



## Geokimia dan Analisis Lingkungan Pengendapan Batugamping Pliosen Formasi Paciran di Daerah Watuputih, Kabupaten Rembang, Provinsi Jawa Tengah

### *Geochemistry and Paleoenvironment Analysis of Pliocene Paciran Limestone in the Watuputih Area, Rembang Regency, Central Java Province*

Dian Novita <sup>1,2</sup>, Budi Muljana <sup>1</sup>, Moh. Heri Hermiyanto Zajuli <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjajaran, Jalan Raya Bandung – Sumedang Km 21, Jatinangor, Jawa Barat.

<sup>2</sup> Pusat Survei Geologi, Jalan Diponegoro No. 57 Bandung, Jawa Barat  
 email : dn.diannovita@gmail.com

Naskah diterima: 14 September 2022, Revisi terakhir: 24 Januari 2023, Disetujui: 12 Mei 2023 Online: 12 Mei 2023  
 DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v24i2.729>

**Abstrak** - Batugamping Formasi Paciran berumur Pliosen tersingkap di daerah Watuputih, Rembang, Jawa Tengah. Pengukuran stratigrafi rinci dengan skala 1:100 dengan total ketebalan batugamping 57,6 m. Analisis mikrofasies menggunakan sayatan tipis menghasilkan 3 SMF (Standard Microfacies) yaitu *burrowed bioclastic wackestone* (SMF 9), *bioclastic packstone with skeletal grain* (SMF 10), dan *rudstone abundant with algae/foraminifera* (SMF18) dengan zona fasies (FZ) 7 dan 8, yaitu lingkungan pengendapan pada paparan laguna dengan sirkulasi pada lautan terbuka, kemudian berubah menjadi paparan laguna tertutup. Analisis geokimia batuan berupa oksida utama menyebutkan adanya korelasi positif antara CaO dan LOI yang mengindikasikan bahwa batuan memiliki kandungan material organik/karbonat yang melimpah. Persentase kehadiran oksida pengotor pada batuan karbonat seperti SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dijumpai dengan jumlah yang minimal mengindikasikan pada saat pembentukan batugamping sedikit mendapat pengaruh dari material detritus. Rasio Ca/Mg menunjukkan Batugamping Paciran di lokasi ini masuk dalam kelompok *pure limestone* yang terbentuk pada cekungan jauh dari garis pantai.

**Katakunci:** Batugamping, Formasi Paciran, geokimia, lingkungan pengendapan.

**Abstract** - Pliocene limestone of Paciran Formation is exposed in the Watuputih area, Rembang, Central Java. Detailed stratigraphic measurements on a scale of 1:100 with a total limestone thickness are 57.6 m. Microfacies analysis using thin section find 3 SMF (Standard Microfacies), specifically: *burrowed bioclastic wackestone* (SMF 9), *bioclastic packstone with skeletal grain* (SMF 10), and *rudstone abundant with algae/foraminifera* (SMF18) with facies zone (FZ) 7 and 8, that is the depositional environment on the lagoon with circulation in the open ocean then turning into a closed lagoon. Geochemical analysis of rocks in the form of major oxides stated that there was a positive correlation between CaO and LOI which indicated that the rock had an abundant organic/carbonate content. The percentage of the presence of impurity oxides in carbonate rocks such as SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was found with minimal amounts indicating that the limestone formation was slightly influenced by detritus material. The Ca/Mg ratio shows that the Paciran limestones at the study site belong to the pure limestone group which is formed in a basin far from the shoreline.

**Keywords:** Limestone, Paciran Formation, geochemistry, depositional environment.

**PENDAHULUAN**

Kala Pliosen ditandai dengan peristiwa *Closure Indonesia Seaway* diikuti dengan pendinginan global yang menyebabkan level muka air laut turun secara drastis (Srinivasan & Sinha, 1998). Hal tersebut sangat berpengaruh terhadap produksi batuan karbonat dimana pembentukannya di pengaruhi oleh temperatur dan salinitas. Batuan karbonat merupakan kelompok batuan sedimen yang komponen utamanya berupa mineral karbonat (Maryanto, 2017), dan terbagi menjadi dua jenis, yaitu batugamping yang dominan dengan komposisi  $CaCO_3$  dan dolomit yang dominan dengan komposisi  $CaMg(CO_3)_2$ . Batuan karbonat merupakan batuan yang terbentuk di cekungan asal, entah terbentuk di cekungan tersebut atau terendapkan dekat dengan sumber. Wilayah studi merupakan bagian dari Cekungan Jawa Timur Utara di Zona Rembang dengan kolom stratigrafi seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.

Studi batuan karbonat telah dikembangkan menjadi beragam metode. Beberapa dekade terakhir analisis geokimia telah digunakan untuk mengetahui sejarah pengendapan dari batugamping (Madhavaraju & Gonzales-Leon, 2012; Abedini & Calagari, 2015). Oksida major dan beberapa unsur jejak memberikan informasi mengenai komposisi batuan karbonat dan kondisi pengendapannya (Patra & Singh, 2017). Kandungan oksida major dapat menceritakan sumber sedimen dengan memperhatikan rasio oksida mayor  $SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$  (Irzon dkk., 2016). *Loss On*

*Ignitin* (LOI) digunakan untuk mengestimasi konten organik dan karbonat pada batuan sedimen (Heiri dkk., 2001).

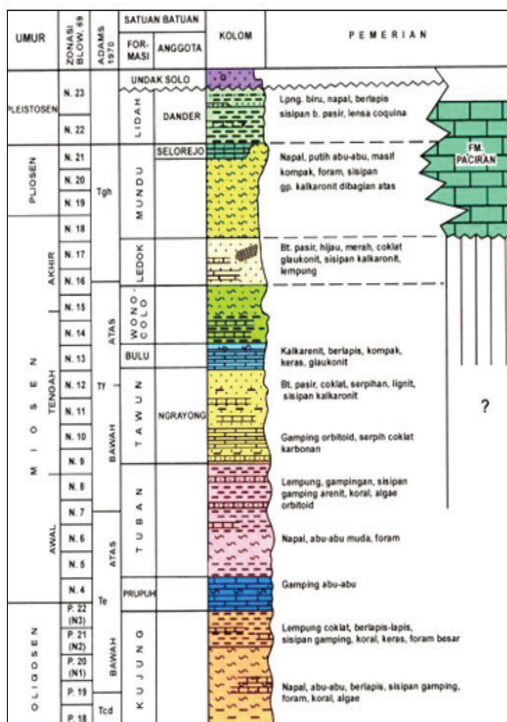
Studi batugamping Formasi Paciran difokuskan pada mikrofases dalam kaitannya dengan lingkungan pengendapan serta hubungannya dengan geokimia batugamping yang mempengaruhi keterbentukannya.

**METODOLOGI**

Sejumlah 11 (sebelas) sampel batugamping Formasi Paciran diambil dari lintasan stratigrafi terukur, untuk dilakukan pengamatan makroskopik dan pembagian litofasiesnya. Sampel terpilih dicuci dengan air destilasi untuk menghilangkan pengotor. Setelah dikeringkan sampel batuan ditumbuk dan diayak untuk mendapatkan ukuran butir 200 mesh. Sampel tersebut kemudian dianalisis secara geokimia dengan perangkat *X-Ray Fluorescence* (XRF) guna mengetahui komposisi oksida utama. Koefisien korelasi akan digunakan untuk menentukan hubungan antar oksida utama. Analisis *Loss On Ignition* (LOI) diperoleh dari perhitungan persentase antara berat sampel dan berat residu. Pekerjaan ini diawali dengan pemanasan cawan pada temperatur 550°C, kemudian cawan didinginkan dalam desikator dan ditimbang untuk memperoleh berat cawan kosong. Sejumlah 1 (satu) gram sampel dimasukkan dalam cawan kemudian kembali dipanaskan pada temperatur 1.000°C selama 1 jam. Setelah didinginkan, cawan ditimbang ulang untuk mendapat berat cawan dan residu.

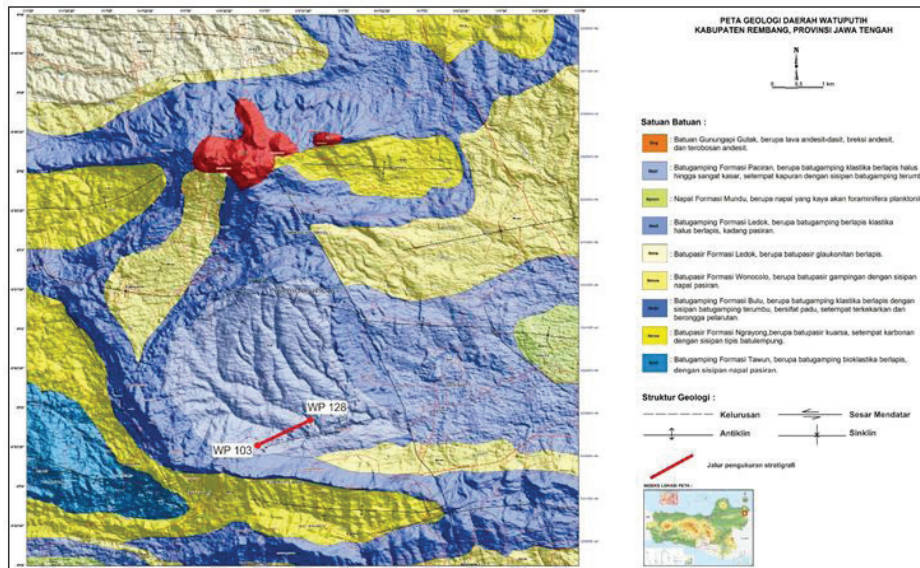
**GEOLOGI**

Daerah studi berada di Wilayah Watuputih, Kabupaten Rembang. Berdasarkan peta geologi interpretasi inderaan jauh skala 1:50.000 lembar Blora (Novita dkk., 2017) dan Lembar Jatirogo (Faturrahman & Kusumah, 2017) terbitan Pusat Survei Geologi, di daerah ini tersusun oleh batugamping Formasi Bulu dan Formasi Paciran (Gambar 2). Batugamping Formasi Bulu diperkirakan berumur Miosen Tengah. Batugamping Formasi Paciran terendapkan secara tidak selaras di atas batugamping Formasi Bulu. Penyusun Formasi Paciran satuan ini umumnya adalah batugamping klastika berlapis halus-sangat kasar, setempat kapuran (*chalky*) dengan sisipan batugamping terumbu (Maryanto, 2017). Struktur geologi utama yang berkembang di daerah ini meliputi dua sesar geser dan antiklin. Tektonik pada Neogen Akhir mengakibatkan terjadinya pensesaran sepanjang Patahan Baribis-Kendeng di utara Jawa (Simandjutak, 1992; Maryanto, 2017). Aktifitas tektonik tersebut membentuk cekungan pengendapan karbonat lokal yang dibatasi oleh patahan berarah baratlaut-tenggara.



sumber: Pringgoprawiro, 1983; Santika & Mulyadi, 2017

Gambar 1. Kolom Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara.



Gambar 2. Peta geologi daerah Watuputih (Novita, dkk. 2017; Faturrahman & Kusumah. 2017). Kotak merah merupakan daerah penelitian.

## KENAMPAKAN LAPANGAN

Singkapan batugamping Formasi Paciran banyak ditemui di Pegunungan Watuputih. Batuan tersingkap akibat aktivitas penambangan yang banyak dilakukan di area tersebut. Pengukuran stratigrafi dilakukan pada tebing sisa kupasan jalan menuju tambang (Gambar 3). Secara umum batuan memiliki kemiringan ke arah timurlaut dengan total ketebalan terukur 58 m. Bagian bawah lapisan tersusun oleh batugamping *packstone-wackestone* dengan sisipan *rudstone* dan ketebalan mencapai 5 m (Gambar 4). Selanjutnya berkembang *rudstone* dengan sisipan *wackestone*. Pada bagian atas dari *rudstone* ditemukan lapisan tipis paleosoil (Gambar 5). Selanjutnya berkembang batugamping *rudstone* dengan sisipan *packstone* dengan ketebalan 13,6 m.

Bagian atas dari *rudstone* disisipi paleosoil sebelum kemudian berkembang batugamping *wackestone*. Di bagian atas jalur pengukuran stratigrafi berkembang batugamping berukuran lebih halus *wackestone-packstone* dengan beberapa sisipan *rudstone* dan berstruktur sedimen silang-siur (Gambar 6). Pengukuran arah relatif silang-siur mendapatkan nilai  $U320^{\circ}T$ , sehingga diinterpretasikan arah arus daerah ini dari timur-timurlaut.

## HASIL DAN INTERPRETASI

### Analisis Mikrofases

Analisis mikrofases dilakukan dengan menggunakan pengamatan pada sayatan tipis. Pengamatan kuantitatif dengan metode *point counting* dapat dilihat pada Tabel 1. Sampel diperoleh dari pengukuran stratigrafi

dengan mempertimbangkan perubahan litofases yang teramati di lapangan. Berdasarkan analisis 13 (tigabelas) sampel sayatan yang diamati, diperoleh 3 SMF (*Standard Micro Facies*) berdasarkan Flugel (2004) dan 2 Facies Zone berdasarkan Wilson (1975). Lebih detailnya dapat dilihat pada Gambar 7.

### *Burrowed Bioclastic Wackestone*

Mikrit berwarna gelap mengelilingi bioklastik berukuran mikron. Terdapat beberapa jejak galian organisme meninggalkan pola acak memanjang yang dapat teramati pada sayatan tipis (Gambar 7). Merupakan karakter dari SMF 9 (Flugel, 2004) atau pada FZ 7 (Wilson, 1975).

### *Bioclastic Packstone-Wackestone with Skeletal Grain*

Pada sayatan WP103B (Gambar 9) teramati sayatan batuan yang kaya akan cangkang moluska dan foraminifera bentonik (foram besar dan foram kecil). Mikrit berada di antara butiran cangkang. Merupakan karakter dari SMF 10 (Flugel, 2004) atau pada FZ 7 (Wilson, 1975).

### *Rudstone with Abundant Foraminifera/Algae*

Kandungan foraminifera bentonik cukup melimpah dan terdapat pecahan dari alga dan koral (Gambar 10a). Ukuran bioklas antara 0,5 – 1,5 mm. Sedikit terdapat mikrit yang berada di antara fragmen bioklas (Gambar 10b). Merupakan karakter dari SMF 18 (Flugel, 2004) atau pada FZ 8 (Wilson, 1975).

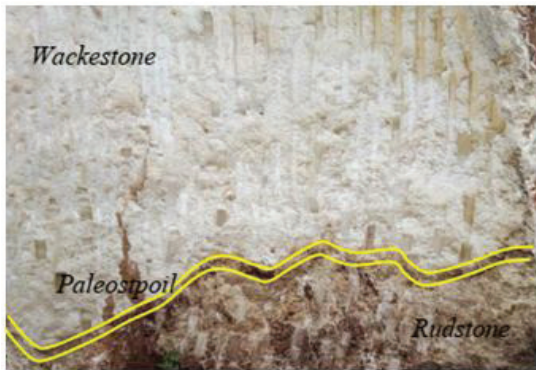




Gambar 3. Area pertambangan batugamping di Watuputih. Pengukuran stratigrafi dilakukan pada tebing sisa kupasan jalan tambang pada stasiun pengamatan WP103.



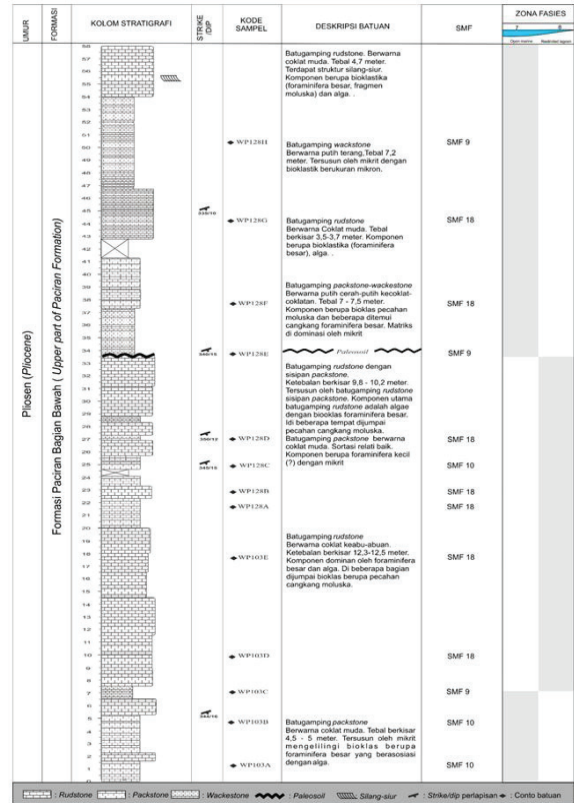
Gambar 4. Batugamping wackestone-packstone sisipan batugamping rudstone yang berkembang pada stasiun pengamatan WP103.



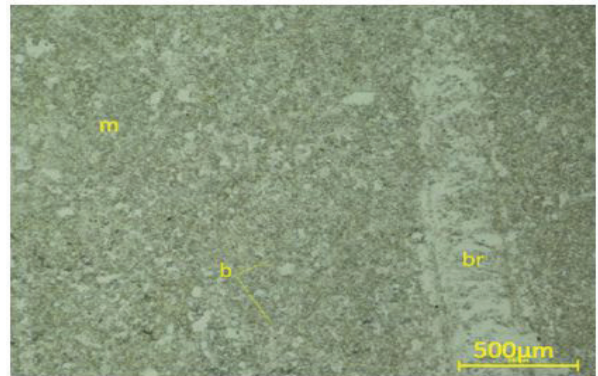
Gambar 5. Perlapisan rudstone dan wackestone dengan sisipan paleosol pada stasiun pengamatan WP128.



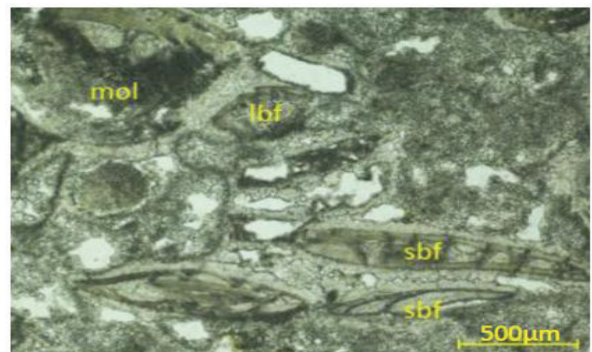
Gambar 6. Struktur sedimen silang-siur di batugamping rudstone pada stasiun pengamatan WP128.



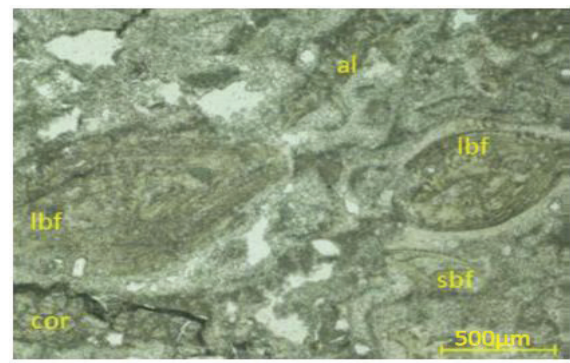
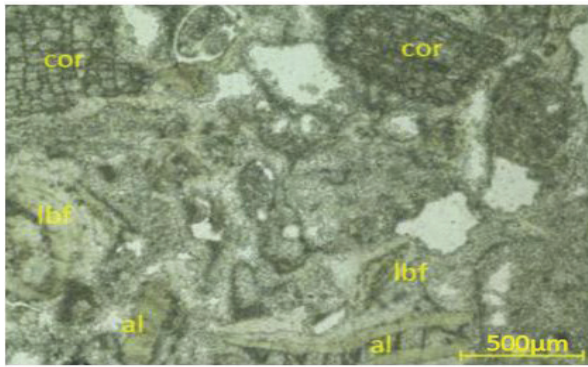
Gambar 7. Kolom stratigrafi dan analisis mikrofasi batugamping Formasi Paciran di daerah Watuputih.



Gambar 8. Sayatan tipis sampel kode WP103C yang memperlihatkan mikrit (m), bioklas (b) dan jejak galian organisme (br).



Gambar 9. Sayatan tipis WP103B. dengan fragmen cangkang moluska (mol), foram besar (lbf) dan foram bentuk kecil (sbf).



Gambar 10a. Fragmen bioklas berupa koral (cor), alga (al), dan cangkang foraminifera (lbf). Foto dari dari sampel WP128F.

Gambar 10b. Cangkang foraminifera besar (lbf) dengan ukuran sekitar 1,5 mm. Pada bagian luar cangkang diselimuti oleh mikrit berwarna coklat keabu-abuan. Foto dari sampel WP128F.

Tabel 1. Ringkasan pengamatan petrografi batugamping Formasi Paciran dari daerah Watuputih, Rembang, Jawa Tengah

Deskripsi	WP103A	WP103B	WP103C	WP103D	WP103E	WP128A	WP128B	WP128C	WP128D	WP128E	WP128F	WP128G	WP128H
Struktur	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Tekstur	fb	fb	fb	fb	fb	fb	fb	fb	fb	fb	fb	fb	Fb
Sortasi	b	b	b	sb	b	sb	sb	b	sb	b	sb	sb	B
Bentuk komponen	mrt	mrt	mbt	mrc	mrc	mrt	mrc	mbt	mrc	mbt	mrc	mrc	mbt
Hubungan komponen	t, l, tg	t, tg	t, l, tg	t, tg	t, tg, m	t, l, tg	t, tg, m	t, l, tg	t, l, tg	m, t	t, tg, m	t, tg, m	T, l, tg
Persentase (%) Komponen													
<b>Komponen</b>													
Bioklas	55	45	2	70	65	55	65	40	80	2	70	80	20
Intraklas/ekstraklas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-
<b>Matriks</b>													
Lumpur karbonat	20	20	40	2	15	15	10	20	5	30	5	5	50
Mineral lempung	-	-	-	-	-	-	5	-	-	5	-	-	5
<b>Penyemenan</b>													
Orthosparit	5	5	28	5	5	5	5	15	2	10	5	10	5
Lempung autigenik	-	-	-	-	-	-	5	-	3	5	-	-	3
<b>Neomorfisme</b>													
Mikrosparit	16	28	17	10	15	20	7	20	7	30	20	5	10
Pseudosparit	4	2	13	3	-	5	3	5	3	15	-	-	7
Nama Batuan	<i>p</i>	<i>P</i>	<i>w</i>	<i>r</i>	<i>R</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>W</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>W</i>
SMF/FZ	10/7	10/7	10/7	18/5	18/5	18/5	18/5	10/5	18/5	9/7	18/7	18/7	9/7
<b>Keterangan</b>													
<b>Struktur</b> m : masif							<b>Hubungan Komponen</b> t : titik l : lengkung tg : tangensial m : mengambang						
<b>Tekstur</b> fb : fragmen bioklastik							<b>Hubungan Komponen</b> t : titik l : lengkung tg : tangensial m : mengambang						
<b>Sortasi</b> b : buruk sb : sangat buruk							<b>Nama Batuan</b> <i>p</i> (packstone) <i>w</i> (wackestone) <i>r</i> (rudstone)						
<b>Bentuk Komponen</b> mrc : meruncing mrt : meruncing tangung mbt : membundar tangung													

**Analisis Geokimia**

**Analisis Oksida Utama**

Dari identifikasi mikrofases, batugamping penyusun daerah penyelidikan terdiri atas 3 (tiga) kelas besar, yaitu: batugamping *wackstone*, batugamping *packstone*, dan batugamping *rudstone*. Analisis geokimia dilakukan untuk mengetahui variasi vertikal komposisi kimia pada batuan. Analisis menggunakan metode XRF untuk mengetahui kandungan oksida utama pada batuan (Tabel 2). Diagram variasi vertikal unsur oksida utama dapat dilihat pada Gambar 10. Unsur paling dominan penyusun batuan adalah CaO dengan kisaran 56,22-56,89 %. Perubahan nilai CaO

pada batuan selaras dengan perubahan fasies pada batuan. Berikut adalah detail hasil Analisis geokima pada tiap fasies batuan:

a. Fasies *Wackstone*

CaO memiliki korelasi negatif terhadap MgO, akan tetapi memiliki korelasi positif terhadap SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Peningkatan kadar MgO diikuti oleh penurunan kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. MnO berkorelasi positif terhadap Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. SiO<sub>2</sub> memiliki korelasi positif terhadap MnO akan tetapi berkorelasi negatif terhadap LOI. SrO dan SO<sub>3</sub> memiliki korelasi positif terhadap LOI. Nilai korelasi dapat dilihat pada Tabel 3.



Tabel 2. Kandungan oksida utama pada batugamping Formasi Paciran di daerah studi.

Oksida Utama	WACKSTONE			PACKSTONE				RUDSTONE			
	WP 128 H	WP 128 E	WP 103 C	WP 103 B	WP 103 A	WP 128 C	WP 128 G	WP 128 B	WP 128 A	WP 103 E	WP 103 D
CaO	56,54	56,65	56,89	56,74	56,81	56,84	56,31	56,22	56,38	56,85	56,55
MgO	0,2	0,136	0,161	0,141	0,141	0,151	0,157	0,151	0,136	0,13	0,117
SiO <sub>2</sub>	0,04	0,0668	0,0763	0,104	0,0446	0,0761	0,0975	0,127	0,0798	0,0756	0,0744
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,0294	0,0413	0,0491	0,0233	0,0401	0,056	0,0886	0,0469	0,0409	0,0402
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,013	0,0146	0,0169	0,0181	0,0152	0,0136	0,0228	0,0429	0,0367	0,0234	0,0147
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,031	0,0247	0,0257	0,0278	0,0222	0,0288	0,0299	0,0246	0,0262	0,0203
SrO	0,015	0,0108	0,0069	0,0081	0,0116	0,0101	0,0104	0,014	0,0113	0,0099	0,0071
SO <sub>3</sub>	0,012	0,01	0,0082	0,0088	0,012	0,0102	0,0105	0,0119	0,01	0,008	0,0073
MnO	0,0025	0,0026	0,0061	0,0042	0,0032	0,0034	0,001	0,0033	0,0032	0,0034	0,0034
LOI	43,13	43,4	42,7	42,8	42,9	42,82	42,96	43,29	43,26	42,8	42,8

Tabel 3. Nilai korelasi geokimia fasies wackstone.

	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	SO <sub>3</sub>	MnO	LOI
CaO	1									
MgO	-0,42411	1								
SiO <sub>2</sub>	0,887107	-0,79423	1							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,989709	-0,54934	0,944024	1						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,994175	-0,51925	0,931686	0,999366	1					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,226587	-0,97815	0,650565	0,363625	0,330241	1				
SrO	-0,97306	0,621463	-0,96962	-0,99604	-0,99224	-0,44502	1			
SO <sub>3</sub>	-0,97095	0,628487	-0,97178	-0,9952	-0,99108	-0,45306	0,99996	1		
MnO	0,958824	-0,14946	0,719496	0,908319	0,922631	-0,05936	0,86753	-0,86302	1	
LOI	-0,76178	-0,26361	-0,37676	-0,66124	-0,68752	0,458381	0,59191	0,584634	-0,9144	1

#### b. Fasies Packstone

CaO memiliki korelasi positif terhadap MgO akan tetapi memiliki korelasi negatif terhadap SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Kenaikan kadar MgO diikuti oleh penurunan kadar Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. SiO<sub>2</sub> memiliki korelasi positif terhadap MnO akan tetapi memiliki korelasi negatif terhadap SO<sub>3</sub> dan SrO. SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki korelasi negatif terhadap LOI. Nilai korelasi dapat dilihat pada Tabel 4.

#### c. Fasies Rudstone

CaO memiliki korelasi negatif terhadap MgO, akan tetapi memiliki korelasi positif terhadap MnO. SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki korelasi negatif terhadap CaO. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> memiliki korelasi positif terhadap SO<sub>3</sub> dan SrO. Meskipun LOI memiliki korelasi positif terhadap MgO, akan tetapi memiliki korelasi negatif terhadap CaO. Nilai korelasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Rasio Ca/Mg dapat menjadi petunjuk kondisi pembentukan batuan karbonat. Tingkat evaporasi rendah diikuti oleh salinitas yang rendah menunjukkan batuan terbentuk jauh dari garis pantai sehingga rasio Ca/Mg meningkat, sedangkan rasio Mg/Ca menurun. Sebaliknya, jika tingkat evaporasi tinggi dan salinitas tinggi menunjukkan batuan terbentuk dekat dari garis pantai maka rasio Ca/Mg meningkat (Marshner, 1968). Todd (1966) mengelompokkan batugamping berdasarkan rasio Ca/Mg nya menjadi 3 kelompok.

Batugamping dolomit memiliki rasio Ca/Mg antara 1,41 - 12,30. Batugamping magnesian memiliki rasio Ca/Mg 12,30 - 39,00. Untuk rasio Ca/Mg lebih dari 39 (tigapuluh sembilan) dikelompokkan sebagai batugamping murni. Hasil perhitungan rasio Ca/Mg pada batugamping Paciran di daerah studi diperoleh bahwa seluruh sampel merupakan kelompok batugamping murni. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6. Batugamping murni (*pure limestone*) terbentuk pada kondisi salinitas dan evaporasi rendah (Todd, 1966) sehingga diinterpretasikan lingkungan pembentukan batugamping Formasi Paciran berada jauh dari garis pantai.

Tabel 4. Nilai korelasi geokimia fasies *packstone*

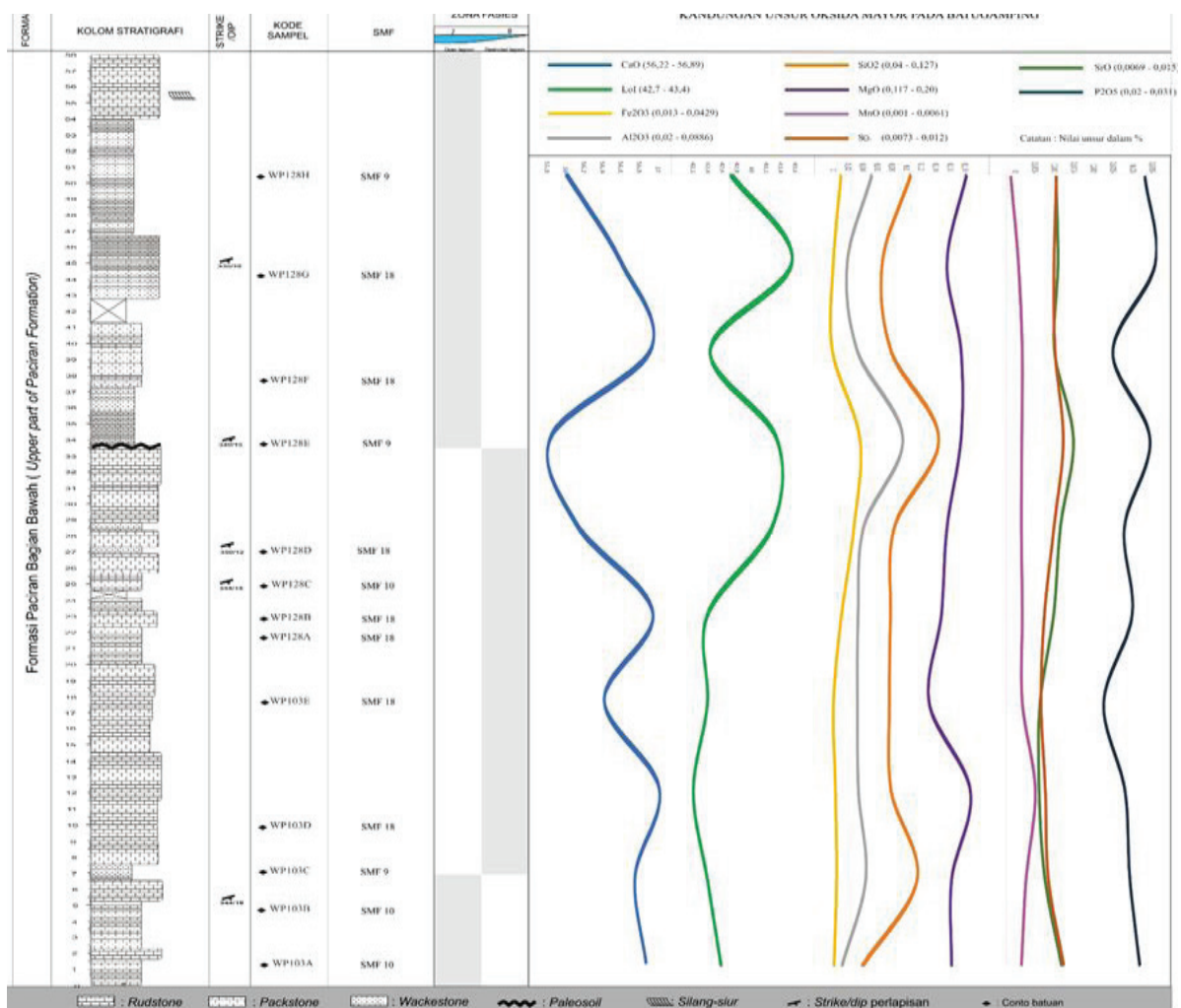
	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	SO <sub>3</sub>	MnO	LOI
CaO	1,0000									
MgO	0,7313	1,0000								
SiO <sub>2</sub>	-0,6561	0,0350	1,0000							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,5461	0,1719	0,9905	1,0000						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,9981	-0,7720	0,6083	0,4935	1,0000					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,4259	-0,9286	-0,4034	-0,5253	0,4809	1,0000				
SrO	0,7399	0,0822	-0,9931	-0,9676	-0,6970	0,2936	1,0000			
SO <sub>3</sub>	0,6276	-0,0720	-0,9993	-0,9949	-0,5784	0,4370	0,9881	1,0000		
MnO	-0,8839	-0,3273	0,9329	0,8746	0,8533	-0,0468	-0,9686	-0,9189	1,0000	
LOI	0,4051	-0,3273	-0,9558	-0,9871	-0,3480	0,6547	0,9148	0,9660	-0,7857	1,0000

Tabel 5. Nilai korelasi geokimia fasies *rudstone*

	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	SO <sub>3</sub>	MnO	LOI
CaO	1									
MgO	-0,67604	1								
SiO <sub>2</sub>	-0,7345	0,757831	1							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,72167	0,692408	0,991188	1						
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0,571	0,533993	0,685597	0,748236	1					
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0,44558	0,919714	0,788242	0,744102	0,61285	1				
SrO	-0,57777	0,735993	0,822331	0,849442	0,944709	0,834205	1			
SO <sub>3</sub>	-0,83102	0,88734	0,880541	0,87172	0,827818	0,832633	0,91299	1		
MnO	0,391266	-0,68355	-0,18695	-0,0649	0,199595	-0,43847	0,01559	-0,33609	1	
LOI	-0,75684	0,533877	0,64058	0,69613	0,943026	0,482744	0,84506	0,84357	0,074222	1

Tabel 6. Rasio Ca/Mg dan pengelompokannya berdasarkan klasifikasi Todd (1966)

Sampel	Ca	Mg	Ca/Mg	Mg/Ca	Kelompok batugamping berdasar klasifikasi Todd (1966)
WP 128 A	40,14	0,28	143,357	0,007	Pure Limestone
WP 128 B	40,05	0,18	222,500	0,004	Pure Limestone
WP 128 C	40,44	0,31	130,452	0,008	Pure Limestone
WP 128 E	40,32	0,28	144,000	0,007	Pure Limestone
WP 128 G	40,31	0,33	122,152	0,008	Pure Limestone
WP 128 H	40,41	0,12	336,75	0,003	Pure Limestone
WP 103 A	40,41	0,29	139,345	0,007	Pure Limestone
WP 103 B	40,43	0,29	139,414	0,007	Pure Limestone
WP 103 C	40,46	0,33	122,606	0,008	Pure Limestone
WP 103 D	40,5	0,24	168,750	0,006	Pure Limestone
WP 103 E	40,47	0,27	149,889	0,007	Pure Limestone



Gambar 11. Kandungan oksida utama pada batugamping Formasi Paciran di lokasi penyelidikan.



## DISKUSI

Berdasarkan Analisis mikrofases dari sayatan tipis, batugamping Formasi Paciran yang tersingkap di daerah studi terbentuk pada zona fasies 7 dan 8 (Wilson, 1975). Bagian bawah dari stratigrafi terukur berupa batugamping *wackstone* (SMF 9) dan *packstone* (SMF 10) yang merupakan bagian dari zona fasies 7. Zona ini merupakan bagian dari paparan laguna terbuka. Flugel (2004) mendeskripsikan zona ini sebagai sabuk lebar berbentuk paparan datar dan luas, berada di atas dasar gelombang, masuk ke dalam zona fotik, sirkulasi air sedang, dan memiliki kedalaman antara beberapa meter hingga puluhan meter.

Bagian tengah dari stratigrafi terukur di dominasi oleh batugamping *rudstone* (SMF 18) yang merupakan bagian dari zona fasies 8. Zona ini merupakan bagian dari laguna tertutup (*restricted lagoon*).

Perubahan zona fasies diinterpretasikan adanya perubahan lingkungan pengendapan batugamping yang mendangkal dari laut terbuka ke arah terumbu belakang. Pendangkalan cekungan terus berlanjut sehingga ada bagian batugamping yang terekspos ke permukaan sehingga terbentuk lapisan paleosol yang mengindikasikan batuan pernah terekspos ke permukaan. Lingkungan pengendapan batugamping kembali mendalam dengan terbentuknya batugamping di atas paleosol. Fasies batugamping yang ditemukan adalah batugamping *wackstone* (SMF 9) dan batugamping *packstone* (SMF 10) yang merupakan bagian dari zona fasies 7. Bagian atas dari stratigrafi terukur ditemukan struktur sedimen silang-siur yang mengindikasikan ada pengaruh arus traksi pada lokasi pembentukan batuan.

*Wackstone* merupakan bagian dari SMF 9 menyisip di antara fasies batugamping, yang didominasi oleh mikrit dengan beberapa komponen bioklas. *Packstone* pada bagian bawah pengukuran stratigrafi merupakan bagian dari SMF 10 tersusun oleh bioklas moluska, foraminifera bentonik kecil, dan di dominasi oleh foraminifera besar. Pada beberapa bagian dijumpai struktur sedimen silang-siur mengindikasikan ada pengaruh arus traksi pada lokasi pembentukan batuan. *Rudstone* pada bagian tengah pengukuran stratigrafi merupakan bagian dari SMF 18 tersusun oleh *alga*, *bryozoa*, foraminifera besar, dan beberapa foraminifera bentonik kecil.

Komposisi kimia pada batuan beragam sesuai dengan perubahan fasies batugamping. Pada fasies *wackstone* CaO berkorelasi negatif terhadap MgO akan tetapi memiliki korelasi positif terhadap SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Diinterpretasikan bahwa pada saat pembentukan

fasies tersebut erosi yang terjadi di permukaan cukup intensif sehingga material detritus dapat mencapai ke cekungan pengendapan dimana batugamping Formasi Paciran terbentuk. Berdasarkan sebaran batuan pada peta geologi (Gambar 2), di sebelah barat dari batugamping Formasi Paciran dijumpai sebaran batupasir kuarsa Formasi Ngrayong. Struktur geologi yang kompleks pada daerah ini mengindikasikan pembentukan cekungan pengendapan batugamping terkontrol oleh struktur geologi. Diinterpretasikan pada saat batugamping Formasi Paciran terbentuk, batupasir kuarsa Formasi Ngrayong telah tersingkap ke permukaan. Jumlah oksida SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang minimal mengindikasikan jarak antara batupasir yang tersingkap cukup jauh dari cekungan. Sedikit berbeda dengan fasies lainnya, pada fasies *packstone* unsur MgO memiliki korelasi positif terhadap CaO. Hal tersebut diinterpretasikan pembentukan fasies ini lebih dekat dengan permukaan sehingga pembentukan unsur Ca dan penggantian unsur Ca dengan Mg berjalan beriringan. Korelasi antara unsur CaO dengan SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah negatif dimana penambahan unsur CaO akan diikuti oleh penurunan unsur material pengotor. MnO berkorelasi positif terhadap SiO<sub>2</sub>. Kehadiran mangan diperkirakan berasal mangan sekunder hasil pelapukan dari mangan primer yang terbentuk melalui mekanisme hidrotermal (Sudarsono & Setiawan, 2009). Aktivitas vulkanisme di sebelah utara sebaran batugamping Formasi Paciran diperkirakan menjadi sumber hidrotermal yang dapat mendorong terbentuknya unsur mangan pada batuan. Pada fasies *rudstone*, unsur CaO berkorelasi negatif terhadap MgO, mengindikasikan pembentukan CaO diiringi dengan penurunan pembentukan unsur MgO. Korelasi positif antara CaO dan MnO mengindikasikan pada saat pembentukan batugamping diikuti dengan erosi intensif di permukaan yang membawa material berunsur mangan masuk ke dalam cekungan pengendapan sebagai pengotor pada batugamping.

Analisis rasio Ca/Mg menunjukkan batugamping Formasi Paciran di daerah studi merupakan kelompok *pure limestone* (batugamping murni) yang terbentuk pada kondisi salinitas dan evaporasi rendah (Todd, 1966) sehingga diinterpretasikan lingkungan pembentukan batugamping Formasi Paciran berada jauh dari garis pantai. Hasil tersebut memperkuat analisis oksida utama dimana terdapat korelasi negatif antara CaO dengan SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Lingkungan pengendapan yang jauh dari garis pantai mengurangi kemungkinan adanya gangguan material detritus ke dalam cekungan pengendapan batugamping Formasi Paciran.

## KESIMPULAN

Suksesi stratigrafi batugamping Formasi Paciran di daerah studi dimulai dari fasies *bioclastic packstone with skeletal grain* kemudian diikuti oleh fasies *rudstone abundant with algae & foraminifera*. Fasies *burrowed bioclastic wackestone* menyisip di antara keduanya, beberapa berkembang pada fase genang air laut setelah sempat tersingkap ke permukaan dibuktikan dengan kehadiran paleosoil. Analisis mikrofases menunjukkan perubahan lingkungan pembentukan batuan dari lingkungan laguna dengan sirkulasi pada laut terbuka kemudian mendangkal menjadi lingkungan laguna tertutup sebelum kemudian berubah kembali menjadi lingkungan laguna terbuka. Perubahan komposisi geokimia mengikuti perubahan fasies pada batuan. CaO

merupakan unsur terbesar pada batuan. Unsur oksida lainnya seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SrO}$ , dan  $\text{P}_2\text{O}_5$  dijumpai dalam jumlah yang relatif sedikit sehingga dapat dikatakan bahwa pembentukan batugamping Formasi Paciran di daerah studi sedikit mendapat gangguan dari mineral pengotor.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari penulisan tesis di program magister Teknik Geologi Universitas Padjajaran. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Pusat Survei Geologi dan Pusat Airtanah dan Geologi Tata Lingkungan untuk kesempatan dan dukungannya dalam pengambilan data lapangan yang dapat dipergunakan penulis dalam penulisan tesis dan karya tulis ini.

## ACUAN

- Abedini, A. and Calagari, A.A., 2015. Rare Earth Element Geochemistry of the Upper Permian Limestone: The Kanigorgeh Mining District, NW. Iran. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24: 365-382
- Dunham, R.J., 1962. Classification of Carbonat Rocks According to Depositional Txture; In W.E. Ham (ed): *Classification of Carbonate Rocks*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 1: 108-121
- Embry, A.F. and Klován, J.E., 1971. A Late Devonian Reef Tract on North Eastern Bank Island, North West Teritory. *Bull. Can. Petrol. Geol.*, 19: 730-781
- Faturrahman, M.L. dan Kusumah, K.D. 2017. *Peta Geologi Inderaan Jauh Lembar Jatirogo Skala 1:50.000*. Pusat Survei Geologi, Bandung
- Flügel, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks: Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag Inc, Berlin, Heidelberg, New York.
- Heiri, O., Lotter, A.F., and Lemcke G., 2001. Loss on Ignition as a Method For Estimating Organic and Carbonate Content in Sediment. Reproducibility and Comparability of Result. *Journal of Paleolimnology*, 25: 101-110.
- Irzon, R., Maryanto, S., dan Kurnia. 2016. Geokimia Batugamping Formasi Gumai dan Formasi Baturaja di Wilayah Muaradua, Ogan Komering Ulu Selatan, Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 17(3): 125-138.
- Kadar, D. dan Sudijono, 1993. *Peta Geologi Lembar Rembang, Jawa, Skala 1:100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Maryanto, S., 2017. Geologi Daerah Watuputih dan Sekitarnya. Laporan Internal Pusat Survei Geologi. Tidak terbit.
- Novita, D., Sanjaya, I., Margono U., Rijani, S., dan Mawardi, S. 2017. *Peta Geologi Inderaan Jauh Lembar Blora Skala 1:50.000*. Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Patra, A and Singh, B.P., 2017. Geochemistry of the Eocene Limestone of the Jaisalmer Basin, Rajasthan, India: Implication on Depositional Conditions and Sources of Rare Earth Element. *Geochemistry International*, 55(15): 1180-1192.
- Premonowati, Koesoemadinata, R.P., dan Pringgoprawiro, H., 2004. Stratigrafi Isotop Oksigen dan Karbon dari Formasi Paciran Jawa Timur. *Seminar Geologi Nuklir dan Sumberdaya Tambang Tahun 2004*.
- Salahuddin, H., Sakur, M., dan Setianto, A., 2016. Persebaran Perlipatan En Echelon pada Antiklinorium Rembang. *Prosiding Seminar Nasional Kebuman Ke 9 Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada*.
- Santika, A.W. dan Mulyadi, D., 2017. Geokimia Batugamping Daerah Montong, Tuban, Jawa Timur. *Riset Geologi & Pertambangan*, 27(2): 227-238.
- Sudarsono dan Setiawan, I., 2009. Genesa Cebakan Mangan Karangnunggal Tasikmalaya: Pendekatan Secara Petrografi dan Mineragrafi. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit. Geoteknologi-LIPI*
- Todd, T.W., 1966. Petrogenetic Clasification of Carbonate Rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36(2): 317-340.
- Van Bemmelen, R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol IA, Vol II. Martinus Nijhoff, The Hague.
- Wilson, J.L. 1975. *Carbonate Facies in Geological History*. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.