JURNAL
GEOSAINS DAN TEKNOLOGI
Volume 9 Nomer 2, Oktober 2026

Karakteristik Fasies dan Diagenesis Akuifer Batuan Karbonat di Daerah Tepus dan Girisubo, Kabupaten Gunungkidul

Lina Efitasari*, Alisya Gina Rubawange, Mefis Boser Emor, De Alif Atta Garnetha, Satriyo Wahyudi, Subhan Arif

Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas AKPRIND Indonesia

Abstrak

Daerah Tepus dan Girisubo di Kabupaten Gunungkidul merupakan wilayah karst yang secara umum penyebaran air tanahnya tidak merata, sehingga diperlukan identifikasi zona akuifer potensial. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas akuifer batuan karbonat Formasi Wonosari dengan meninjau fasies dan proses diagenesis yang memengaruhi perkembangan porositas. Penelitian dilakukan melalui pengukuran geolistrik *Vertical Electrical Sounding (VES)*, analisis mikrofasies dan diagenesis melalui sayatan tipis, serta pengujian porositas. Hasil pengukuran VES mengindikasikan keberadaan rongga dan zona berair. Analisis petrografi menunjukkan empat mikrofasies utama, yaitu *Large Benthic Foraminifera Packstone*, *Large Benthic Foraminifera Wackestone*, *Red Algae Wackestone*, dan *Mudstone*. Keempat mikrofasies mengalami proses diagenesis serupa yaitu, mikritisasi mikrobial, pelarutan, neomorfisme, dolomitisasi, dan kompaksi, tetapi dengan intensitas berbeda yang berperan menghasilkan variasi porositas. Mikrofasies *Large Benthic Foraminifera Packstone* menunjukkan perkembangan pelarutan paling intens menghasilkan *high porosity* (26,85%). Sebaliknya, mikrofasies *Large Benthic Foraminifera Wackestone*, *Red Algae Wackestone*, dan *Mudstone* menunjukkan *low-mediun porosity*.

Kata kunci: akuifer; batugamping; diagenesis; fasies; porositas

Abstract

The Tepus and Girisubo areas in Gunungkidul Regency are karst regions that generally experience limited groundwater availability, necessitating the identification of potential aquifer zones. This study aims to evaluate the quality of carbonate aquifers of the Wonosari Formation by examining the facies and diagenetic processes that control porosity development. The research involved Vertical Electrical Sounding (VES), lithofacies and diagenesis analysis using thin sections, and porosity measurement. The VES results indicate the presence of a cavitiy and a water-bearing zone. Petrographic observations reveal four principal lithofacies: Large Benthic Foraminifera Packstone, Large Benthic Foraminifera Wackestone, Red Algae Wackestone, and Mudstone. All lithofacies exhibit similar diagenetic pathways, microbial micritization, dissolution, neomorphism, dolomitization, and compaction, though with varying intensities that result in distinct porosity characteristics. The Large Benthic Foraminifera Packstone lithofacies exhibits the most intense dissolution development, resulting in high porosity (26.85%). In contrast, the Large Benthic Foraminifera Wackestone, Red Algae Wackestone, and Mudstone lithofacies show low to medium porosity.

Keywords: *aquifer; limestone; diagenesis; facies; porosity*

PENDAHULUAN

Batugamping dapat berfungsi sebagai akuifer tergantung pada perkembangan porositasnya. Walau pada dasarnya cenderung bersifat impermeabel tetapi batuan ini mudah mengalami pelarutan sehingga terbentuk porositas sekunder (Djaendi, 2004). Selain oleh intensitas pelarutan, porositas pada batugamping juga sangat

* Korespondensi: linaefita06@gmail.com
Diajukan : 29 Desember 2025
Diterima : 17 April 2026
Diterbitkan : 30 Oktober 2026
DOI : 10.14710/jgt.9.2.2026.115-131

dipengaruhi oleh proses diagenesis (Alfayed et al., 2020). Diagenesis adalah proses kimiawi maupun fisika yang terjadi setelah proses sedimentasi pada batuan, perubahan ini tidak termasuk perubahan yang disebabkan oleh perubahan suhu (<300° C) dan tekanan (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003).

Daerah penelitian berada di Daerah Tepus dan Girisubo, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, yang termasuk Formasi Wonosari. Formasi ini sebagian besar tersusun oleh batugamping, batugamping napalan-tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan dan batulanau, yang berumur Miosen Tengah-Miosen Akhir, dengan ketebalan mencapai 750 m. Bagian atas Formasi ini menjemari dengan bagian bawah Formasi Kepek dan pada bagian bawah menjemari dengan Formasi Oyo (Surono, 2009).

Pelarutan yang berlangsung secara intensif pada batugamping membentuk bentangalam karst yang dicirikan oleh berkembangnya rongga dan rekahan. Kondisi tersebut menyebabkan air permukaan di daerah penelitian cenderung cepat meresap ke bawah permukaan, sehingga pada musim kemarau sering terjadi kekeringan (Djaendi, 2004).

Fenomena kekeringan musiman tetap menjadi kendala utama. Hal ini mengindikasikan adanya ketidakpastian karakteristik penyimpanan air di bawah permukaan. Masalah spesifik yang ditemukan adalah tingginya heterogenitas sifat fisik batuan yang tidak seragam antar wilayah tersebut. Variasi fasie memberikan respons yang berbeda terhadap proses diagenesis. Tanpa analisis mendetail mengenai hubungan antara fasies dan diagenesis yang menghasilkan perbedaan porositas, identifikasi mengenai zona mana yang berperan sebagai penyimpan air (akuifer) atau penghalang aliran (akuiklud) menjadi sangat sulit dilakukan secara akurat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakteristik akuifer batugamping di daerah penelitian berdasarkan fasies serta proses diagenesis yang berperan dalam menghasilkan variasi porositas.

METODOLOGI

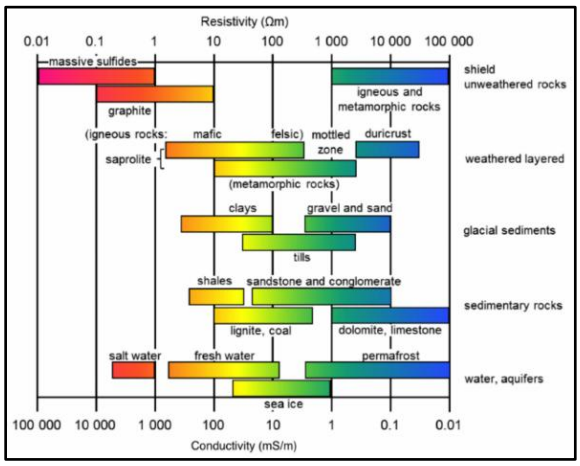
Penelitian ini dilakukan dilakukan melalui empat tahap (Gambar 2). diawali dengan studi literatur dan *reconnaissance*. Selanjutnya dilakukan pengukuran pengambilan data lapangan yang meliputi pengukuran geolistrik (VES), *measuring section*, pengamatan singkapan, dan pengambilan sampel. Tahap analisis mencakup interpretasi resistivitas, analisis petrografi & petrologi, dan analisis porositas melalui uji fisik dan sayatan tipis.

Pengukuran geolistrik dilakukan pada dua titik sounding dengan bentangan maksimum mencapai 250 m, memungkinkan penetrasi hingga kedalaman 1/5 dari total bentangan, menggunakan metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dengan konfigurasi Schlumberger. Data resistivitas semu diolah untuk memperoleh nilai resistivitas sebenarnya dan ketebalan lapisan bawah permukaan menggunakan perangkat lunak *Progress*, dengan interpretasi litologi /material bawah permukaan mengacu pada rentang resistivitas Palacky, 1987 (Gambar 1), serta dikorelasikan dengan kondisi geologi lokal dan pengamatan singkapan di lapangan.

Pengukuran geolistrik *Vertical Electrical Sounding* (VES) dianggap mampu menunjukkan zona yang berpotensi sebagai akuifer. Analisis petrografi dilakukan pada semua sampel yang diduga sebagai akuifer pada daerah penelitian berdasarkan hasil analisis geolistrik untuk mengetahui mikrofasies, proses diagenesis, jenis porositas dan menghitung luas pori. Analisis porositas dilakukan melalui pengujian fisik batuan dengan persamaan (1).

$$Porosity\ (\%) = \frac{Ww - Ws}{Ww - Wo} \times 100\% \quad (1)$$

Dalam persamaan tersebut, *Ww* merupakan berat sampel jenuh setelah perendam an selama 24 jam (gram), *Wo* adalah berat sampel kering setelah



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian.

pemanasan selama 24 jam (gram), dan *Ws* merupakan berat sampel jenuh bergantung pada air (gram).

Hasil perhitungan porositas selanjutnya diklasifikasikan secara kualitatif mengacu pada Todd, 1980 (Tabel 1). Selain itu, sebagai data pendukung luas total pori pada sayatan tipis dihitung dan dinyatakan dalam persentase menggunakan perangkat lunak *ImageJ*.

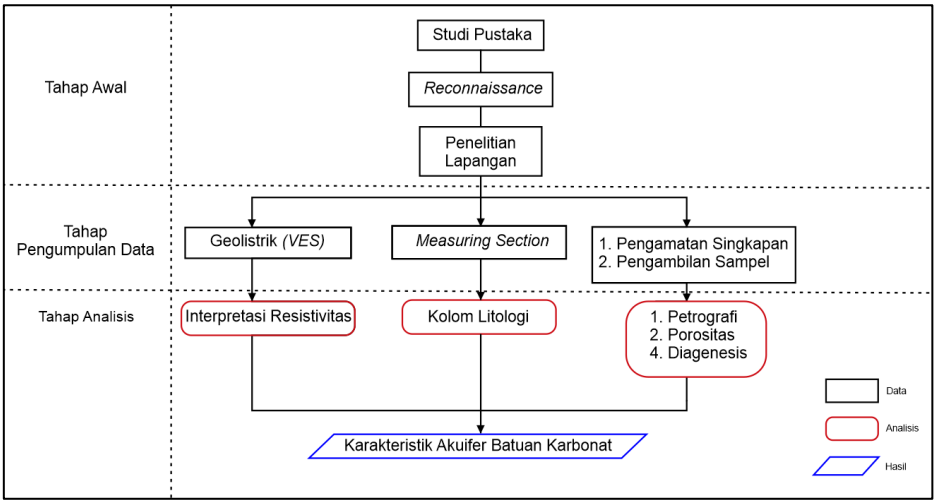
HASIL

Pengukuran Geolistrik (VES)

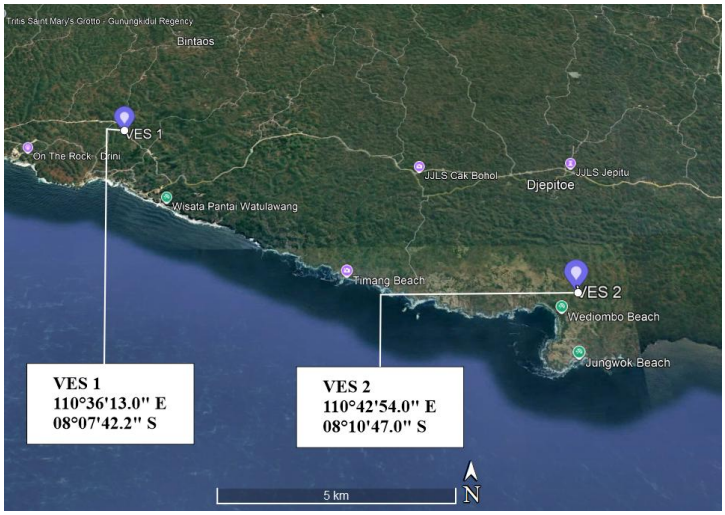
Pengukuran geolistrik (VES) dilakukan pada dua titik *sounding*. Titik VES-1 berlokasi pada koordinat 8°07'42.2" S dan 110°36'13.0" E di Kalurahan Sidoharjo, Kapanewon Tepus, Kabupaten Gunungkidul (Gambar 3). Hasil interpretasi menunjukkan keberadaan zona berongga atau kemungkinan gua yang muncul mulai kedalaman sekitar 1,26 m hingga 52,54 m, yang diduga terbentuk akibat proses pelarutan batugamping pada sistem karst bawah permukaan (Tabel 2). Titik VES-2 terletak pada koordinat 8°10'47.0" S dan 110°42'54.0" E di Kalurahan Jepitu, Kapanewon Girisubo, Kabupaten Gunungkidul (Gambar 3). Hasil interpretasi VES-2 mengindikasikan adanya zona air tanah atau rongga berair yang mulai muncul pada kedalaman sekitar 14,25 m (Tabel 3).

Tabel 1. Kategori porositas (Todd, 1980).

Porositas (%)	Kategori
>30	Very high
30-15	High
15-5	Medium
5-1	Low
<1	Very Low



Gambar 2. Diagram alir metode penelitian.



Gambar 3. Lokasi pengukuran geolistrik.

Lokasi Pengambilan Sampel

Jumlah sampel yang dianalisis sebanyak lima sampel. Tiga sampel berasal dari koordinat 8°07’49.0” S, 110°36’19.7”, berada di Dusun Sidoharjo, Kapanewon Tepus, Kabupaten Gunungkidul yang berjarak 295 m dari VES-1 (Gambar 4). Singkapan ini merupakan perlapisan kalkarenit dan kalsilutit dengan kedudukan N190°E/13° dan ketebalan singkapan 14,5 m (Gambar 5 dan Tabel 4).

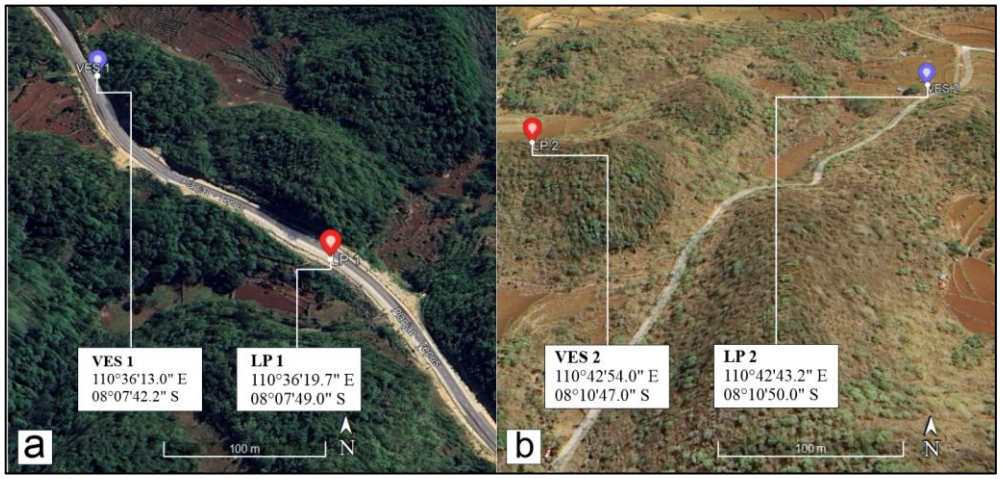
Sementara dua sampel lainnya berasal dari koordinat 8°10’50.0” S, 110°42’43.2” E, tepatnya di Dusun Jepitu, Kapanewon Girisubo, Kabupaten Gunungkidul yang berjarak 343 m dari VES-2 (Gambar 4). Dijumpai perlapisan kalsilutit dengan kedudukan N10°E/12° dan ketebalan 20 m (Gambar 5 dan Tabel 5).

Tabel 2. Hasil interpretasi nilai resistivitas VES-1.

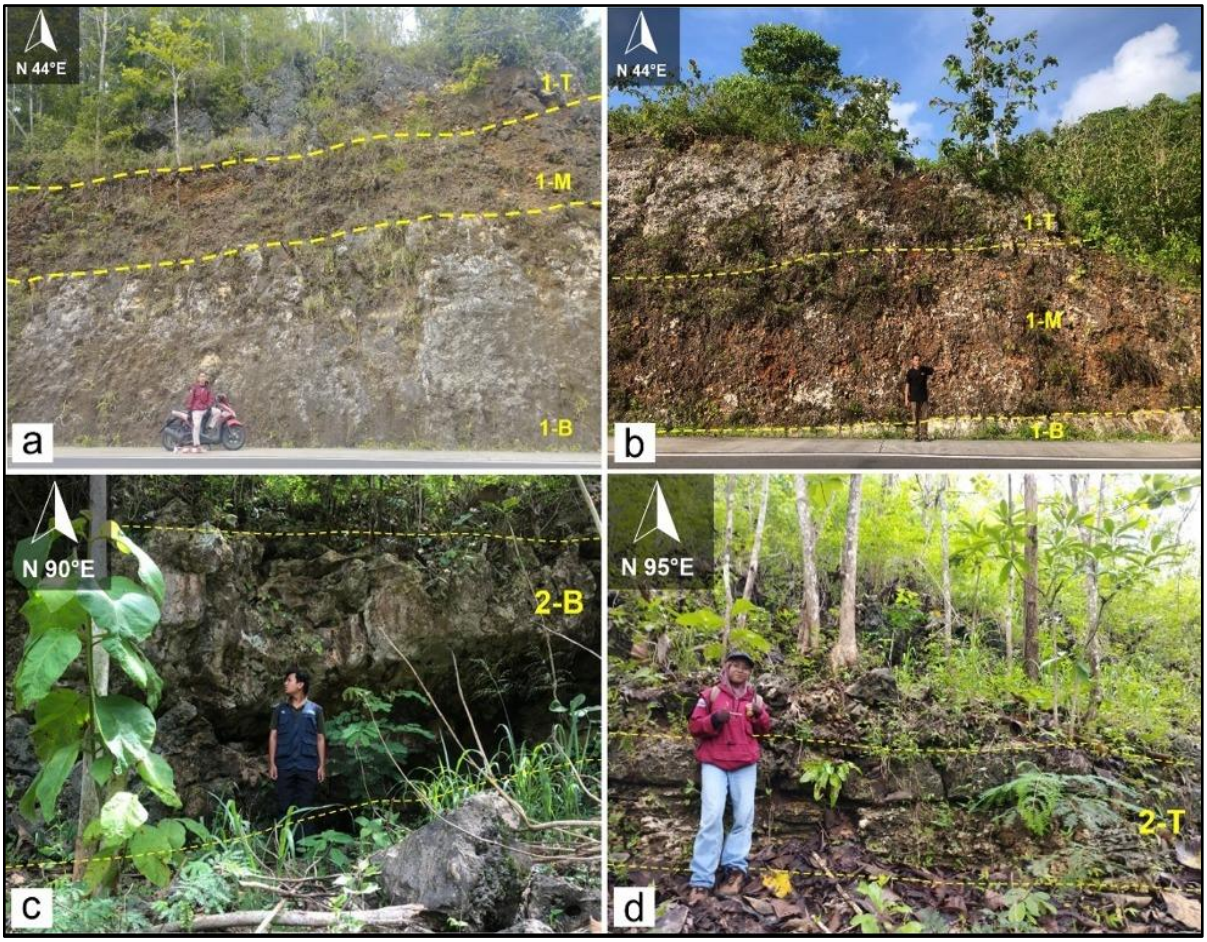
No	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Interpretasi Litologi/Material
1	0,12	0,00 – 0,21	0,21	material sangat konduktif (ekstrem)
2	963,23	0,21 – 0,49	0,29	batugamping padat kering
3	91.509,46	0,49 – 1,26	0,77	batugamping sangat padat (resistif ekstrem)
4	893.211,41	1,26 – 3,04	1,77	rongga/gua
5	2.708.927	3,04 – 6,81	3,78	rongga/gua
6	4.859.296	6,81 – 14,25	7,44	rongga/gua
7	6.654.590	14,25 – 28,04	13,79	rongga/gua
8	7.797.237	28,04 – 52,54	24,5	rongga/gua
9	8.347.519	52,54 - ∞	∞	rongga/gua

Tabel 3. Hasil interpretasi nilai resistivitas VES-2.

No	Resistivitas (Ωm)	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Interpretasi Litologi/Material
1	5,34	0.00 - 2.58	2,58	zona air payau/lempung asin
2	1.862,24	2.58 - 3.38	0,8	batugamping padat kering
3	6.319,62	3.38 - 5.20	1,82	batugamping sangat padat/masif
4	5.192,88	5.20 - 7.85	2,65	batugamping sangat padat/masif
5	50,67	7.85 - 14.25	6,4	batugamping lapuk/terfraktur
6	30	14.25 - 37.18	22,93	air tanah/rongga berair
7	15	37.18 - ∞	∞	air tanah/rongga berair

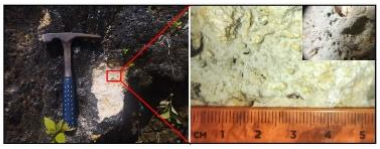
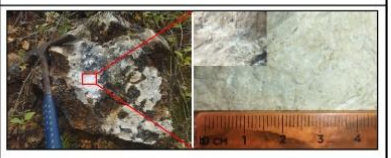
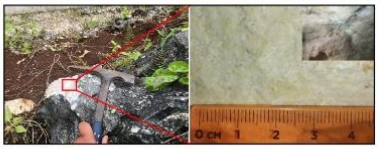


Gambar 4. Posisi LP-1 terhadap VES-1 (a), dan Posisi LP-2 terhadap VES-2 (b).

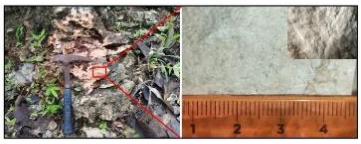


Gambar 5. 1-B: LP1 *bottom*, 1-M: LP1 *middle*, 1-T: LP1 *top* (a-b), 2-B: LP2 *bottom*, 2-T: LP2 *top,* (c-d). (Tinggi orang sebagai pembanding adalah 1.56 m)

Tabel 4. Kolom litologi LP-1 (Skala 1:200).

Ketebalan	Simbol Litologi (Lutit, Arenit, Rudit)	Deskripsi	Foto Singkapan
6 m		Kalsilutit dengan warna segar putih kekuningan, warna lapuk kehitaman. Struktur masif. Memiliki tekstur halus (lutit), *mud-supported*, sortasi baik, kemas tertutup. Tersusun oleh lumpur karbonat dan tidak teramati adanya *allochem.*	
5 m		Kalsilutit dengan warna segar putih kekuningan, warna lapuk kehitaman. Struktur masif. Memiliki tekstur halus (lutit), *mud-supported*, sortasi baik, kemas tertutup. Tersusun oleh lumpur karbonat dan tidak teramati adanya *allochem.*	
3.5 m		Kalkarenit dengan warna segar putih, warna lapuk kehitaman, dan memiliki lubang-lubang pelarutan yang cukup banyak. Tekstur: berukuran arenit, *grain-supported*, mengandung sedikit mud dan teramati adanya *allochem* foraminifera berukuran 1 mm – 4 mm, sortasi sedang, kemas terbuka.	

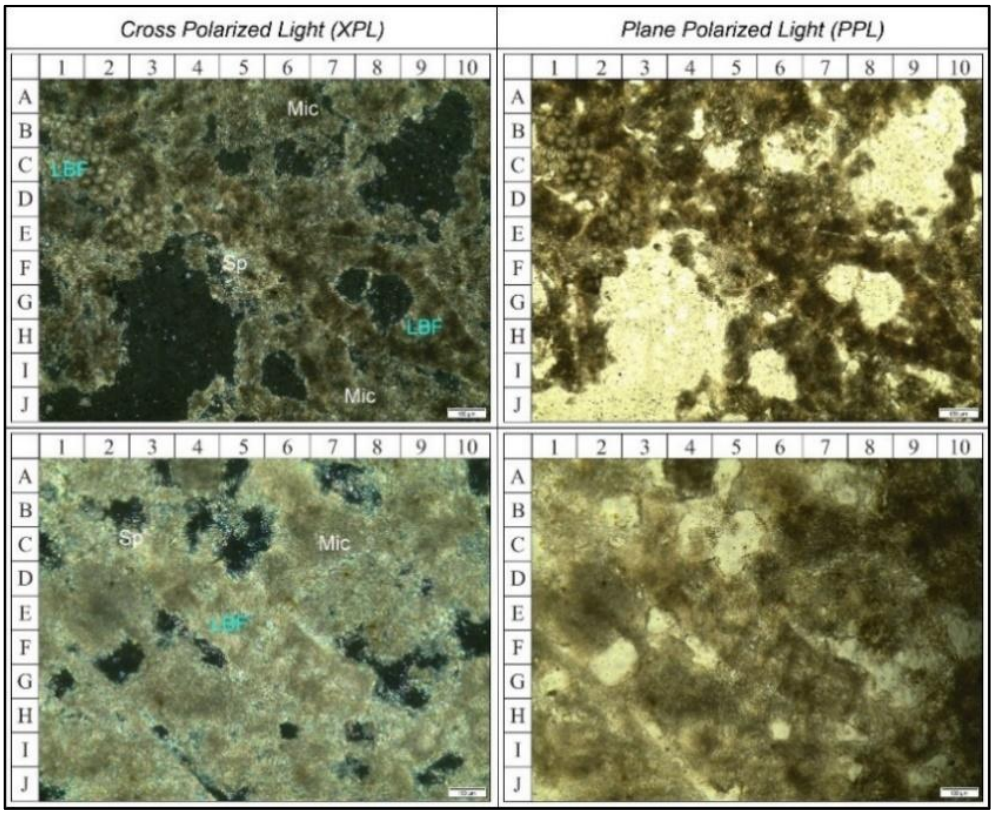
Tabel 5. Kolom litologi LP-2 (Skala 1:200).

Ketebalan	Simbol Litologi (Lutit, Arenit, Rudit)	Deskripsi	Foto Singkapan
6 m		Kalsilutit dengan warna segar putih kekuningan dan warna lapuk kehitaman. Terdapat lubang-lubang pelarutan serta kristal-kristal halus hasil diagenesis yang cukup melimpah. Memiliki tekstur halus (lutit), *mud-supported*, tidak teramati adanya *allochem*, sortasi sangat baik, kemas tertutup.	
14 m		Kalsilutit dengan warna segar putih kemerahan, warna lapuk kehitaman. Terdapat lubang-lubang pelarutan serta kristal-kristal halus hasil diagenesis yang melimpah. Memiliki tekstur halus (lutit), *mud-supported*, sortasi baik, kemas tertutup. *Allochem* yang teramati berjenis alga, berukuran 1.5 – 5 mm, dengan kelimpahan <10% (sangat jarang).	

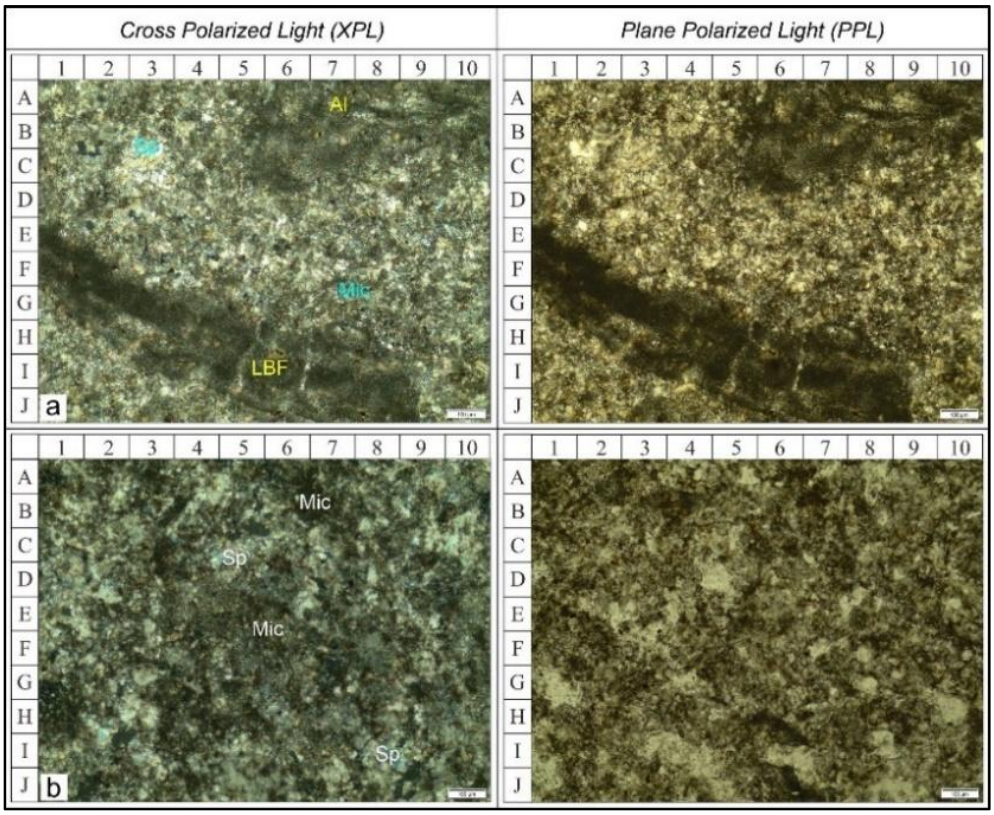
Analisis Mikrofasies

Berdasarkan klasifikasi Embry & Klovan (1971) dan kandungan fosil yang dominan, mikrofasies pada daerah penelitian terbagi menjadi empat. Sampel 1-B merupakan *Large Benthic Foraminifera Packstone*, sampel 2-T merupakan *Large Benthic Foraminifera Wackestone*, sampel 2-T merupakan *Red Algae Wackestone*, sementara sampel 1-M dan 2-B memiliki karakteristik Mudstone.

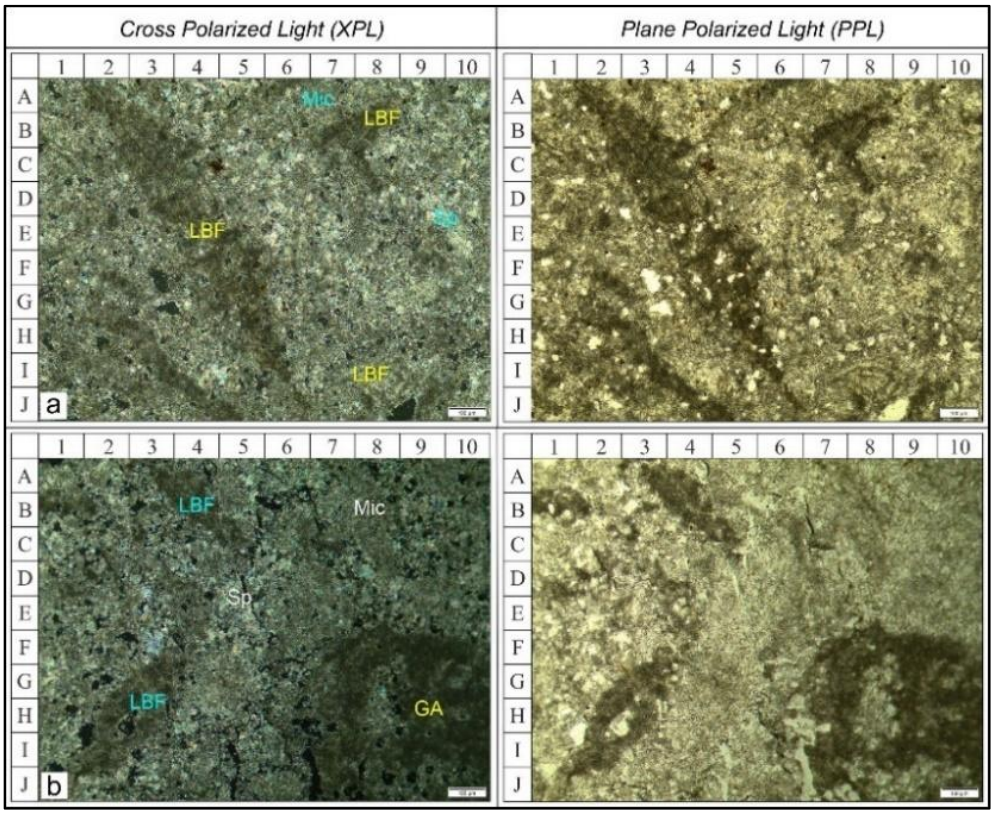
1. Sampel 1-B
   Sayatan tipis batuan karbonat klastik, berwarna coklat, ukuran butir <0,02 - 2 mm, *grain-supported*. Komposisi terdiri dari (26%) massa dasar yang berupa mikrit/lumpur karbonat (a/A6) dan sparit (a/F5), dan (74%) komponen fosil berukuran 1 - 2 mm yang terdiri dari *large benthic foraminifera* (a/C1) dan (b/G4). Maka, sampel ini merupakan mikrofasies *Large Benthic Foraminifera Packstone* (Gambar 6).
2. Sampel 1-M
   Sayatan tipis batuan karbonat klastik, berwarna coklat, ukuran butir sangat halus (0,01 mm – 1,5 mm), *mud-supported*. Komposisi terdiri dari (9%) massa dasar yang berupa mikrit (a/G7) dan sparit (a/B3), serta (7%) komponen butiran yang terdiri dari *large benthic foraminifera* (a/I6) dan alga (a/A7). Maka, sampel ini merupakan mikrofasies *Mudstone* (Gambar 7).
3. Sampel 1-T
   Sayatan tipis batuan karbonat klastik, berwarna coklat, ukuran butir sangat halus (0,01 mm – 0,8 mm), *mud-supported*. Komposisi terdiri dari (87%) massa dasar yang berupa mikrit/lumpur karbonat (a/A7) dan sparit (a/D9), dan (13%) komponen butiran yang terdiri *dari large benthic foraminifera* (a/E4, B8, I8) dan (b/B4 & H3), serta green algae (b/H9). Maka, sampel ini merupakan mikrofasies *Large Benthic Foraminifera Wackestone* (Gambar 8).
4. Sampel 2-B
   Sayatan tipis batuan karbonat klastik, berwarna coklat, ukuran butir sangat halus (<0,1 mm), *mud-supported*. Hampir keseluruhan komposisi terdiri dari mikrit/lumpur karbonat (a/E4), sparit dengan kenampakan berupa kristal-krital berukuran relatif kasar (hingga 0,1 mm) yang sebagian besar merupakan hasil rekristalisasi (a/A7), dan sebagian sangat kecil terdapat mineral opak (a/B2). Maka sampel ini merupakan mikrofasies *Mudstone* (Gambar 9).



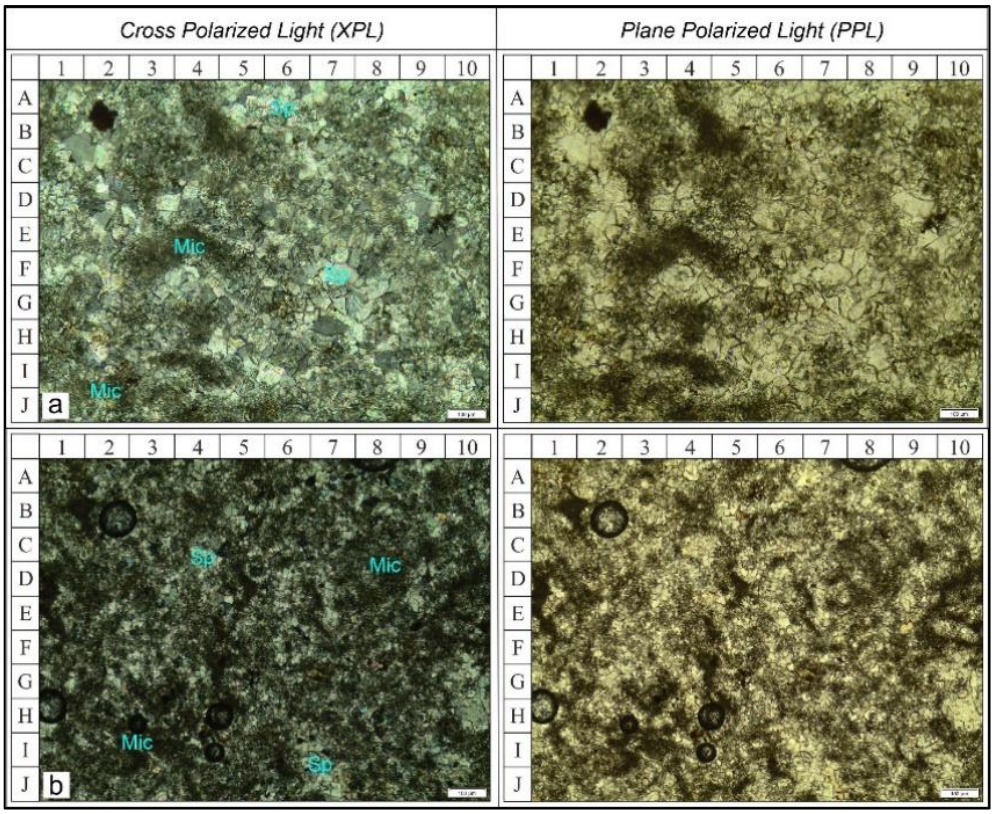
Gambar 6. Sayatan tipis sampel 1-B (*LBF: Large Benthic Foraminifera, mic: micrite, sp: sparite*), dengan skala 0,1 mm.



Gambar 7. Sayatan tipis sampel 1-M (*LBF: Large Benthic Foraminifera, mic: micrite, sp: sparite*), dengan skala 0,1 mm.



Gambar 8. Sayatan tipis sampel 1-T (*LBF: Large Benthic Foraminifera, GA: Green Algae, mic: micrite, sp: sparite*), dengan skala 0,1 mm.



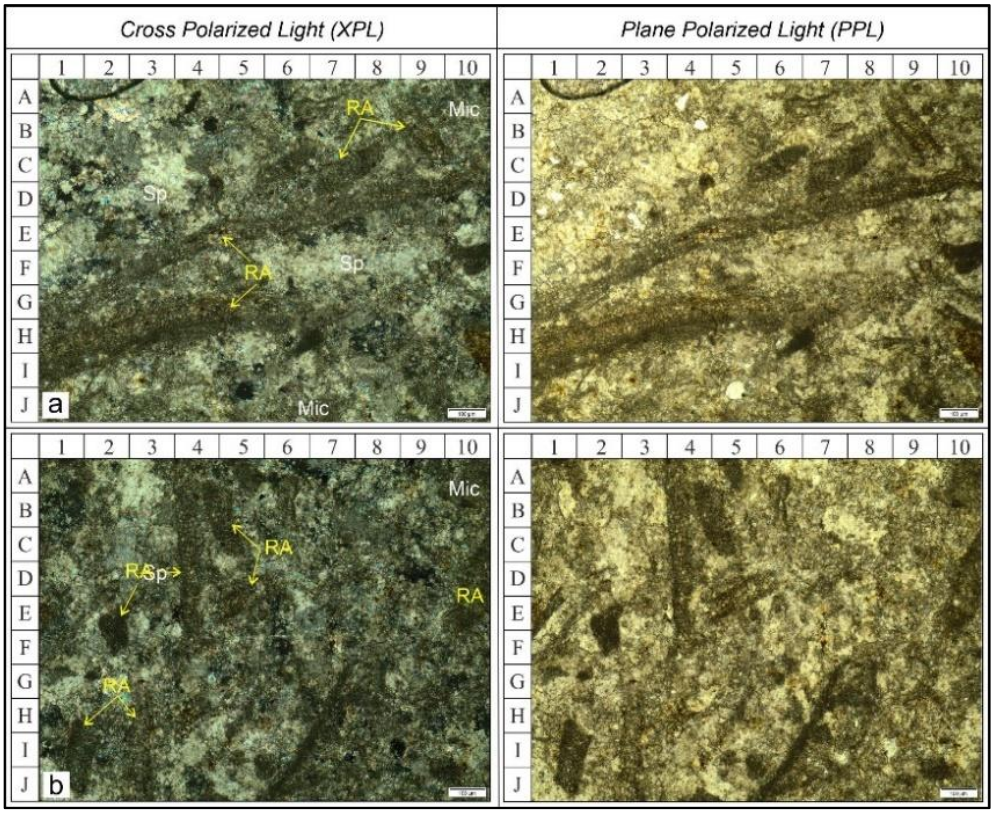
Gambar 9. Sayatan tipis sampel 2-B *(mic: micrite, sp: sparite),* dengan skala 0,1 mm.

5. Sampel 2-T
   Sayatan tipis batuan karbonat klastik, berwarna coklat, ukuran butir sangat halus (0,01 - 2 mm), *mud-supported*. Komposisi terdiri dari (84%) mikrit/lumpur karbonat (a/A10) dan sparit (a/D3), serta (16%) komponen butiran yang terdiri dari red algae (a/H3) dan (b/B4). Maka, sampel ini merupakan mikrofasies *Red Algae Wackstone* (Gambar 10).

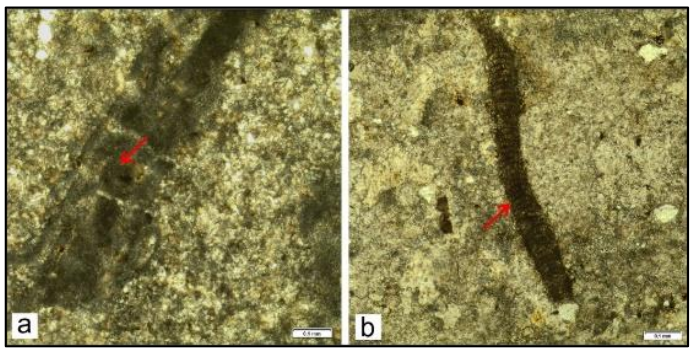
Analisis Diagenesis

Keempat mikrofasies di daerah penelitian mengalami rangkaian proses diagenesis yang sama, dengan intensitas berbeda. Proses diagenesis yang dapat diamati meliputi mikritisasi mikrobial, neomorfisme, pelarutan, dolomitisasi, dan kompaksi.

1. Mikritisasi Mikrobial
   Proses ini ditunjukkan oleh adanya penggantian sejumlah kerangka fosil oleh mikrit yang tampak menyelubungi/melapisi fosil, seperti yang teramati pada sampel 1-M dan 2-T (Gambar 11). Proses mikritisasi mikrobial terjadi pada tahap awal di lingkungan diagenesis *marine phreatic*.



Gambar 10. Sayatan tipis sampel 2-T *(RA: Red Algae, mic: micrite, sp: sparite*), dengan skala 0,1 mm.



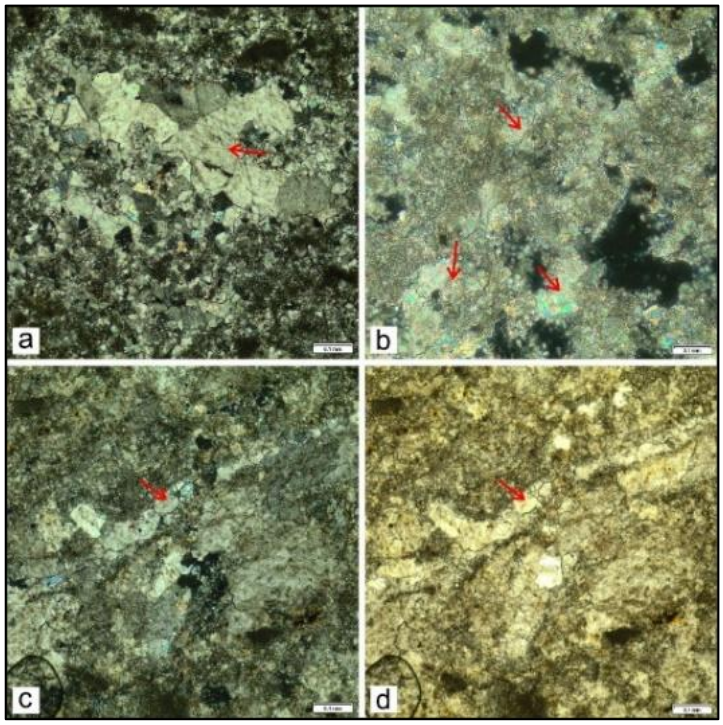
Gambar 11. Pengamatan PPL menunjukkan mikrit yang menggantikan fragmen menjadi sebuah cetakan fosil pada sampel 1-M (a), sampel 2-T (b), dengan skala 0,1 mm.

2. Neomorfisme
   Neomorfisme agradasi dibuktikan adanya rekristalisasi mikrit atau lumpur karbonat menjadi kristal-kristal karbonat berukuran lebih besar, sehingga dapat mengurangi porositas. Tingginya intensitas neomorfisme mengakibatkan sparit hasil sementasi utama tidak dapat diamati. Indikasi neomorfisme agradasi tampak jelas seperti pada sampel 2-B dimana kristal karbonat memiliki ukuran yang kontras. Sementara pada sampel 2-T kristal karbonat kasar tampak menggantikan mikrit pada cetakan fosil (Gambar 12). Proses ini dapat berlangsung pada lingkungan diagenesis *meteoric phreatic* dan *burial* (Tucker dan Wright, 1990).

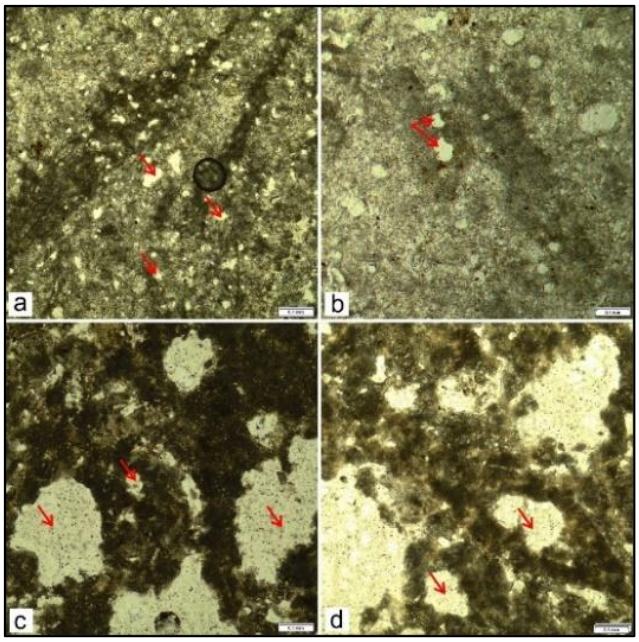
3. Pelarutan
   Secara umum, pelarutan terjadi karena adanya pergerakan air yang melarutkan mineral karbonat. Proses ini dapat membentuk porositas sekunder. Jenis porositas akibat pelarutan yang dapat diamati adalah *vuggy porosity* dan *moldic porosity*. *Vuggy porosity* terbentuk oleh proses pelarutan skala besar dan menghasilkan rongga-rongga tidak beraturan dan tidak terbatas pada satu butir. Sementara, *moldic porosity* dapat terbentuk akibat pelarutan selektif fragmen fosil. Proses pelarutan dapat terjadi pada lingkungan *meteoric* (Tucker dan Wright, 1990). *Vuggy porosity* dan *moldic porosity* pada sampel 1-B memiliki dimensi yang lebih besar dibandingkan sampel 1-T (Gambar 13).

4. Dolomitisasi
   Proses dolomitisasi merupakan proses perubahan mineral-mineral kalsit menjadi mineral dolomit. Perubahan ini akan mengakibatkan volume mineral menjadi lebih kecil, sehingga akan menyisakan pori-pori (*intercrystalline porosity*) (Gambar 14). Proses ini dapat terjadi pada lingkungan *mixing zone* dan *deep burial* (Tucker dan Wright, 1990).

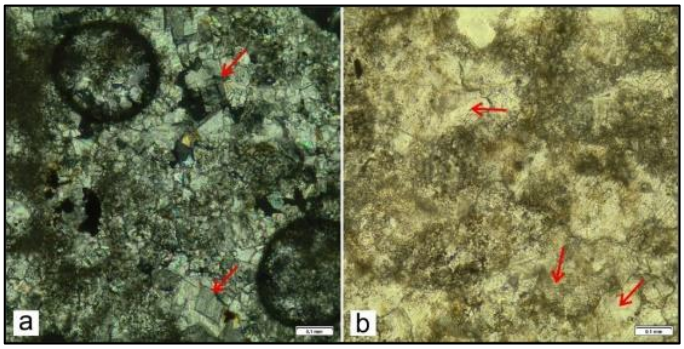
5. Kompaksi
   Kompaksi dapat mengakibatkan perubahan bentuk butir, retakan, pecahan pada fosil, *stylolite*, dan penurunan porositas. Kompaksi terjadi pada lingkungan *deep burial* setelah batuan terendapkan (Tucker dan Wright, 1990). Proses ini tampak jelas seperti yang teramati pada pengamatan PPL sampel 1-B (Gambar 15.a), 2-T (Gambar 14.b-c), dan 1-T (Gambar 15.d).



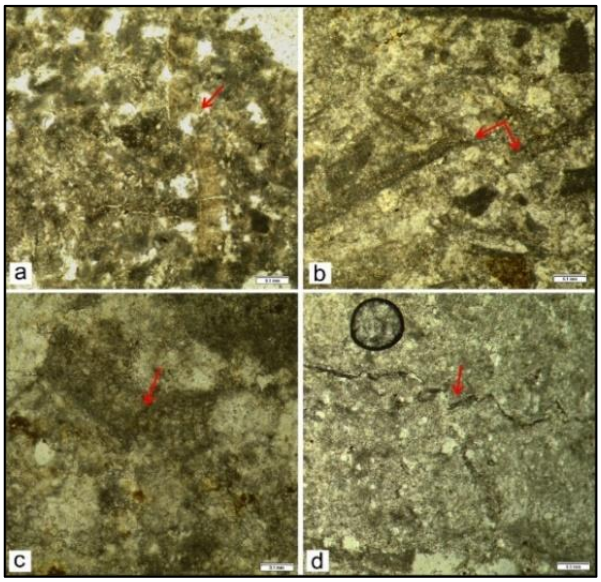
Gambar 12. Pengamatan XPL sampel 2-B menunjukkan sparit hasil neomorfisme memiliki distribusi ukuran yang relatif tidak seragam (a-b), pada sampel 2-T mikrit pada cetakan fosil *red algae* telah mengalami rekristalisasi menjadi sparit; XPL (c) PPL (d), dengan skala 0,1 mm.



Gambar 13. *Vuggy porosity* pada sampel 1-T (a), *moldic porosity* sampel 1-T (b), *vuggy porosity* pada sampel 1-B (c), dan *moldic porosity* sampel 1-B (d), dengan skala 0,1 mm.



Gambar 14. Dolomit pada pengamatan XPL sampel 2-B (a), dan pengamatan PPL sampel 1-M (b), skala 0,1 mm.

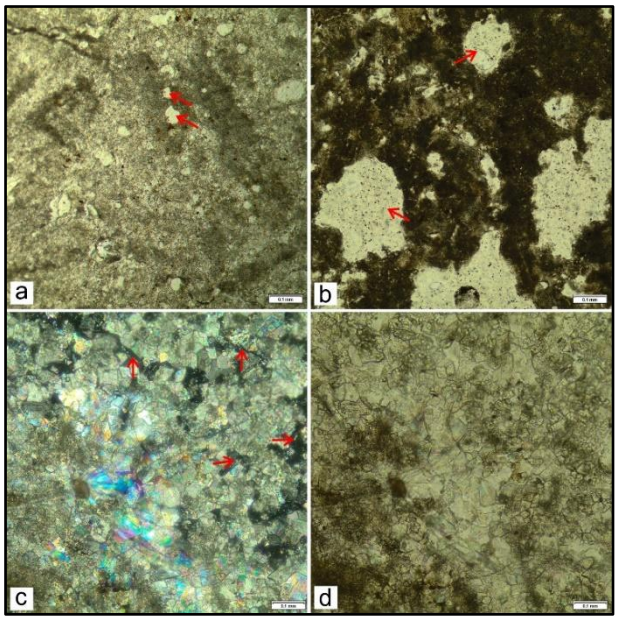


Gambar 15. Kompaksi mengakibatkan fracture pada fosil *large benthic foraminifera* (a) *fracture* pada fosil *red algae* (b), *suture contact* pada fragmen fosil *red algae* (c), dan *stylolite* (d), dengan skala 0,1 mm.

Analisis Porositas

Analisis porositas dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan melalui identifikasi jenis pori pada sayatan tipis. Berdasarkan sayatan tipis, terdapat tiga jenis porositas yang dapat diamati, yaitu *vuggy porosity, intercrystalline porosity,* dan *moldic porosity* (Gambar 16). *Vuggy porosity* mewakili *not-fabric selective porosity*, yaitu pori tidak mengikuti tekstur asli batuan karena dikontrol pelarutan. Porositas jenis ini sangat dominan sehingga mengindikasi terjadinya pelarutan yang relatif intens. *Intercrystalline porosity* pada sampel yang diamati merupakan ruang kosong antarkristal yang terbentuk akibat proses neomorfisme maupun dolomitisasi, sementara *moldic porosity* merupakan porositas hasil pelarutan selektif pada komponen skeletal. Kedua porositas ini mewakili *fabric selective porosity* yaitu dikontrol oleh tekstur asli batuan.

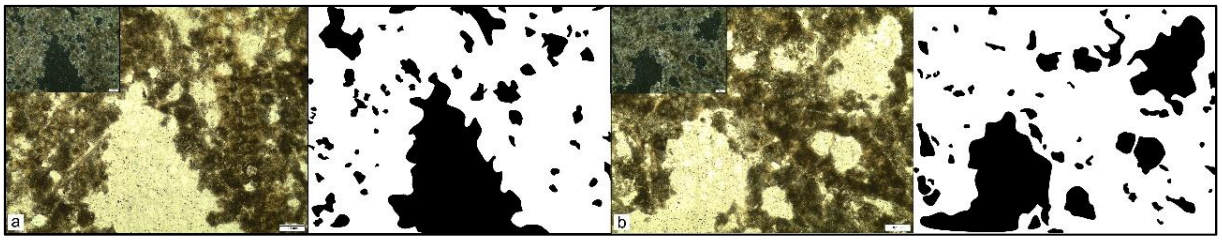
Selain itu, analisis porositas juga dilakukan secara kuantitatif melalui perhitungan porositas berdasarkan pengujian sifat fisik batuan dan perhitungan luas pori pada sayatan tipis menggunakan *ImageJ*, yang dinyatakan dalam persentase sebagai data pendukung. Berikut adalah hasil pengujian sifat fisik batuan (Tabel 6) dan hasil perhitungan luas pori sayatan tipis menggunakan *software ImageJ* (Gambar 17-21).



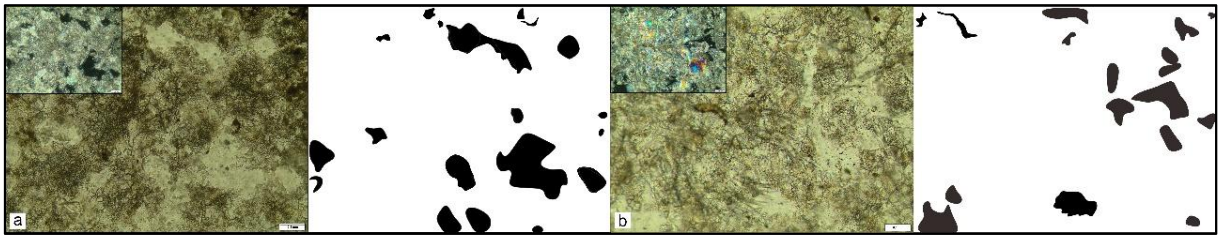
Gambar 16. *Moldic porosity* pada pengamatan PPL sampel 1-T (a), *vuggy porosity* pada pengamatan PPL sampel 1-B (b), *intercrystalline porosity* pada pengamatan XPL sampel 2-B (c) dan PPL (d), dengan skala 0,1 mm.

Tabel 6. Hasil uji sifat fisik batuan.

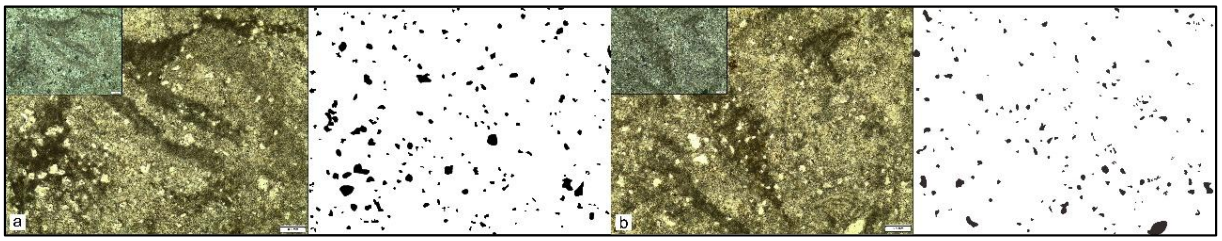
Sampel	Ww	Wo	Ws	Porositas = (Ww-Wo)/(Ww-Ws) x 100%
1-B1	26.6	23.7	15.7	26.60
1-B2	26.8	23.9	16.1	27.10
1-M1	18.2	17.9	14.2	7.50
1-M2	18.6	18.3	14.6	7.50
1-T1	29.7	29.2	20.2	5.26
1-T2	30.1	29.6	20.4	5.15
2-B1	24.0	23.7	15.7	3.61
2-B2	24.2	23.9	16.1	3.70
2-T1	30.4	29.9	18.3	4.13
2-T2	30.8	30.3	18.9	4.20



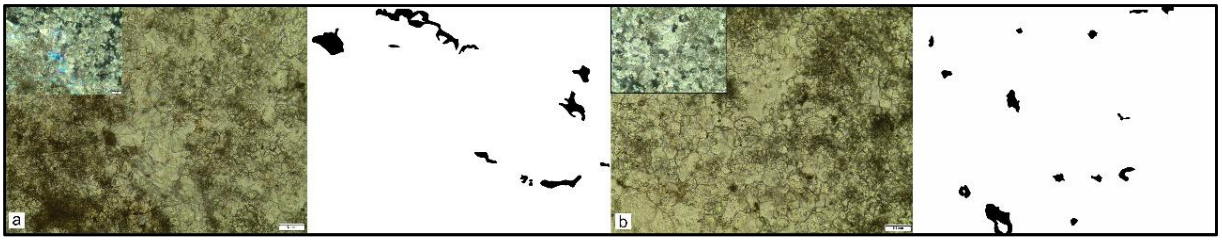
Gambar 17. Luas pori sampel 1-B1 (a), dan 1-B2 (b), dengan skala 0,1 mm.



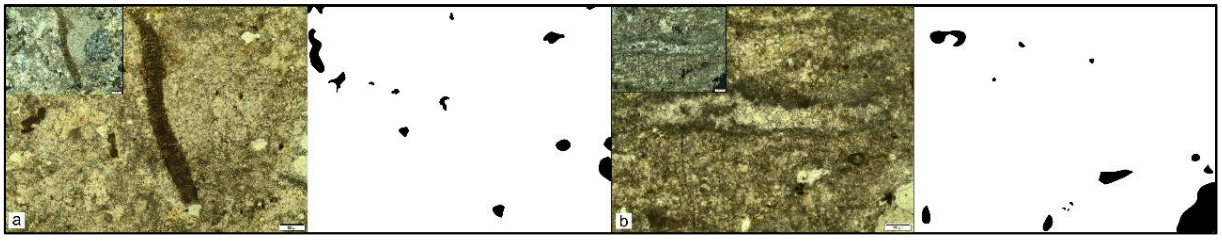
Gambar 18. Luas pori sampel 1-M1 (a), dan 1-M2 (b), dengan skala 0,1 mm.



Gambar 19. Luas pori sampel 1-T1 (a), dan 1-T2 (b), dengan skala 0,1 mm.



Gambar 20. Luas pori sampel 2-B1 (a), dan 2-B2 (b), dengan skala 0,1 mm.



Gambar 21. Luas pori sampel 2-T1 (a), dan 2-T2 (b), dengan skala 0,1 mm.

Berdasarkan hasil tersebut, nilai porositas tertinggi hingga terendah secara berurutan adalah *LBF Packstone, Mudstone* (1-M), *LBF Wackestone, RA Wackestone*, dan *Mudstone* (2-B) (Tabel 7 dan 8). Terdapat kesesuaian yang baik antara hasil pengujian sifat fisik batuan dan perhitungan luas pori pada sayatan tipis, yang ditunjukkan oleh perbedaan nilai yang tidak signifikan pada histogram (Gambar 22) serta nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,98 pada *scatter plot* (Gambar 23), yang mengindikasikan hubungan yang sangat kuat antara kedua metode tersebut.

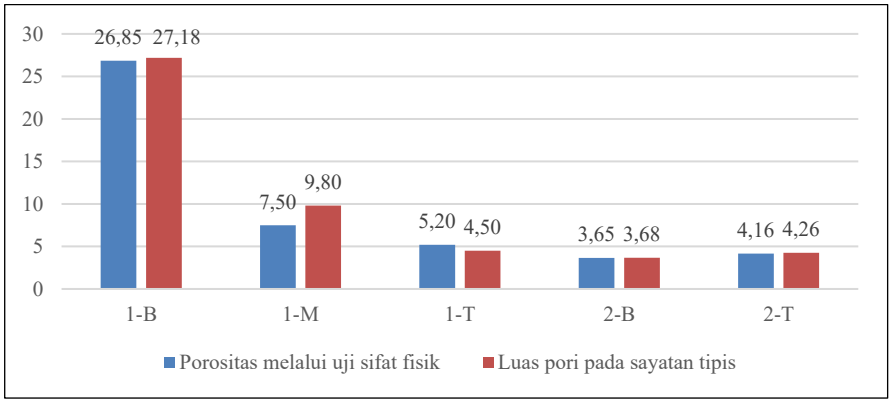
Namun, hasil perhitungan luas pori pada sayatan tipis belum dapat dijadikan acuan utama karena tidak menggunakan teknik pewarnaan *blue dye*, sehingga pori-pori berukuran mikro berpotensi tidak teridentifikasi secara optimal. Oleh karena itu, data tersebut digunakan sebagai data pendukung.

Tabel 7. Persentase porositas melalui uji sifat fisik batuan.

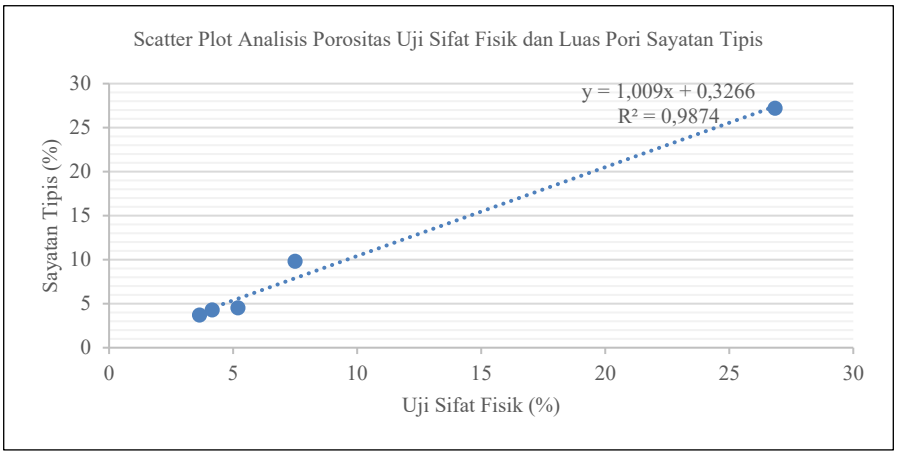
Sampel	Mikrofasies	Porositas (%)	Rata-rata (%)
1-B1	*LBF Packstone*	26.60	26.85
1-B2	*LBF Packstone*	27.10	
1-M1	*Mudstone*	7.50	7.50
1-M2	*Mudstone*	7.50	
1-T1	*LBF Wackestone*	5.26	5.20
1-T2	*LBF Wackestone*	5.15	
2-B1	*Mudstone*	3.61	3.65
2-B2	*Mudstone*	3.70	
2-T1	*RA Wackestone*	4.13	4.16
2-T2	*RA Wackestone*	4.20	

Tabel 8. Persentase luas pori pada sayatan tipis.

Sampel	Mikrofasies	Luas Pori (%)	Rata-rata (%)
1-B1	*LBF Packstone*	27.20	27.18
1-B2	*LBF Packstone*	27.16	
1-M1	*Mudstone*	10.00	9.80
1-M2	*Mudstone*	9.60	
1-T1	*LBF Wackestone*	5.40	4.50
1-T2	*LBF Wackestone*	3.60	
2-B1	*Mudstone*	3.81	3.68
2-B2	*Mudstone*	3.56	
2-T1	*RA Wackestone*	3.98	4.26
2-T2	*RA Wackestone*	4.54	



Gambar 22. Perbandingan porositas melalui uji fisik dan luas pori pada sayatan tipis.



Gambar 23. Scatter plot analisis porositas uji fisik dan luas pori pada sayatan tipis.

PEMBAHASAN

Jenis Akuifer

Berdasarkan hasil penelitian, akuifer di daerah penelitian diinterpretasikan sebagai akuifer karst dengan sistem aliran conduit. Sistem ini dicirikan oleh berkembangnya porositas sekunder berupa rekahan, rongga pelarutan, dan saluran bawah tanah yang berfungsi sebagai jalur utama aliran air tanah (Domenico dan Schwartz, 1990). Singkapan pada daerah penelitian menunjukkan adanya rongga-rongga hasil pelarutan yang intensif. Selain itu, hasil interpretasi data geolistrik VES-1 menunjukkan indikasi keberadaan rongga atau gua bawah tanah berukuran besar pada kedalaman sekitar 52,54 m, yang mencerminkan tingkat karstifikasi intensif dan perkembangan saluran conduit sebagai jalur aliran air tanah. Sementara itu, VES-2 mengidentifikasi zona air tanah dengan nilai resistivity (15-30 **Ωm)** pada kedalaman 14,25–37,8 m yang diduga bagian dari sistem aliran conduit yang terisi air atau zona transisi antara aliran *diffuse* dan *conduit*. Pola aliran yang terfokus pada rongga dan saluran pelarutan bawah tanah tersebut merupakan karakteristik utama akuifer karst dengan sistem *conduit*.

Hubungan Fasies, Proses Diagenesis, dan Porositas Batuan

Fasies dan proses diagenesis berperan penting dalam mengontrol karakteristik akuifer pada batuan karbonat. Keduanya memengaruhi perkembangan jenis porositas, besarannya, serta konektivitas pori, sehingga menentukan kemampuan batuan dalam menyimpan dan mengalirkan air tanah.

Berikut merupakan hubungan antara fasies, diagenesis, dan porositas pada daerah penelitian (Tabel 9).

1. Mikrofasies *LBF Packstone*
   Mikrofasies *LBF Packstone* menunjukkan pelarutan yang paling intens dibandingkan mikrofasies lainnya. Tekstur *grain-supported* dengan butir yang umumnya lebih kasar membuat kohesi antarbutir rendah, sehingga infiltrasi fluida dan proses pelarutan lebih mudah terjadi. Pelarutan ini menghasilkan *vuggy porosity* yang berkembang baik, sementara pelarutan selektif pada komponen skeletal membentuk *moldic porosity*. Berdasarkan pengujian sifat fisik, porositas mencapai 26,85% (*high porosity*), menjadikan fasies ini sebagai akuifer paling potensial di daerah penelitian.

2. Mikrofasies *LBF Wackestone*
   Mikrofasies ini didominasi oleh proses neomorfisme dan kompaksi yang berperan besar dalam menurunkan porositas. Sparit hasil neomorfisme berukuran relatif halus namun tersebar merata dan dapat diamati hingga pada *hand specimen*. Kompaksi ditunjukkan oleh keberadaan *stylolite* pada sayatan tipis (Gambar 14). Pelarutan lokal menghasilkan *vuggy porosity*, tetapi tidak berkembang signifikan. Berdasarkan uji sifat fisik, porositas rata-rata hanya 5,20% (*low porosity*), sehingga mikrofasies ini tidak direkomendasikan sebagai target eksplorasi akuifer.

3. Mikrofasies *Red Algae Wackestone*
   Pada mikrofasies ini neomorfisme dan kompaksi menjadi proses yang paling berperan dalam pengurangan porositas. Proses neomorfisme yang intensif merekristalisasi mikrit, termasuk pada cetakan fosil, menjadi kristal sparit berukuran kasar. Proses kompaksi ditunjukkan oleh adanya *fracture* pada fosil *red algae* (Gambar 14). Sementara itu, proses pelarutan menghasilkan *vuggy porosity*. Berdasarkan pengujian sifat fisik, mikrofasies ini memiliki porositas rata-rata 4,16% (*low porosity),* sehingga tidak disarankan untuk eksplorasi akuifer.

4. Mikrofasies *Mudstone*
   Mikrofasies ini didominasi oleh proses neomorfisme dan dolomitisasi. Neomorfisme merekristalisasi sparit dan mikrit menjadi kristal karbonat berukuran lebih besar, sedangkan dolomitisasi mengubah kalsit menjadi kristal dolomit. Proses tersebut cenderung mengisi ruang pori sehingga menurunkan porositas. Porositas yang berkembang berupa *intercrystalline* dan *vuggy porosity*. Berdasarkan pengujian sifat fisik, porositas berada pada kisaran 3,65–7,50% (*low-medium porosity*), sehingga mikrofasies ini dinilai kurang potensial sebagai akuifer.

Tabel 9. Hubungan mikrofasies, proses diagenesis, dan porositas batuan.

Sampel	Mikrofasies	Proses Diagenesis	Jenis Porositas	Porositas Uji Fisik (%)	Luas Pori (%)	Kategori Porositas
1-B	*LBF Packstone*	Mikritisasi mikrobial, pelarutan, neomorfisme, dolomitisasi, dan kompaksi	*Vuggy* dan *moldic porosity*	26.85	27.18	*High*
1-M	*Mudstone*		*Vuggy* dan *intercrystalline porosity*	7.50	9.80	*Medium*
1-T	*LBF Wackestone*		*Vuggy* dan *moldic porosity*	5.20	4.50	*Low*
2-B	*Mudstone*		*Vuggy* dan *intercrystalline porosity*	3.65	3.68	*Low*
2-T	*RA Wackestone*		*Vuggy* dan *intercrystalline porosity*	4.16	4.26	*Low*

KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Pengukuran VES-1 menginterpretasikan adanya zona rongga/gua yang sangat mungkin terkait dengan proses pelarutan batugamping dalam lingkungan karst. Pengukuran VES-2 menginterpretasikan adanya zona air tanah/rongga berair yang dimulai pada kedalaman 14,25 m. Pola ini merupakan karakteristik utama akuifer karst dengan sistem conduit, di mana aliran air tanah berlangsung cepat dan terlokalisasi pada jaringan lorong pelarutan.
2. Interpretasi geolistrik masih bersifat asumsi dan baru dapat dibuktikan setelah dilakukan pemboran.
3. Daerah penelitian tersusun atas empat mikrofasies, yaitu *Large Benthic Foraminifera Packstone, Large Benthic Foraminifera Wackestone, Mudstone,* dan *Red Algae Wackestone*. Keempat mikrofasies tersebut mengalami proses diagenesis yang serupa dengan intensitas berbeda, meliputi mikritisasi mikrobial, pelarutan, neomorfisme, dolomitisasi, dan kompaksi.
4. Mikrofasies *LBF Packstone* yang memiliki tekstur *grain-supported* menunjukkan porositas rata-rata 26.85% (*high porosity*) dengan jenis *vuggy porosity* dan *moldic porosity*.
5. Mikrofasies *Mudstone*, *Large Benthic Foraminifera Wackestone*, dan *Red Algae Wackestone* memiliki tekstur *mud-supported* dan umumnya memiliki porositas lebih rendah, yang secara berurutan: 3.65% - 7.50%, 5.20%, dan 4.16%. Selain dipengaruhi tekstur, mikrofasies ini didominasi oleh proses neomorfisme dan kompaksi yang cenderung mengurangi porositas, menjadikannya kurang potensial atau tidak disarankan untuk eksplorasi akuifer.
6. Secara umum, fasies dengan tekstur *grain-supported* dan ukuran butir yang lebih kasar menunjukkan porositas yang lebih baik dibandingkan tekstur *mud-supported*, namun masih perlu dikaji lebih lanjut dengan jumlah sampel yang lebih banyak.
7. Penelitian ini memberikan gambaran sekilas bahwa fasies dan proses diagenesis berpengaruh terhadap porositas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan Program Studi Teknik Geologi Universitas AKPRIND Indonesia atas bimbingan dan dukungan selama penelitian, serta kepada rekan mahasiswa dan *reviewer* atas bantuan dan masukan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Alfayed, M., Nur'aini, S., Rizqi, A.F. (2020). Karakteristik Batuan Karbonat sebagai Potensi Batuan Reservoir Berdasarkan Analisis Porositas dan Petrografi pada Formasi Prupuh, Lamongan, Jawa Timur. *GEODA*, *1*(1), 79–85.

Arif, S., Heriyad, N.W.A.A.T., Patra, M.R.D., Budrianto, N. (2021). Analisis Korelasi antara Porositas dan Fasies Batuan Karbonat (Studi Kasus di Formasi Wonosari dan Kubah Bayah). *Jurnal Teknologi Technoscientia*, *14*(1). DOI: https://doi.org/10.34151/technoscientia.v14i1.3612

Choquette, P. W. & Pray, L. C. (1970). Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. *AAPG Bulletin*, *54*, 207–250.

Djaendi. (2004). Air tanah pada kars dan perlindungannya. 33rd Annual Convention, *Indonesian Association of Geologists, pp. 181-190.*

Domenico, P.A. & F.W Schwartz. (1990). *Physical and Chemical Hydrogeology.* New York: John Wiley Sons.

Embry, A. F., & Klovan, J. E. (1971). A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, *19*, 730–781.

Palacky, G. (1987). Resistivity Characteristics of Geological Targets. In M. Nabighian (Ed.), *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics: Theory* (pp. 53–129). Society of Exploration Geophysicists.

Scholle, P. A., & Ulmer-Scholle, D. S. (2003). *A Color Guide to the Petrography of Carbonate Rocks: Grains, Textures, Porosity, Diagenesis*. American Association of Petroleum Geologists.

Surono. (2009). Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral,* .

Todd, D. K. (1980). *Groundwater Hydrology* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Tucker, M.E., & Wright, V.P. (1990). *Carbonate Sedimentology*. Blackwell.