

Pemodelan Lingkungan Pengendapan Singkapan Formasi Pulau Balang Berdasarkan Analisis Biostratigrafi di Desa Bakungan Kecamatan Loa Janan Kabupaten Kutai Kartanegara

Rahma Kurnia ^{1)*}, Ibnu Haasyim ¹⁾, Alviana Musfir ¹⁾, Trivena Aprilia ¹⁾, Muthia Marilda ¹⁾

¹⁾Fakultas Teknik, Teknik Geologi, Universitas Mulawarman

E-mail: niaaak91@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk memodelkan lingkungan pengendapan Formasi Pulau Balang di Desa Bakungan, Kecamatan Loa Janan, berdasarkan biostratigrafi makrofosil. Penelitian dilakukan pada satu singkapan utama melalui stratigrafi terukur, deskripsi litologi, struktur sedimen, pengambilan sampel batuan menggunakan *stratified sampling* dan pengambilan sampel makrofosil secara langsung (*direct fossil collection*) sebagai penentu umur. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa singkapan tersusun atas lima lapisan utama, dengan pola *fining upward* dari batupasir menuju batulempung hingga *shale*, serta diselingi lapisan karbonatan berfosil. Struktur sedimen yang dominan berupa laminasi mengindikasikan kondisi pengendapan berenergi rendah. Analisis makrofosil mengidentifikasi keberadaan *Anadara sp.*, *Meretrix sp.*, dan *Turritella sp.*, yang menunjukkan lingkungan perairan transisi hingga laut dangkal. Berdasarkan acuan biostratigrafi Morley (1991), fosil tersebut mengindikasikan rentang umur Miosen Awal - Miosen Akhir. Integrasi litologi, struktur sedimen, dan data fosil memperlihatkan lingkungan pengendapan *transitional-lower delta plain* dengan sub-fasies *interdistributary bay* hingga mencapai *shallow marine*. Berdasarkan sekuen stratigrafi, menunjukkan karakteristik *Transgressive Systems Tract* (TST), ditandai oleh pergeseran fasies ke arah laut (*retrogradational stacking*). Secara keseluruhan, penelitian ini memperlihatkan pengendapan yang dipengaruhi oleh kombinasi proses fluvial, pasang surut, dan transgresi laut, sehingga menghasilkan rekaman fasies khas lingkungan transisi hingga laut dangkal.

Kata Kunci: Lingkungan Pengendapan; Stratigrafi; Makrofosil; Formasi Pulau Balang.

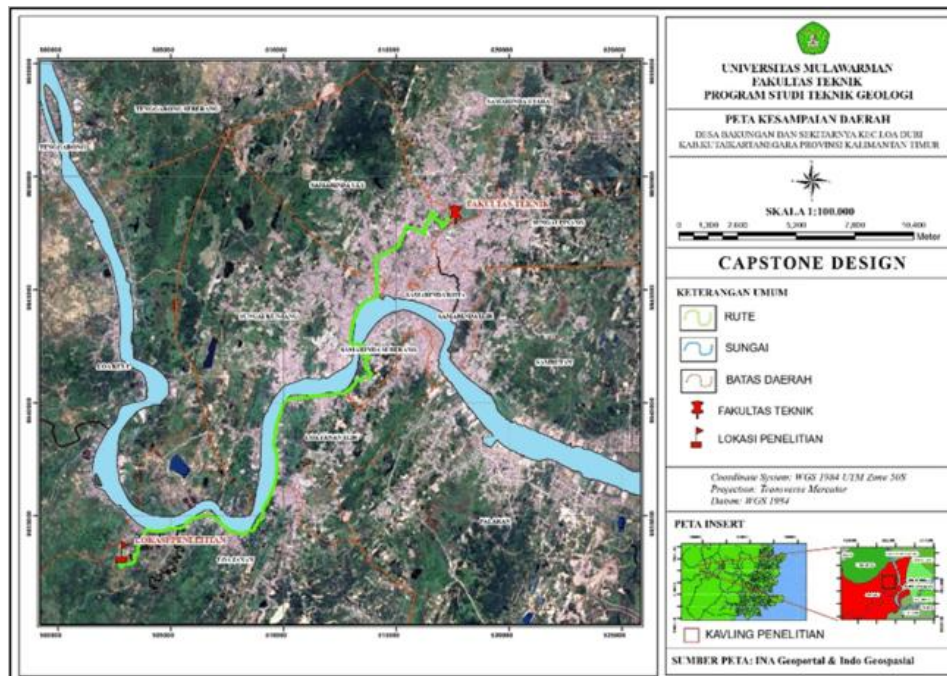
ABSTRACT

*This study aims to model the depositional environment of the Pulau Balang Formation in Bakungan Village, Loa Janan District, based on macrofossil biostratigraphy. The research was conducted on one main outcrop using measured stratigraphy, lithology description, sedimentary structure observation, rock sampling with a stratified sampling method, and direct fossil collection to determine the age. The results show that the outcrop consists of five main layers with a fining upward pattern, from sandstone to claystone and shale, and also contains fossil-bearing carbonate layers. The dominant sedimentary structure is lamination, which indicates a low-energy depositional environment. Macrofossil analysis found the presence of *Anadara sp.*, *Meretrix sp.*, and *Turritella sp.*, which indicate a transitional to shallow marine environment. Based on Morley (1991) biostratigraphic reference, these fossils show that the age ranges from Early Miocene to Late Miocene. The combination of lithology, sedimentary structures, and fossil data indicates a transitional lower delta plain environment, with sub-facies from interdistributary bay to shallow marine. Based on stratigraphic sequence analysis, the deposits show characteristics of a Transgressive Systems Tract (TST), marked by a shift of facies toward the sea (retrogradational pattern). Overall, this study shows that the depositional process was influenced by fluvial, tidal, and marine transgression processes, resulting in transitional to shallow marine depositional facies. Keywords: Geotechnical Assessment, Slope Stability, Rock Mass Classification, Safety Factor, Landslide Mitigation.*

Keywords: Depositional Environment; Stratigraphy; Macrofossils; Pulau Balang Formation.

1. Pendahuluan

Lokasi penelitian pada **Gambar 1**, berada di Desa Bakungan, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, pada koordinat X: 502878, Y: 9933534, Z: 12,29 m, dengan luas area 20×10 m. Lokasi ini berjarak sekitar $\pm 46,5$ km dari Fakultas Teknik Universitas Mulawarman dan dapat ditempuh dalam ± 1 jam melalui jalur darat, melewati Samarinda Kota, Jembatan Mahakam, Samarinda Seberang, Loa Janan Ilir, hingga Loa Janan menuju Desa Bakungan.

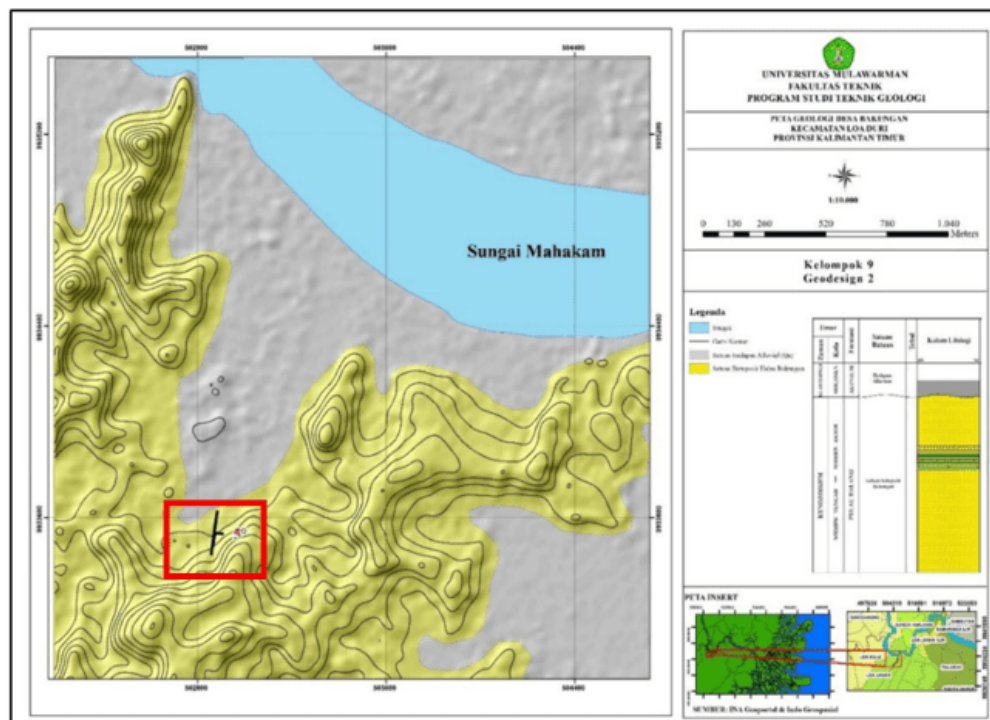


Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah

Formasi Pulau Balang merupakan satuan batuan penting yang berada di Cekungan Kutai, Kalimantan Timur, dikenal sebagai cekungan sedimen dengan sejarah geologi kompleks dan potensi hidrokarbon yang signifikan. Penelitian terdahulu mengenai fasies dan lingkungan pengendapan di daerah delta umumnya dilakukan pada skala regional dan hanya menekankan hubungan antara litologi dan kondisi dinamika sedimentasi. Misalnya, penelitian Nichols (2009) menegaskan bahwa lingkungan transisi seperti *delta plain* umumnya dicirikan oleh variasi ukuran butir dan pola *fining upward*, tetapi tidak membahas hubungan vertikal antara litologi dan keberadaan fosil dalam satu kolom stratigrafi (11). Demikian pula, penelitian oleh Anwar *et al.* (2021) dan Zaenudin *et al.* (2019) hanya fokus pada fasies batubara dan batupasir sebagai bagian dari sistem delta tanpa melakukan integrasi dengan data biostratigrafi (3) (4). Di sisi lain, penelitian ekologis seperti yang dilakukan Mawardi *et al.* (2018) serta Afiati (2010) hanya membahas karakter habitat dan persebaran *Bivalvia*, tanpa mengaitkannya dengan konteks stratigrafi pengendapan. Berbeda secara signifikan, penelitian ini menggabungkan *Measuring Section* (MS), analisis fasies, dan identifikasi makrofosil filum *Mollusca* dalam satu rangkaian stratigrafi yang utuh pada singkapan lokal di Desa Bakungan, Kecamatan Loa Janan, Kutai Kartanegara (1) (8).

Penelitian-penelitian terdahulu di wilayah Loa Duri, Kalimantan Timur, misalnya penelitian Nalendra, S. (2014) sebagian besar berfokus pada aspek batubara dan geoteknik, seperti pemodelan geometri lapisan, perhitungan sumber daya, hingga pengujian kekuatan tekan batuan. (10). Sementara itu, penelitian Putri *et.al* (2022) membahas batubara yang pada umumnya terbentuk pada lingkungan darat hingga rawa yang bercirikan energi sangat rendah dan kandungan karbonat yang minimal (17) Perbedaan ini mengindikasikan bahwa terdapat variasi fasies pada skala lokal yang belum pernah dikaji dalam penelitian sebelumnya. Kesenjangan ini semakin terlihat karena belum ada penelitian yang secara khusus mengintegrasikan data litologi, biostratigrafi, dan stratigrafi untuk merekonstruksi lingkungan pengendapan di wilayah tersebut.

2. Geologi Daerah Penelitian



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan Lembar Geologi Samarinda menurut Supriatna (1995), bahwa Formasi Pulau Balang, ciri litologi satuan batupasir ini didominasi oleh batupasir berbutir halus, umumnya berwarna coklat kekuningan hingga abu-abu kecoklatan, dengan butiran pasir halus, derajat pembundaran membundar, kemas terbuka, serta tingkat sortasi yang baik. Batulempung, kelabu kehitaman, tebal lapisan 1–2 cm. Mengandung foraminifera besar. Setempat berselingan dengan batubara. Sedangkan pada pengamatan dilapangan ditemukan berupa batupasir semennya yang memiliki semen karbonatan, yang mengindikasikan proses diagenesa pada lingkungan pengendapan yang relatif stabil dan berenergi sedang. Serta di Batulempung ditemukan dengan warna segar coklat kehitaman, dan terdapat konkresi kalsit dan memiliki semen karbonatan yang tertera pada **Gambar 2**(19).

Adapun struktur sedimen yang umum dijumpai berupa laminasi, menurut Tucker (1996) struktur laminasi menunjukkan adanya proses pengendapan oleh arus atau gelombang berenergi rendah yang terjadi pada kisaran litologi berbutir halus yang ditemukan pada singkapan yang diamati. Serta ketebalan laminasi ini memiliki ketebalan milimeter yang butirannya tersusun normal. Selain itu juga pada saat pengamatan singkapan ditemukan makro fossil berupa *Anadara sp.*, *Meretrix sp.*, dan *Turritella sp.* yang umumnya hidup di lingkungan laut dangkal hingga transisi. Secara umum, karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa satuan batupasir ini diendapkan pada lingkungan transisi hingga laut dangkal (22).

Sebaran batupasir ini terdapat pada Formasi Pulau Balang, yang merupakan salah satu satuan batuan utama di daerah pemetaan dan menempati sekitar 70% dari total luas lokasi penelitian. Stratigrafi di daerah Desa Bakungan dan sekitarnya menggunakan satuan litostratigrafi tidak resmi. Penggolongan dan pembagian satuan ini didasarkan pada dominasi batuan dan ciri ciri litologi yang dapat diamati di lapangan. Litologi yang didapat dilapangan yakni litologi batupasir dan penamaan tersebut berdasarkan posisi geografis satuan yakni berasal dari daerah Bakungan. Satuan batupasir Bakungan terdiri dari batupasir, kemudian disusul oleh anggota satuan batuan lain yang lebih tua yaitu perselingan batupasir dan batulanau, batulempung karbonatan, batulempung non-karbonatan, *shale*, dan batupasir karbonat.

Satuan ini secara umum merupakan batuan sedimen klastik yang ditemukan dalam kondisi lapuk-segar yang memiliki ciri-ciri warna lapuk coklat kekuningan hingga putih kekuningan, warna *fresh* kekuningan hingga kecoklatan. Ditemukan juga perulangan batupasir dan batulanau yang memiliki warna lapuk coklat kekuningan dengan warna segar abu-abu kecoklatan, tidak memiliki struktur, berukuran butir 1/256–1/16 mm, berbentuk *well rounded*, *well sorted*, serta *matrix supported*. Batulempung memiliki deskripsi besar butir lempung, pemilahan sangat baik, bentuk butir *rounded*, kemas *grain supported*, dan terdapat konkresi kalsit sehingga memiliki semen karbonatan, semen non-karbonatan, dengan struktur sedimen laminasi.

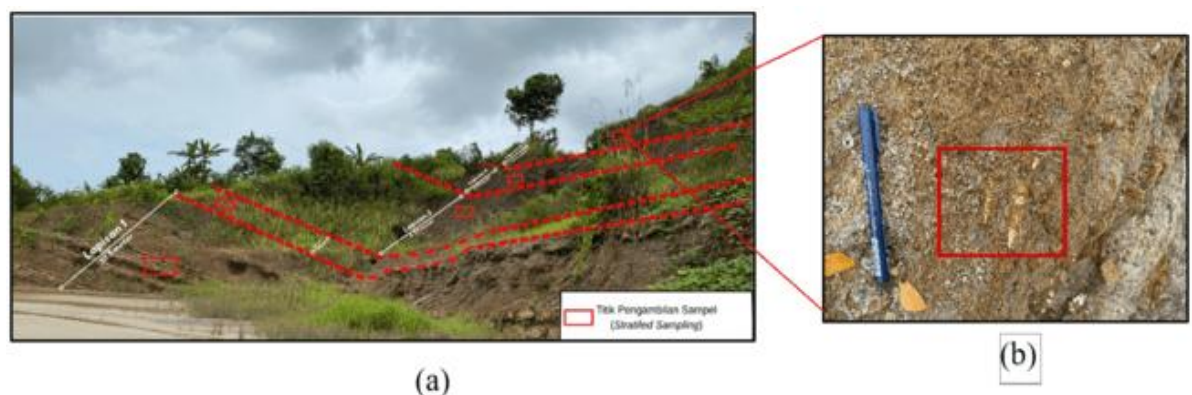
A. Daerah Penelitian

Lokasi penelitian berada di Desa Bakungan, Kecamatan Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, pada koordinat X: 502878, Y: 9933534, Z: 12,29 m, dengan luas area 20×10 m. Lokasi ini berjarak sekitar $\pm 46,5$ km dari Fakultas Teknik Universitas Mulawarman dan dapat ditempuh dalam ± 1 jam melalui jalur darat, melewati Samarinda Kota, Jembatan Mahakam, Samarinda Seberang, Loa Janan Ilir, hingga Loa Janan menuju Desa Bakungan.

B. Metode Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan pada tanggal 14 September 2025 pada tahap kerja lapangan. Proses penelitian dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu pra-lapangan, kerja lapangan, dan pasca-lapangan.

1. **Tahap Pra-lapangan:** diawali dengan studi pendahuluan berupa penelusuran literatur tentang geologi Cekungan Kutai, karakter singkapan Formasi Pulau Balang, serta kajian biostratigrafi dan makrofosil yang berkaitan. Setelah itu dilakukan survei lokasi untuk melihat kondisi singkapan secara langsung, kemudian ditentukan rencana pengambilan sampel dan pengukuran per-lapisan menggunakan total 4 titik pada setiap lapisan.
2. **Tahap Kerja Lapangan:** Tahap ini meliputi kegiatan observasi lapangan untuk memperoleh data primer. Pengukuran dilakukan pada satu lokasi singkapan untuk keperluan stratigrafi terukur, termasuk pencatatan *strike/dip*, ketebalan lapisan, deskripsi litologi dan struktur sedimen, sketsa singkapan dan pengambilan sampel. Adapun pengambilan sampel batuan dilakukan menggunakan *stratified sampling*, yaitu pengambilan sampel berdasarkan setiap lapisan yang teridentifikasi dalam *measuring section* (MS) (**Gambar 3**) dan deskripsi singkapan (**Gambar 4**). Untuk data paleontologi, makrofosil yang ditemukan dikumpulkan menggunakan metode *direct fossil collection*, yaitu pengambilan fosil secara langsung pada bagian singkapan tempat fosil terlihat (*in situ*). Seluruh data ini menjadi dasar untuk analisis fasies dan interpretasi biostratigrafi pada tahap selanjutnya.



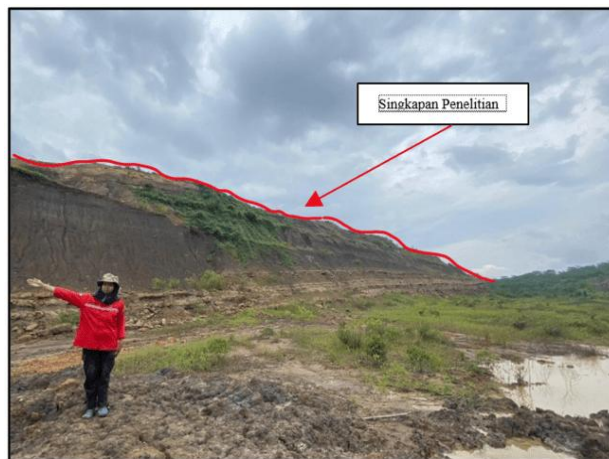
Gambar 3 (a) Titik pengambilan sampel; (b) Titik pengambilan sampel makrofosil

3. **Tahap Pasca-lapangan:** Tahap ini mencakup proses pengolahan seluruh data hasil kegiatan lapangan. Data awal digunakan untuk menyusun peta kesampaian daerah yang menunjukkan akses menuju lokasi penelitian (**Gambar 1**), serta peta geologi lokal yang menggambarkan sebaran litologi dan posisi Formasi Pulau Balang di Loa Duri (**Gambar 2**). Selanjutnya karakter litologi dan struktur sedimen yang diamati diolah dengan data ketebalan tiap lapisan untuk menghasilkan *measured section*

(**Gambar 5**) dan kolom stratigrafi terukur (**Gambar 6**). Makrofosil yang diperoleh melalui *direct fossil collection* kemudian dianalisis berdasarkan morfologi dan kondisi tafonominya, dan hasilnya disajikan dalam bentuk tabel identifikasi makrofosil (**Tabel 1**). Berdasarkan kemunculan dan karakter fosil tersebut, dilakukan penentuan umur relatif makrofosil sebagai dasar analisis biostratigrafi (**Tabel 2**). Seluruh hasil analisis sedimentologi, stratigrafi, dan paleontologi diintegrasikan untuk menentukan fasies serta menyusun model lingkungan pengendapan Formasi Pulau Balang di lokasi penelitian, yang divisualisasikan dalam skema *paleoenvironment* (**Gambar 7**) dan pemodelan pengendapan lapisan (**Gambar 8**).

4. Hasil dan Pembahasan

A. Deskripsi Singkapan



(a)



(b)

Gambar 4. (a); (b) Foto Singkapan

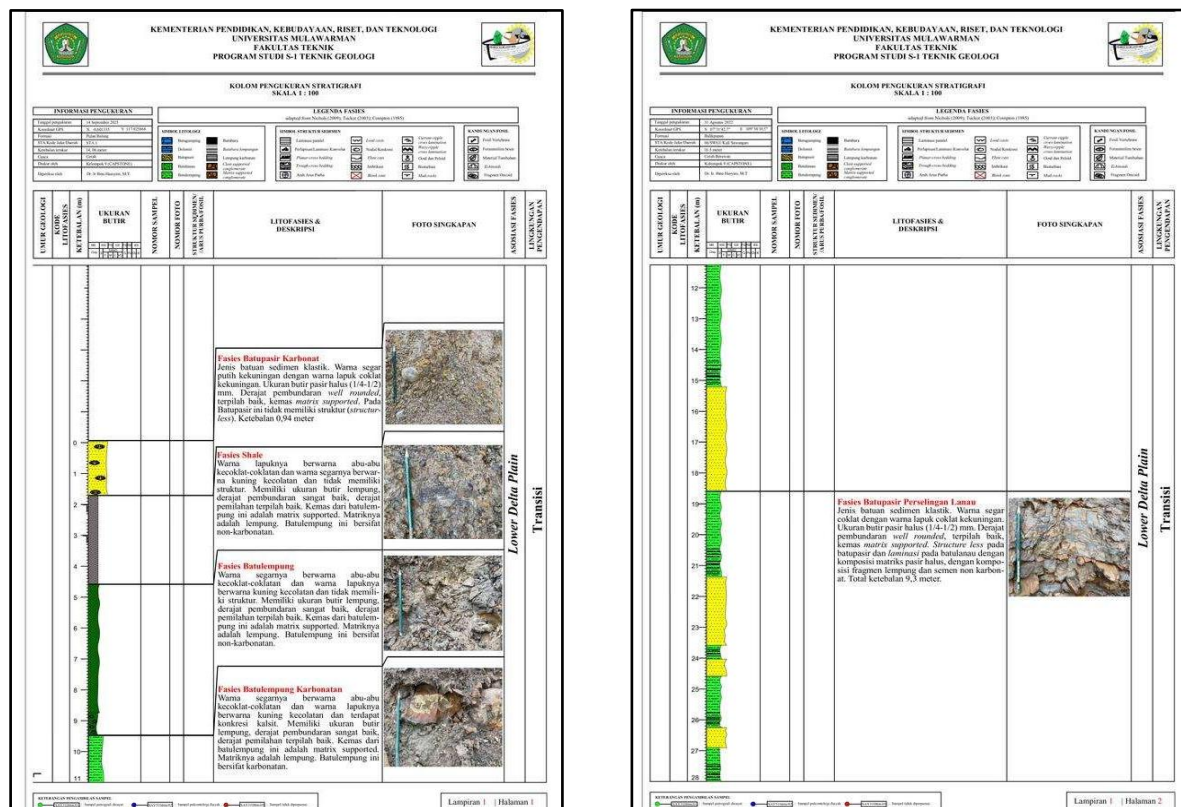
Singkapan pada **Gambar 4** ini berada di Jl. Kemuning, Bakungan, Kec. Loa Janan, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, yang diambil pada tanggal 14 Septamber 2025 dengan koordinat X :502878, Y :9933534 dan Z :12.29 m. Pada saat pengamatan singkapan cuacanya cerah dan vegetasi yang berada pada daerah singkapan ini rumput liar dan tanaman ilalang. Tata guna lahan daerah sekitar singkapan perkebunan

warga sekitar. *Strike/Dip* yang didapatkan adalah sebesar N 8° E/ 10°. Singkapan terdiri dari 5 lapisan yang berada pada singkapan ini dimulai dari yang tua yaitu perselingan batupasir dan batulanau, batulempung karbonatan, batulempung non karbonatan, *shale*, batupasir karbonatan dengan fosil filum *Mollusca*.

B. *Measuring Section (MS)*

Berdasarkan hasil pengukuran kolom stratigrafi di lokasi penelitian pada **Gambar 5** adalah urutan batuan dari bawah ke atas menunjukkan perubahan litologi dan energi pengendapan yang cukup jelas. Lapisan paling bawah merupakan perselingan antara batupasir halus dan lanau, berwarna abu-abu kecoklatan, memiliki struktur laminasi, serta menunjukkan pola perlapisan berulang. Ciri ini mencerminkan pengendapan pada kondisi berenergi rendah hingga sedang, kemungkinan terbentuk pada lingkungan *transitional-Lower Delta Plain* yang mulai menerima pengaruh arus dari arah darat dan pasang surut dari laut. Menurut Aga et. al (2022) menunjukkan juga bahwa pola perselingan pasir–lanau dengan laminasi seperti ini umum ditemukan pada fasies *lower delta plain* di Cekungan Kutai, khususnya pada area yang mulai terpengaruh proses pasang surut dan aliran *tributary* (2). Lapisan berikutnya memperlihatkan batulempung karbonatan dengan sisipan kristal kalsit, menandakan periode tenang keterdapatan genangan air laut yang lebih condong ke darat. Temuan ini juga selaras dengan hasil Permana et. al (2023) yang mencatat bahwa fase transgresi tipis pada sekuen deltaik Kutai Basin sering ditandai oleh kemunculan komponen karbonatan halus akibat meningkatnya pengaruh air laut (14). Di atasnya dijumpai batulempung abu-abu serta lapisan *shale* yang menandakan penurunan energi pengendapan. Pola peralihan menuju sedimen lebih halus seperti ini juga pernah dicatat oleh Nisa et. al (2024), yang mengaitkannya dengan peningkatan genangan dan naiknya muka air laut pada interval Miosen Akhir–Plistosen di wilayah Kutai. Bagian paling atas kolom tersusun atas batupasir halus dengan fosil filum *Mollusca* yang mengindikasikan lingkungan pengendapan dipengaruhi kenaikan muka air laut (12).

Secara pola sedimen, data *Measuring Section (MS)* yang dihasilkan didominasi oleh pola *fining upward*. Pola *fining upward* pada fasies *transitional lower delta plain*, terutama pada subfasies *interdistributary bay*, mencerminkan penurunan energi pengendapan secara vertikal ke arah atas. Awalnya, saat terjadi peristiwa banjir atau aliran dari saluran *tributary*, sedimen berbutir kasar (pasir halus–lanau) diendapkan pada dasar teluk antarsaluran (*bay fill*). Seiring berkurangnya energi arus dan meningkatnya pengaruh pasang surut serta suspensi, sedimen yang lebih halus (lanau–lempung) mengendap di bagian atas. Pola *fining upward* seperti ini juga pernah dijelaskan oleh Kurnio et. al (2009) pada studi delta Kapuas, di mana proses pengendapan *interdistributary bay* menunjukkan transisi vertikal dari pasir halus menuju lanau–lempung akibat meredanya energi dan meningkatnya proses pengendapan melalui suspensi (6).



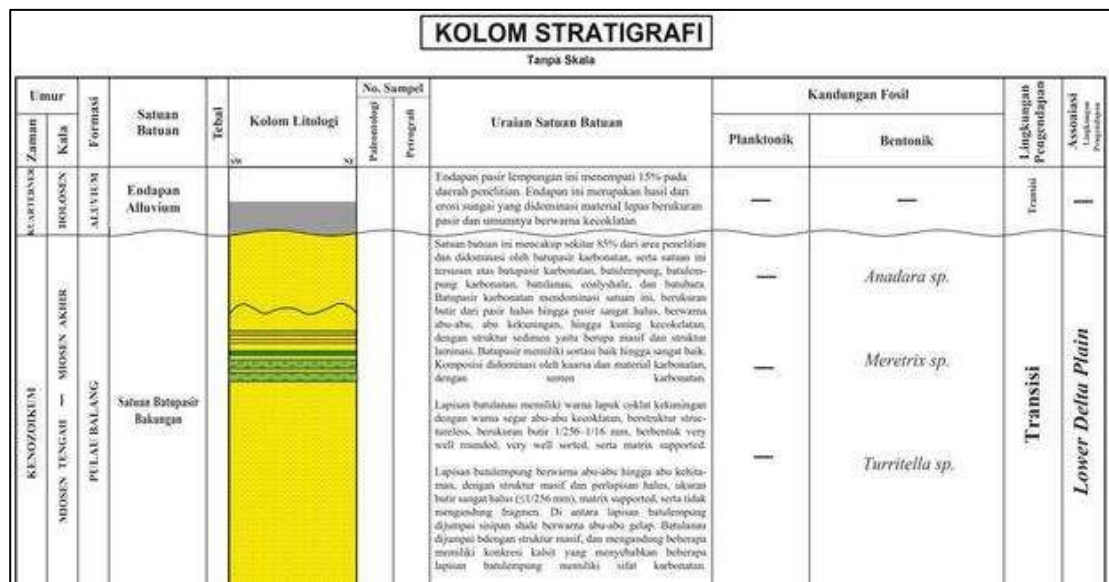
(a)

(b)

Gambar 5. (a); (b) Measuring Section

C. Kolom Stratigrafi

Kolom stratigrafi pada lokasi penelitian pada **Gambar 6** menunjukkan dua satuan batuan utama yaitu Endapan Aluvium berumur Holosen di bagian atas dan Satuan Batupasir Bakungan berumur Miosen Tengah–Akhir di bagian bawah. Hubungan antara kedua satuan menunjukkan ketidaksinambungan (*unconformity*) yang dicirikan oleh perubahan litologi dan umur batuan yang cukup kontras. Bagian paling atas dari kolom stratigrafi tersusun oleh lapisan lempung berpasir berwarna kecoklatan. Berdasarkan cirinya, lapisan ini terbentuk dari proses pengendapan material halus yang terbawa air, terutama saat terjadi banjir di daerah yang landai dan dekat dengan aliran air. Biasanya, sedimen tipe ini berasal dari endapan lumpur yang mengisi area datar yang tergenang air seperti dataran rendah dekat pesisir. Menurut Pramumijoyo dkk. (2017), endapan aluvial Holosen di wilayah delta Indonesia umumnya tersusun atas lumpur pasiran, lanau, dan sedikit pasir halus. Endapan tersebut terbentuk dari proses banjir yang terjadi berulang kali, sehingga material halus dari aliran air sungai mengendap di dataran rendah. Bagian bawah kolom didominasi oleh batupasir karbonatan dengan perselingan batulempung. Batupasir ini umumnya berwarna hijau hingga kekuningan, berbutir sangat halus hingga halus, struktur sedimen berupa masif hingga laminasi sejajar, serta mengandung semen karbonatan. Karakter ini menunjukkan proses pengendapan pada energi fluktuatif, yang umum terjadi pada zona transisi antara lingkungan subtidal hingga ke intertidal (15).



Gambar 6. Kolom Stratigrafi

D. Tabel Penentuan Umur Fossil

Ketiga fosil yang ditemukan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2** di Formasi Pulau Balang yakni: *Anadara Sp.*, *Meretrix sp.*, dan *Turritella sp.* yang semuanya termasuk ke dalam filum *Mollusca*, umumnya hidup di lingkungan laut dangkal hingga transisi. Berdasarkan asosiasi ketiganya dan litologi penyusun Formasi Pulau Balang yang terdiri atas batupasir, lanau, dan lempung, dapat diinterpretasikan bahwa pengendapan terjadi dalam lingkungan *interdistributary bay*, yaitu teluk antarsaluran di sistem delta yang bersifat tenang, terlindung, dan masih dipengaruhi oleh pasang surut laut serta suplai sedimen fluvial. Dapat dilihat berdasarkan penentuan umur fosil (Morley, 1991) di atas bahwa ketiga fosil berumur Miosen Awal-Akhir (9).

Di beberapa penelitian Indonesia juga disebutkan kalau zona ini memang cenderung tenang dan penuh sedimen halus misalnya Susilohadi et. al (2005) yang menjelaskan bagian teluk antarsaluran biasanya jadi tempat ngumpulnya fauna laut dangkal di sistem delta. Lingkungan *interdistributary bay* terbentuk di antara saluran-saluran *distributary* pada sistem transitional–*lower delta plain*. Daerah ini sering tergenang air saat pasang dan menerima suplai sedimen halus dari sungai-sungai *distributary*. Energi sedimentasi rendah, sehingga memungkinkan akumulasi bahan organik dan aktivitas bioturbasi tinggi. Kadang kala, selama fase transgresif, pengaruh air laut meningkat, menyebabkan kondisi semi-marin yang memungkinkan kehidupan organisme laut dangkal seperti Bivalvia dan Gastropoda (21).

Fosil *Anadara sp.* kelas Bivalvia, filum *Mollusca* merupakan kerang laut dangkal yang cangkangnya tebal, biasanya memiliki rusuk-radial kasar, dan berbentuk agak menggembung. Kehadirannya menunjukkan lingkungan perairan dangkal dengan energi rendah hingga sedang, serta salinitas bervariasi (*brackish* sampai normal *marine*), yang sangat khas untuk sistem-estuari atau zona *interdistributary bay* dalam sistem deltaik. Apabila ditemukan *Anadara sp.* dalam satuan sedimen yang berupa lanau atau pasir halus, dengan tekstur rendah energi dan substrat lembut, maka dapat diinterpretasikan sebagai bagian dari teluk antarsaluran (*interdistributary bay*) atau zona transisi delta–laguna, di mana laut terbuka masih berpengaruh namun kondisi relatif terlindung terhadap gelombang dan arus kuat Afati (2010) (1).

Fosil *Meretrix sp.*, juga merupakan bivalvia, hidup sebagai infaunal (menggali sedimen) pada substrat lunak berupa lanau–lempung. Organisme ini memiliki toleransi tinggi terhadap fluktuasi salinitas, yang menjadikannya indikator penting lingkungan *interdistributary bay*. Fosil ini menunjukkan kondisi energi rendah, suplai sedimen halus, dan adanya pencampuran air laut dan air tawar. Studi Purwaningsih (2019) juga

menunjukkan pola yang sama. *Meretrix* banyak ditemukan di lingkungan estuarin–*deltaic*, terutama pada sedimen halus yang memang mencirikan energi rendah (16).

Tabel 1. Klasifikasi Makrofosil

No.	Nama Fosil	Gambar	Jenis Fosil	Formasi	Umur Geologi	Lingkungan Pengendapan
1.	<i>Anadara sp.</i>		- Filum: <i>Mollusca</i> - Kelas: <i>Bivalvia</i>	Pulau Balang	Miosen Awal - Akhir	Transisi
2.	<i>Meretrix sp.</i>		- Filum: <i>Mollusca</i> - Kelas: <i>Bivalvia</i>	Pulau Balang	Miosen Awal - Tengah	Transisi
3.	<i>Turritella sp.</i>		- Filum: <i>Mollusca</i> - Kelas: <i>Gastropoda</i>	Pulau Balang	Miosen Awal - Akhir	Transisi

Tabel 2. Penentuan Umur Fosil (Morley, 1991)

No	Nama Spesies	Umur		
		<i>Miocene</i>		
		<i>Early</i>	<i>Middle</i>	<i>Late</i>
1.	<i>Anadara sp.</i>			
2.	<i>Meretrix sp.</i>			
3.	<i>Turritella sp.</i>			

Fosil *Turritella sp.*, dari kelas Gastropoda, merupakan penghuni dasar laut dangkal yang hidup pada sedimen halus dan oksigenasi cukup. Spesies ini sering ditemukan pada lingkungan *lower interdistributary bay* hingga *shallow marine*, yang menandakan kondisi laut relatif stabil, energi rendah, dan arus pasang surut lemah. Maryanto (2016) juga mencatat *Turritella* sebagai indikator laut dangkal yang relatif terlindung di beberapa formasi sedimen Indonesia (7).

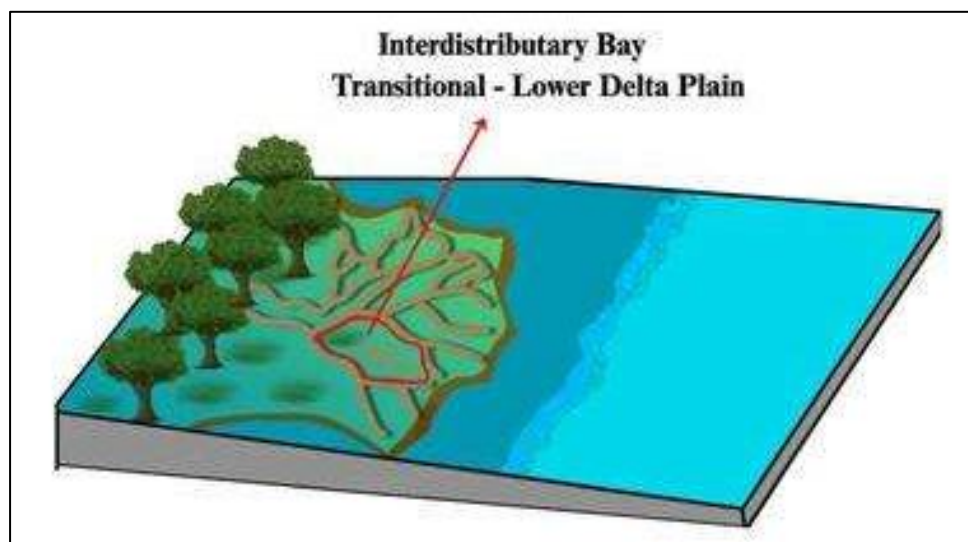
E. Model Lingkungan Pengendapan

Lingkungan pengendapan di atas merujuk pada lingkungan pengendapan transisi bagian *lower delta plain* yang ditunjukkan pada **Gambar 7** dengan fasies *interdistributary bay* yang terletak di antara cabang-cabang utama sungai (*distributary channels*). Daerah ini dicirikan oleh energi pengendapan rendah, sehingga sedimen yang diendapkan berupa lanau, lempung, hingga bahan organik seperti batubara cenderung terendapkan pada fasies tersebut dan tercantum pada model stratigrafi pada **Gambar 8**. Kondisi energi rendah seperti ini juga pernah dijelaskan oleh Wibowo et. al (2018), yang menemukan bahwa teluk antarsaluran pada delta-delta modern Indonesia memang sering menjadi perangkap sedimen halus dan material organik karena lingkungan yang relatif tenang. Kondisi yang tenang dan memiliki kadar oksigen yang rendah di area ini memungkinkan

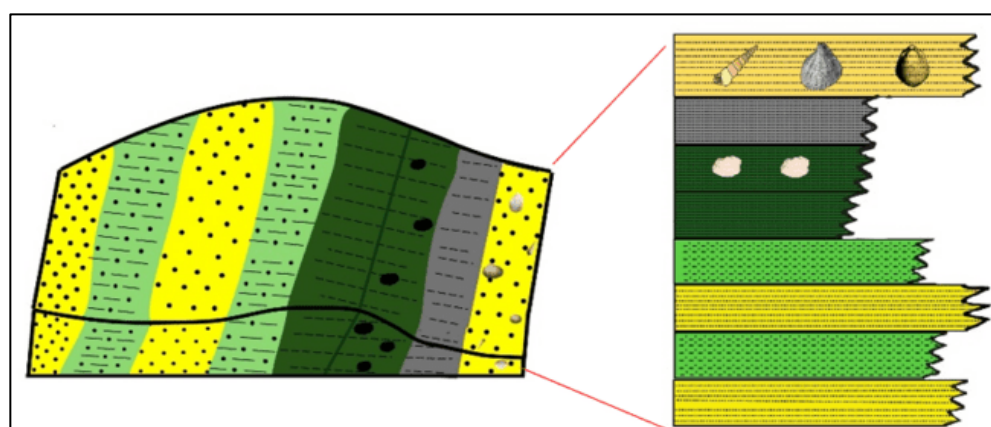
terbentuknya lapisan batubara, terutama jika lingkungannya berupa rawa tergenang. Dapat diketahui bahwa disekitar lokasi pengamatan ± 500 meter terdapat lapisan batubara yang cukup mendominasi di bagian bawah (lapisan tertua) yang menunjukkan fase pengendapan di rawa darat yang kaya bahan organik (23). Temuan seperti ini sejalan dengan penjelasan Hidayat (2016) yang menyebutkan bahwa rawa deltaik biasanya berkembang berdekatan dengan zona *interdistributary bay* dan menjadi lokasi utama akumulasi batubara pada sistem delta (5).

Setelah itu, terjadi transgresi laut, yaitu naiknya muka air laut yang menyebabkan perubahan lingkungan menjadi lebih ke laut. Bukti transgresi ini tampak dari ditemukannya fosil laut dangkal seperti *Anadara sp.*, *Meretrix sp.*, dan *Turritella sp.* pada lapisan termuda yakni lapisan batupasir, yang menandakan pengendapan pada lingkungan daerah *shallow marine*. Pola seperti ini mirip dengan yang dicatat oleh Siregar (2015), di mana keberadaan fosil *Mollusca* laut dangkal pada bagian atas urutan sedimen menjadi indikator langsung terjadinya transgresi (18).

Ciri utama dari urutan sedimen di bagian ini adalah adanya pola *fining upward*, yaitu peralihan ukuran butir dari kasar ke halus ke arah atas (dari batupasir $\rightarrow$ lanau $\rightarrow$ lempung $\rightarrow$ *shale*). Pola ini menggambarkan penurunan energi pengendapan secara bertahap, mencerminkan perubahan lingkungan dari fluvial aktif, menuju zona *interdistributary*, dan akhirnya menuju ke laut dangkal. Urutan *fining upward* seperti ini juga pernah dibahas oleh Susilohadi (2005), yang menyebutnya sebagai ciri pengendapan delta plain bagian bawah ketika arus sungai melemah menuju lingkungan lebih tenang (21).



Gambar 7. Model Lingkungan Pengendapan



Gambar 8. Model Urutan Lapisan (Stratigrafi)

Berdasarkan susunan litologi dan perubahan fasiesnya, urutan ini termasuk ke dalam *Transgressive Systems Tract* (TST), yaitu fase ketika laut mulai naik dan menggenangi wilayah darat. Ciri khas TST adalah perubahan fasies dari darat ke laut dangkal dengan pola *retrogradational stacking* (pergeseran ke arah laut). Gambaran ini sejalan dengan pemaparan Widodo (2017) yang menjelaskan bahwa TST ditandai oleh fasies yang makin dominan laut ke arah atas, serta kemunculan fosil laut dangkal yang menegaskan naiknya muka air laut (24).

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, pengukuran stratigrafi, analisis litologi, struktur sedimen, serta kajian biostratigrafi makrofosil, dapat disimpulkan bahwa:

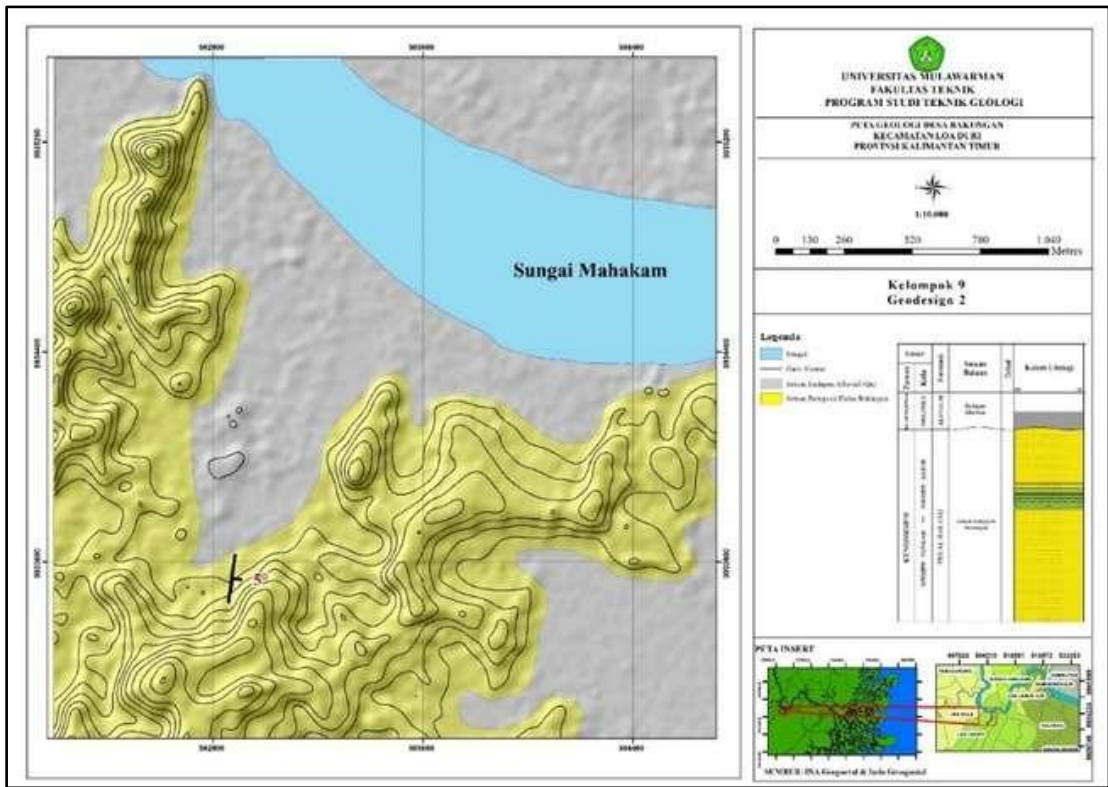
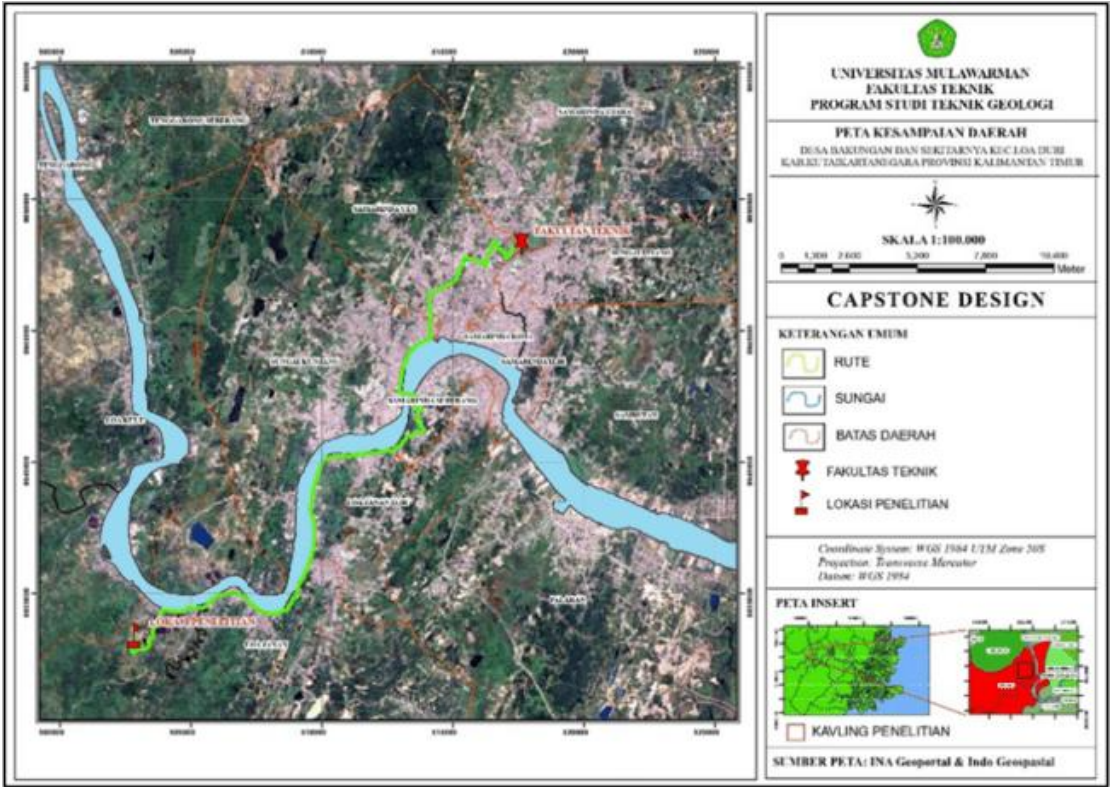
1. Singkapan Formasi Pulau Balang di Desa Bakungan tersusun atas lima lapisan utama yang terdiri dari perselingan batupasir–batulanau, batulempung karbonatan, batulempung non-karbonatan, *shale*, dan batupasir karbonatan yang mengandung makrofosil. Struktur sedimen yang dominan berupa laminasi, yang menurut Tucker (1996) mencerminkan proses pengendapan berenergi rendah dan berlangsung secara tenang. Struktur ini didukung oleh ukuran butir halus dan pola perlapisan 1/25-1/16 milimeter.
2. Berdasarkan pola stratigrafi pada *measuring section* (MS) memperlihatkan *fining upward*, dari batuan berbutir lebih kasar (batupasir halus) menuju batulanau, batulempung, hingga *shale*. Pola ini menunjukkan penurunan energi pengendapan secara bertahap dan mencirikan *transitional lower delta plain* dari lingkungan fluvial menuju laut dangkal khususnya pada subfasies *interdistributary bay*, yang dicirikan oleh sedimen halus dan struktur berenergi rendah.
3. Makrofosil yang ditemukan meliputi *Anadara sp.*, *Meretrix sp.*, dan *Turritella sp.*, dimana ketiga fosil tersebut termasuk dalam filum *Mollusca*. Fosil ini merupakan organisme laut transisi-dangkal dan menjadi indikator kuat bahwa pengendapan terjadi dalam lingkungan perairan yang masih dipengaruhi pasang surut. Berdasarkan analisis biostratigrafi berdasarkan Morley (1991) menunjukkan umur ketiga fosil berada pada rentang Miosen Awal–Akhir.
4. Berdasarkan sekuen stratigrafi Formasi Pulau Balang di Desa Bakungan menunjukkan ciri *Transgressive Systems Tract* (TST), yang ditandai oleh pergeseran fasies dari darat menuju laut dangkal secara bertahap (*retrogradational stacking*). Hal ini sejalan dengan Widodo (2017) yang menyatakan bahwa TST dicirikan oleh dominasi fasies laut ke arah atas dan kehadiran fosil laut dangkal sebagai bukti transgresi.

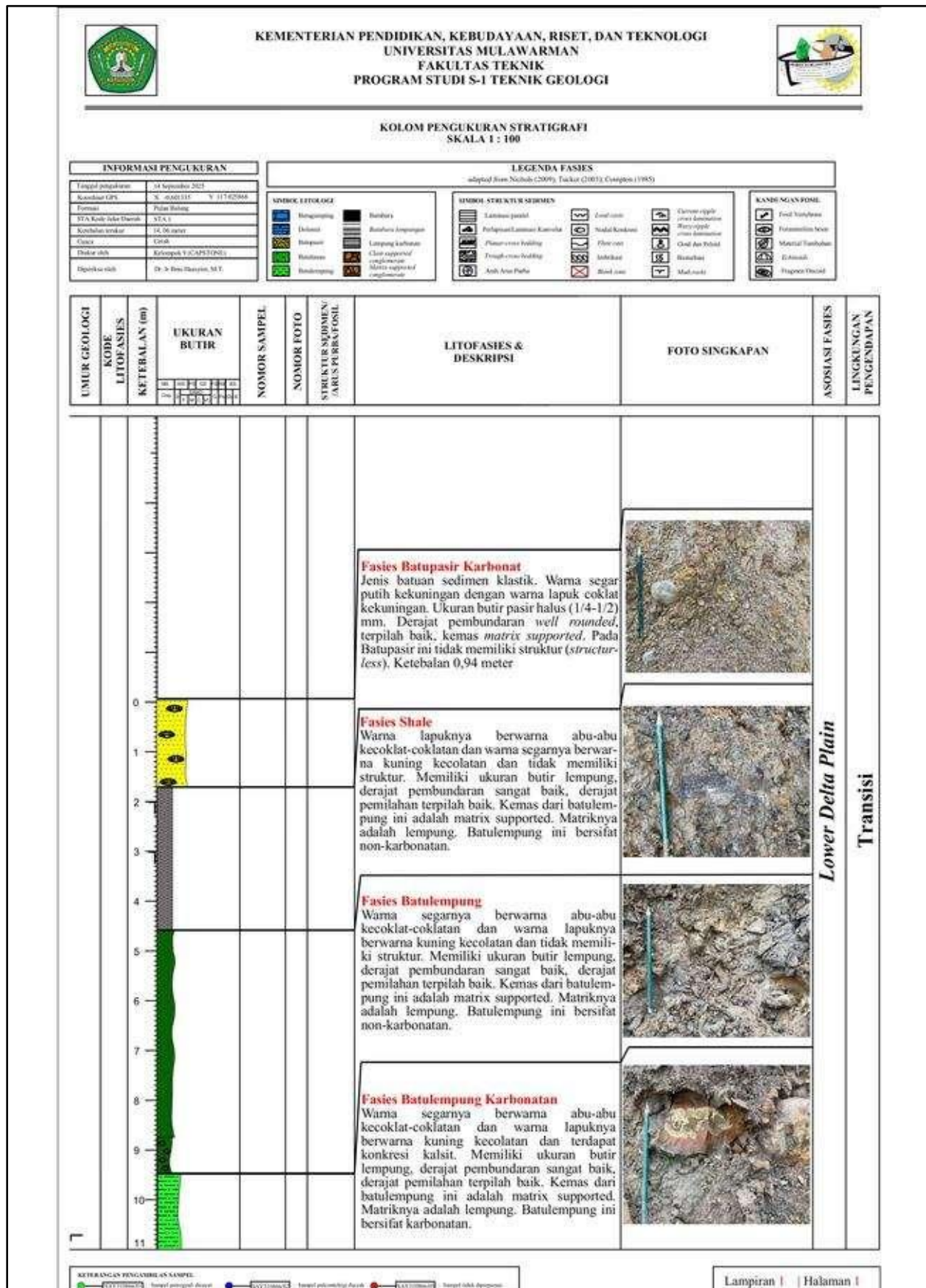
6. Daftar Pustaka

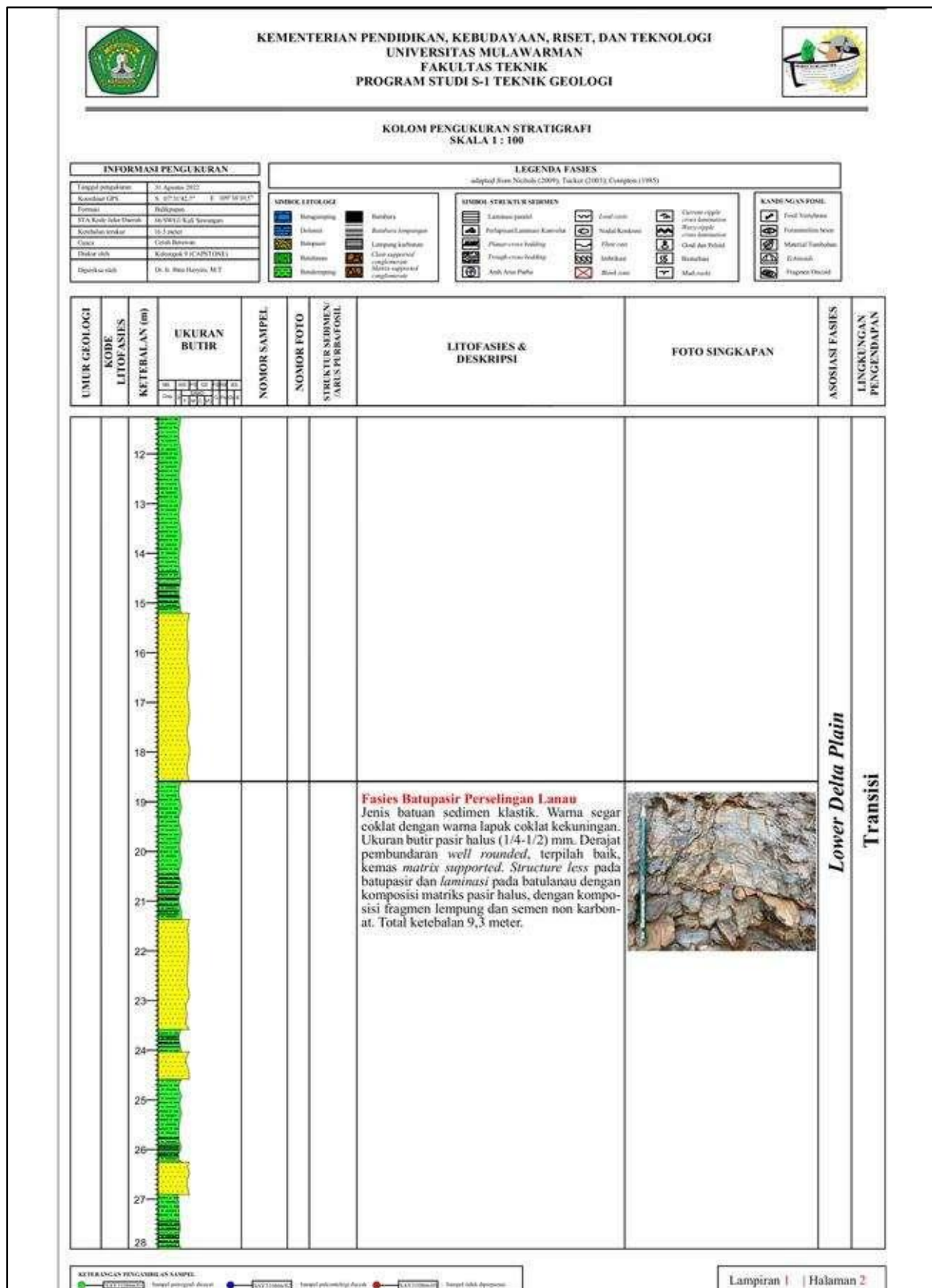
- Afiati N. Kerang Darah *Anadara granosa* (L.) (Bivalvia: Arcidae) sebagai Bioindikator Lingkungan Akuatik dan Upaya Konservasinya. Pidato Pengukuhan Guru Besar, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro; 2010 Sep 29; Semarang.
- Aga T, Setyawan ID, Widada S. Litofasies batulanau dan batupasir Formasi Pulau Balang pada Cekungan Kutai. *J Ilm Geol Pangea*. 2022.
- Anwar AR, Abdurrokhim, Firmansyah Y, Gani RMG. Fasies dan lingkungan pengendapan batubara Formasi Muara Enim Lapangan “Bima”, Daerah Lubuk Betung, Sumatera Selatan. Jatinangor: Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran; 2021.
- Bachri S, Harsolumakso A, Rustandi E. Pola fining upward pada endapan dataran pasang surut sebagai respon terhadap perubahan energi pengendapan. *Prosiding Seminar Geologi Indonesia*; 2010.
- Hidayat A. Lingkungan pengendapan batubara pada sistem deltaik dan keterkaitannya dengan fasies rawa delta. *Jurnal Kebumian*. 2016.
- Kurnio H, Rustandi E, Ramdhan A. Studi fasies delta Kapuas dan perubahan energi pengendapan pada interdistributary bay. *Buletin Geologi Indonesia*. 2009.
- Maryanto S. Indikator lingkungan laut dangkal berdasarkan keberadaan fosil gastropoda *Turritella* pada sedimen Miosen. *Jurnal Geologi Kelautan*. 2016.
- Mawardi AL, Yolanda F, Elfrida, Sarjani TM. Bivalvian distribution pattern based on habitat characteristics in the coastal area of Langsa City. *J Trop Biodiv Biotechnol*. 2018;3:26–9.
- Morley CK. Developing Palaeogeographic Models. In: Morley CK, editor. *Tectonic and Stratigraphic Evolution of Southeast Asian Basins*. Cambridge: Cambridge University Press; 1991.

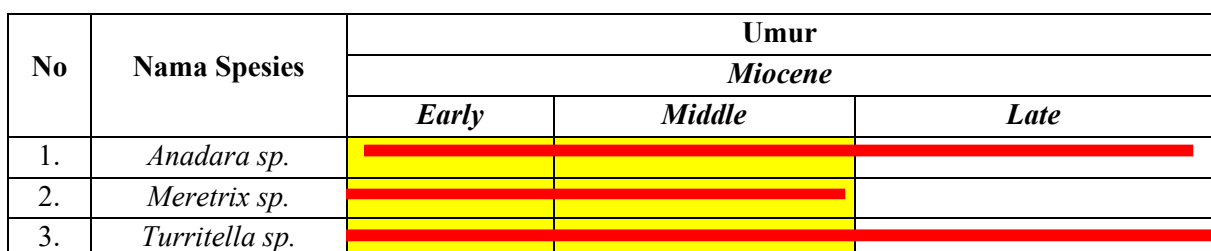
- Nalendra S. Analisis lingkungan pengendapan batubara dan geoteknik di wilayah Loa Duri. Laporan Penelitian. Universitas Mulawarman; 2014.
- Nichols G. Sedimentology and Stratigraphy. 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell; 2009.
- Nisa R, Fatimah S, Ardiansyah M. Perubahan muka air laut dan pengaruhnya terhadap fasies transisi Miosen–Plistosen di Kalimantan Timur. *J Bumi Indonesia*. 2024.
- Nurani D, Prabowo H, Wijayanto A. Fosil moluska laut dangkal sebagai indikator lingkungan delta pasang surut Formasi Miosen di Kalimantan Timur. *Jurnal Sedimentologi Indonesia*. 2020.
- Permana A, Nugroho S, Yuliana D. Fase transgresi tipis pada sekuen deltaik Cekungan Kutai dan keterkaitannya dengan sedimen karbonatan halus. *J Geol Sumberdaya Mineral*. 2023.
- Pramumijoyo S, Husein S, Cahyadi A. Karakter endapan aluvial Holosen di wilayah delta Indonesia dan kaitannya dengan proses banjir. *Prosiding PIT IAGI*; 2017.
- Purwaningsih R. Variasi habitat *Meretrix* sp. dan kaitannya dengan energi pengendapan di lingkungan estuarin–deltaik. *J Perikanan dan Kelautan*. 2019.
- Putri A, Lestari F, Widyastuti R. Variasi fasies lokal pada Formasi Pulau Balang bagian Loa Duri dan pengaruh lingkungan neritik karbonatan. *Jurnal Geosains Mulawarman*. 2022.
- Siregar H. Fosil moluska laut dangkal sebagai indikator transgresi pada urutan sedimen. *Jurnal Geologi Regional*. 2015.
- Supriatna S. Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan Timur. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi; 1995.
- Susilohadi S. Karakteristik pengendapan delta plain bagian bawah dan pola fining upward. *Buletin Teknik Geologi*. 2005.
- Susilohadi S, Wibowo S, Ramadhan A. Fauna laut dangkal pada interdistributary bay sebagai indikator lingkungan transisi. *Jurnal Stratigrafi Indonesia*. 2005.
- Tucker M.E. Sedimentary Rocks in the Field. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons; 1996.
- Wibowo S, Nurhadi M, Cahyono R. Pengendapan sedimen halus pada teluk antarsaluran delta modern Indonesia. *J Sedimentologi Indonesia*. 2018.
- Widodo A. Transgressive Systems Tract (TST) dan ciri fasies laut dangkal pada urutan stratigrafi sedimen. *Jurnal Geologi Kelautan*. 2017.
- Zaenudin A, Rifa'i M, Sudarsono D. Studi fasies batupasir dan batubara pada sistem delta bagian atas di Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*. 2019.

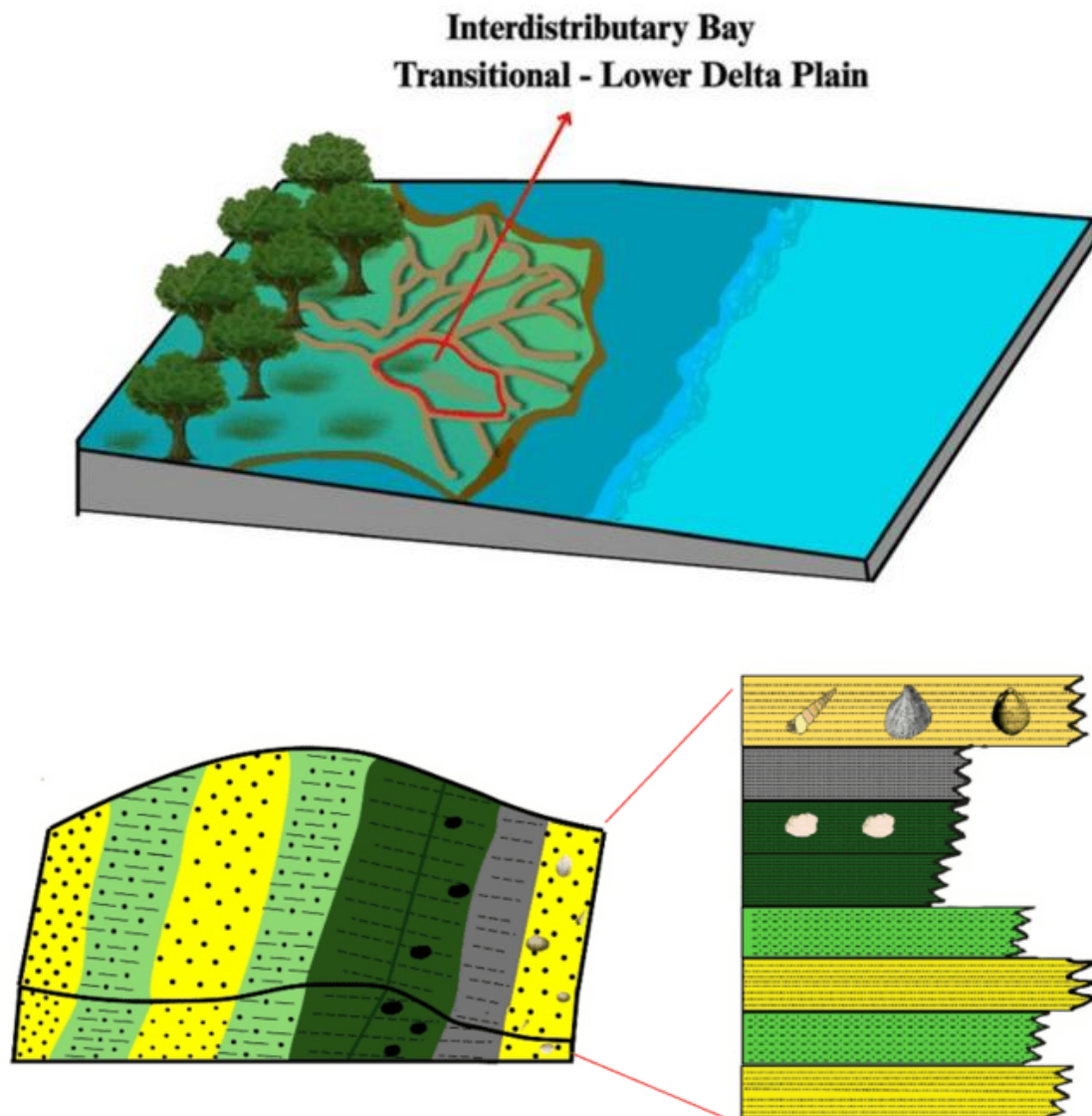
LAMPIRAN DATA











LAMPIRAN KEGIATAN



