
Diterbitkan : 30 Oktober 2026 DOI : 10.14710/jgt.9.2.2026.132-145

the dominance of a terrigenous siliciclastic depositional system with minimal marine influence. Organic petrographic analysis reveals the dominance of vitrinite and liptinite maceral groups (sporinite, resinite, and liptodetrinite), suggesting a predominantly terrestrial plant input. The presence of inertinite macerals, including funginite and sclerotinite, indicates early-stage biochemical degradation during peat accumulation. Furthermore, the occurrence of granular pyrite (FeS_2) reflects the influence of transitional depositional environments under reducing conditions.
Keywords: *Source Rock; Delta; Organic Geochemistry; Siliciclastic; Total Organic Carbon.*

PENDAHULUAN

Lingkungan pengendapan transisional merupakan sistem sedimentasi yang dicirikan oleh dinamika proses pengendapan yang kompleks akibat interaksi antara proses fluvial dan marin. Variasi energi pengendapan, perubahan suplai sedimen, serta fluktuasi kondisi oksidasi–reduksi (redoks) pada lingkungan ini berperan penting dalam mengontrol karakter fasies sedimen serta akumulasi dan pengawetan material organik (Permana dkk., 2022; Jamaluddin dkk., 2025a). Oleh karena itu, pemahaman terhadap keterkaitan antara karakter fasies dan kandungan material organik menjadi aspek fundamental dalam interpretasi lingkungan pengendapan transisional.

Total Organic Carbon (TOC) merupakan parameter geokimia utama yang merepresentasikan kelimpahan material organik dalam sedimen sebagai indikator awal potensi batuan induk (Permana dkk., 2018; Jamaluddin dkk., 2024a). Nilai TOC pada sedimen transisional umumnya menunjukkan variasi yang signifikan akibat perbedaan kondisi lingkungan pengendapan, khususnya terkait tingkat energi sedimentasi, laju pengendapan klastik, serta intensitas proses oksidasi selama dan setelah pengendapan (Jamaluddin dkk., 2024a,b). Oleh sebab itu, analisis TOC perlu dikaji secara terintegrasi dengan karakter sedimentologi dan fasies untuk memperoleh interpretasi yang komprehensif mengenai kontrol lingkungan pengendapan.

Pendekatan analisis fasies sedimen melalui pengamatan litologi, struktur sedimen, tekstur, dan asosiasi fasies pada singkapan permukaan memberikan dasar yang kuat dalam penentuan lingkungan pengendapan (Husein dan Lambiase, 2013; Cibaj dkk., 2014). Identifikasi fasies dan asosiasi fasies memungkinkan rekonstruksi perubahan lingkungan pengendapan secara vertikal maupun lateral yang selanjutnya dapat dikorelasikan dengan variasi kandungan material organik. Integrasi antara data fasies dan data geokimia organik menjadi kunci untuk memahami mekanisme pengontrol distribusi material organik pada sistem pengendapan transisional.

Daerah Karang Joang, Balikpapan Utara, secara regional termasuk dalam sistem sedimentasi Cekungan Kutai yang telah dikenal luas sebagai cekungan penghasil hidrokarbon. Namun demikian, sebagian besar kajian sebelumnya lebih berfokus pada data bawah permukaan, sementara studi berbasis singkapan permukaan yang mengintegrasikan analisis sedimentologi dan geokimia organik masih terbatas. Singkapan di daerah Karang Joang memiliki peluang untuk mengkaji secara langsung hubungan antara karakter fasies sedimen dan kandungan material organik, sehingga dapat memberikan gambaran awal mengenai kontrol lingkungan pengendapan terhadap akumulasi material organik pada skala permukaan.

Keterbatasan kajian terintegrasi geokimia organik dan sedimentologi pada singkapan permukaan di wilayah ini menimbulkan kesenjangan pemahaman mengenai bagaimana variasi lingkungan pengendapan transisional mempengaruhi pengayaan material organik. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang dengan pendekatan terintegrasi yang meliputi analisis sedimentologi dan fasies berdasarkan pengamatan singkapan, serta analisis TOC dan organik petrografi sebagai parameter kuantitatif kandungan material organik. Integrasi kedua pendekatan tersebut diharapkan mampu mengungkap hubungan sebab–akibat antara karakter lingkungan pengendapan transisional dan variabilitas TOC.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik fasies sedimen pada singkapan Karang Joang melalui analisis sedimentologi, serta mengevaluasi variasi nilai *Total Organic Carbon* (TOC) dan komposisi maseral pada sedimen transisional.

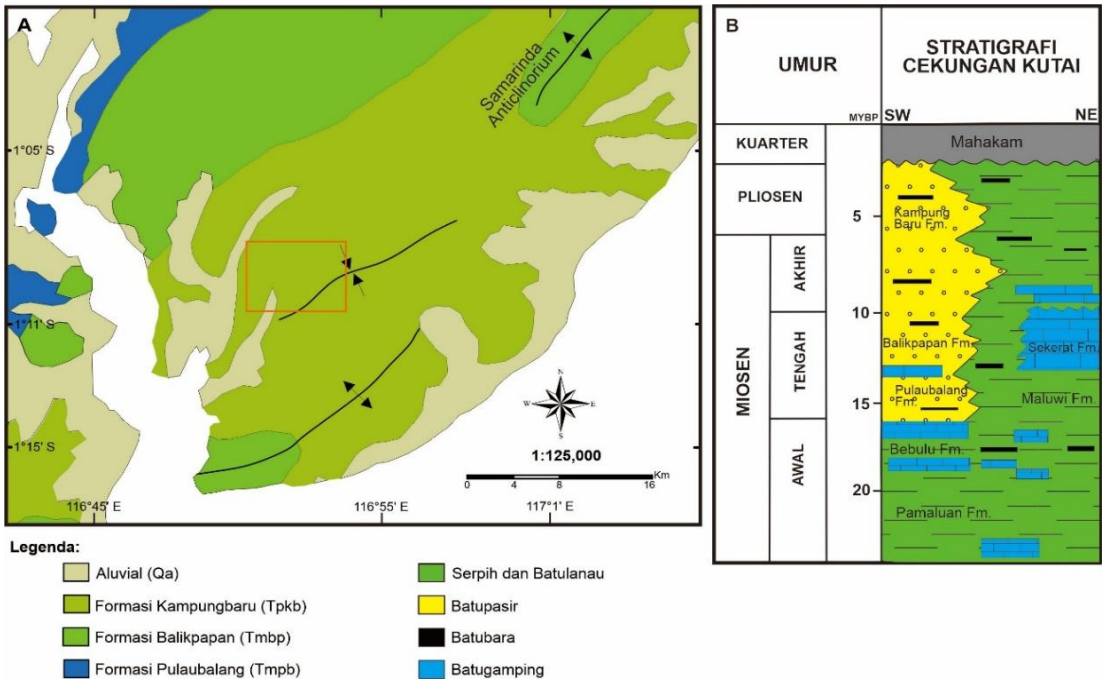
Geologi Regional Daerah Penelitian

Daerah Karang Joang, Balikpapan Utara, secara regional termasuk ke dalam Cekungan Kutai, salah satu cekungan sedimen terbesar dan terproduktif di Indonesia. Cekungan ini berkembang sebagai cekungan busur belakang *(back-arc basin)* sejak Kala Paleogen hingga Neogen, yang dikontrol oleh interaksi tektonik antara Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan sistem subduksi di bagian timur Kalimantan (Moss dan Chambers, 1999; Metcalfe, 2011; Hall dan Nichols, 2002). Aktivitas tektonik tersebut menghasilkan ruang akomodasi yang besar dan mendukung pengendapan sedimen klastik dalam jumlah signifikan.

Secara fisiografi, wilayah Balikpapan Utara berada pada zona peralihan antara dataran rendah pesisir dan perbukitan bergelombang lemah hingga sedang (Hidayat dan Umar, 1994; Zetri dkk., 2020; Battu dkk., 2023; Prabowo dkk., 2023). Morfologi ini mencerminkan dominasi litologi sedimen klastik berumur Tersier yang relatif belum mengalami deformasi intensif. Pola aliran sungai umumnya berkembang secara dendritik hingga subdendritik yang mengindikasikan kontrol litologi yang relatif homogen serta kemiringan lapisan yang rendah.

Stratigrafi regional daerah penelitian didominasi oleh satuan batuan sedimen berumur Miosen Akhir hingga Pliosen yang secara umum diasosiasikan dengan Formasi Balikpapan dan Formasi Kampungbaru (Hidayat dan Umar, 1994; Satyana, 1999; Jamaluddin dkk., 2024b) (Gambar 1A). Formasi Balikpapan umumnya tersusun atas batupasir, batulempung, serpih, dan sisipan batubara yang diendapkan pada lingkungan delta hingga delta plain. Sementara itu, Formasi Kampungbaru dicirikan oleh dominasi batupasir berselingan dengan batulempung dan lanau yang mencerminkan lingkungan pengendapan transisional hingga laut dangkal, dengan pengaruh fluvial dan marin yang kuat (Satyana, 1999) (Gambar 1B).

Secara regional, sistem pengendapan di Cekungan Kutai pada interval waktu tersebut dipengaruhi oleh perkembangan sistem delta besar yang berprogradasi ke arah timur. Proses progradsi delta ini menghasilkan variasi fasies lateral dan vertikal yang kompleks, termasuk fasies saluran fluvial, dataran delta, front delta, hingga lingkungan pesisir dan laut dangkal (Marks, 1982; Moss and Chambers, 1999; Marshall dkk., 2015). Variasi lingkungan pengendapan ini berimplikasi langsung terhadap karakter sedimentologi dan distribusi material organik pada sedimen yang terendapkan.



Gambar 1. Kolom stratigrafi daerah penelitian (modifikasi Marks, 1982; Satyana, dkk., 1999; Jamaluddin dkk.,2024b**).** Daerah penelitian berada pada Formasi Balikpapan, Cekungan Kutai yang berumur Miosen Tengah (kotak biru).

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif–analitis dengan integrasi data lapangan dan data laboratorium. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakter sedimentologi dan fasies sedimen, serta menganalisis variasi kandungan material organik berdasarkan nilai *Total Organic Carbon* (TOC) dan petrografi organik pada daerah Karang Joang, Balikpapan Utara. Integrasi antara data sedimentologi dan geokimia organik digunakan sebagai dasar interpretasi lingkungan pengendapan transisional dan mekanisme pengontrol variabilitas TOC.

Pengumpulan data lapangan dilakukan melalui pengamatan langsung pada singkapan batuan sedimen di daerah penelitian. Kegiatan lapangan meliputi pengukuran penampang stratigrafi terukur *(measured section)*, deskripsi litologi, identifikasi struktur sedimen, pengamatan tekstur batuan, serta pencatatan hubungan antar lapisan. Parameter sedimentologi yang diamati meliputi ukuran butir, sortasi, kemas butir, komposisi mineral, serta keberadaan material organik secara megaskopis. Data fasies ditentukan berdasarkan asosiasi karakter litologi dan struktur sedimen yang mencerminkan proses pengendapan tertentu. Klasifikasi litofasies selanjutnya mengacu pada skema litofasies fluvial yang dikembangkan oleh Miall (1985;1996) yang digunakan sebagai dasar interpretasi lingkungan pengendapan dan dinamika sistem sedimentasi pada sedimen transisional.

Analisis laboratorium meliputi analisis *Total Organic Carbon* (TOC) dan petrografi organik pada 16 (enam belas) sampel berupa sampel batulanau, batulempung, dan batulempung karbonat. Pengukuran TOC dilakukan menggunakan instrumen Eltra Helios C/S dengan metode pembakaran suhu tinggi. Sampel dibersihkan, dikeringkan dalam oven pada suhu 40 °C selama 24 jam, dihaluskan hingga homogen, kemudian ditimbang sekitar 60–80 mg untuk setiap analisis.

Analisis petrografi organik dilakukan pada sampel batulempung dan batulempung karbonat dengan nilai TOC tinggi untuk menentukan komposisi maseral. Pengamatan dilakukan pada sayatan poles *(polished blocks)* menggunakan mikroskop Leica MPV dengan sinar pantul putih dan fluoresen. Klasifikasi dan prosedur analisis mengacu pada standar ICCP (1993; 1998; 2001).

Evaluasi pola distribusi dan kualitas material organik dari data laboratorium yang dianalisis menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA). PCA adalah metode statistik multivariat yang mereduksi variabel saling berkorelasi menjadi komponen utama (PC1, PC2, dst.) yang tidak berkorelasi, sehingga mempermudah identifikasi pola distribusi dan pengelompokan sampel. Tujuan PCA dalam penelitian ini adalah untuk menilai variasi kandungan material organik serta mengidentifikasi faktor lingkungan pengendapan yang paling berpengaruh.

HASIL

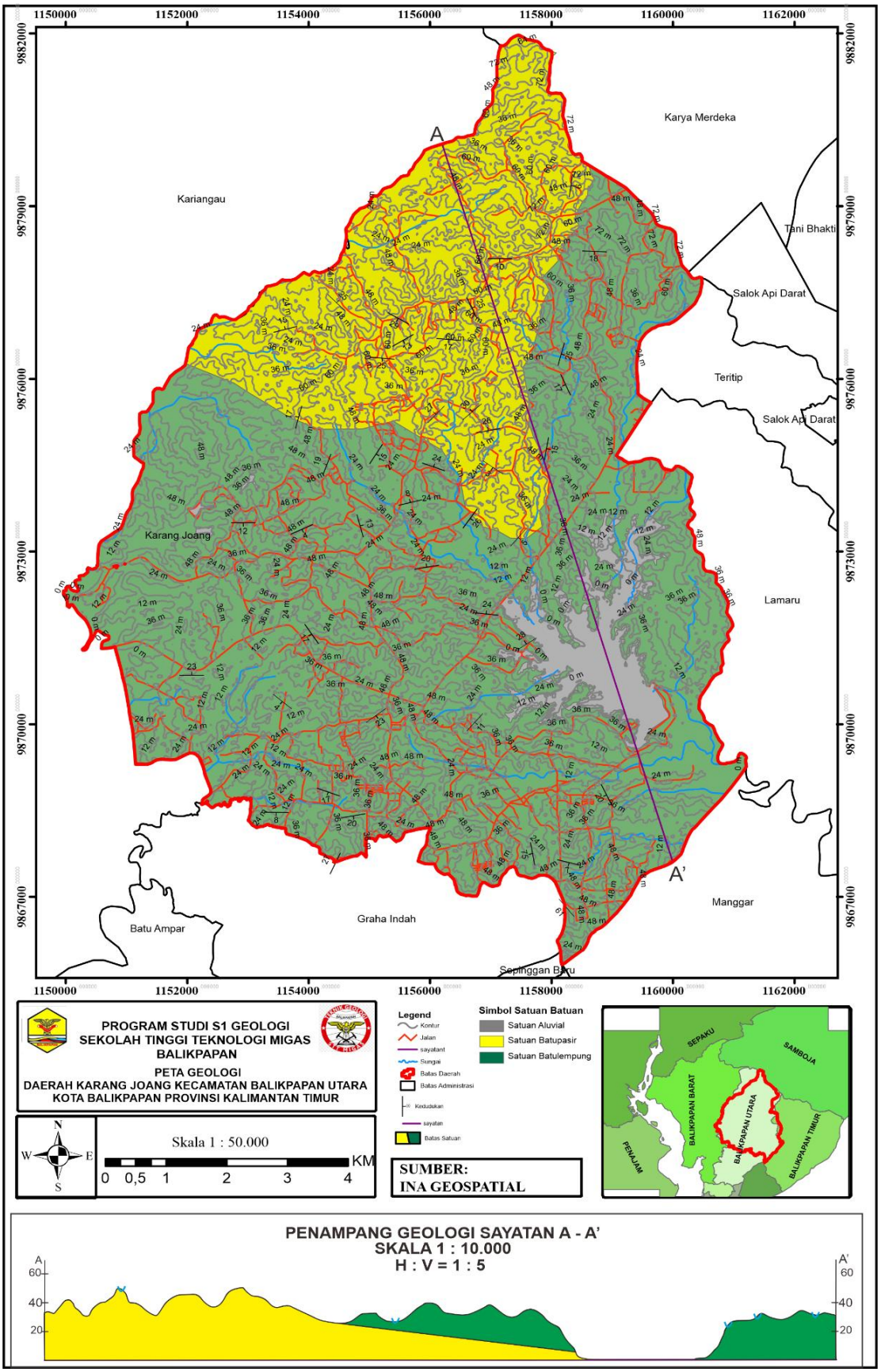
Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan peta geologi daerah penelitian (Gambar 2), satuan batuan penyusun daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tiga satuan utama, yaitu Satuan Aluvial, Satuan Batupasir, dan Satuan Batulempung. Hubungan stratigrafi antar satuan menunjukkan urutan pengendapan dari lingkungan darat hingga transisional.

Satuan aluvial berada pada sebagian kecil wilayah pemetaan, terutama berkembang di sepanjang dataran banjir sungai dan lembah-lembah rendah. Satuan ini tersusun atas material lepas berupa pasir, lanau, dan lempung, dengan ukuran butir halus hingga sedang (sekitar 1/16 mm).

Satuan batupasir memiliki sebaran cukup luas, terutama di bagian utara hingga tengah daerah penelitian. Satuan ini tersingkap dan memiliki ciri-ciri megaskopis yaitu kuning keputihan dengan ukuran butir *fine sand – very fine sand* (1/4 mm – 1/16 mm), *fragmen sand*, matriks *clay*, derajat kebundaran *well-rounded*, sortasi *very well-sorted*, kemas tertutup, semen berupa silika dan oksida.

Satuan batulempung merupakan satuan yang paling dominan sekitar 60% wilayah pemetaan, terutama di bagian selatan dan barat daya. Satuan ini memiliki ciri-ciri megaskopis yaitu berwarna abu-abu, coklat, dan kuning dengan ukuran butir *clay* (<1/256 mm), matriks *clay*, derajat kebundaran *well-rounded*, sortasi *very well-sorted*, kemas tertutup, semen berupa silika.



Gambar 2. Peta geologi daerah Karang Joang, Kecamatan Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur yang menunjukkan sebaran satuan litologi.

Deskripsi dan Klasifikasi Litofasies Daerah Penelitian

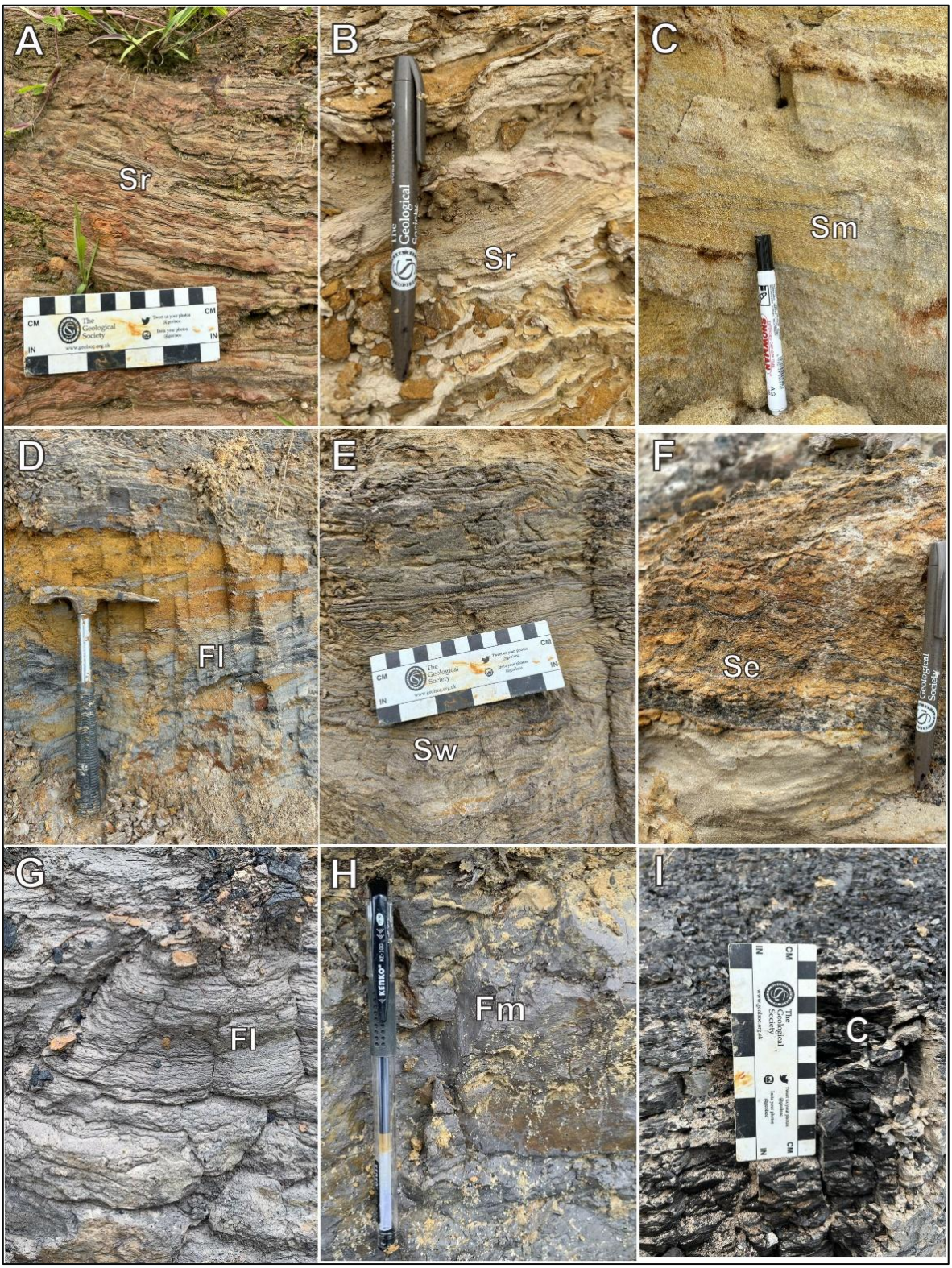
Berdasarkan analisis singkapan di daerah Karang Joang, teridentifikasi sembilan litofasies utama, yaitu *rippled sandstone* (Sr), *climbing ripple sandstone* (Sr), *massive sandstone* (Sm), *intraclast-rich sandstone* (Se), *wavy bedded heterolithic facies* (Fl), *wavy laminated sandstone* (Sw), *lenticular bedded mudstone* (Fl), *massive mudstone* (Fm), dan batubara (C) (Gambar 3; Tabel 1). Litofasies batupasir dicirikan oleh variasi ukuran butir halus hingga kasar, dengan struktur sedimen berupa laminasi riak, laminasi bergelombang, struktur masif, serta kehadiran fragmen rombakan lempung. Litofasies heterolitik menunjukkan perselingan pasir, lanau, dan lempung dengan geometri *wavy* hingga lentikular. Litofasies batulempung berkembang sebagai endapan masif berwarna abu-abu gelap dengan dominasi material berbutir halus, sedangkan litofasies batubara dicirikan oleh warna hitam dan kandungan material organik yang tinggi. Keseluruhan litofasies diklasifikasikan berdasarkan skema Miall (1985; 1996).

Kandungan Karbon Organik (TOC) dan Total Inorganic Carbon (TIC)

Analisis laboratorium terhadap 16 sampel batuan menunjukkan variasi kandungan karbon yang cukup kontras di setiap lokasi pengamatan (Tabel 2). Kandungan *Total Organic Carbon* (TOC) tertinggi terdapat pada sampel batulempung karbonat di lokasi Baturatna, khususnya pada kode sampel BR4 dengan nilai 9,82 wt.% dan BR1 sebesar 8,33 wt.%. Batulempung memiliki nilai TOC berkisar 1,36 wt.% hingga 3,84 wt.% dengan persentase tertinggi berada pada sampel TP2 (Tepo) dan KR2 (Kariangau). Sebaliknya, batulanau secara konsisten menunjukkan angka TOC terendah, di mana nilai terkecil ditemukan pada sampel TP4 sebesar 0,19 wt.%, diikuti oleh TP1 sebesar 0,62 wt.%.

Tabel 1 Klasifikasi dan deskripsi litofasies daerah penelitian berdasarkan pengamatan singkapan dan kodifikasi Miall (1985; 1996).

Foto	Penamaan Litofasies	Kode Fasies	Deskripsi & Struktur Sedimen
A	*Rippled Sandstone*	Sr	Batupasir halus dengan perlapisan silang-siur mikro (*ripple cross-lamination*) akibat arus energi rendah.
B	*Climbing Ripple Sandstone*	Sr	Batupasir dengan laminasi riak yang menumpuk ke atas, menunjukkan laju sedimentasi yang sangat tinggi.
C	*Massive Sandstone*	Sm	Batupasir berbutir sedang-kasar, tampak masif atau homogen tanpa struktur perlapisan yang jelas.
D	*Wavy Bedded (Heterolithic)*	Fl	Perselingan seimbang antara lapisan pasir (oranye) dan lempung (abu-abu) yang membentuk pola bergelombang.
E	*Wavy Laminated Sandstone*	Sw	Perlapisan antara pasir halus dan lanau dengan laminasi bergelombang akibat fluktuasi energi arus.
F	*Intraclast-rich Sandstone*	Se	Batupasir yang mengandung fragmen rombakan lempung (*mudclasts*), mencirikan dasar saluran hasil erosi kuat.
G	*Lenticular Bedded Mudstone*	Fl	Dominasi material lempung dengan lensa-lensa pasir halus yang terisolasi (*lenticular*).
H	*Massive Mudstone*	Fm	Batulempung masif berwarna abu-abu gelap, terbentuk dari endapan suspensi di air yang sangat tenang.
I	*Coal*	C	Batubara atau serpih sangat karbonan berwarna hitam, terbentuk dari akumulasi material organik di lingkungan rawa.



Gambar 3. Kenampakan berbagai jenis litofasies pada singkapan daerah penelitian.

Tabel 2. Hasil analisis geokimia organik *(Total Organic Carbon, Total Inorganic Carbon, dan Calcite Equivalent)* pada 16 sampel batuan sedimen dari lokasi Baturatna, Tepo, TPK Kariangau, dan Sei Wain.

Lokasi	Kode Sampel	Litologi	TOC (wt. %)	TIC (wt. %)	*Calcite Equivalent* (wt. %)
Baturatna	BR1	Batulempung karbonat	8.33	0.51	4.25
	BR2	Batulanau	0.62	0.07	0.58
	BR3	Batulempung	2.45	0.15	1.25
	BR4	Batulempung karbonat	9.82	0.29	2.42
Tepo	TP1	Batulempung	2.99	0.12	1.00
	TP2	Batulempung	3.84	0.20	1.67
	TP3	Batulempung	3.37	0.07	0.58
	TP4	Batulanau	0.19	0.05	0.42
	TP5	Batulempung	2.03	0.17	1.42
TPK Kariangau	KR1	Batulempung	1.37	0.06	0.50
	KR2	Batulempung	3.65	0.23	1.92
	KR3	Batulempung	1.64	0.12	1.00
	KR4	Batulempung	1.93	0.13	1.08
	KR5	Batulempung	1.72	0.05	0.42
Sei Wain	SW1	Batulanau	0.97	0.08	0.67
	SW2	Batulempung	1.36	0.11	0.92

Parameter *Total Inorganic Carbon* (TIC) di seluruh area penelitian menunjukkan nilai yang sangat rendah, berkisar antara 0,05 wt.% hingga 0,51 wt.%. Hal ini mempengaruhi nilai *Calcite Equivalent* yang berada pada angka minimal, yakni antara 0,42 wt.% hingga 1,92 wt.%, kecuali pada satu sampel batulempung karbonat (BR1) yang mencapai 4,25 wt.%. Rendahnya angka ekuivalen kalsit ini mengindikasikan bahwa komposisi batuan di lokasi Tepo, Kariangau, dan Sei Wain didominasi oleh material silisiklastik murni dengan kandungan mineral karbonat yang sangat sedikit. Tren data ini menunjukkan bahwa semakin halus ukuran butir batuan, cenderung diikuti dengan peningkatan persentase karbon organik yang tersimpan di dalamnya.

Analisis Petrografi Organik

Analisis petrografi organik pada sedimen daerah Karang Joang menunjukkan karakteristik material organik yang beragam mengindikasikan pengaruh proses sedimentasi pada lingkungan transisi. Hasil pengamatan mengidentifikasi keberadaan maseral kelompok inertinit berupa funginit (Gambar 4a) dan sklerotinit (Gambar 4b) yang memiliki reflektansi tinggi. Kelompok liptinit teramati sangat variatif terdiri dari sporinit (Gambar 4c), resinit (Gambar 4b), serta kelimpahan liptodetrinit (Gambar 4d) yang menunjukkan fragmentasi material organik yang intens. Maseral vitrinit hadir sebagai komponen utama dengan tekstur masif (Gambar 4e dan 4f). Selain itu, ditemukan mineral pirit (FeS_2) yang tersebar secara granular (Gambar 4f) yang menjadi penciri penting dalam asosiasi mineral pada sedimen di daerah penelitian.

PEMBAHASAN

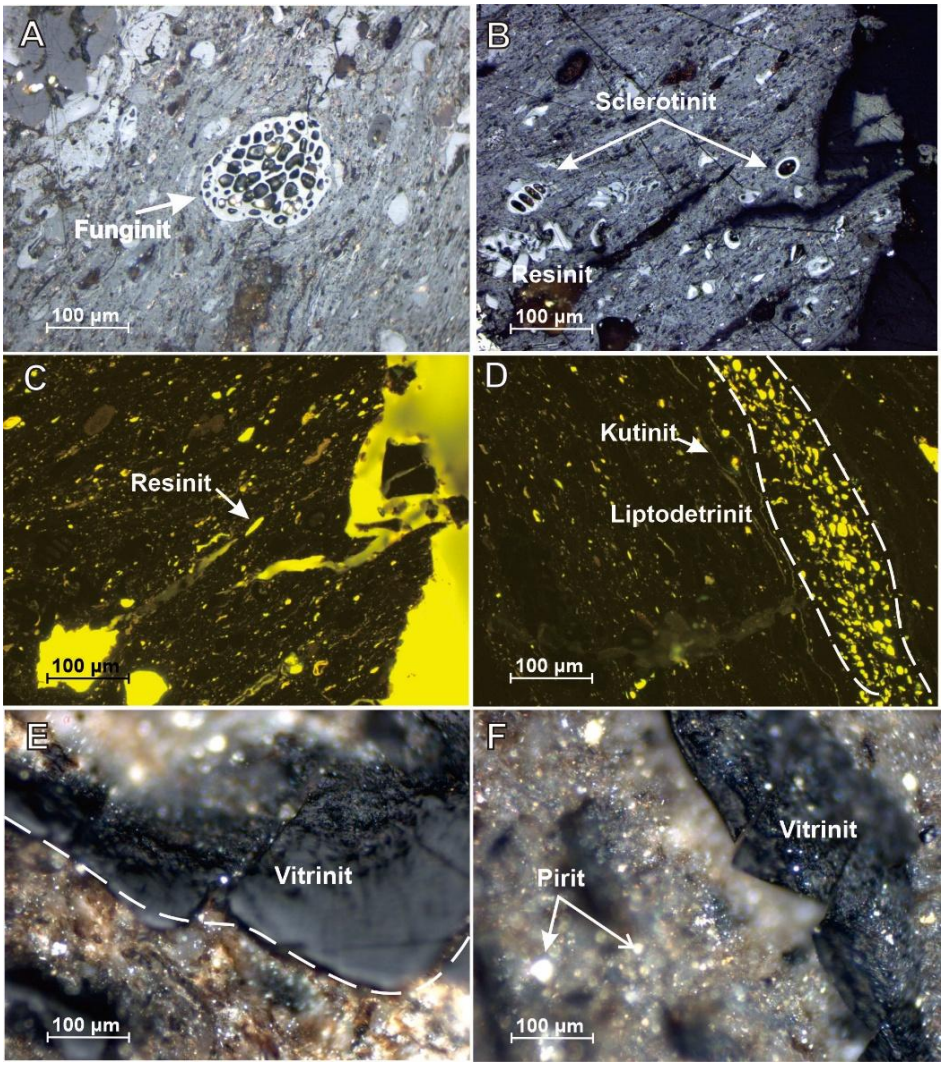
Evaluasi Kekayaan Material Organik

Evaluasi kuantitas material organik pada batuan sedimen di daerah penelitian dilakukan dengan merujuk pada parameter *Total Organic Carbon* (TOC). Berdasarkan klasifikasi kualitas batuan induk menurut Peters & Cassa (1994), kekayaan material organik pada sampel penelitian menunjukkan spektrum yang luas, mulai dari kategori *poor* (miskin) hingga *excellent* (sangat baik). Kekayaan material organik pada tingkat Sangat Baik teramati secara signifikan pada dua jenis litologi utama, yaitu batulempung karbonat dan batulempung masif. Sampel batulempung

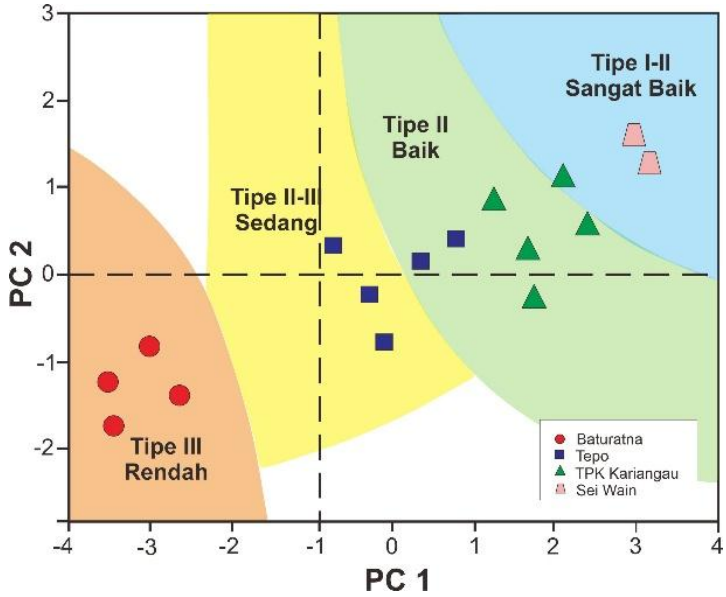
karbonat di lokasi Baturatna (BR1 dan BR4) mencatatkan nilai TOC tertinggi dengan rentang 8,33 – 9,82 wt.%. Tingginya akumulasi karbon pada sampel ini mengindikasikan lingkungan pengendapan anoksik yang sangat stabil, seperti rawa delta *(delta plain swamp),* yang memungkinkan preservasi material organik asal tumbuhan berlangsung secara masif tanpa degradasi oksidatif (Jamaluddin et al., 2024b). Selain itu, batulempung di lokasi Tepo (TP1, TP2, TP3) dan Kariangau (KR2) juga termasuk dalam kategori *very good* hingga *excellent* dengan nilai TOC mencapai 3,84 wt.%. Hal ini menunjukkan bahwa batulempung tersebut memiliki kapasitas retensi organik yang tinggi yang umumnya berkaitan dengan luas permukaan partikel lempung yang besar dan kemampuan adsorpsi material organik dalam kondisi energi rendah (Jamaluddin et al.,2025a).

Analisis petrografi organik menunjukkan bahwa sampel batulempung karbonat (Gambar 4a–d) didominasi oleh maseral liptinit dan vitrinit, dengan kehadiran liptodetrinit, resinit, funginit, dan sclerotinit. Kelimpahan resinit dan liptodetrinit yang berfluoresensi kuat mengindikasikan kontribusi signifikan material organik asal tumbuhan tingkat tinggi dan tingkat pengawetan yang relatif baik. Keberadaan funginit dan sclerotinit mengindikasikan oksidasi dan biodegradasi parsial pada tahap awal, namun tidak mengurangi tingginya akumulasi material organik (ICCP, 1993).

Sampel batulempung (Gambar 4e–f) didominasi oleh vitrinit dengan kehadiran pirit mikro. Dominasi vitrinit menunjukkan sumber material organik terestrial, sedangkan pirit mengindikasikan kondisi reduktif yang mendukung pengawetan material organik.



Gambar 4. Mikrograf optik petrografi organik sedimen daerah Karang Joang.



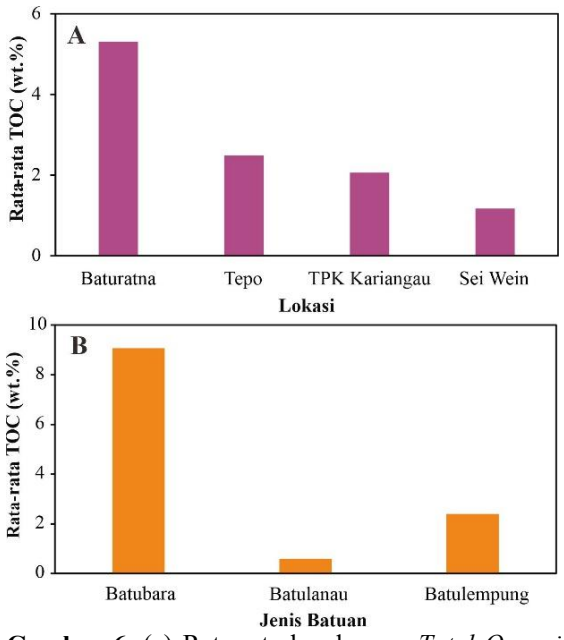
Gambar 5. Diagram *Principal Component Analysis* (PCA) berdasarkan PC1 (65%) dan PC2 (25%) yang menunjukkan pengelompokan sampel.

Secara keseluruhan, batulempung karbonat menunjukkan kekayaan material organik tinggi, sedangkan batulempung memperlihatkan kandungan sedang, konsisten dengan perbedaan litologi dan mekanisme akumulasi material organik.

Diagram *Principal Component Analysis* (PCA) (Gambar 5) menunjukkan pemisahan sampel yang jelas berdasarkan tingkat kekayaan material organik. Sampel dari TPK Kariangau dan Sei Wain terkonsentrasi pada nilai PC1 dan PC2 positif, yang berada pada bidang Tipe I–II (sangat baik) hingga Tipe II (baik). Posisi ini mencerminkan kandungan material organik yang relatif tinggi dengan kualitas yang baik.

Sampel Tepo tersebar pada zona Tipe II–III (sedang) menunjukkan karakter material organik menengah dengan variasi kontribusi organik. Sebaliknya, sampel Batuampar terkelompok pada nilai PC1 negatif dan berada pada zona Tipe III (rendah) yang mengindikasikan kandungan dan kualitas material organik yang relatif rendah.

Sampel batulempung dari lokasi TPK Kariangau dan Sei Wain berada pada kategori potensi baik hingga sangat baik dengan rentang nilai 1,36 – 1,93 wt.% (Gambar 6a). Meskipun secara kuantitas memenuhi syarat sebagai batuan induk yang potensial, terdapat penurunan nilai TOC jika dibandingkan dengan lokasi Tepo. Penurunan ini diinterpretasikan sebagai



Gambar 6. (a) Rata-rata kandungan *Total Organic Carbon* (TOC, wt.%) berdasarkan lokasi pengambilan sampel dan (B) rata-rata TOC berdasarkan litologi.

akibat dari proses pengenceran sedimen klastik *(clastic dilution)* atau variasi pasokan material organik primer pada saat pengendapan. Namun demikian, nilai TOC di atas 1,0 wt.% pada batuan klastik halus tetap menunjukkan efisiensi preservasi yang memadai untuk menghasilkan hidrokarbon jika mencapai kematangan termal yang sesuai.

Nilai TOC terendah teramati pada sampel batulanau, khususnya pada sampel TP4 (0,19 wt.%) dan BR2 (0,62 wt.%) yang diklasifikasikan sebagai batuan induk dengan potensi miskin hingga sedang (Gambar 6b). Rendahnya kandungan organik pada batulanau ini secara genetik berkaitan dengan ukuran butir yang lebih kasar dan peningkatan energi pengendapan.

Pada kondisi ini, sirkulasi air yang kaya oksigen di antara pori-pori sedimen memicu oksidasi material organik secara cepat. Selain itu, arus traksi yang lebih kuat cenderung memindahkan partikel organik yang ringan keluar dari sistem pengendapan, sehingga hanya menyisakan sedikit residu organik di dalam matrik batuan.

Analisis terhadap Total Inorganic Carbon (TIC) yang menunjukkan nilai sangat rendah (rata-rata < 0,25 wt.%) mengonfirmasi bahwa kontribusi mineral karbonat di seluruh lokasi penelitian sangat minimal. Rendahnya nilai *Calcite Equivalent* (0,42–4,25 wt.%) mengindikasikan bahwa sistem sedimentasi daerah penelitian didominasi oleh pengaruh silisiklastik terigen (Husein dan Lambiase, 2013). Hal ini memberikan implikasi geokimia bahwa seluruh karbon yang terukur dalam nilai TOC merupakan karbon organik murni yang berasal dari material biogenik (baik terestrial maupun akuatik), tanpa adanya kontaminasi signifikan dari karbonat laut. Kondisi ini konsisten dengan model pengendapan sistem delta yang didominasi oleh pasokan sedimen dari daratan.

Hubungan Fasies Sedimen dengan Karakteristik Geokimia

Integrasi antara data litofasies dan hasil analisis geokimia menunjukkan adanya kontrol geologi yang kuat terhadap sebaran serta preservasi material organik di daerah penelitian. Secara genetik, karakteristik geokimia batuan, terutama nilai *Total Organic Carbon* (TOC) dan kandungan maseral sangat dipengaruhi oleh mekanisme sedimentasi dan tingkat energi lingkungan yang tercermin dari jenis litofasiesnya.

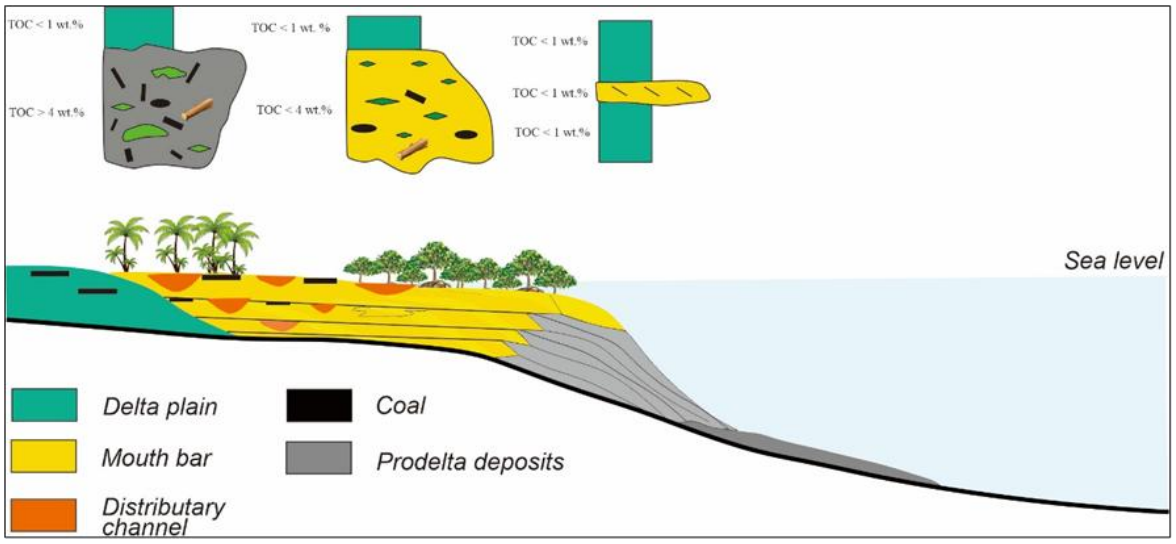
Fasies berbutir halus, seperti batulempung masif (Fasies Fm), menunjukkan korelasi positif terhadap nilai TOC yang tinggi (mencapai 9,82 wt.%). Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan air tenang dengan mekanisme pengendapan suspensi sangat efektif dalam memerangkap material organik. Pada lingkungan ini, tingkat oksigenasi yang rendah (anoksik) mencegah degradasi biologis dan oksidasi kimia, sehingga karbon organik dapat terawetkan secara optimal di dalam matriks lempung.

Sebaliknya, pada litofasies yang memiliki komponen pasiran atau lanauan lebih dominan, seperti batulanau atau fasies heterolitik (Fasies Fl), terjadi penurunan nilai TOC secara signifikan (hingga 0,19 wt.%). Fenomena ini disebabkan oleh peningkatan energi arus traksi yang cenderung mendispersi partikel organik ringan dan membawa air kaya oksigen ke dalam pori-pori sedimen, yang memicu proses oksidasi material organik. Selain itu, kecepatan sedimentasi yang lebih tinggi pada fasies ini menyebabkan terjadinya pengenceran sedimen *(clastic dilution)*, di mana volume material organik menjadi lebih kecil dibandingkan dengan volume input sedimen klastiknya.

Rendahnya nilai *Total Inorganic Carbon* (TIC) dan *Calcite Equivalent* di seluruh fasies yang diamati semakin mempertegas bahwa lingkungan pengendapan daerah penelitian didominasi oleh sistem silisiklastik terigen tanpa pengaruh signifikan dari proses biogenik karbonat laut. Hubungan ini memberikan gambaran bahwa kualitas batuan induk *(source rock)* di wilayah ini sangat bergantung pada kehadiran fasies berbutir halus yang terbentuk dalam sistem *Delta Plain* hingga *Delta Front* yang bersifat reduksif.

Implikasi terhadap Sistem Petroleum

Evaluasi terhadap parameter geokimia organik dan distribusi litofasies menunjukkan bahwa daerah penelitian memiliki potensi sistem petroleum yang signifikan. Kehadiran Fasies Fm (batulempung masif) dengan nilai TOC mencapai 9,82 wt.% mengonfirmasi peran unit-unit tersebut sebagai batuan induk efektif *(effective source rock)* dengan kekayaan material organik kategori *excellent*. Berdasarkan setting deposisi deltaik (Gambar 7), material organik primer diprediksi didominasi oleh Kerogen Tipe III yang bersifat *gas-prone* hingga marginal oil-prone. Kondisi lingkungan pengendapan silisiklastik yang reduksif, tercermin dari rendahnya kandungan *Calcite*



Gambar 7. Hubungan fasies pengendapan dengan distribusi material organik.

Equivalent, sangat mendukung efisiensi preservasi hidrokarbon dari degradasi kimiawi selama proses pemendaman. Secara struktural, konfigurasi perselingan antara batulempung kaya organik dengan batupasir masif menciptakan hubungan genetik yang ideal antara elemen-elemen sistem petroleum. Batulempung dengan TOC tinggi tidak hanya berfungsi sebagai generator hidrokarbon, tetapi juga berperan sebagai penyekat intra-formasi *(intra-formational seal)* yang mampu menahan akumulasi fluida di dalam batuan reservoar. Model akumulasi ini mengindikasikan jalur migrasi jarak pendek *(short-distance migration)* dari area *delta plain* dan *prodelta* menuju fasies batupasir di sekitarnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas, maka dapat disimpulkan:

1. Daerah penelitian memiliki potensi kekayaan material organik yang bervariasi dari kategori miskin hingga sangat baik. Nilai TOC tertinggi ditemukan pada sampel batulempung karbonat di lokasi Baturatna (mencapai 9,82 wt.%), sementara sampel batulempung di lokasi Tepo dan Kariangau secara konsisten menunjukkan nilai TOC yang sangat baik (rata-rata 1,36 – 3,84 wt.%). Hal ini mengindikasikan bahwa unit batuan tersebut memenuhi syarat sebagai batuan induk *(source rock)* yang produktif.
2. Lingkungan pengendapan berenergi rendah yang membentuk batulempung masif dan batulempung karbonat terbukti menjadi zona preservasi organik yang paling optimal. Sebaliknya, pada batulanau terjadi penurunan nilai TOC yang signifikan (hingga 0,19 wt.%) akibat proses pengenceran sedimen klastik dan kondisi oksidasi pada energi arus yang lebih tinggi.
3. Rendahnya nilai *Total Inorganic Carbon* (TIC) dan *Calcite Equivalent* (umumnya < 2 wt.%) di seluruh lokasi penelitian mengonfirmasi bahwa suksesi sedimen didominasi oleh sistem silisiklastik terigen. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan berada pada sistem deltaik dengan pengaruh laut terbuka yang sangat minimal, sehingga seluruh karbon yang terukur didominasi oleh karbon organik murni.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Montanuniversität Leoben, Austria yang bersedia menyediakan fasilitas untuk keperluan analisis petrologi organik.

DAFTAR PUSTAKA

Battu, D.P., Jamaluddin, Ryka, H., 2023. Studi Asal Sedimen Lempung Kota Balikpapan Berdasarkan Data Geokimia. *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi* 6 (4): 462-469.

Cibaj, I., Lambert, B., Ashari, U., Giriansyah, B., Schulbaum, L., Imbert, P., Cordelier, and Philippe, 2014. Sedimentology and Stratigraphic Stacking Patterns of the Peciko

Field Main Zone, Lower Kutei Basin, East Kalimantan, Indonesia. Proceedings Indonesian Petroleum Association 38th Annual Convention and Exhibition, May 2014.

Hall, R., Nichols, G., 2002. Cenozoic Sedimentation and Tectonics in Borneo: Climatic Influences on Orogenesis. *Geological Society* 191: 5-22. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.191.01.02

Hidayat, S., dan Umar, I., 1994. Geologi Indonesia, Lembar Balikpapan, Skala 1:250.000. Peta Geologi Bersistem, Indonesia, Lembar Balikpapan, 1814-1914: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Husein, S., Lambiase, J.J., 2013. Sediment dynamics and depositional systems of the Mahakam Delta, Indonesia: ongoing Delta Abandonment on a tide-dominated coast. *Journal of Sedimentary Research* 83:503-521. https://doi.org/10.2110/jsr.2013.42

ICCP (International Committee for Coal Petrology), 1993. International Handbook of Coal Petrography, 3rd Supplement to 2nd Edition. University of Newcastle on Tyne (England)

ICCP (International Committee for Coal Petrology), 1998. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). Fuel 77, 349–358.

ICCP (International Committee for Coal Petrology), 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). Fuel 80, 459–471.

Jamaluddin, Rahmawati, D., Maria., 2024a. Analisis Lingkungan Pengendapan dan Karakteristik Material Organik Daerah Air Putih, Kota Samarinda, Indonesia. *Jurnal Geosains dan Teknologi* 6(3): 203-214. https://doi.org/10.14710/jgt.6.3.2023.203-214

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, Kutai Kartanegara Area, Indonesia. *Geosciences* 14: 164. https://doi.org/10.3390/geosciences14060164

Jamaluddin, Wagreich, M., Schöpfer, K., Sachsenhofer, R., Maria, Rahmawati, D., 2024c. Hydrocarbon potential and depositional environment of the Middle Miocene Balikpapan Formation, Kutai Kartanegara Area, Indonesia: Sedimentology, calcareous nannofossil, organic geochemistry, and organic petrography integrated approach. *International Journal of Coal Geology*. https://doi.org/10.1016/j.coal.2024.104591

Jamaluddin, Jamaludin, S.N.F., Massinai, M.A., Zhang, S., Mansor, H.E. and Oscar, A.W., 2025a. Paleoenvironmental influences evaluation on sedimentary organic matter of the Kampungbaru Formation, Lower Kutai Basin: Organic and inorganic geochemical approaches. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology* 10(4): 574–586. https://doi.org/10.25299/jgeet.2025.10.4.24526

Marks, Edward., 1982. Cenozoic Stratigraphic Nomenclature in East Kutai Basin, Kalimantan. 11th Annual Convention Proceedings, Indonesian Petroleum Association.

Marshall, N., Novak, V., Cibaj, I., Krijgsman, W., Renema, W., Young, J., Fraser, N., Limbong, A., Morley, R., 2015. Dating Borneo's deltaic deluge: Middle Miocene progradation of the Mahakam Delta, *Palaios* 30: 7-25. https://doi.org/10.2110/palo.2013.066

Metcalfe, I., 2011. Tectonic framework and phanerozoic evolution of Sundaland. *Gondwana Res.* 19: 3-21. https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.02.016

Miall, A.D., 1985. Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies . Analysis Applied to Fluvial Deposits *Elsevier* 22: 271-272.

Miall, A.D.; 1996. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Springer-Verlag Canada, Berlin Heidelberg.

Moss, S.J., Chambers, J.L.C., 1999. Tertiary facies architecture in the Kutai Basin, Kalimantan, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences* 17: 157-181. https://doi.org/10.1016/S0743-9547(98)00035-X

Permana, A.K., Sendjadja, Y. A., Panggabean, H., Fauxely, L., 2018. Depositional Environment and Source Rocks Potential of the Miocene Organic-Rich Sediments, Balikpapan Formation, East Kutai Sub-Basin, Kalimantan. *J. Geology and Mineral Resources* 9(3), 171-186. https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v19i3.407

Permana, A.K., Kusworo, A., Wahyudiono, J., Sendjaja, Y.A., Panggabean, H., Fauziely, L., 2022. Chemostratigraphy and Paleoenvironment of the Miocene Organic Rich Sediments in the East Kutai Sub-Basin, Indonesia. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral* 23(1):1-15. https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23i1.660

Peters, K. E. dan Cassa, M. R., 1994. Applied Source Rock Geochemistry. In: Magoon, L. B. and Dow, W. G. (Ed.) The Petroleum Systems from Source to Trap. *AAPG Memoir 60, AAPG*, Tulsa: 93-120.

Prabowo, I., Jamaluddin., Pratikno, F. A., 2023. Integrasi Data Geomorfologi dan Data Geospasial untuk Pemetaan Kawasan Rawan Pergerakan Tanah Wilayah Kecamatan Balikpapan Utara, *Jurnal Ilmiah Geologi PANGEA*, 10(1).

Zetri, H., Laesanpura, A., dan Rizka., 2020. Interpretasi Lingkungan Pengendapan Formasi Balikpapan dan Formasi Kampungbaru Berdasarkan Data Sounding Pada Area Tepi Sungai Dekat Pesisir Balikpapan, Kalimantan Timur.. Repository ITERA.

Santoso, B. dan Daulay, B., 2005. Type and rank of selected Tertiary Kalimantan coals. *Indonesian Mining Journal*, 8 (2), 1-12

Satyana, A. H., 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.