



Mikrofasies Batugamping Formasi Tokala Daerah Ululere dan Sekitarnya, Kabupaten Morowali, Sulawesi Tengah

Limestone Mikrofasies of the Tokala Formation in the Ululere Area and Surrounding Morowali Regency, Central Sulawesi

Arisona¹, Nia Kurnia Praja², Eldin¹, Masri¹, Muliddin¹, Ali Okto¹, Hasria¹, Bahdad¹

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, UHO-Kendari

²Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

email: arisona@uho.ac.id

Naskah diterima: 08 Mei 2023, Revisi terakhir: 11 Oktober 2023, Disetujui: 12 Oktober 2023 Online: 16 Februari 2024

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v25i1.786>

Abstrak-Penelitian mikrofasies batugamping telah dilakukan pada Formasi Tokala Daerah Ululere. Tujuan utama penelitian ini yaitu untuk menentukan lingkungan pengendapan batugamping dengan pendekatan zona mikrofasies. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan secara analisis kualitatif dengan menggunakan data lapangan dan dilanjutkan dengan analisis laboratorium. Penentuan mikrofasies batugamping pada lokasi penelitian menggunakan analisis standar mikrofasies dengan sayatan tipis. Analisis petrografi terhadap sepuluh sampel batugamping menunjukkan beberapa litologi meliputi *mudstone*, *wackestone*, *packstone* dan batugamping kristalin dengan kelimpahan foraminifera planktonik. Berdasarkan hasil analisis petrografi memperlihatkan beberapa tipe mikrofasies batugamping, yaitu *wackestone* bioklastika dengan foraminifera planktonik *globigerinids*, *mudstone* pelagis dengan foraminifera planktonik *globigerinids*, *mudstone* dengan mikrit dan mikrosparit, dan *packstone* peloidal. Mikrofasies ini terendapkan di beberapa lingkungan pengendapan dangkalan dalam, tepi dangkalan dalam dan paparan terbatas. Ketiga lingkungan pengendapan ini memiliki energi yang rendah dan memiliki komposisi mikrit yang sangat banyak serta kelimpahan foraminifera planktonik.

Katakunci: Batugamping, foraminifera planktonik, Formasi Tokala, kristalin, mikrofasies.

Abstract- Research on the limestone microfacies of the Ululere Tokala Formation has been carried out. The main objective of this study is to determine the limestone depositional environment through a microfacies zone approach. The qualitative analysis approach is used to analysis the field data and then followed by laboratory analysis. Determination of limestone microfacies based on standard microfacies analysis of the thin sections. Petrographic analysis of ten limestone samples showed that the lithology includes *mudstone*, *wackestone*, *packstone*, *crystalline* with some planktonic foraminifera. Based on the interesting petrographic analysis several types of limestone microfacies, namely bioclastic *wackestone* with *globigerinid* planktonic foraminifera, *pelagic mudstone* with *globigerinid* planktonic foraminifera, *mudstone* with *micrite* and *microsparite*, and *peloidal packstone*. These microfacies were deposited in several environments, namely shallow environments, shallow edges and restricted platform. These three environments have low energy and have a very large *micrite* composition and planktonic foraminifera.

Keywords: Limestone, planktonic foraminifera, Tokala Formation, crystalline, microfacies.

PENDAHULUAN

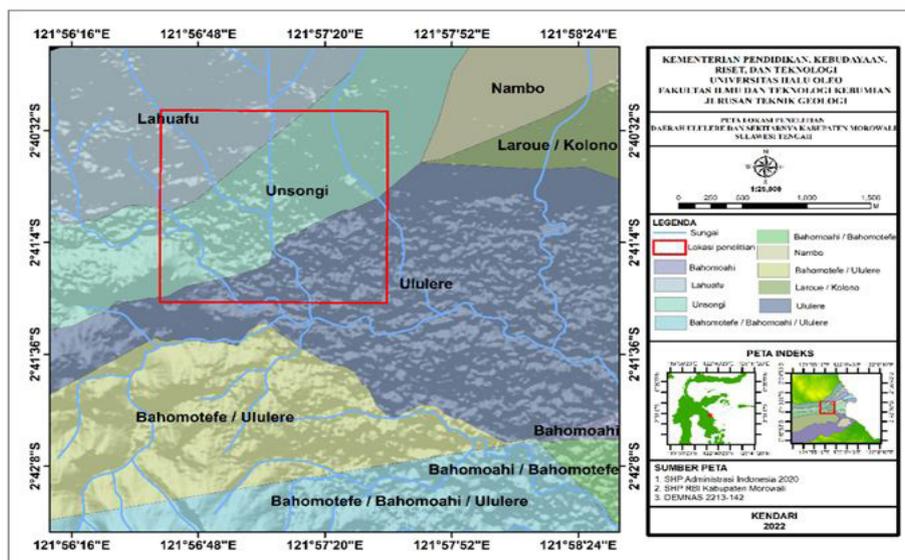
Daerah penelitian terletak di daerah Ululere Kecamatan Bungku Timur Kabupaten Morowali Sulawesi Tengah (Gambar 1). Secara geografi letaknya berada pada koordinat lintang $2^{\circ}40'32''$ - $2^{\circ}41'16''$ LS dan bujur $121^{\circ}56'37''$ - $121^{\circ}57'36''$ BT. Daerah penelitian masuk ke dalam peta geologi Lembar Bungku mencakup beberapa formasi, yang didominasi oleh Formasi Tokala. Formasi Tokala memiliki umur Trias hingga Jura, batuan penyusunnya merupakan bagian Mikrokontinen Banggai-Sula dari Benua Australia Utara - New Guinea (Pigram dkk., 1985). Formasi Tokala tersusun oleh perselingan batugamping klastika, lempung pasir dengan sisipan argilik, batupasir sela, dan serpih napal. Lingkungan pengendapan Formasi Tokala berada di lingkungan pengendapan laut dangkal (neritik) hingga laut dalam, berdasarkan fosil *Halobia*, *Amonite*, *Belemnite*, dan radiolaria pada batugamping (Simandjuntak dkk., 1994; Villeneuve dkk., 2001). Lingkungan pengendapan Formasi Tokala dapat diidentifikasi melalui analisis mikrofases

Mikrofases merupakan ciri-ciri batugamping yang teramati pada pengamatan sayatan tipis menggunakan mikroskop polarisasi (Flügel, 1982). Dari beberapa penelitian terdahulu tentang mikrofases, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai mikrofases batugamping pada Formasi Tokala daerah Ululere dan sekitarnya Kabupaten Morowali Sulawesi Tengah. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif. Untuk menentukan mikrofases pada lokasi penelitian menggunakan

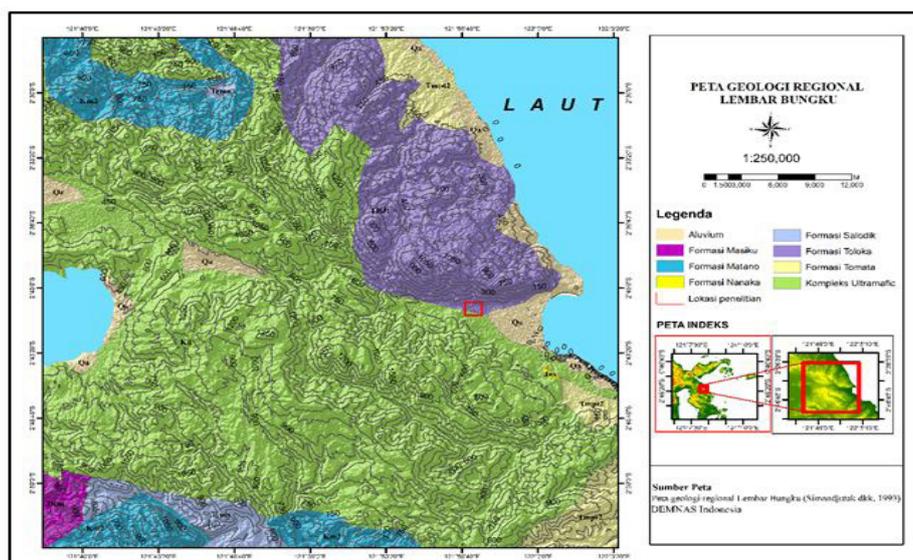
analisis mikrofases dengan sayatan tipis. Interpretasi mikrofases batugamping Formasi Tokala dilakukan dengan menggunakan standar mikrofases (Flügel, 1982; 2004), yang merupakan pengembangan sabuk fasies Wilson (1975). Studi mikrofases ini dilakukan untuk mengetahui secara lebih jelas tipe mikrofases dan lingkungan pengendapan batugamping dari Formasi Tokala yang tersingkap di daerah Ululere dan sekitarnya.

GEOLOGI REGIONAL

Mandala Banggai-Sula, mencakup Formasi Tokala (TRJt) terdiri atas perselingan batugamping klastika, sisipan batupasir sela, serpih, napal. Umur satuan batuan ini diperkirakan Trias – Jura Awal berdasarkan kandungan fosil pada batugamping berupa fosil *Halobia*, *Amonit*, *Belemnit* dan radiolaria lingkungan pengendapannya berada di lingkungan pengendapan laut dangkal (neritik) hingga laut dalam. Formasi Tokala (Gambar 2) ditindih secara selaras oleh Formasi Nanaka (Jn) yang terdiri atas konglomerat, batupasir kuarsa mikaan, serpih dan lensa batubara yang diperkirakan berumur Jura Akhir. Formasi Masiku (JKm) terdiri atas batusabak, filit, batupasir, batugamping dengan sisipan rijang. Berdasarkan kandungan fosil *Globotruncana sp.* di dalam batugamping serta *radiolaria* di dalam rijang, Formasi Masiku diduga berumur Jura Akhir hingga Kapur Awal, dan lingkungan pengendapannya laut dalam. Formasi Salodik (Tems) diendapkan pada Eosen Akhir hingga Miosen Awal terdiri atas kalsilitut, batugamping pasir dan batupasir (Simandjuntak dkk., 1994; Villeneuve dkk., 2001).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian daerah Ululere, Kecamatan Bungku Timur.



sumber: Simandjuntak dkk., (1994).

Gambar 2. Peta geologi regional Lembar Bungku

Bagian timur Sulawesi disusun oleh batuan kepingan samudera dan kepingan benua, yang kemudian ditutupi oleh Molasa Sulawesi. Batuan asal samudera, yang diberi nama Lajur Ophiolit Sulawesi Timur atau Kompleks Ophiolit Sulawesi, yang diduga berasal dari Punggung Tengah Samudera (*mid-oceanic ridge*) merupakan kompleks ophiolit terluas nomor tiga di dunia (Surono & Hartono, 2013). Mandala Sulawesi Timur, mencakup Kompleks Ultramafik (Ku) hingga saat ini umumnya masih diklaim yang paling tua. Batuannya terdiri atas harzburgit, lertzolit, werlit, websterlit, serpentinit, dunit dan gabro. Secara tektonik Kompleks Ultramafik menindih satuan batuan yang berumur Mesozoikum, baik dari Mandala Banggai-Sula ataupun Mandala Sulawesi Timur. Formasi Matano (Km) terdiri atas kalsilitit hablur bersisipan napal, serpih dan rijang. Berdasarkan kandungan fosil *Heterohelix sp.* dalam batugamping, dan radiolaria dalam rijang, Formasi Matano diduga berumur Kapur Akhir di lingkungan pengendapan laut dalam. Formasi Matano secara tidak selaras ditindih oleh Formasi Tomata (Tmpt) yang terdiri atas batupasir, lempung, tuf, dan konglomerat dengan sisipan lignit, yang diperkirakan berumur Miosen Akhir hingga Pliosen.

Di beberapa tempat ada aluvium (Qa) yang menindih secara tak selaras Formasi Tomata. Aluvium berupa endapan sungai, pantai, rawa dan danau, terdiri atas kerikil, kerakal, pasir, lempung serta sisa tumbuhan. Endapan muda tersebut diduga berumur Plistosen - Holosen (Simandjuntak dkk., 1994).

Blok Tokala dihasilkan dari obduksi Oligosen Cekungan Asiatik ophiolitik ke tepi pasif Blok

Gondwanian (Blok Banda), bertumbukan dengan tepi aktif Asiatik (Lengan Barat Sulawesi) di Oligosen Akhir atau Miosen Awal. Blok Tokala kemudian bertabrakan dengan Blok Banggai-Sula turunan Blok Papua pada kala Pliosen Awal hingga Tengah atau sesudahnya (Villeneuve dkk., 2000). Pengendapan Formasi Tokala yang berlangsung sampai Jura Awal, kemudian pada Jura Akhir menyusul pengendapan Formasi Nanaka di atasnya. Pada Eosen Akhir hingga Miosen Awal, Formasi Salodik diendapkan secara tidak selaras di atasnya, lingkungannya laut dangkal sampai darat. Ketiga satuan ini terbentuk di tepian benua yang saat ini berupa Mandala Banggai-Sula. Di bagian lain, dalam cekungan laut dalam di barat Banggai-Sula, pada Zaman Jura terendapkan bahan Pelagos Formasi Masiku. Pengendapan ini terus berlangsung hingga awal Zaman Kapur. Formasi Matano secara selaras terendapkan di atas Formasi Masiku. Kedua satuan ini terendapkan di laut dalam (Simandjuntak dkk., 1994).

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kualitatif. Penelitian ini dilakukan dengan perencanaan lintasan terbuka, pengambilan data singkapan, pengambilan data geomorfologi, pengambilan sampel batuan dan dokumentasi. Selanjutnya, dilanjutkan dengan analisis laboratorium yang dilakukan dengan sayatan tipis. Sampel batuan disajikan dalam bentuk mikrofotografi dari sayatan tipis dengan pemerian berdasarkan klasifikasi Dunham (1962), penentuan mikrofasies dengan menggunakan *standard microfacies types* (SMF) oleh Flügel (1982, 2004).

HASIL PENELITIAN

Wackestone

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan pada sampel ST 01 (Gambar 3), yaitu berupa batugamping klastika dengan diameter singkapan memiliki panjang ± 15 m dan tinggi ± 8 m dan kedudukan perlapisan batuan $U134^{\circ}T/62^{\circ}$. Kondisi singkapan berwarna segar abu-abu kecoklatan, warna lapuk coklat kehitaman, ukuran butir lempung, berlapis dan terdapat urat-urat kalsit, kemas terbuka, permeabilitas buruk dan porositas buruk.

Hasil pengamatan petrografi pada sampel stasiun 01, menunjukkan *wackestone* (Dunham, 1962), yang memiliki warna interferensi abu-abu (Gambar 4). Komposisi butir didominasi oleh butiran skeletal, yaitu foraminifera planktonik *globigerinids*, alga, *brachiopoda* dan *ostracoda* dengan ukuran 0,17 mm dengan jumlah presentase berdasarkan tabel *point counting* sebanyak 10%. Foraminifera ini terawetkan dengan baik dan sebagian terisi dengan sparit (Arisona dkk., 2022). Batuan ini bertekstur bioklastika fragmental. Beberapa dari bioklas ini, khususnya foraminifera *globigerinids* telah tergantikan menjadi pseudosparit (pse) jumlah persentasenya sebanyak 23 %, pemilahan sedang, kemas terbuka, bentuk butir yang meruncing hingga membundar tanggung, dan hubungan butir mengambang dan titik. Matriks batuan berupa lumpur, sebagian tergantikan menjadi semen kalsit (mikrosparit; msp) berukuran 0,01 - 0,02 mm dengan presentase 13 %. Orthosparit (ort) pada umumnya terkonsentrasi sebagai pengisi rongga, yaitu urat kalsit dengan bentuk kristal mosaik drusi jumlah persentasenya 2 %. Dari hasil pengamatan ini dapat disimpulkan batuan berupa *wackestone* (Dunham, 1962).

Mudstone

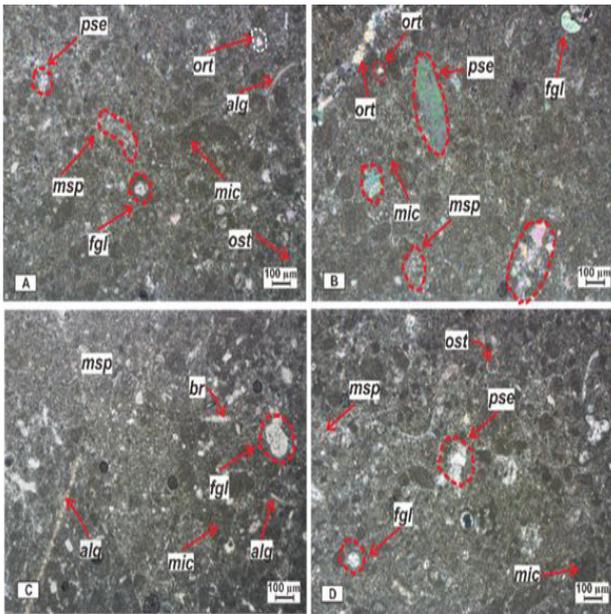
Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan dari hasil deskripsi megaskopis merupakan batugamping klastik, ditemukan 4 titik yang memiliki perbedaan karakter. Kedudukan perlapisan batuan pada stasiun 10 bernilai $U304^{\circ}T/65^{\circ}$. Keadaan singkapan berwarna lapuk abu-abu dan warna segar putih, batuan ini berstekstur klastik dengan ukuran butir lempung. Batuan ini memiliki kemas terbuka, porositas buruk, permeabilitas buruk, dan struktur yang pejal dengan urat kalsit (Gambar 5)

Berdasarkan hasil pengamatan petrografi pada sampel ST 09, memiliki warna abu-abu, komposisi butir didominasi oleh butiran skeletal diduga foraminifera planktonik *globigerinids* bentuk morfologinya trochoid dan *globotruncana* dengan ukuran butir 0,12 mm serta beberapa fosil lain yang sulit teridentifikasi dengan jumlah presentase berdasarkan tabel *point counting* sebanyak 9 %. Batuan ini memiliki tekstur bioklastika fragmental, struktur pejal (Gambar 6).

Butiran penyusun batugamping ini umumnya meruncing tanggung hingga membundar tanggung, pemilahan sedang, kemasnya terbuka, dan hubungan butir mengambang dan titik. Terdukung oleh lumpur sebanyak 72 % dan sebagian mikrit tergantikan menjadi mikrosparit berukuran $30 \mu\text{m}$ sebanyak 4 % dan tidak tampak adanya keporian dalam jenis apapun. Orthosparit (ort) pada umumnya terkonsentrasi sebagai pengisi rongga seperti urat kalsit dengan bentuk kristal mosaik drusi sebanyak 15 %. Dari hasil pengamatan ini dapat disimpulkan batuan ini berupa *mudstone* (Dunham, 1962).



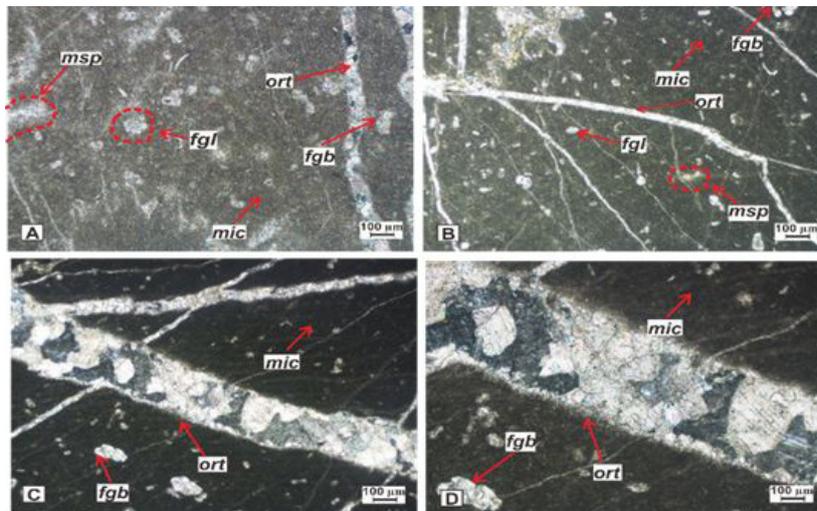
Gambar 3. Singkapan batugamping *wackestone* berukuran lempung.



Gambar 4. Wackestone bioklastika dominan lumpur karbonat (mic) yang pejal dengan urat yang diisi oleh orthosparit (ort). Tampak foraminifera planktonik globigerinids (fgl), alga (alg), brachiopoda (br) dan ostracod (ost) tampak fosil yang tergantikan menjadi pseudosparit (pse) serta lumpur karbonat tergantikan menjadi mikrosparit (msp), kedudukan lensa nikol silang.



Gambar 5. (A) Singkapan mudstone pada ST 09 memiliki ukuran butir lempung. (B) Singkapan batugamping ST 10 merupakan kontak antara mudstone dan batugamping kristalin



Gambar 6. Mudstone bioklastika tampak foraminifera globigerinids (fgl) dan globotruncana (fgb) pejal dengan urat yang diisi oleh orthosparit (ort) berbentuk semen mosaik drusi. Terdukung mikrit (mic), mikrit kadang tergantikan menjadi mikrosparit (msp) yang berukuran sangat halus, kedudukan nikol silang (ST 09).

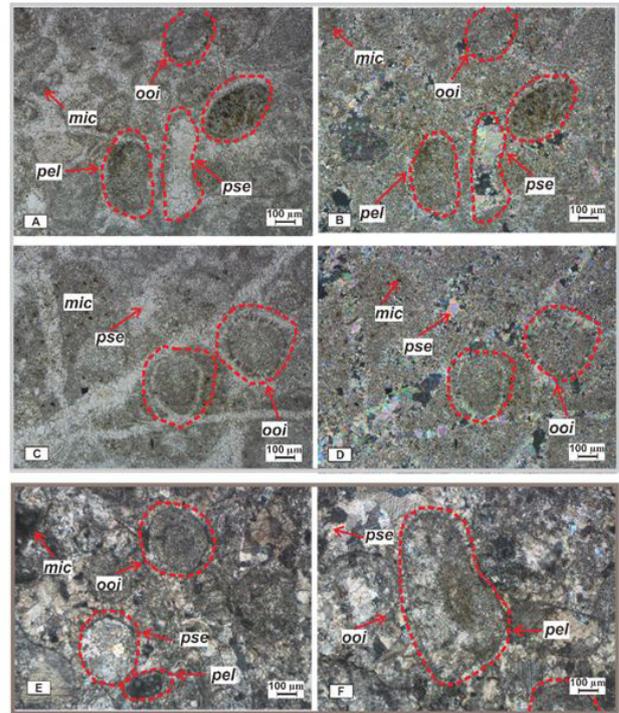
Packstone

Berdasarkan hasil megaskopis terhadap singkapan batuan karbonat dengan kode sampel ST 15 (Gambar 7), yaitu berupa batugamping klastika, memiliki dimensi panjang ± 14 m dan tinggi ± 8 m, arah penggambaran dua dimensi U174°T, dengan kedudukan perlapisan batuan adalah U162°T/60°. Singkapan berwarna lapuk abu-

abu dan warna segar kuning kecoklatan, batuan bertekstur klastik dengan ukuran butir pasir sangat halus, kemas tertutup, porositas buruk, permeabilitas buruk, dan pejal. Komposisi material butiran skeletal dan non skeletal tidak dapat teridentifikasi, terdukung butiran dan terdapat semen kalsit yang mengikat butiran, sehingga dari pengamatan ini batuan berupa *packstone* (Dunham, 1962).

Pengamatan petrografi pada sampel ST 15 dan ST 16, menunjukkan fasies *packstone* (Dunham, 1962) yang memiliki warna abu-abu, komposisi butir didominasi oleh butiran non skeletal berdasarkan pada *point counting* sebanyak 34 %, komposisi butir ini terdiri atas ooid (ooi) sebanyak 4% dengan ukuran butir 0,31 mm dan peloid (pel) sebanyak 30 % ukuran butirnya 0,39 mm sebagian besar berbentuk bulat atau memanjang. Ooid ini memiliki orientasi kristal primer konsentris atau radial, biasanya dengan persilangan dengan pseudosparit (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003).

Beberapa dari peloid ataupun ooid, telah tergantikan menjadi pseudosparit (pse) jumlah persentasenya sebanyak 21 % (Gambar 8 A, B), pemilahan sedang, kemas tertutup, bentuk butir membulat tanggung hingga membulat dan hubungan butir memanjang dan melengkung. Batuan ini memiliki tekstur klastika fragmental dengan matriks batuan berupa mikrit. Tampak batuan ini telah mengalami ubahan yang sangat kuat sehingga bentuk butiran tidak begitu jelas pada keadaan kedudukan nikol silang. Litologi ini didukung lumpur berdasarkan pada *point counting* sebanyak 45 %, dan tidak tampak adanya keporian dalam jenis apapun.



Gambar 8. (A, B, C, D) Packstone stasiun 15 terdukung mikrit (mic) dan mikrosparit yang pejal. Komponen material berupa butiran non skeletal berupa ooid (ooi) dan peloid (pel), beberapa dari peloid tergantikan menjadi pseudosparit (pse), (E, F) Packstone stasiun 16 komponen material butiran non skeletal, yaitu peloid dan ooid dan bermatriks lumpur, kedudukan nikol silang (XPL).



Gambar 7. Singkapan batugamping packstone berukuran pasir sangat halus yang ditemukan di beberapa titik, singkapan (a) berada di stasiun 15, singkapan (b) berada di stasiun 16.

Batugamping Kristalin

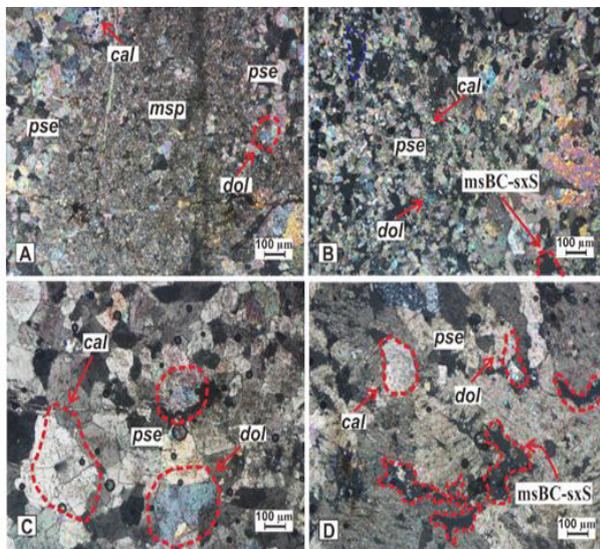
Berdasarkan hasil pengamatan secara megaskopis, batuanannya berupa batugamping kristalin dengan dimensi singkapan panjang ± 10 m dan tinggi ± 4 m, arah penggambaran dua dimensi U103°T dimana singkapan bersifat insitu. Kenampakan singkapan memiliki warna lapuk kuning kecoklatan dengan warna segar putih, dan pejal (Gambar 9).

Berdasarkan hasil pengamatan petrografi pada sampel ST 05, 11, 14 dan 17 menunjukkan batugamping kristalin yang memiliki warna interferensi putih, biru dan hitam, dengan struktur pejal. Komposisi material didominasi oleh semen kalsit pseudosparit yang terdiri atas mineral kalsit sebanyak 65 % dan dolomit 35 %. Umumnya kristal berupa pseudosparit penyusun batuan berukuran 30-50 μm yang cukup merata berstruktur mosaik hingga mosaik granular (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003), dan bertekstur kristalin (Gambar 10). Tampak beberapa kekar gerus yang bersilangan, juga sebagian rongganya telah terisi kembali oleh oksida besi dan kadang-kadang oleh lumpur pemikritan. Pseudosparit tersebut hadir sebagai pengganti total butiran karbonat

(Maryanto, 2014). Jenis porositasnya merupakan porositas interkristal hasil dari proses pelarutan yang memperbesar ukuran pori berukuran mesopore selama proses diagenesis dinotasikan dengan msBC-sxS (Flügel, 2004)



Gambar 9. Singkapan batugamping kristalin ST 14 dan ST 17.



Gambar 10. Batugamping kristalin dibangun terutama oleh kalsit dan dolomit hasil rekristalisasi (pse) dengan ukuran halus-sedang. Kedudukan lensa nikol bersilang (XPL).

TIPE MIKROFASIES

Analisis mikrofasies batugamping Formasi Tokala dilakukan dengan mengamati 10 sayatan petrografi dari 20 stasiun pengamatan. Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui komponen penyusun batuan dan lingkungan pengendapan. Interpretasi

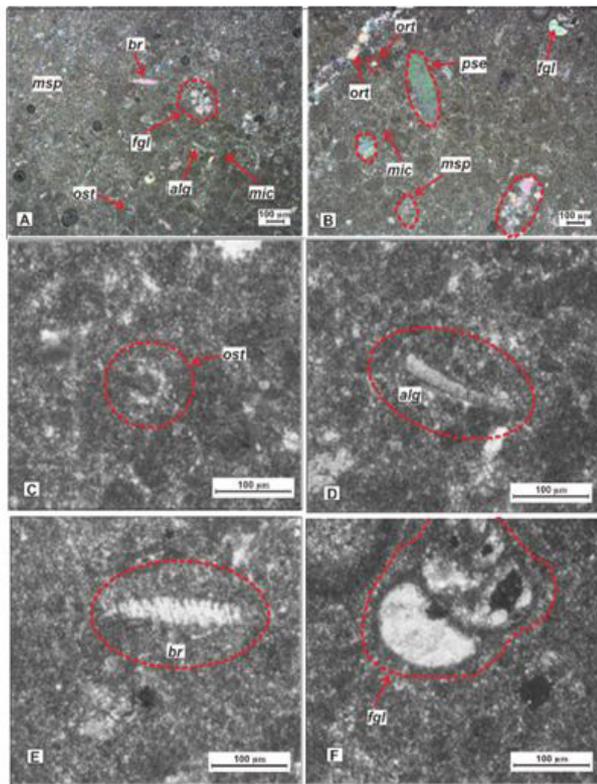
dilakukan dengan menggunakan pembagian mikrofasies menurut Flügel (1982; 2004), yang merupakan pengembangan sabuk fasies menurut Wilson (1975). Berdasarkan hasil pengamatan petrografi yang dilakukan ditemukan beberapa tipe mikrofasies, yaitu *wackestone* bioklastika dengan foraminifera planktonik *globigerinids* (SMF 9) berada di zona fasies FZ 2 (dangkalan dalam), *mudstone* pelagis dengan foraminifera planktonik *globigerinids* dan *globotruncana* (SMF 3) berada di zona fasies FZ 3 (tepi dangkalan dalam), mikrit dan mikrosporit homogen pejal tanpa fosil (SMF 23) berada di zona fasies FZ 8 (paparan terbatas), dan *packstone* peloidal (SMF 16) berada di zona fasies FZ 8 (paparan terbatas).

Wackestone Bioklastika (SMF 9)

Mikrofasies ini memiliki jenis butiran skeletal yang terdiri atas fosil alga, foraminifera planktonik *globigerinids*, *ostrakoda*, dan *brachiopoda* sebanyak 10 %, sayatan ini memperlihatkan struktur pejal, bertekstur bioklastika, serta kemas terbuka (Gambar 11). Sayatan ini didominasi oleh fosil foraminifera planktonik *globigerinids* dengan ukuran 0,17 mm dengan bentuk trochoid, spesies ini dicirikan oleh ruang yang bulat, bukaan besar dan banyak pori-pori dinding (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003). Rendahnya jumlah butiran skeletal terhadap matriks menunjukkan bahwa batuan ini diendapkan di zona fasies energi rendah.

Foraminifera sebagian tergantikan menjadi sparit atau pseudosparit berukuran 0,17 mm, distribusi bioklas yang tidak teratur dan bioklas termikritkan menandakan bioturbasi. Bioturbasi merupakan kenampakan struktur pada batugamping akibat kegiatan organisme (Maryanto, 2017). Batuan ini terdukung lumpur karbonat yang sangat tinggi, kelimpahan lumpur karbonat dan pengurangan ukuran fragmen kerangka di mikrofasies ini mengindikasikan pengendapan mikrofasies ini di lingkungan laut terbuka yang dalam dan berenergi rendah (Flügel, 2009). Urat kalsit pada batuan diisi oleh orthosparit dengan bentuk semen mosaik drusi. Komponen butiran didominasi oleh fosil planktonik foraminifera *globigerinid* dan tidak ada terlihat fosil foraminifera bentonik

Kehadiran sejumlah besar foraminifera planktonik di sayatan ini menandakan bahwa pengendapan terjadi di zona laut terbuka yang lebih dalam, foraminifera planktonik merupakan indikator laut terbuka (Erfani dkk., 2016). Sehingga mikrofasies ini telah disamakan dengan tipe mikrofasies standar Flügel (1972) dan Wilson (1975), dan mirip dengan SMF Tipe 9, yang dinotasikan dengan SMF 9 (*wackestone* bioklastika), FZ 2 (dangkalan dalam) di Zona ini batuan yang terbentuk yaitu *wackestone*, napal dan serpih (Flügel, 2009).



Gambar 11 (A) Wackestone bioklastika dengan beberapa butiran skeletal yang terdiri atas fosil (B) ostracoda, (C) alga, (D) brachiopoda, (E) foraminifera globigerinids.

Mudstone Pelagis dengan Foraminifera Globigerinids (SMF 3)

Penciri sayatan ini memiliki jenis butiran skeletal, foraminifera planktonik *globotruncana* (Gambar 12 a, b) dan *globigerinids* (Gambar 12 c, d), berstruktur pejal dengan matriks lumpur karbonat. Butirannya sangat halus berukuran 0,12 mm yang didominasi oleh fosil foraminifera *globigerinids* dan *globotruncana*, umumnya rongga foraminifera diisi oleh sparit yang menunjukkan perubahan yang kuat setelah pengendapan. Foraminifera bentonik yang sangat langka menunjukkan bahwa batuan ini diendapkan di bathyal hingga kedalaman abyssal (Chen dkk., 2011).

Saat ini, sebagian besar *mudstone* diendapkan di berbagai lingkungan mulai dari zona pasang surut hingga laguna dan cekungan (Ali & Mohamed, 2013). Karakter batuan hampir mirip dengan ST 01, tetapi kelimpahan butirannya lebih sedikit, yaitu sebanyak 9 %.

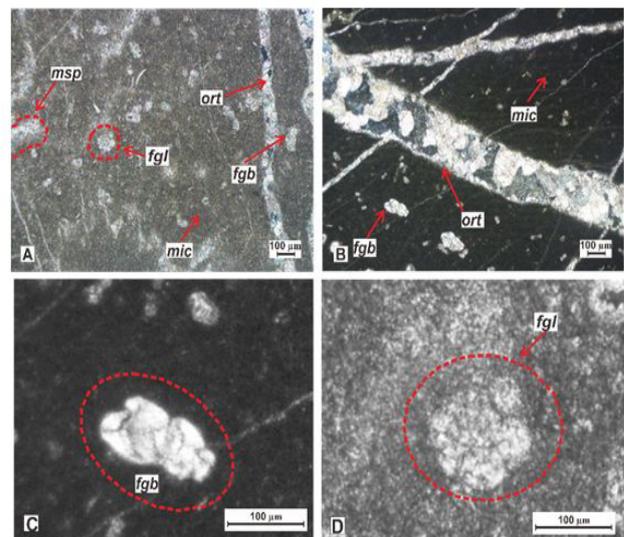
Rendahnya jumlah butiran terhadap matriks menunjukkan bahwa batuan ini diendapkan di zona fasies energi rendah. Penciri batugamping seperti ini pada umumnya diendapkan di lingkungan yang lebih

dalam, yaitu cekungan dengan pengendapan lambat (Maryanto & Permana, 2013). Mikrofasies ini mirip dengan SMF 3 (*mudstone* dan *wackestone* pelagis) dari (Flügel, 2009) pada zona fasies FZ 3 (cekungan dalam).

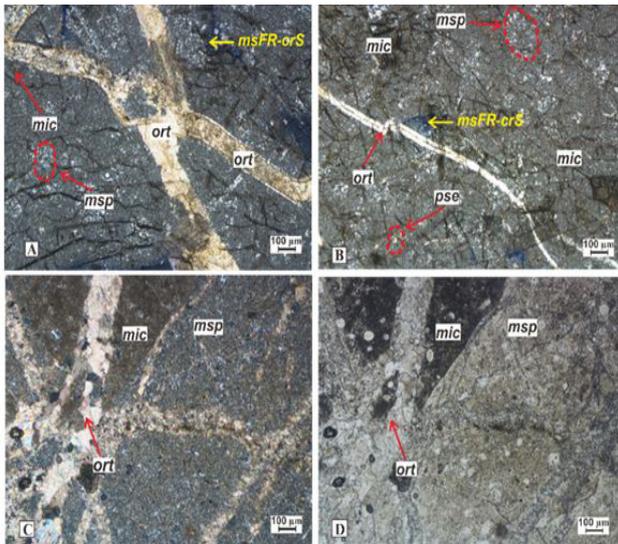
Mudstone dengan Mikrit dan Mikrosporit (SMF 23)

Penciri sayatan yaitu berstruktur pejal, mikrit dan mikrosporit menjadi komponen utama. *Mudstone* dominasi lumpur karbonat sebagian tergantung menjadi mikrosporit (Gambar 13). Mikrit memiliki ukuran $<4 \mu\text{m}$, sedangkan mikrosporit memiliki ukuran $30 \mu\text{m}$ merupakan kalsit yang dihasilkan dari rekristalisasi (Folk, 1965). Berdasarkan dominasi material penyusun yang berukuran halus ini diinterpretasikan *mudstone* diendapkan pada lingkungan dangkal berenergi sedang di bawah dasar gelombang.

Butiran pada batuan sudah terabrasi dan tercuci dengan baik sehingga menyisahkan mikrit dan mikrosporit sebagai komponen pada batuan ini. Karakter batuan ini umumnya diendapkan di zona fasies paparan terbatas (FZ 8). Mikrofasies ini mirip dengan SMF 23 dari Flügel (1972) dan Wilson (1975) dan diendapkan dalam sirkulasi air sedang dengan lingkungan laut terbatas dan memiliki energi yang sedang.



Gambar 12 (A, B) Mudstone pelagis dengan fosil foraminifera (C) *globotruncana* (fgb) yang sebagian tergantung menjadi semen kalsit dan fosil foraminifera (D) *globigerinids* (fgl).



Gambar 13. Mudstone dengan mikrit dan mikrosparit (SMF 23).

Packstone Peloidal (SMF 16)

Packstone dengan ciri sayatan berstruktur klastika dan pejal, terdukung butiran, yang terdiri atas butiran non skeletal berkelimpahan tinggi 40 %, terdiri atas peloid sebanyak 30% dengan diameter panjang 0,34 mm dan ooid sebanyak 10 %. Peloid berbentuk elipsoid ukurannya bervariasi dari 0,2 hingga 0,3 mm, sebagian telah tergantikan menjadi sparit berukuran kasar dan berupa pseudosparit berukuran 0,08 hingga 0,10 mm. Sebagian besar peloid memiliki tepi kalsit yang memiliki bentuk semen *mosaic drusy* (Gambar 14), dengan beberapa kalsit blok disela antarbutir. Matriks berupa lumpur karbonat berukuran <4 µm sebagian telah tergantikan menjadi mikrosparit dengan ukuran 0,02 mm.

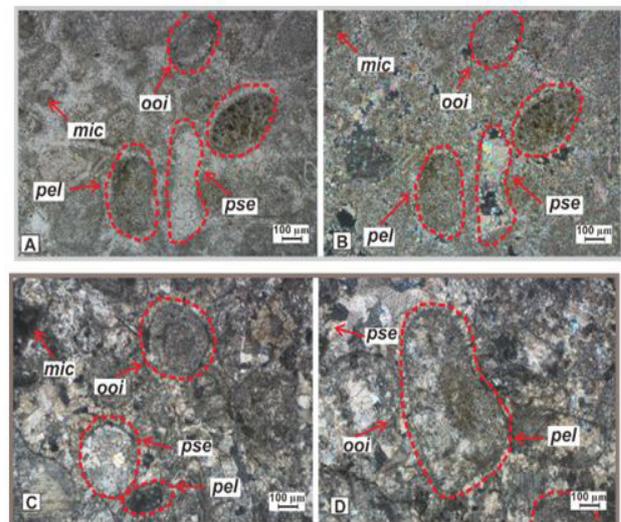
Karakter batugamping seperti tersebut menunjukkan bahwa batuan diendapkan di lingkungan paparan terbatas. Zona ini berkeadaan air dangkal sedimen yang dijumpai di zona ini kebanyakan berupa lumpur karbonat, batuan yang terbentuk yaitu *mudstone* dolomit, *wackestone*. Mikrofasies ini mirip dengan SMF 16 dari Flügel (2009) dan Wilson (1975) dan diendapkan dalam sirkulasi air sedang dengan lingkungan laut terbatas. Penciri utama mikrofasies ini butiran karbonat dikuasai oleh peloid (Tabel 1).

LINGKUNGAN PENGENDAPAN

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan dan pemerian petrografi terhadap sepuluh sampel sayatan tipis batuan karbonat di daerah penelitian dengan menggunakan *standard microfacies types* (SMF) menurut (Flügel, 2009) serta model sabuk fasies paparan karbonat tertutup (*rinned*) berdasarkan

facies zone (FZ) menurut Wilson (1975), daerah penelitian memiliki 3 lingkungan pengendapan yang meliputi: dangkalan dalam (FZ 2), tepi dangkalan dalam (FZ 3) dan paparan terbatas belakang terumbu (FZ 8).

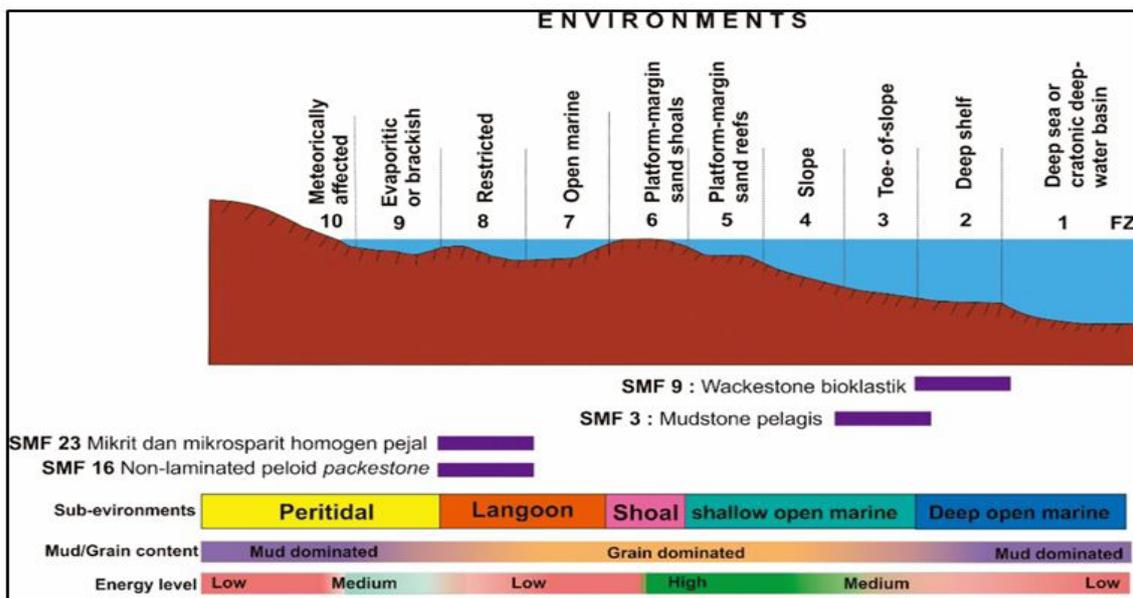
Batuan dengan asosiasi mikrofasies *wackestone* bioklastik (SMF 9) berada di lingkungan dangkalan dalam (FZ 2: *deep shelf*) dimana ditandai adanya butiran skeletal berupa foraminifera planktonik *globigerinids* yang mendominasi sayatan, terlihat juga adanya alga, *brachiopoda* dan *ostracoda*. Foraminifera *globigerinids* ini memiliki diameter panjang 0,17 mm. Beberapa bioklas ini, khususnya foraminifera *globigerinids* sebagian tergantung dan rongganya diisi oleh semen kalsit pseudosparit berukuran 0,03 - 0,05 mm dengan morfologi semen *drusy*. Karakteristik asosiasi fasies dan kandungan biota yaitu foraminifera planktonik *globigerinids*, alga, *brachiopoda* dan *ostracoda* menunjukkan sirkulasi terbuka. Karena kondisi energinya rendah, fasies ini dicirikan oleh biota laut terbuka dengan poporsi lumpur karbonat yang sangat besar (Bachmann & Hirsch, 2006), maka diperkirakan batuan ini diendapkan di lingkungan dangkalan dalam (FZ 2: *deep shelf*). Mikrofasies ini juga ditandai dengan ditemukannya batugamping pada stasiun 3, yaitu *wackestone* bioklastika yang berselingan dengan batugamping lempungan berwarna hitam. Karakter batuan ini sama seperti yang ditemukan oleh (Villeneuve dkk., 2001) pada Formasi Tokala Daerah Kolonodale yang diendapkan di lingkungan batial (Gambar 15).



Gambar 14. Packstone peloid pejal (SMF 16).

Tabel 1. Ringkasan deskripsi petrografi Formasi Tokala di Daerah Ukulere

KODE SAMPEL	ST 1	ST 16	ST 5	ST 7	ST 11	ST 9	ST 12	ST 15	ST 14	ST 17	KETERANGAN:
DESKRIPSI											Struktur: m = Pejaj c = dengan urat
Struktur	mc	m	m	mc	m	mc	mc	m	m	m	Tekstur: bf = Bioklastika Fragmental
Tekstur	bf	cf	c	cc	c	bf	cc	cf	c	c	cf = klastika fragmental
Pemilahan	m	m	-	m	-	m	m	m	-	-	cc = klastika kristalin
Kemas	o	o	-	o	-	o	o	o	-	-	c = Kristalin
U.k Butir (mm)	0.169	0.395	-	0.03	-	0.102	0.03	0.314	-	-	Pemilahan: m = sedang
Bentuk butir	a-sr	Sr-r	-	sa-sr	-	sa-sr	sr	Sr-r	-	-	p = buruk
Hubungan butir	f	fp	-	fp	-	fpc	fp	fp	-	-	vp = sangat buruk
Porositas	-	-	msB C- sxS	MsFR- crS	msBC- sxS	-	-	-	msBC- sxS	msBC- sxS	Kemas: c = Terbuka o = Tertutup
% Komponen											Bentuk butir: a = meruncing
Butiran Karbonat											sa = meruncing tanggung
Skeletal grain	10	-	-	-	-	9	-	-	-	-	sr = membundar tanggung
Ooid/Oncoid	-	4	-	-	-	-	-	10	-	-	r = membundar
peloid	-	30	-	-	-	-	-	30	-	-	Hubungan butir: f = mengambang
Matriks											p = titik
Lumpur Karbonat	70	45	-	56	-	72	32	37	-	-	l = Panjang
Penyemen											c = lengkung
Orthosparit	2	-	-	11	-	15	37	-	-	-	s = gerigi
Neomorfisme											Nama batuan: W = Wackestone
Pseudosparit	5	21	54	5	90	-	3	23	100	88	M = Mudstone
Mikrosparit	13	-	46	25	-	4	28	-	-	-	C = Batugamping Kristalin
Porositas											P = Packstone
	-	-	-	3	10	-	-	-	-	12	Mikrofasies: SMF = Standar mikrofasies (Flügel, 200
Nama Batuan	W	P	C	M	C	M	M	P	C	C	FZ = zona fasies (Wilson, 1975)
SMF/FZ	9/2	16/8	-	23/8	-	3/3	23/8	16/8	-	-	



(sumber: Flügel, (2004); Kontakiotis dkk., (2020); Wilson, (1975)

Gambar 15. Model distribusi pengendapan lokasi penelitian

Selanjutnya nomor sampel ST 09, yaitu *mudstone* pelagis (SMF 3) menunjukkan lingkungan tepi dangkalan dalam (FZ 3: *toe-of-slope*), dimana ditandai adanya butiran skeletal berupa foraminifera planktonik *globigerinids* dan *globotruncana* yang mendominasi sayatan. Bioklas ini berukuran diameter bervariasi, yaitu sekitar 0,10 mm hingga 0,12 mm, matriks berupa lumpur karbonat cukup banyak. Komponen mineral sekunder hadir berupa

mikrosparit, penyemen berupa orthosparit yang mengisi kekar. Karakteristik asosiasi fasies dengan kandungan biota yaitu foraminifera planktonik *globigerinids* dengan *globotruncana*, indikasi radiolaria (?) menunjukkan laut terbuka yang lebih dalam dan keberadaan foraminifera bentonik yang sangat langka menunjukkan bahwa batuan ini diendapkan di *bathyal* hingga kedalaman *abyssal* (Chen dkk., 2011). Sehingga batuan diperkirakan

diendapkan di lingkungan laut dalam terbuka berenergi rendah. Karena kondisi energinya rendah dan fasies ini dicirikan oleh biota laut terbuka dengan poporsi lumpur karbonat yang sangat besar (Bachmann & Hirsch, 2006), maka diperkirakan batuan ini diendapkan lingkungan tepi dangkalan dalam (FZ 3: *toe-of-slope*). Batuan dengan asosiasi *packstone* peloidal pejal (SMF-16) yang berada di stasiun 15 dan 16 diendapkan dalam sirkulasi air sedang terbatas (FZ 8), ditunjukkan dengan hadirnya peloid dan ooid. Karena sebagian butirannya telah tergantikan dan terekristalisasi dengan cukup kuat, beberapa peloid dan ooid tergantikan menjadi kristal kalsit yang berukuran lebih kasar menjadi pseudosparit (Maryanto dkk., 2014) berbentuk kristal *mosaic drusy*. Lumpir umpur karbonat hadir cukup banyak, sekitar 45 % berukuran < 4 μm , mencerminkan batuan diendapkan di laguna yang diperkirakan di lingkungan paparan terbatas dengan energi rendah. Pada lingkungan paparan terbatas ini bukan hanya *packstone* yang terendapkan namun pada sampel ST 7 dan ST 12, yaitu mikrit dan mikrosparit homogen pejal tanpa fosil (SMF 23), juga menunjukkan lingkungan pengendapan paparan terbatas di bagian belakang terumbu (FZ 8: *restricted*) yang dicirikan dengan mikrit dan mikrosparit sebagai komponen penyusun utama. Zona ini masuk dalam zona fotik berada di atas dasar gelombang yang tidak terhubung dengan laut terbuka (Flügel, 2009), memiliki energi rendah karena material penyusun batuan berukuran sangat halus (Ahmad dkk., 2021).

Berdasarkan proses pengendapan pada daerah penelitian mengacu pada sebaran zona mikrofasies, terdiri atas batuan *mudstone* hingga *packstone* berukuran lempung hingga pasir sangat halus dan ditemukan fosil foraminifera planktonik *globotruncana*, *globigerinids*, indikasi radiolaria (?), batugamping ini umumnya memiliki komposisi

mikrit yang sangat banyak sehingga lingkungan pengendapan daerah penelitian diperkirakan laut dalam hingga laut dangkal. Perbedaan lingkungan pengendapan ini diakibatkan dari tumbukan dua blok continental, yaitu Blok Tokala di barat dan Blok Banggai-Sula di timur. Blok Tokala dihasilkan dari obduksi Oligosen Cekungan Asiatik ofiolitik ke tepi pasif Blok Gondwanian (Blok Banda), dengan tumbukan dengan tepi aktif Asiatik (Lengan Barat Sulawesi) di dekat Oligosen Akhir atau di Miosen Miosen. Blok Tokala kemudian bertabrakan dengan Blok Banggai-Sula turunan Blok Papua pada kala Pliosen Awal hingga Tengah atau sesudahnya (Villeneuve dkk., 2000).

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian petrografi dilakukan terhadap 10 sampel batugamping Formasi Tokala Daerah Ululere memperlihatkan beberapa tipe mikrofasies batugamping, yaitu *wackestone* bioklastika dengan foraminifera planktonik *globigerinids* (SMF 9), *mudstone* atau *wackestone* pelagis dengan foraminifera planktonik *globigerinids* dan *globotruncana* (SMF 3), *mudstone* dengan mikrit dan mikrosparit homogen pejal tanpa fosil (SMF 23), dan *packstone* peloidal pejal (SMF 16). Mikrofasies tersebut terendapkan di beberapa lingkungan pengendapan, yaitu lingkungan dangkalan dalam (FZ 2: *deep shelf*), tepi dangkalan dalam (FZ 3: *toe-of-slope*), dan paparan terbatas (FZ 8: *restricted*). Ketiga lingkungan pengendapan ini memiliki energi yang rendah yang mengendapkan lumpur karbonat sangat banyak.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih atas dukungan dan bantuan staf laboran, rekan sejawat dan mahasiswa Universitas Halu Oleo yang telah memberikan bantuan, dukungan, arahan dan koreksi dalam publikasi ini.

ACUAN

- Ahmad, F., Quasim, M.A., and Ahmad, A.H.M., 2021. Microfacies and Diagenetic Overprints in the Limestones of Middle Jurassic Fort Member (Jaisalmer Formation), Western Rajasthan, India: Implications for the Depositional Environment, Cyclicity, and Reservoir Quality. *Geological Journal* 56(1), 130-151. DOI:10.1002/gj.3945.
- Ali, C.A. and Mohamed, K.R., 2013. Microfacies and Diagenesis in the Setul Limestone in Langkawi and Perlis. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* 59, 59-66. DOI:10.7186/bgsm59201310.
- Arisona, Alfian, S., Praja, N.K., dan Okto, A., 2022. Studi Diagenesis Batugamping di Desa Wakorumba, Kecamatan Wakorumba Selatan, Kabupaten Muna, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral* 23(3), 155-162. DOI:http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v23.3.155-162.
- Bachmann, M. and Hirsch, F., 2006. Lower Cretaceous Carbonate Platform of the Eastern Levant (Galilee and the Golan Heights): Stratigraphy and Second-order Sea-level Change. *Cretaceous Research* 27(4), 487-512. DOI:10.1016/j.cretres.2005.09.003.
- Chen, X., Wang, C., Kuhnt, W., Holbourn, A., Huang, Y., and Ma, C., 2011. Lithofacies, Microfacies and Depositional Environments of Upper Cretaceous Oceanic Red Beds (Chuangde Formation) in Southern Tibet. *Sedimentary Geology* 235(1-2), 100-110. DOI:10.1016/j.sedgeo.2010.06.008.

- Dunham, R.J., 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Textures, Classification of Carbonate Rocks--A Symposium 108-121.
- Erfani, S., Adabi, M.H., Majidifard, M.R., and Ghadimvand, N.K., 2016. Facies Interpretation, Depositional Environment and Sequence Stratigraphy of the Gachal Formation in the Madbeiki Section, Kalmard Block, East Central Iran. *Open Journal of Geology* 06(06), 439-458. DOI:10.4236/ojg.2016.66037.
- Flügel, E., 2009. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application* (2ed.). Springer-Verlag, Heidelberg, 1006p. DOI:10.1007/10.1007/978-3-642-03796-2.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer-Verlag, Heidelberg, 995p. DOI:10.1007/978-3-662-08726-8.
- Flügel, E., 1982. *Microfacies analysis of limestones*, Springer-Verlag, Heidelberg, 646 p. DOI:10.1007/978-3-642-68423-4.
- Kontakiotis, G., Moforis, L., Karakitsios, V., dan Antonarakou, A., 2020. Sedimentary Facies Analysis, Reservoir Characteristics and Paleogeography Significance of the Early Jurassic to Eocene Carbonates in Epirus (Ionian Zone, Western Greece). *Journal of Marine Science and Engineering* 8(9), 706-730. DOI:10.3390/jmse8090706.
- Maryanto, S., 2017. *Mikrofasies Batugamping: Studi Batugamping Paleogen-Neogen di Indonesia Bagian Barat*. LIPI Press, Jakarta, 414 hal.
- Maryanto, S., Jamal, dan Kusumah, K.D., 2014. Mikrofasies Batugamping Formasi Batununggal di Daerah Benuang, Kalimantan Selatan, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral* 15(4), 195-204.
- Maryanto, S., dan Permana, A.K., 2013. Mikrofasies dan Diagenesis Batugamping Berdasarkan Data Petrografi pada Formasi Nakfunu di Daerah Timor Tengah Selatan, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral* 23(3), 1-14.
- Pigram, C.J. and Supandjono, S.J.B., 1985. Origin of the Sula Platform, Eastern Indonesia, *Geology* 13(4), 246-248. DOI:10.1130/0091-7613(1985)13<246:OOTSP>2.0.CO;2.
- Scholle, P.A. and Ulmer-Scholle, D.S., 2003. *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, Diagenesis*. The American Association of Petroleum Geologists, Oklahoma, 470p.
- Simandjuntak, T.O., Rusmana, E., dan Supandjono, J.B., 1994. *Peta Geologi Lembar Bungku Sulawesi 1:250000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Surono dan Hartono, U., 2013. *Geologi Sulawesi*. LIPI Press, Jakarta, 334 hal.
- Taylor, J.M. and County, F., 1950. Pore-space Reduction in Sandstones. *Bulletin of the American association of petroleum geologists* 34(4), 701-716.
- Villeneuve, M., Cornee, J.J., Gunawan, W., Martini, R., Tronchetti, G., Janin, M.C., Saint-Marc, P., and Zaninetti, L., 2001. La Succession Lithostratigraphique du Bloc de Banda Dans la Region de Kolonodale (Sulawesi Central, Indonesie). *Bulletin de la Société Géologique de France* 172(1), 59-68. DOI:10.2113/172.1.59
- Villeneuve, M., Cornée, J., Gunawan, W., Janin, M., and Butterlin, J., 2000. Continental Block Collision in the Eastern Arm of Sulawesi (Indonesia). *Structure and Geodynamic* 330, 371-378.
- Wilson, J.L., 1975. *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer, Heidelberg, 483p. DOI:10.1007/978-1-4612-6383-8.