

## Sedimentologi dan Diagenesis Batugamping Formasi Wonosari di Ngrijang Sengon, Pacitan, Jawa Timur

### *Limestone Sedimentology and Diagenesis of the Wonosari Formation at Ngrijang Sengon, Pacitan, East Java*

Sigit Maryanto

Pusat Survei Geologi, Jl. Diponegoro 57, Bandung 40122 Indonesia,  
Email: sigitmaryanto@ymail.com

Naskah diterima : 9 Juni 2015, Revisi terakhir : 29 Oktober 2015, Disetujui : 30 Oktober 2015

**Abstrak** - Geosite Ngrijang Sengon adalah salah satu lokasi di kawasan geopark Gunungsewu. Penelitian geologi ini diperlukan untuk mendukung pengusulan kawasan ini sebagai destinasi geopark internasional. Pembahasan utama penelitian ini meliputi perkembangan lingkungan pengendapan dan rekaman proses diagenesis pada batugamping yang tersingkap di lokasi Ngrijang Sengon, Kabupaten Pacitan, Provinsi Jawa Timur. Analisis petrografi telah dilakukan terhadap dua puluh dua sampel batugamping memperlihatkan bahwa jenisnya adalah *wackestone*, *packstone*, dan *floatstone*. Lingkungan pengendapan batugamping ini beragam, seperti sayap terumbu, dangkalan laguna dengan sirkulasi air terbuka di bawah dasar gelombang, laut dangkal dengan sirkulasi terbuka di bawah dasar gelombang, lerengan atau cekungan lokal pada dangkalan laguna, tepi lerengan dan landaian pada paparan tertampi, serta teluk hingga kubangan sangat terbatas. Batugamping tersebut telah terpengaruh beragam proses diagenesis, meliputi: bioturbasi, pengisian rongga fosil, penggantian, penyemenan, rekristalisasi, pemikritan, pembentukan mineral authigenik, pemampatan, pelarutan, dan peretakan.

Kata kunci: Pacitan, batugamping, petrografi, lingkungan pengendapan, diagenesis.

**Abstract** - Ngrijang Sengon geosite is one of the location in the Gunungsewu geopark region. This geological research is necessary to support the proposal of this region as an international geopark destination. The main review of this study include the depositional environment development and diagenesis processes records of the limestones cropped out at Ngrijang Sengon, Pacitan District, East Java Province. Petrographic analysis of the twenty two limestone samples show that the type of the limestones are *wackestone*, *packstone*, and *floatstone*. The depositional environment of this formation varies, as: reef flank, shelf lagoon with open circulation below normal wave base, shallow water with open circulation at below wave base, local slope to basin at shelf lagoon, slope and shelf edge at winnowed platform edge sands, until very restricted bay and pond. The limestones have been affected by various kinds of diagenetic processes, as: bioturbation, infilling of fossil pores, replacment, cementation, recrystallization, micritization, authigenic minerals formation, compaction, dissolution, and fracturing.

**Keywords:** Pacitan, limestone, petrographic, depositional environment, diagenesis.



Sumber : gambar olahan penulis

**Gambar 1.** Lokasi Ngrijang Sengon yang berada di Kabupaten Pacitan, Jawa Timur.

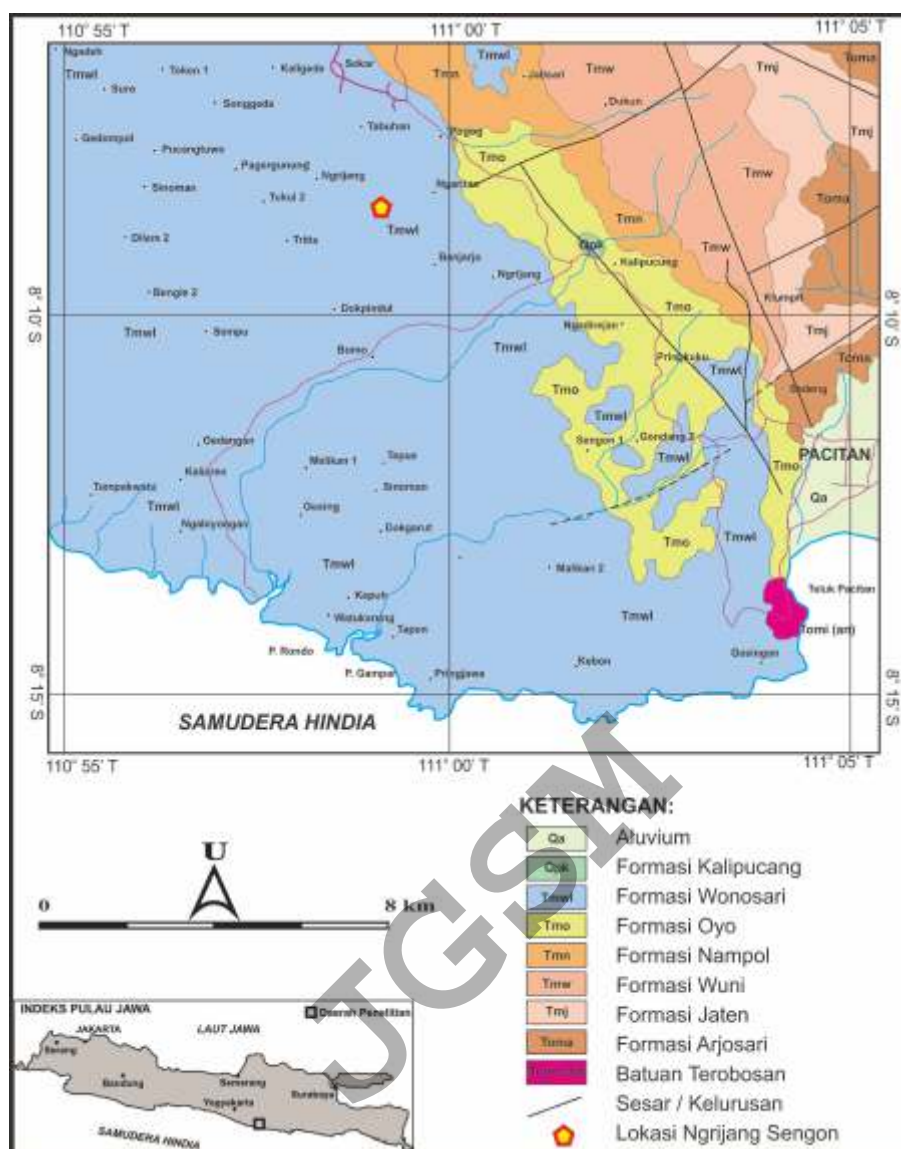
## PENDAHULUAN

Penetapan Kawasan Gunungsewu sebagai Kawasan Geopark Internasional pada saat ini sudah disetujui oleh UNESCO. Dari sekian banyak geosite yang diusulkan di kawasan Gunungsewu, Ngrijang Sengon merupakan salah satu geosite yang ditetapkan (Anonim, 2015). Istilah *ngrijang* pada awalnya dipakai sebagai identifikasi batugamping yang tersilisifikasi, sehingga menyerupai rijang. Di lokasi ini ditemukan sangat banyak artefak manusia purba, khususnya beliung (Ernawan, 2000), yang berbahan batugamping tersilisifikasi. Namun demikian, belum ada penelitian ilmiah mengenai batugamping tersilisifikasi ini. Padahal, penelitian ilmiah, khususnya aspek geologi, sangat diperlukan guna mendukung perawatan (*maintenance*) penetapan kawasan geopark internasional tersebut. Dengan demikian, aspek sedimentologi dan diagenesis pada batugamping Formasi Wonosari, merupakan topik penelitian yang cukup menarik.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakter petrografi dalam kaitannya dengan perkembangan lingkungan pengendapan dan rekaman proses diagenesis paska pengendapan, pada batugamping penyusun Formasi Wonosari di lokasi penelitian. Objek penelitian dibatasi hanya pada batugamping penyusun Formasi Wonosari yang tersingkap di lokasi Ngrijang

Sengon, Desa Piton, Kecamatan Punung, Kabupaten Pacitan, Propinsi Jawa Timur, dengan koordinat awal pengukuran 08° 09' 00,1" LS dan 110° 59' 19,5" BT (Gambar 1). Lokasi penelitian ini dipilih karena tersingkap cukup baik batugamping penyusun Formasi Wonosari.

Keadaan geologi daerah bagian barat Pacitan telah dipetakan oleh Surono dr. (1992) dan Samodra dr. (1992). Kedua pemeta tersebut membahas tentang keterdapat batugamping Formasi Wonosari (Gambar 2). Runtunan stratigrafi di daerah sekitar Pacitan dialasi oleh batuan terobosan andesit, berumur Oligo-Miosen. Seumur dengan batuan terobosan tersebut terendapkan batuan sedimen asal gunungapi yang menyusun Formasi Arjosari. Secara takselaras di atas Formasi Arjosari pada Miosen Awal-Akhir, secara berurutan diendapkan beberapa satuan batuan sedimen klastika beberapa gampingan, meliputi Formasi Jatén, Formasi Wuni, Formasi Nampol, dan Formasi Oyo. Periode pengendapan berikutnya membentuk Formasi Wonosari yang berhubungan menjemari di atas Formasi Oyo. Formasi Wonosari yang berumur Mio-Pliosen terdiri atas batugamping terumbu, batugamping berlapis, batugamping berkepingan, batugamping pasir, dan napal. Penyebaran batugamping Formasi Wonosari ini cukup luas, mencakup tiga kabupaten, yaitu Wonosari, Wonogiri, dan Pacitan, membentuk morfologi kars yang



Sumber : Samodra dr., 1992 dan Surono dr., 1992

**Gambar 2.** Peta geologi daerah sekitar Pacitan dan lokasi Ngrijang Sengon.

dikenal sebagai Kawasan Kars Gunungsewu.

## METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pekerjaan lapangan dan analisis laboratorium. Pekerjaan di lapangan dilakukan dengan pengumpulan data geologi, khususnya data petrologi batugamping Formasi Wonosari yang tersingkap di lokasi Ngrijang Sengon. Sampel batuan dipilih secara rinci dan berurutan sesuai dengan runtunan stratigrafi. Analisis petrografi batugamping dilakukan dengan penentuan jumlah dan jenis komponen batugamping, dan dilanjutkan dengan identifikasi fasies pengendapan pada batugamping. Penggolongan jenis batugamping yang ada didasarkan kepada klasifikasi batugamping

menurut Dunham (1962) yang telah disempurnakan oleh Embry & Klovan (1971). Analisis lingkungan pengendapan batugamping dikelompokkan berdasarkan pembagian standar mikrofaseis (selanjutnya disingkat SMF menurut Flugel, 1982 & 2004) yang merupakan pengembangan dari sabuk fasies (selanjutnya disingkat FZ menurut Wilson, 1975). Identifikasi rekaman proses diagenesis dilakukan dengan mengacu beberapa ahli yang telah mengulas tentang diagenesis batugamping, seperti Bathurst, 1975; Scholle, 1978; Longman, 1980; Flugel, 1982; MacKenzie *et al.*, 1984; Read, 1985; Tucker & Wright, 1990; James, 1991; Adams & MacKenzie, 1998; Ulmer-Scholle & Mosley, 2000; Railsback, 2002; dan Gregg, 2005.

## HASIL PENELITIAN

### Kenampakan Lapangan

Lokasi Ngrijang Sengon (Gambar 1 & 2) merupakan bukit sangat terjal, beda ketinggian antara lembah dan puncak bukit sekitar 80 m, batuanya tersingkap menerus cukup banyak dan berkeadaan segar. Runtunan batuan yang dijumpai semata-mata adalah batugamping Formasi Wonosari, dengan perlapisan batuan secara umum miring landai ke selatan, dan ketebalan total terukur mencapai 62,5 m (Gambar 3).

Runtunan batuan Formasi Wonosari di lintasan Ngrijang Sengon diawali dengan hadirnya *wackestone-packstone* kuning terang kecoklatan, keras, berlapis sedang hingga tebal, tekstur klastika kristalin, beberapa kepingan fosil ganggang, moluska, foraminifera dan kadang-kadang koral, jarang berongga tak teratur yang telah terisi kalsit dan sangat jarang silika, tebal lapisan 20-200 cm (Gambar 4). Selanjutnya, batuan berkembang menjadi *wackestone* berwarna kuning sangat terang kecoklatan, padat, keras, berlapis sedang hingga tebal (Gambar 5), tekstur klastika kristalin, kepingan fosil terbatas, kadang dengan bintal silika kalsedoni tak teratur yang berukuran mencapai 20 cm, tebal lapisan 50-130 cm.

Bagian tengah satuan batuan diawali oleh *wackestone* berwarna kuning sangat terang kecoklatan, keras, berlapis sedang, tekstur klastika kristalin, kepingan fosil hadir jarang, beberapa jejak galian organisme, kadang dengan bintal silikaan bercampur dengan kalsit, tebal lapisan 40-200 cm. Batuan berkembang menjadi *wackestone-packstone* kuning sangat terang kecoklatan, keras, berlapis tebal, tekstur klastika kristalin, dengan kepingan fosil ganggang, moluska, foraminifera berukuran mencapai 2 mm, beberapa jejak galian organisme (Gambar 6), tebal lapisan 100-240 cm. Perlapisan batugamping ini mengandung bintal silikaan dengan ukuran mencapai 5 cm yang semakin banyak dan besar di bagian atas dari segmen kolom stratigrafi ini. Selanjutnya batuan menjadi *wackestone* kembali dengan tebal lapisan 80-200 cm. Perlapisan bagian atas batugamping ini mengandung bintal silikaan berukuran mencapai 20 cm dan berwarna kemerahan (Gambar 7).

Bagian atas runtunan batugamping Formasi Wonosari di lintasan Ngrijang Sengon dimulai dengan hadirnya *wackestone-packstone* kuning sangat terang kecoklatan, keras, berlapis sedang, tekstur klastika kristalin, kepingan fosil foraminifera besar dan moluska

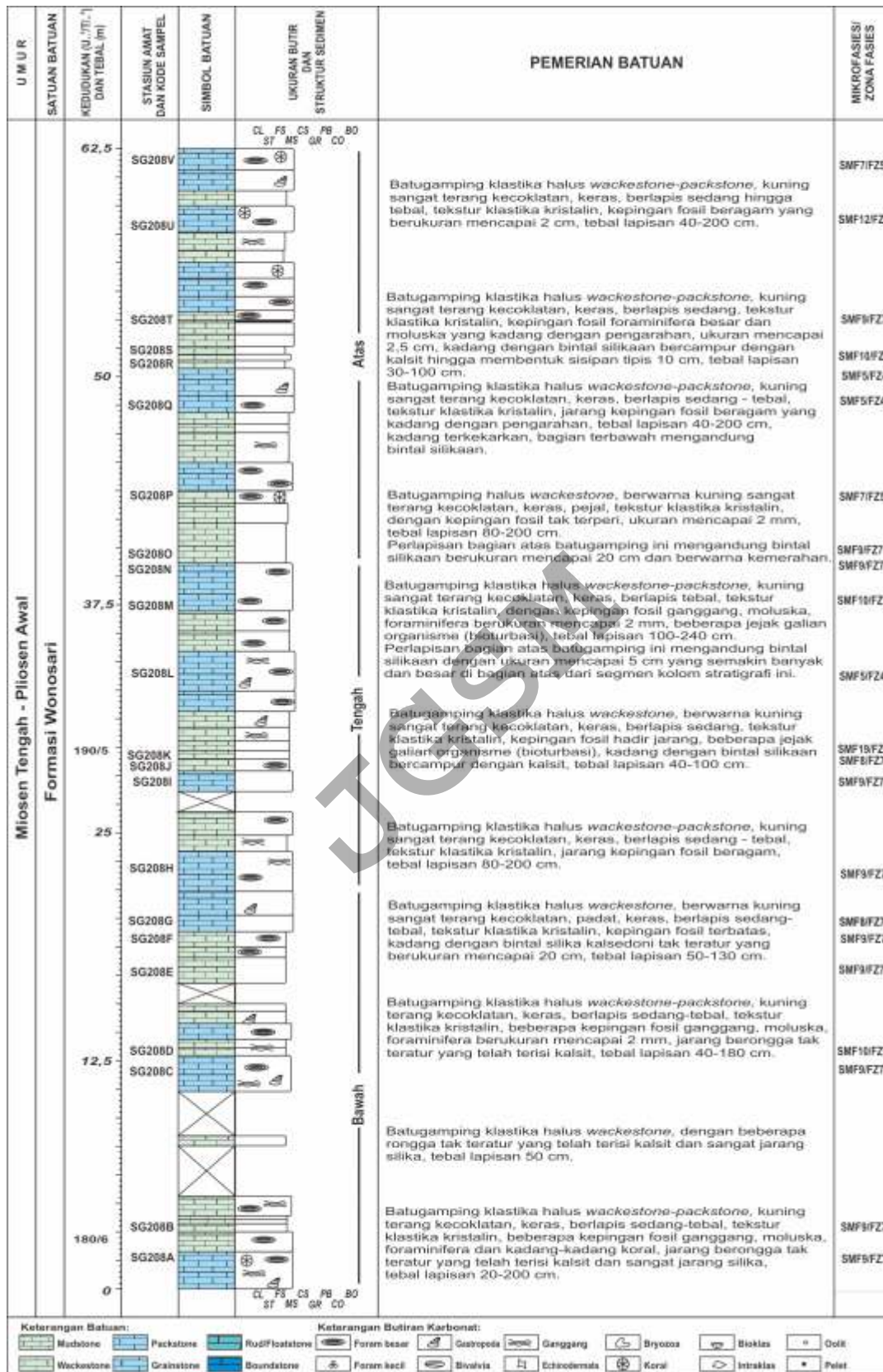
yang kadang dengan pengarahannya, ukuran mencapai 2,5 cm, kadang dengan bintal silikaan bercampur dengan kalsit hingga membentuk sisipan tipis 10 cm, tebal lapisan 30-200 cm. Runtunan batuan diakhiri oleh *wackestone-packstone* kuning sangat terang kecoklatan, keras, berlapis sedang hingga tebal, tekstur klastika kristalin, kepingan fosil beragam yang berukuran mencapai 2 cm, tebal lapisan 40-200 cm.

### Petrografi dan Fasies Batuan

Sejumlah 22 (dua puluh dua) sampel batugamping telah diambil secara berurutan di sepanjang lintasan Ngrijang Sengon, untuk diuji petrografi. Pengujian petrografi dilakukan dengan menggunakan klasifikasi batugamping menurut Dunham (1962), digabungkan dengan identifikasi komponen batugamping menurut Folk (1962). Hasil pengujian petrografi terlihat pada Tabel 1, yang merupakan rangkuman pengujian batuan. Analisis mikrofasis batugamping dikelompokkan berdasarkan pembagian standar mikrofaseis (selanjutnya disingkat SMF menurut Flugel, 1982; 2004) yang merupakan pengembangan dari sabuk fasies (selanjutnya disingkat FZ menurut Wilson, 1975).

Batuan diawali dengan *wackestone* yang bertekstur bioklastika fragmental sedang, terpilah buruk dan terdukung matriks. Komponen butiran hadir dikuasai berupa bioklas beragam jenisnya, meskipun masih dikuasai oleh fosil foraminifera besar bentonik, ganggang merah, dan moluska. Butiran yang lain adalah pelet dengan ukuran sangat halus dan tersebar tidak teratur. Butiran tersebut telah terabrasi dan tercuci (Gambar 8), dan tersebar di dalam matriks lumpur karbonat yang sebagian kecil telah terganti menjadi mikrosparit kalsit. Beberapa butiran terigen masih dapat dijumpai seperti kuarsa, feldspar, kepingan batuan argilit, dan mineral opak. Kenampakan ini mencerminkan fasies pengendapan laut dangkal dengan sirkulasi terbuka di bawah dasar gelombang (SMF9/FZ7; *shallow water with open circulation at below wave base*). Fasies pengendapan ini menguasai bagian bawah runtunan stratigrafi di lokasi penelitian.

Kadang-kadang fasies pengendapan bergeser menjadi lerengan atau cekungan lokal pada dangkalan laguna (SMF10/FZ7; *local slope to basin at shelf lagoon*), yang mengendapkan *wackestone*. Ciri *wackestone* ini antara lain bertekstur bioklastika fragmental sedang, dengan butiran karbonat yang dikuasai bioklas beragam jenis, selain sedikit pelet. Butiran terigen juga masih hadir berupa kepingan batuan argilit. Butiran karbonat ini telah tercuci dan terabrasi dengan baik. Butiran



Sumber: Penulis, 2015.

Gambar 3. Kolom stratigrafi rinci batugamping Formasi Wonosari di lokasi Ngrijang Sengon, Pacitan.



Sumber: Penulis, 2015.

Gambar 4. Wackestone yang berlapis buruk, berada di bagian terbawah kolom stratigrafi di Ngrijang Sengon, Pacitan. Difoto di lokasi 14/SG/208A.



Sumber: Penulis, 2015.

Gambar 5. Wackestone berlapis sedang-tebal dan dengan kandungan fosil terbatas, yang merupakan bagian bawah runtunan batuan. Difoto di lokasi 14/SG/208E.



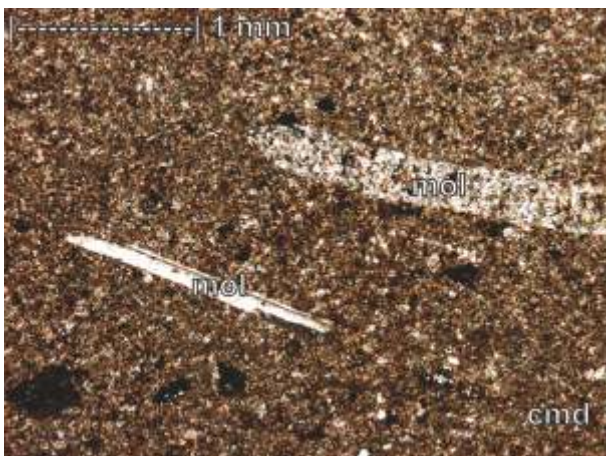
Sumber: Penulis, 2015.

Gambar 6. Tampak dekat cetakan bioturbasi pada batugamping wackestone halus, yang merupakan bagian tengah runtunan batuan. Difoto di lokasi 14/SG/208M.



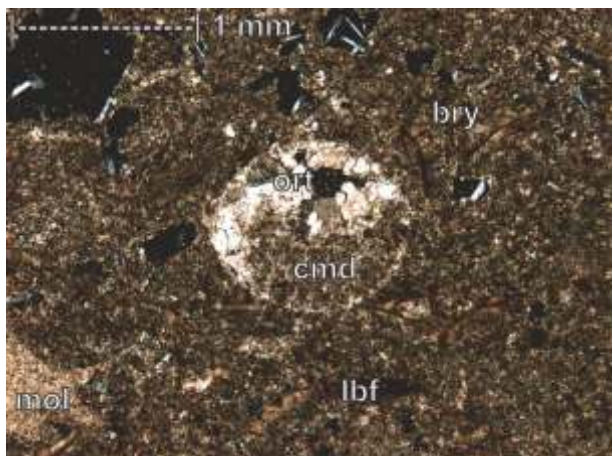
Sumber: Penulis, 2015.

Gambar 7. Wackestone-packstone yang mengandung bintal silikaan tipis sekitar 10 cm, yang merupakan bagian atas runtunan batuan. Difoto di lokasi 14/SG/208T.



Sumber: Penulis, 2015.

Gambar 8. Wackestone penyusun bagian bawah Formasi Wonosari yang terdukung matriks lumpur karbonat (cmd) dengan fosil moluska (mol) yang telah terabrasi, tercuci, dan tergantikan, yang merupakan endapan laut dangkal dengan sirkulasi terbuka. Kode sampel SGT208B, kedudukan lensa nikol bersilang.



Sumber: Penulis, 2015.

Gambar 9. Packstone penyusun bagian tengah Formasi Wonosari yang dengan fosil beragam, seperti foraminifera besar bentonik (lbf), moluska (mol), bryozoa (bry). Tampak isian fosil oleh orthosparit (ort) dan lumpur karbonat (cmd) yang membentuk struktur geopetal sebagai penciri fasies sayap terumbu. Kode sampel SGT208L, kedudukan lensa nikol bersilang.

Tabel 1. Ringkasan analisis petrografi batugamping Formasi Wonosari di lokasi Ngrijang Sengon, Pacitan

KODE SAMPEL	SG		SG		SG		SG		SG		SG		SG		SG		SG		SG		SG		SG		SG		SG		KETERANGAN:										
	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208											
PEMERIAN	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V																	
Struktur	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	o										
Tekstur	bf	bf	bf	bf	bf	bf	bf	bf	bf	bf	bf	bf	bf	bf	bf	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc	nc										
Pemilahan	p	p	vp	p	p	p	p	p	p	vp	p	p	p	p	p	p	vp	vp	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p	p										
Kemas	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o									
Uk. Butir (mm)	0,30	0,35	>2,0	0,40	0,30	0,20	1,20	0,80	0,20	1,20	<0,20	0,60	0,80	0,20	0,50	-	>2,0	>2,0	0,40	0,20	1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
Bentuk Butir	sa-sr	sa-sr	a-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	a-sr	a-sr	sa-sr	a-sr	a-sr	a-sr	a-sr	sa-sr	a-sr	a-sr	a-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr	sa-sr									
Hubungan Butir	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f	f								
% komponen																																							
<b>Butiran Karbonat</b>																																							
Blokias	17	24	22	28	26	16	24	32	16	26	6	44	48	18	14	50	18	14	22	10	50	46	50	46	50	46	50	46	50	46	50	46	50	46	50	46	50		
Intraklas/ekstraklas	-	-	-	3	-	-	-	4	-	-	-	4	2	-	4	16	6	4	2	-	8	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16		
Oolitoncolit	3	0,5	1	2	2	-	1	1	1	1	-	1	4	2	1	-	0,5	-	0,5	1	-	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Butiran Terigen	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	0,5	-	-	0,5	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Kuarsa	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Felspar	-	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Kepingan batuan	-	0,5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Butiran lain	-	0,5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<b>Matriks</b>																																							
Lumpur karbonat	54	48	52	43	48	36	56	38	27	56	40	42	24	67	63	26	60	60	63	76	8	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mineral lempung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Penyemen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Orthosparit	2	2	6	5	2	2	6	8	3	4	3	2	2	2	2	3	1,5	1	1	1	8	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oksida besi	0,5	0,5	1	2	1	8	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	2	1	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	1	0,5	
Lempung autigenik	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Samen Silika	-	-	-	-	-	2	22	-	-	-	0,5	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Neomorfisme</b>																																							
Mikrosparit	18	14	12	12	10	8	8	8	35	8	46	10	5	5	12	4	6	4	5	8	10	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pseudosparit	2	2	1	1	2	4	2	2	17	3	3	8	2	2	1	-	2	12	1	2	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Lumpur pemukiman	1,5	0,5	-	-	0,5	0,5	0,5	1	-	0,5	-	0,5	0,5	0,5	0,5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Keoprian</b>																																							
Antar-dalam partikel	0,5	0,5	1	0,5	1	-	0,5	1	-	-	-	1	-	-	-	-	0,5	0,5	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Primer lain	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Gerowong	1,5	1,5	3	3	3	0,5	1,5	3	1	0,5	0,5	7	3	1,5	1	0,5	3	1,5	1,5	1	2,5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Sekunder lain	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	0,5	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nama Batuan	W	W	W/F	W	W	W	W	W	W	W	M	P	P	W	W	B	W/F	W/F	W	W	P	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SMF / FZ	9/7	9/7	9/7	9/7	10/7	9/7	8/7	9/7	9/7	8/7	19/8	5/4	10/7	9/7	9/7	7/5	5/4	5/4	10/7	9/7	12/6	7/5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Stratigrafi	B	B	B	B	B	B	B	T	T	T	T	T	T	T	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

Sumber : data olahan penulis

karbonat tersebut tersebar di dalam matriks lumpur karbonat yang beberapa juga telah terganti menjadi mikrosparit kalsit mosaik anhedral sangat halus. Keadaan ini berlangsung cepat, dan segera kembali menjadi fasies pengendapan laut dangkal dengan sirkulasi terbuka di bawah dasar gelombang. Runtunan batuan ditutup dengan *wackestone* yang berasal dari fasies pengendapan dangkalan laguna dengan sirkulasi air terbuka di bawah dasar gelombang (SMF8/FZ7; *shelf lagoon with open circulation below normal wave base*). Batuan dicirikan dengan hadirnya butiran karbonat yang sangat dikuasai oleh bioklas moluska, foraminifera besar bentonik, ganggang merah, kadang koral dan bryozoa, dalam jumlah terbatas, dan tersebar di dalam matriks lumpur karbonat. Butiran yang lain adalah pelet berukuran sangat halus. Butiran karbonat tersebut belum tercuci dan terabrasi.

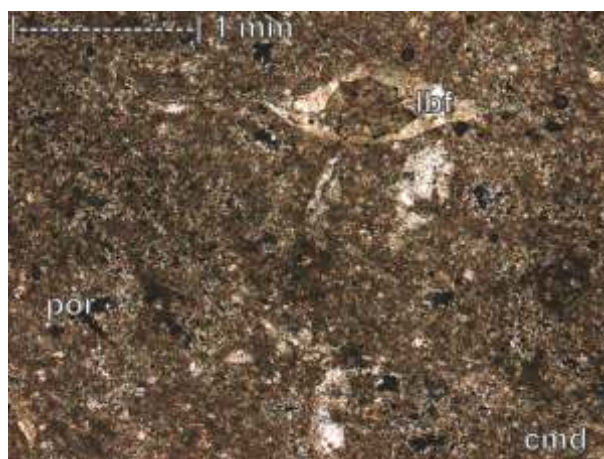
Memulai bagian tengah runtunan, batuan berkembang menjadi *wackestone* dengan tekstur bioklastika fragmental sedang hingga kasar, yang terdukung lumpur dan terpilah buruk. Butiran karbonat sangat dikuasai oleh bioklas fosil beragam, yang menonjol adalah moluska, ganggang merah, foraminifera besar bentonik, koral, bryozoa, dan echinodermata. Sebagian fosil tersebut sudah pecah meruncing hingga membundar tanggung, dengan tanda-tanda abrasi dan pencucian yang sudah mulai berpengaruh. Butiran yang lain adalah pelet berukuran sangat halus, kuarsa dan mineral opak yang tersebar setempat-setempat. Pemikritan fosil ganggang merah sedikit berlangsung, begitu pula dengan rekristalisasi sebagian kecil fosil moluska. Seluruh butiran karbonat tersebut tersebar di dalam matriks lumpur karbonat yang sedikit tergantikan menjadi mikrosparit kalsit anhedral sangat halus. Keadaan ini mencerminkan lingkungan pengendapan laut dangkal dengan sirkulasi terbuka di bawah dasar gelombang (SMF9/FZ7; *shallow water with open circulation at below wave base*).

Pergeseran fasies pengendapan seringkali terjadi di bagian tengah runtunan batuan ini. Secara cepat batuan Proses susut laut menyebabkan lingkungan pengendapan bergeser menjadi dangkalan laguna dengan sirkulasi air terbuka (SMF8/FZ7), yang dicirikan dengan hadirnya *wackestone* bioklastika kasar dengan butiran berbentuk meruncing hingga meruncing tanggung, dikuasai oleh fosil terbatas seperti foraminifera besar bentonik, moluska, koral, dan ganggang merah. Fosil ini pada umumnya belum tercuci dan terabrasi dengan baik. Selanjutnya, proses susut laut terus berlangsung, menyebabkan lingkungan pengendapan bergeser menjadi teluk hingga kubangan

sangat terbatas (SMF19/FZ8; *very restricted bay and pond*). Keadaan ini dicirikan dengan hadirnya *wackestone* yang bertekstur bioklastika halus dengan fosil sangat terbatas. Fosil hadir berupa pecahan sangat halus moluska dan foraminifera bentonik, yang tersebar di dalam matriks lumpur karbonat sebagian tergantikan menjadi mikrosparit kalsit sangat halus anhedral. Isian rongga oleh kuarsa sangat halus anhedral hadir di beberapa tempat, selain orthosparit kalsit sangat halus anhedral dan oksida besi tak teratur.

Proses genang laut berikutnya menjadikan lingkungan bergeser menjadi sayap terumbu (SMF5/FZ4; *reef flank facies*), yang mengendapkan *packstone* yang bertekstur bioklastika sedang dengan fosil beragam (Gambar 9), yang pada umumnya belum mengalami proses abrasi dan pencucian yang berarti. Selain itu, komponen intraklas berupa kepingan batugamping terumbu koral-ganggang-bryozoa, yang berukuran sangat kasar, berbentuk meruncing hingga meruncing tanggung, dan diperkirakan berasal dari fasies bangunan terumbu (SMF7/FZ5; *organic reef*) tampak hadir menjadi komponen butiran karbonat di dalam *packstone* tersebut.

Bagian atas runtunan stratigrafi masih dikuasai oleh *wackestone* yang bertekstur bioklastika fragmental sedang, terpilah buruk dan terdukung lumpur. Butiran karbonat dikuasai oleh fosil beragam dengan jumlah terbatas (Gambar 10).



Sumber: Penulis, 2015.

Gambar 10. *Wackestone* penyusun bagian tengah Formasi Wonosari yang terdukung matriks lumpur karbonat (cmd). Tampak fosil foraminifera besar bentonik (lbf) termikritkan, yang juga merupakan endapan laut dangkal dengan sirkulasi terbuka. Tampak pula keporian gerowong (por). Kode sampel SGT2080, kedudukan lensa nikol bersilang.



Butiran yang lain adalah intraklas berupa kepingan batugamping terumbu koral-ganggang-bryozoa yang berukuran lebih kasar dan tersebar setempat-setempat, serta pelet yang berbutir sangat halus tidak merata. Butiran terigen masih dapat dijumpai berupa kuarsa dan mineral opak yang berukuran sangat halus tidak merata. Abrasi dan pencucian butiran tersebut belum berjalan dengan baik. Kenampakan seperti ini masih mencirikan lingkungan laut dangkal dengan sirkulasi terbuka di bawah dasar gelombang (SMF9/FZ7).

Lingkungan pengendapan kadang-kadang mendalam menjadi lerengan atau cekungan lokal pada dangkalan laguna (SMF10/FZ7). Batuan yang terendapkan masih wakestone yang bertekstur bioklastika fragmental sedang, terpilah buruk dan terdukung lumpur. Proses abrasi dan pencucian butiran telah berjalan dengan baik, meskipun pemilahan batuan masih buruk. Pergeseran fasies pengendapan susut laut membentuk *packstone* yang bertekstur bioklastika fragmental kasar, dengan dominasi fosil foraminifera besar bentonik jika dibandingkan dengan jenis fosil yang lain. Butiran yang lain berjumlah sangat terbatas, berupa intraklas batugamping bioklastika. Keadaan ini mencerminkan pengendapan tepi lerengan dan landaian pada paparan tertampi (SMF12/FZ6; *slope and shelf edge at winnowed platform edge sands*).

Runtunan kedua fasies tersebut di atas segera diikuti oleh *packstone* hingga *floatstone* yang mengandung beberapa kepingan batugamping terumbu (Gambar 11). Batuannya bertekstur bioklastika fragmental kasar yang

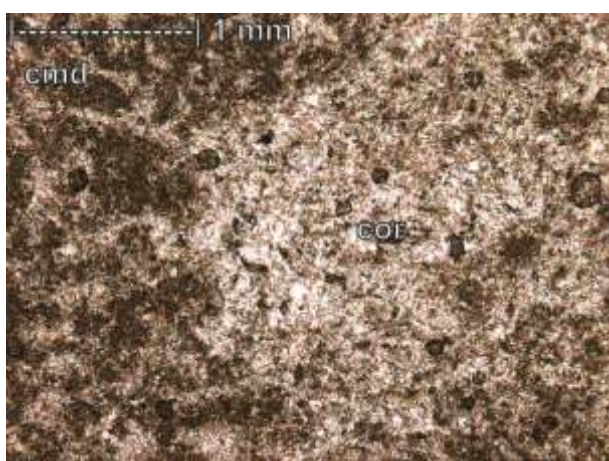
terpilah buruk hingga sangat buruk. Proses abrasi dan pencucian fosil belum terjadi dengan baik. Batuan yang demikian ini pada umumnya terendapkan di fasies sayap terumbu (SMF5/FZ4; *reef flank facies*), yang mengakhiri runtunan batuan di lokasi penelitian.

### Rekaman Proses Diagenesis

Batugamping di lokasi penelitian, terpengaruh oleh proses diagenesis seiring dengan waktu pengendapan, penimbunan, pengangkatan, penyingkapan batuan, serta pengaruh perubahan air laut dan air tawar. Data hasil pengujian petrografi yang telah dilakukan, menunjukkan beberapa rekaman proses diagenesis yang terawetkan pada batugamping Formasi Wonosari di lokasi Ngrijang Sengon, meliputi bioturbasi, pengisian rongga fosil, penggantian, penyemenan, rekristalisasi, pemikritan, pembentukan mineral authigenik, pemampatan, pelarutan, dan peretakan.

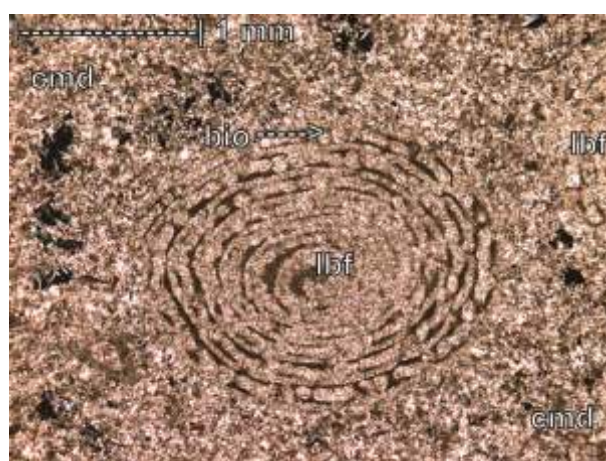
### Bioturbasi

Bioturbasi atau perusakan fosil oleh mikro-organisme teramati di beberapa sampel dengan intensitas lemah. Kenampakan beberapa fosil yang mengalami pemboran (*boring*; Choquette & Pray, 1970) terlihat dengan konsentrasi lumpur karbonat pada beberapa fosil, khususnya moluska dan ganggang merah. Proses bioturbasi ini secara umum tidak merusak tekstur dan struktur awal batuan (Gambar 12). Kenampakan galian (*burrowing*) teramati di lapangan, akan tetapi di sayatan pipih tidak teridentifikasi.



Sumber: Penulis, 2015.

**Gambar 11.** Batugamping terumbu koral (cor) bermatriks lumpur karbonat (cmd), yang merupakan salah satu kepingan *packstone* penyusun bagian atas Formasi Wonosari. Batuan ini merupakan endapan sayap terumbu. Kode sampel SGT208P, kedudukan lensa nikol bersilang.



Sumber: Penulis, 2015.

**Gambar 12.** Wackestone penyusun bagian bawah Formasi Wonosari yang terdukung matriks lumpur karbonat (cmd) dengan foraminifera besar bentonik (lbf) yang masih baik meskipun telah terkena bioturbasi (pemboran; bio). Kode sampel SGT208A, kedudukan lensa nikol bersilang.

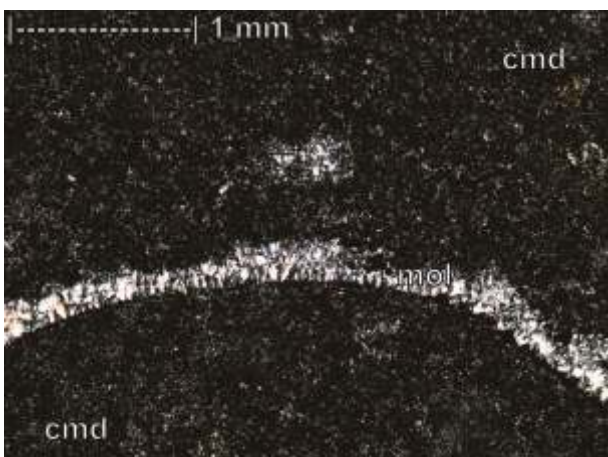
### ***Pengisian Rongga Fosil***

Segera sesudah pengendapan, beberapa rongga fosil, khususnya fosil foraminifera kecil, yang masih kosong terisi oleh lumpur karbonat, dengan intensitas pengisian lemah hingga sedang, dan terjadi pada kebanyakan sampel batugamping. Lumpur karbonat ini mengisi secara penuh atau mengisi sebagian (bagian bawah) rongga fosil. Isian berikutnya yang berupa semen karbonat kalsit merupakan proses penyemenan yang umumnya berlangsung pada zona diagenesis meteorik. Isian rongga secara bersama-sama oleh lumpur karbonat yang diikuti oleh semen karbonat ini disebut sebagai struktur geopetal (Scholle, 1978).



Sumber: Penulis, 2015.

**Gambar 13.** Wackestone penyusun bagian bawah Formasi Wonosari yang terdukung matriks lumpur karbonat (cmd) dengan fosil moluska (mol) yang telah maupun yang belum tergantikan. Kode sampel SGT208B, kedudukan lensa nikol bersilang.



Sumber: Penulis, 2015.

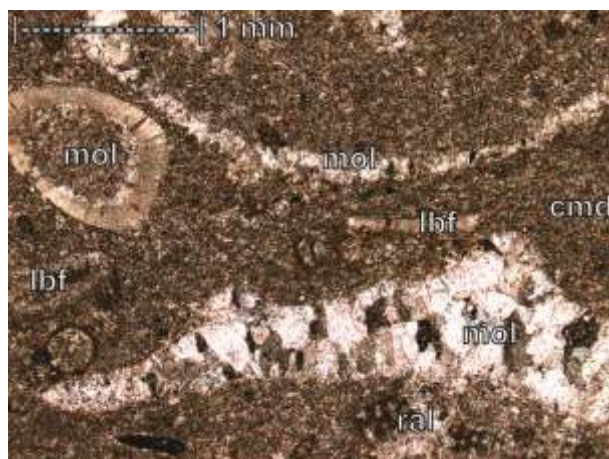
**Gambar 14.** Wackestone penyusun bagian bawah Formasi Wonosari yang terdukung matriks lumpur karbonat (cmd) dengan fosil moluska (mol) yang telah tergantikan. Kode sampel SGT208F, kedudukan lensa nikol bersilang.

### ***Penggantian***

Proses penggantian terjadi pada semua sampel batuan, baik penggantian butiran maupun penggantian matriks, dengan intensitas penggantian lemah hingga intensif. Penggantian butiran karbonat terjadi pada beberapa fosil, seperti moluska, foraminifera dan ganggang merah (Gambar 13). Proses penggantian fosil ini membentuk pseudosparit kalsit anhedral mosaik berukuran kristal halus hingga sedang. Proses penggantian fosil terjadi terbatas di beberapa batuan, khususnya fosil moluska setelah melalui fase pelarutan, yang tergantikan oleh kristal kalsit sangat halus anhedral (Gambar 14). Fosil menjadi tidak teridentifikasi lagi akibat proses penggantian ini, meskipun beberapa individu fosil masih tampak dari bentuk pinggirannya. Rusaknya fosil lebih banyak diakibatkan oleh proses rekristalisasi (Gambar 15). Penggantian matriks lumpur karbonat membentuk mikrosparit kalsit berstruktur sangat halus hingga halus, berstruktur mosaik anhedral hingga mosaik granular, dan dijumpai cukup merata.

### ***Penyemenan***

Proses penyemenan batugamping di lokasi penelitian berjalan kurang optimal, karena jenis batuan sendiri yang kurang menyisakan keporian primer untuk diisi oleh semen. Semen karbonat kalsit pada umumnya berfungsi sebagai pengisi rongga dalam dan antar partikel, serta beberapa rongga retakan dan gerowong pelarutan.



Sumber: Penulis, 2015.

**Gambar 15.** Wackestone penyusun bagian tengah Formasi Wonosari yang terdukung matriks lumpur karbonat (cmd) dengan beberapa fosil foraminifera besar bentonik (lbf), ganggang merah (ral) dan kebanyakan moluska (mol) yang belum maupun yang telah tergantikan, hingga terekristalisasi dan membentuk struktur siluman. Kode sampel SGT208J, kedudukan lensa nikol bersilang.

Penyemen awal, yang berasal dari lingkungan diagenesis laut, hadir tinggal sisanya saja, karena sebagian besar telah rusak oleh semen dari lingkungan meteorik. Semen yang terawetkan pada umumnya berasal dari lingkungan diagenesis meteorik, berstruktur *drussy mosaic* anhedral, berukuran kristal halus hingga sedang. Hampir semua rongga-rongga tersebut telah terisi oleh semen dari lingkungan meteorik ini. Penyemenan fase kedua juga berlangsung di lingkungan meteorik, khususnya penyemenan rongga gerowong akibat pelarutan permukaan. Penyemen terakhir ini berlangsung bersama-sama dengan penyemen non-karbonat, yaitu silika (kuarsa), oksida besi dan mineral lempung authigenik. Penyemen kuarsa paling sering terjadi di lokasi penelitian, khususnya di runtunan batuan bagian tengah dan atas. Semen kuarsa ini bertekstur mosaik anhedral saling mengunci hingga kalsedoni, berukuran sangat halus hingga sedang, mengisi secara sempurna sisa rongga pelarutan yang ada di dalam batugamping. Hadirnya mineral kuarsa sekunder ini menjadikan batugamping semakin padat dan keras, bahkan di beberapa lapisan tampak seperti pembintalan lapisan tersendiri, dengan ketebalan mencapai 20 cm. Dengan demikian batugamping silikaan ini telah dipakai oleh manusia purba sebagai peralatan rumah tangga dan berburu pada saat itu.

### Rekristalisasi

Rekaman proses rekristalisasi hadir di beberapa sampel batuan, khususnya merusak butiran karbonat dengan jumlah cukup nyata. Hasil proses rekristalisasi tersebut adalah sparit semu (*pseudosparite*) kalsit berstruktur mosaik anhedral polimodal berukuran halus hingga kasar, dengan kristal saling mengunci. Keadaan ini menyebabkan fosil hanya teridentifikasi dari pola butiran awal yang membentuk struktur siluman (*ghost structure*; Gambar 15).

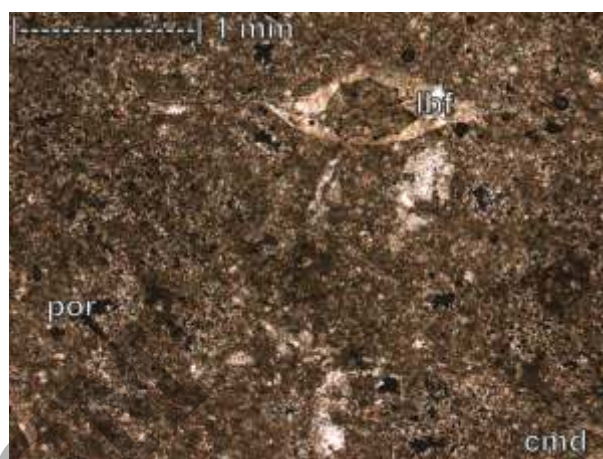
### Pemikritan

Rekaman proses pemikritan hanya teramati pada beberapa sampel batuan saja dengan intensitas lemah (Gambar 16). Lumpur karbonat sebagai hasil pemikritan terkonsentrasi di bagian pinggir butiran karbonat, yang oleh beberapa ahli disebut sebagai semen mikritik, seperti pada bagian pinggir fosil bryozoa, moluska, foraminifera besar, dan ganggang merah. Semen mikritik ini tersebar setempat-setempat tidak merata dengan jumlah sangat terbatas.

### Pembentukan Mineral Authigenik

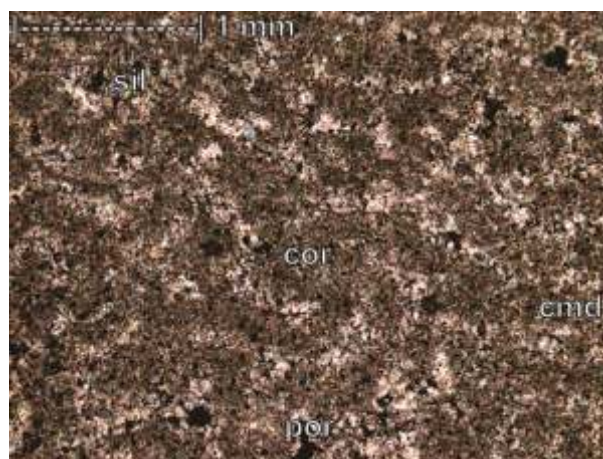
Penyemen utama batuan adalah semen karbonat yang berasal dari lingkungan meteorik freatik, dan sangat

jarang semen non-karbonat dari lingkungan meteorik *vadose*. Semen karbonat kalsit pada umumnya berfungsi sebagai pengisi rongga dalam dan antar partikel. Beberapa mineral authigenik, seperti mineral lempung dan oksida besi hadir di beberapa batuan dengan intensitas lemah. Selain kedua mineral authigenik tersebut, ada mineral sekunder yang terbentuk secara cukup nyata, yaitu kuarsa sekunder (Gambar 17). Kuarsa sekunder sebagai pengisi rongga, yang sekaligus berfungsi sebagai penyemen, berstruktur sangat halus hingga sedang berstruktur mosaik



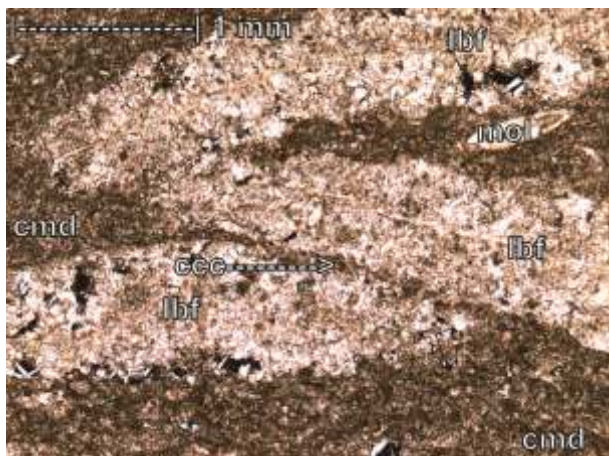
Sumber: Penulis, 2015.

**Gambar 16.** Wackestone penyusun bagian tengah Formasi Wonosari yang terdukung matriks lumpur karbonat (cmd) yang sebagian larut membentuk keporian (por), atau terisi oleh kristal sangat halus kuarsa anhedral. Tampak fosil foraminifera besar bentonik (lbf) termikritkan. Kode sampel SGT208O, kedudukan lensa nikol bersilang



Sumber: Penulis, 2015.

**Gambar 17.** Batugamping terumbu koral yang merupakan salah satu kepingan packstone penyusun bagian atas Formasi Wonosari. Tampak kerangka koral yang larut membentuk keporian (por), sebagian terisi kristal kalsit atau kuarsa halus anhedral (sil). Kode sampel SGT208U, kedudukan lensa nikol bersilang



Sumber: Penulis, 2015.

**Gambar 18.** Wackestone penyusun bagian tengah Formasi Wonosari yang terdunduk matriks lumpur karbonat (cmd) dengan beberapa fosil foraminifera besar bentonik (lbf) dan moluska (mol). Tampak hubungan butiran melengkung akibat pemampatan. Kode sampel SGT208M, kedudukan lensa nikol bersilang.

anhedral saling mengunci hingga kalsedoni, seperti pada sub-bab penyemenan. Pembentukan mineral authigenik oksida besi dan mineral lempung terkonsentrasi di bagian bawah dan tengah runtunan batuan, sedangkan pembentukan mineral kuarsa sekunder umumnya terjadi di bagian tengah dan atas runtunan batuan.

#### **Pemampatan**

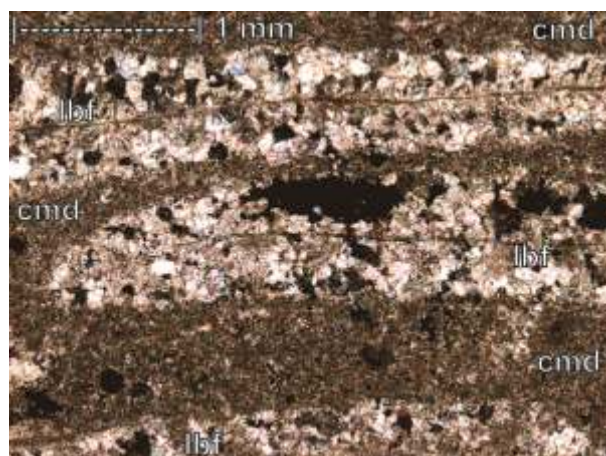
Rekaman proses pemampatan batuan terlihat pada beberapa sampel batuan dengan intensitas lemah hingga sedang, dicirikan dengan bentuk hubungan butir memanjang dan melengkung (Gambar 18). Penciri proses pemampatan yang lain adalah hadirnya pola lapisan stilolit amplitudo rendah pada beberapa sampel batuan.

#### **Pelarutan**

Pelarutan batugamping dapat terjadi pada berbagai lingkungan diagenesis, meskipun pada umumnya berlangsung di lingkungan meteorik vadose, seperti yang masih terjadi di lokasi Ngrijang Sengon. Proses pelarutan yang terjadi tidak memilih kemas, yaitu terjadi secara acak pada seluruh komponen batugamping, baik pada butiran maupun penyemen. Hasil proses pelarutan tersebut adalah keporian sekunder jenis gerowong tidak teratur (Gambar 19). Ukuran keporian yang dijumpai dapat berukuran mikro hingga besar dan telah berhubungan antar sesamanya yang membentuk jenis keporian saluran.

#### **Peretakan**

Retakan dan kekar tektonik hadir terbatas pada sampel batugamping. Kekar gerus hadir berupa kekar rambut



Sumber: Penulis, 2015.

**Gambar 19.** Wackestone penyusun bagian atas Formasi Wonosari yang terdunduk matriks lumpur karbonat (cmd). Tampak fosil foraminifera besar bentonik (lbf) terekristalisasi, dan sebagian larut meninggalkan rongga keporian sekunder. Kode sampel SGT208R, kedudukan lensa nikol bersilang.

yang memotong butiran dan material lainnya. Retakan batuan lebih banyak terjadi sebagai kegiatan biota tumbuh-tumbuhan di permukaan sekarang ini. Rongga retakan tersebut sebagian kecil masih tetap kosong, meninggalkan jenis keporian retakan. Sebagian retakan tersebut telah terisi oleh semen karbonat dari lingkungan meteorik freatik berstruktur *drussy mosaic* anhedral berukuran kristal sangat halus hingga halus.

#### **DISKUSI**

Secara regional, Formasi Wonosari merupakan bagian paparan karbonat, khususnya paparan karbonat terbatas (*rinned carbonate platform*; Read, 1985), dengan arus kuat (Lokier, 2000). Paparan karbonat tersebut diperkirakan tersebar berarah barat-timur, dengan posisi cekungan berada di bagian utara (Siregar, 2004; Praptisih dr., 2005). Namun demikian, dengan mempertimbangkan bahwa kedudukan tektonik pada saat batugamping tersebut terendapkan adalah di busur depan (Siregar, 2004), dan perkembangan tektonik Nogen Asia Tenggara (Hall, 2001), maka dapat diduga bahwa kedudukan cekungan berada di sebelah selatan lokasi penelitian.

Data lapangan dan petrografi tidak memperlihatkan posisi cekungan di lintasan penelitian, akan tetapi hanya memperlihatkan perubahan lingkungan pengendapan secara vertikal. Mukti (2005) mengatakan bahwa lingkungan pengendapan batugamping tersebut meliputi bangunan terumbu (*reef zone*) atau dangkalan luar (*outer shelf*), cekungan

lerengan luar (*basin to outer slope*) dan lerengan atas hingga tengah (*middle to upper slope*) yang terletak di utara *bangunan terumbu*, serta lingkungan dangkalan dalam terumbu belakang (*back reef to inner shelf*) di sebelah selatan dan barat *bangunan terumbu*. Lingkungan pengendapan batugamping di lokasi penelitian berkisar dari sayap terumbu hingga teluk atau kubangan sangat terbatas.

Hubungan bagian terbawah batugamping Formasi Wonosari dengan satuan batuan yang ditindihnya tidak diketahui. Bagian bawah runtunan stratigrafi batugamping ini terendapkan di lingkungan pengendapan laut dangkal dengan sirkulasi terbuka. Lingkungan pengendapan ini relatif stabil di bagian bawah runtunan stratigrafi, tanpa adanya pengaruh gunungapi seperti yang terjadi pada batugamping Formasi Sentolo dan Formasi Jonggrangan di daerah Kulonprogo (Maryanto, 2012 & 2013). Konsentrasi bioklas yang pada umumnya adalah foraminifera besar bentonik, moluska, ganggang merah, dan echinodermata adalah penciri endapan laguna (Tucker & Wright, 1990; Omana & Alencaster, 2009), baik dengan sirkulasi air terbuka maupun tertutup. Kehadiran moluska yang cukup nyata pada beberapa sampel di lokasi penelitian, menunjukkan lingkungan laut dangkal (Harzhauser & Piller, 2009).

Fluktuasi muka air laut terjadi lebih intensif di bagian tengah runtunan batuan. Sebagai akibatnya, lingkungan sering bergantian dari laut dangkal dengan sirkulasi terbuka, dangkalan laguna, teluk hingga kubangan sangat terbatas, hingga sayap terumbu. Meskipun lingkungan seringkali bergantian, akan tetapi komponen biota yang dijumpai relatif masih sama. Yang membedakan identifikasi perbedaan lingkungan tersebut adalah tekstur dan kelimpahan masing-masing bioklas (Mateu-Vicens dr., 2007). Ditemukannya beberapa kepingan batuan terumbu pada *packstone* atau *floatstone* mencirikan fasies sayap terumbu (Flügel, 2004), khususnya yang berada di bagian atas runtunan batuan.

Bagian atas runtunan, lingkungan pengendapan masih beragam, dari lerengan atau cekungan lokal pada dangkalan laguna, tepi lerengan dan landaian pada paparan tertampi, hingga sayap terumbu. Pergeseran lingkungan pengendapan ini wajar terjadi, sebagai akibat naik-turunnya muka air laut secara lokal pada saat itu (Kindler & Hearty, 1996). Meskipun fasies sayap terumbu telah ditemukan, akan tetapi fasies lereng depan terumbu tidak dijumpai. Dengan demikian, lingkungan pengendapan batugamping Formasi Wonosari tidak pernah berada di landaian

dalam, apalagi di lingkungan cekungan laut dalam.

Berdasarkan pengukuran stratigrafi rinci yang telah dilakukan, tampak bahwa ketebalan lapisan batuan relatif homogen. Ketebalan lapisan batuan yang relatif homogen tidak mencerminkan lingkungan pengendapan yang sama (Burgess, 2008). Sama halnya, bahwa perbedaan ketebalan lapisan batuan juga tidak mencerminkan perbedaan lingkungan pengendapan. Yang menjadi penentu perbedaan lingkungan pengendapan adalah struktur, tekstur dan komposisi batuan (Flügel, 1984). Secara umum, terlihat bahwa pengendapan batugamping di lokasi penelitian adalah genang laut, berakhir pada fasies sayap terumbu, dan ditutupi oleh formasi batuan di atasnya tidak diketahui. Dengan demikian, masih menjadi pertanyaan seperti apakah akhir pengendapan batugamping Formasi Wonosari tersebut.

Proses diagenesis yang berpengaruh terhadap batugamping Formasi Wonosari di Ngrijang Sengon, Pacitan, telah berlangsung segera sesudah batuan terendapkan, selama penimbunan formasi, hingga batuan tersingkap di permukaan sekarang ini, yang ringkasan sejarahnya terlihat pada Gambar 20. Proses diagenesis yang satu berlangsung cukup intensif ini (Asy'ari & Winardi, 2014) berlangsung secara bersamaan atau menyusul mengikuti proses diagenesis lainnya (Maryanto, 2012).

Sesuai dengan jenis batuan yang ada, yaitu *packstone*, *wackestone*, dan *floatstone*, maka proses penyemenan awal dari lingkungan laut (Munnecke et al., 1997), seperti yang diulas oleh Braithwaite et al. (2000), tidak berjalan dengan baik. Hal ini terjadi karena rongga dalam partikel dan antar partikel kebanyakan sudah terisi dahulu oleh lumpur karbonat.

PROSES DIAGENESIS	WAKTU RELATIF			
	LAUT	PENYEMENAN	NETEORIK	PENYINGKAPAN
Semen kalsit kempesis				
Semen kalsit kasar				
Fermentasi Karasa Sekunder				
Fermentasi Oksida besi				
Fermentasi Mucosa Lembut				
Fermentasi				
Fekturisasi				
Fekturisasi				
Fekturisasi				
Fekturisasi				

Sumber: Penulis, 2015.

**Gambar 20.** Sejarah proses diagenesis dalam kaitannya dengan waktu relatif pada batugamping Formasi Wonosari di Ngrijang Sengon, Pacitan.

Penyemenan pada lingkungan penimbunan laut (*marine-burial diagenesis*; James, 1991; Melim et al., 2001; Ramadan et al., 2004) juga kurang teramati dengan baik. Penyemenan terbanyak terjadi pada saat batuan terangkat ke permukaan, yaitu di lingkungan meteorik freatik (*phreatic meteoric*; Longman, 1980), dengan kristal mosaik drus anhedral. Beberapa isian semen yang menyusul isian lumpur karbonat yang membentuk struktur geopetal pada beberapa sampel, mengindikasikan adanya naik-turunnya permukaan laut yang bersamaan dengan pembentukan batuan di lingkungan sayap terumbu (Flügel 1982; 2004). Selain semen karbonat, beberapa jenis penyemen non-karbonat dapat dijumpai pada batugamping Formasi Wonosari yang berasal dari lingkungan meteorik (Asy'ari & Winardi, 2014).

Penyemen non-karbonat tersebut adalah oksida besi dan mineral lempung. Pembentukan mineral lempung tersebut erat kaitannya dengan pembentukan paleosoil yang dikontrol oleh proses diagenesis dari lingkungan meteorik vadose (Winardi dr., 2013). Selain itu, pembentukan mineral kuarsa sekunder berjalan seiring dengan adanya sirkulasi larutan jenuh silika (Hobbs et al., 2010) di lingkungan meteorik (Vilasi et al., 2006).

Meskipun jumlahnya sangat terbatas, rekaman proses pemikritan yang ada di beberapa batuan mencerminkan adanya proses diagenesis di lingkungan air tawar (Bathurst, 1975; Ulmer-Scholle & Mosley, 2000). Proses pemikritan ini berhubungan erat dengan proses pelarutan dan penggantian karena pengaruh mikroba (Kolo et al., 2007). Bagian pinggir fosil, seperti moluska, ganggang dan foraminifera, tampak tergantikan menjadi lumpur karbonat secara setempat, sesuai dengan rongga pelarutan akibat kegiatan mikroba tersebut.

Proses penggantian terekam pada matriks dan butiran karbonat, atau disebut sebagai penggantian atau rekristalisasi dengan kemas tak terseleksi (*nonselected fabric replacement or recrystallization*; Moore, 1997). Proses penggantian dan rekristalisasi pada umumnya berlangsung pada zona diagenesis penimbunan (Moore, 1997). Penggantian matriks lumpur karbonat membentuk mikrosparit kalsit anhedral sangat halus yang tersebar kurang merata. Penggantian pada beberapa fosil, khususnya fosil moluska, terjadi segera sesudah pengendapan batuan tanpa melalui fase pelarutan (Bathurst, 1975), yang menyisakan struktur dalam fosil moluska. Penggantian beberapa fosil berlanjut terus, hingga menjadi proses rekristalisasi yang merusak struktur dalam fosil.

Pemampatan terekam samar-samar pada batugamping di lintasan penelitian, begitu pula dengan rekaman proses peretakan yang sangat jarang terlihat. Kurang kuatnya rekaman proses pemampatan yang tercermin dengan pola hubungan butir ini, diakibatkan oleh: 1) komponen batuan dikuasai oleh lumpur karbonat sehingga hubungan butir terlihat mengambang atau 2) komponen batuan baik matriks maupun butiran karbonat telah tergantikan dan terekristalisasi. Selain hal tersebut, secara regional (Samodra dr., 1992 dan Surono dr., 1992), tidak dijumpai suatu satuan batuan yang cukup tebal yang menindih batugamping Formasi Wonosari, sehingga proses pemampatan tidak berlangsung dengan efektif.

Proses pelarutan yang membentuk rongga keporian gerowong hingga goa dan saluran (*cavern and channeling*; Choquette & Pray, 1970) lebih tampak di lapangan daripada di bawah mikroskop polarisasi. Proses pelarutan ini cukup efektif berlangsung karena lokasi penelitian merupakan bukit terjal dengan morfologi lebih tinggi daripada morfologi sekitarnya.

Dalam kaitannya dengan istilah *rijang* (Ernawan, 2000), terbukti bahwa tidak ada komponen rijang (*chert*) yang dijumpai di lokasi penelitian. Oleh penulis tersebut, istilah *rijang* dimaksudkan untuk mengidentifikasi batugamping yang sangat keras dan dipakai sebagai bahan beliung oleh manusia purba. Di lain pihak, rijang hanya dapat ditemukan sebagai endapan laut dalam yang tidak gampingan. Lingkungan pengendapan batugamping di lokasi ini tidak pernah terjadi di laut dalam. Hadirnya beberapa kuarsa sekunder di dalam batugamping semata-mata karena proses diagenesis, yaitu pembentukan mineral authigenik kuarsa atau dapat disebut sebagai proses penyemenan. Beberapa rongga pelarutan pada batugamping tersebut, kemudian terisi oleh kristal kuarsa halus anhedral dari lingkungan diagenesis meteorik (Moore, 1997). Unsur silika yang mengisi sebagian rongga gerowong tersebut diperkirakan berasal dari Formasi Kalipucang, bersamaan dengan proses pengangkatan batuan. Pengisian rongga atau proses penyemenan pada zona meteorik vadose masih berlangsung hingga sekarang, membentuk oksida besi dan mineral lempung authigenik. Istilah *flintstone* (Schmid, 2011) lebih tepat daripada *chert*, untuk memberi istilah pada batugamping silikaan yang ada di lokasi penelitian. Pengisian rongga oleh kristal kuarsa ini menjadikan batugamping tersebut lebih padat dan keras, sehingga digunakan oleh manusia purba pada saat itu untuk peralatan berburu dan rumah-tangga.

## KESIMPULAN

- Pengujian petrografi yang dilakukan terhadap dua puluh dua sampel batugamping Formasi Wonosari di lokasi Ngrijang Sengon, memperlihatkan beberapa jenis batugamping, meliputi *wackestone*, *packstone*, dan *floatstone*, serta *boundstone* sebagai kepingan batuan.
- Bagian bawah runtunan stratigrafi batugamping Formasi Wonosari di lintasan Ngrijang Sengon berada di lingkungan pengendapan laut dangkal dengan sirkulasi terbuka di bawah dasar gelombang (SMF8/FZ7). Lingkungan pengendapan ini relatif stabil di bagian bawah runtunan stratigrafi. Memulai bagian tengah runtunan, fluktuasi muka air laut terjadi lebih intensif, sehingga lingkungan bergantian dari laut dangkal dengan sirkulasi terbuka di bawah dasar gelombang (SMF9/FZ7), dangkalan laguna dengan sirkulasi air terbuka di bawah dasar gelombang (SMF8/FZ7), teluk hingga kubangan sangat terbatas (SMF19/FZ8), hingga sayap terumbu (SMF4/FZ4). Bagian atas runtunan, lingkungan pengendapan masih beragam, dari laut dangkal dengan sirkulasi terbuka di bawah dasar gelombang (SMF9/FZ7), lerengan atau cekungan lokal pada dangkalan laguna (SMF10/FZ7), tepi lerengan dan landaian pada paparan tertampi (SMF12/FZ6), hingga sayap terumbu (SMF4/FZ4).
- Rekaman proses diagenesis yang terawetkan pada batugamping itu, meliputi: bioturbasi, pengisian rongga fosil, penggantian, penyemenan, rekristalisasi, pemikritan, pembentukan mineral authigenik, pemampatan, pelarutan, dan peretakan. Proses diagenesis penyemenan, termasuk pembentukan mineral kuarsa sekunder menyebabkan adanya bintal silikaan pada beberapa lapisan batugamping, dan menjadikan batuan sangat keras untuk dipakai sebagai artefak manusia purba.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang tulus diucapkan kepada Sdr. Dadan Rudiansyah yang membantu penulis di lapangan untuk pengambilan sampel batuan, serta Sdr. Heriyanto dan Sdr. Herwin Syah atas batuan pemotretan sayatan pipih dan pendigitan gambar.

## ACUAN

- Adams A.E. and MacKenzie, W.S., 1998. *A color atlas of carbonate sediments and rocks under the microscope*. John Wiley & Sons, New York, Toronto, 180 p.
- Anonim, 2015. Ngrijangan. <http://gunungsewugeopark.com/ngrijangan/> <10/06/2015>.
- Asy'ari, M.R., dan Winardi, S., 2014. Hubungan antara evolusi porositas dengan karakteristik diagenesis Formasi Wonosari di Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi DIY. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada* 7: 721-732.
- Bathurst, R.G.C., 1975. *Carbonate sediments and their diagenesis, second enlarged edition*. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, Amsterdam, Oxford, 658 p.
- Braithwaite, C.J.R., Taylor, J.D., and Glover, E.A., 2000. Marine carbonate cements, biofilms, biomineralization, and skeletogenesis: some bivalves do it all. *J. Sed. Res.* 70: 1129-1138.
- Burgess, P.M., 2008. The nature of shallow-water carbonate lithofacies thickness distributions. *Geology* 36: 235-238.
- Choquette P.W. and Pray, L.W., 1970. Geological nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 54: 207-50.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. Ham (ed). *Classification of carbonate rocks. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 1: 108-121.
- Embry, A.F. and Klovan, J.E., 1971. A Late Devonian reef tract on north-eastern Banks Island, north west territory. *Can. Petrol. Geol. Bull.* 19: 730-781.
- Ernawan, Y., 2000. Studi taksonomi pembuatan beliung prasejarah di Ngrijang Sengon, Ngrijangan, Gunung

- Gamping, Kendeng Lembu: Aplikasi analisis kluster Steninhouse dan uji D/MA. *Berkala Arkeologi* 19(2): 29-47.
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application*. Springer-Verlag Inc., Berlin, Heidelberg, New York, 976 p.
- Flügel, E., 1982. *Microfacies analysis of limestones*. Springer-Verlag Inc., Berlin, Heidelberg, New York, 633 p.
- Folk, R.L., 1962. Spectral subdivisions of limestone types. In: W.E. Ham (ed). Classification of carbonate rocks. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 1: 62-85.
- Gregg, J.M., 2005. Photographic gallery of carbonate petrology. Via < [http://web.umn.edu/~greggjay/Carbonate\\_Page/photogal.html](http://web.umn.edu/~greggjay/Carbonate_Page/photogal.html) > (27/2/2006).
- Hall, R., 2001. Cenozoic reconstructions of SE Asia and the SW Pacific: changing patterns of land and sea. In Metcalfe, I., Smith, J.M.B., Morwood, M., and Davidson, I.D. (Eds.). *Faunal and floral migrations and evolution in SE Asia – Australia*. AA Balkema (Swets & Zeitlinger Publisher), Lisse, 35-56.
- Harzhauser, M. and Piller, W.E., 2009. Molluscs as a major part of subtropical shallow-water carbonate production – An example from a Middle Miocene oolite shoal (Upper Serravallian, Austria). *Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ.* 42: 185-200.
- Hobbs, W.O., Lalonde, S.V., Vinebrooke, R.D., Konhauser, K.O., Weidman, R.P., Graham, M.D., and Wolfe, A.P., 2010. Algal silica cycling and pigment diagenesis in recent alpine lake sediments: mechanisms and paleoecological implications. *Journal of Paleolimnol* 14: 613-628.
- James, N.P., 1991. Diagenesis of carbonate sediments, notes to accompany a short course. *Geol. Soc. Austr.*, 101 p.
- Kindler, P. and Hearty, P.J., 1996. Carbonate petrography as an indicator of climate and sea-level change: new data from Bahamian Quarternary units. *Sedimentology* 43: 381-399.
- Kolo, K., Keppens, E., Preat, A., and Claeys, P., 2007. Experimental observations on fungal diagenesis of carbonate substrates. *Journal of Geophysical Research* 112: 1-20.
- Lokier, S., 2000. The Miocene Wonosari Formation, Java, Indonesia: Volcaniclastic influences on carbonate platform development (PhD Project). Southeast Asia Research Group, Department of Earth Science, Royal Holloway University of London. (abstract)
- Longman, M.W., 1980. Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. *AAPG Bull.* 64: 461-487.
- MacKenzie, W.S., Donaldson, C.H., and Guilford, C., 1984. *Atlas of sedimentary rocks and their textures*. Longman Scientific and Technical, Essex.
- Maryanto, S., 2013. Sedimentologi batugamping Formasi Jonggrangan di sepanjang lintasan Gua Kiskendo, Girimulyo, Kulonprogo. *Jurnal Sumber Daya Geologi* 23: 105-120.
- Maryanto, S., 2012. Limestone diagenetic records based on petrographic data of Sentolo Formation at Hargorejo traverse, Kokap, Kulonprogo. *Indonesian Journal of Geology* 7: 87-99.
- Mateu-Vicens, G., Hallock, P. and Brandano, M., 2007. A depositional model and paleoecological reconstruction of the lower Tortonian distally steepened ramp of Menorca (Balearic Island), Spain. *Palaios* 23: 465-481.
- Melim, L.A., Swart, P.K., and Maliva, R.G., 2001. Meteoric and marine-burial diagenesis in the subsurface of Great Bahama bank. *SEPM Spec. Publ.* 70: 137-161.
- Moore, C.H., 1997. *Carbonate diagenesis and porosity*. Developments in sedimentology 46. Elsevier Science B.V., 338 p.
- Mukti, M.M., 2005. Carbonate depositional environment and platform morphology of the Wonosari Formation in the area east of Pacitan. *Indonesian Journal of Geology and Mining* 15. (abstract).
- Munnecke, A., Westphal, H., Reijmer, J.J.G., and Samtleben, C., 1997. Microspar development during early marine burial diagenesis: a comparison of Pliocene carbonates from the Bahamas with Silurian limestone from Gotland (Sweden). *Sedimentology* 44: 977-990.
- Omana, L. and Alencaster, G., 2009. Lower Aptian shallow-water benthic foraminiferal assemblage from the Chilacachapa range in the Guerrero-Morelos platform, south Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas* 2: 575-586.



- Praptisih, Mukti, M.M., Trisuksmono, J., Siregar, M.S., dan Supriatna, M., 2005. Studi endapan karbonat Formasi Wonosari di daerah Pacitan-Panggul dan kaitannya dengan reservoir hidrokarbon di Jawa selatan. Laporan teknis internal, Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Bandung (tidak terbit).
- Railsback, L.B., 2002. An atlas of pressure dissolution features. Via < <http://www.gly.uga.edu/railsback/PDFindex1.html> > (20/02/2006).
- Ramadan, K.A.Al., Hussain, M., Imam, B., and Saner, S., 2004. Lithologic characteristics and diagenesis of the Devonian Jauf sandstone at Ghawar Field, Eastern Saudi Arabia. *Marine and Petroleum Geology* 21: 1221–1234
- Read, J.F., 1985. Carbonate platform facies models. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 69: 1-21.
- Samodra, H., Gafoer, S. dan Tjokrosapoetro, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Schmid, F., 2011. Flint stratigraphy and its relationship to archaeology. In: Sieveking, G.De.G. and Hart, M.B. (eds.), *The scientific study of flint and chert (paperback edition)*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, pp. 1-6.
- Scholle, P.A., 1978. A color illustrated guide to carbonate rock constituents, textures, cements, and porosities. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 27, Tulsa, 241 p.
- Siregar, S., Kamtono, Praptisih, and Mukti, M.M., 2004. Reef facies of the Wonosari Formation, south of Central Java. *Riset Geologi dan Pertambangan* 14:1-17.
- Surono, Toha, B., dan Sudarno, I. dan Wirjosujono, S., 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Tucker, M.E. and Wright, V.P., 1990. *Carbonate sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburg, Cambridge, 482 p.
- Ulmer-Scholle and Mosley, 2000. Sedimentary petrography. *Geology* 424/524. Via < <http://www.ees.nmt.edu/Geol/classes/geol524/homepage.html> > (20/02/2006).
- Vilasi, N., Swennen, R., and Roure, F., 2006. Diagenesis and fracturing of Paleocene-Eocene carbonate turbidite system in the Ionian basin: the example of the Kelcyra area (Albania). *Journan of Geochemical Exploration* 89: 409-413.
- Wilson, J.L. 1975. *Carbonate facies in geologic history*. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 471 p.
- Winardi, S., Asy'ari, M.R., dan Diamantha, A.O., 2013. Identifikasi subaerial exposure pada batuan karbonat untuk penentuan zona reservoir dengan studi kasus Formasi Wonosari, Gunungkidul, Yogyakarta. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada* 6: 535-554.