

STUDI MEKANISME SEDIMENTASI FORMASI DOLOKAPA, GORONTALO

Tedy Harianto Salama^a, Sri Maryati^a, Intan Noviantari Manyoe^a

^a Teknik Geologi, Universitas Negeri Gorontalo, Jl. B.J Habibie, Bone Bolango, 96119, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 11 December 2020

Accepted: 2 July 2021

Published: 26 July 2021

Keywords:

Claystone; Convolute; Nereites;
Sandstone; Traction; Turbidite

Corresponding author:

Intan Noviantari Manyoe
Teknik Geologi, Universitas Negeri
Gorontalo, Bone Bolango, Indonesia
Email: intan.manyoe@ung.ac.id

ABSTRACT

The Dolokapa Formation is a sedimentary rock formation formed in a deep-sea depositional environment with a fairly complex level of deformation and tectonic arrangement. Analysis of the sedimentation mechanism is carried out to determine how much tectonic influence on the mechanisms that occur in a depositional environment and the variations in the sedimentation mechanism formed. Research on the sedimentation mechanism needs to be carried out to determine the history of the formation of Gorontalo sedimentary rocks, especially in the Dolokapa Formation which was formed during the Miocene. The purpose of this study is to know the mechanisms of deep-marine sedimentation based on the identification of lithological characteristics, layer stacking patterns, and sedimentary structures. The method used was measuring sections using a range of ropes divided into four measurement paths. After that, a correlation was performed based on the genesis of deep marine formation. Based on the results of processing and analysis of the data, obtained units of lithology that insertion silty-clay, and the sandstone graining insertion of silt. In vertical succession, the layering pattern formed generally thickens upwards which describes the energy of the depositional currents. The sedimentary structure consists of rip up-clast, parallel lamination, graded bedding, convolute, slump, and trace fossils of nereites trace fossils of nereites that characterize the sedimentation of traction currents and turbidite currents in the deep-sea environment. The sedimentation mechanism formed is the traction current mechanism which is a further development of turbidite current and high-low concentration turbidity current mechanism that occurs slowly on a suspension-controlled grain. The stratigraphic relationship of the rock units in the research area is aligned based on the genesis formation that is located in the setting of the deep marine.

Copyright © 2021 The Authors

This open access article is distributed under a

Creative Commons Attribution (CC-BY) 4.0 International license

1. Pendahuluan

Mekanisme pengendapan suatu material sedimen pada umumnya dapat terjadi dengan dua cara yaitu dengan cara terangkut melalui arus traksi akibat daya tarik (*traction current*) dan aliran gaya berat atau gravitasi (*gravity flow deposits*) (Miall, 1992). Salah satu faktor kontrol yang sangat berpengaruh pada suatu proses sedimentasi adalah tektonik. Efek dari suatu tatanan tektonik sangat berkaitan dengan asal mula sedimen, tingkat suplai sedimen, tingkat deposisi hingga pembentukan suatu lingkungan pengendapan (Surjono & Amijaya, 2017).

Studi mekanisme pengendapan merupakan bagian dari kajian mengenai sedimentologi. Kajian sedimentologi yang telah dilakukan di Gorontalo secara umum hanya terfokus membahas mengenai karakteristik dari batuan sedimen yang terbentuk (Permana & Eraku, 2020; Rahman et al., 2019; Amin et al., 2020), namun belum membahas secara spesifik tentang bagaimana material sedimen tertransport dan terendapkan secara mekanis.

Formasi Dolokapa merupakan salah satu formasi batuan di Gorontalo yang tersusun atas batuan beku dan batuan sedimen. Penelitian yang dilakukan oleh Kasim et al., (2014) hanya terfokus pada

batuan beku. Oleh karena itu, penelitian terhadap batuan sedimen pada Formasi Dolokapa terkait dengan mekanisme sedimentasi penting untuk dilakukan.

Berdasarkan tatanan tektonik, daerah Dolokapa merupakan bagian dari Lengan Utara Sulawesi dimana telah terjadi peristiwa tektonik yang menyebabkan subduksi pada daerah bagian utara aktif dan mulai diendapkannya sedimen-sedimen di cekungan-cekungan termasuk Formasi Dolokapa. Penelitian ini penting dilakukan karena Formasi Dolokapa merupakan formasi batuan sedimen yang terbentuk pada lingkungan pengendapan laut dalam. Batuan sedimen ini memiliki tingkat deformasi dan tatanan tektonik yang cukup rumit. Menurut Surjono & Amijaya (2017), analisis mekanisme sedimentasi sangat berkaitan erat dengan kondisi dari suatu tatanan tektonik. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh tektonik terhadap mekanisme yang terjadi dan variasi mekanisme sedimentasi yang terbentuk. Formasi Dolokapa dipilih agar dapat memberikan gambaran secara spesifik tentang bagaimana suatu mekanisme sedimentasi tersebut dapat terjadi. Hal ini juga dikarenakan pada daerah penelitian ini, batuan sedimen dari Formasi Dolokapa tersingkap dengan jelas dengan struktur sedimen khas yang menjadi dasar dalam penelitian. Oleh karena itu, penelitian mengenai mekanisme sedimentasi perlu dilakukan untuk mengetahui sejarah pembentukan batuan sedimen di Gorontalo khususnya pada Formasi Dolokapa yang terbentuk pada Kala Miosen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan mekanisme sedimentasi pada Formasi Dolokapa.

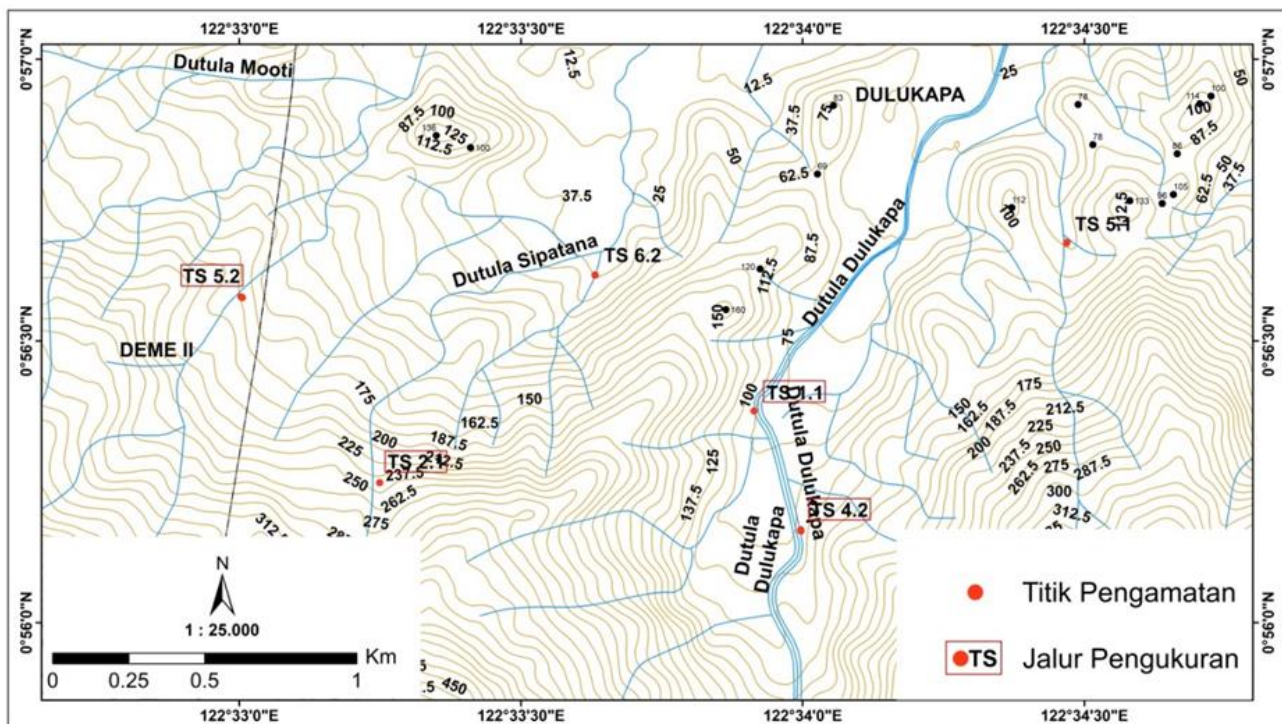
2. Metode

2.1 Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Desa Dolokapa, Kecamatan Sumalata Timur, Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo tepatnya berada di sepanjang Sungai Dolokapa dan Sungai Sipatana (Gambar 1). Topografi pada daerah penelitian terdiri atas pegunungan dengan lereng yang curam pada bagian selatan sampai timur dan berlereng landai hingga datar pada bagian barat hingga utara. Gambaran topografi diperoleh dari data DEM (Data Elevation Model) yang diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.3.

2.2 Tahap Pengambilan Datas

Tahapan ini merupakan tahapan survei yaitu berupa pengukuran penampang stratigrafi. Pengukuran dilakukan di Sungai Dolokapa dan Sungai Sipatana yang terdiri atas 2 jalur pengukuran dengan 6 titik observasi (Gambar 1). Pada masing-masing jalur pengukuran tersebut terdapat batuan



Gambar 1. Peta lokasi penelitian, secara administratif berada di Desa Dolokapa, Kecamatan Sumalata Timur, Kabupaten Gorontalo Utara. Peta dilengkapi dengan koordinat titik pengamatan dan jalur pengukuran.

sedimen laut dalam yang tersingkap dengan jelas sehingga dapat mencerminkan karakteristik litologi dan proses sedimentasinya. Pada tiap jalur pengukuran akan dilakukan pengamatan awal yang terdiri kedudukan dari lapisan, superposisi dari tiap lapisan dan pengamatan terhadap adanya lapisan penunjuk (*key beds*). Selain itu, pengambilan data-data meliputi pengamatan pada kondisi singkapan, struktur sedimen dan deskripsi megaskopis pada batuan sedimen dengan menggunakan klasifikasi Wentworth (1922). Selain itu, dilakukan pengambilan sampel batuan sebanyak 4 sampel untuk pengamatan lebih lanjut menggunakan analisis petrografi.

2.3 Tahap pengolahan dan Analisis Data

Hasil pengukuran penampang stratigrafi yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan ketebalan dalam menggambarkan sifat perlapisan. Setelah itu, dilakukan penggambaran kolom stratigrafi yang terdiri dari karakteristik litologi, sifat perlapisan dan struktur sedimen. Hasil penggambaran kolom stratigrafi kemudian dilakukan analisis sedimentasi dengan membandingkan beberapa karakteristik sedimentasi oleh Nelson & Nilsen (1984) dan Pickering & Hiscott (2015).

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis data meliputi analisis petrografi dan analisis sedimentasi. Analisis petrografi dilakukan untuk mengetahui komposisi mineral dan jenis batuan dari sayatan tipis sampel batuan. Pengamatan dilakukan dibawah mikroskop polarisasi dan diklasifikasikan berdasarkan pada pembagian oleh Pettijohn (1975). Analisis sedimentasi pada lokasi penelitian direkam melalui pengukuran stratigrafi terukur pada lokasi penelitian. Pengukuran stratigrafi terukur merekam karakteristik litologi diantaranya geometri, tekstur batuan, struktur sedimen dan ketebalan lapisan. Stratigrafi daerah penelitian didasarkan pada litostratigrafi tidak resmi yaitu satuan yang tidak seluruhnya memenuhi persyaratan sandi stratigrafi (IAGI, 1996).

3.1 Jalur Pengukuran Penampang Stratigrafi

Pengukuran penampang stratigrafi daerah penelitian dibagi kedalam empat jalur utama yaitu jalur Sungai Dolokapa dan jalur Sungai Sipatana (Gambar 1). Jalur Sungai Dolokapa dan jalur Sungai Sipatana masing-masing dibagi menjadi dua pengukuran. Pengukuran dilakukan dari bagian hulu hingga ke arah hilir sungai atau searah dengan kemiringan lapisan dengan maksud untuk memperoleh variasi litologi serta gambaran sedimentasinya.

3.2 Satuan Litologi

Berdasarkan pada hasil pengukuran penampang stratigrafi, maka satuan litologi pada daerah penelitian dapat dibagi menjadi 4 Satuan litologi yaitu satuan batupasir perselingan batulanau jalur pengukuran 1 (TS 4.2), Satuan batupasir perselingan batulanau sisipan lempung Jalur pengukuran 2 (TS 1.1), Satuan batulempung perselingan batupasir sisipan lanau jalur pengukuran 3 (TS 2.1) dan Satuan batupasir perselingan batulanau jalur pengukuran 4 (TS 5.2). Pembagian satuan ini didasarkan pada dominasi litologi dan ketebalan lapisan hasil pengukuran.

3.2.1 Satuan batupasir perselingan batulanau Jalur pengukuran 1 (TS 4.2)

Pada umumnya satuan tersingkap dalam kondisi segar sampai lapuk, memperlihatkan perlapisan antara batupasir perselingan batulanau (Gambar 2). Pada bagian bawah, perlapisan batupasir perselingan batulanau ini secara suksesi vertikal membentuk pola penipisan ke atas. Pada bagian tengah sampai atas, perlapisan batupasir perselingan batulanau membentuk pola penebalan ke atas.

Secara megaskopis, batupasir pada satuan ini memiliki ciri berwarna abu-abu kehijauan berukuran pasir sedang, sortasi baik, kemas tertutup, porositas baik, mineral penyusun feldspar, lithik, bersifat karbonatan dan sangat kompak. Sedangkan batulanau, memiliki ciri berwarna abu-abu kehijauan, karbonatan dan sangat kompak (Gambar 3).

3.2.2 Satuan batupasir perselingan batulanau sisipan lempung jalur pengukuran 2 (TS 1.1)

Umumnya satuan batuan pada daerah ini tersingkap dalam kondisi segar hingga lapuk, memperlihatkan perlapisan antara batupasir dengan lanau. Pada bagian bawah satuan ini dicirikan oleh perlapisan batupasir sisipan lempung yang secara *suksesi vertikal* batupasir menunjukkan penipisan dan mengkasar ke atas. Pada bagian tengah sampai atas dari satuan ini dicirikan oleh perlapisan batupasir selang-seling batulanau. Secara *suksesi vertikal* batupasir pada satuan ini menunjukkan pola perlapisan menghalus dan menipis ke atas sedangkan batulanau pada satuan ini menunjukkan pola perlapisan penipisan ke arah atas (Gambar 4).



Gambar 2. Kenampakan singkapan dari satuan batupasir perselingan batulanau pada jalur pengukuran 1 (TS 4.2).



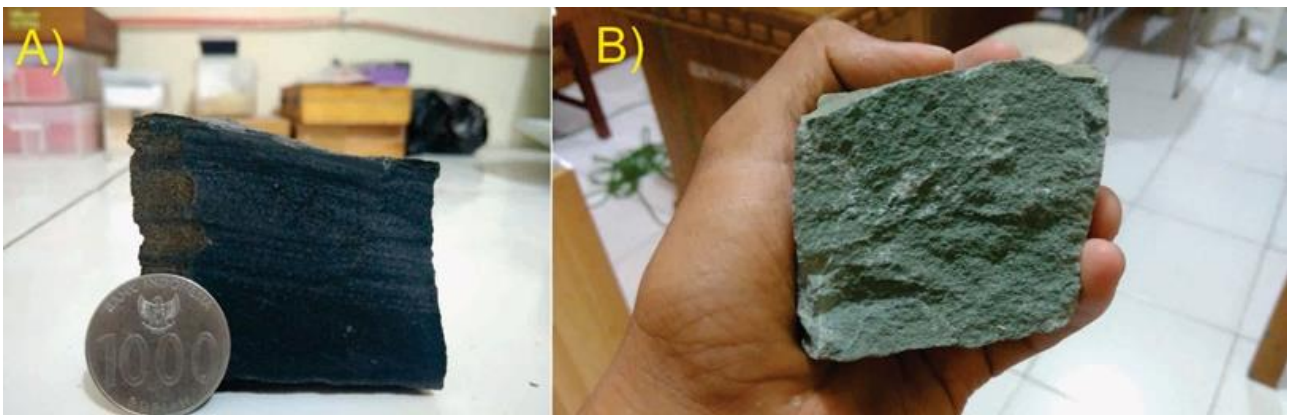
Gambar 3. Hand specimen satuan batupasir perselingan batulanau. A) Batupasir, B) Batulanau pada jalur pengukuran 1 (TS 4.2)

Secara megaskopis, batupasir di daerah ini memiliki ciri-ciri berwarna abu-abu gelap, *parallel laminasi*, berukuran pasir sedang sampai kasar, bentuk butir *sub angular- rounded*, terpilah baik, porositas baik, komposisi mineral terdiri dari *feldspar* yang secara persentase lebih dominan, kuarsa, fragmen lithik, bersifat karbonatan dan cukup kompak. Batulanau memiliki ciri-ciri berwarna abu-abu terang, ukuran butir lanau, kompak, karbonatan, dan teridentifikasi *vein* kalsit. Batulempung memiliki ciri-ciri berwarna abu-abu kehitaman, ukuran lempung, mengkilap, karbonatan dan kompak (Gambar 5).

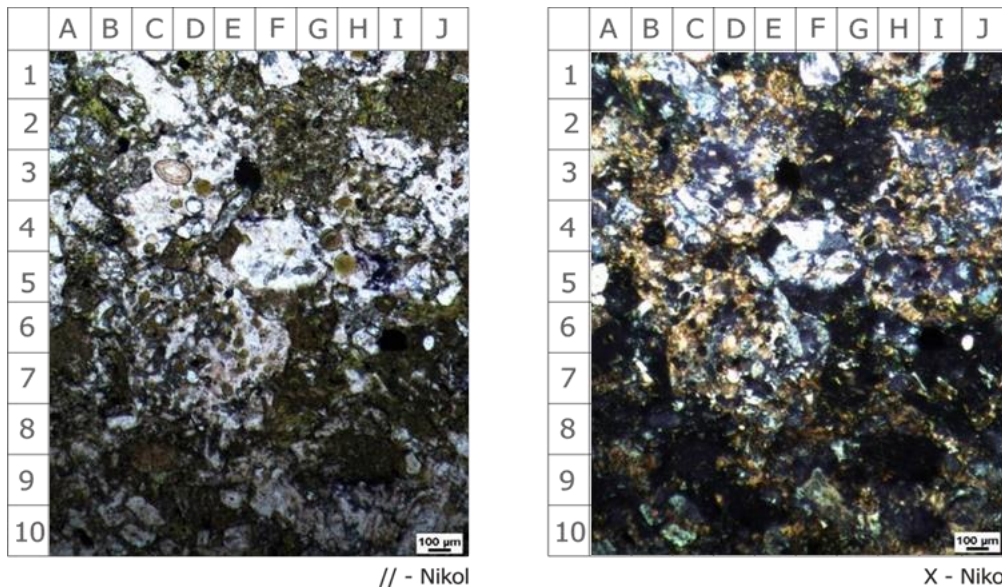
Berdasarkan pengamatan mikroskopik, batupasir telah mengalami ubahan yang cukup kuat (59-60%) menjadi mineral karbonat, mineral lempung, sedikit klorit dan mineral opak. Batuan ini terdiri atas fragmen lithik (tuf dan vulkanik andesitik) yang secara persentase lebih dominan dengan ukuran mencapai 1,2 mm, tuf dalam sayatan ini memiliki ciri-ciri adanya rongga-rongga atau *accretionary lapilli* yang terisi mineral klorit dengan bentuk bulat kosentris dalam fragmen. Selain itu, terdapat juga fragmen kristal (plagioklas) yang teramati dalam jumlah sedikit (<10%) dan telah berubah menjadi mineral karbonat, hanya beberapa individu yang masih memperlihatkan jejak-jejak sebagai sifat mineral plagioklas. Dalam sayatan ini teramati juga cangkang fosil foraminifera plankton (Gambar 6). Didasarkan pada komposisi mineral dan komponen penyusunnya maka batuan ini menunjukkan sebagai jenis batupasir *Greywacke* (Pettijohn, 1975).



Gambar 4. Kenampakan singkapan dari satuan batupasir perselingan batulanau sisipan lempung jalur pengukuran 2 (TS 1.1)



Gambar 5. Hand specimen satuan batupasir perselingan lanau. A) Batupasir, B) Batulanau pada jalur pengukuran 2 (TS 1.1)



Gambar 6. Sayatan tipis batupasir pada jalur pengukuran 2 (TS 1.1) pada jalur pengukuran 2 (TS 1.1)

3.2.3 Satuan batulempung perselingan batupasir sisipan lanau jalur pengukuran 3 (TS 2.1)

Pada umumnya satuan batuan pada lokasi ini tersingkap dalam kondisi segar sampai lapuk, memperlihatkan perlapisan antara batupasir dengan lempung. Pada bagian bawah satuan ini dicirikan oleh perlapisan batulempung dengan batupasir yang secara suksesi vertikal batupasir pada satuan menunjukkan penipisan dan menghalus ke atas, sedangkan batulempung pada satuan menunjukkan penebalan ke atas (Gambar 7).



Gambar 7. Kenampakan singkapan satuan batulempung perselingan batupasir sisipan lanau jalur pengukuran 3 (TS 2.1)



Gambar 8. Hand specimen satuan batulempung perselingan batupasir. A) Batulempung, B) Batupasir pada satuan batulempung perselingan batupasir sisipan lanau jalur pengukuran 3 (TS 2.1)

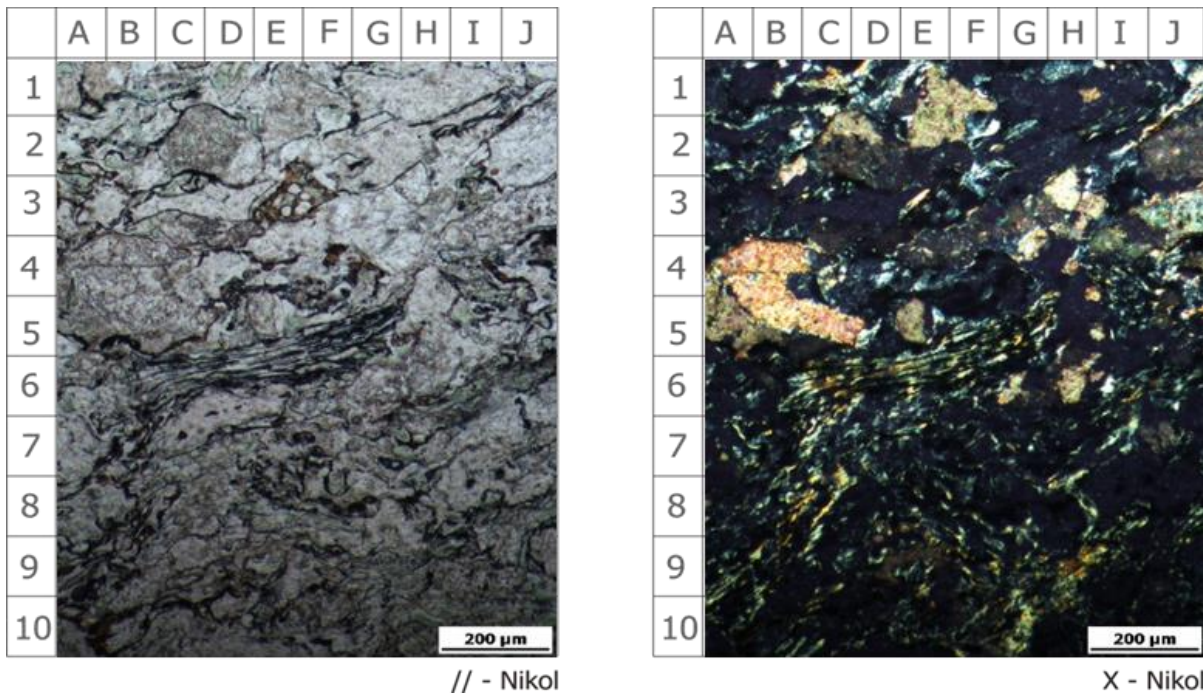
Secara megaskopis, batulempung pada lokasi ini memiliki ciri-ciri berwarna abu-abu kehijauan, ukuran lempung dan batuan dalam kondisi sangat kompak. Batupasir memiliki ciri-ciri berwarna abu-abu kehijauan, berukuran halus sampai sedang, *sub rounded* – *rounded*, sortasi baik, kemas tertutup, porositas baik, komposisi mineral terdiri dari feldspar, kuarsa, lithik, bersifat menyerpil, dan kompak. Batulanau memiliki ciri-ciri berwarna abu-abu kehijauan, ukuran lanau, karbonatan dan kompak (Gambar 8).

Berdasarkan pada pengamatan mikroskopik, secara umum batupasir terdiri atas material vulkanik (*pumice*) dimana komponen ini secara persentase lebih dominan dengan memperlihatkan bentuk-bentuk *fiamme* dan juga teramati fragmen-fragmen vulkanik lainnya seperti tuf. Sayatan ini secara umum telah mengalami ubahan menjadi mineral lempung berserabut yang terdiri atas karbonat, klorit dan oksida besi dengan menempati pada fragmen tuf dan *pumice* (Gambar 9). Didasarkan pada komposisi dan komponen penyusunnya maka batuan ini menunjukkan batupasir *Greywacke* (Pettijohn, 1975).

3.2.4 Satuan batupasir perselingan batulanau jalur pengukuran 4 (TS 5.2)

Pada umumnya satuan litologi tersingkap dalam kondisi segar sampai lapuk, memperlihatkan perlapisan antara batupasir perselingan batulanau. Secara keseluruhan, perlapisan batupasir perselingan batulanau ini secara suksesi vertikal membentuk pola penebalan ke atas dengan ketebalan mencapai 23,26 meter (Gambar 10).

Secara megaskopis, batupasir pada satuan ini memiliki ciri berwarna abu-abu kehijauan, berukuran pasir sedang, sortasi baik, kemas tertutup, porositas baik, mineral penyusun feldspar, lithik, bersifat karbonatan dan sangat kompak. Sedangkan batulanau, memiliki ciri berwarna abu-abu kehijauan, karbonatan dan sangat kompak (Gambar 11).



Gambar 9. Sayatan tipis batupasir pada jalur pengukuran 3 (TS 2.1) pada satuan batulempung perselingan batupasir sisipan lanau jalur pengukuran 3 (TS 2.1)



Gambar 10. Kenampakan singkapan dari satuan batupasir perselingan batulanau pada jalur pengukuran 4 (TS 5.2)

3.3 Mekanisme Sedimentasi

Berdasarkan hasil yang diperoleh, terdapat dua satuan litologi yang telah dideskripsikan dan dianggap telah mewakili karakteristik litologi pada daerah penelitian. Dari satuan litologi yang telah dideskripsikan maka dapat diinterpretasikan mekanisme sedimentasi pada daerah penelitian.



Gambar 11. *Hand specimen* satuan batupasir perselingan batulanau. A) Batupasir, B) Batulanau pada jalur pengukuran 4 (TS 5.2)

3.3.1 Satuan batupasir perselingan batulanau jalur pengukuran 1 (TS 4.2)

Berdasarkan gambaran penampang stratigrafi pada lintasan 1 (Gambar 12), mekanisme sedimentasi yang terjadi pada satuan ini yaitu mekanisme arus traksi. Hal ini didasarkan pada karakteristik litologi yang terbentuk berupa batupasir yang dominan diselingi batulanau di atasnya. Ciri di atas didasarkan pada model sedimentasi laut dalam yang disusun oleh Nelson & Nilsen (1984) dan karakteristik sedimentasi laut dalam kontrol arus traksi oleh Ma'arif & Novian (2015) yaitu litologi berupa perselingan batupasir dan batulanau. Selain itu, ciri lain dalam menggambarkan mekanisme sedimentasi ini adalah keterdapatan struktur sedimen berupa *erosional surface* dengan struktur *rip-up clast* yang menggambarkan proses erosional atau penggerusan oleh batupasir interval T-a sekuen bouma pada lingkungan *channel* (Gambar 13).

Mekanisme ini merupakan bentuk perkembangan lebih lanjut dengan waktu yang bertambah dari arus turbidit dalam suatu sistem pengendapan laut dalam (Nelson & Nilsen, 1984). Pada sistem mekanisme ini, suplai material yang dihasilkan umumnya berupa material pasir yang bergerak dan tertransportasi secara turbulen di atas suatu dasar aliran atau bergerak secara *bed load* dengan energi pengendapan yang kuat hingga berangsur menjadi lemah atau tenang.

3.3.2 Satuan batupasir perselingan batulanau sisipan lempung jalur pengukuran 2 (TS 1.1)

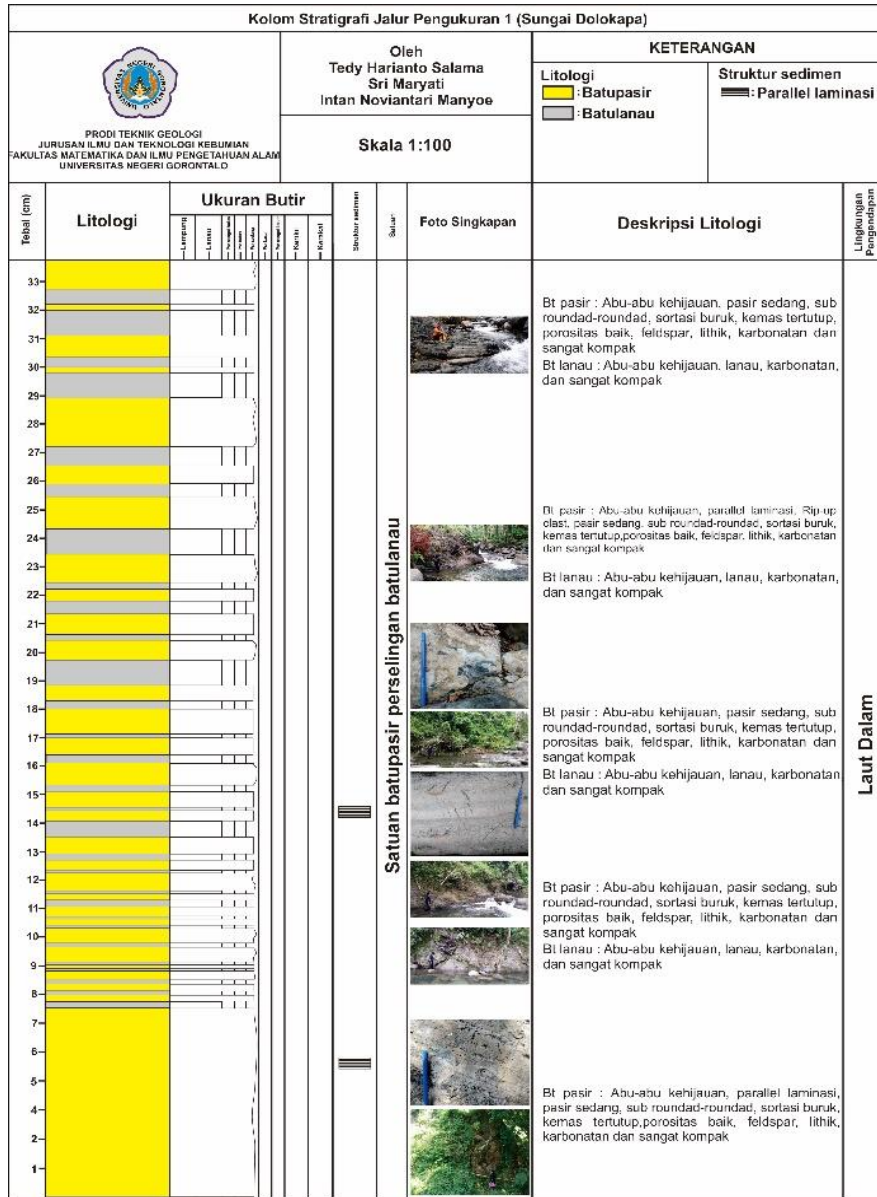
Berdasarkan gambaran penampang stratigrafi pada jalur pengukuran 2 (Gambar 14), mekanisme sedimentasi yang terjadi pada satuan ini yaitu mekanisme arus traksi. Mekanisme ini merupakan bentuk perkembangan lebih lanjut dengan waktu yang bertambah dari arus turbidit dalam suatu sistem pengendapan laut dalam (Nelson & Nilsen, 1984). Pada sistem mekanisme ini, suplai material yang dihasilkan umumnya berupa material pasir yang bergerak dan tertransportasi secara turbulen di atas suatu dasar aliran atau bergerak secara *bed load* dengan energi pengendapan yang kuat hingga berangsur menjadi lemah atau tenang.

Mekanisme sedimentasi didasarkan pada beberapa bukti lapangan yang diperoleh yaitu litologi batupasir yang dominan diselingi batulanau di atasnya. Mekanisme yang terjadi didasarkan pada model sedimentasi laut dalam yang disusun oleh Nelson & Nilsen (1984) dan karakteristik sedimentasi laut dalam kontrol arus traksi oleh Ma'arif & Novian (2015) yaitu berupa perselingan batupasir dan batulanau. Parameter lain yang menjadi ciri dalam sistem mekanisme ini dapat diindikasikan oleh pola penumpukan sedimen atau pola perlapisan yang terbentuk. Pola yang terbentuk umumnya secara suksesi vertikal membentuk pola semakin menghalus dan menipis ke atas yang menandakan bahwa energi arus tersebut berkurang atau semakin tenang secara gradasional. Ciri ini didasarkan pada karakteristik sedimentasi laut dalam kontrol arus traksi oleh Ma'arif & Novian (2015) yaitu secara suksesi vertikal membentuk pola menipis ke atas pada suatu fase pengendapan. Selain itu, ciri selanjutnya pada mekanisme ini adalah keterdapatan struktur sedimen yang teramati yaitu *graded bedding*, *parallel lamination* dan *slump* yang didasarkan pada karakteristik sedimentasi laut dalam kontrol arus traksi oleh Ma'arif & Novian (2015) (Gambar 15).

3.3.3 Satuan batulempung perselingan batupasir sisipan lanau jalur pengukuran 3 (TS 2.1)

Ciri pada mekanisme ini adalah keterdapatan struktur sedimen yang teramati yaitu struktur *parallel lamination* yang dominan, struktur *convolute lamination* dan *trace fossil* jenis *Nereites* pada batulempung (Gambar 16). Struktur *convolute* pada satuan ini dapat diidentifikasi berdasarkan pada bentuknya yang tampak terlipat pada bagian atas lapisan. Terbentuknya lipatan tersebut diakibatkan adanya perbedaan

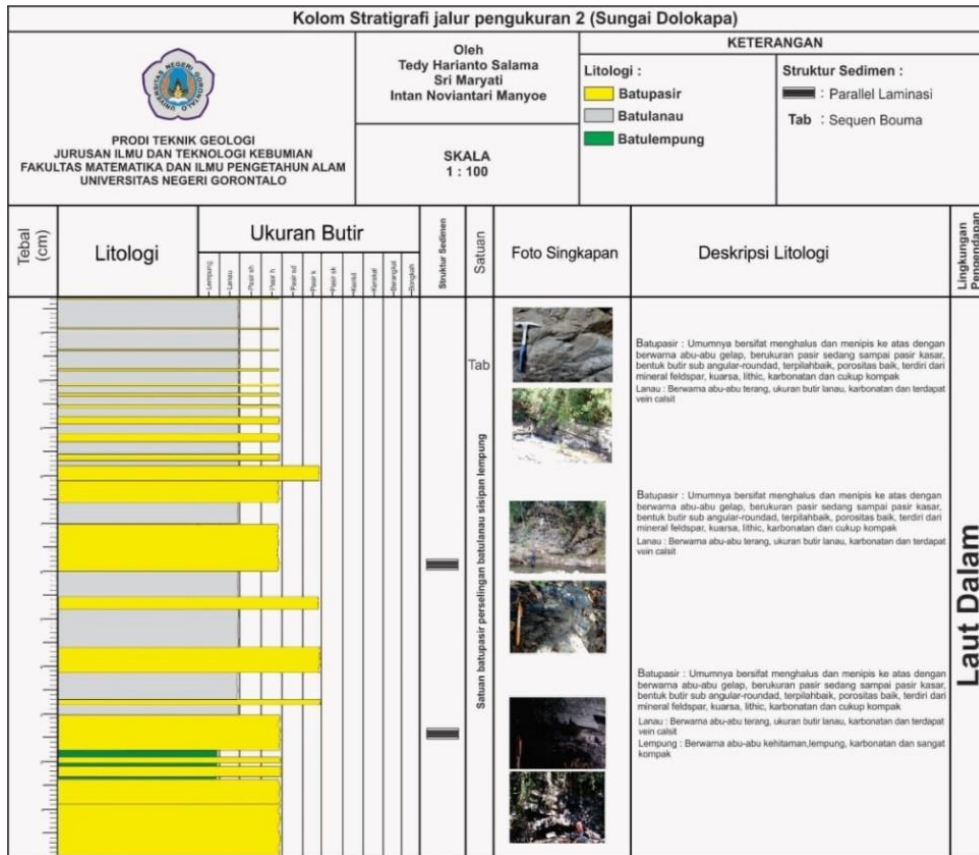
aliran secara vertikal maupun lateral dalam suatu sistem pengendapan (Tucker et al., 1991) Jejak fosil jenis *Nereites* pada satuan ini diidentifikasi melalui pendekatan aspek morfologi yaitu bentuknya yang berupa jalur berkelok-kelok secara *lateral* pada lapisan. Keterdapatan struktur *convolute* sebagai ciri mekanisme arus turbidit didasarkan pada karakteristik sistem sedimentasi turbidit oleh Bouma (1962),



Gambar 12. Kolom stratigrafi jalur pengukuran 1 (TS 4.2)



Gambar 13. Struktur sedimen sebagai penciri karakteristik sedimentasi jalur pengukuran 1 (TS 4.2). A) *Parallel laminasi*, B) *rip-up clast* pada batupasir pada satuan batupasir perselingan batulanau.



Gambar 14. Kolom stratigrafi jalur pengukuran 2 (TS 1.1)



Gambar 15. Struktur sedimen sebagai penciri karakteristik sedimentasi jalur pengukuran 2 (TS 1.1). A) Satuan batupasir perselingan batulanau, B) *parallel laminasi*, C) *Slump* dan D) Interval Ta-Tb Sekuen Bouma sebagai penciri karakteristik mekanisme sedimentasi satuan batupasir perselingan batulanau.

sedangkan jejak fosil sebagai ciri arus turbidit didasarkan pada jenis *ichnofacies* dan lingkungan pengendapannya menurut Surjono & Amijaya (2017). Berdasarkan gambaran penampang stratigrafi pada jalur pengukuran 3 (Gambar 17), mekanisme sedimentasi yang terjadi pada satuan ini yaitu mekanisme arus *high-low concentration turbidity current* (Arus turbidit dengan konsentrasi tinggi sampai lemah).



Gambar 16. Struktur sedimen sebagai penciri karakteristik sedimentasi pada jalur pengukuran 3 (TS 2.1) (Sungai Sipatana). A) Perselingan batulempung dan batupasir sebagai penciri mekanisme sedimentasi. B) Kenampakan *parallel laminasi* pada batupasir C) Kenampakan *trace fosil* jenis *Nereites* pada batulempung. D) Kenampakan lapisan *convolute* pada batulempung dan batupasir sebagai penciri mekanisme sedimentasi dari satuan batulempung perselingan batupasir sisipan lanau jalur pengukuran 3 (TS 2.1).

Mekanisme ini terjadi dengan proses transportasi dan pengendapan yang terjadi perlahan secara butir perbutir dikontrol secara suspensi atau energi pengendapan yang rendah. Pada sistem arus turbidit (*gravity flow*), material umumnya bergerak secara *turbulen* dengan energi arus pengendapan yang mulai habis. Proses yang berlangsung menyebabkan terjadinya autosuspensi yaitu keseimbangan antara turbulen dan suspensi sehingga mengendapkan material yang lebih halus secara perlahan dalam suatu sistem pengendapan laut dalam.

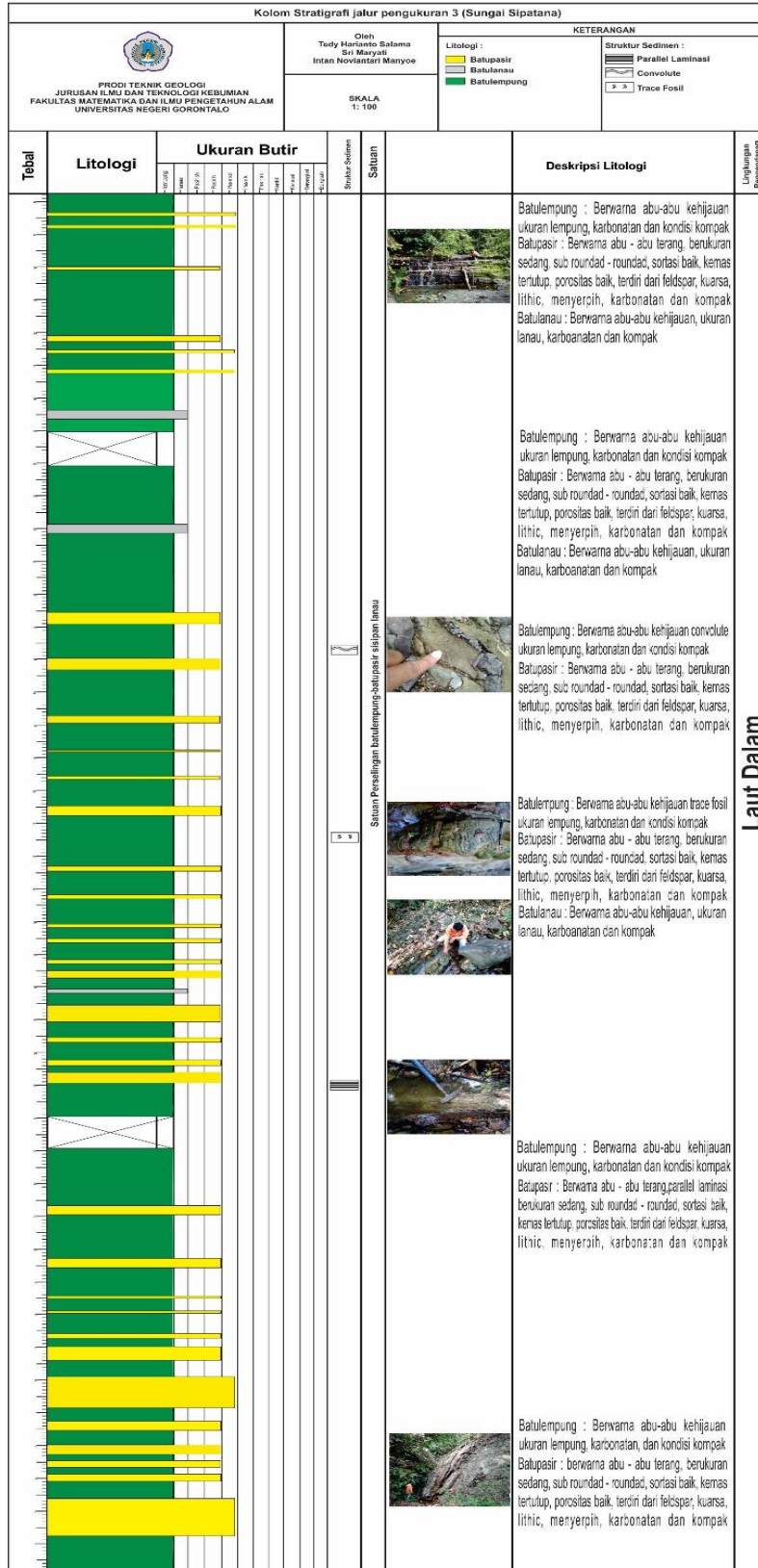
Mekanisme ini didasarkan pada karakteristik litologi yang tersusun atas batulempung yang dominan diselingi batupasir berukuran halus pada fase pengendapan di atasnya secara berulang. Ciri ini didasarkan pada sedimentasi arus turbidit yang disusun oleh Pickering & Hiscott (2015) dan sejalan dengan karakteristik sedimentasi laut dalam kontrol arus turbidit oleh Saputra et al., (2017) yaitu berupa fasies batulempung yang dominan dengan perselingan batupasir. Parameter lain yang menjadi ciri mekanisme dari arus turbidit pada satuan ini adalah pola perlapisan yang terbentuk dan tergambar dalam kolom stratigrafi (Gambar 17). Satuan batulempung pada satuan ini secara suksesi vertikal menebal ke atas dengan semakin dominan dan batupasir secara suksesi vertikal menipis ke atas.

3.3.4 Satuan batupasir perselingan batulanau sisipan lempung jalur pengukuran 4 (TS 5.2)

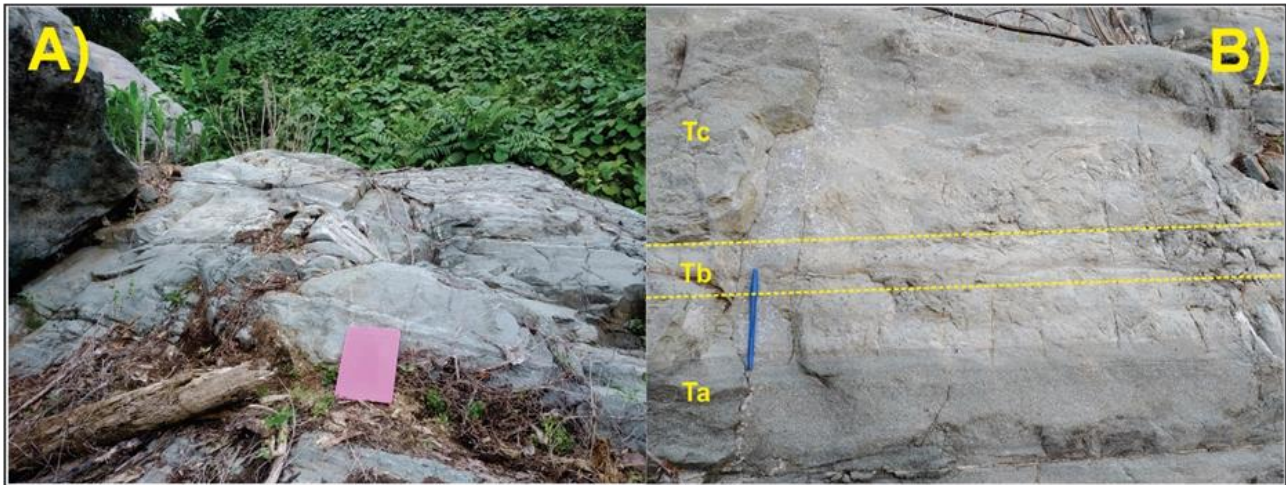
Mekanisme didasarkan pada ketersediaan struktur sedimen yaitu *graded bedding*, *parallel laminasi*, laminasi *convolute* yang merupakan ciri mekanisme arus turbidit pada karakteristik sedimentasi turbidit oleh Bouma (1962) (Gambar 18).

Berdasarkan gambaran penampang stratigrafi pada jalur pengukuran 4 (Gambar 19), mekanisme sedimentasi yang terjadi pada satuan ini yaitu mekanisme arus traksi. Mekanisme sedimentasi didasarkan pada litologi batupasir yang dominan diselingi batulanau di atasnya. Ciri tersebut sesuai dengan model sedimentasi laut dalam yang disusun oleh Nelson & Nilsen (1984) dan karakteristik sedimentasi laut dalam kontrol arus traksi oleh Ma'arif & Novian (2015) yaitu litologi berupa perselingan batupasir dan batulanau.

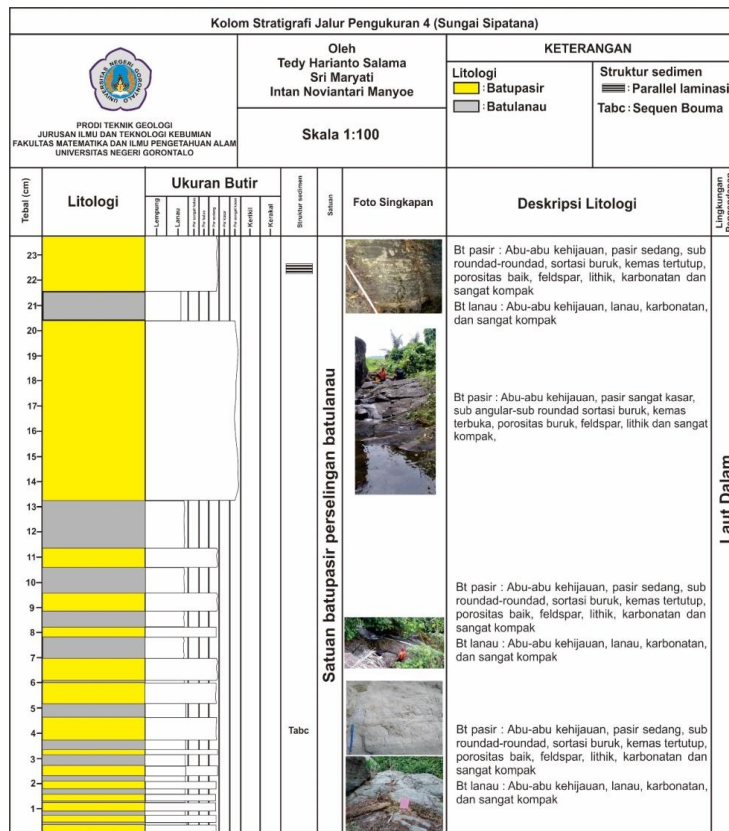
Mekanisme ini merupakan bentuk perkembangan lebih lanjut dengan waktu yang bertambah dari arus turbidit dalam suatu sistem pengendapan laut dalam. Pada sistem mekanisme ini, suplai material yang dihasilkan umumnya berupa material pasir yang bergerak dan tertransport secara *turbulen* di atas suatu dasar aliran atau bergerak secara *bed load* dengan energi pengendapan yang kuat hingga berangsur menjadi lemah atau tenang. Proses ini ditandai oleh mulai terendapkannya batulanau pada fase pengendapan di atasnya.



Gambar 17. Kolom stratigrafi jalur pengukuran 3 (TS 2.1)



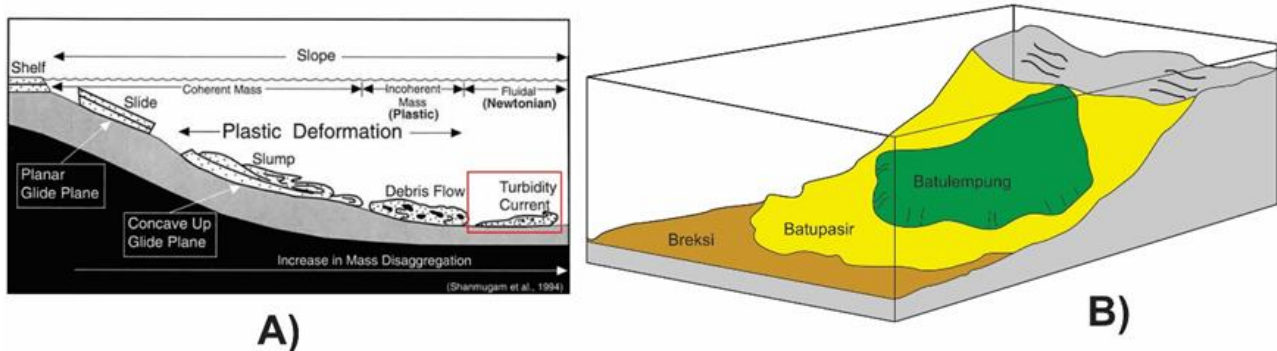
Gambar 18. Struktur sedimen sebagai penciri karakteristik sedimentasi pada jalur pengukuran 4 (TS 5.2) (Sungai Sipatana). A) Perselingan batupasir dan batulanau sebagai penciri mekanisme sedimentasi. B) Kenampakan interval Ta-Tb-Tc sekuen bouma pada jalur pengukuran JP 4 (TS 5.2) sebagai penciri karakteristik sedimentasi satuan batupair perselingan batulanau jalur pengukuran 4 (TS 5.2).



Gambar 19. Kolom stratigrafi jalur pengukuran 4 (TS 5.2)

3.4 Hubungan Stratigrafi

Berdasarkan pada satuan litostratigrafi tidak resmi, jika diurutkan dari tua ke muda maka satuan batuan yang pada daerah penelitian yaitu terdiri dari satuan batupasir selang-seling batulanau dan satuan batulempung selang-seling batupasir. Dalam penentuan umur batuan yang ada pada daerah penelitian, penulis menggunakan beberapa literatur yang telah ada sebelumnya atau mengacu pada regional daerah penelitian yaitu berumur Miosen Tengah-Pliosen Awal (Bachri, 2006). Hal ini dikarenakan tidak ditemukannya mikrofosil foraminifera yang akan menjadi acuan untuk penentuan umur batuan di daerah penelitian.



Gambar 20. Sedimentasi dan lingkungan pengendapan daerah penelitian. A) Mekanisme sedimentasi pembentukan satuan litologi daerah penelitian sesuai skema Shanmugam & Muiola (1994), B) Urutan pembentukan litologi dan skema lingkungan sedimentasi.

Batas satuan litologi antara satuan batupasir dengan satuan batulempung selang-seling batupasir yang ada di atasnya pada kondisi normal cukup sulit untuk dapat ditentukan (Gambar 20). Pada hasil observasi lapangan yang telah dilakukan tidak ditemukan kontak langsung yang tersingkap antara kedua satuan batuan tersebut, tidak ditemukannya mikrofossil yang menjadi salah-satu parameter dalam mengetahui urutan atau umur suatu susunan litologi.

Hubungan stratigrafi dari satuan batuan pada daerah penelitian yaitu memiliki hubungan selaras karena berdasarkan pada lingkungan pembentukannya masing-masing dari satuan tersebut terbentuk pada Lingkungan laut dalam. Proses pembentukan sedimentasi laut dalam secara genesa diawali dengan diendapkannya butiran-butiran kasar hasil dari produk sedimentasi pada daerah vulkanik dan berada didekat paparan laut dalam, dan pada fase pengendapan berikutnya diendapkan butiran-butiran yang lebih halus. Hal ini dipengaruhi oleh berkurangnya energi dari arus pengendapan. Selain itu, keterdapatan struktur sedimen penciri seperti *rip-up clast*, *graded bedding*, paralel laminasi, *convolute*, *sequen bouma* dan jejak fosil jenis *nerites* merupakan bukti mendasar yang dapat menggambarkan suatu rangkaian mekanisme sedimentasi di lingkungan laut dalam yang terjadi pada daerah penelitian.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada dominasi litologi dan ketebalan lapisan maka satuan litologi daerah penelitian dapat dibagi menjadi 3 (tiga) satuan litologi yaitu Satuan batupasir perselingan batulanau, Satuan batupasir perselingan batulanau sisipan batulempung dan Satuan batulempung perselingan batupasir sisipan lanau, serta hasil dari karakteristik fisik masing-masing satuan litologi berupa litologi, pola perlapisan dan struktur sedimen yang tergambar pada penampang stratigrafi terukur, maka mekanisme sedimentasi pengendapan yang terbentuk adalah mekanisme traksi yang merupakan perkembangan lanjut dari arus turbidit dan *high-low concentration turbidity current*.

Hubungan stratigrafi dari satuan batuan pada daerah penelitian yaitu memiliki hubungan selaras karena berdasarkan pada lingkungan pembentukannya yang berada pada lingkungan laut dalam. Dalam pembentukannya, suatu proses sedimentasi laut dalam secara genesa diawali dengan diendapkannya terlebih dahulu butiran-butiran yang lebih kasar (satuan batupasir perselingan batulanau) yang kemudian pada fase pengendapan diatas berikutnya seiring dengan berkurangnya energi dari arus pengendapan akan diendapkan butiran-butiran yang berukuran yang lebih halus (satuan batulempung selang-seling batupasir).

5. Referensi

- Amin, A. K. M. A., Sakakibara, M., Arifin, Y. I., & Akase, N. (2020). Facies Study of Lake Deposits Formation (Qpl) To Determine Deposition Environment of Ancient Limboto Lake: a Preliminary Result. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 589, No. 1, p. 012007)*. IOP Publishing.
- Bachri, S. (2006). Stratigrafi lajur volkano-plutonik daerah gorontalo, sulawesi. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 16(2), 94-106.
- Bouma, A. H. (1962). Sedimentology of some flysch deposits. *Agrographic approach to facies interpretation*, 168.
- Kasim, M., Zainuri, A., & Nurfaika, N. (2016). Petrogenesis of Andesitic Rocks In Sumalata, North

- Gorontalo. *International Journal of Engineering and Science Applications*, 1(1), 37-42.
- Ma'arif S.G., & Novian M.I. (2015). Mekanisme Dan Dinamika Sedimentasi Formasi Tapak Bagianbawah Di Daerah Kalisalak, Kecamatan Margasari, Kabupaten Tegal, Provinsi Jawa Tengah. In *Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan Ke-8 Academia-Industry Linkage*, 291–301.
- Miall, A. D. (1992). Hierarchies of architectural units in terrigenous clastic rocks, and their relationship to sedimentation rate.
- Nelson, C. H., & Nilsen, T. H. (1984). Modern and ancient deep-sea fan sedimentation: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (now Society for Sedimentary Geology) Short Course 14. *Tulsa, Oklahoma*.
- Pickering, K. T., & Hiscott, R. N. (2015). *Deep marine systems: processes, deposits, environments, tectonics and sedimentation*. John Wiley & Sons.
- Permana, A. P., & Eraku, S. S. (2020). Analisis kedalaman laut purba batu gamping Gorontalo berdasarkan kandungan fosil foraminifera bentonik. *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, 6(1), 17-23.
- Pettijohn, F. J. (1975). *Sedimentary rocks* (Vol. 3). New York: Harper & Row.
- Rahman, M. R., Zainuri, A., & Manyoe, I. N. (2019). Analisis Stratigrafi Dan Rumusan Sejarah Geologi Daerah Limbato Dan Sekitarnya, Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo. *Jurnal Azimut*, 2(1), 65-71.
- IAGI. (1996). Sandi Stratigrafi Indonesia. *Ikatan Ahli Geologi Indonesia*, 14.
- Shanmugam, G., & Moiola, R. J. (1994). Deep-water sandstones of the Pennsylvanian Jackfork Group, Ouachita Mountains: a debris-flow-and slump-dominated slope system.
- Saputra, M., Abdurrokhim., Haryanto, I. (2017). Litofasies, Asosiasi Fasies Dan Lingkungan Pengendapan Laut Dalam Bagian Slope – Continental Rise Formasi Halang Pada Sebagian Lintasan Sungai Cilutung Dan Cikidang, Daerah Bantarujeg, Majalengka, Jawa Barat. *Padjajaran Geoscience Journal*, 01(01), 59–66.
- Surjono, S, S., & Amijaya, D, H. (2017). *Sedimentologi*. Gadjah Mada University Press
- Tucker, C. J., Newcomb, W. W., Los, S. O., & Prince, S. D. (1991). Mean and inter-year variation of growing-season normalized difference vegetation index for the Sahel 1981-1989. *International Journal of Remote Sensing*, 12(6), 1133-1135.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The journal of geology*, 30(5), 377-392.