

## **ANALISIS MIKROFASIES BATUGAMPING DAERAH BATU CERMIN FORMASI BEBULUH, KOTA SAMARINDA, PROVINSI KALIMANTAN TIMUR**

### ***MICROFACIES ANALYSIS OF LIMESTONE IN THE BATU CERMIN AREA, BEBULUH FORMATION, SAMARINDA CITY, EAST KALIMANTAN PROVINCE***

**Dian Mangalik<sup>1,\*</sup>, Muhammad Amin Syam<sup>1</sup>, Resty Intan Puteri<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Fakultas Teknik/Program Studi Teknik Geologi, Universitas Mulawarman  
E-mail: dmangalik20@gmail.com

#### **Abstract**

*The research area is located in Batu Cermin, Sempaja Utara sub-district, North Samarinda district, Samarinda City, East Kalimantan Province. Batu Cermin is one of the contributors of limestone as a building material for Samarinda and its surrounding areas. Currently, the existence of limestone in the form of outcrops is gradually diminishing due to extensive limestone mining, which necessitates research focused on limestone in this region so that information regarding all aspects of limestone can be documented through the research findings. The main objective of this study is to determine the facies with classifications according to Dunham (1962) and Embry & Klovan (1971), as well as to determine the depositional environment of limestone based on the Standard Microfacies (SMF) according to Flügel (1982), and then to relate it to the Facies Zones according to Wilson (1975). The methods used in this study are descriptive and analytical. The descriptive method is employed to make predictions and derive benefits from a problem that needs to be solved, while the analytical methods used include petrographic analysis, microfacies analysis, and stratigraphic analysis. Field and laboratory observations through descriptions reveal that the Batu Cermin area consists of facies units of mudstone, floatstone, wackestone, Grainstone, and sandstone. Referring to the Standard Microfacies (SMF) according to Flügel (1982), it falls under SMF 8 and SMF 11. When linked to Facies Zones (FZ) according to Wilson (1975), the limestone in the research area is deposited in environments of FZ 7 (Open Marine) and FZ 6 (Platform Margin Sand Shoals).*

**Keywords:** *Limestone Microfacies, Facies Zone, Batu Cermin, Samarinda.*

#### **Abstrak**

Daerah penelitian berada di daerah Batu cermin, kelurahan Sempaja Utara, kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Daerah Batu Cermin merupakan salah satu penyumbang batugamping bahan bangunan untuk daerah Samarinda dan sekitarnya. Saat ini keberadaan batugamping dalam bentuk singkapan berangsur habis karena masifnya penambangan batugamping sehingga perlunya penelitian yang berfokus pada batugamping pada daerah tersebut sehingga informasi mengenai segala aspek yang mencakup batugamping dapat didokumentasikan melalui hasil penelitian yang dilakukan dengan tujuan utama penelitian yaitu menentukan fasies dengan klasifikasi (Dunham, 1962) dan klasifikasi (Embry & Clovan, 1971) serta menentukan lingkungan pengendapan batugamping yang mengacu pada mengacu pada *Standard Microfacies* (SMF) menurut Flügel (1982) lalu dihubungkan dengan Zona Fasies menurut (Wilson, 1975). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif dan analisis. Metode deskriptif dilakukan untuk membuat prediksi dan mendapatkan manfaat dari suatu permasalahan yang akan dipecahkan, sedangkan untuk metode analisis yang digunakan adalah analisis petrografi, analisis mikrofases, analisis dan analisis stratigrafi. Hasil pengamatan lapangan dan laboratorium melalui pendeskripsian diketahui pada daerah Batu Cermin tersusun atas satuan fasies batulanau, satuan fasies *floatstone*, satuan fasies *wackestone*, satuan fasies *grainstone* dan satuan fasies batupasir. mengacu pada *Standard Microfacies* (SMF) menurut Flügel (1982) berada pada SMF 8 dan SMF 11 Jika dihubungkan dengan *Facies Zone* (FZ) menurut (Wilson, 1975) Batugamping di daerah penelitian terendapkan pada lingkungan FZ 7 (*Open Marine*) dan FZ 6 (*Platform Margin Sand Shoals*).

**Kata kunci:** Mikrofases Batugamping, Zona Fasies, Batu Cermin, Samarinda.

## PENDAHULUAN

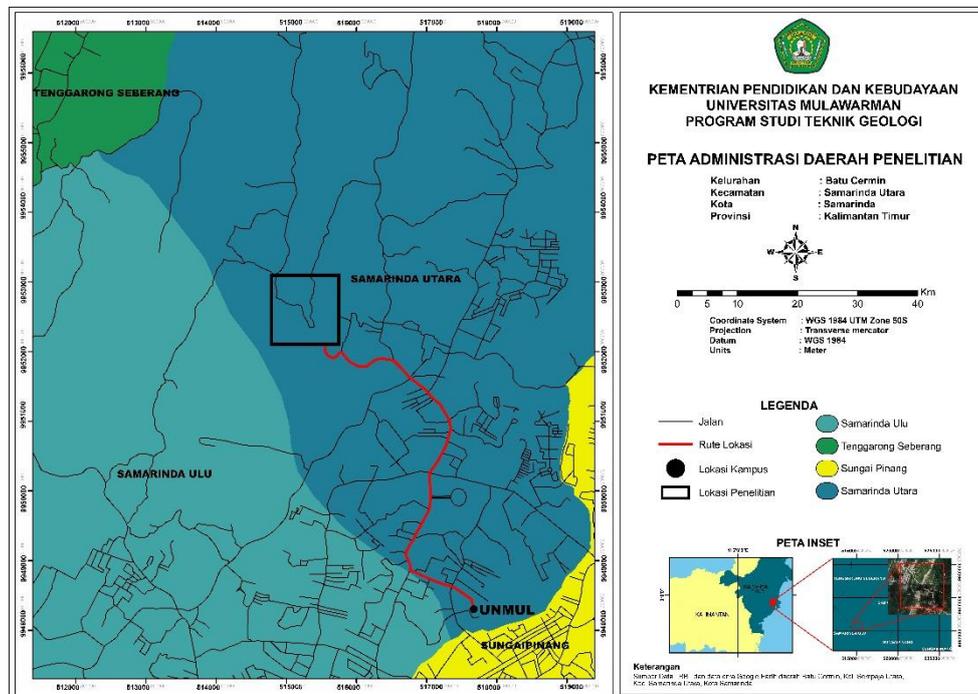
Daerah Batu Cermin, yang berada di Kelurahan Sempaja Utara, Kecamatan Samarinda Utara, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur, merupakan bagian penting dari Cekungan Kutai, salah satu cekungan sedimen terbesar di Indonesia. Berdasarkan kajian geologi regional yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian Pengembangan Geologi (PPPG), wilayah Batu Cermin terletak pada Lembar Geologi Regional Samarinda (Satyana, 1995). Secara penyebaran litologi, daerah ini menunjukkan bahwa batugamping merupakan litologi yang dominan, yang meluas dari bagian utara hingga selatan.

Permukaan bumi didominasi oleh batuan sedimen pada bagian litosfer dan salah satu dari jenis batuan sedimen tersebut yaitu batuan karbonat yang menyumbang 25 % dari total 75 % luas batuan sedimen di permukaan bumi. Salah satu batuan sedimen yang karakteristik dalam bentuk ketersediaan fosil yang sangat baik

dan proses pembentukan yang berbeda dari pada batuan sedimen lainnya yaitu batugamping.

Batugamping adalah batuan yang tersusun lebih dari 50% mineral karbonat, yang 50% atau lebih terdiri dari kalsit atau aragonit. Batugamping bisa berwarna putih, abu-abu, abu-abu tua, kekuningan, kehijauan, biru, dan terkadang berwarna hitam. Pengotor dalam batugamping termasuk spektrum magnesium karbonat, dolomit, silika, *glauconite*, *gypsum*, *fluorite*, *siderite*, sulfida, besi dan mangan oksida, fosfat, lumpur, dan bahan organik (Chilingar dkk, 1967).

Sedimentasi karbonat yang strategis berada di air dangkal yang hangat, berbatasan dengan paparan di daerah yang stabil secara tektonik. Di daerah tersebut sedimentasi sebagian besar autochthonous, karbonat organik yang terbentuk pada tempatnya terakumulasi dekat dengan tempat asalnya. Paparan yang sangat miring ada kecenderungan mengarah ke laut, zona energi rendah berkembang di bawah dasar gelombang



Gambar 1. Peta Administrasi dan Lokasi Daerah Batu Cermin

dan zona energi gelombang yang lebih tinggi berada dekat pantai di mana gelombang menyeret dasar dan produktivitas organik maksimum terjadi, lalu zona energi rendah interior atau ke arah pantai juga berkembang. Kontrol hidrologi, iklim, dan organik yang terjadi pada pembentukan sedimen karbonat (*lime*) in situ membentuk tiga sabuk lingkungan (*environmental belts*) yang sederhana (*basin, shelf margins, dan backreef*) menjadi sekitar sembilan sub-lingkungan (Wilson, 1975).

Ketersediaan fosil dan lingkungan pengendapan batugamping yang berbeda dengan batuan sedimen yang lain membuat batugamping sangat menarik untuk diteliti lebih dalam yang artinya pemahaman batugamping lebih detail yang merujuk pada mikrofases batugamping. Mikrofases sendiri mengacu pada pengamatan fasies secara mikroskopis mengenai karakteristik suatu batugamping secara menyeluruh dengan mempertimbangkan aspek paleontologi dan sedimentologi dengan mengacu pada analisis petrografi pada sampel sayatan tipis (*Thin Section*).

Daerah Batu Cermin merupakan salah satu penyumbang batugamping untuk bahan bangunan daerah Samarinda dan sekitarnya. Keterdapatannya singkapan batugamping yang tersingkap yang berarah dari timur laut sampai barat daya. Permintaan batugamping untuk keperluan pembangunan sangat mempengaruhi ketersediaan batugamping pada daerah Batu Cermin yang mulai berangsur habis dan belum ada penelitian sebelumnya yang berfokus pada batugamping pada daerah tersebut sehingga penelitian mengenai batugamping untuk keperluan edukasi pada daerah tersebut sangat diperlukan.

## **METODELOGI PENELITIAN**

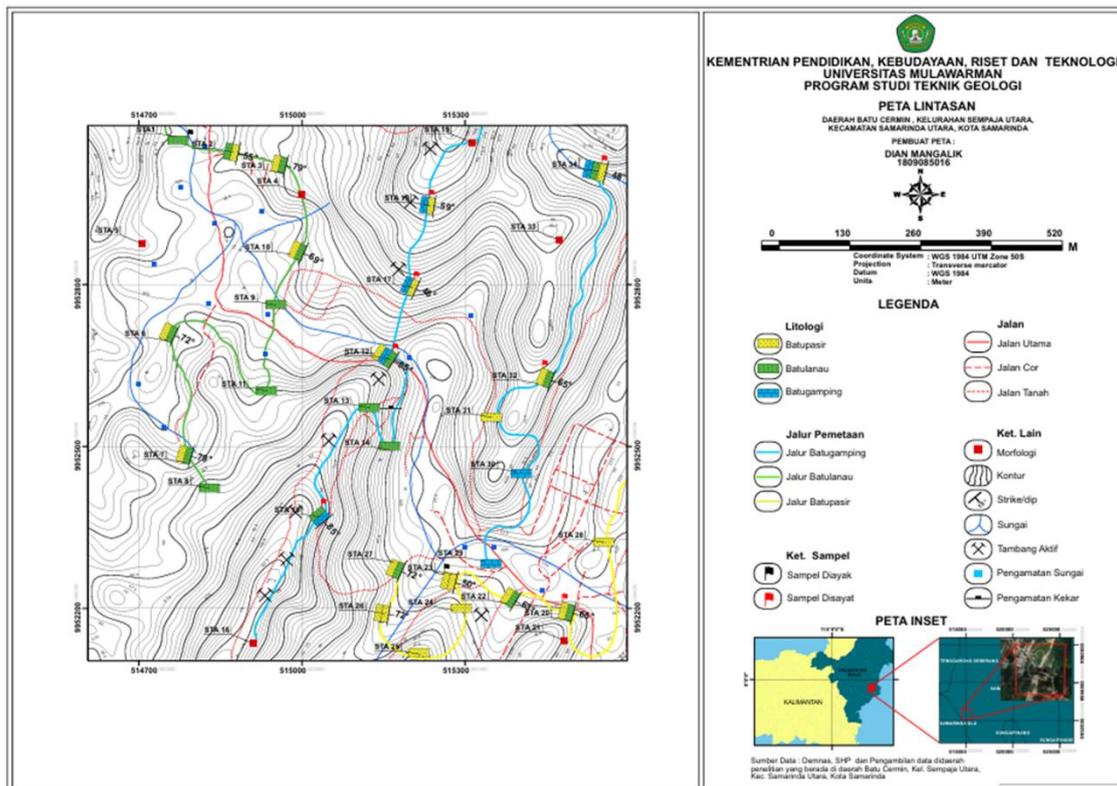
Metode yang diterapkan dalam penelitian ini

mencakup pendekatan deskriptif dan analitis, yang berperan dalam mengidentifikasi, menganalisis, serta menginterpretasi berbagai aspek geologi yang diamati di lapangan maupun di laboratorium. Metode deskriptif digunakan untuk mengumpulkan data lapangan secara sistematis, dengan tujuan untuk memahami fenomena geologi yang ada, sehingga dapat dilakukan prediksi terkait perkembangan geologi wilayah tersebut. Pendekatan ini bertujuan untuk menggambarkan kondisi geologi yang teramati, seperti litologi, struktur, dan stratigrafi secara detail, yang nantinya akan digunakan untuk mendapatkan solusi dan manfaat dari permasalahan geologi yang ingin dipecahkan.

Metode analitis digunakan untuk memproses dan mengevaluasi data yang telah diperoleh dari observasi lapangan dan sampel laboratorium. Dalam penelitian ini, metode analitis mencakup beberapa jenis analisis penting. Analisis petrografi dilakukan untuk mempelajari komposisi mineralogi dan tekstur batuan secara mikroskopis, yang memberikan informasi mengenai proses diagenesis dan sejarah pembentukan batuan. Analisis mikrofases digunakan untuk mengidentifikasi ciri-ciri fasies batugamping melalui pengamatan mikroskopik, yang membantu dalam merekonstruksi lingkungan pengendapan. Selanjutnya, analisis stratigrafi berfokus pada penentuan urutan stratigrafi dan hubungan antar lapisan batuan untuk menginterpretasi sejarah geologi dan evolusi cekungan sedimentasi..

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan pada hasil orientasi di lapangan, diketahui bahwa singkapan batugamping daerah penelitian memperlihatkan morfologi perbukitan yang keterdapatannya menerus hingga daerah Batu Putih dengan ketinggian rata-rata mencapai 100 m. Singkapan batugamping berada di tengah daerah penelitian yang menerus dari



Gambar 2. Peta lintasan

utara hingga selatan peta. Batugamping pada daerah penelitian pada beberapa lokasi telah dilakukan proses penambangan baik secara manual atau dengan bantuan alat berat yang menyebar pada lokasi penelitian. Akses menuju daerah penelitian terutama lokasi pengamatan cukup mudah karena telah banyak akses jalan.

Di daerah penelitian, dilakukan serangkaian pengamatan geologi yang sistematis, di mana pengambilan sampel dilakukan secara *stratified* sampling untuk memastikan representativitas data dari berbagai lapisan stratigrafi yang ada. Proses ini bertujuan untuk memahami karakteristik lithologi dan kondisi geologi yang terdapat di lokasi-lokasi tertentu. Pengamatan pertama dilakukan di STA 12 dengan koordinat 513162, 9952662 pada kedalaman 50 m. Lokasi ini dipilih untuk mengeksplorasi jenis batuan yang terendapkan serta untuk

mendapatkan informasi mengenai proses sedimentasi yang berlangsung. Pengamatan kedua, yaitu di STA 15 dengan koordinat 515038, 9952462 pada kedalaman yang sama, bertujuan untuk mengidentifikasi variasi lithologis dan struktur geologi yang mungkin dapat mempengaruhi perilaku sedimen.

Pengamatan ketiga di STA 17 dengan koordinat 515203, 9952795, juga pada kedalaman 50 m, difokuskan pada analisis mineralogi dari lapisan yang ada, untuk mendapatkan data mengenai komposisi kimia dan tekstur batuan. Pengamatan keempat di STA 18 dengan koordinat 515202, 9952808 pada kedalaman yang sama, bertujuan untuk mendalami interaksi antara lithologi dan struktur geologi, dalam rangka mengevaluasi potensi sumber daya mineral. Pengamatan kelima di STA 34 dengan koordinat 515431, 995202 pada

kedalaman 50 m, dilakukan untuk melengkapi data dengan melakukan analisis terhadap kondisi hidrogeologi dan stabilitas lereng di area tersebut. Semua pengamatan ini disajikan secara grafis dalam Pengambilan sampel pada batugamping dengan memperhatikan keberadaan sampel secara berlapis. Sampel yang didapat pada lapangan cukup ideal untuk melakukan pengamatan dan pendeskripsian secara megaskopis yang selanjutnya dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan analisis lebih mendalam untuk mendapatkan informasi kandungan komponen batugamping melalui analisis laboratorium dengan pengamatan petrografi dari sampel yang sudah sayat (*Thin Section*).

### **Lokasi Pengamatan 1**

Lokasi pengamatan 1 (STA 12) terletak di koordinat 513162, 9952662 pada kedalaman 50 m, di dekat jalan yang memudahkan akses. Singkapan di lokasi ini terdiri dari batugamping, batupasir, dan batulanau. Secara stratigrafi, batulanau merupakan lapisan tertua, diikuti oleh batugamping dan batupasir, dengan total ketebalan 19,27 m. Orientasi perlapisan di STA 12 adalah N 33°E/55°, menunjukkan kemiringan yang signifikan. Pada lokasi ini, dilakukan deskripsi megaskopis batugamping (kode sampel DM/STA12/02), yang diklasifikasikan sebagai *wackestone* berdasarkan klasifikasi Dunham (1962), menggunakan lup untuk mengamati fosil. Batugamping klastika ini termasuk dalam Formasi Bebuluh berumur Miosen Awal. Secara megaskopis, batugamping ini berwarna abu-abu gelap (lapuk), abu-abu (segar), dengan tekstur amorf dan struktur masif, mengandung lumpur karbonat dan

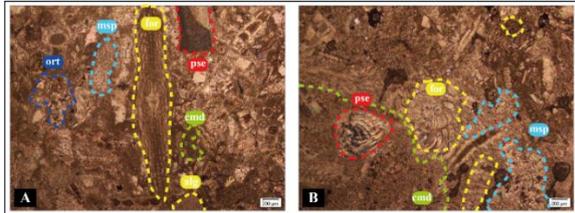
pecahan cangkang organisme, dengan komposisi mineral kalsit, serta memiliki ketebalan 10 m.

#### **a. Sampel DM/STA12/02**

Pengamatan petrografi pada batugamping sampel DM/STA12/02 menunjukkan karakteristik yang kompleks. Batuan ini memiliki struktur pejal dengan pemilahan sedang, menunjukkan variasi ukuran butir. Bentuk butirnya bundar tanggung, mencerminkan proses sedimentasi dan transportasi. Hubungan antar butir mengambang, yang memberikan porositas cukup tinggi. Komponen utama adalah *skeletal grain* dari sisa organisme sebesar 25,85%, baik dalam bentuk utuh maupun pecahan. Selain itu, terdapat orthsparit (ort) yang mengisi pori-pori (10,31%) dan mikrit (cmd) sebesar 23,54%, yang mengindikasikan pengendapan dalam kondisi tenang.

Proses kristalisasi mikrit menjadi mikrosparit (msp) mencapai 23,84%, dan penggantian *skeletal* menjadi pseudosparit (pse) sebesar 16,46%, menunjukkan diagenesis. Berdasarkan persentase komponen, sampel ini dikategorikan sebagai *wackestone*. Pada sayatan tipis, tekstur *grain-supported* menunjukkan interaksi antar butiran. Komposisi biogenik mencakup alga merah (alg), serta *Lepidocyclina sp.* (lp) (1-2,1 mm) dan *Lepidocyclina delicata* (ld) (3,2 mm), yang menandakan lingkungan pengendapan yang mendukung foraminifera besar. Ditemukan pula *Amphistegina sp.* (ab) dengan ukuran 0,6-2 mm, yang menunjukkan proses sementasi, serta *Globigerinoides obliquus* (gob), yang mengindikasikan kehadiran foraminifera planktonik. Kombinasi foraminifera bentonik dan alga

merah menunjukkan pengendapan terjadi di zona laut terbuka dangkal dengan energi rendah, di mana organisme seperti alga merah dapat berkembang dalam kondisi yang stabil dan tenang.



Gambar 3. A) Wackestone Bioklastika Dengan Butiran Skeletal Seperti *Lepidocyclina* (For), (B) Terdapat Fosil *Amphistegina* (For) Yang Telah Tergantikan Menjadi Sparit Semu Atau Pseudosparit (Pse).

## Lokasi pengamatan 2

Lokasi pengamatan 2 (STA 15) terletak di koordinat 515038, 9952462, pada ketinggian sekitar 100 mdpl, di bagian selatan daerah penelitian, dekat tambang batugamping tradisional yang sudah terbengkalai. Singkapan di lokasi ini tersusun atas batugamping dan batulanau dengan ketebalan total 14,42 m.

Kedudukan perlapisan batuan menunjukkan orientasi N50°E/85°, yang menunjukkan kemiringan curam. Deskripsi megaskopis batugamping (kode sampel DM/STA15/01) menunjukkan litologi *floatstone* dengan *skeletal grain* tinggi, warna lapuk abu-abu kecoklatan, warna segar abu-abu, tekstur amorf, dan struktur masif, dengan banyak cangkang utuh dan pecahan, ketebalan 6,10 m. Batugamping lainnya (kode sampel DM/STA15/03) merupakan *wackestone* dengan warna lapuk putih kekuningan, warna segar jingga, dan struktur masif yang mengandung lumpur karbonat, dengan organisme tidak dominan, tebal 4,77 m. Kedua sampel ini termasuk dalam

Formasi Bebuluh berumur Miosen Awal - Miosen Akhir.

### a. Sampel DM/STA15/01

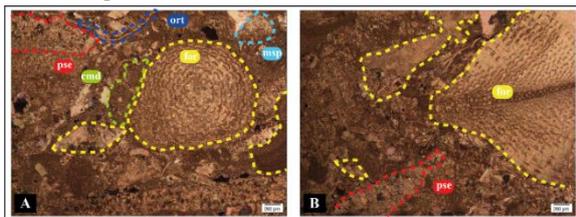
Sayatan tipis dari batugamping ini menunjukkan komposisi biogenik sebesar 47,08%, terdiri dari sisa-sisa organisme yang sebagian utuh dan sebagian pecahan. Komponen yang teridentifikasi adalah orthosparit (ort), yang mengisi pori-pori dan rekahan dalam *skeletal grain*, dengan penampilan cerah dan persentase 3,54%, menandakan proses diagenesis setelah pengendapan.

Matriks penyusun batugamping ini adalah mikrit (cmd) berwarna gelap, sebesar 16,31%, mencerminkan lingkungan pengendapan yang tenang, memungkinkan akumulasi partikel halus. Mikrit yang mengalami kristalisasi menjadi mikrosparit (msp) mencapai 17,07%, menunjukkan perubahan mineralogi akibat tekanan dan waktu. Selain itu, pseudosparit (pse) yang terbentuk dari *skeletal* menggantikan mineral kalsit sebesar 16%, menunjukkan interaksi mineral dalam matriks dan lingkungan.

Pengamatan petrografi sampel DM/STA15/01 memperlihatkan struktur pejal dengan pemilahan buruk, butiran tidak seragam, dan bentuk butiran meruncing tanggung yang menandakan proses transportasi dan pengendapan bervariasi. Hubungan antar butir yang mengambang menciptakan ruang porositas yang memengaruhi sifat fisik batuan. Komponen biogenik utamanya adalah *Lepidocyclina sp.* (lp) dengan ukuran 1,1-3,3 mm, berfungsi sebagai indikator lingkungan laut dangkal. Ditemukan pula *Amphistegina sp.* (am) berukuran 1 mm, menunjukkan adaptasi

terhadap lingkungan stabil, serta *Miogyopsina tani* (mt) dengan ukuran 2,1 mm. Organisme biogenik lainnya termasuk sisa kerangka berukuran 0,3-1,2 mm, rata-rata 0,8 mm, bivalve (bi) yang mengalami mikritisasi, serta alga merah (alg) yang berbentuk memanjang. Foraminifera planktonik *Orbulina bilobata* (ob) juga teridentifikasi, dengan bentuk globular, menunjukkan kehidupan di kolom air.

Dari komposisi biogenik dan persentase komponen, batugamping ini diklasifikasikan sebagai *wackestone* menurut Dunham (1962) dan sebagai *floatstone* menurut Embry & Clovan (1971), mengindikasikan pengendapan dalam lingkungan laut dangkal berenergi rendah.



Gambar 4. (A) *Floatstone* Bioklastika Dengan Beberapa Butiran Skeletal Seperti *Lepidocyclina* (For), (B) Fosil *Lepidocyclina* Yang Memiliki Ukuran Rata-Rata > 2 mm.

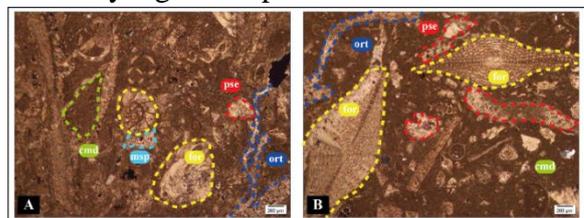
#### b. Sampel DM/STA15/03

Sayatan tipis dengan nomor sampel DM/STA15/03 menunjukkan komposisi *skeletal grain* sebesar 29,24%. Beberapa butiran utuh, sementara lainnya berupa pecahan, mencerminkan variasi proses sedimentasi. Komponen yang teridentifikasi termasuk orthosparit (ort), yang mengisi rongga dengan kristal mosaik drusi, sebesar 2,61%, menunjukkan proses diagenesis signifikan. Matriks batuan terdiri dari mikrit (cmd) berwarna gelap, sebesar 36,16%, yang berperan sebagai pengikat butiran *skeletal*, memberikan stabilitas pada struktur. Mikrosparit (msp), hasil kristalisasi mikrit,

mencapai 12,31%, menunjukkan perubahan mineralogi penting di lingkungan pengendapan. Pseudosparit (pse) dari *skeletal* sebesar 17,07% menandakan interaksi mineral dalam matriks.

Komponen biogenik mencakup *Amphistegina* sp. (am) berukuran 1,02-2 mm, dengan bentuk cembung, dan *Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *parva* (lo) berukuran 3,1-4 mm, yang menunjukkan adaptasi terhadap lingkungan stabil. *Lepidocyclina* sp. (lp) dengan ukuran 1,04 mm dan pecahan gastropoda (gs) berukuran 1,1 mm menambah keragaman biogenik. Foraminifera planktonik, seperti *Orbulina bilobata* (ob) dan *Praeorbulina transitoria* (pb), berbentuk globular, menunjukkan dukungan lingkungan planktonik. Beberapa mikrit telah mengalami rekristalisasi menjadi mikrosparit.

Tingginya kandungan mikrit menunjukkan pengendapan di lingkungan energi rendah, seperti *lagoon* atau *slope* di depan terumbu. Foraminifera bentonik melimpah dengan hubungan antar butir mengambang, pemilahan buruk, dan bentuk butir bundar tanggung, mengindikasikan pengendapan di *back reef*. Berdasarkan klasifikasi Dunham (1962), sampel ini dikategorikan sebagai *wackestone* karena pengaruh mikrit dan bioklas yang melimpah.



Gambar 5. (A) *Wackestone* Dengan Mikrit Melimpah dan Butiran Bioklas Hadir Seperti *Lepidocyclina* (For), (B) Fosil *Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *Parva* *Oppenoorth* (Lo) Dengan Tanda Garis Warna Kuning.

### Lokasi Pengamatan 3

Terletak di utara area penelitian, lokasi pengamatan 3 (STA 17) berada pada koordinat 515203, 9952795 dengan kedalaman 50 m. Singkapan tersusun atas batupasir dan batugamping, dengan batupasir lebih tua secara stratigrafis. Ketebalan total singkapan mencapai 14,27 m. Lapisan batuan di STA 17 berorientasi N25°E/48°, mencerminkan kemiringan curam akibat deformasi tektonik. Deskripsi megaskopis untuk batugamping (DM/STA17/02) menunjukkan *floatstone* dengan warna lapuk abu-abu kecoklatan, warna segar abu-abu, dan tekstur amorf, tebal 5,12 m. Sampel *wackestone* (DM/STA17/03) berwarna lapuk abu-abu kehitaman, dengan tebal 1,11 m, sedangkan *wackestone* (DM/STA17/04) berwarna lapuk abu-abu keputihan dengan tebal 7,20 m. Sampel *grainstone* (DM/STA17/05) memiliki warna cerah, struktur pejal, dengan tebal 1,11 m. Semua sampel mengandung mineral kalsit dan merupakan bagian dari Formasi Bebuluh berumur Miosen Awal – Miosen Akhir.

#### a. Sampel DM/STA17/02

Sayatan tipis dari batugamping ini terdiri dari *skeletal grain* atau butiran yang disusun oleh sisa-sisa dari organisme sebanyak 68,48 % beberapa hadir dalam bentuk utuh dan pecahan sedangkan *non-skeletal grain* yang hadir ialah *orthsparit* (ort) yang mengisi ruang pori dan rekahan pada *skeletal grain* dan memiliki kenampakan yang berwarna cerah/putih sebanyak 9,70 %. Matriks yang berupa lumpur karbonat atau mikrit (cmd) yang berwarna gelap sebanyak 8,48 %. Terdapat mikrite yang telah terekristalisasi menjadi mikrosparit (msp) sebanyak 1,39 %,

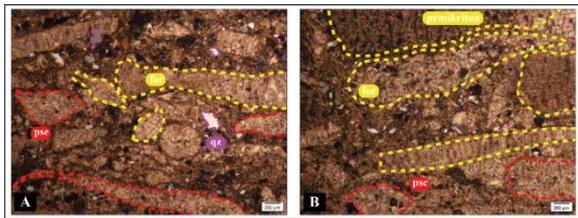
*skeletal* yang terubahkan menjadi mineral kalsit atau pseudosparit (pse) sebanyak 7,41 %, adanya oporositas sebanyak 0,63 % dan terdapat mineral lain berupa silisiklastik yaitu kuarsa (qz) sebanyak 3,91 %.

Komposisi biogenik dalam sayatan tipis batugamping DM/STA17/02 menunjukkan keberagaman organisme yang signifikan. *Miogypsina tani* (Drooger, 1952) (mt) berukuran 6,01-9,2 mm menandakan bahwa lingkungan pengendapan mendukung pertumbuhan foraminifera besar.

*Amphistegina sp.* (am) berukuran 2,8 mm berfungsi sebagai indikator stabilitas, sedangkan *Lepidocyclina sp.* (lp) berukuran 3-8,03 mm menunjukkan adaptasi terhadap kondisi tenang. Sampel ini juga mengandung koral dan organisme lain yang mengalami mikritisasi, mencerminkan perubahan mineralogi akibat diagenesis. Foraminifera planktonik seperti *Globorotalia mayeri* (Cushman dan Ellisor, 1939) (gm) dan *Orbulina bilobata* (d'Orbigny, 1846) (ob) menunjukkan interaksi dengan organisme di kolom air.

Pengamatan petrografi mengungkapkan kandungan bioklas melimpah, terutama foraminifera bentonik berukuran rata-rata lebih dari 2 mm, yang mencirikan tekstur bioklastika fragmental. Butiran berbentuk meruncing dengan pemilahan buruk menunjukkan variasi ukuran dan bentuk yang tidak seragam. Hubungan antar butir bersifat mengambang dan bergerigi, mencerminkan dinamika sedimentasi yang kompleks. Berdasarkan klasifikasi Embry & Clovan (1971), butiran lebih dari 2 mm dikategorikan sebagai *floatstone*. Lingkungan pengendapan berada dalam kondisi energi rendah, mencerminkan transisi dari energi tinggi ke lingkungan tenang, serta menunjukkan

bahwa batuan ini terbentuk dekat daratan dengan mineral autigenik.



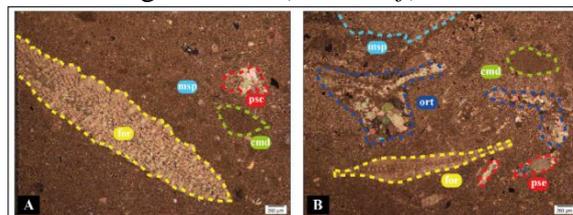
Gambar 6. Pengamatan Sayatan XPL Batugamping *Floatstone* (A) Dengan Bioklas Melimpah Dan (B) Fosil Hadir Dalam Bentuk Utuh Dengan Tanda Garis Warna yang Telah Termikritkan Karena Proses Galian Organisme.

b. Sampel DM/STA17/03

Sayatan tipis dengan nomor sampel DM/STA17/03 menunjukkan bahwa komposisi batuan terdiri dari *skeletal grain* yang mencapai 12,28%, di mana beberapa butiran hadir utuh, sementara lainnya berupa pecahan, mencerminkan variasi proses sedimentasi. Komponen teridentifikasi termasuk orthosparit (ort) yang berfungsi mengisi pori dan rekahan pada *skeletal grain*, dengan persentase 1,38%, menunjukkan proses diagenesis yang signifikan. Matriks batugamping terdiri dari mikrit (cmd) gelap sebesar 16,30%, yang berfungsi sebagai pengikat butiran *skeletal*, memberikan stabilitas pada struktur. Terdapat juga mikrit yang mengalami rekristalisasi menjadi mikrosparit (msp) dengan persentase 55,07%, yang menunjukkan perubahan mineralogi penting di lingkungan pengendapan. Selain itu, terdapat *grain* yang diubah menjadi mineral kalsit atau pseudosparit (pse), dengan persentase 15,07%. Proses penggantian ini mencerminkan interaksi antara mineral dalam matriks dan lingkungan sekitarnya.

Komposisi biogenik termasuk foraminifera bentonik besar, seperti *Miogypsina kotoi*

(Hanzawa, 1931) (mk) berukuran sekitar 1,4 mm, serta *Lepidocyclina sp.* dan *Lepidocyclina robusta* (Scheffen, 1932) (lr) dengan ukuran hingga 2,9 mm. Ditemukan pula koral (co) yang mengalami neomorfisme dengan ukuran 2-4,2 mm, rata-rata 3,1 mm. Pengamatan petrografi menunjukkan dominasi mikrit, dengan bentuk butir meruncing dan pemilahan buruk. Hubungan antar butir mengambang, mencerminkan dinamika sedimentasi kompleks. Berdasarkan klasifikasi Dunham (1962), batuan ini dikategorikan sebagai *wackestone*, menunjukkan proporsi mikrit tinggi yang berfungsi sebagai pengikat biogenik. Lingkungan pengendapan berada dalam kondisi energi rendah, bertransisi dari energi tinggi ke lingkungan tenang, seperti *lagoon* di belakang terumbu (*back reef*).



Gambar 7. Pengamatan Sayatan XPL Batugamping *Wackestone* (A) Kenampakan Fosil *Miogypsina Kotoi* (Hanzawa, 1931) Di Dalam Matriks Lumpur Karbonat (B) Fosil Hadir Dalam Bentuk Utuh Yaitu Fosil *Lepidocyclina* (For) Diselimuti Matriks.

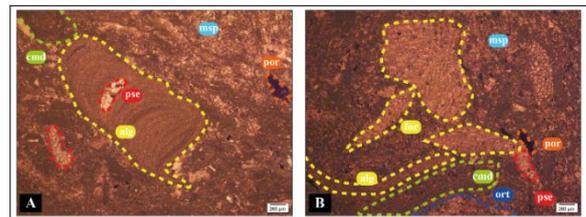
c. Sampel DM/STA17/04

Pengamatan sayatan tipis (*Thin Section*) dari batugamping ini menunjukkan bahwa komposisi batuan terdiri dari *skeletal grain* atau butiran yang disusun oleh sisa-sisa organisme, yang mencapai 16,35%. Beberapa butiran tersebut hadir dalam bentuk utuh, sementara yang lainnya muncul sebagai pecahan, mencerminkan proses sedimentasi yang beragam. Komponen lain yang

teridentifikasi adalah orthosparit (ort), yang berfungsi mengisi ruang pori dan rekahan pada *skeletal grain*, dengan penampilan yang cerah dan persentase mencapai 16,53%. Matriks yang menyusun batugamping ini terdiri dari lumpur karbonat atau mikrit (cmd) yang berwarna gelap, dengan persentase 19,36%. Keberadaan mikrit ini menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan berlangsung dalam kondisi yang tenang, memungkinkan akumulasi partikel halus. Terdapat juga mikrit yang telah mengalami proses rekristalisasi menjadi mikrosparit (msp), yang mencapai 35,11%, mencerminkan perubahan mineralogi yang terjadi akibat tekanan dan waktu.

Selain itu, terdapat *grain* yang telah diubah menjadi mineral kalsit atau pseudosparit (pse), dengan persentase 9,24%, menunjukkan adanya interaksi antara mineral dalam matriks dan lingkungan sekitarnya. Komposisi biogenik yang dapat diamati dalam sayatan ini mencakup beberapa foraminifera besar bentonik, di antaranya adalah *Lepidocyclina sp.* (lp) yang memiliki ukuran sekitar 1,8 mm. Selain itu, terdapat alga merah (alg) yang berbentuk globular dengan ukuran berkisar antara 1 - 2 mm, yang menyebar pada area sayatan, menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan mendukung pertumbuhan organisme fotosintetik ini. Adapun foraminifera planktonik yang teridentifikasi adalah *Praeorbulina transitoria* (Blow, 1959) (pt), yang juga berbentuk globular. Pengamatan petrografi pada nomor sampel DM/STA17/04 menunjukkan bahwa kandungan mikrit dan mikrosparit sangat dominan dibandingkan dengan komponen lainnya. Sayatan ini memiliki bentuk butir

yang meruncing dengan derajat pemilahan yang buruk, ditandai dengan variasi ukuran dan bentuk butir yang tidak seragam. Hubungan antar butir dalam sayatan ini bersifat mengambang, mencerminkan dinamika sedimentasi yang kompleks dan kondisi lingkungan yang mempengaruhi pengendapan. Mengacu pada klasifikasi Dunham (1962), dapat disimpulkan bahwa batuan ini termasuk dalam kategori *wackestone*.



Gambar 8. Pengamatan Sayatan XPL Batugamping *Wackestone* (A) Dengan Bioklas Berupa Alga Merah (Alg) Diselimuti Matriks Berupa Lumpur Karbonat dan Mikrit Telah Mengalami Rekristalisasi atau Mikrosparit (Msp) dan (B) Fosil *Lepidocyclina* (For) dan Alga Merah.

#### d. Sampel DM/STA17/05

Sayatan tipis dari batugamping ini memperlihatkan komponen biogenik yang terdiri dari *coral* (co) dan komponen bioklast yang tidak dapat dideskripsi secara rinci, dengan persentase mencapai 10,78%. Komponen ini hadir dalam bentuk pecahan yang terikat selama proses pengendapan, menunjukkan bahwa material tersebut belum mengalami perubahan signifikan. Pada sayatan ini, komponen bioklast telah mengalami proses mikritisasi dan sementasi, yang merupakan bagian penting dalam diagenesis batuan karbonat.

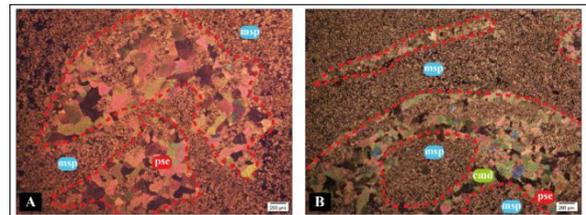
Proses mikritisasi ini mengakibatkan terbentuknya lumpur karbonat atau mikrit (cmd), yang selanjutnya mengalami proses rekristalisasi menjadi mikrosparit (msp).

Proses rekristalisasi ini mencerminkan perubahan mineralogi yang terjadi akibat tekanan dan waktu, di mana penggantian matriks lumpur karbonat membentuk mikrosparit yang berhablur dengan ukuran sangat halus, dijumpai secara acak di dalam batuan dengan persentase mencapai 49,84%. Terdapat juga cangkang organisme yang telah mengalami perubahan melalui proses neomorfisme, di mana mineral aragonit berubah menjadi kalsit atau pseudosparit (pse) dengan persentase mencapai 29,05%. Proses ini menunjukkan bahwa lingkungan di mana batuan ini terbentuk telah mengalami perubahan kondisi yang mempengaruhi stabilitas mineral, dengan porositas yang teridentifikasi dalam sayatan ini mencapai 0,48%.

Pengamatan petrografi menunjukkan bahwa batugamping kristalin ini memiliki warna interferensi cerah dan struktur pejal yang mencolok. Komposisi material dalam batuan ini didominasi oleh semen kalsit pseudosparit, yang berfungsi sebagai pengikat antara butiran-butiran karbonat. Sparit semu (pseudosparit) telah merusak struktur dalam fosil secara total, mengindikasikan adanya proses diagenesis yang signifikan yang mempengaruhi integritas fosil tersebut (Maryanto, 2014).

Kristal yang berupa pseudosparit penyusun batuan memiliki ukuran berkisar antara 30-50  $\mu\text{m}$ , dengan distribusi yang cukup merata. Mengacu pada deskripsi Dunham (1962), jenis batuan ini termasuk dalam kategori Grainstone, yang ditandai dengan tidak adanya lumpur karbonat dan komponen bioklas yang telah terubahkan. Hal ini menyebabkan struktur fosil dalam batuan

menjadi tidak begitu jelas lagi, mengindikasikan bahwa proses diagenesis telah mengubah karakteristik asli dari material biogenik tersebut. *Grainstone* ini terlapisi dengan dominan semen sparit, yang terendapkan dalam kondisi kadar air dengan salinitas normal dan kegiatan air yang normal, atau kegiatan gelombang yang biasa, umumnya terbentuk pada baji pasir paparan atau di lingkungan terumbu, di mana kondisi fisik dan kimia mendukung akumulasi material karbonat yang stabil.



Gambar 9. Pengamatan Sayatan XPL Batugamping *Grainstone* (A) dan (B) Dengan Bioklas Coral (co) Terubahkan Menjadi Sparit Semu (*Pseudosparit*) Telah Merusak Struktur Dalam Fosil Secara Total Serta Mikrit Telah Diubahkan Menjadi Mikrosparit (msp).

#### Lokasi Pengamatan 4

Lokasi pengamatan 4 (STA 18) terletak di utara area penelitian, pada koordinat 515202, 9952808, dengan singkapan batugamping berjarak 185 m dari STA 17. Singkapan terdiri dari batugamping dan batupasir, dengan batupasir lebih tua, dan total ketebalan 15,85 m. Kedudukan perlapisan adalah  $N9^{\circ}E/59^{\circ}$ .

Semua sampel batugamping di lokasi ini berstruktur pejal. Sampel DM/STA18/02 adalah batugamping klastika dengan warna lapuk abu-abu kecoklatan, warna segar abu-abu, tekstur amorf, dan struktur masif, serta kerangka fosil pecahan *coral* dan kerang, tebal 4,73 m. Berdasarkan klasifikasi Dunham (1962), termasuk *Floatstone*.

DM/STA18/03 adalah *wackestone* dengan warna lapuk abu-abu kehitaman, warna segar abu-abu keputihan, tebal 1,55 m, dengan sedikit fosil. DM/STA18/04 adalah *wackestone* dengan warna lapuk abu-abu keputihan, tebal 4,80 m, dan DM/STA17/05 adalah *wackestone* dengan warna lapuk abu-abu kehitaman, tebal 1,70 m. Semua sampel berasal dari Formasi Bebuluh, berumur Miosen Awal - Miosen Akhir.

a. Sampel DM/STA18/02

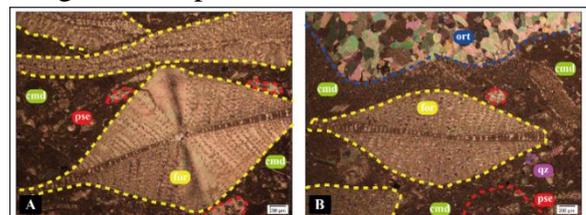
Sayatan tipis dari batugamping ini menunjukkan bahwa komposisi batuan terdiri dari butiran kerangka atau butiran yang tersusun oleh sisa-sisa organisme, yang mencapai 45,25%. Beberapa butiran tersebut hadir dalam bentuk utuh, sementara lainnya muncul sebagai pecahan. Hal ini mencerminkan proses sedimentasi yang beragam dan dinamika lingkungan yang mempengaruhi pengendapan. Komponen *non-skeletal grain* yang teridentifikasi dalam sayatan ini adalah orthosparit (ort), yang berfungsi mengisi ruang pori dan rekahan pada *skeleton grain*, dengan penampilan yang cerah atau putih dan persentase mencapai 11,07%.

Keberadaan orthosparit menunjukkan adanya proses diagenesis yang signifikan, di mana mineral karbonat mengisi ruang kosong dalam matriks batuan, meningkatkan kepadatan dan stabilitas struktur batuan. Matriks yang menyusun batugamping ini terdiri dari lumpur karbonat atau mikrit (cmd) yang berwarna gelap, dengan persentase 33,84%. Mikrit ini berfungsi sebagai perekat antara butiran-butiran biogenik, memberikan stabilitas tambahan pada struktur batuan. Selain itu, terdapat juga mineral lain berupa silikaklastik, yaitu kuarsa

(qz), yang teridentifikasi dengan persentase 1,69%. Kehadiran kuarsa ini menunjukkan adanya interaksi antara material karbonat dan silisiklastik, yang dapat memberikan informasi mengenai kondisi lingkungan sedimentasi yang lebih luas.

Komposisi biogenik yang dapat diamati adalah *Miogyssina tani* (Drooger, 1952) (mt) dengan bentuk memanjang dan berukuran sekitar 3,4-3,9 mm. Selain itu, terdapat *Lepidocyclina sp.* (lp) dengan ukuran memanjang dan cembung sekitar 2-3,6 mm, serta *Lepidocyclina stratifera* (Tan Sin Hok, 1935) (ls) berukuran sekitar 3,7 mm.

Pengamatan petrografi menunjukkan bahwa kandungan bioklas sangat melimpah, dengan penyusun utamanya adalah foraminifera bentonik dan alga merah yang memiliki ukuran rata-rata >2 mm. Mengacu pada klasifikasi Dunham (1962), batuan ini masuk sebagai *wackestone*, sementara beberapa butiran yang memiliki ukuran >2 mm dapat dideskripsi sebagai *floatstone* menurut klasifikasi Embry & Clovan (1971). Lingkungan pengendapan berada pada lingkungan yang berenergi rendah, dengan proses pengendapan yang berawal dari energi tinggi rendah atau lingkungan tenang, yang diketahui dari hadirnya mineral autigenik berupa mineral kuarsa.



Gambar 10. Pengamatan Sayatan XPL Batugamping *Floatstone* (A) Dengan Bioklas Melimpah (B) Fosil Yang Hadir Dalam Bentuk Utuh Serta Terdapat Komponen Orthosparit (ort) Berstruktur Mosaik Drusi Bertindak Sebagai

Pengisi Rongga Pelarutan.

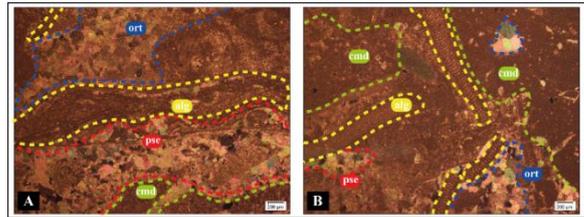
b. Sampel DM/STA18/04

Sayatan tipis dari batugamping ini terdiri dari *skeletal grain* atau butiran yang disusun oleh sisa-sisa organisme, yang mencapai 20,56%. Beberapa butiran tersebut hadir dalam bentuk utuh, sementara yang lainnya muncul sebagai pecahan, mencerminkan proses sedimentasi yang beragam. Komponen lain yang teridentifikasi adalah orthosparit (ort), yang berfungsi mengisi ruang pori dan rekahan pada *skeletal grain*, dengan penampilan yang cerah atau putih, mencapai 18,56%. Matriks yang menyusun batugamping ini terdiri dari lumpur karbonat atau mikrit (cmd) yang berwarna gelap, dengan persentase 45,94%.

Mikrit ini telah mengalami proses rekristalisasi menjadi mikrosparit (msp) yang mencapai 3,85%, dan kerangka organisme yang mengalami neomorfisme telah berubah menjadi pseudosparit (pse) dengan persentase 8,32%. Terdapat juga porositas yang terukur sebesar 2,77%, menunjukkan adanya ruang kosong dalam struktur batuan.

Komposisi biogenik yang dapat diamati dalam sayatan ini mencakup alga merah (alg) yang hadir dalam bentuk globular, di mana sebagian telah mengalami pecahan. Komponen alga merah ini mendominasi dalam sayatan, bersamaan dengan keberadaan foraminifera planktonik (sf). Pengamatan petrografi pada nomor sampel DM/STA18/04 menunjukkan bahwa matriks, yaitu lumpur karbonat (mikrit), mendominasi dibandingkan dengan komponen lainnya. Butiran dalam sayatan ini memiliki bentuk membulat tanggung dengan derajat pemilahan yang buruk, serta hubungan antar butir yang bersifat mengambang. Mengacu

pada klasifikasi Dunham (1962), diketahui bahwa sampel batuan ini termasuk dalam kategori *wackestone*. Lingkungan pengendapan yang teridentifikasi berada dalam kondisi energi rendah atau lingkungan yang tenang, yang memungkinkan akumulasi lumpur karbonat dalam jumlah yang cukup banyak, serta mendukung perkembangan organisme seperti alga merah di area belakang terumbu (*back reef*).



Gambar 11. Pengamatan Sayatan XPL Batugamping Wackestone Pada Sayatan (A) Dan (B) Dengan Bioklas Hadir Berupa Alga Merah (alg) Perlahan Strukturnya Terubah Menjadi Sparit Semu. Beberapa Fosil Hadir Dalam Bentuk Utuh.

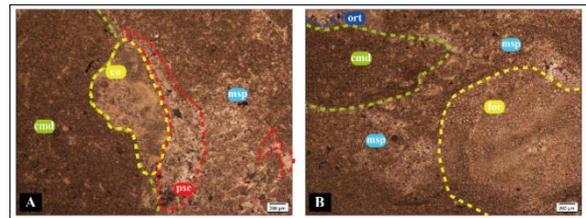
c. Sampel DM/STA18/05

Pengamatan sayatan tipis dari batugamping dengan nomor sampel DM/STA18/05 menunjukkan bahwa komposisi batuan ini terdiri dari *skeletal grain* atau butiran yang disusun oleh sisa-sisa organisme, yang mencapai 20,26%. *Skeletal grain* dalam sayatan ini terutama berupa *coral* (co) yang terikat selama proses pengendapan. Komponen lain yang teridentifikasi adalah orthosparit (ort), yang berfungsi mengisi ruang pori dan rekahan pada *skeletal grain*, dengan penampilan yang cerah atau putih, mencapai 8,61%. Matriks yang menyusun batugamping ini terdiri dari lumpur karbonat atau mikrit (cmd) yang berwarna gelap, dengan persentase 20,46%. Mikrit ini telah mengalami proses rekristalisasi menjadi mikrosparit (msp), yang mencapai 31,85%,

sementara kerangka organisme yang mengalami neomorfisme telah berubah menjadi pseudosparit (pse) dengan persentase 18,16%. Terdapat juga porositas yang terukur sebesar 0,30%, menunjukkan adanya ruang kosong dalam struktur batuan.

Pengamatan petrografi pada sampel DM/STA18/05 memperlihatkan bahwa fosil *coral* merupakan organisme in situ yang memiliki struktur *branching*. Sayatan ini telah mengalami proses mikritisasi dan sementasi, yang berkontribusi pada pengawetan struktur fosil. Terdapat *Lepidocyclina sp.* (lp) yang hadir dalam bentuk tidak utuh, menunjukkan adanya variasi dalam kondisi pengendapan. Lumpur karbonat (mikrit) yang hadir sebagai matriks memiliki penampilan berwarna coklat gelap dengan tekstur halus.

Persentase mikrit ini cukup tinggi dibandingkan dengan komponen lainnya, dan butiran dalam sayatan ini memiliki bentuk *skeletal* yang membundar tanggung dengan derajat pemilahan yang buruk. Hubungan antar butir bersifat mengambang, yang menunjukkan dinamika sedimentasi yang kompleks. Mengacu pada klasifikasi Dunham (1962), diketahui bahwa sampel batuan ini termasuk dalam kategori *wackestone*. Lingkungan pengendapan yang teridentifikasi berada dalam kondisi energi rendah atau lingkungan yang tenang, yang memungkinkan akumulasi lumpur karbonat dalam jumlah yang cukup banyak, serta mendukung perkembangan organisme seperti *coral* dan alga di belakang terumbu (*back reef*) atau di bagian suatu lereng (*slope*).



Gambar 12. Pengamatan Sayatan XPL Batugamping *Floatstone* (A) Bioklas Yang Hadir Berupa Coral In Situ Dan (B) Fosil Yang Hadir Dalam Bentuk Utuh Dengan Tanda Garis Warna Kuning Merupakan *Lepidocyclina* (For) Yang Berada Dalam Matriks.

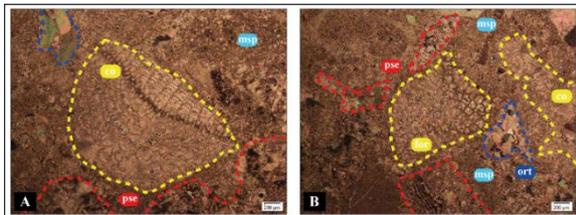
### Lokasi Pengamatan 5

Lokasi pengamatan 5 (STA 18) terletak di timur laut area penelitian, pada koordinat 515202, 9952808, dengan singkapan tersusun dari batugamping, batulanau, dan batupasir. Secara stratigrafi, batupasir lebih tua, dengan total ketebalan singkapan 10,17 m. Kedudukan perlapisan adalah N14°E/48°. Batugamping klastika di STA 34 mengandung fosil kerangka dominan, terutama fosil *coral* bercabang yang terfosilkan dengan baik. Sampel DM/STA34/03, berdasarkan deskripsi megaskopis, adalah *Grainstone* mengacu pada klasifikasi Dunham 1962, dengan warna lapuk abu-abu kehijauan, warna segar abu-abu keputihan, tekstur amorf, struktur masif, dan tebal terukur 2,75 m.

#### a. Sampel DM/STA34/03

Sayatan tipis dari batugamping ini memperlihatkan komponen biogenik yang terdiri dari *coral* (co) dan komponen bioklast seperti *Lepidocyclina robusta* (Scheffen, 1932) (lr), dengan persentase mencapai 14,73%. Komponen ini dapat dideskripsi dan belum mengalami perubahan, menunjukkan bahwa mereka berupa pecahan yang terikat selama proses pengendapan. Selain itu,

sayatan ini telah mengalami proses mikritisasi dan sementasi, di mana mikrit (cmd) terbentuk sebanyak 6,64% dan selanjutnya mengalami rekristalisasi menjadi mikrosparit (msp) yang hadir dalam bentuk halus dengan persentase 33,63%. Cangkang organisme juga telah mengalami perubahan melalui proses neomorfisme, di mana mineral aragonit berubah menjadi kalsit atau pseudosparit (pse) sebanyak 39,41%. Terdapat juga proses penyemenan yang menghasilkan orthosparit (ort) sebanyak 5,39%.



Gambar 13. Pengamatan Sayatan XPL Batugamping *Grainstone* (A) Dengan Bioklas Melimpah Seperti *Lepidocyclina* (B) Fosil Hadir Dalam Bentuk Pecahan-Pecahan Dengan Tanda Garis Warna Kuning yang Beberapa Telah Tergantikan Menjadi Sparit Semu Dengan Tanda Garis Merah.

Pengamatan petrografi menunjukkan bahwa batugamping ini memiliki struktur yang pejal, dengan komposisi material yang didominasi oleh semen kalsit pseudosparit. Sparit semu (pseudosparit) telah merusak struktur dalam fosil secara total, seperti yang diungkapkan oleh Maryanto (2014). Butiran penyusun batugamping ini umumnya memiliki bentuk meruncing tanggung hingga membundar tanggung, dengan derajat pemilahan yang sedang dan hubungan antar butir yang bersifat mengambang. Mengacu pada deskripsi Dunham (1962), jenis batuan ini termasuk dalam kategori *Grainstone*, yang ditandai dengan tidak adanya lumpur

karbonat dan komponen bioklas yang telah berubah, sehingga struktur dari fosilnya tidak dapat dideskripsi dengan jelas. *Grainstone* ini terlapisi dengan dominan semen sparit yang berupa mikrosparit, yang terendapkan pada kadar air dengan salinitas normal serta kegiatan air yang normal atau kegiatan gelombang yang biasa terbentuk pada lingkungan baji pasir paparan atau di lingkungan terumbu.

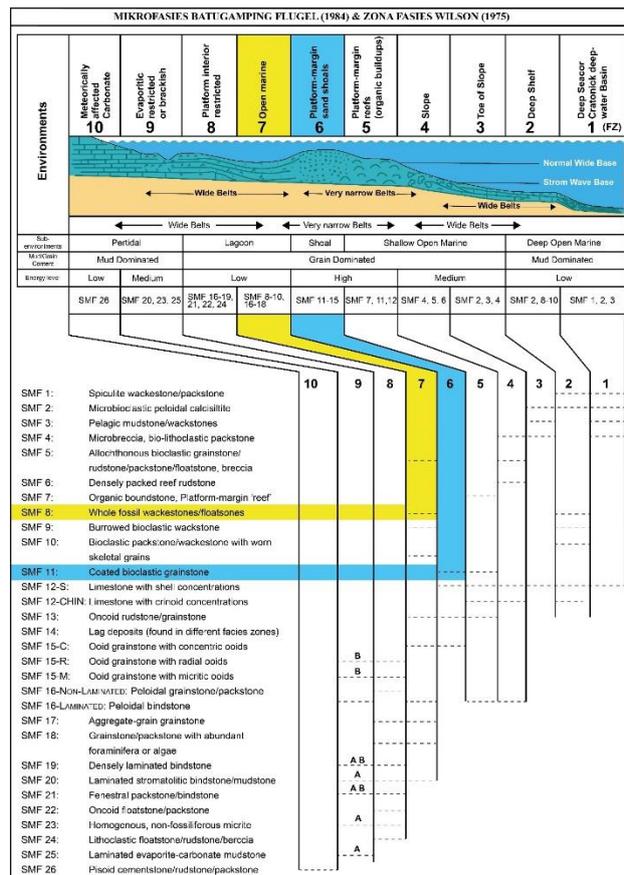
### **Tipe Mikrofasis Batugamping Batu Cermin**

*Tipe microfasis Standard* (SMF Type) dipilih berdasarkan aspek paleontologi dan sedimentologi batuan untuk menggambarkan zona fasies purba. Analisis mikrofasis batugamping Formasi Bebuluh dilakukan melalui pengamatan 11 sayatan petrografi dari 5 lokasi untuk memahami komponen penyusun dan lingkungan pengendapan batuan. Interpretasi ini mengacu pada pembagian mikrofasis menurut Flügel (1982) dan pengembangan sabuk fasies Wilson (1975).

#### **a. *Wackestone* dan *Floatstone* Bioklastika Berfosil Infauna dan Epifauna (SMF 8)**

Dari pengamatan petrografi yang dilakukan, diperoleh informasi mengenai kandungan komponen batugamping yang terdapat pada semua sayatan. Rata-rata, batugamping ini memiliki komponen berupa *skeletal grain* yang memiliki persentase yang melimpah. Keberadaan komponen ini menandakan bahwa lokasi pengamatan batugamping di Batu Cermin kaya akan berbagai jenis organisme. *Skeletal grain* yang dominan ditemukan terdiri dari foraminifera bentonik, sedangkan foraminifera planktonik jarang dijumpai.

Selain itu, alga merah juga hadir cukup melimpah dalam beberapa pengamatan petrografi. Fosil-fosil berukuran besar, seperti *bryozoa*, *gastropoda*, moluska, *echinodermata*, dan *bivalve*, sering dijumpai pada singkapan batugamping di lokasi ini.



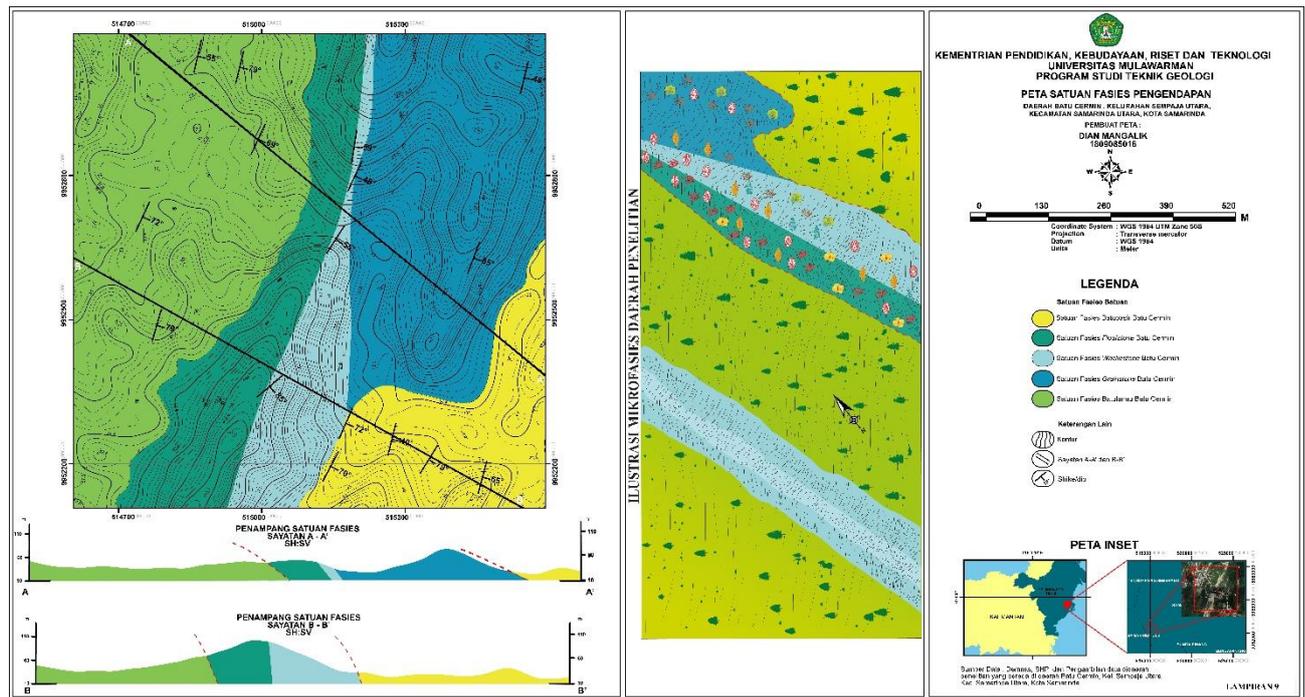
Gambar 14. Mikrofases Serta Zona Fases Membentuk 2 Bentuk Kelompok Mikrofases Batugamping Daerah Batu Cermin Formasi Bebuluh Mengacu Pada Standard Microfacies Types Dikemukakan Flügel (1982) dan 2 Zona Fases Mengacu Pada Wilson (1975).

*Wackestone* bioklastika memiliki ciri-ciri sayatan yang didukung oleh butiran yang terdiri dari foraminifera bentonik, foraminifera planktonik, alga merah, dan beberapa jenis *coral*. Pada sayatan ini, banyak komponen telah tergantikan oleh sparit semu (pseudosparit), yang berkaitan

erat dengan proses diagenesis yang terjadi pada sampel batuan tersebut. Pengamatan petrografi menunjukkan bahwa batuan *wackestone* terdapat pada beberapa lokasi, yaitu STA 12 dengan nomor sampel DM/STA12/02, STA 17 dengan nomor sampel DM/STA17/03 dan DM/STA17/04, serta STA 18 dengan nomor sampel DM/STA18/04 dan DM/STA18/05. Batuan ini melimpah dengan fosil-fosil berukuran besar, seperti *bivalve*, *coral*, dan foraminifera bentonik, yang terdiri dari organisme seperti *Lepidocyclina*, *Amphistegina*, dan *Miogyopsina*. Organisme ini termasuk dalam kategori epifauna. Keberadaan mikrit juga cukup banyak, hadir dalam bentuk butiran halus yang menjadi penciri SMF 8, yang berkembang di zona laut terbuka seperti laguna, terbentuk dalam lingkungan tenang di bawah dasar gelombang normal.

*Floatstone* bioklastika ditandai dengan ciri-ciri organisme yang memiliki ukuran lebih dari 2 mm, yang terlapisi oleh matriks berupa lumpur karbonat dengan butiran halus. Tekstur batuan ini bersifat bioklastika fragmental, dengan bentuk butir yang meruncing, memiliki derajat pemilahan yang buruk, serta hubungan antar butir yang bersifat mengambang dan bergerigi. Kandungan organisme epifauna mendominasi sayatan ini. Batuan ini terbentuk dalam lingkungan tenang yang berada pada daerah laguna di belakang terumbu (*back reef*), karena butirannya didominasi oleh fosil foraminifera bentonik. Sayatan ini dapat dilihat pada nomor sampel DM/STA15/01, DM/STA17/02, dan DM/STA18/02. Tipe mikrofases ini sesuai dengan SMF 8 menurut Flügel (1982).

b. *Grainstone* Bioklastika Terlapisi



Gambar 15. Peta Satuan Fasies Pengendapan

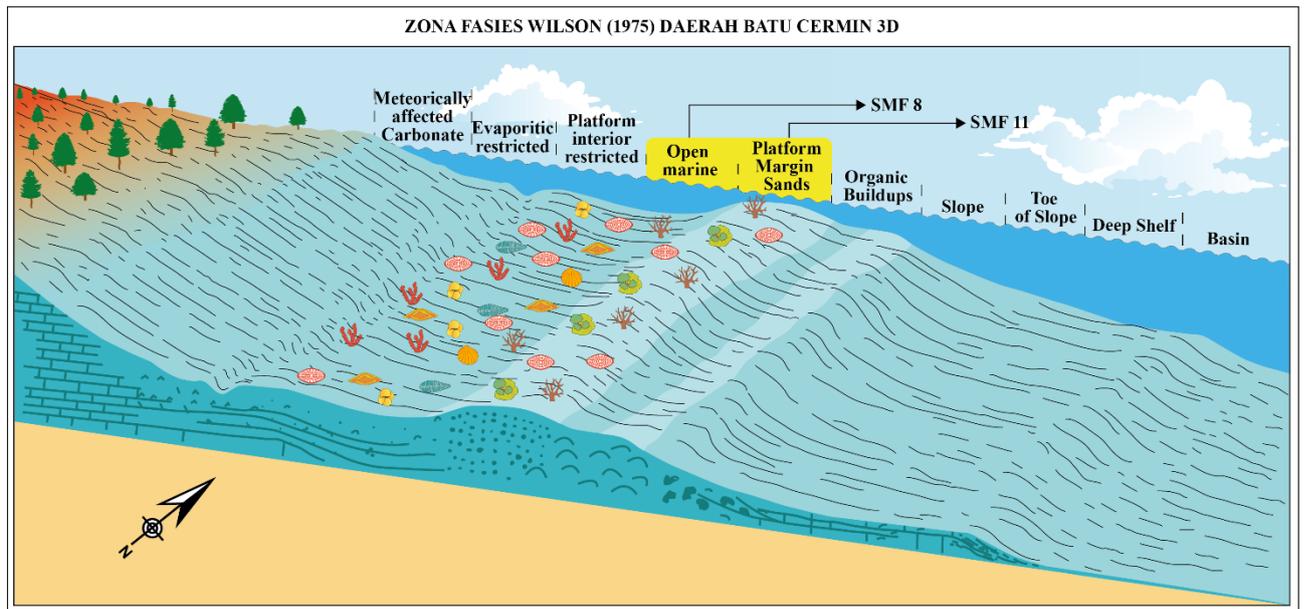
### *Dengan Sparit (SMF 11)*

Pada pengamatan sayatan *Grainstone* bioklastika dengan nomor sampel DM/STA17/05 dan DM/STA34/03 terlihat bahwa batuan ini terlapisi (*coated*) dengan semen sparit. Beberapa butiran, seperti *coral*, telah mengalami proses mikritisasi, dimana butiran tersebut terpengaruh oleh aktivitas mikroba yang menyebabkan pemikritan. Proses ini menghasilkan butiran yang terhablur ulang, membentuk kristal kalsit dengan struktur mosaik anhedral yang bervariasi dari halus hingga kasar. Rongga yang terdapat di antara kerangka *coral* kadang-kadang terisi oleh semen karbonat orthosparit, yang memiliki kristal halus hingga sedang dengan tekstur mosaik drus anhedral. Karakteristik batugamping dengan ciri-ciri tersebut menunjukkan bahwa batuan ini diendapkan dalam lingkungan paparan terbatas. Tipe mikrofases ini dapat disamakan dengan SMF 11 menurut Flügel

(1982), yang menunjukkan bahwa kegiatan gelombang air laut tetap berlangsung. Batuan ini berada dalam kisaran atau di atas gelombang, serta terletak di antara dasar gelombang normal dan dasar gelombang badai.

### Lingkungan Pengendapan Batugamping Batu Cermin (Zona Fasies)

Model pengendapan batugamping membentuk beberapa sabuk pengendapan yang berbeda, yang ditentukan berdasarkan perubahan aspek-aspek sedimentologi dan biologi. Sabuk-sabuk ini membentang dari dangkalan, menuju lerengan, hingga cekungan pengendapan, dan dikenal sebagai zona fasies (FZ). Faktor utama yang mempengaruhi perkembangan paparan karbonat mencakup tatanan tektonik, kecepatan penurunan, serta naik-turunnya muka air laut. Selain itu, produksi gamping dan pengangkutan endapan, sumber bahan



Gambar 16. Model Pengendapan Batugamping Daerah Batu Cermin Formasi Bebuluh Mengacu Pada Standard Microfacies Types Menurut Flügel (1982) Serta Sabuk Fasies Didasarkan Kepada Paparan Karbonat Terbatas Pada Daerah Tropis (FZ) yang Diusulkan Oleh Wilson (1975).

batugamping yang terbentuk di tepi paparan, perkembangan pertumbuhan terumbu, serta ragam proses diagenesis juga berperan penting dalam proses ini (Maryanto, 2014).

a. *Lingkungan FZ 6 Beting Pasir Tepi Paparan (Platform Margin Sand Shoals atau Winnowed Platform Edge Sands)*

Zona fasies paparan tertampi (FZ 6) merupakan sabuk yang sangat sempit, yang terdiri dari gisik memanjang, gundukan pasang-surut, pantai, dan pulau angin. Zona ini terletak di atas dasar gelombang normal dan sangat dipengaruhi oleh arus pasang-surut (Maryanto, 2014). Dalam pengamatan di lapangan, batuan dengan ciri-ciri lingkungan paparan tertampi ditemukan di bagian timur peta, dengan kode sampel DM/STA17/05 dan DM/STA34/03. Berdasarkan klasifikasi Dunham (1962), diketahui bahwa nama batuan ini adalah *Grainstone*, yang komposisinya terdiri dari biota rombakan yang berasal dari biota

terumbu dan asosiasinya. Kondisi batuan ini menunjukkan bahwa telah mengalami proses pencucian dan terabrasi, sehingga permukaannya menjadi licin. Keberagaman jenis biota dalam zona ini tergolong kurang, dengan spesies yang dominan antara lain *coral* dan foraminifera besar seperti *Lepidocyclina robusta* (Scheffen, 1932).

Struktur pejal dari butiran penyusun batugamping ini umumnya memiliki bentuk meruncing tanggung hingga membulat tanggung, dengan derajat pemilahan yang sedang dan hubungan antar butir yang bersifat mengambang. Pengamatan mikroskopis menunjukkan bahwa butiran dalam batuan ini terlapisi dengan dominan semen sparit, yang berupa mikrosparit yang terendapkan dalam kondisi kadar air dengan salinitas normal serta kegiatan air yang stabil atau kegiatan gelombang normal. Lingkungan asosiasi fasies beting sering dicirikan oleh adanya energi gelombang yang kuat, rentang pasang surut yang relatif besar,

serta persentase komponen lumpur yang rendah (Yousef dkk., 2024). Hal ini menegaskan bahwa kondisi lingkungan di zona fasies ini mendukung dinamika sedimentasi yang khas, yang berpengaruh terhadap pembentukan dan karakteristik batuan yang dihasilkan.

b. *Lingkungan FZ 7 Bagian Dalam Paparan atau Laut Terbuka (Platform Interior Normal Marine (Open Marine))*

Batuan yang memiliki asosiasi mikrofases *wackestone* dan *floatstone* bioklastika berfosil infauna dan epifauna (SMF 8) berada dalam lingkungan laut terbuka (FZ 7: open marine). Lingkungan ini ditandai dengan kehadiran organisme yang menjadi ciri khas dari lingkungan laut terbuka, yang ditunjukkan oleh kelimpahan organisme euphotic sebagai butiran utama penyusun batuan. Di antara komponen tersebut, terdapat kerangka *coral* yang memiliki struktur *branching*, yang umumnya masih utuh atau hanya sebagian kecil yang terpecah, mencirikan daerah *back reef*.

Organisme euphotic yang hadir dalam lingkungan ini meliputi foraminifera seperti *Lepidocyclina sp.*, *Amphistegina sp.*, dan *Miogypsina sp.*. Selain itu, kelimpahan alga merah (red algae) menjadi petunjuk penting mengenai karakteristik lingkungan open marine. Asosiasi fasies dan kandungan biota yang terdiri dari foraminifera bentonik, alga, serta beberapa jenis *coral* menunjukkan adanya sirkulasi terbuka dengan proporsi lumpur karbonat yang cukup besar. Keberadaan alga yang terpelihara dengan baik sering kali diartikan sebagai endapan laguna yang terlindung (Yousef, I dkk., 2024). Pada pengamatan petrografi terhadap sayatan batuan, beberapa sayatan

memperlihatkan kenampakan pergantian mineral menjadi sparit semu (pseudosparit), yang merusak struktur dari suatu butiran. Selain itu, terjadi penghabluran ulang mineral yang membentuk kristal kalsit dengan struktur mosaik. Zona laut terbuka (*Open Marine*) terletak di atas dasar gelombang dan termasuk ke dalam zona fotik (*Photic Zone*), yang memiliki sirkulasi air yang sedang dengan kedalaman air yang bervariasi dari beberapa hingga puluhan meter (Maryanto, 2017).

Kurangnya organisme foraminifera planktonik yang teridentifikasi pada sayatan menunjukkan bahwa batuan ini tidak terendapkan dalam lingkungan yang dalam. Zona fasies paparan atau laut terbuka merupakan paparan yang datar dan memiliki dimensi yang luas. Dalam pengamatan di lapangan, lingkungan pengendapan telah dipengaruhi oleh proses tektonik, yang mengubah kemiringan atau kedudukan batuan. Rata-rata, batuan ini telah hampir tegak dengan kemiringan mencapai  $80^\circ$ , dengan pola perlapisan yang sedang, berkisar antara 1 - 8 m.

## **KESIMPULAN**

Runtunan stratigrafi di daerah penelitian yang merupakan penyusun Formasi Bebuluh sebagian besar adalah batugamping bioklastika berukuran butir sedang hingga sangat kasar dengan struktur berlapis dengan ketebalan setiap lapisan 1 hingga 8 m. Lokasi pengamatan dan pengambilan sampel terbagi menjadi lima lokasi dengan keseluruhan hasil pengujian petrografi terhadap delapan sampel batuan menunjukkan beberapa fasies batugamping, yaitu: *Grainstone*, *floatstone* dan *wackestone*. Berdasarkan dari pengamatan di lapangan dan didukung dari hasil analisis petrografi Batugamping Batu Cermin mengacu pada *Standard Microfacies Types*

(SMF) menurut Flügel (1982) batugamping pada daerah penelitian berada pada standar mikrofases 8 (*Wackestone* dan *Floatstone* Bioklastika Berfosil Infauna dan Epifauna) dan standar mikrofases 11 (*Grainstone* Bioklastika Terlapisi Dengan Sparit). Fases *Floatstone*, *Wackestone* bioklastika di daerah penelitian merepresentasikan zona fasies open marine (FZ7). Fases *Grainstone* di daerah penelitian dicirikan dengan sparit yang menyelimuti butiran yang merepresentasikan zona *Platform Margin Sand Shoals* (FZ6).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahr, W., E., 2011, *Geology of Carbonate Reservoirs: The Identification, Description and Characterization of Hydrocarbon Reservoirs in Carbonate Rocks* 1st Edition, Kindle Edition Wiley-Interscience, England.
- Asis, J., & Jasin, B., 2015, *Miocene Larger Benthic Foraminifera from the Kalumpang Formation in Tawau, Sabah, Sains Malaysia*, pp. 1397-1405.
- Bachmann, M. & 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.
- Bernoulli, D., Lukas H., Silvia S., & Petter S., 2007, *Miocene Shallow Water Limestones From São Nicolau (Cabo Verde): Caribbean-Type Benthic Fauna And Time Constraints For Volcanism*, Swiss.
- Blow, W. H., 1959, *Age, Correlation, And Biostratigraphy Of The Upper Tocuyo (San Lorenzo) And Pozon Formations, Eastern Falcon, Venezuela, Bulletins Of American Paleontology*, 39(178):67-251.
- Bolli, H. M. & Saunders, J. B., 1982, *Globorotalia mayeri and its relationship to Globorotalia siakensis and Globorotalia continuosa, Journal of Foraminiferal Research*. 12(1): 39-50.
- BouDagher-Fadel, M.K., 2000, *A Revision of Some Larger Foraminiferal of the Miocene of southeast Kalimantan*, University College London.London.
- BouDagher-Fadel, M.K., 2018. *Evolution and Geological Significance of Large Benthic Foraminifera*. UCL Press. London.
- BouDagher-Fadel, M.K., 2013, *Biostratigraphic and Geological Significance of Planktonic Foraminifera*, UCL Press. London.
- BouDagher-Fadel, M. K., & Lokier, S. W., (2005), *Significant Miocene Larger Foraminifera From South Central Jawa, Revue de Paléobiologie*, 24(1), 291-309.
- Brady, H.B., 1881, *Notes On Some Of The Reticularian Rhizopoda Of The Challenger Expedition, Part III, Quarterly Journal of Micro-scopical Science (New Series)*, Vol. 21, pp. 31 – 71 .
- Bronnimann P., 1951, *The Genus Orbulina D'Orbigny In The Oligo-Miocene Of Trinidad, B.W.I, Contributions From The Cushman Foundation*, pp. 132-138.
- Chillingar, G.V., Bissel, H.J., & Fairbridge, R.W., 1967, *Development Insedimentology, Carbonate Rocks Origins, Occurrence, And Classificatio*,

- Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Flügel, E., 1982. *Microfacies analysis of limestones*, Springer-Verlag, Heidelberg, 646 p. DOI:10.1007/978-3-642-68423-4.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Springer-Verlag, Heidelberg, 995p. DOI:10.1007/978-3-662-08726-8.
- Folk, R L., 1980, *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphill Publishing Company Austin, Texas.
- Hesemeann, M., 2023, *The Foraminifera.eu Database*, <http://www.foraminifera.eu>, diakses pada 27 Agustus 2023.
- Hohenegger J.E., Yordanova, & Hatta A., 2000, *Remarks on West Pacific Nummulitidae (Foraminifera)*. *Journal Of Foraminifera Research*, Vol 30: 3 - 28.
- Holbourn, Ann, Andrew S H., & Norman M., 2015, *Atlas of benthic foraminifera*, A John Wiley & Sons, Ltd, West Sussex.
- Hoskins, R. H., 1984, *The Taxonomy And Stratigraphic Record Of Globorotalia Mayeri Cushman And Ellisor In New Zealand*, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 46: 203-216.
- Isnaniawardhani, V., Muhamadsyah, F., & Sudradjat, A., 2018, *Foraminifera Assemblages As A Marker Of Mud Eruption Source In Ciuyah, Ciniru – Kuningan, West Jawa*, ISSN 0125-9849, e-ISSN 2354-6638 *Ris.Geo.Tam* Vol. 28, No.2, Desember 2018 ( 239-249).
- Jean & Debeny P., 2012, *A guide to 1,000 foraminifera from Southwestern Pacific: New Caledonia*, *Publication Scientifiques du Museum*, Paris.
- Kadar, D. 1986. *Neogene Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy of The South Central Java Area Indonesia. Geological Research and Development Centre, Special Publication*, No. 5, 104h.
- Maryanto, S., 2017, *Mikrofasies Batugamping: Studi Batugamping Paleogen-Neogen di Indonesia Bagian Barat*, LIPI Press, Jakarta.
- Postuma, J.A., 1971, *Manual of Planktonic Foraminifera*, Elsevier Publishing Company. Amsterdam.
- Scholle, P. A., & Ulmer-Scholle, D. S., 2003, *A Color Guide to The Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Tektures, Porosity, Diagenesis*, Oklahoma: The American Association of Petroleum Geologists.
- Scholle, P A., 1978, *A Color Illustrated Guide to Carbonate Rock Constituents, Texture, Cements, and Porosities*. AAPG Memoir. Tulsa, Oklahoma.
- Schlager, W., 2005, *Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy*, Tulsa. SEPM (Society for Sedimentary Geology). Supriatna, Sukardi, S., Rustandi E. 1995. *Geological Map of Samarinda Sheet, Kalimantan. Geological Research and Development Centre*: Bandung.
- Sharaf, E. F. BouDagher-Fadel, M. K.Simo, J.A. & Carroll, A.R., 2014, *A Revision Of The Biostra Tigraphy And Strontium Isotope Dating Of Oligocene-Miocene*

Outcrops In East Java, Indonesia,  
Biostratigraphy Of Asia part 2 Vol 30,  
No 1 (2014).

Spezzaferri, S., Coxall, H. K., Olsson, R. K. & Hemleben, C., 2018, Taxonomy, biostratigraphy, and phylogeny of Oligocene Globigerina, Globigerinella, and Quiltyella n. gen. In, Wade, B. S., Olsson, R. K., Pearson, P. N., Huber, B. T. & Berggren, W. A. (eds) Atlas of Oligocene Planktonic Foraminifera, Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication, 46(Chap 6): 179-214.

Tucker, M. E., & Wright V. P., 1990, Carbonate Sedimentology. Blackwell Science Ltd., United Kingdom.

Wilson, J. L., 1975. Carbonate Facies in Geologic History. Springer. Berlin.

Yousef I, V., P Morozov, A. N Kolchugin, V., Sudakov, I. & Idrisov, A. Leontev., 2024, *Microfacies analysis and depositional environment of the Upper Devonian Dankovo-Lebedyansky sediments*, Tatarstan, Volga-Ural Basin, Russia.