

MINERALOGI DAN GEOKIMIA BATUGAMPING MERAH PONJONG, GUNUNGKIDUL, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA – INDONESIA

Mineralogy and Geochemistry of Ponjong Red Limestone, Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta – Indonesia

Didik Dwi Atmoko¹, Anastasia Dewi Titisari¹, Arifudin Idrus¹

¹ Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada

ABSTRAK Batugamping berwarna merah yang tersebar secara setempat-setempat dan berasosiasi dengan batugamping berwarna putih hingga abu-abu yang dijumpai di Daerah Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, termasuk dalam Formasi Wonosari-Punung. Batugamping tersebut perlu diteliti karakteristik mineralogi dan geokimianya, yang sangat diperlukan dalam memahami genesa batugamping di daerah tersebut. Pengamatan petrografi dan XRD pada batugamping merah menunjukkan hadirnya mineral kalsit, kuarsa, siderit, hematit, dan titanit. Analisis geokimia oksida mayor batugamping merah memperlihatkan tren pengkayaan senyawa SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃ dan MnO yang diinterpretasikan berhubungan dengan kehadiran mineral-mineral titanit (CaTiSiO₅), siderit (FeCO₃), hematit (Fe₂O₃), dan diduga rodokrosit (MnCO₃). Mineral-mineral tersebut mempunyai karakteristik warna coklat kekuningan, merah muda sampai merah sehingga dimungkinkan dapat memberikan warna merah pada batugamping. Ada tiga proses yang diinterpretasi berperan dalam genesa batugamping merah Ponjong yaitu pengaruh material terigenus yang mengandung oksida SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, dan TiO₂ saat pengendapan batugamping, proses diagenesis oleh air meteorik yang mengkayakan

senyawa Fe₂O₃ dan proses bekerjanya larutan hidrotermal.

Kata Kunci: mineralogi, geokimia, batugamping merah, formasi Wonosari-Punung, Ponjong.

ABSTRACT Red limestone, which sporadically distributed and associated with white to grey limestone is located in Ponjong area, Gunungkidul District, Daerah Istimewa Yogyakarta. This limestone belongs to the member of Wonosari-Punung Formation. It is necessary to study the mineralogy and geochemistry characteristics, understand the genesis of the limestone. The petrographical observation and X-ray diffraction results of red limestone indicated the presence of calcite, quartz, siderite, hematite and titanite. Major element analysis of the red limestone showed enrichment of SiO₂, TiO₂, Fe₂O₃ and MnO, that appears to be related to the presence of titanite (CaTiSiO₅), siderite (FeCO₃), hematite (Fe₂O₃), and rhodochrosite (MnCO₃) in the red limestone. The minerals are typically yellowish brown, pink to red in colour, and are therefore interpreted to be responsible in giving red colour of the limestone. There are three processes in the genesis of the Ponjong red limestone: impact of terrigenous material when deposition of the limestone, diagenesis process of meteoric water that enriched Fe₂O₃, and process of hidrothermal fluid activity.

Keywords: mineralogy, geochemistry, red limestone, Wonosari-Punung formation, Ponjong

Naskah masuk : 6 Januari 2016
Naskah direvisi : 18 Mei 2016
Naskah diterima : 30 Mei 2016

Anastasia Dewi Titisari
Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281
E-mail : a.dewititisari@gmail.com

PENDAHULUAN

Di Daerah Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dijumpai batugamping berwarna merah yang tersebar secara setempat-setempat dan berasosiasi dengan batugamping berwarna putih hingga abu-abu. Batugamping di daerah ini termasuk dalam Formasi Wonosari-Punung yang secara umum tersusun oleh batugamping. Suroño *et al.*, (1992) menyebutkan Formasi Wonosari-Punung tersusun oleh batugamping, batugamping napalan-tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan dan batu lanau. Namun Toha *et al.* (1994) menyebutkan bahwa litologi penyusun Formasi Wonosari-Punung utamanya berupa batugamping berlapis dan *reefal-limestone*. Selanjutnya, Suroño (2009) memisahkan Formasi Wonosari dengan Formasi Punung, dimana Formasi Wonosari disebutkan utamanya disusun oleh batugamping berlapis, dan Formasi Punung disusun oleh batugamping terumbu.

Selain penelitian-penelitian stratigrafi tersebut, studi geologi yang berkaitan dengan Formasi Wonosari-Punung juga sudah banyak dilakukan antara lain oleh Lokier (1999), Siregar *et al.* (2004), Jauhari dan Toha (2005), Mukti *et al.* (2005), dan Premonowati *et al.* (2012). Namun fenomena geologi mengenai batugamping berwarna merah di Daerah Ponjong belum banyak diangkat menjadi subyek penelitian geologi. Fenomena geologi yang menarik tersebut mendorong penulis untuk melakukan studi karakteristik mineralogi dan geokimia batugamping merah di Daerah Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini penting dilakukan karena karakteristik mineralogi dan geokimia tersebut sangat diperlukan dalam memahami genesa batugamping merah Ponjong, sehingga hasil studi ini diharapkan dapat menambah data dan informasi geologi untuk batugamping di daerah penelitian maupun Formasi Wonosari-Punung di Pegunungan Selatan, Daerah Istimewa Yogyakarta serta dapat dipakai merekomendasi pemanfaatannya. Dalam paper ini, karakteristik

mineralogi dan geokimia batugamping merah akan dibandingkan dengan karakteristik batugamping putih dan abu-abu yang juga tersingkap di daerah penelitian.

LOKASI PENELITIAN

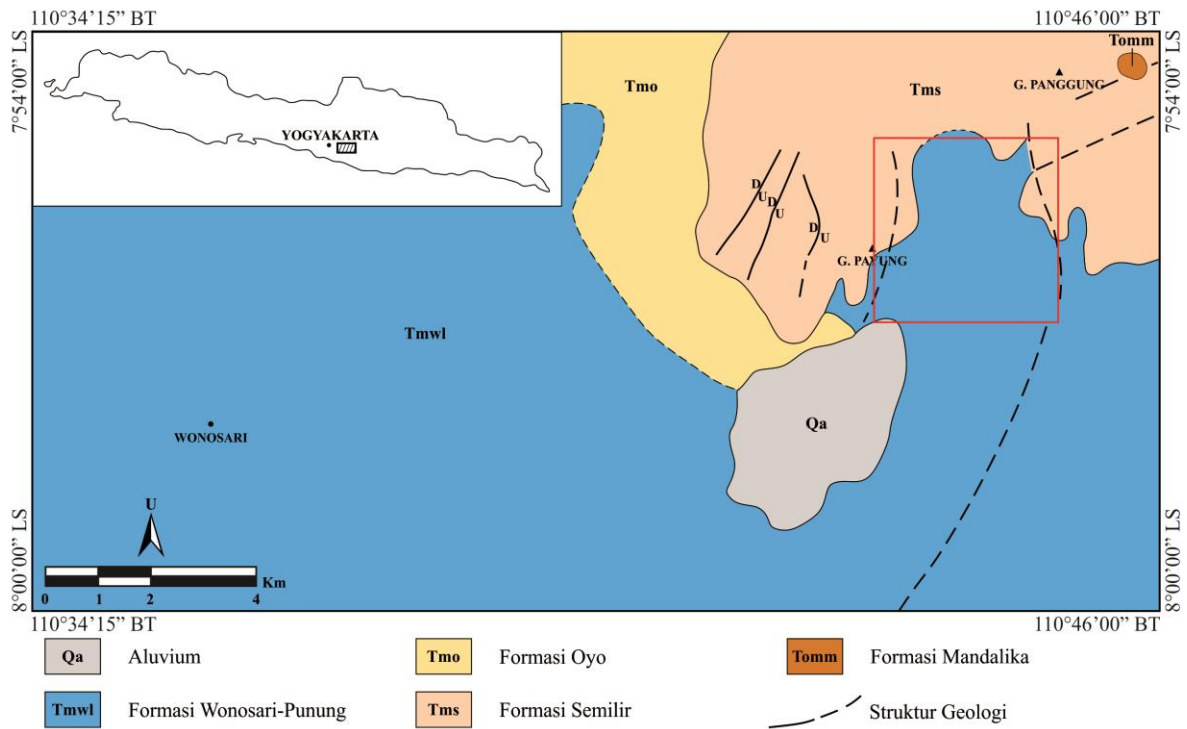
Penelitian ini dilaksanakan di Desa Sawahan dan sekitarnya, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. Daerah penelitian dapat ditempuh dari Kota Yogyakarta selama 2 jam perjalanan menggunakan kendaraan bermotor ke arah Kota Wonogiri melalui kota Wonosari. Secara geografis daerah penelitian berada di sebelah timur Kota Yogyakarta dengan jarak ± 65 km (Gambar 1).

Geologi Daerah Ponjong

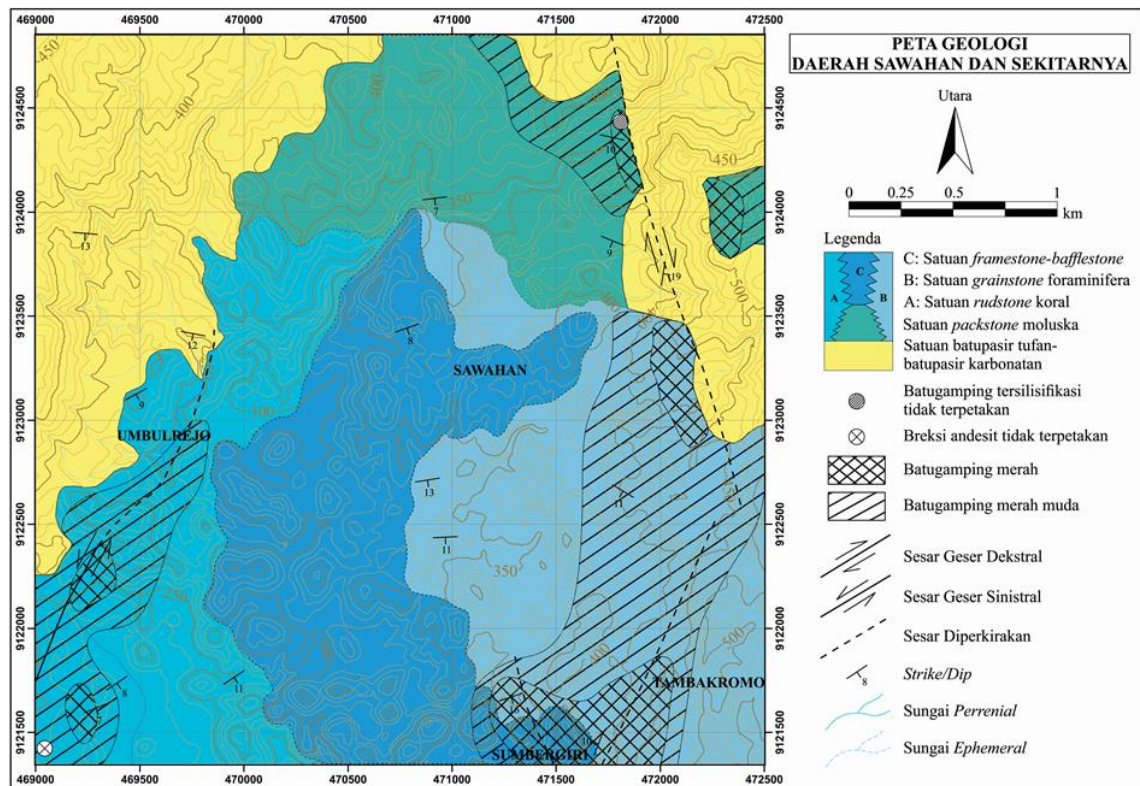
Morfologi yang berkembang di daerah penelitian didominasi oleh bentang alam karst. Berdasarkan peta geologi regional lembar Surakarta-Giritontro skala 1:100.000 oleh Suroño *et al.* (1992), daerah penelitian tersusun oleh Formasi Semilir dan Formasi Wonosari-Punung (Gambar 1). Adapun litologi penyusun Formasi Semilir berupa tuf, breksi batupung dasitan, batupasir tufan, dan serpih, sedangkan litologi penyusun Formasi Wonosari-Punung terutama berupa batugamping (Suroño *et al.*, 1992; Toha *et al.*, 1994).

Penelitian Atmoko (2016) menyimpulkan ada 5 satuan litologi yang berkembang di daerah penelitian, yaitu satuan batupasir tufan-batupasir karbonatan, satuan *packstone* moluska, satuan *rudstone* koral, satuan *grainstone* foraminifera, dan satuan *framestone-bafflestone* (Gambar 2).

Batugamping merah yang menjadi fokus penelitian tersebar pada semua satuan batugamping namun dengan penyebaran yang hanya setempat-setempat. Batugamping merah tersebut memiliki penyebaran pada bagian timur dan barat daya daerah penelitian, yaitu disekitar struktur sesar yang berkembang di daerah penelitian.

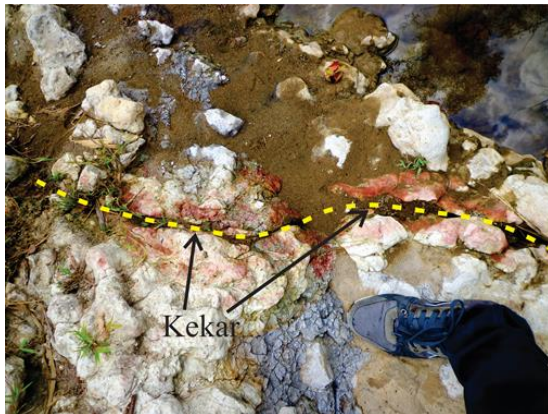


Gambar 1. Peta geologi lembar Surakarta-Giritontro serta plot daerah penelitian (kotak merah). Sumber peta: Surono *et al.* (1992).



Gambar 2. Peta geologi Daerah Sawahan dan sekitarnya yang menunjukkan penyebaran satuan batupasir tufa-batupasir karbonatan, satuan *packstone* moluska, satuan *rudstone* koral, satuan *grainstone* foraminifera dan satuan *framestone-bafflestone* (Atmoko, 2016).

Pola penyebaran batugamping merah yang berada disekitar struktur geologi juga teramati dalam skala singkapan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kenampakan batugamping merah yang berada di sekitar (kekar).

METODE

Penelitian ini didasarkan pada data primer yang diambil di lapangan serta data tambahan dari penelitian Menezes (2015) yang juga melakukan penelitian di Daerah Ponjong. Sampel yang diambil di lapangan untuk penelitian ini meliputi batugamping putih (PLW-2A), batugamping merah muda (PLP-2B) dan batugamping merah (PLR-2C). Analisis laboratorium yang dilakukan terhadap ketiga sampel batuan tersebut meliputi analisis petrografi, XRD (*X-Ray Diffraction*), dan geokimia oksida mayor. Analisis petrografi dan XRD dilakukan di Laboratorium Pusat Teknik Geologi UGM, sedangkan analisis geokimia oksida mayor dilakukan di Laboratorium ALS Canada Ltd. Data tambahan dari Menezes (2015) yang digunakan dalam penelitian ini berupa data analisis geokimia oksida mayor batugamping.

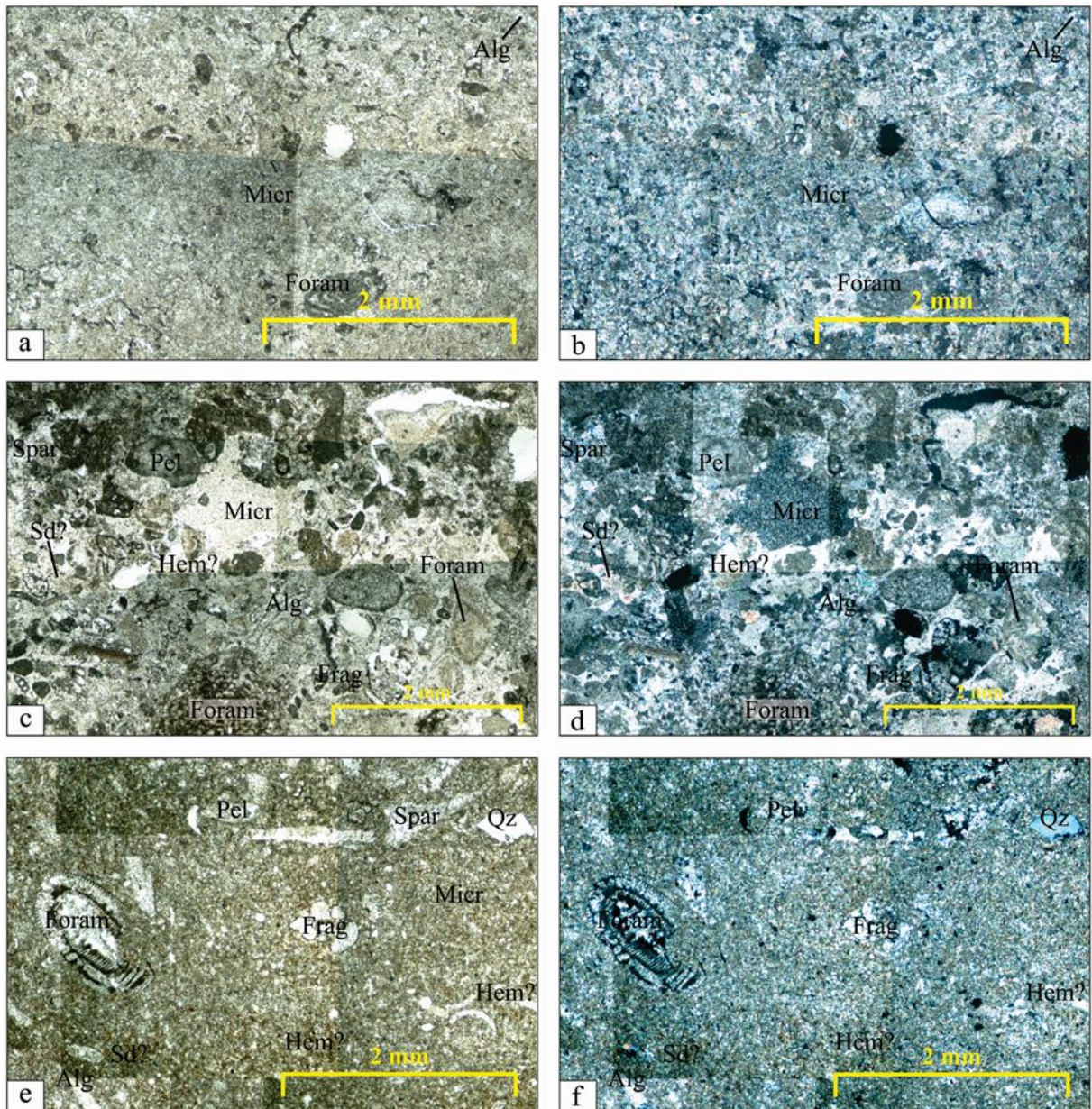
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan petrografi sampel batugamping PLW-2A, PLP-2B, dan PLR-2C adalah sebagai berikut: 1) sampel batugamping putih (PLW-2A) berwarna abu-abu (nikol sejajar), ukuran butir

<0,1-1,3 mm, bentuk butir bulat dan memanjang, kemas tertutup, sortasi buruk, komposisi batuan terdiri dari butiran karbonat berupa foraminifera (14%), alga (11%), peloid (20,5%), dan fragmen cangkang (5%); semen berupa sparit (13%); dan matriks berupa mikrit (36,5%); 2) sampel batugamping merah muda (PLP-2B) berwarna abu-abu (nikol sejajar), ukuran butir <0,1-2 mm, bentuk butir bulat dan memanjang, kemas tertutup, sortasi buruk, komposisi batuan terdiri dari butiran karbonat berupa foraminifera (11%), alga (10%), moluska (3%), peloid (34,5%), dan fragmen cangkang (5,5%); siderit (2%); hematit (1%); semen berupa sparit (11%); dan matriks berupa mikrit (22%); 3) sampel batugamping merah (PLR-2C) berwarna abu-abu kemerah-merahan (nikol sejajar), ukuran butir <0,1-2,5 mm, bentuk butir bulat dan memanjang, kemas terbuka, sortasi buruk, komposisi batuan terdiri dari butiran karbonat berupa foraminifera (7%), alga (7%), moluska (2%), peloid (22%), dan fragmen cangkang (9%); kuarsa (3%); siderit? (2%); hematit? (1%); semen berupa sparit (9%); matriks berupa mikrit (38%). Foto mikrograf ketiga sampel tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. Mengacu pada klasifikasi Embry dan Klovan (1971), ketiga sampel batugamping tersebut dapat dinamakan sebagai *packstone* foraminifera-alga.

Berdasarkan pengamatan petrografi terlihat adanya perbedaan mineral penyusun batugamping putih, merah muda, dan merah. Pada batugamping putih, mineral yang dijumpai utamanya berupa kalsit yang membentuk butiran karbonat, mikrit, dan sparit (Gambar 4a, b). Sedangkan pada batugamping merah muda dijumpai adanya indikasi hadirnya mineral siderit dan hematit (Gambar 4c, d). Indikasi mineral siderit dan hematit juga dijumpai pada sayatan batugamping merah yang juga menunjukkan adanya kehadiran mineral kuarsa (Gambar 4e, f).

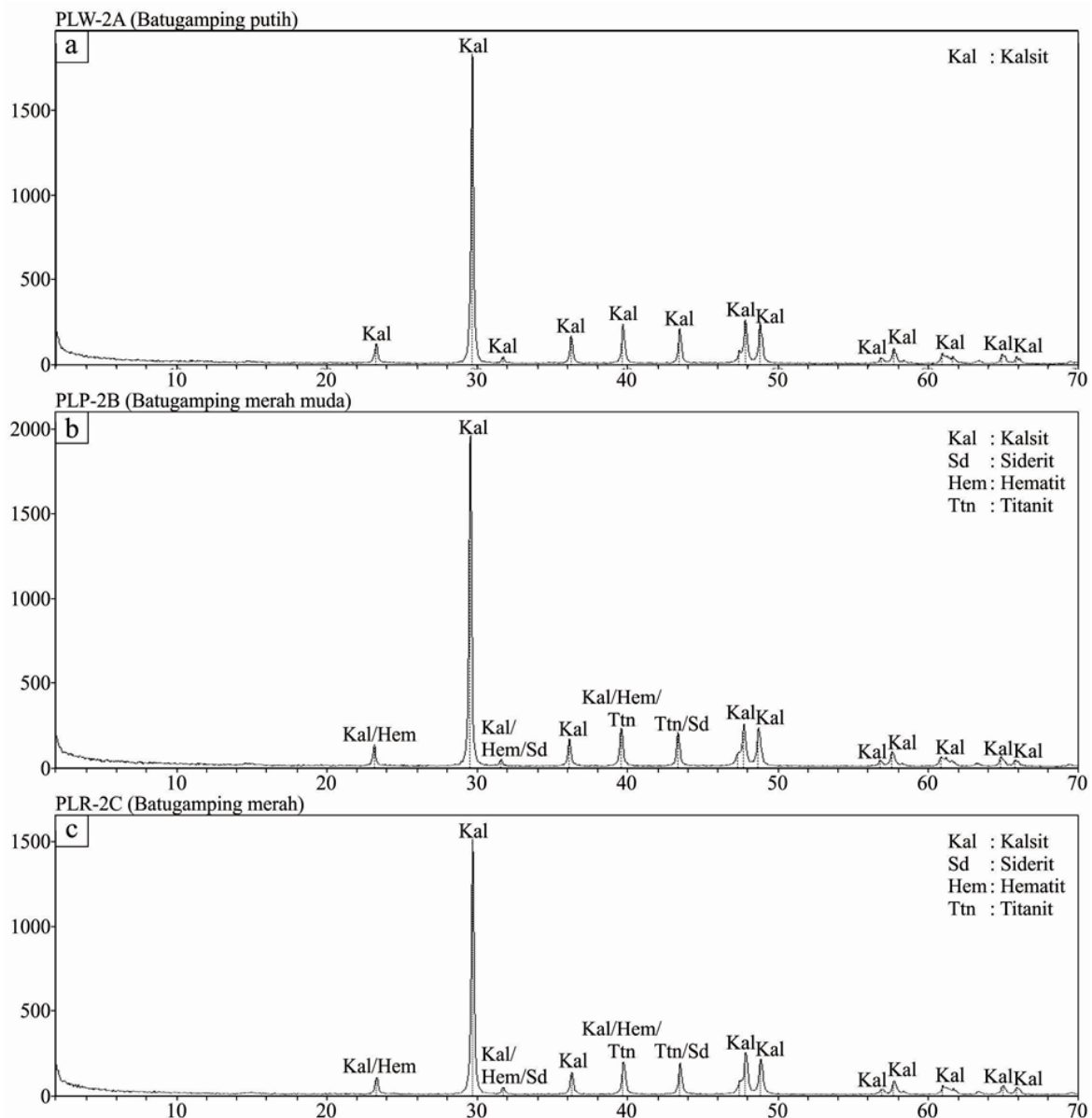
Hasil analisis XRD terhadap ketiga sampel batugamping penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan hasil analisis tersebut terlihat bahwa terdapat perbedaan *peak* difraksi yang terbentuk antara ketiga sampel tersebut.



Gambar 4. Foto mikrograf batugamping putih (PLW-2A) pada kedudukan nikol sejajar (a) dan nikol bersilang (b) menunjukkan butiran penyusun berupa foraminifera, alga, peloid, dan fragmen cangkang; matriks berupa mikrit yang berwarna abu-abu; serta semen sparit. Fotomikrograf batugamping merah muda (PLP-2B) pada kedudukan nikol sejajar (c) dan nikol bersilang (d) menunjukkan butiran penyusun berupa foraminifera, alga, moluska, peloid, fragmen cangkang, serta indikasi siderit dan hematit; matriks berupa sparit yang berwarna abu-abu; serta semen sparit. Fotomikrograf batugamping merah (PLR-2C) pada kedudukan nikol sejajar (e) dan nikol bersilang (f) menunjukkan butiran penyusun berupa foraminifera, alga, moluska, peloid, fragmen cangkang, kuarsa, serta indikasi siderit dan hematit; matriks berupa mikrit yang berwarna abu-abu; serta semen sparit. Keterangan: Foram=foraminifera; Alg=alga; Pel=peloid; Frag=fragmen cangkang; Micr=mikrit; Spar=sparit; Sd=siderit; Hem=hematit; Qz=kuarsa.

Pada sampel PLW-2A (batugamping putih) *peak* difraksi yang muncul hanya menunjukkan *peak* untuk kehadiran mineral kalsit (Gambar 5a), sedangkan pada sampel PLP-2B (batugamping merah muda) dan PLR-2C (batugamping merah) terlihat *peak* difraksi yang mengindikasikan hadirnya mineral titanit, siderit, dan hematit (Gambar 5b, c). Hal ini dikonfirmasi dengan hasil

pengamatan petrografi yang memperlihatkan hadirnya mineral siderit dan hematit pada batugamping merah muda dan merah. Sedangkan indikasi hadirnya mineral titanit pada batugamping merah muda dan batugamping merah yang terlihat dari hasil analisis XRD tidak teramati dalam pengamatan petrografi.



Gambar 5. Hasil analisis XRD sampel batugamping putih (PLW-2A) menunjukkan dominasi *peak* difraksi mineral kalsit (a); Hasil analisis XRD sampel batugamping merah muda (PLP-2B) menunjukkan *peak* difraksi mineral-mineral kalsit, titanit, siderit, dan hematit (b); Hasil analisis XRD sampel batugamping merah (PLR-2C) menunjukkan *peak* difraksi mineral-mineral kalsit, titanit, siderit, dan hematit (c).

Tabel 1. Hasil analisis geokimia oksida mayor (dalam wt%) batugamping Formasi Wonosari-Punung Daerah Ponjong, Kabupaten Gunungkidul.

Batuan	Batugamping Putih		Batugamping Merah Muda		Batugamping Merah	
	Studi ini	Menezes (2015)	Studi ini	Menezes (2015)	Studi ini	Menezes (2015)
No, Sampel	PLW-2A	40	PLP-2B	13	PLR-2C	48
SiO ₂	0,61	0,755	0,81	1,93	1,7	3,35
Al ₂ O ₃	0,19	0,307	0,31	0,514	0,89	1,691
Fe ₂ O ₃	0,1	0,125	0,16	0,819	0,51	0,648
CaO	54	54,84	54	52,01	53,1	51,48
MgO	0,29	0,71	0,31	0,456	0,31	1,195
Na ₂ O	0,04	1,363	0,04	2,441	0,04	2,62
K ₂ O	0,01	0,021	0,01	0,011	0,02	0,084
TiO ₂	0,01	0,012	0,01	0,023	0,04	0,082
MnO	<0,01	0,033	0,01	0,736	0,01	0,04
P ₂ O ₅	<0,01	<0,00069	0,01	0,135	0,01	<0,00069
SrO	0,05	0,007	0,02	0,018	0,02	0,008

Batuan	Batugamping Abu-abu Cerah		Batugamping Abu-abu			
	Menezes (2015)	Menezes (2015)	Menezes (2015)	Menezes (2015)	Menezes (2015)	Menezes (2015)
No, Sampel	11	93	1,A	1,B2	3,A	3,B
SiO ₂	2,157	1,37	1,23	0,713	0,994	2,431
Al ₂ O ₃	0,836	0,502	0,922	0,537	0,727	1,404
Fe ₂ O ₃	0,649	0,264	0,418	0,298	0,359	0,892
CaO	52,17	54,12	51,57	53,68	53,5	50,37
MgO	0,836	0,562	0,674	0,585	0,62	0,754
Na ₂ O	BDL	1,769	2,97	2,71	2,78	3,160
K ₂ O	2,75	0,019	0,034	0,029	0,036	0,051
TiO ₂	0,011	0,02	<0,00034	0,008	0,007	0,017
MnO	0,496	0,052	8,713	4,213	4,519	9,186
P ₂ O ₅	0,374	<0,00069	0,007	<0,00069	<0,00069	0,018
SrO	0,015	0,047	0,038	0,003	0,031	0,049

Keterangan:

<0,01 : dibawah batas deteksi untuk analisis dalam penelitian ini
BDL, <0,00034, dan <0,00069 : dibawah batas deteksi untuk analisis Menezes (2015)

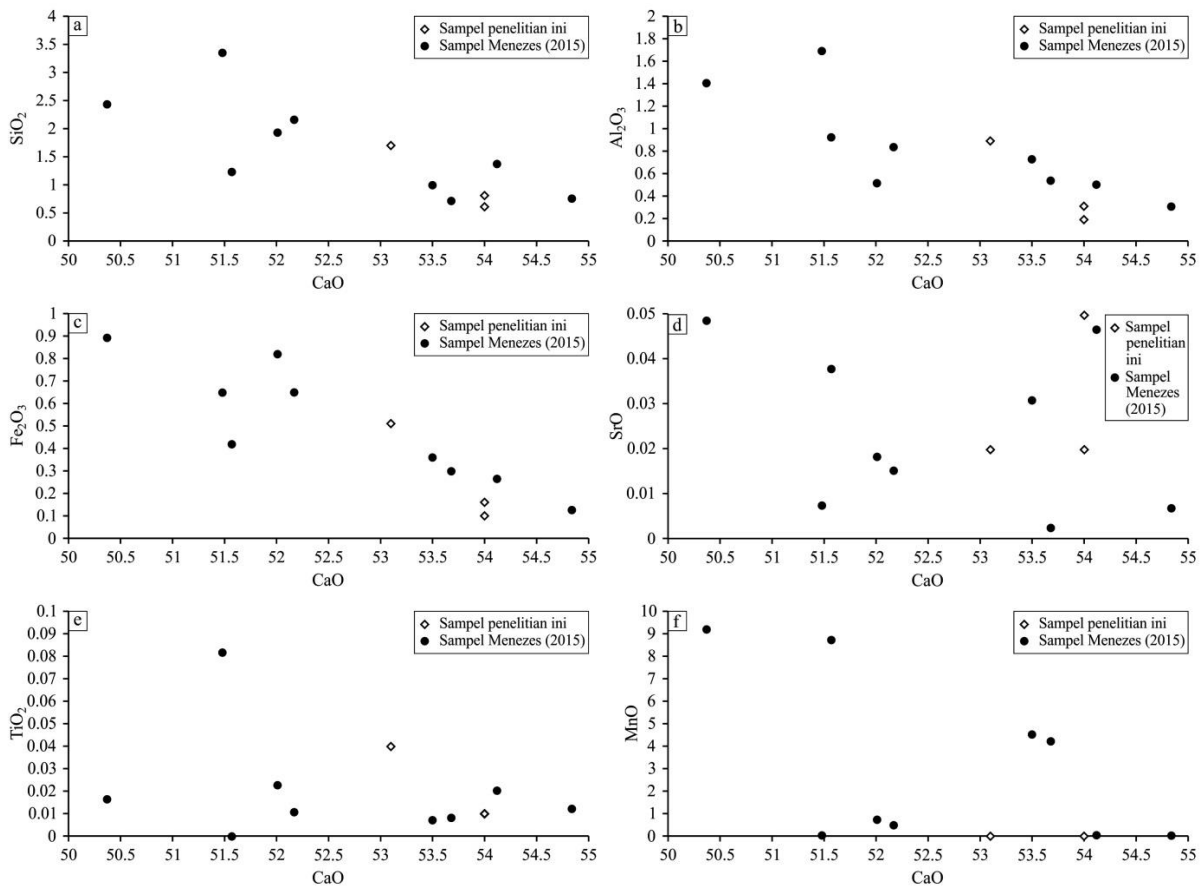
Hasil analisis geokimia oksida mayor ditunjukkan pada Tabel 1 yang memperlihatkan hasil analisis ketiga sampel dari penelitian ini serta hasil analisis yang dilakukan oleh Menezes (2015). Berdasarkan warnanya, batugamping yang ditampilkan dalam Tabel 1 dapat

dikelompokkan menjadi 5 jenis, yaitu batugamping putih, batugamping merah muda, batugamping merah, batugamping abu-abu cerah, dan batugamping abu-abu. Namun dalam pembahasan, pengelompokan batugamping lebih disederhanakan lagi menjadi batugamping putih,

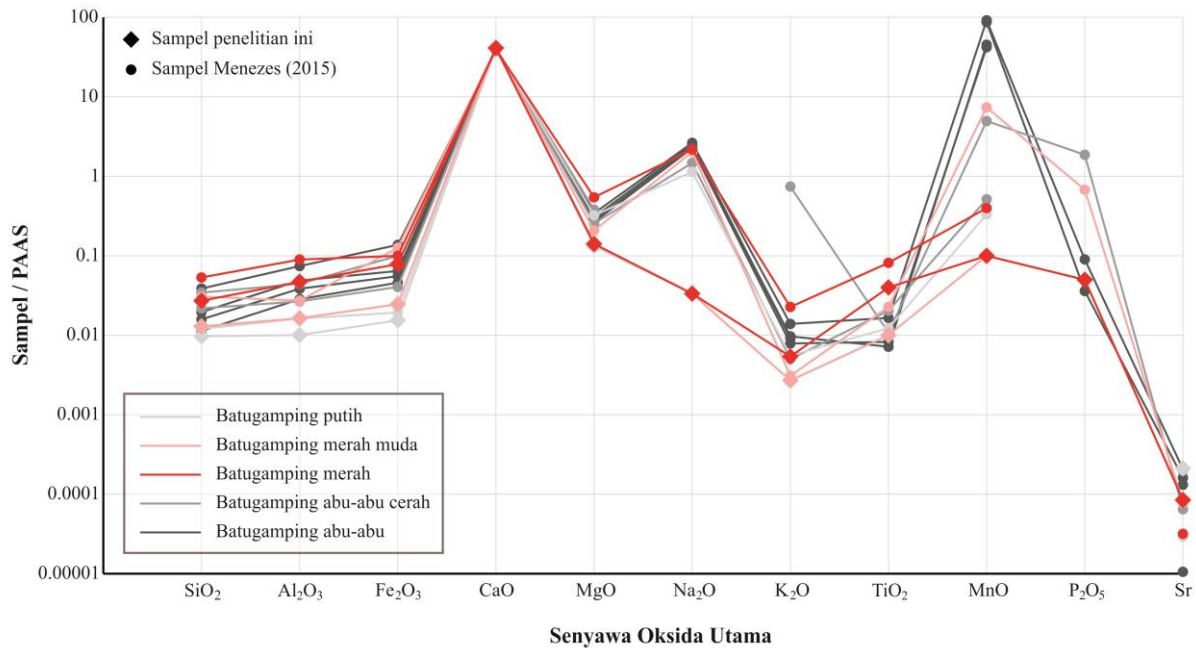
merah, dan abu-abu. Meskipun demikian, dalam penampilan data kelima jenis batugamping tersebut tetap akan dipisahkan untuk menunjukkan gradasi yang terbentuk antara batugamping putih menuju batugamping merah serta batugamping putih menuju batugamping abu-abu.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa batugamping daerah Ponjong mempunyai kandungan CaO berkisar antara 50,37 sampai 54,84 wt.%, SiO₂ 0,61-3,35 wt.%, Al₂O₃ 0,19-1,69 wt.%, Fe₂O₃ 0,1-0,89 wt.%, TiO₂<0,0003-0,08 wt.% dan MnO <0,01-9,186 wt%. Berdasarkan hasil analisis geokimia tersebut, dapat dibuat diagram bivarian untuk menunjukkan hubungan antar oksida mayor CaO dengan oksida mayor yang lain. Secara umum, oksida mayor batugamping daerah penelitian

memperlihatkan hubungan linear dengan CaO terkecuali untuk SrO yang relatif tersebar secara random (Gambar 6a-f). SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan TiO₂ berkorelasi negatif dengan CaO (Gambar 6a,b,c,e). MnO memperlihatkan korelasi negatif dengan CaO tetapi hanya untuk sampel batugamping dari penelitian Menezes (2015) sedangkan untuk sampel penelitian ini tidak mempunyai korelasi dengan CaO karena kandungan MnO menunjukkan kandungan yang relatif sama untuk batugamping putih, merah muda dan merah (Gambar 6f). Kenampakan yang berlawanan diperlihatkan oleh SrO yang berkorelasi positif dengan CaO untuk sampel hasil penelitian ini, sedangkan SrO hasil penelitian Menezes (2015) tersebar secara acak terhadap CaO (Gambar 6d).



Gambar 6. Plot bivarian antara senyawa CaO vs SiO₂ (a); CaO vs Al₂O₃ (b); CaO vs Fe₂O₃ (c); CaO vs SrO (d); CaO vs TiO₂ (e); CaO vs MnO (f) conto batugamping Daerah Ponjong.



Gambar 7. Plot wt% batugamping Ponjong yang dinormalisasi dengan standar PAAS (Post-Archaean Australian Shale) (Guimaraes, *et al.*, 2013). Terlihat adanya tren pengkayaan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 dari batugamping putih ke batugamping merah dan batugamping abu-abu. Sebaliknya CaO dan Sr menunjukkan tren pemiskinan dari batugamping putih ke batugamping merah dan abu-abu. Sementara TiO_2 meningkat dari batugamping putih ke batugamping merah dan MnO meningkat dari batugamping putih ke batugamping abu-abu. Sedangkan MgO , Na_2O , K_2O , dan P_2O_5 tidak memperlihatkan tren tertentu.

Menggunakan normalisasi PAAS (*Post-Archaean Australian Shales*) yang dirujuk dari Guimaraes *et al.*, (2013), kandungan oksida mayor pada sampel batugamping Daerah Ponjong memperlihatkan bahwa batugamping merah dan abu-abu memiliki kandungan senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang lebih tinggi dibandingkan batugamping putih (Gambar 7). Sedangkan senyawa CaO memperlihatkan kondisi yang berkebalikan, yaitu tinggi pada batugamping putih dan rendah pada batugamping merah dan abu-abu. Fenomena ini selaras dengan hasil plotting bivarian yang menunjukkan korelasi negatif CaO vs SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 (Gambar 6a-c). Pola yang lain ditunjukkan oleh senyawa TiO_2 yang mengalami pengkayaan pada batugamping merah dan pemiskinan pada batugamping abu-abu (Gambar 7). Kondisi tersebut sangat berlawanan dengan senyawa MnO memperlihatkan tren yang tinggi pada batugamping abu-abu dan rendah pada batugamping merah (Gambar 7). Sementara pada

senyawa yang lainnya tidak dijumpai suatu tren yang jelas.

Pengkayaan senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 dari batugamping putih ke batugamping merah sejalan dengan analisis petrografi dan XRD yang memperlihatkan kehadiran mineral kuarsa (SiO_2), titanit (CaTiSiO_5), dan siderit (FeCO_3) pada batugamping merah. Hal tersebut dikonfirmasi dengan diagram bivarian yang memperlihatkan korelasi negatif antara CaO dengan SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Korelasi negatif tersebut memberikan indikasi penggantian sebagian CaO oleh ketiga senyawa tersebut. Kehadiran mineral titanit (CaTiSiO_5) pada batugamping merah muda diperkirakan merupakan hasil reaksi antara mineral kalsit (CaCO_3) sebagai penyusun dominan batugamping dengan unsur-unsur dari SiO_2 dan TiO_2 yang mengalami pengkayaan pada batuan tersebut, atau ada kemungkinan bahwa mineral titanit merupakan material terigenus yang terangkut dan masuk dalam lingkungan

pengendapan batugamping. Kehadiran mineral siderit (FeCO_3) pada batugamping merah kemungkinan besar terjadi karena mineral siderit dan kalsit merupakan mineral isomorf karbonat. Mineral isomorph mempunyai arti bahwdua mineral atau lebih mempunyai struktur atom yang sama tetapi berbeda rumus kimianya (Dickson, 1990). Hal tersebut merefleksikan kesamaan sifat kimia, sifat fisik dan kristalografi. Dengan demikian ketika ada pengkayaan senyawa Fe_2O_3 dalam batugamping, maka sebagian unsur Ca^{+2} yang berpasangan dengan anion kompleks (CO_3^{-2}) dapat dengan mudah digantikan oleh unsur Fe^{+2} dan membentuk mineral siderite (FeCO_3). Senyawa-senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 dan Fe_2O_3 tersebut kemungkinan berasal dari suplai material terigenus yang mempunyai kandungan senyawa-senyawa tersebut yang jauh lebih tinggi dibanding batugamping merah dan abu-abu. Mengacu pada penelitian Titisari dan Atmoko (2015), disebutkan bahwa sumber pengkayaan senyawa-senyawa tersebut diperkirakan berasal dari satuan breksi andesit yang mengalasi batugamping di daerah Ponjong.

Pada sampel Menezes (2015) terlihat pengkayaan MnO dari batugamping putih ke batugamping merah (0,01 - 0,04 wt.%), dimana kecenderungan ini tidak ditunjukkan oleh sampel dari penelitian ini (Gambar 7). Pengkayaan MnO pada sampel batugamping merah Menezes (2015) diduga karena kehadiran mineral rodokrosit (MnCO_3). Sama halnya dengan siderit, rodokrosit merupakan isomorf mineral karbonat. Sehingga ketika ada pengkayaan senyawa MnO dalam batugamping, maka sebagian unsur Ca^{+2} yang berpasangan dengan anion kompleks (CO_3^{-2}) dapat digantikan oleh unsur Mn^{+2} dan membentuk mineral rodokrosit (MnCO_3).

Siderit (FeCO_3), titanit (CaTiSiO_5) maupun rodokrosit (MnCO_3) merupakan mineral yang cirikan oleh warna coklat kekuningan, merah muda sampai merah. Dengan karakteristik warna yang cirikan oleh ketiga mineral tersebut, maka diinterpretasikan bahwa kehadiran mineral-mineral tersebut dalam batugamping bertanggungjawab dalam memberi warna merah muda sampai merah pada batugamping. Dengan kata lain bahwa terbentuknya batugamping merah Ponjong karena kehadiran mineral-mineral pengotor (*impurity*) berupa siderit (FeCO_3), titanit (CaTiSiO_5) dan rodokrosit (MnCO_3).

Dengan mengandaikan bahwa mineral-mineral tersebut terbentuk karena proses pengkayaan SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 dan Fe_2O_3 yang berasal dari suplai material terigenus dan bereaksi dengan batugamping (CaCO_3) maka dapat diinterpretasikan bahwa batugamping merah terbentuk pada saat pengendapan dan atau pada saat diagenesis.

Selain itu kadar MnO terlihat jauh lebih tinggi (4,2 - 9,1 wt.%) pada batugamping abu-abu untuk sampel Menezes (2015) dibandingkan dengan batugamping merah (0,01-0,04 wt.%). Tren tersebut dapat memberikan penjelasan bahwa kadar MnO yang relatif tinggi secara signifikan bertanggungjawab dalam memberikan warna abu-abu pada batugamping. Interpretasi ini didukung dari hasil penelitian Menezes (2015) yang menyebutkan hadirnya mineral manganit ($\text{Mn}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) dan pirolusit (MnO_2) pada batugamping abu-abu dimana mineral manganit dan pirolusit mempunyai ciri warna hitam.

Pada tabel hasil analisis geokimia batugamping (Tabel 1) terlihat bahwa senyawa SrO, Na_2O , dan MgO memiliki nilai secara berturut-turut 0.003-0,05%, BDL (*below detection limit*)-3.16%, dan 0,29-1,195%. Kandungan SrO, Na_2O , dan MgO yang relatif rendah dalam batugamping merupakan indikator diagenesis pada batugamping (Nagendra dan Nagarajan, 2003; Nagendra et al., 2011; Azizi et al., 2014). Pada Gambar 7 terlihat nilai SrO (dalam hal ini adalah nilai Sr) mengalami deplesi (pemiskinan). Demikian juga untuk Na_2O , dan MgO mengalami pemiskinan tetapi senyawa Na_2O untuk sampel Menezes (2015) relatif mengalami pengkayaan. Mengacu pada Azizi et al. (2014) serta Nagendra dan Nagarajan (2003), jika proses diagenesis yang berlangsung pada batugamping terjadi oleh air meteorik, maka senyawa-senyawa tersebut mengalami pemiskinan karena proses pelarutan. Unsur-unsur Sr dan Mg merupakan unsur yang mempunyai mobilitas relatif tinggi pada segala kondisi baik oksidasi, asam, reduksi maupun netral sampai alkalin (e.g. Middelburg et al., 1988; Coope et al., 1991) sehingga unsur-unsur tersebut mudah terlarut oleh air meteorik yang melewati batugamping. Oleh karenanya, senyawa-senyawa SrO dan MgO pada batugamping merah di daerah penelitian mengalami pemiskinan ketika dilewati oleh air meteorik. Sebaliknya senyawa Fe_2O_3 mengalami

pengkayaan pada batugamping merah Ponjong karena unsur Fe merupakan unsur yang bersifat *immobile* pada kondisi oksidasi (Coope, *et al.*, 1991) sehingga ketika air meteorik yang melewati batugamping melarutkan senyawa-senyawa SrO, MgO atau senyawa lain yang bersifat mobil maka unsur Fe akan tetap tinggal (*immobile*) dan menjadi terkayakan pada batugamping. Senyawa ini ketika berwujud dalam bentuk mineral hematit (Fe_2O_3) akan mencirikan warna merah. Indikasi tersebut diperlihatkan oleh data di lapangan berupa penyebaran batugamping merah yang relatif berada pada rekahan-rekahan batuan (Gambar 3) yang merupakan zona-zona yang dilewati air meteorik. Interpretasi ini didukung oleh hasil pengamatan petrografi batugamping merah yang memberikan indikasi kehadiran mineral hematit (Gambar 4c-f).

Gambar 7 menunjukkan bahwa pengkayaan senyawa Na_2O hanya terjadi untuk sampel yang berasal dari penelitian Menezes (2015). Hal tersebut memberikan indikasi bahwa proses diagenesis batugamping di daerah penelitian selain dikontrol oleh air meteorik, juga dikontrol oleh proses lain yang mengindikasikan terjadinya pengkayaan Na_2O . Pengkayaan senyawa Na_2O dapat terjadi karena adanya pengaruh aktivitas larutan hidrotermal (Siahcheshm *et al.*, 2014) sehingga proses pengkayaan tersebut dimungkinkan karena bekerjanya larutan hidrotermal. Proses hidrotermal kemungkinan terjadi di daerah penelitian dengan didukung oleh beberapa data berupa: 1) adanya indikasi penyebaran batugamping merah yang terkonsentrasi di sepanjang struktur geologi (sesar geser) di daerah penelitian (Gambar 2). Mengacu pada pendapat Corbet dan Leach (1977), struktur geologi (sesar) dapat menjadi jalan naiknya larutan hidrotermal ke permukaan bumi; 2) indikasi keberadaan batugamping tersilisifikasi di daerah penelitian yang pernah dilaporkan oleh Hidayatullah (2008). Silisifikasi menjadi salah satu penanda adanya larutan hidrotermal yang bekerja di suatu daerah; 3) indikasi keberadaan endapan bijih mangan di daerah Ponjong (Menezes, 2015) yang bisa terbentuk karena proses bekerjanya larutan hidrotermal (Butuzova, 1990); 4) adanya pusat erupsi gunungapi purba Panggung yang disebutkan oleh Bronto (2010; 2013) dan penyebaran Formasi Mandalika berupa lava

dasit-andesit dan tuf dengan retas diorit (Surono *et al.*, 1992) yang terletak sekitar 4km di timur laut daerah penelitian. Aktifitas vulkanisme biasanya dapat berasosiasi dengan larutan hidrotermal (White *et al.*, 1995). Data tersebut mengindikasikan akan hadirnya larutan hidrotermal di daerah penelitian. Larutan hidrotermal tersebut dimungkinkan juga mengkayakan senyawa-senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 dan MnO , akan tetapi untuk mengetahui lebih detail mengenai bekerjanya larutan hidrotermal di daerah penelitian masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Berdasarkan pembahasan diatas, maka dapat diinterpretasikan bahwa ada tiga kemungkinan yang berperan dalam genesa batugamping merah Ponjong yaitu: 1) pengkayaan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan TiO_2 yang bersumber dari material terigenus satuan breksi andesit saat pengendapan batugamping sehingga dimungkinkan hadirnya mineral-mineral pengotor (*impurity*) seperti titanit (CaTiSiO_5), siderit (FeCO_3) dan rodokrosit (MnCO_3) yang mempunyai karakteristik warna coklat kekuningan, merah muda sampai merah; 2) proses diagenesis dari air meteorik yang mengkayakan batugamping dengan senyawa Fe_2O_3 (hematit, yang mempunyai karakteristik warna merah); 3) proses diagenesis karena pengaruh larutan hidrotermal.

Ketiga proses yang berperan dalam genesa batugamping merah Ponjong tersebut bisa jadi dapat saling mendukung dan mempengaruhi satu sama lain dengan peran yang relatif sama dan seimbang, tetapi dimungkinkan juga bahwa ada satu proses yang perannya lebih mendominasi. Untuk itu maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dan lebih detail.

KESIMPULAN

Batugamping merah Ponjong memiliki kandungan mineral kuarsa (SiO_2), titanit (CaTiSiO_5), siderit (FeCO_3) dan diduga rodokrosit (MnCO_3) yang tidak dijumpai pada batugamping putih. Hal tersebut didukung oleh data geokimia yang menunjukkan pengkayaan senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 dan MnO pada batugamping merah. Mineral siderit (FeCO_3), titanit (CaTiSiO_5) maupun rodokrosit (MnCO_3) merupakan mineral-mineral yang mempunyai karakteristik warna coklat kekuningan, merah

muda sampai merah sehingga diinterpretasikan bahwa kehadiran mineral-mineral tersebut dapat memberi warna merah muda sampai merah pada batugamping. Ada tiga proses yang berperan dalam genesa batugamping merah Ponjong yaitu proses pengkayaan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 yang bersumber dari material terigenus saat pengendapan batugamping, serta proses-proses diagenesa berupa pengaruh air meteoritik yang mengkayakan senyawa Fe_2O_3 dan larutan hidrotermal yang mengkayakan senyawa-senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 dan MnO . Dari ketiga proses tersebut, belum diketahui proses apa dan mana yang paling mendominasi dalam genesa batugamping merah Ponjong.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik – Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan hibah dana untuk pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmoko, D. D., 2016. Lingkungan Pengendapan dan Mineral Pengontrol Batugamping Merah di Daerah Sawahan dan Sekitarnya, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Skripsi, Unpublished, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 144pp.
- Azizi, S. H. H., Shabestari, G. M., Khazaei, A., 2014. Petrography and geochemistry of Paleocene–Eocene limestones in the Ching-dar syncline, eastern Iran. *Geoscience Frontiers*, 5, 429-438.
- Bronto, S., 2010. Publikasi Khusus Geologi Gunung Api Purba. Badan Geologi Kementerian ESDM, Bandung, 154 pp.
- Bronto, S., 2013. Geologi Gunung Api Purba. Badan Geologi Kementerian ESDM, Bandung, 184 pp.
- Butuzova, G.Y., Drits, V.A., Morozov, A.A., and Gorschkov, A.I., 1990. Processes of formation of iron-manganese oxyhydroxides in the Atlantis-II and Thetis Deeps of the Red Sea. *Spec. Publish in Ass. Sediment*, 11, 57-72.
- Coope, J.A., Lavin, O., P., Weiland, E.F., and James, L. D., 1991. *Exploration Geochemistry Short Course Manual*. Newmont Exploration Limited, 317pp.
- Corbett, G.J. and Leach, T.M., 1997. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization*. Corbett Geological Services, 318pp.
- Dickson, T., 1990. *Carbonate Mineralogy and Chemistry* dalam Tucker, M.E., Wright, V.P. and Dickson, J.A.D., eds. *Carbonate Sedimentology*, Oxford, Blackwell Science Ltd, 284-313.
- Embry, A.F. and Klovan, J.E., 1971. A Late Devonian Reef Tract on Northeastern Banks Island, NWT. *Canadian Petroleum Geology Bulletin*, 19, 730-781.
- Guimaraes, J. T. F., Cohen, M. C. L., Franca, M. C., Silva, A. K. T. D., and Rodrigues, S. F. S., 2013. Mineralogical and Geochemical Influences on Sediment Color from Amazon Wetlands Analyzed by Visible Spectrophotometry. *Acta Amazonica*, 43(3), 331-342.
- Hidayaturrahman, H., 2008, Penentuan umur batugamping tersilisifikasi dengan fosil foraminifera pada Daerah Sawahan, Kec. Ponjong, Kab. Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Skripsi, Unpublished, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Jauhari, U. and Toha, B., 2005. High Resolution Sequence Stratigraphy and Diagenesis in Carbonate Rocks, Wonosari Formation, Yogyakarta: An Outcrop Analog for Modeling Chalky Limestone Reservoir Distribution. *Proceedings of Indonesian Petroleum Association, 30th Annual Convention & Exhibition, August 2005*. Indonesia.
- Lokier, S. W., 1999. The Development of the Miocene Wonosari Formation, South Central Java. *Proceedings of Indonesian Petroleum Association, 27th Annual Convention & Exhibition*. October 1999. Indonesia.

- Menezes, A. M. B., 2015. Geologi dan karakteristik endapan bijih Mangan di Daerah Sambirejo, Desa Sawahan, Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi D. I. Yogyakarta. Skripsi, Unpublished, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 159 pp.
- Middelburg, J. J., van der Weijden, C. H., and Woittiez, J. R.W., 1988. Chemical Processes Affecting the Mobility of Major, Minor and Trace Elements during Weathering of Granitic Rocks. *Chemical Geology*, 68 (3-4), 253-273.
- Mukti, M. M., Siregar, M. S., Praptisih and Supriatna, N., 2005. Carbonate Depositional Environment and Platform Morphology of the Wonosari Formation in the Area East of Pacitan. *RISSET - Geologi dan Pertambangan*, 15(2), 29-38.
- Nagendra, R. and Nagarajan, R., 2003. Geochemical studies of Shahabad limestone (Younger Proterozoic), Bhima Basin, Karnataka. *Indian Mineralogist*, 36 (1), 13-23.
- Nagendra, R., Nagarajan, R., Bakkiaraj, D., and Armstrong-Altrin, J. S., 2011. Depositional and post-depositional setting of Maastrichtian limestone, Ariyalur Group, Cauvery Basin, South India: ageochemical appraisal. *Carbonates Evaporites* 26, 127-147.
- Premonowati, Prastistho, B. and Firdaus, I. M., 2012. Allostratigraphy of Punung Paleoreef based on Lithofacies Distributions, Jlubang Area, Pacitan Region-East Java. *Indonesian Journal of Geology*, 7(1), 113-122.
- Siahcheshm, K., Calagari, A.A., Abedini, A., and Sindern, S., 2014. Elemental Mobility and Mass Changes during Alteration in the Maher-Abad porphyry Cu-Au deposit, SW Birjand, Eastern Iran. *Periodico di Mineralogia* 83, 55-76.
- Siregar, M. S., Kamtono, Praptisih and Mukti, M. M., 2004. Reef Facies of the Wonosari Formation, South of Central Java. *RISSET - Geologi dan Pertambangan*, 14(1), 1-17.
- Surono, Toha, B., Sudarno, I., 1992. Peta Geologi lembar Surakarta-Girintontro, Jawa (Geological Map of the Surakarta-Girintontro Quadrangles, Jawa), Lembar (Quadrangle) 1408-3 & 1407-6, Skala (Scale) 1:100.000. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Departemen Pertambangan dan Energi.
- Surono, 2009. Litostratigrafi Pegunungan Selatan bagian timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 19, 209-221.
- Titisari, A. D. and Atmoko, D. D., 2015. Genesis of Ponjong pink limestone, Gunungkidul, Special Region of Yogyakarta – Indonesia. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan ke-8 Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, UGM. October 15-16, 2015. Yogyakarta, Indonesia.*
- Toha, B., Purtyasti, R. D., Srijono, Soetoto, Rahardjo, W., Pramumijoyo, S., 1994. Geologi Daerah Pegunungan Selatan: Suatu Kontribusi. *Geologi dan Geoteknik P. Jawa, Sejak Akhir Mesozoik hingga Kuartar*, 19-36.
- White, N.C., Leake, M.J., McCaughey, S.N., and Parris, B.W., 1995. Epithermal Gold Deposits of the Southwest Pacific. *Journal of Geochemical Exploration* 54, 87-136.