



Karakteristik Evolusi Sistem Karbonat Formasi Wonosari di Daerah Giritontro, Wonogiri, Jawa Tengah, Indonesia

Ernst Zefanya Kristianto^{1*}

¹ Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN "Veteran" Yogyakarta, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3329>

Article Info:

Received : 27 Juli 2026
Revised : 15 Agustus 2026
Accepted : 25 Agustus 2026
Published : 30 September 2026

Correspondence:

Ernst Zefanya Kristianto

Phone:

Abstract: The Wonosari Formation is one of the major Miocene carbonate units developed in the Southern Mountains Zone of Java and records changes in depositional conditions during the evolution of the carbonate system. However, the relationship between changes in lithofacies, age, paleobathymetry, and hydrodynamic conditions of the Wonosari Formation in the Giritontro area has not been comprehensively documented. This study aims to identify the lithofacies characteristics, age, paleobathymetry, and depositional environment of the Wonosari Formation in Giritontro, Wonogiri, and its surroundings. The study was conducted through geological mapping over an area of 25 km² at a scale of 1:25,000, covering 171 observation points, along with petrographic, micropaleontological, and calcimetric analyses of representative samples. The study area consists of packstone and wackestone limestone units. The packstone unit is predominantly grain-supported and, based on planktonic foraminifera, is interpreted as N12–N13 in age, while the benthic foraminiferal assemblage indicates an outer neritic environment with an estimated paleobathymetry of approximately 100–200 m. The wackestone unit is characterized by a mud-supported texture, is interpreted as N14–N15 in age, and was deposited in a middle neritic zone with an estimated paleobathymetry of approximately 20–100 m. Calcimetric analysis indicates CaCO₃ contents of 97.2% at LP 106 and 95.6% at LP 77. Stratigraphic relationships and paleobathymetric data indicate a relative shallowing trend from the outer neritic to the middle neritic zone. Variations in packstone–wackestone lithofacies, along with the occurrence of ripple marks and bioturbation, indicate fluctuations in hydrodynamic conditions during sedimentation. The results show that the development of the Wonosari Formation carbonate system in the Giritontro area was associated with changes in paleobathymetry and hydrodynamic conditions during the Miocene.

Keywords: Limestone; Wonosari Formation; Karst; Depositional Environment; Stratigraphy.

Citation: Kristianto, E. Z. (2026). Karakteristik Evolusi Sistem Karbonat Formasi Wonosari di Daerah Giritontro, Wonogiri, Jawa Tengah, Indonesia. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(4), 5930–5942. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3329>

Pendahuluan

Pulau Jawa bagian selatan merupakan bagian dari sistem geologi yang perkembangannya berkaitan dengan interaksi Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Aktivitas tektonik, vulkanisme, dan sedimentasi sejak Tersier menghasilkan perkembangan busur magmatik dan cekungan sedimentasi di

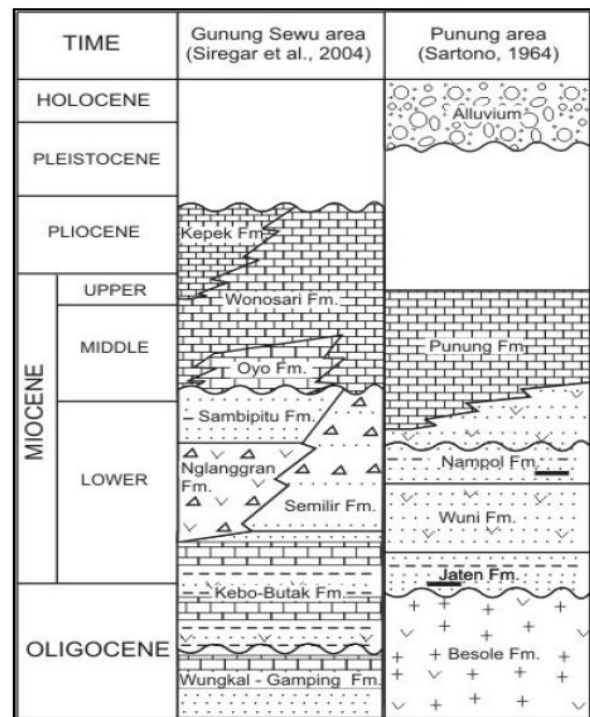
sepanjang Jawa bagian selatan (Bemmelen, 1949; Hamilton, 1979; Hall, 2012). Perubahan kondisi tektonik dan sedimentasi tersebut selanjutnya memengaruhi perkembangan satuan vulkanik, vulkanoklastik, klastik, serta karbonat yang menyusun Zona Pegunungan Selatan. Zona Pegunungan Selatan Jawa tersusun oleh rangkaian batuan vulkanik, vulkanoklastik, klastik, dan

karbonat yang merekam perubahan kondisi sedimentasi sejak Tersier (Sartono, 1964; Surono dkk., 1992). Salah satu satuan karbonat utama yang berkembang di zona ini adalah Formasi Wonosari.

Dalam penelitian ini, evolusi sistem karbonat didefinisikan sebagai perubahan karakter dan kondisi pengendapan karbonat secara temporal maupun spasial yang direkam melalui variasi litofasies, tekstur deposisional, umur relatif, paleobatimetri, dan kondisi hidrodinamika. Perubahan tersebut dapat ditelusuri melalui hubungan stratigrafi antarsatuan karbonat, perubahan tekstur dari *grain-supported* hingga *mud-supported*, serta perubahan asosiasi foraminifera yang mencerminkan umur dan kedalaman pengendapan. Oleh karena itu, integrasi data litologi, stratigrafi, petrografi, mikropaleontologi, dan struktur sedimen diperlukan untuk merekonstruksi evolusi sistem karbonat Formasi Wonosari di daerah Giritontro.

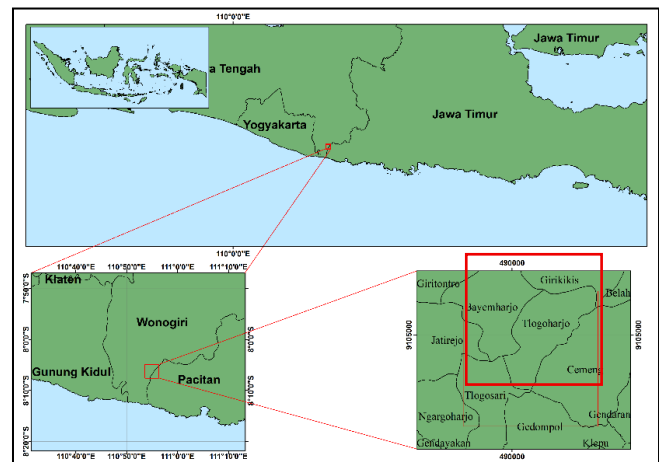
Rekonstruksi perkembangan sistem karbonat memerlukan integrasi data stratigrafi, karakter litologi, tekstur deposisional, struktur sedimen, serta kandungan fosil. Pada batuan karbonat, perubahan tekstur dan komponen penyusun dapat digunakan untuk menginterpretasikan variasi kondisi hidrodinamika, sedangkan foraminifera planktonik dan bentonik dapat memberikan informasi mengenai umur relatif dan paleobatimetri. Integrasi berbagai parameter tersebut memungkinkan perubahan lingkungan pengendapan dianalisis secara lebih komprehensif dalam kerangka stratigrafi daerah penelitian (Boggs, 2014).

Daerah penelitian termasuk dalam wilayah Peta Geologi Lembar Surakarta dan tersusun oleh satuan batuan berumur Tersier hingga Kuarter dengan evolusi geologi yang kompleks. Satuan tertua adalah Formasi Wungkal berumur Eosen yang tersusun atas batugamping, kemudian diikuti oleh aktivitas magmatik Oligosen Akhir-Miosen Awal yang membentuk batuan beku dasit dan diorit Formasi Mandalika (Surono dkk., 1992). Aktivitas vulkanisme berlanjut pada Miosen Awal dengan pengendapan Formasi Semilir yang didominasi oleh tuf dan breksi batupung, yang selanjutnya ditindih Formasi Jaten berumur akhir Miosen Awal hingga awal Miosen Tengah dengan litologi klastik-karbonatan. Satuan gunungapi Formasi Wuni dan Formasi Nglanggran berkembang secara selaras dan lateral, sebelum akhirnya ditindih oleh satuan karbonat Formasi Wonosari yang mencerminkan lingkungan pengendapan laut dangkal, dengan perbedaan karakter litologi antara batugamping terumbu Formasi Punung dan batugamping berlapis Formasi Wonosari (Bemmelen, 1949; Sartono, 1964). Selain itu, batuan Kuarter berupa endapan gunungapi dari aktivitas Gunung Lawu menutupi sebagian wilayah di bagian timur laut Wonogiri.



Gambar 1. Stratigrafi Daerah Gunung Sewu dan Daerah Punung (Mukti dkk, 2005)

Meskipun perkembangan karbonat Formasi Wonosari telah dibahas pada skala regional, hubungan antara perubahan litofasies, paleobatimetri berbasis foraminifera, dan distribusi spasial satuan karbonat di daerah Giritontro masih belum dijelaskan secara rinci.



Gambar 2. Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi penelitian berada pada Kecamatan Giritontro, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah dan Kecamatan Donorojo, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Lokasi penelitian berada di fisiografi Zona Pegunungan Selatan menurut Van Bemmelen (1949). Pemetaan dilakukan dengan kavling (5 km x 5 km) dengan skala 1:25.000.

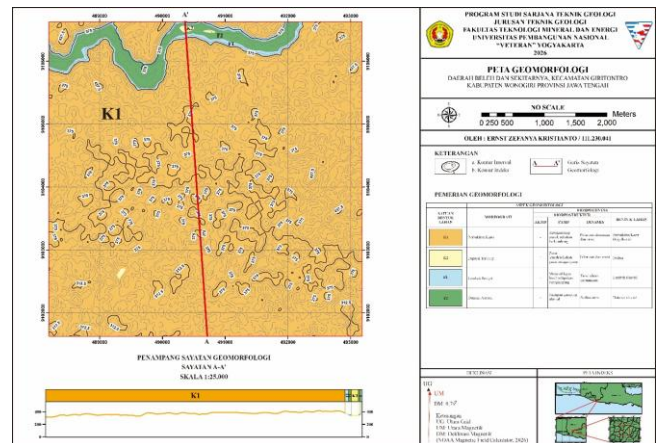
Penelitian mengenai Formasi Wonosari sebelumnya telah dilakukan dalam skala regional. Sartono (1964) membahas stratigrafi dan sedimentasi Pegunungan Selatan Jawa, sedangkan Surono dkk. (1992) menyusun kerangka stratigrafi regional melalui pemetaan geologi Lembar Surakarta. Kajian yang lebih spesifik terhadap sistem karbonat Formasi Wonosari dilakukan oleh Mukti dkk. (2005), yang membahas lingkungan pengendapan karbonat dan morfologi platform di daerah sebelah timur Pacitan. Penelitian-penelitian tersebut memberikan dasar penting mengenai stratigrafi dan perkembangan karbonat Formasi Wonosari pada skala regional. Namun, hubungan antara variasi litofasies, umur relatif berdasarkan foraminifera planktonik, paleobatimetri berdasarkan foraminifera bentonik, karakter petrografi, kondisi hidrodinamika, serta distribusi spasial satuan karbonat di daerah Giritontro belum diintegrasikan secara rinci dalam suatu kerangka evolusi sistem karbonat. Penelitian ini terletak pada integrasi pemetaan geologi rinci dengan analisis petrografi, mikropaleontologi, kalsimetri, dan struktur sedimen untuk merekonstruksi perkembangan sistem karbonat Formasi Wonosari secara temporal dan spasial di daerah Giritontro. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi karakteristik litofasies, menentukan umur relatif dan paleobatimetri satuan karbonat, serta mengevaluasi perubahan kondisi hidrodinamika untuk merekonstruksi evolusi lingkungan pengendapan Formasi Wonosari di daerah Giritontro.

Metode

Penelitian dilakukan melalui pemetaan geologi pada area seluas 25 km² dengan skala 1:25.000 yang mencakup 171 lokasi pengamatan. Observasi lapangan meliputi identifikasi geomorfologi, deskripsi litologi dan singkapan, pengamatan struktur sedimen, pengukuran penampang stratigrafi, serta pengambilan sampel batuan. Analisis laboratorium meliputi petrografi untuk menentukan tekstur dan komponen penyusun batuan karbonat, analisis mikropaleontologi untuk menentukan umur relatif dan paleobatimetri, serta analisis kalsimetri untuk menentukan kandungan CaCO₃. Klasifikasi tekstur batuan karbonat mengacu pada Dunham (1962), sedangkan klasifikasi komposisional petrografi mengacu pada Folk (1962). Penentuan umur relatif dilakukan berdasarkan biozonasi foraminifera planktonik Blow (1969), sedangkan estimasi paleobatimetri menggunakan asosiasi foraminifera bentonik berdasarkan Tipsword dkk. (1966). LP 106 dan LP 77 digunakan sebagai lokasi representatif karena masing-masing mewakili karakter satuan packstone dan wackestone berdasarkan hubungan stratigrafi, kualitas singkapan, dan distribusinya di daerah penelitian.

Hasil dan Diskusi

Berdasarkan interpretasi topografi dan pengamatan lapangan dengan mengacu pada klasifikasi Van Zuidam (1985), geomorfologi daerah penelitian dikelompokkan berdasarkan aspek genetika, morfologi, proses geomorfik dominan, dan material penyusun. Hasil analisis menunjukkan dua kelompok proses geomorfologi utama, yaitu karst dan fluvial, yang selanjutnya dibedakan menjadi empat bentuk lahan: perbukitan karst atau kegelkarst (K1), dolina (K2), lembah fluvial (F1), dan dataran aluvial (F2).



Gambar 3. Peta Geomorfologi Daerah Penelitian

Bentuk lahan perbukitan karst atau kegelkarst merupakan bentang alam yang dicirikan oleh kumpulan bukit-bukit berbentuk kerucut hingga membulat dengan lereng relatif curam dan puncak yang membulat. Pada peta topografi, bentuk lahan ini ditunjukkan oleh kontur tertutup yang rapat dengan pola tersebar tidak beraturan. Kemiringan lereng pada bentuk lahan ini umumnya berkisar antara 15°–45°.



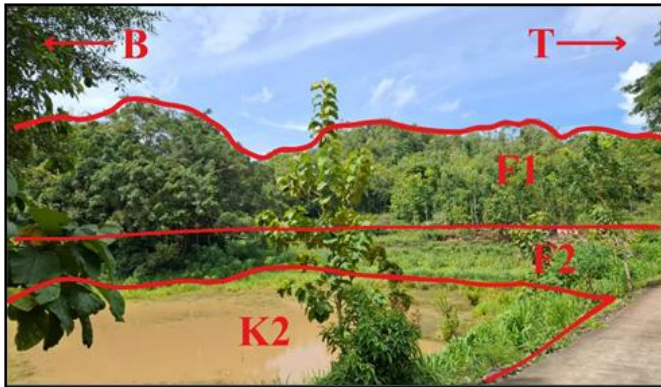
Gambar 4. Satuan Perbukitan Karst

Pembentukan bentuk lahan ini dikontrol oleh proses pelarutan diferensial pada batuan batugamping yang menyebabkan bagian batuan lebih resisten tetap bertahan sebagai tonjolan topografi (Gambar 4), sedangkan bagian yang lebih mudah larut mengalami

penurunan elevasi. Morfodinamis yang berkembang pada bentuk lahan ini didominasi oleh pelarutan dan erosi permukaan, sehingga menghasilkan bentang alam yang kasar dan terjal.

Dolina merupakan bentuk lahan berupa cekungan tertutup berbentuk membulat hingga lonjong yang berkembang akibat proses pelarutan intensif secara vertikal pada batuan karbonat. Pada peta topografi, dolina dikenali melalui pola kontur tertutup yang membentuk depresi lokal dengan elevasi lebih rendah dibandingkan area sekitarnya.

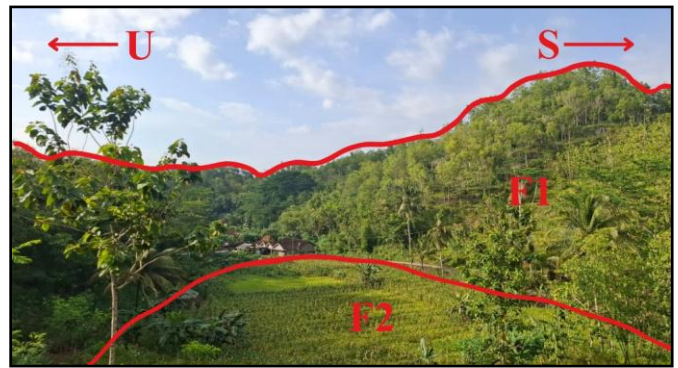
Secara kenampakan, dolina berfungsi sebagai tempat akumulasi air limpasan sementara sebelum terinfiltrasi ke bawah permukaan melalui rekahan atau pori-pori batuan (Gambar 5). Kemiringan lereng pada area dolina relatif landai hingga miring, dengan morfodinamis berupa pelarutan, sedimentasi lokal, dan infiltrasi. Kehadiran dolina mengindikasikan tingkat perkembangan karstifikasi yang cukup tinggi pada daerah penelitian.



Gambar 5. Satuan Depresi Tertutup/Dolina

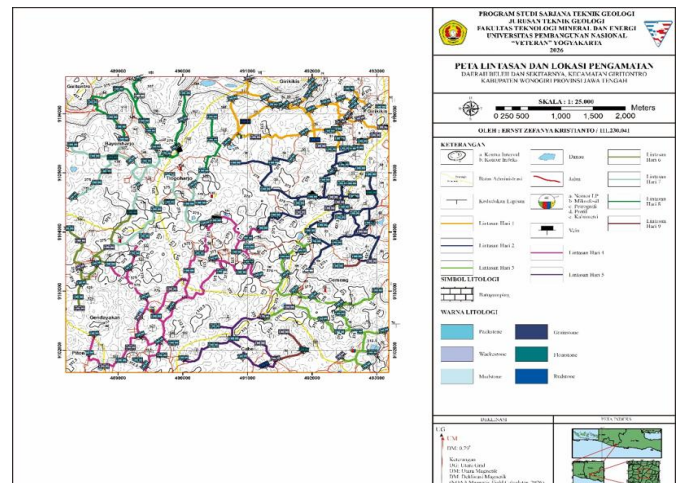
Lembah fluvial merupakan bentuk lahan memanjang yang berkembang akibat proses erosi vertikal oleh aliran sungai atau aliran permukaan. Pada peta topografi, bentuk lahan ini dicirikan oleh pola kontur berbentuk huruf "V" yang mengarah ke hulu serta memiliki elevasi lebih rendah dibandingkan area sekitarnya.

Lembah pada daerah penelitian umumnya berbentuk sempit dengan lereng landai hingga miring (Gambar 6). Morfodinamis utama pada bentuk lahan ini adalah erosi aliran permukaan, yang mengikis material sepanjang jalur drainase dan membentuk lembah memanjang. Keberadaan lembah fluvial menunjukkan bahwa meskipun daerah berkembang pada lingkungan karst, masih terdapat sebagian aliran permukaan yang belum sepenuhnya masuk ke sistem drainase bawah permukaan.



Gambar 6. Satuan Lembah Fluvial

Dataran aluvial merupakan bentuk lahan relatif datar yang terbentuk akibat pengendapan material hasil transportasi aliran sungai pada daerah dengan energi transport rendah. Bentuk lahan ini umumnya berkembang pada bagian dasar lembah atau area dataran rendah di sekitar jalur drainase utama. Pada peta topografi, dataran aluvial dicirikan oleh kontur yang renggang dan perubahan elevasi yang relatif kecil. Bentuk lahan ini memiliki morfologi relatif datar hingga sangat landai dan tersusun oleh material lepas hasil transportasi fluvial berukuran halus hingga sedang. Proses geomorfik dominan berupa sedimentasi fluvial, sehingga dataran aluvial berkembang sebagai area akumulasi material hasil erosi dan transportasi dari daerah yang lebih tinggi.



Gambar 7. Peta Lokasi Pengamatan

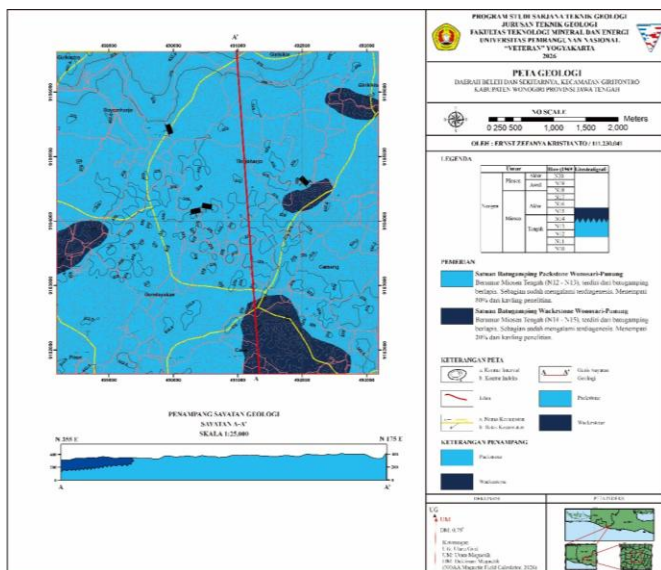
Pemetaan geologi menghasilkan 171 lokasi pengamatan yang tersebar di seluruh daerah penelitian (Gambar 7). Berdasarkan karakteristik megaskopis, tekstur deposisional, komponen penyusun, dan hubungan stratigrafinya, batuan karbonat Formasi Wonosari di daerah penelitian dibedakan menjadi dua satuan utama, yaitu satuan batugamping packstone dan satuan batugamping wackestone. Satuan packstone mendominasi sekitar $\pm 80\%$ daerah penelitian,

sedangkan wackestone menempati sekitar $\pm 20\%$ daerah penelitian.

Umur			Blow (1969)	Litostratigrafi
Neogen	Pliosen	Akhir	N20	
		Awal	N19	
			N18	
	Miosen	Akhir	N17	
			N16	
			N15	
			N14	
		Tengah	N13	
			N12	
			N11	
			N10	

Gambar 8. Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian

Secara stratigrafi lokal, packstone diinterpretasikan sebagai bagian yang relatif lebih tua dibandingkan wackestone. Packstone memiliki tekstur *grain-supported*, sedangkan wackestone memiliki tekstur *mud-supported*. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya perubahan kondisi pengendapan karbonat, terutama berkaitan dengan jumlah lumpur karbonat dan tingkat energi lingkungan ketika batuan terbentuk.



Gambar 9. Peta Geologi Daerah Penelitian

Satuan Batugamping Packstone

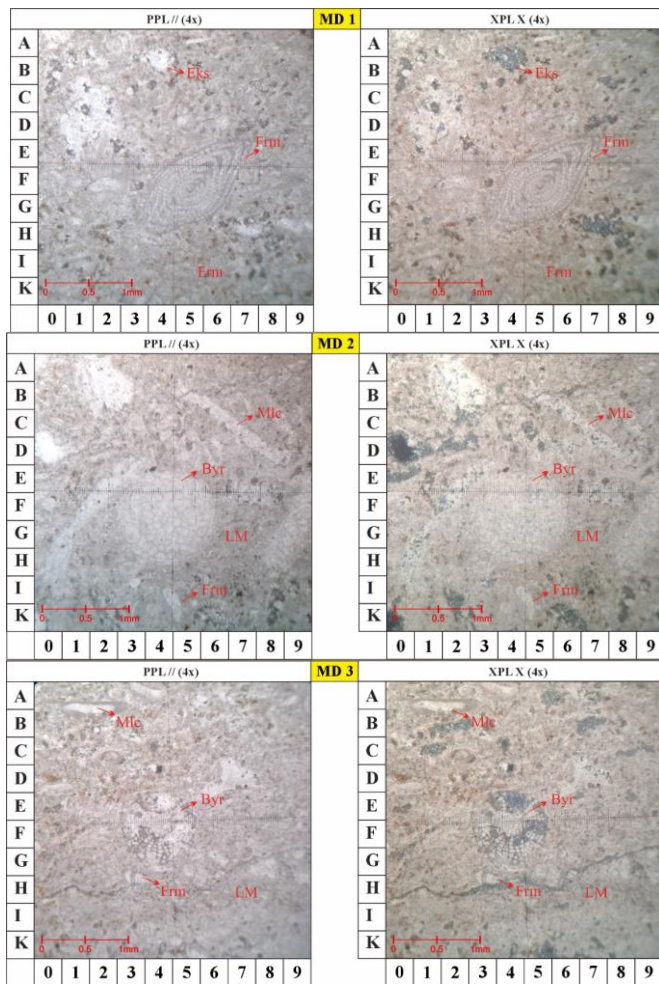
Packstone merupakan litologi yang paling dominan pada daerah penelitian dengan persebaran sekitar $\pm 80\%$. Secara megaskopis, packstone umumnya berwarna putih hingga putih kecokelatan pada kondisi lapuk. Batuan memiliki tekstur karbonat dengan butiran yang relatif jelas dan menunjukkan sifat *grain-supported*. Komponen penyusun batuan terdiri atas material skeletal maupun non-skeletal yang terikat oleh matriks

karbonat dan semen. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa material karbonat yang terakumulasi relatif cukup banyak sehingga kerangka butir dapat saling bersentuhan dan membentuk *grain-supported*.



Gambar 10. Foto Singkapan dan Litologi Packstone LP 106

Secara megaskopis, batuan ini memiliki deskripsi batuan sedimen karbonat klastik memiliki warna putih sebagai warna segar dan warna coklat untuk warna lapukannya; batuan ini memiliki derajat pembundaran yang menyudut; dengan ukuran sangat halus - halus (0.0625-0.25 mm) (Wentworth, 1922); didominasi oleh *grain supported*; dengan kemas terbuka; Memiliki komposisi Allochem berupa Skeletal, *lithoclast*; Mikrit: Kalsit, *Lime mud*; S: Karbonat; Didapatkan nama Packstone (Embry & Klovan, 1972); dan memiliki struktur perlapisan. Tekstur *grain-supported* pada packstone mengindikasikan kondisi pengendapan dengan energi yang relatif lebih tinggi dibandingkan lingkungan pembentukan wackestone. Energi yang cukup memungkinkan material lumpur karbonat tersingkir atau tidak terakumulasi dalam jumlah dominan, sementara butiran karbonat tetap mengalami pengendapan dan pengorganisasian sebagai komponen utama batuan.

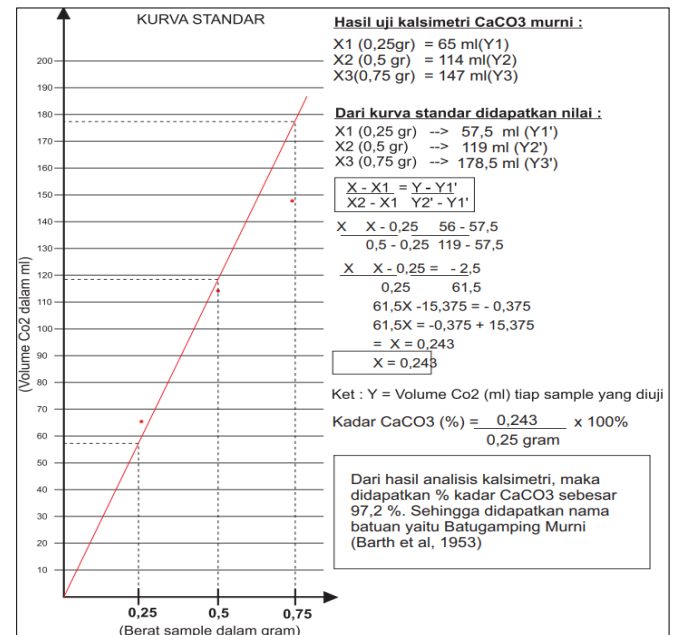


Gambar 11. Hasil Analisis Petrografi LP 106 (Singkatan: Byr: Bryozoa; Frm: Foraminifera; LM: Lime Mud; Eks: Ekstraklas; Mlc: Moluska; MD: Medan Pandang)

Hasil analisis petrografi LP 106 (Gambar 11) menunjukkan tekstur *grain-supported* dengan kandungan alokem yang melimpah dan matriks mikrit yang masih terawetkan di antara butiran. Komponen bioklastik yang teridentifikasi antara lain foraminifera, moluska, dan bryozoa, disertai ekstraklas dalam jumlah terbatas. Berdasarkan klasifikasi Dunham (1962), karakter tekstural tersebut termasuk packstone, sedangkan berdasarkan klasifikasi komposisional Folk (1962) dapat dikategorikan sebagai biomikrit. Tekstur *grain-supported* dengan keberadaan matriks mikrit menunjukkan kondisi hidrodinamika relatif lebih tinggi dibandingkan wackestone, tetapi belum cukup kuat untuk menghilangkan seluruh lumpur karbonat dari sistem pengendapan.

Analisis kalsimetri pada sampel LP 106 menunjukkan kandungan CaCO_3 sebesar 97,2% (Gambar 12). Nilai tersebut menunjukkan dominasi material karbonat dengan kandungan komponen nonkarbonat yang relatif rendah. Berdasarkan klasifikasi Barth (1953), kemurnian batugamping yang

digunakan dalam penelitian ini, sampel LP 106 termasuk kategori batugamping dengan kemurnian karbonat sangat tinggi. Hasil kalsimetri tersebut konsisten dengan pengamatan petrografi yang menunjukkan dominasi komponen karbonat pada butiran maupun matriks batuan.

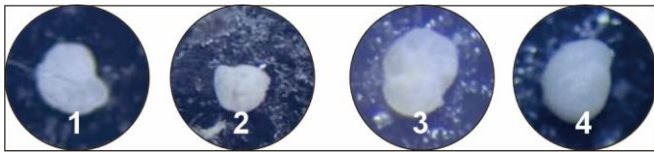


Gambar 12. Hasil Analisis Kalsimetri LP 106

Pada LP 106 didapatkan empat fosil foraminifera planktonik yang berupa *Globorotalia lobata*, *Globigerina druryi*, *Globorotalia linguaensis*, dan *Globigerinoides sicanus* (Gambar 14). Fosil ini dapat menjadi penanda adanya FAD (First Appearance Datum) berkisar N12 dan LAD (Last Appearance Datum) N13 (Gambar 13). Fosil dari penanda FAD adalah *Globorotalia linguaensis* dan fosil penanda dari LAD adalah *Globorotalia lobata*. Dari fosil tersebut maka didapatkan umur dari satuan batuan Batugamping Packstone Formasi Wonosari adalah Miosen Tengah (N12-N13).



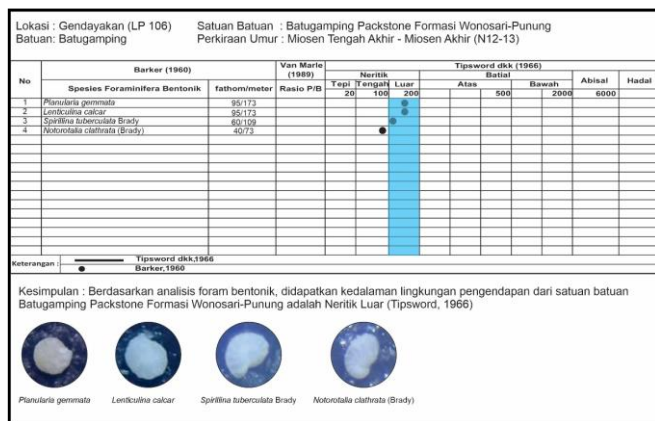
Gambar 13. Analisis Mikrofosil Planktonik LP 106



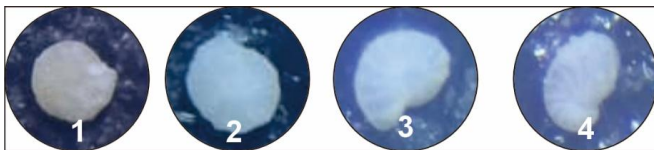
Gambar 14. Mikrofosil Planktonik LP 106. (1)

Globorotalia lobata, (2) *Globigerina druryi*, (3) *Globorotalia linguaensis*, dan (4) *Globigerinoides sicinus*

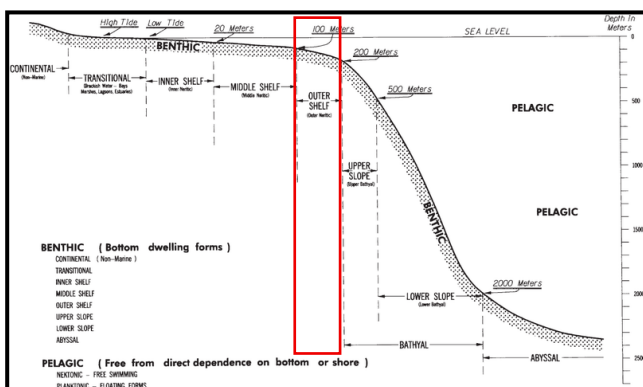
Analisis foraminifera bentonik pada LP 106 mengidentifikasi *Planularia gemmata*, *Lenticulina calcar*, *Spirillina tuberculata* Brady, dan *Notorotalia clathrata* (Brady) (Gambar 15–16). Berdasarkan asosiasi foraminifera bentonik dan klasifikasi paleobatimetri Tipsword (1966), interval tersebut diinterpretasikan terendapkan pada zona neritik luar (*outer shelf/outer neritic*) dengan estimasi kedalaman sekitar 100–200 m.



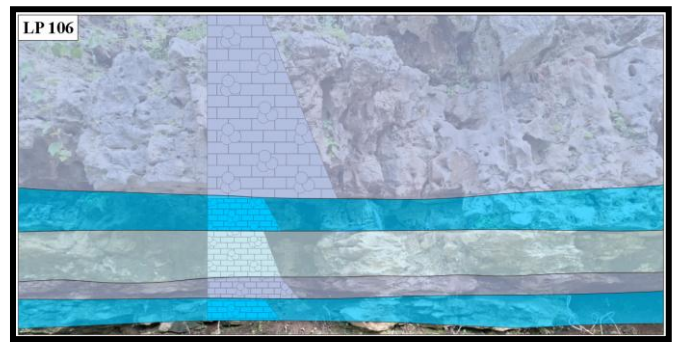
Gambar 15. Analisis Mikrofosil Bentonik LP 106



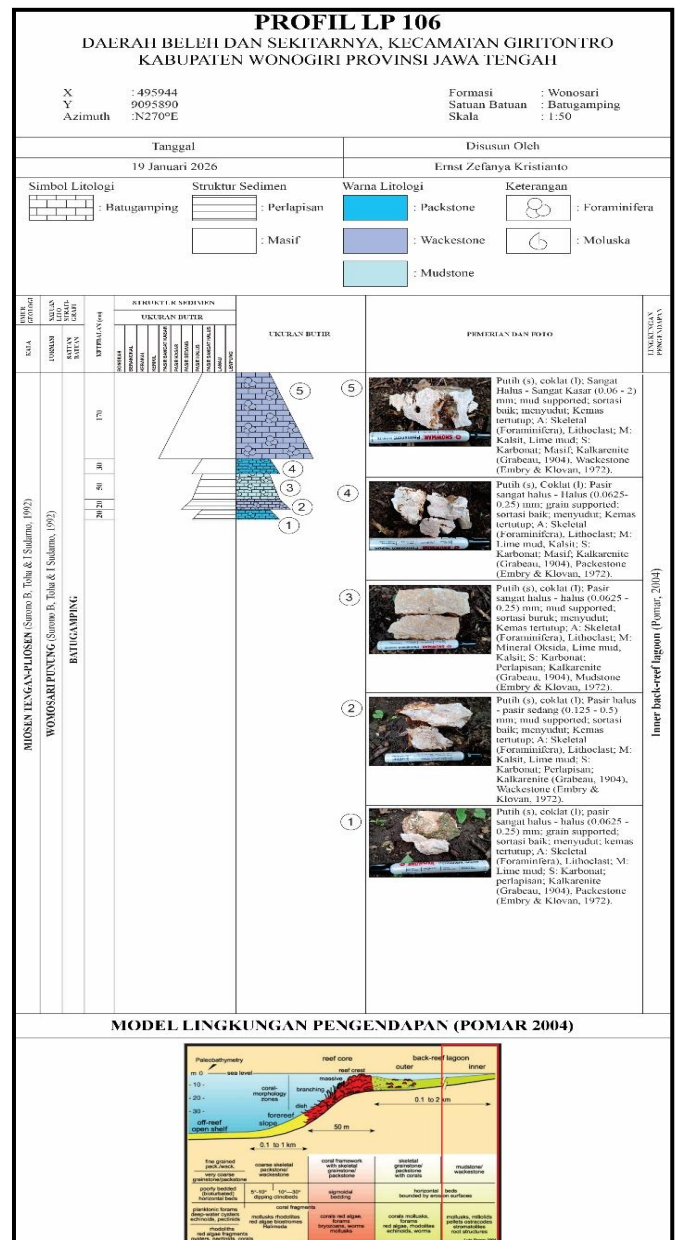
Gambar 16. Mikrofosil Bentonik LP 106. (1) *Planularia gemmata*, (2) *Lenticulina calcar*, (3) *Spirillina tuberculata* Brady, dan (4) *Notorotalia clathrata* (Brady)



Gambar 17. Zona Bathimetri Pada LP 106 (Tipsword, 1966)



Gambar 18. Foto Profil Singkapan LP 106



Gambar 19. Profil Singkapan LP 106

Profil stratigrafi LP 106 menunjukkan variasi fasies karbonat yang terdiri atas packstone, wackestone,

dan mudstone dengan perubahan tekstur dari *grain-supported* hingga *mud-supported* (Gambar 18-19). Perubahan tekstur tersebut mencerminkan fluktuasi kondisi hidrodinamika selama sedimentasi, yaitu fase dengan energi relatif lebih tinggi yang memungkinkan dominasi butiran karbonat dan fase berenergi lebih rendah yang memungkinkan akumulasi lumpur karbonat. Kehadiran moluska dan foraminifera menunjukkan berlangsungnya sedimentasi dalam lingkungan laut. Berdasarkan data paleobatimetri foraminifera bentonik, lingkungan pengendapan LP 106 lebih tepat diinterpretasikan berada pada zona neritik luar dengan estimasi kedalaman sekitar 100–200 m.

Dari data stratigrafi dan mikropaleontologi menunjukkan bahwa LP 106 merupakan bagian dari sistem karbonat pada zona neritik luar (*outer neritic*). Estimasi kedalaman 100–200 m berdasarkan foraminifera bentonik memberikan kendala paleobatimetri yang lebih spesifik dibandingkan interpretasi energi berdasarkan tekstur batuan. Dengan demikian, variasi packstone, wackestone, dan mudstone pada profil LP 106 ditafsirkan terutama merekam perubahan kondisi hidrodinamika lokal dalam lingkungan neritik luar, bukan perubahan kedalaman secara langsung. Kehadiran ekstraklas yang mengandung plagioklas pada sayatan tipis menunjukkan adanya masukan material nonkarbonat ke dalam sistem, tetapi sumber material tersebut belum dapat ditentukan secara pasti hanya berdasarkan data petrografi.

Satuan Batugamping Wackestone

Wackestone merupakan satuan karbonat yang menempati sekitar $\pm 20\%$ daerah penelitian dan secara stratigrafi diinterpretasikan lebih muda dibandingkan packstone. Secara megaskopis, wackestone berwarna putih pada kondisi segar dan berubah menjadi cokelat pada kondisi lapuk. Ukuran komponen penyusun berkisar antara 0,25–1 mm. Berbeda dengan packstone, wackestone menunjukkan tekstur *mud-supported*, dengan material lumpur karbonat atau micrite menjadi bagian penting dalam penyusunan batuan. Komponen skeletal dan lithoclast juga ditemukan di dalam massa dasar karbonat.

Secara megaskopis, batuan ini memiliki deskripsi batuan sedimen karbonat klastik memiliki warna putih sebagai warna segar dan warna cokelat untuk yang warna lapukannya; batuan ini memiliki derajat pembundaran yang menyudut; dengan ukuran pasir sedang - kasar (0,25–1 mm) (Wentworth, 1922); didominasi oleh *mud supported*; dengan kemas terbuka; Memiliki komposisi Allochem berupa: skeletal, lithoclast; Mikrit: kalsit, lime mud; dan Sparit: karbonat; Didapatkan nama Wackestone (Embry & Klovan, 1972); Memiliki struktur perlapisan.



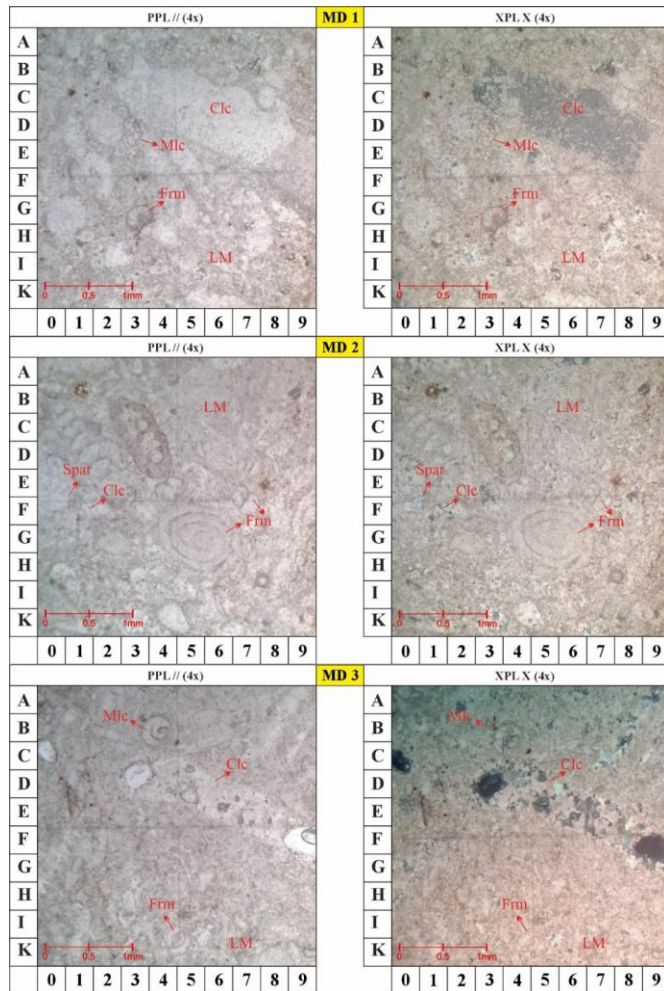
Gambar 20. Foto Singkapan dan Litologi Wackestone LP 77

Dominasi massa dasar pada wackestone menunjukkan bahwa lingkungan pengendapan memiliki energi yang relatif lebih rendah. Pada kondisi energi rendah, material berukuran halus berupa lumpur karbonat dapat terendapkan dan terakumulasi tanpa mengalami pengangkutan kembali secara intensif. Kondisi tersebut berbeda dengan pembentukan packstone yang lebih dipengaruhi oleh kondisi dengan energi cukup untuk mempertahankan dominasi butiran karbonat.

Hasil analisis petrografi LP 77 (Gambar 21) menunjukkan tekstur *mud-supported* dengan kandungan butiran skeletal lebih dari 10% dan massa dasar yang didominasi mikrit. Berdasarkan klasifikasi Dunham (1962), batuan diklasifikasikan sebagai wackestone, sedangkan berdasarkan klasifikasi Folk (1962) termasuk biomikrit karena komponen butirannya didominasi fragmen bioklastik dalam matriks mikrit. Dominasi lumpur karbonat menunjukkan kondisi hidrodinamika relatif rendah yang memungkinkan material halus tetap terakumulasi selama proses pengendapan.

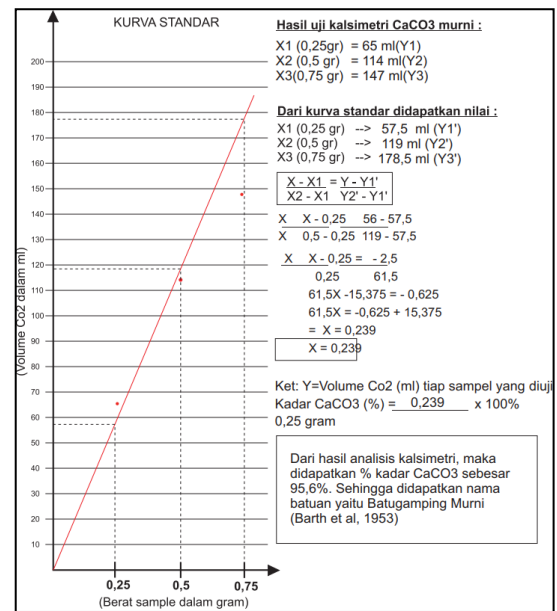
Hasil analisis kalsimetri pada sampel LP 77 di daerah Cemeng menunjukkan kandungan CaCO_3 sebesar 95,6% (Gambar 22). Nilai tersebut menunjukkan dominasi material karbonat dengan proporsi komponen nonkarbonat yang relatif rendah. Berdasarkan

klasifikasi Barth (1953), kemurnian batugamping yang digunakan dalam penelitian ini, sampel LP 77 termasuk batugamping dengan kandungan karbonat sangat tinggi. Hasil kalsimetri tersebut konsisten dengan pengamatan petrografi yang menunjukkan dominasi komponen karbonat pada butiran maupun matriks batuan.

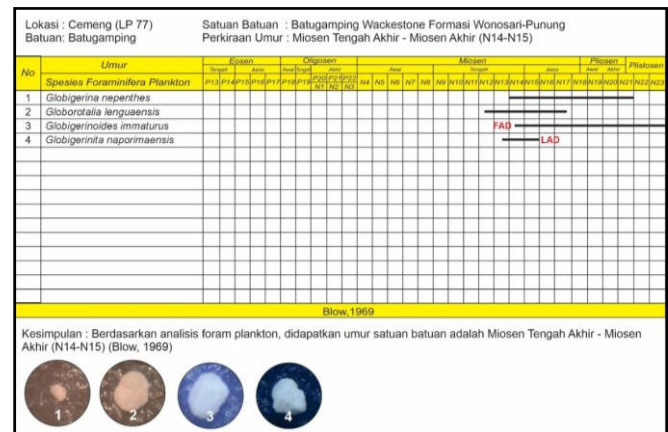


Gambar 21. Hasil Analisis Petrografi LP 77 (Singkatan: Clc: Kalsit; Frm: Foraminifera; LM: Lime Mud; Spar: Sparit; Mlc: Moluska.; MD: Medan Pandang)

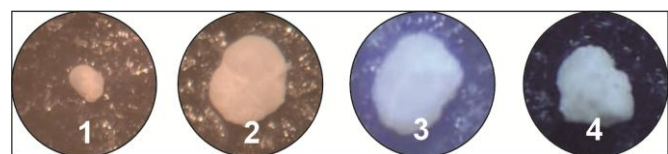
Pada Lokasi Pengamatan 77 didapatkan empat fosil foraminifera planktonik yang berupa *Globigerina nepenthes*, *Globorotalia linguaensis*, *Globigerinoides immaturus*, dan *Globigerinita naporimaensis* (Gambar 23) Fosil ini dapat menjadi penanda adanya FAD (First Appearance Datum) berkisar N14 dan LAD (Last Appearance Datum) N15 (Gambar 24). Fosil dari penanda FAD adalah *Globigerinoides immaturus* dan fosil penanda dari LAD adalah *Globigerinita naporimaensis*. Dari fosil tersebut maka didapatkan umur dari satuan batuan Batugamping Wackestone Formasi Wonosari adalah Miosen Tengah – Miosen Akhir (N14-N15).



Gambar 22. Hasil Analisis Kalsimetri LP 77



Gambar 23. Hasil Analisis Mikrofosil Planktonik LP 77



Gambar 24. Hasil Mikrofosil Planktonik pada LP 77. (1) *Globigerina nepenthes*, (2) *Globorotalia linguaensis*, (3) *Globigerinoides immaturus*, dan (4) *Globigerinita naporimaensis*.

Analisis foraminifera bentonik pada LP 77 mengidentifikasi *Peneroplis pertusus* (Forskal), *Cassidulinoides parkerianus* (Brady), *Eggerella scabra* (Williamson), dan *Haplophragmoides canariensis* (d'Orbigny) (Gambar 25–26). Berdasarkan asosiasi tersebut dan klasifikasi Tipsword dkk. (1966), paleobatimetri LP 77 diperkirakan berkisar antara 20–100 m dan termasuk zona neritik tengah (*middle shelf/middle neritic*).

Lokasi : Cemeng (LP 77)

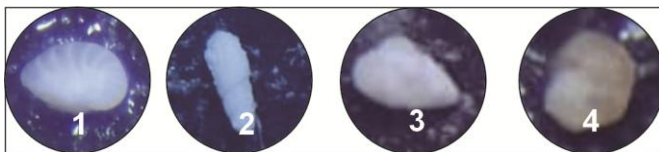
Batuan: Batugamping

Satuan Batuan : Batugamping Wackestone Formasi Wonosari-Punung

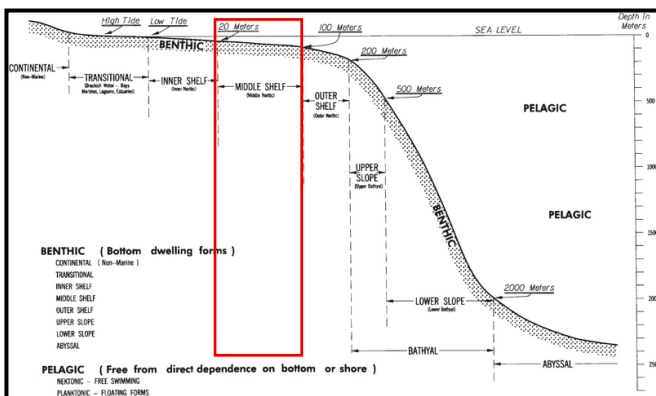
Perkiraan Umur : Miosen Tengah Akhir - Miosen Akhir (N14-N15)

No	Spesies Foraminifera Bentonik	fathom/meter	Rasio P/B	Van Marle (1989)			Tipsword dkk (1966)				Hadal
				Neritik			Batial		Abisal		
				Tepi	Tengah	Luas	Atas	Bawah			
				20	100	200		500	2000	6000	
1	<i>Peneroplis pertusus</i> (Forskal)	12/22									
2	<i>Cassidulinoides parkerianus</i> (Brady)	45/82									
3	<i>Eggerella scabra</i> (Williamson)	11/20									
4	<i>Haplophragmoides canariensis</i> (d'Orbigny)	50/91									

Gambar 25. Hasil Analisis Mikrofosil Bentonik LP 77



Gambar 26. Hasil Mikrofosil Bentonik pada LP 77. (1) *Peneroplis pertusus* (Forskal), (2) *Cassidulinoides parkerianus* (Brady), (3) *Eggerella scabra* (Williamson), dan (4) *Haplophragmoides canariensis* (d'Orbigny).



Gambar 27. Zona Bathimetri Pada LP 77 (Tipsword, 1966)

Data paleobatimetri menunjukkan bahwa LP 77 berkembang pada zona neritik tengah dengan kedalaman sekitar 20–100 m. Dominasi wackestone dan keberadaan packstone yang masih mengandung lumpur karbonat menunjukkan kondisi hidrodinamika rendah hingga sedang. Karakter tersebut dapat dibandingkan dengan bagian platform karbonat yang relatif terlindung dalam model fasies karbonat, tetapi penentuan posisi fasies secara spesifik sebagai *outer back-reef lagoon* memerlukan bukti tambahan mengenai hubungan spasial terhadap tubuh terumbu.

Profil singkapan LP 77 menunjukkan perselingan litofasies packstone dan wackestone yang mencerminkan perubahan kondisi sedimentasi karbonat. Lapisan 1 dan 3 berupa packstone dengan

tekstur *grain-supported* dan komponen berukuran pasir halus hingga kasar. Karakter tersebut menunjukkan kondisi energi relatif lebih tinggi dibandingkan lapisan wackestone sehingga memungkinkan transportasi dan akumulasi material bioklastik. Namun, arah dan sumber transportasi material bioklastik tersebut belum dapat ditentukan secara pasti hanya berdasarkan karakter tekstur batuan.



Gambar 28. Foto Profil Singkapan LP 77

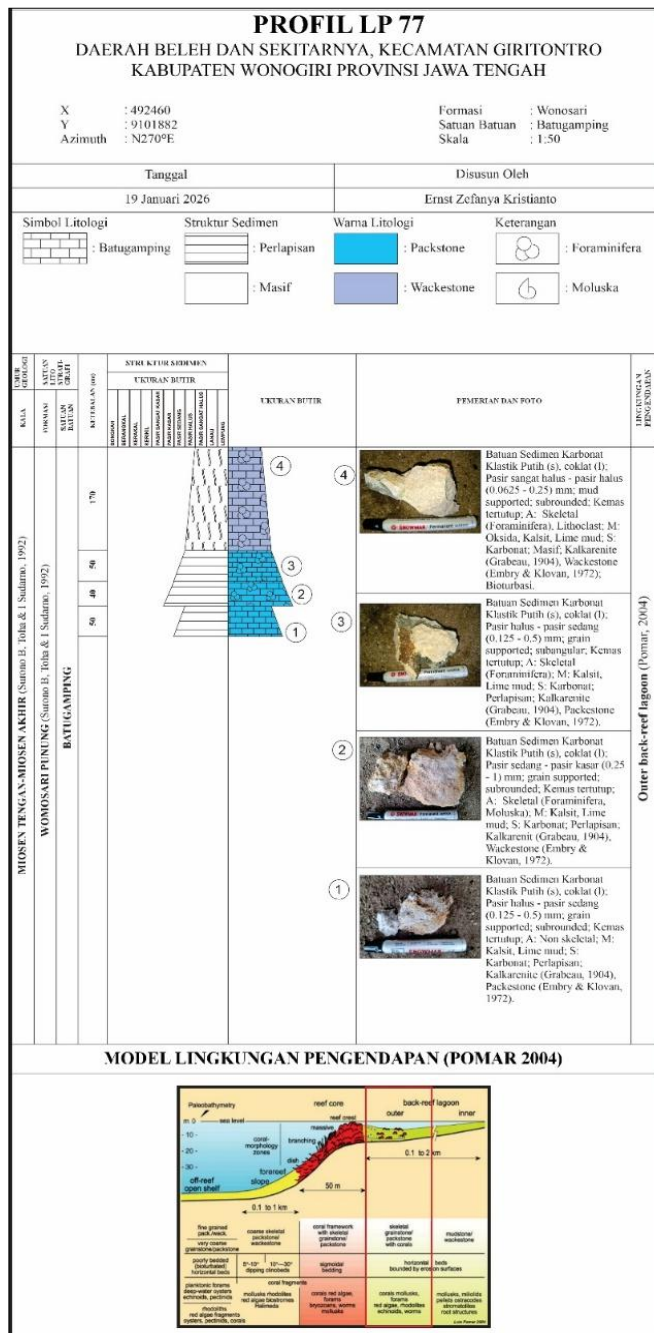
Pada lapisan 2 dan 4 didominasi oleh Wackestone dengan tekstur *mud supported* dan ukuran butir yang lebih halus, yaitu pasir sangat halus hingga halus. Dominasi *lime mud* menunjukkan kondisi energi yang lebih rendah sehingga material karbonat berukuran halus dapat mengendap dari suspensi. Kehadiran moluska dan foraminifera yang terikat dalam matriks mikrit juga mendukung kondisi lingkungan yang relatif terlindung.

Perselingan antara Packstone dan Wackestone tersebut menunjukkan adanya fluktuasi energi pengendapan pada lingkungan karbonat. Perubahan ini dapat berkaitan dengan variasi intensitas arus atau gelombang, suplai material bioklastik dari arah terumbu, maupun perubahan lokal dalam akomodasi sedimen. Berdasarkan model lingkungan pengendapan Pomar (2004), karakter profil LP 77 diinterpretasikan berkembang pada *Outer Back-Reef Lagoon*, yaitu zona transisi yang menerima suplai material bioklastik dari kompleks terumbu tetapi tetap memungkinkan akumulasi lumpur karbonat pada kondisi energi yang lebih rendah.

Analisis foraminifera bentonik menunjukkan bahwa LP 77 terendapkan pada zona neritik tengah dengan estimasi paleobatimetri sekitar 20–100 m berdasarkan Tipsword dkk. (1966). Dalam kerangka paleobatimetri tersebut, perselingan packstone dan wackestone pada profil LP 77 terutama mencerminkan kondisi dari energi relatif lebih tinggi saat pengendapan packstone menuju energi lebih rendah pada interval pengendapan wackestone.

Struktur sedimen yang teridentifikasi di daerah penelitian meliputi *ripple mark* dan bioturbasi. *Ripple*

mark ditemukan pada 11 lokasi pengamatan, yaitu LP 86, LP 100, LP 106, LP 107, LP 116, LP 120, LP 123, LP 130, LP 136, LP 139, dan LP 148 (Gambar 30). Bioturbasi ditemukan pada enam lokasi pengamatan, yaitu LP 62, LP 73, LP 123, LP 131, LP 132, dan LP 139 (Gambar 31). Distribusi kedua struktur tersebut menunjukkan adanya variasi proses fisik dan biologis selama pengendapan karbonat di daerah penelitian.



Gambar 29. Profil Singkapan LP 77

Keberadaan *ripple mark* menunjukkan terjadinya mobilisasi sedimen oleh arus atau gelombang, sedangkan bioturbasi merekam aktivitas organisme

bentik pada sedimen yang belum terkonsolidasi. Dalam asosiasinya dengan fasies packstone-wackestone dan kandungan foraminifera laut, kedua struktur tersebut menunjukkan adanya fluktuasi kondisi hidrodinamika selama sedimentasi karbonat. Interval berenergi relatif lebih tinggi memungkinkan mobilisasi dan penataan ulang butiran karbonat, sedangkan kondisi yang lebih tenang memungkinkan pengendapan lumpur karbonat serta aktivitas organisme bentik. Dengan demikian, asosiasi litofasies dan struktur sedimen di daerah penelitian menunjukkan bahwa perubahan energi pengendapan merupakan salah satu faktor penting dalam perkembangan sistem karbonat Formasi Wonosari (Boggs, 2014).



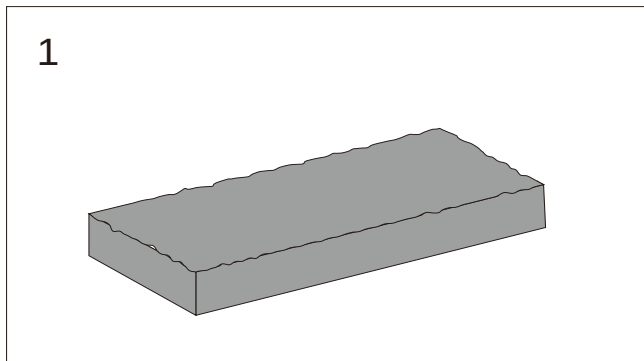
Gambar 30. Kenampakan Struktur Sedimen *Ripple Marks*. Foto *Ripple Marks* pada LP 86 (A), LP 100 (B), LP 106 (C), LP 107 (D), LP 116 (E), LP 120 (F), LP 123 (G), LP 130 (H), LP 136 (I), LP 139 (J), dan LP 148 (K).



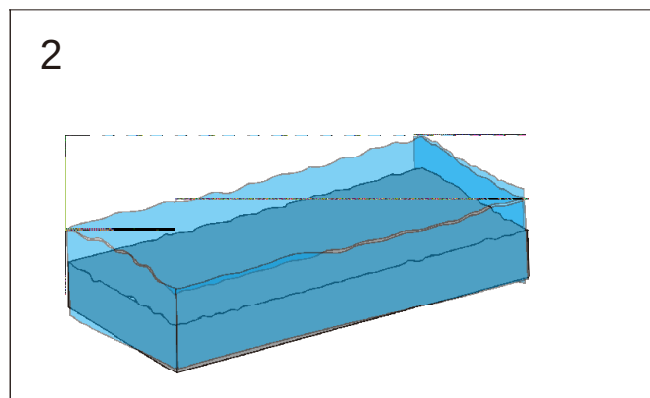
Gambar 31. Kenampakan Bioturbasi. Foto Bioturbasi pada LP 62 (A), LP 73 (B), LP 123 (C), LP 131 (D), LP 132 (E), dan LP 139 (F).

Sejarah Geologi

Sejarah geologi dimulai tahap awal pada rekonstruksi sejarah geologi menggambarkan kondisi dasar sebelum pengendapan Formasi Wonosari (Gambar 30). Kondisi dasar tersebut tidak tersingkap pada daerah penelitian sehingga karakteristik litologinya tidak dapat ditentukan secara langsung berdasarkan data lapangan. Oleh karena itu, bagian dasar pada model sejarah geologi bersifat konseptual dan digunakan hanya sebagai landasan untuk menggambarkan perkembangan sedimentasi karbonat berdasarkan kerangka stratigrafi regional. Model ini tidak dimaksudkan sebagai bukti keberadaan atau geometri *basement* yang teramati secara langsung.



Gambar 32. Model pengendapan awal Formasi Wonosari

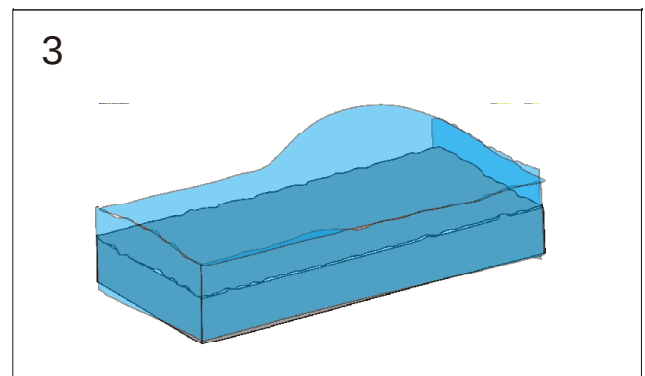


Gambar 33. Model Kemunculan Permukaan Laut

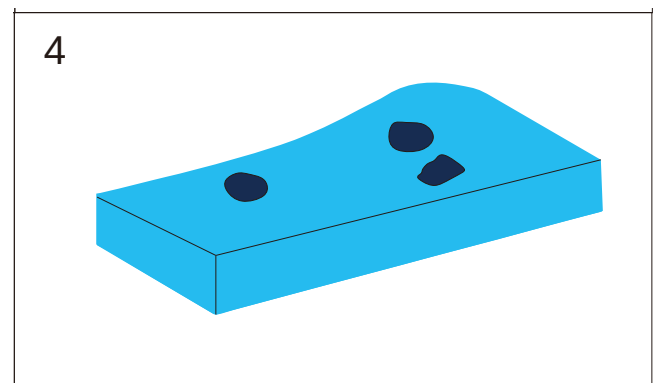
Pada tahap kedua, Pada interval N12-N13 berlangsung sedimentasi satuan batugamping packstone yang di daerah penelitian diinterpretasikan terendapkan pada zona neritik luar dengan estimasi paleobatimetri sekitar 100–200 m. Tekstur *grain-supported* dengan matriks mikrit yang masih terawetkan menunjukkan kondisi hidrodinamika relatif lebih tinggi dibandingkan interval wackestone. Perkembangan sedimentasi karbonat ini dapat berkaitan dengan perubahan muka laut regional, tetapi interpretasi transgresi belum dapat dipastikan hanya berdasarkan

data daerah penelitian dan memerlukan korelasi stratigrafi regional yang lebih luas.

Pada tahap ketiga, variasi distribusi fasies karbonat menunjukkan kemungkinan adanya pengaruh paleotopografi terhadap perkembangan sistem pengendapan. Paleotopografi dapat memengaruhi distribusi energi, ruang akomodasi, serta lokasi akumulasi sedimen karbonat. Namun, data yang tersedia dalam penelitian ini belum cukup untuk menentukan mekanisme pembentukan paleotopografi tersebut maupun untuk mengaitkannya secara langsung dengan aktivitas tektonik. Oleh karena itu, keberadaan deformasi atau pengangkatan lokal tidak ditetapkan sebagai bagian pasti dari rekonstruksi sejarah geologi dan memerlukan dukungan data struktur serta korelasi regional lebih lanjut.



Gambar 34. Model Kemunculan paleotopografi terhadap perkembangan sedimentasi karbonat



Gambar 35. Model Kemunculan Satuan Packstone (biru muda) dan Satuan Wackestone (biru tua)

Pada interval N14-N15, sedimentasi berkembang menuju kondisi neritik tengah dengan estimasi paleobatimetri sekitar 20–100 m, yang ditunjukkan oleh satuan batugamping wackestone. Dibandingkan dengan satuan packstone berumur N12–N13 yang terendapkan pada neritik luar dengan kedalaman sekitar 100–200 m, perubahan tersebut menunjukkan kecenderungan pendangkalan relatif. Dominasi tekstur *mud-supported* pada wackestone tidak secara langsung menunjukkan

kondisi yang lebih dalam, melainkan mencerminkan penurunan energi hidrodinamika lokal yang memungkinkan lumpur karbonat terakumulasi dalam jumlah lebih besar.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pemetaan geologi, petrografi, mikropaleontologi, dan kalsimetri, Formasi Wonosari di daerah Giritontro tersusun atas satuan batugamping packstone dan wackestone. Satuan packstone merupakan satuan yang relatif lebih tua, berumur N12–N13, memiliki tekstur dominan *grain-supported*, dan berdasarkan asosiasi foraminifera bentonik diinterpretasikan terendapkan pada zona neritik luar dengan estimasi paleobatimetri sekitar 100–200 m. Satuan wackestone berumur N14–N15 memiliki tekstur dominan *mud-supported* dan diinterpretasikan terendapkan pada zona neritik tengah dengan estimasi paleobatimetri sekitar 20–100 m. Perubahan paleobatimetri tersebut menunjukkan kecenderungan pendangkalan relatif selama perkembangan sistem karbonat, sedangkan perubahan dari packstone menuju wackestone terutama mencerminkan variasi kondisi hidrodinamika dan tidak secara langsung menunjukkan pendalaman lingkungan. Kandungan CaCO_3 sebesar 95,6–97,2% menunjukkan dominasi material karbonat pada sampel representatif. Keberadaan *ripple mark*, bioturbasi, dan perselingan litofasies packstone–wackestone menunjukkan adanya perubahan kondisi energi dan aktivitas biologis selama sedimentasi Formasi Wonosari di daerah penelitian.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih untuk seluruh Dosen Teknik Geologi UPN “Veteran” Yogyakarta untuk diskusi dalam penelitian ini.

Referensi

- Barth, T. F. W., (1953). *Theoretical Petrology: A Textbook on the Origin and the Evolution of Rocks*. New York: John Wiley & Sons.
- Boggs, S. (2014). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy* (5th ed.). Pearson.
- Blow, W. H. (1969). Late middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *The Micropaleontology of Oceans*, 627–712.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In W. E. Ham (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks – A Symposium*, 108–121. AAPG.
- Embry, A. F., and J. E. Klovan, (1972), Absolute Water Depth Limits of Late Devonian Paleocological Zone. *Geol. Rundschau*, V. 61 P. 672–686.
- Folk, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestone types. In W. E. Ham (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks – A Symposium*, 62–84. AAPG.
- Hall, R. (2012). Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, 570–571, 1–41.
- Hamilton, W. (1979). *Tectonics of the Indonesian Region*. US Geological Survey Professional Paper 1078.
- Mukti, M. M., Safei Siregar, Praptisih, & N. Supriatna. (2005). Carbonate Depositional Environment and Platform Morphology of the Wonosari Formation in the Area East of Pacitan. *RISSET – Geologi dan Pertambangan* Jilid 15 No.2, pp. 29 - 38, 9.
- Postuma, J. A (1971). *Manual Planktonic Foraminifera*. Elsevier Pub. co, Amsterdam, New York.
- Pomar, L., Brandano, M., & Westphal, H. (2004). Environmental factors influencing skeletal grain sediment associations: A critical review of Miocene examples from the western Mediterranean. *Sedimentology*, 51(3), 627–651.
- Sartono, S. (1964). *Stratigrafi dan Sedimentasi Pegunungan Selatan Jawa*. Bandung: ITB.
- Surono, Toha, B., & Sudarno, I. (1992). *Peta Geologi Lembar Surakarta, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Tipword, H.L., F.M. Setzer dan F.M. Smith Jr., (1966): Interpretation of Depositional Environment in Gulf Coast Petroleum Exploration from Paleocology and Related Stratigraphy. *Trans. Gulf Coast Ass. Geol. Soc.* vol. XVI. pp. 119-130.
- Van Bemmelen, R.W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Government Printing Office, The Hague.
- Van Zuidam, R. A. (1985). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. Smits Publishers.
- Wentworth, C. K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30(5), 377–392.