
ARSITEKTUR SEDIMENTASI TURBIDIT LAUT DALAM FORMASI KEREK, CEKUNGAN KENDENG, JAWA TIMUR

*Slamet Sugiarto*¹, *Hita Pandita*², *Hurien Helmi*³

Jl. Babarsari, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Telp.(0274)487249

^{1,2,3}Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral

Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

e-mail: sugiartogeoindo@gmail.com

Abstrak

Daerah penelitian secara administratif terletak di Daerah Kerek dan Sekitarnya, Kecamatan Ngawi, Provinsi Jawa Timur. Litologi utama penyusun terdiri dari batuan sedimen yang terendapkan pada lingkungan laut. Batupasir turbidit kipas laut dalam merupakan salah satu reservoir utama diberbagai macam cekungan di dunia. Adanya kehadiran endapan turbidit Formasi Kerek dapat memberikan pemahaman yang baik mengenai fasies dan arsitektur sedimentasi khususnya sebagai batuan reservoir di Cekungan Kendeng. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui kondisi geologi dan arsitektur sedimentasi berdasarkan pada susunan fasies serta asosiasinya, sehingga dapat diinterpretasikan secara detail sejarah proses pengendapannya. Metode yang digunakan terdiri dari pemetaan geologi permukaan, serta deskripsi secara detail singkapan pada pengukuran penampang stratigrafi, yang bertujuan untuk mengetahui variasi litologi, tebal lapisan, batas kontak, susunan fasies, elemen stratigrafi, karakteristik perubahan sedimentologi secara lateral dan vertikal. Berdasarkan interpretasi pada pengukuran penampang stratigrafi pada lintasan LP 68, LP 69 dan LP 70, fasies stratigrafi Formasi Kerek pada daerah penelitian terdiri dari 6, yaitu fasies perselingan batupasir, batulanau dan batulempung (F1), fasies batupasir silang siur laminasi (F2), fasies batupasir paralel laminasi (F3), fasies batupasir perlapisan bersusun (F4), fasies batupasir berlapis tebal dengan fragmen batulempung (F5) dan fasies konglomerat masif (F6). Sedangkan arsitektur sedimentasi Formasi Kerek dapat dikelompokkan menjadi tiga, meliputi elemen arsitektur kanal (tipe 1 dan 2), elemen arsitektur kipas dan elemen arsitektur limpas tanggul.

Kata kunci— Arsitektur Sedimentasi, Formasi Kerek, Cekungan Kendeng

Abstract

The research area is administratively located in the Kerek and surrounding areas, Ngawi District, East Java Province. The main lithology of the constituent consists of sedimentary rocks that were deposited in the marine environment. Deep sea fan turbidite sandstone is one of the main reservoirs in various basins in the world. The presence of turbidite deposits of the Kerek Formation can provide a good understanding of facies and sedimentation architecture, especially as reservoir rocks in the Kendeng Basin. The purpose of this study is to determine the geological conditions and sedimentation architecture based on the arrangement of facies and their associations, so that they can be interpreted in detail the history of the deposition process. The method used consists of mapping the surface geology, as well as a detailed description of outcrops on stratigraphic cross-sectional measurements, which aims to determine lithological variations, layer thickness, contact boundaries, facies arrangement, stratigraphic elements, characteristics of lateral and vertical sedimentological changes. Based on the interpretation of the stratigraphic cross-sectional measurements on the LP 68, LP 69 and LP 70 trajectories, the stratigraphic facies of the Kerek Formation in the study area consist of 6, namely alternating sandstone facies, siltstone and claystone (F1), cross-cutting laminated sandstone facies (F2), facies parallel laminated sandstone (F3), layered layered sandstone facies (F4), thick layered

sandstone facies with claystone fragments (F5) and massive conglomerate facies (F6). Meanwhile the sedimentary architecture of the Kerek Formation can be grouped into three, including canal architectural elements (type 1 and 2), fan architectural elements and embankment runoff architectural elements.

Keywords— *Sedimentation Architecture, Kerek Formation, Kendeng Basin*

1. PENDAHULUAN

Aliran gaya berat sedimen (*sediment gravity flow*) adalah istilah untuk mendeskripsikan pergerakan sedimen menuruni lereng yang dikendalikan oleh gravitasi [1]. [2] dan [3] mengklasifikasikan aliran gaya berat sedimen menjadi 6 tipe yang terdiri dari arus turbid, aliran fluida, aliran likuifaksi, aliran butir, aliran debris dan nendatan serta luncuran. proses pengendapan yang disebabkan oleh adanya gaya berat sedimen pada lingkungan laut dalam luncuran (*slide*), nendatan (*slump*), aliran debris (*debris flow*) dan arus turbid (*turbidity current*) [4]. Pada waktu terjadinya proses sedimentasi aliran dapat bertransformasi dari luncuran, nendatan, semakin menjauhi lereng berubah menjadi aliran debris hingga arus turbid dibagian paling distal.

Secara fisiografi menurut [5] daerah penelitian termasuk kedalam Zona Kendeng. Pada kurun waktu Oligosen – Pliosen Kendeng merupakan bagian dari cekungan belakang busur yang terdiri dari sikuen pengendapan laut. Suplai sedimen umumnya didominasi oleh material vulkanik yang teresedimentasi. Perubahan lingkungan laut mulai berangsur menjadi transisi hingga ke darat setidaknya semenjak terjadinya proses tektonik pengangkatan. [6] menyebutkan bahwa struktur geologi yang berkembang pada Perbukitan Kendeng didominasi oleh serangkaian perlipatan asimetris bersumbu barat-timur yang membentuk antiklinorium dan berbagai patahan intensitas lipatan makin berkurang kearah bagian timur Zona Kendeng. Sudut lipatan bagian utara umumnya lebih besar dan terpotong oleh adanya sesar naik kearah utara. Struktur geologi yang terbentuk umumnya akibat gaya kompresi secara lateral dengan arah utara-selatan akibat adanya pengangkatan regional di Pegunungan Selatan Pulau Jawa selama Pliosen-Pleistosen [7].

Formasi Kerek merupakan satuan batuan penyusun stratigrafi Cekungan Kendeng (Gambar 1). Litologi penyusun didominasi oleh sedimen berbutir halus yang terdiri dari perselingan napal, batupasir, batupasir tufan, batulempung, dan batugamping dengan adanya kandungan material vulkanik [7], [8], [9]. Secara umum banyak peneliti menginterpretasikan mekanisme pengendapan Formasi Kerek secara arus turbid pada lingkungan kipas laut dalam, dengan dasar adanya penciri struktur sedimen seperti laminasi sejajar, laminasi konvolut, gelembur arus, silangsiur, perlapisan bersusun (seri sikuen Bouma) [10]. Menurut [9] mempunyai umur Miosen Akhir bagian tengah (N16-N17). Lingkungan pengendapan neritik dalam dengan tebal satuan 825 m.

Batupasir turbidit kipas laut dalam merupakan salah satu reservoir utama diberbagai macam cekungan di dunia, dan lebih dari 80 cekungan sedimentasi hidrokarbon diproduksi [11]. Salah satu lapangan minyak dan gas bumi Chevron yang berada di Selat Makasar, di Kalimantan Timur diproduksi dari reservoir batupasir turbidit kipas laut dalam yang berumur Miosen Atas dengan cadangan mencapai 6 triliun kubik feet/ tcf dan 200 juta barel/ bbl minyak dan kondensat [12]. Cekungan Kendeng merupakan lokasi yang banyak ditemukannya rembesan hidrokarbon. Dominasi batuan sedimen laut yang tebal pengisi cekungan Kendeng menjadikan terpenuhinya komponen sistem *petroleum* seperti batuan sumber, batuan reservoir, batuan penutup dan perangkap. Sumur Ngawi-1 telah menembus Formasi Kerek dan menjadikan bukti adanya potensi hidrokarbon di daerah ini. Bagaimanapun penelitian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran mengenai susunan fasies, elemen arsitektur, dan mekanisme sedimentasi.

| Umur | | Formasi (Ditun dkk, 1996) | Litologi | Deskripsi | | | |
|---------|----------|------------------------------|---------------|--|--|------|--|
| Zaman | Kala | | | | | | |
| KUARTER | RESEN | ENDAPAN ALLUVIAL | Qa | Qa : Lempung, lanau, pasir, kerikil. Terendapkan sepanjang dataran banjir K. Lusi, K. Madiun, K. Wulung dan Bengawan Solo. | | | |
| | | HOLOSEN | ENDAPAN UNDAK | Qtr | Qtr : Batupasir, ukuran sedang-kasar, mudah lepas, berstruktur silangsiur; dan konglomerat berkomponen andesit, tuf, opal, rijang, kalsedon, batugamping dan kepingan fosil vertebrata. | | |
| | PLISOSEN | AKHIR | NOTOPURO | Qn | Qn : Breksi lahar, batupasir gunungapi, konglomerat dan batulanau gunungapi. | | |
| | | TENGAH | KABUH | Qk | Qk : Batupasir, kelabu terang, berstruktur silangsiur, di beberapa tempat bersifat konglomeratan, lanauan; dan konglomerat berbentuk lensa. | | |
| | | AWAL | PUCANGAN | Qp | Qp : Breksi, batupasir gunungapi dan batulempung. Bagian bawah, batulempung berlapis tipis; di bagian atas terdapat sedimen fasies gunungapi, terdiri dari breksi dan batupasir gunungapi. | | |
| | TERSIER | PLIOSEN | AWAL | KALIBENG | Agt. Klitik | Tpkk | Tpkk : Batugamping, putih kekuningan-kecoklatan, berlapis (20-60 cm), di beberapa tempat mengandung kepingan koral; dan napal, putih kekuningan, sebagai sisipan dalam batugamping, tebal 10-30 cm. |
| | | | | | Agt. Banyak | Tmpk | Tmpk : Napal, pejal dan setempat sisipan batupasir (20-50 cm), tufan-gampingan. |
| | | MIOSEN | AKHIR | KEREK | | Tmkb | Tmkb : Breksi andesit, kelabu terang, kepingan andesit dengan sedikit tuf, ukuran komponen 0,30-12 cm, keras, kemas terbuka, pejal; dan breksi tuf, putih-kelabu, kepingan/matriks tuf dengan sedikit andesit, ukuran 0,2-10 cm, kemas terbuka, pejal. |
| | | | | | | Tmk | Tmk : Napal, batulempung, batugamping dan batupasir. Bagian bawah, perselingan napal, batulempung, batupasir gampingan batulempung gampingan dan batupasir tufan. Bagian atas batugamping, yang di beberapa tempat tufan dengan sisipan napal dan batulempung gampingan. |
| | | | | | | ? | |

Gambar 1. Stratigrafi Zona Kendeng (Modifikasi dari Datun dkk, 1996)

2. METODE PENELITIAN

Dalam studi ini metode utama berdasarkan pemetaan lapangan. Terdapat 3 lokasi pengamatan singkapan (LP68, LP69 dan LP70), yang berada pada area bekas penambangan (Gambar 2). Pengumpulan data lapangan meliputi: 1) pengukuran penampang stratigrafi terukur, 2) pengukuran arus purba dan 3) pengambilan conto batuan. Deskripsi secara detail singkapan pada pengukuran penampang stratigrafi dilakukan untuk mengetahui variasi litologi,

tebal lapisan, batas kontak, susunan fasies, elemen stratigrafi, karakteristik perubahan sedimentologi secara lateral dan vertikal.



Gambar 2. Peta lokasi jalur lintasan pengukuran penampang stratigrafi terukur (Modifikasi google earth, 2020)

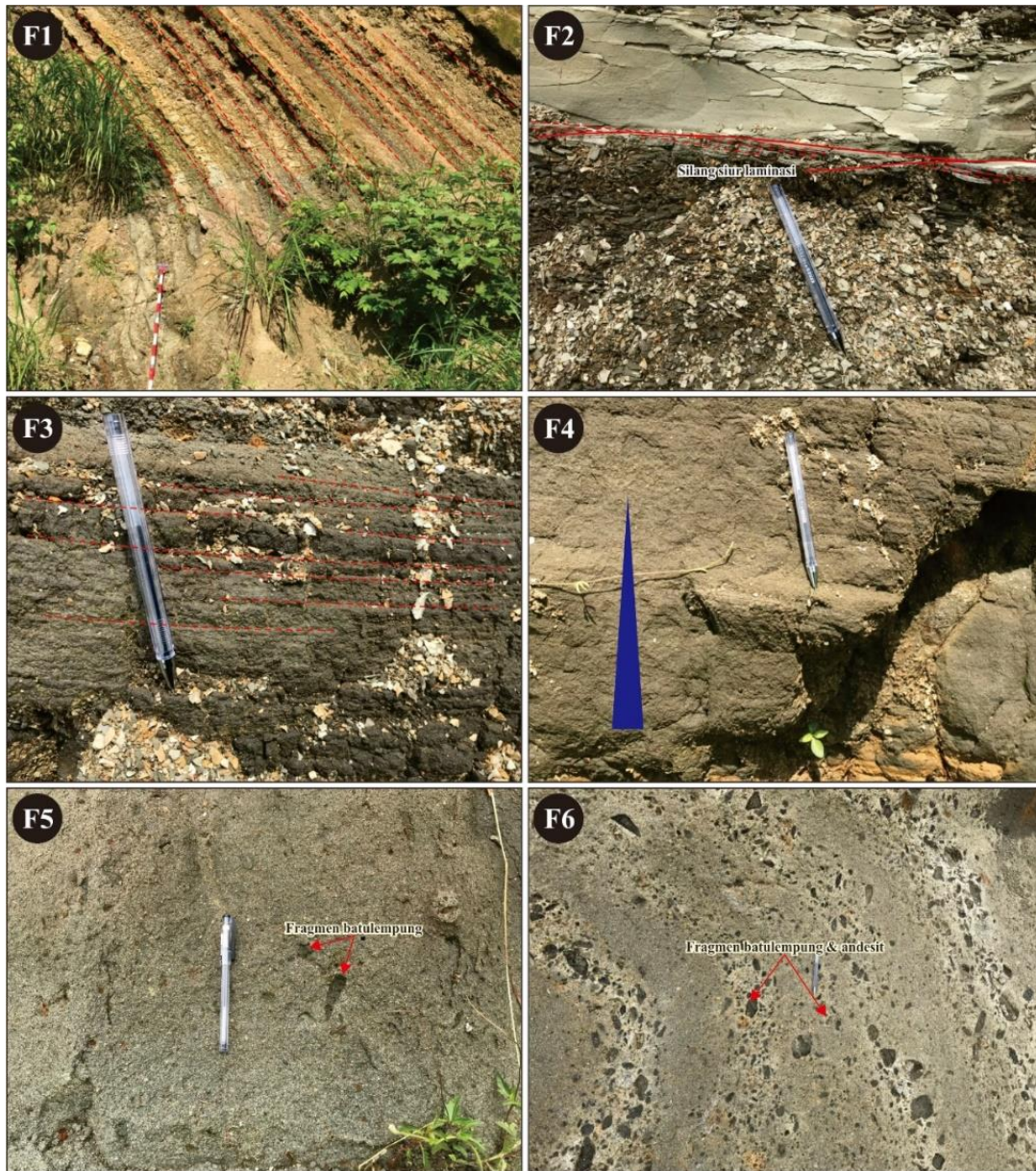
Total 138 m panjang pengukuran penampang stratigrafi dengan skala 1:100. Pengukuran arus purba dilakukan pada struktur erosi dibagian bawah interval stratigrafi. Pada bagian dasar endapan kanal akan membentuk struktur erosi cetak suling (*flute cast*) yang mengindikasikan arah dari pengendapan batuan. Terdapat 6 pengukuran arus purba yang terdiri dari arah dan kemiringan (*plunge/bearing*), yang selanjutnya akan dinalisis menggunakan diagram mawar. Analisis conto batuan dipergunakan untuk mengetahui umur dan lingkungan batimetri, yang selanjutnya dipakai sebagai data pendukung dalam interpretasi sejarah dan lingkungan sedimentasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Stratigrafi Formasi Kerek tersusun oleh sedimen silisiklastik, dengan dominasi berbutir halus. Berdasarkan pada pengamatan detail singkapan pada jalur lintasan pengukuran stratigrafi dilakukan interpretasi susunan fasies yang meliputi deskripsi dan interpretasi aliran. Elemen arsitektur diinterpretasikan berdasarkan pada kumpulan litofasies, dan paramater seperti kontak lapisan, geomtri, pola suksesi dan lainnya, yang dibandingkan dengan model peneliti terdahulu.

1.1. Fasies

Fasies penyusun Formasi Kerek pada daerah penelitian terdiri dari 6 (Gambar 3). Pembagian berdasarkan pada deskripsi karakteristik singkapan di lapangan. Deskripsi detail dan interpretasi susunan fasies dari (F1) perselingan tipis batupasir, batulanau dan batulempung, (F2) batupasir silangsiur laminasi, (F3) batupasir paralel laminasi, (F4) batupasir perlapisan bersusun, (F5) batupasir berlapis tebal dengan fragmen betulempung, dan (F6) konglomerat masif, dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Kenampakan susunan fasies yang teridentifikasi pada daerah penelitian

Tabel 1. Klasifikasi susunan fasies Formasi Kerek pada daerah penelitian

| No | Fasies | Deskripsi | Interpretasi | Komparasi Peneliti Terdahulu |
|----|--|--|---|--|
| 1 | Perselingan tipis batupasir, batulanau dan batulempung | Batupasir terdiri dari pasir halus - sangat halus, berlapis tipis berkisar dari 10 - 30cm, berselingan dengan batulanau dan batulempung berlapis hingga masif, kontak gradasi dan sebagian tegas | Pengendapan suspensi pelagik dan arus turbid densitas rendah | Bouma (1962) Tb, Td, Te, Walker (1978) CT, Mutti (1992) F9a, Gardner dkk (2003) F13, F14 |
| 2 | Batupasir silang siur laminasi | Terdiri dari batupasir sedang - halus, berwarna abu-abu - kecoklatan, kontak tegas pada bagian bawah, silang siur laminasi tipis, berkisar dari 5 - 30cm | Sedimentasi traksi dari arus turbid densitas rendah | Bouma (1962) Tc, Walker (1978) CT, Mutti (1992) F9b, Gardner dkk (2003) F11 |
| 3 | Batupasir paralel laminasi | Batupasir terdiri dari sedang - kasar, kontak bagian bawah tegas - gradasi, tebal berkisar dari 20 - 40 cm | Sedimentasi traksi dari arus turbid densitas rendah | Bouma (1962) Tb, Mutti (1992) F9a, Walker (1978) CT, Gardner dkk (2003) F8 |
| 4 | Batupasir perkapisan bersusun | Batupasir dengan ukuran dari kasar - sedang, kontak pada bagian bawah umumnya erosional | Sedimentasi traksi + suspensi dari arus turbid densitas rendah dan tinggi | Bouma (1962) Ta, Walker (1978) CT, Lowe (1982) S3, Mutti (1992) F7 |
| 5 | Batupasir berlapis tebal dengan fragmen batulempung | Batupasir berlapis tebal, terdiri dari pasir kasar - sangat kasar, terdapat fragmen batulempung, kontak bagian bawah erosional | Aliran butir atau percampuran dari arus turbid densitas tinggi dengan aliran debris | Walker (1978) MS, Gardner dkk (2003) F2, Houghton dkk (2009) H1 |
| 6 | Konglomerat masif | Konglomerat dengan fragmen batulempung dan andesit berukuran kerikil - kerakal, mengambang dalam matrik pasir kasar | Kohesif dari aliran debris | Walker (1978) CGL, Mutti (1992) F2, Gardner dkk (2003) F1 |

F1. Perselingan tipis batupasir, batulanau dan batulempung

Deskripsi: Fasies ini tersusun oleh perselingan tipis batupasir, batulanau dan batulempung. Batupasir terdiri dari pasir halus-sangat halus, berwarna abu-abu hingga kecoklatan, berlapis, sortasi baik, kemas tertutup, semen didominasi oleh karbonat dan sebagian silika. Mempunyai kontak pada bagian bawah tegas dan umumnya bergradasi-tegas dibagian atasnya. Ketebalan batupasir berkisar dari 5cm-30cm. Batupasir hadir dengan prosentase yang lebih sedikit dan berada diantara batulanau dan batulempung, dan terkadang sebagai sisipan tipis. Batulanau dan batulempung, mempunyai warna yang lebih gelap abu-abu, umumnya berlapis, dengan kontak gradasi baik pada bagian bawah maupun bagian atasnya. Pola suksesi yang teramati berupa penebalan dan pengkasaran lapisan dengan siklus yang secara berulang. Litologi batupasir diinterpretasikan merupakan bagian dari interval Tb, batulanau Td serta batulempung merupakan Te dari sikuen Bouma ataupun endapan lempung pelagik laut dalam. Material organik terdapat di antara sisipan laminasi batulanau, dengan warna kehitaman.

Interpretasi: Fasies perselingan batupasir dengan batulanau dan batulempung dengan struktur penciri sikuen Bouma (Tb, Td dan Te) merepresentasikan pengendapan arus turbid densitas rendah. Batupasir berlapis diinterpretasikan bagian dari interval Tb sikuen Bouma yang terendapkan oleh mekanisme arus traksi dengan kontak bagian bawah tegas dengan batulempung mengindikasikan adanya perbedaan fase pengendapan dan energi yang lebih tinggi. Dominasi batulanau dan batulempung dapat ditafsirkan terendapkan pada fase distal dari arus turbid. Sedimentasi batulempung pada sistem pengendapan laut dalam dapat terbentuk oleh mekanisme lain selain arus turbid, yaitu dengan mekanisme pengendapan suspensi pelagik. Menurut [13] perselingan tipis batupasir dengan batulempung merupakan fasies turbidit klasik (CT). Sedangkan pada klasifikasi [14] termasuk kedalam fasies F9a, yang didominasi oleh sedimen berbutir halus dengan mekanisme arus turbid densitas rendah. Mengacu pada model fasies [15] interpretasi fasies ini termasuk kedalam mekanisme aliran turbulen dengan konsentrasi rendah yang dikelompokkan kedalam F13 dan F14.

F2. Batupasir silang siur laminasi

Deskripsi: Fasies ini tersusun batupasir silang siur laminasi, yang terdiri dari pasir halus-sedang. Batupasir berwarna abu-abu, dengan tebal berkisar dari 5cm-30cm. Mempunyai kontak pada bagian bawah tegas dan bagian atas tegas-gradasi. Fasies ini berasosiasi dengan perselingan tipis batupasir, batulanau dan batulempung (F1), batupasir paralel laminasi (F3) dan batupasir perlapisan bersusun (F4). Secara terstruktur mempunyai sortasi yang baik, kemas tertutup, semen didominasi oleh karbonat dan sebagian silika. Pada beberapa lapisan dijumpai material organik yang berada pada batas laminasi dengan ketebalan < 1cm. Kehadiran fasies ini umumnya dijumpai berada diantara batulanau ataupun batulempung. Prosentase fasies batupasir silang siur laminasi tidak terlalu mendominasi, hadir sebagai lapisan tipis. Interpretasi dari fasies ini merupakan bagian dari interval Tc dari sikuen Bouma.

Interpretasi: Fasies batupasir silang siur laminasi merupakan bagian dari sikuen Bouma (Tc) yang terendapkan oleh mekanisme arus turbid densitas rendah. Struktur silang siur dapat terbentuk pada rezim aliran bawah arus traksi yang lazim dijumpai pada arus turbid densitas rendah selain struktur konvolut [16]. Pada mekanisme pembentukannya arus traksi akan mentransportasikan butiran pasir dan mengendapkannya seperti membentuk gundukan (*ripple bedform*). Menurut [17] mekanisme tipe seruakan turbulen dapat mengendapkan sikuen Bouma secara tidak lengkap seperti F2 dengan durasi jam-hari. Fasies 2 dapat diklasifikasikan kedalam turbidit klasik (CT) yang lazim dijumpai pada kipas bawah (*lower fan*) [13] Pada model klasifikasi [18] batupasir silang siur laminasi secara individu termasuk kedalam F9b yang terendapkan oleh mekanisme arus turbid densitas rendah. Aliran konsentrasi rendah diwakili oleh arus turbid densitas rendah yang mengendapkan sedimen pasir seperti pada F2 dan umumnya berasosiasi dengan sedimen lempungan. Mengacu pada model yang diusulkan [15] fasies batupasir silang siur laminasi termasuk kedalam F11.

F3. Batupasir paralel laminasi

Deskripsi: Fasies batupasir paralel laminasi terdiri dari pasir sedang-kasar, berwarna abu-abu hingga kecoklatan. Secara tekstur batupasir mempunyai sortasi yang baik, kemas tertutup, semen didominasi oleh karbonat dengan komposisi mineral mafik, kuarsa dan feldspar. Kontak pada bagian bawah tegas-gradasi, sedangkan pada bagian atas mempunyai kontak tegas. Ketebalan fasies ini berkisar dari 20cm-30cm. Asosiasi fasies ini berada diantara fasies perselingan tipis batupasir, dengan batulanau dan batulempung (F1) dan batupasir silang siur laminasi (F2). Pada beberapa interval fasies ini berada diatas fasies batupasir perlapisan bersusun (F4) dengan kontak gradasi.

Interpretasi: Fasies batupasir paralel laminasi termasuk penciri sikuen Bouma (Tb) yang terendapkan oleh mekanisme arus turbid densitas rendah [16], [3], [18]. Struktur paralel laminasi pada litologi batupasir dapat diinterpretasikan transportasi sedimen dengan energi arus yang cukup kuat. Pada sistem arus traksi struktur paralel dapat terbentuk pada rezim aliran atas (*upper flow regime*), dikarenakan energi arus yang kuat sehingga akan terbentuk struktur yang datar, tanpa adanya gundukan gelombang pada pasir (*ripple dan dune bedforms*). Asosiasi fasies batupasir paralel laminasi (Tb) sering dijumpai pada bagian atas dari batupasir perlapisan bersusun (Ta) pada pengendapan dari arus turbid densitas rendah. Menurut [16] kecepatan arus turbid akan berkurang seiring berjalannya waktu, oleh sebab itu fasies batupasir paralel laminasi dapat terendapkan ketika energi arus turbid mulai berkurang setelah terendapkan interval batupasir perlapisan bersusun. Konsentrasi sedimen pada pengendapan interval Tb cukup rendah dengan mekanisme aliran fluida turbulen [17] Pengendapan arus turbid densitas rendah yang mengendapkan F3 termasuk kedalam tipe aliran non kohesif dimana kandungan matrik lumpuran tidak ada [19]. [20] dalam model fasiesnya mengelompokkan batupasir paralel laminasi kedalam fasies turbidit klasik (CT). Dalam model fasies yang dibuat oleh [18] fasies ini (F3) termasuk kedalam F9a, yang dapat terdiri dari susunan batupasir perlapisan-paralel laminasi, hingga silangsiur laminasi. Interpretasi [15] dari model fasies yang dibuatnya aliran gaya berat dengan efisiensi tinggi dapat mengendapkan batupasir dengan struktur paralel laminasi (F3).

F4. Batupasir perlapisan bersusun

Deskripsi: Fasies ini tersusun batupasir yang terdiri dari pasir sedang-kasar. Secara deskripsi batupasir berwarna abu-abu, dengan struktur perlapisan bersusun (*graded bedding*) dengan tebal berkisar dari 30cm-70cm. Tekstur mempunyai sortasi yang baik, kemas tertutup, semen didominasi oleh karbonat dan sebagian silika dengan komposisi mineral mafik, kuarsa, feldspar. Kontak pada bagian bawah umumnya erosional dan bagian atas gradasi-tegas. Umumnya fasies ini (F4) pada bagian atas bergradasi menjadi fasies batupasir paralel laminasi (F3). Asosiasi fasies batupasir perlapisan bersusun sering dijumpai diantara fasies perselingan tipis batupasir dengan batulanau dan betulempung (F1), serta fasies batupasir silang siur laminasi (F2).

Interpretasi: Fasies batupasir perlapisan bersusun dapat dikelompokkan kedalam interval Ta sikuen Bouma (1962) dan S3 Lowe (1982). Interpretasi mekanisme pengendapan dari fasies ini termasuk kedalam arus turbid densitas rendah. Lowe (1982) dan Mutti (1992) menginterpretasikan batupasir berstruktur perlapisan bersusun dapat juga terbentuk pada sistem arus turbid densitas tinggi. Pengendapan pada bagian bawah dari F4 dicirikan oleh struktur erosional dengan butiran pasir yang lebih kasar. Arus traksi dengan energi yang kuat pada rezim aliran atas akan mampu mengerosi lapisan dibawahnya dan mengendapkan butiran pasir kasar. Sedimen pasir yang lebih halus akan terendapkan dibagian atas secara suspensi ketika energi habis [17]. Pada bagian atas dari F4 umumnya akan terendapkan fasies batupasir paralel laminasi (F3). Sama halnya dengan fasies-fasies sebelumnya F4 dapat diklasifikasikan kedalam turbidit klasik (CT) yang dapat dijumpai pada lingkungan kipas [20] dan [14] mengklasifikasikan batupasir berstruktur perlapisan bersusun dapat dikelompokkan kedalam F7, yang terbentuk oleh arus turbid densitas tinggi pasiran (SHDTC).

F5. Batupasir berlapis tebal dengan fragmen batulempung

Deskripsi: Fasies batupasir berlapis tebal dengan fragmen batulempung terdiri dari pasir kasar -sangat kasar, berwarna abu-abu. Secara tekstur batupasir mempunyai sortasi yang sedang-buruk, kemas tertutup, semen didominasi oleh karbonat, dengan komposisi mineral mafik, kuarsa dan feldspar. Fasies ini mempunyai kontak pada bagian bawah erosional, sedangkan pada bagian atas mempunyai bergradasi. Ketebalan fasies ini berkisar dari 50cm-100cm. Pada bagian atas fasies ini bergradasi menjadi fasies batupasir paralel laminasi-perlapisan (F3). Pada bagian bawah umumnya mengerosi fasies perlapisan tipis batupasir dengan batulanau dan batulempung. Fasies ini secara fisik memperlihatkan adanya pola gradasi ukuran butir yang semakin menghalus ke atas dengan konsentrasi fragmen batulempung dibagian bawah. Bentuk fragmen batulempung tidak seragam, dengan bentuk memanjang hingga membulat.

Interpretasi: Fasies batupasir berlapis tebal dengan fragmen batulempung termasuk penciri fasies batupasir masif (MS) [20] yang terendapkan oleh mekanisme arus turbid densitas tinggi. Struktur sedimentasi berlapis tebal-masif dengan adanya fragmen batulempung dapat diinterpretasikan transportasi sedimen dengan energi arus yang kuat. Pengendapan butiran pasir dengan aliran densitas konsentrasi tinggi melibatkan interaksi antar butir (*grain flow*) dengan pengaruh aliran debris (transisi), serta termasuk kedalam aliran non kohesif [17]. Fragmen batulempung dapat terbentuk ketika energi pengendapan pasir cukup kuat untuk mengerosi lempung yang sudah terendapkan sebelumnya. Lempung yang sifatnya kohesif (saling melekat) akan tertransportasikan bersama butiran pasir dan mengendap ketika energi berkurang. Interpretasi lain menurut [19] sistem transportasi campuran antar aliran debris dengan arus turbid termasuk kedalam komposit/ aliran ko-genetik. Pengendapan melibatkan sistem aliran turbulen serta laminar yang melibatkan sedimen dengan konsentrasi tinggi. Fasies batupasir berlapis dengan fragmen batulempung termasuk kedalam endapan *hybrid event beds* (H1) [19]. Menurut [15] fasies batupasir berlapis dengan fragmen batulempung (F5) termasuk kedalam F2, yang dicirikan adanya struktur erosional pada bagian bawah dan adanya batulempung sebagai fragmen. Pengendapan dari F2 dapat terbentuk pada sistem aliran gaya berat dengan efisiensi tinggi maupun rendah.

F6. Konglomerat masif

Deskripsi: Fasies ini tersusun konglomerat masif yang terdiri dari matrik pasir kasar-sangat kasar. Secara deskripsi konglomerat berwarna abu-abu, dengan struktur masif, tekstur mempunyai sortasi yang buruk, kemas tertutup dan sebagian terbuka, semen didominasi oleh karbonat, dengan komposisi mineral mafik, kuarsa, feldspar dan tebal berkisar dari 4m-4,5m. Kontak pada bagian bawah erosional dengan struktur cetak suling (*flute cast*) dan bagian atas tegas. Asosiasi fasies ini berada diantara fasies perselingan tipis batupasir dengan batulanau dan batulempung (F1). Fragmen didominasi oleh batulempung dengan bentuk memanjang hingga membulat, berukuran centimeter hingga puluhan centimeter. Fragmen andesit berukuran kerikil dijumpai, dengan prosentase yang lebih kecil, umumnya berwarna abu-abu gelap. Fasies konglomerat masif ini didukung oleh massa butiran, dengan kandungan fragmen terkonsentrasi pada beberapa interval. Berdasarkan ukuran butir sedimen, fasies ini merupakan yang paling kasar yang dijumpai pada daerah penelitian dan lapisan yang paling tebal.

Interpretasi: Fasies konglomerat masif dapat dikelompokkan kedalam fasies konglomerat (CGL) sikuen [20] dan F2 [18]. Interpretasi mekanisme pengendapan dari fasies ini termasuk aliran debris [17]. Pengendapan pada sistem aliran debris terjadi ketika sedimen kaya matrik dan butiran dengan konsentrasi sedimen yang tinggi (*high viscosity*) mengendap secara cepat tanpa adanya sortasi. Peran fluida air dalam pengendapan hampir tidak ada, dan umumnya pada bagian bawah fasies ini akan mengerosi tajam secara vertikal lapisan dibawahnya. Energi aliran yang tinggi secara laminar dari konsentrasi sedimen > fluida yang terkandung akan mampu mengerosi endapan lempung yang sebelumnya terbentuk, serta ikut masuknya kedalam massa sedimen yang baru. Lempung yang sifatnya kohesif akan tertanam pada massa sedimen kaya matrik dan butiran pasir dengan pola secara lateral, hal ini

dimungkinkan karena aliran debris tertansport secara laminar, bukan turbulen. Pada fase yang lebih jauh sisa dari pengendapan aliran debris ini dapat mengendapkan fasies lain dengan kosentrasi sedimen yang lebih rendah/ bertransformasi secara aliran menjadi aliran butir.

1.2. Arsitektur

Stratigrafi Formasi Kerek pada daerah penelitian tersusun oleh 3 elemen arsitektur; 1) kanal, 2) kipas, 3) tanggul. Klasifikasi dan deksripsi elemen arsitektur (Tabel 2). Interpretasi elemen arsitektur berdasarkan deskripsi dari susunan fasies, pola suksesi, yang mengacu pada peneliti terdahulu mengenai model fasies kipas turbidit laut dalam.

Tabel 2. Klasifikasi elemen arsitektur sedimentasi Formasi Kerek pada daerah penelitian

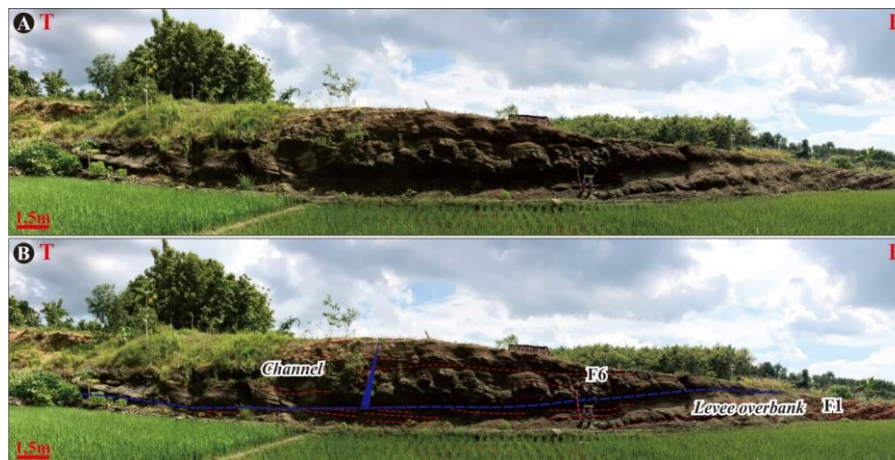
| No | Elemen Arsitektur | Deskripsi | Komposisi Fasies | Komparasi Peneliti Terdahulu |
|----|--|--|---|---|
| 1 | Kanal (<i>channel</i>) | Dengan geometri lensa cekung, mempunyai kontak erosional pada bagian bawah. Tersusun oleh konglomerat - batupasir kasar, dengan suksesi menghalus keatas (<i>finning upward</i>). Ketebalan berkisar dari 1,5 meter - 4 meter. | Fasies konglomerat masif (F6), Fasies batupasir berlapis tebal dengan fragmen batulempung (F5), Fasies batupasir perlapisan bersusun (F4), Fasies batupasir paralel laminasi (F3) | Walker (1978), Mutti dan Nomark (1991), Gardner dkk (2003), Posamentier dan Walker (2006), McHargue dkk, (2011) |
| 2 | Kipas (<i>lobe</i>) | Tersusun oleh perselingan tipis batupasir, batulanau dan batulempung, batupasir berlapis tebal, geometri seperti lembaran (<i>sheet like</i>). Kontak umumnya gradasi - tegas, dengan pola suksesi mengkasar dan menebal ke atas (<i>coarsening upward and thickening upward</i>), tebal berkisar dari 1 meter - > 5 meter | Fasies perselingan tipis batupasir dengan batulanau dan betulempung (F1), Fasies batupasir silang siur laminasi (F2), Fasies batupasir paralel laminasi (F3), Fasies batupasir perlapisan bersusun (F4) | Walker (1978), Mutti dan Nomark (1991), Gardner dkk (2003), Posamentier dan Walker (2006), McHargue dkk, (2011), Brooks dkk, (2018) |
| 3 | Limpas tanggul (<i>levee overbank</i>) | Terdiri dari geometri lembaran (<i>sheet like</i>), perselingan tipis batupasir, batulanau dan batulempung dengan dominasi batulanau. Kontak gradasi dengan tebal berkisar dari 1 meter - > 2,5 meter | Fasies perselingan tipis batupasir dengan batulanau dan betulempung (F1) | Mutti dan Nomark (1991), Gardner dkk (2003), Weimer dan Skatt (2004), Posamentier dan Walker (2006), McHargue dkk, (2011), Brooks dkk, (2018) |

Arsitektur Kanal

Kanal mempunyai geometri lensa, dengan relief negatif/ cekung serta adanya erosional pada bagian bawah. Tersusun oleh sedimen berbutir kasar, dengan bagian yang paling tebal pada bagian sumbu kanal. Pada bagian atas mempunyai kontak yang tegas dengan stratigrafi yang lebih muda di atasnya. Arsitektur kanal pada daerah penelitian dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

Kanal Tipe 1

Kanal tipe 1 tersusun oleh batupasir kasar-konglomerat masif. Fasies penyusun kanal tipe ini terdiri dari fasies konglomerat masif (F6), batupasir berlapis tebal dengan fragmen batulempung (F5), batupasir perlapisan bersusun (F4) dan batupasir paralel laminasi-berlapis (F3). Pada kenampakan singkapan pada bagian bawah dari tipe kanal 1 mempunyai struktur erosional dengan adanya cetak suling (*flute cast*), yang mengerosi fasies perselingan tipis batupasir, batulanau dan batuempung (F1) endapan limpas tanggul (*levee overbank*) (Gambar 4). Ketebalan kanal tipe 1 berkisar dari 3-4meter, denga lokasi paling tebal berada pada bagian sumbu kanal (*channel axis*).



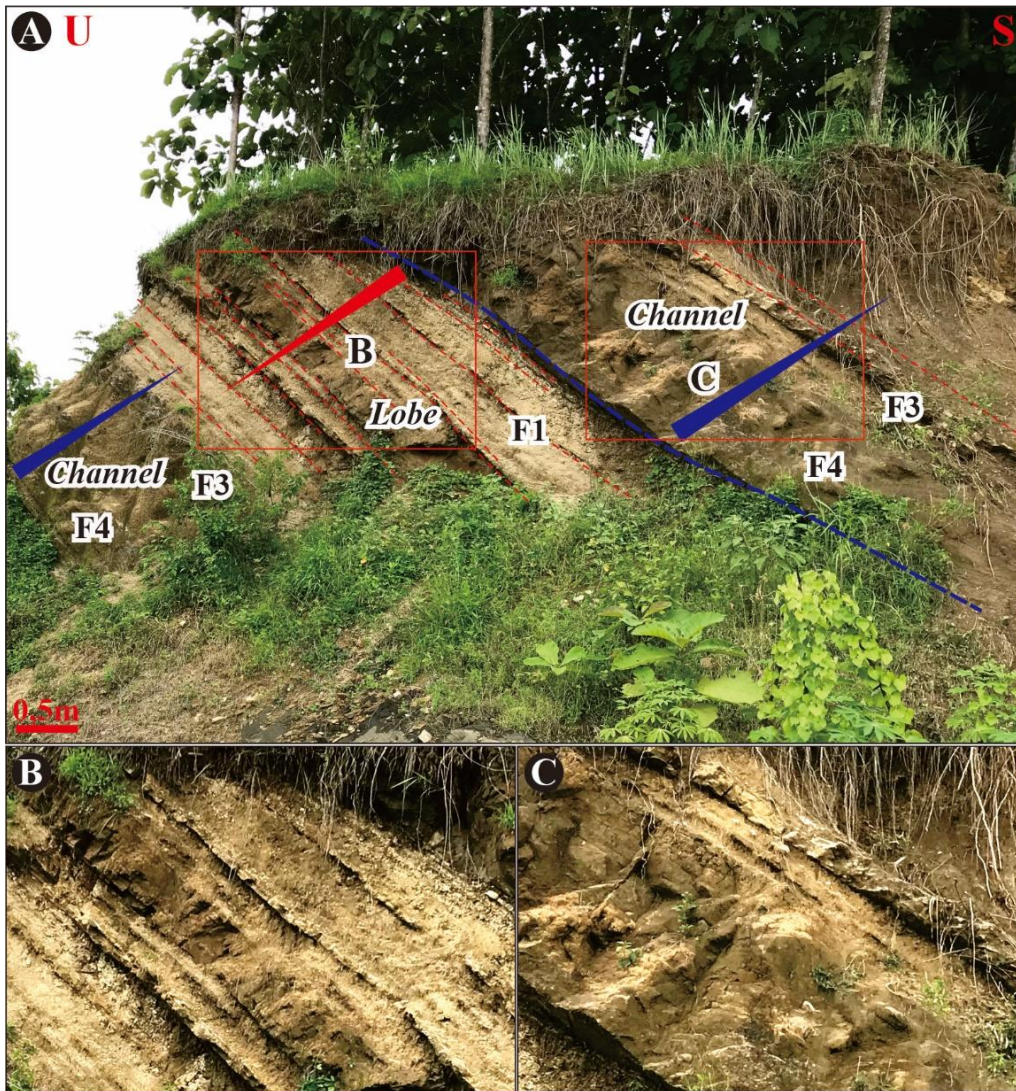
Gambar 4. Elemen arsitektur kanal tipe 1 yang tersusun oleh F6 dengan kontak erosi pada bagian bawah dengan F1 pada lintasan LP68 meter ke 9 . A. Sebelum dilakukan interpretasi B. Interpretasi penarikan batas elemen arsitektur

Pada bagian bawah kanal tersusun oleh butiran yang lebih kasar dengan beberapa adanya kandungan fragmen betulempung-andesit berukuran kerikil-kerakal, dengan pola suksesi menghalus keatas (*finning upward*). Mengacu pada model klasifikasi fasies kipas turbidit laut dalam, diinterpretasikan terbentuk pada lingkungan kipas tengah (*middle fan*) hingga kipas atas (*upper fan*) [21].

Kanal Tipe 2

Kanal tipe 2 tersusun oleh batupasir sedang-kasar. Susunan fasies pada kanal tipe 2 meliputi batupasir perlapisan berusun (F4) dan batupasir paralel laminasi-berlapis (F3). Arsitektur kanal tipe ini dicirikan oleh struktur erosional pada bagian bawah dengan pola suksesi menghalus keatas (*finning upward*). Pada bagian bawah litologi batulanau-batulempung (F1) yang dierosi oleh kanal tipe ini. Ketebalan berkisar dari 1-1,5meter, yang umumnya berasosiasi dengan endapan kipas. Kanal tipe 2 sering dijumpai diantara perselingan batupasir, batulanau dan batulempung (F1) (Gambar 5).

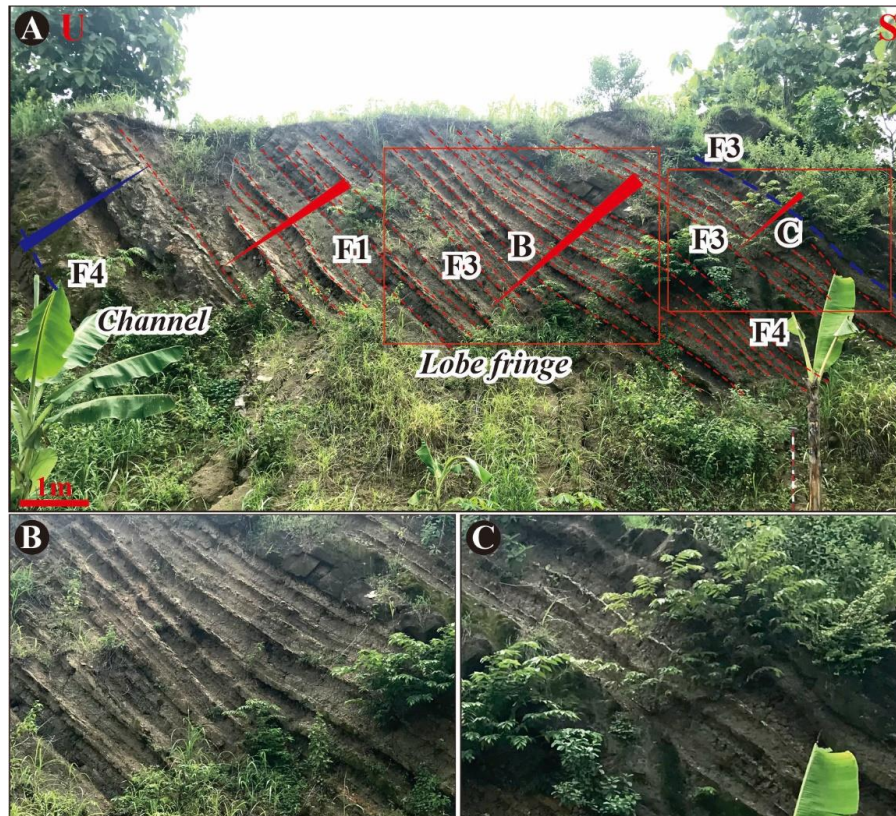
Berdasarkan tekstur ukuran butir, pada bagian bawah lebih didominasi oleh butiran pasir kasar, yang semakin keatas bergradasi menjadi pasir sedang. Sortasi umumnya baik, dengan bentukan butir membulat, kemas tertutup. Komposisi mineral terdiri dari kuarsa, feldspar, dan sebagian mineral mafik. Keberadaan kanal tipe 2 ini seringkali dijumpai diantara endapan kipas dengan kontak erosi pada bagian bawahnya. Pengendapan oleh arus turbid densitas tinggi pada batupasir perlapisan berusun (F4) dan arus turbid densitas rendah pada batupasir paralel laminasi-berlapis (F3) lazimnya terbentuk pada lingkungan yang distal. Interpretasi kanal tipe 2 termasuk kedalam kipas kanal yang terletak berdekatan dengan kipas [22]. Bagaimanapun dalam penentuan interpretasi lingkungan pengendapan arsitektur kanal sangat bergantung pada tekstur, kontak erosi, pola suksesi serta asosiasi fasies pada bagian bawah maupun atasnya.



Gambar 5. A. Elemen arsitektur kanal tipe 2 yang tersusun oleh F4 dan F3 yang berasosiasi dengan F1 pada lintasan LP68 meter ke 22. B. Kenampakan detail pola suksesi mengkasar keatas. C. Pola suksesi mengahlus keatas

Arsitektur Kipas

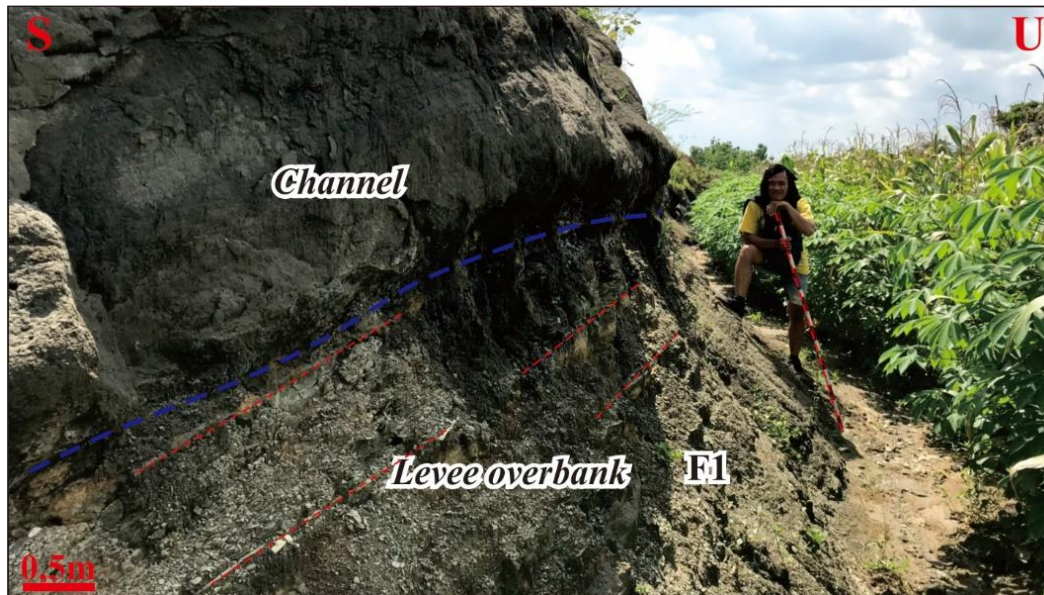
Arsitektur stratigrafi kipas mempunyai geometri seperti lembaran (*sheet like*), yang tersusun atas perselingan tipis batupasir, batulanau dan batulempung. Kontak antar lapisan umumnya gradasi-tegas dan jarang yang erosional. Pada elemen kipas terdiri dari kumpulan fasies perselingan batupasir, batulanau dan batulempung (F1), batupasir silang siur laminasi (F2), batupasir paralel laminasi (F3) dan sedikit batupasir perlapisan bersusun (F4). Pada kenampakan singkapan terdiri dari perulangan pola suksesi mengkasar dan menebal keatas (*coarsening and thickening upward*) (Gambar 6). Arsitektur kipas ini paling mendominasi interval stratigrafi pada daerah penelitian. Interpretasi pengendapan elemen arsitektur kipas terendapkan pada bagian kipas tepi (*lobe fringe*) dan kipas transisi (*lobe off axis*), yang dapat dibedakan dari prosentase kehadiran batupasir yang semakin banyak pada kipas transisi [23].



Gambar 6. A. Elemen arsitektur kipas yang tersusun oleh F1, F3 dan F4 pada lintasan LP68 bagian atas meter ke 70. B. Kenampakan detail pola suksesi mengkasar keatas dengn tebal >2m. C. Pola suksesi mengkasar keatas dengan tebal <2m

Arsitektur Limpas Tanggul

Arsitektur limpas tanggul umumnya hampir sama dengan endapan kipas, hanya saja kehadiran batupasir pada perselingan dengan batulempung lebih sedikit dan tipis. Posisi secara stratigrafi arsitektur ini berada dibagian bawah dari arsitektur kanal, dan bagian atasnya tererosi (Gambar 7). Fasies penyusun arsitektur limpas tanggul hanya terdiri dari perselingan batupasir, batulanau dan batulempung (F1), yang mencerminkan energi arus pengendapan yang pelan oleh arus turbid densitas rendah. Mekanisme pembentukan endapan limpas tanggul terbentuk oleh adanya endapan muntahan secara lateral ke samping pada bagian tubuh kanal. Pada model fasies pengendapan kipas turbidit laut dalam, arsitektur limpas tanggul lazim dijumpai pada bagian kipas atas-tengah [22]. Pola suksesi yang teramati tidak begitu jelas, dengan kehadiran batulempung yang mendominasi.



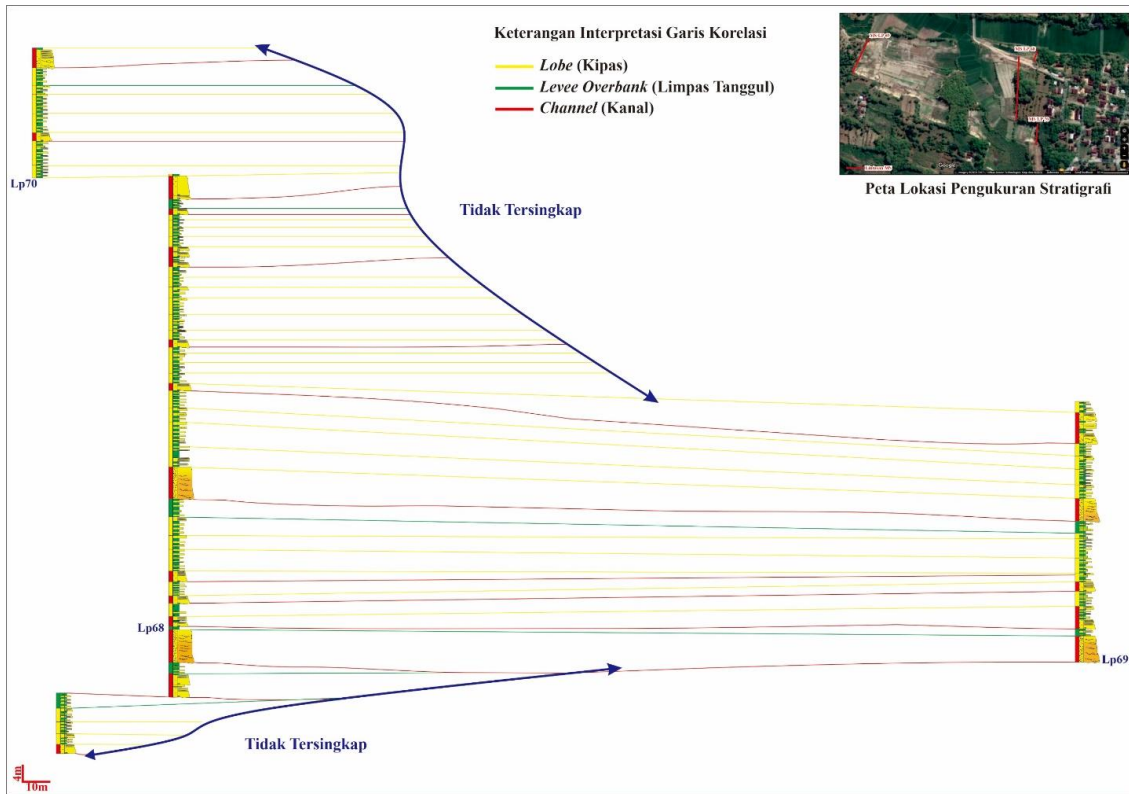
Gambar 7. Elemen arsitektur limpas tanggul yang tersusun oleh F1

1.3. Evolusi Stratigrafi Formasi Kerek

Pada bagian ini akan menjelaskan mengenai proses evolusi stratigrafi pada daerah penelitian. Hasil dari pengukuran stratigrafi terukur di lapangan yang terdiri dari lintasan sisi timur (LP 68 dan LP 70) dan lintasan sisi barat (LP 69), yang sudah dilakukan analisis susunan fasies, pola suksesi dan elemen arsitektur pengendapan, selanjutnya dilakukan korelasi stratigrafi berdasarkan pada arsitektur pengendapan (Gambar 8). Stratigrafi pada daerah penelitian tersusun oleh kompleks kipas turbidit laut dalam. Pada interval bagian bawah terdiri dari arsitektur kanal tipe 2 yang kemudian berkembang menjadi lingkungan kipas. Endapan limpas tanggul berada dibawah dari arsitektur kanal tipe 1 yang tersusun oleh konglomerat masif dan batupasir berlapis tebal. Penyebaran kanal tipe 1 ini menerus hingga ke lintasan bagian barat. Dibagian atas mengalami perubahan lingkungan yang terdiri dari bagian kipas hingga kipas kanal (*channel lobe*), dengan susunan litologi didominasi oleh perselingan tipis batupasir, batulanau dan batulempung.

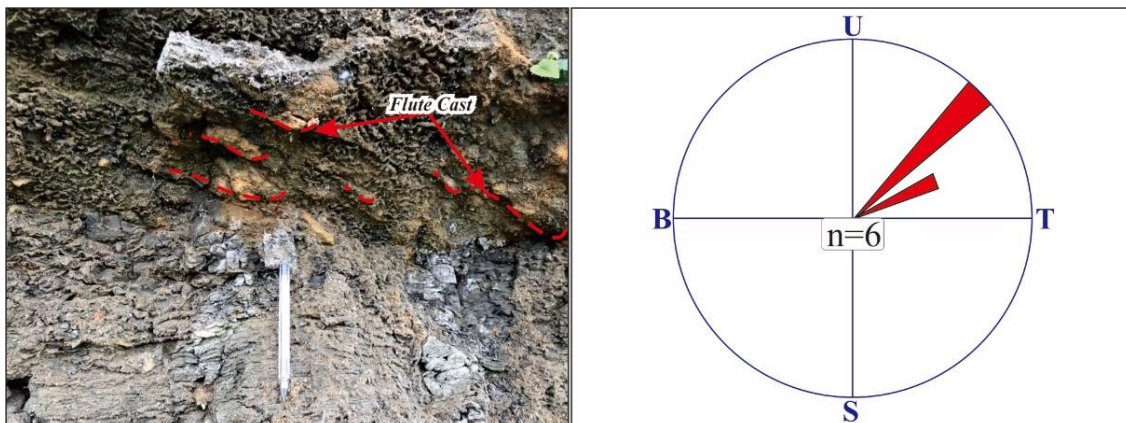
Interval stratigrafi bagian tengah dijumpai kanal tipe 1, baik pada lintasan sisi timur ataupun sisi barat. Dibagian bawahnya tererosi endapan limpas tanggul yang tersusun oleh perselingan batupasir dan batulempung. Semakin kebagian atas stratigrafi dominasi perubahan menjadi arsitektur kipas dan kipas kanal semakin tebal dan berulang (*progradasi*). Adanya pengaruh perubahan relatif muka air laut dapat mengontrol laju perubahan pada lingkungan kipas turbidit laut dalam pada daerah penelitian. Arsitektur kanal tipe 1 dijumpai pada bagian akhir dari interval stratigrafi, hanya saja persebaran hingga ke barat tidak dijumpai.

Evolusi perkembangan lingkungan sedimentasi pada stratigrafi daerah penelitian dapat dikenali dengan jelas, berdasarkan pada susunan fasies dan arsitektur pengendapannya. Adanya data pendukung analisis batimetri yang menunjukkan lingkungan berkisar dari neritik luar-batial atas, semakin menguatkan interpretasi bahwasannya lingkungan sedimentasi pada interval stratigrafi penelitian terendapkan pada kipas turbidit laut dalam. Pengukuran arus purba pada struktur erosi cetak suling (*flute cast*) pada bagian bawah dari arsitektur kanal tipe 1 dilintasan sisi timur interval meter ke 8,5meter, setelah dilakukan analisis diperoleh hasil arah sedimentasi dari selatan-barat daya (Gambar 9).

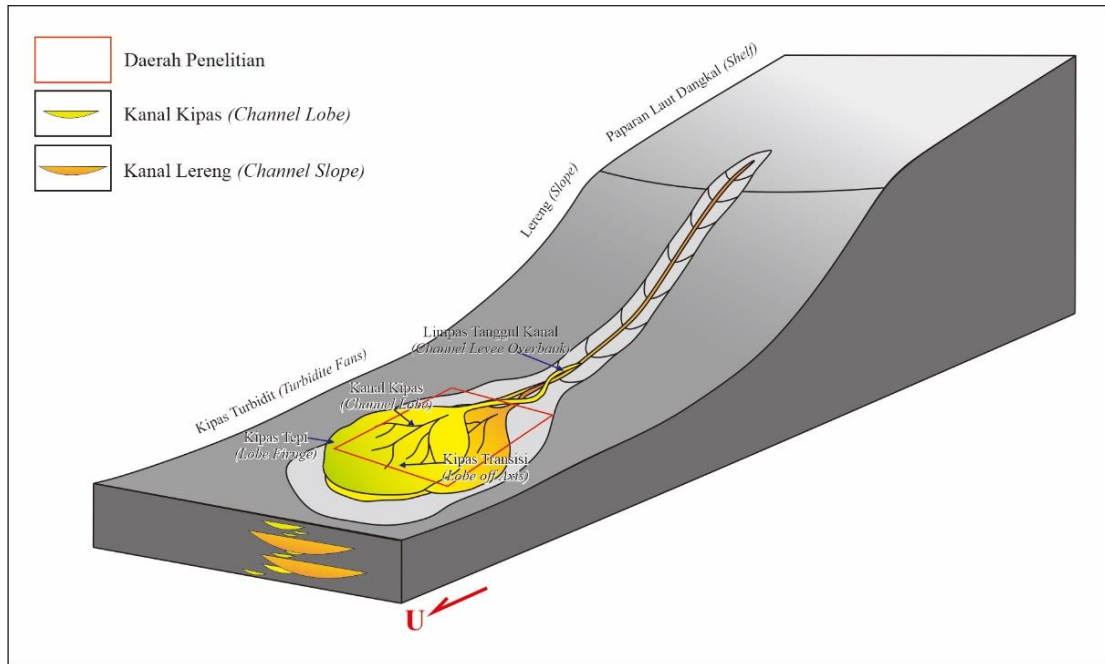


Gambar 8. Korelasi elemen arsitektur stratigrafi pada lintasan sisi timur (LP 68 dan LP 70) dengan lintasan sisi barat (LP 69)

Keberadaan kandungan mineral mafik pada litologi batupasir dan andesit berukuran kerikil pada konglomerat dapat diinterpretasikan batuan asal sedimentasi pada daerah penelitian dimungkinkan berasal dari Pegunungan Selatan, yang pada kala Oligosen - Miosen merupakan busur gunung api, sedangkan daerah penelitian bagian dari cekungan belakang busur. Interpretasi yang sama juga telah disebutkan oleh [24] dan [25]. Model ilustrasi fasies pengendapan pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 10. Proses sedimentasi yang berkerja, terdiri dari perulangan proses dan perubahan/ evolusi lingkungan pengendapan. Kontrol tersebut dapat terdiri dari naik turunnya relatif muka air laut, tektonik ataupun suplai sedimen dari daerah tinggian di sekitar cekungan.



Gambar 9. Singkapan struktur cetak suling pada bagian dasar dari arsitektur kanal lintasan sisi timur LP 68



Gambar 10. Model ilustrasi fasies pengendapan kipas turbidit laut dalam pada daerah penelitian

4. KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini yaitu fasies stratigrafi Formasi Kerek pada daerah penelitian terdiri dari 6, yaitu fasies perselingan batupasir, batulanau dan batulempung (F1), fasies batupasir silang siur laminasi (F2), fasies batupasir paralel laminasi (F3), fasies batupasir perlapisan bersusun (F4), fasies batupasir berlapis tebal dengan fragmen batulempung (F5) dan fasies konglomerat masif (F6). Interpretasi arsitektur sedimentasi Formasi Kerek ada tiga, meliputi elemen arsitektur kanal (*channel*) (tipe 1 dan 2), elemen arsitektur kipas (*lobe*) dan elemen arsitektur limpas tanggul (*levee overbank*). Pada singkapan arsitektur sedimentasi tersebut dapat dikenali berdasarkan komposisi fasies penyusunnya, geometri singkapan, kontak batas permukaan serta pola suksesi baik secara lateral dan vertikal. Evolusi proses yang berulang pada sistem kanal - kipas turbidit laut dalam terekam dengan baik pada singkapan.

5. SARAN

Penelitian ini lebih baik didukung dengan data analisis mendalam terhadap struktur sedimen, paleogeografi dan analisis sikuen stratigrafi terhadap perkembangan setiap fasies yang berkembang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan dan bahan diskusi terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cook H.E., and H.T. Mullins, 1983, Basin margin environment, in: Schole, P.A., Bebout, D.G., and Moore, C.H., eds: Carbonate depositional environments: American Association of Petroleum Geologists Memoir 33, p.539-618.

- [2] Middleton, G.V., and M.A. Hampton, 1973, Sediment gravity flows: mechanisms of flow and deposition, in *Turbidites and deepwater sedimentation: Pacific Section SEPM, short course notes*, p.1-38.
- [3] Lowe, D.L., 1982, Sediment gravity flows II: Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents: *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 52, no.1, p.279-297.
- [4] Shanmugam G., Spalding T.D., dan Rofheart D.H., 1993, Process sedimentology and reservoir quality of deep-marine bottom-current reworked sands (sandy contourites): an example from the Gulf of Mexico. *AAPG. Bulletin.*, v. 77, p. 1241-1259, Tulsa. Oklahoma.
- [5] Bemmelen, R.W. van., 1949, *The Geology of Indonesia*, vol IA, 2nd Edition, The Haque Martinus Nijhoff, Netherlands.
- [6] Julias, R. N., Muslih, Y. B., Agatra, G., Nugraha, A., Ramadhan, T., & Husein, S. (2017). Surface Evidences on Understanding Paleogene Structure between Kendeng Basin with East Java Basin and Southern Mountain. In *Joint Convention Malang*.
- [7] De Genevraye, P., dan Samuel, L., 1972, Geology of The Kendeng Zone (Central & East Java). *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association 1st Annual Convention and Exhibition*, p17-30.
- [8] Pringgoprawiro, H., 1983, *Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru*, Desertasi Doktor, Institut Teknologi Bandung, 224hal.
- [9] Datun, M., Sukandarrumidi, Hermanto, B., dan Suwarna, N., 1996, *Peta Geologi Lembar Ngawi, Jawa*. Edisi ke-2. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [10] Setyowiyoto, J., dan Surjono, S.S., 2003, Analisis Sedimentologi dan Fasies Pengendapan Formasi Kerek di Daerah Biren dan Kerek, Kabupaten Ngawi, Jawa Timur. *Media Teknik* no 4, tahun XXV, p.12-17.
- [11] Weimer, P., dan Link, M.H., 1991, *Seismic Facies and Sedimentary Processes of Submarine Fans and Turbidite Systems*: New York, Springer-Verlag, 447p.
- [12] Saller, A. H., R. Lin, and J. B. Dunham, 2006, Leaves in turbidite sands: The main source of oil and gas in the deep-water Kutei Basin, Indonesia: *AAPG Bulletin*, v. 90, p.1585-1608.
- [13] Walker R.G., dan James, N.P., 1992, *Facies Models; Response to sea Level Change*, 2nd Edition, Geological Association of Canada, 409p.
- [14] Mutti, E., dan Ricci L, F., 1972, Le torbiditi dell'Appennino settentrionale: introduzioni all'analisi de facies: *Società Geologica Italiana Memorie*, v. 11, p.161-199.
- [15] Gardner, M. H., J. M. Borer, J. J. Mellick, N. Mavilla, M. Dechesne, and R. N. Wagerle, 2003, Stratigraphic process-response model for submarine channels and related features from studies of Permian Brushy Canyon outcrops, West Texas: *Marine and Petroleum Geology*, v. 20, p. 757-787.
- [16] Bouma, A.H., 1962, *Sedimentology of some flysch deposits: a graphic approach to facies interpretation*: Elsevier, Amsterdam, p.48-83.
- [17] Mulder, T., & Chapron, E. (2011). *Flood deposits in continental and marine environments: character and significance*.
- [18] Mutti, E., 1992, *Turbidite sandstone*: Instituto di Geologia: Università di Parma, p.275.
- [19] Houghton, P., Davis, C., McCaffrey, W., Barker, S., 2009. Hybrid sediment gravity flow deposits-classification, origin and significance. *Marine and Petroleum Geology* 26, p.1900-1918.
- [20] Walker R.G., 1978, *Deep-Water Sandstones Facies and Ancient Submarine Fans: Models for Exploration for Stratigraphic Traps*. AAPG. Bulletin., v. 62, p.932-966, Tulsa, Oklahoma.
- [21] Posamentier, H. W., and R. G. Walker, 2006, *Facies model revisited: Deep-water turbidite and submarine fans*: SEPM Special Publication, no. 84, p.397-520.
- [22] Mutti, E., and W.R. Normark, 1991, *An integrated approach to the study of turbidite systems: Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems*: Springer-Verlag New York Inc., p.75-105.
- [23] Brooks, H.L., Hodgson, D.M., Brunt, R.L., Peakall, J., Poyatos-Moré, M., and Flint, S.S., 2018, Disconnected submarine lobes as a record of stepped slope evolution over multiple sea-level cycles: *Geosphere*, v. 14, no. 4, p. 1753-1779.
- [24] Kneller, B.C., and C. Buckee, 2000, *The Structure and Fluid Mechanics of Turbidity Currents: A Review of Some Recent Studies and Their Geological Implications*: *Sedimentology*, no. 47, p. 62-94.
- [25] Susilohadi., 1995, *Late Tertiary and Quaternary Geology of The East Java basin, Indonesia*. Dissertation, School of Geosciences, University of Wollongong, Australia, 155p, Unpublished.