

Rekomendasi Pemanfaatan Marmer Berdasarkan Karakteristiknya

Selma Kurniawati dan Anastasia Dewi Titisari*

Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281

*adewititisari@ugm.ac.id

Submisi: 30 Mei 2018; Penerimaan: 26 Juli 2019

Kata Kunci: kristaloblastik; <i>relict</i> ; metamorfisme; <i>decussate</i> ; <i>saccharoidal</i> ; uji kuat tekan.	Abstrak Daerah Besole, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur merupakan daerah dengan potensi sumber daya marmer terukur sebesar 15 juta ton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rekomendasi marmer berdasarkan karakteristiknya. Karakteristik marmer pada daerah penelitian berdasarkan deskripsi megaskopis berwarna putih kecoklatan dalam kondisi segar dengan struktur non foliasi. Berdasarkan pengukuran densitas kekar menggunakan metode <i>inventory</i> , marmer memiliki densitas yang menengah. Berdasarkan analisis petrografi, marmer memiliki ukuran kristal $\leq 0,5 - 2$ mm, memiliki tekstur ketahanan proses metamorfisme yaitu kristaloblastik dan <i>relict</i> , tekstur bentuk mineral yaitu granoblastik, tekstur khusus batuan metamorf yaitu <i>decussate</i> dan <i>saccharoidal</i> . Komposisi marmer terdiri dari kalsit, dolomit dan hematit. Berdasarkan analisis uji geokimia menggunakan metode ICP-AES (<i>Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy</i>), marmer memiliki kandungan senyawa oksida utama yang didominasi oleh CaO 54,6 % - 56%. Berdasarkan analisis uji keteknikan menghasilkan nilai rata-rata uji kuat tekan sebesar 781,71 kg/cm ² , nilai ketahanan aus 0,0399 mm/menit dan nilai serapan air 0,70%. Rekomendasi pemanfaatan marmer berdasarkan densitas kekar dimanfaatkan sebagai lantai hunian dengan ukuran $\leq 10-40$ cm, berdasarkan geokimianya dimanfaatkan sebagai bahan industri kertas, pewarna tekstil, produksi pestisida, penyaringan gula dan produksi semen, dan berdasarkan keteknikannya dimanfaatkan sebagai lantai dengan beban hidup > 250 kg/cm ² , batu tempel kontruksi dalam, dan pondasi bangunan ringan – sedang.
Keywords: <i>compressive strength test</i> ; <i>crystalloblastic</i> ; <i>relict</i> ; <i>metamorphism</i> ; <i>decussate</i> ; <i>saccharoidal</i> .	Abstract Besole area, Tulungagung regency, East Java province is an area with measured marble resource potential of 15 million tons. This study aims to determine marble recommendations based on their characteristics. Marble characteristic has brownish white-brown description of megascopis and non-foliated structure. Based on fracture density measurement using inventory method, marble has medium density. Based on petrographic analysis, marble has crystal size $\leq 0.5 - 2$ mm, having texture of metamorphism process resistance is crystalloblastic and relict, texture of mineral form that is granoblastic, texture of metamorphic rock is decussate and saccharoidal. The composition of marble consists of calcite, dolomite and hematite. Based on analysis of geochemical test using method of ICP-AES (<i>Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy</i>), marble has the main oxide compound content dominated by CaO 54.6% - 56%. Based on the analysis of engineering test yields the average value of compressive strength test of 781.71 kg / cm ² , wear resistance value 0.0399 mm / min and water absorption value 0.70%. The recommended use of marble based on solid density is utilized as a residential floor

with a size of $\leq 10-40$ cm, based on its geochemistry used as paper industry, textile dye, pesticide production, sugar screening and cement production, and based on its technique is used as floor with live load > 250 kg / cm², inner and outer construction stone, and light - medium construction foundation.

1. PENDAHULUAN

Marmer merupakan batuan metamorf hasil dari proses metamorfisme batugamping, proses metamorfisme yang terjadi dipengaruhi oleh suhu dan tekanan yang dapat menyebabkan perubahan pada struktur, tekstur dan mineralogi pada batugamping tersebut. Mineral utama penyusun marmer adalah kalsit (CaCO_3), dolomit dan mineral lainnya, seperti mineral lempung, mika, kuarsa, pirit, oksida besi, dan grafit. Kalsit sebagai penyusun batu gamping (*protolith* marmer) mengalami rekristalisasi pada proses metamorfosa.

Persebaran marmer di Indonesia cukup melimpah dan karakteristik yang berbeda-beda, dengan produksi dapat mencapai 2,5 juta m²/tahun (Suhala dan Arifin, 1997). Karakteristik marmer dapat dipengaruhi oleh perbedaan proses metamorfisme yang terjadi dan dapat memberikan ciri khusus pada hasil batuanannya baik dari sifat fisik maupun senyawa kimia (i.e. Fatoye dan Gideon, 2013; Hadyan, dkk., 2015). Marmer di Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur memiliki jumlah sumberdaya terukur sebesar 15.731.738 ton (Tushadi, 1990).



Sumber: Dokumentasi dari CV. Sinar Jaya (2018)

Gambar 1. Salah satu tambang marmer yang dilakukan oleh CV.Sinar Jaya di Desa Besole

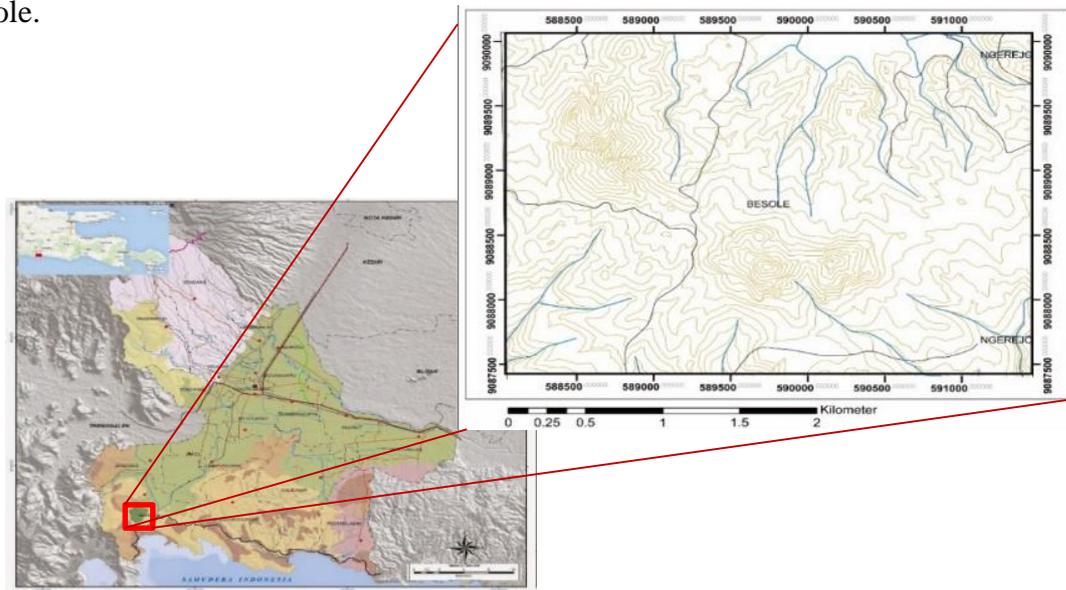
Marmer pada daerah ini sudah ditambang oleh perusahaan setempat (**Gambar 1**) dan sudah dimanfaatkan sebagai bahan baku kerajinan patung, perabotan hunian, dan lantai hunian atau tegel (Pikatan dan Kartono, 2013). Namun demikian, rekomendasi pemanfaatan marmer di daerah Besole belum berdasarkan pada studi ilmiah dan kajian geologi, padahal marmer dapat dimanfaatkan lebih bervariasi antara lain sebagai agregat kasar campuran aspal (Hamdani, 2015) maupun agregat beton (Setyowati, 2016).

Mempertimbangkan potensi marmer tersebut serta belum adanya penelitian secara geologi di daerah ini maka penelitian tentang marmer di Daerah Besole, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur perlu dilakukan agar dapat diketahui karakteristiknya sehingga dapat diberikan rekomendasi pemanfaatannya yang sesuai dengan data geologi dan data spesifikasi yang dikeluarkan oleh SII (Standar Industri Indonesia).

Oleh karena itu, diharapkan pemanfaatan marmer tersebut dapat lebih optimal sehingga dapat menaikkan nilai jualnya dan dapat lebih menggairahkan perekonomian masyarakat setempat. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui karakteristik dari marmer sehingga dapat memberikan rekomendasi pemanfaatannya berdasarkan data dari kajian geologi yang telah didapatkan di daerah penelitian. Lokasi penelitian berada di Desa Besole, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur dengan jarak 32 km dari pusat kota Tulungagung (**Gambar 2**).

Penelitian marmer di sekitar daerah penelitian (Besole) pernah dilakukan yaitu penelitian mengenai pemanfaatan limbah marmer hasil pengolahan kerajinan untuk *paving stone* yang dilakukan oleh Utami (2010) di daerah Campurdarat dimana daerah penelitian tersebut berjarak 15 km dari daerah Besole. Peneliti lain yaitu Haty (2011) melakukan penelitian tentang pemanfaatan marmer berdasarkan analisa kuat tekan dan serapan air di

wilayah Teras, daerah Campurdarat, dimana daerah tersebut berjarak sekitar 19 km dari daerah Besole.



Sumber: Data primer diolah (2018)

Gambar 2. Lokasi Penelitian dan peta topografi daerah penelitian

2. METODE PENELITIAN

Ada beberapa metode yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dari marmer. Pertama, perhitungan densitas kekar dengan menggunakan rumus $\rho_i = \frac{L}{A}$ (Davis, 1984) dimana ρ_i (densitas kekar, m/m²), L (panjang kumulatif kekar, m) dan A (luas area, m²). Metode yang digunakan yaitu *inventory* berupa perhitungan dari persamaan total panjang seluruh kekar dalam satu lingkaran *inventory* dibagi dengan luas area sebesar 1 x 1 m. Metode yang kedua yaitu pengamatan sayatan tipis secara petrografi menggunakan mikroskop polarisasi untuk mengetahui tekstur dan karakteristik dari marmer pada 4 sampel batuan dilakukan di Laboratorium Geologi Optik, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Metode selanjutnya adalah analisis uji geokimia dengan metode ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy*) untuk mengetahui kandungan senyawa oksida utama pada 4 (empat) sampel marmer. Analisis ini dilakukan di laboratorium

ALS Canada. Metode terakhir yaitu analisis uji keteknikan dengan tiga uji yang berbeda yaitu uji ketahanan aus untuk mengetahui nilai keausan dari gesekan batuan dengan material padat lainnya, uji serapan air untuk mengetahui kemampuan pori pada batuan dalam menyerap air, dan uji kuat tekan untuk mengetahui nilai kuat tekan batuan apabila diberi gaya tekan tertentu. Analisis keteknikan dilakukan pada 5 sampel marmer di Laboratorium Bahan dan Bangunan Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik marmer berdasarkan pengukuran densitas kekar (*fracture density*) dilakukan di 10 titik amat yang meliputi STA 1, STA 1 LP 1, STA 12, STA 12 LP 1, STA 12 LP 2, STA 13, STA 13 LP 1, STA 18, STA 19, dan STA 19 LP 1 (**Tabel 1**).

Tabel 1. Tabulasi hasil perhitungan densitas kekar pada marmer

Lokasi	Panjang Kumulatif Kekar (cm)	Densitas Kekar (m/m ²)
STA 1	86	0,86
STA 1 LP 1	97	0,97
STA 12	93	0,93
STA 12 LP 1	107	1,07
STA 12 LP 2	92	0,92
STA 13	102	1,02
STA 13 LP 1	98	0,98
STA 18	67	0,67
STA 19	82	0,82
STA 19 LP 1	91	0,91
Total	915	9,15
Rata-rata	91,5	0,915

Sumber: Data primer diolah (2018)

Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan akumulasi dari pengukuran panjang kekar pada singkapan marmer dan menghasilkan densitas sebesar 0.915 m/m². Densitas tersebut dikategorikan sebagai densitas kekar menengah. Berdasarkan pengukuran lebar rekahan kekar yang terbuka (**Tabel 2**) pada 3 stasiun titik amat, kekar pada marmer diklasifikasikan sebagai *closely jointed* karena memiliki lebar jarak rekahan pada satu kekar sekitar 1 – 5,6 cm.

Tabel 2. Tabulasi hasil perhitungan *joint spacing* pada kekar terbuka di daerah penelitian dan Klasifikasi *Average Joint Spacing*

Lokasi Pengukuran	Lebar rekahan kekar (cm)	Klasifikasi <i>Average Joint Spacing</i> (Bieniawski, 1989)	
		<i>Joint Condition</i>	<i>Joint Spacing (cm)</i>
STA 1	2 – 5,6	<i>very closely jointed</i>	< 2.5
STA 12	1,5 - 3	<i>closely jointed</i>	2.5 – 15.3
STA 19	1 – 2,5	<i>moderately jointed</i>	15.3 – 30.5
Range	1 – 5,6	<i>Moderate to blocky</i>	30.5 – 60.9
		<i>Blocky to massive</i>	60.9 – 121.9
		<i>Massive</i>	> 121.9

Sumber: Data primer diolah (2018)

Karakteristik marmer berdasarkan analisis petrografi pada empat sayatan tipis marmer menunjukkan tekstur kristaloblastik dan *relict* (berdasarkan ketahanan proses metamorfisme), tekstur granoblastik (berdasarkan bentuk mineral), dan tekstur khusus batuan metamorf yaitu *decussate* dan *saccharoidal* (Gambar 3, Gambar 4 dan Tabel 3). Mineral penyusun marmer didominasi oleh kalsit dan mineral lain yang hadir yaitu dolomit dan hematit (Gambar 5).

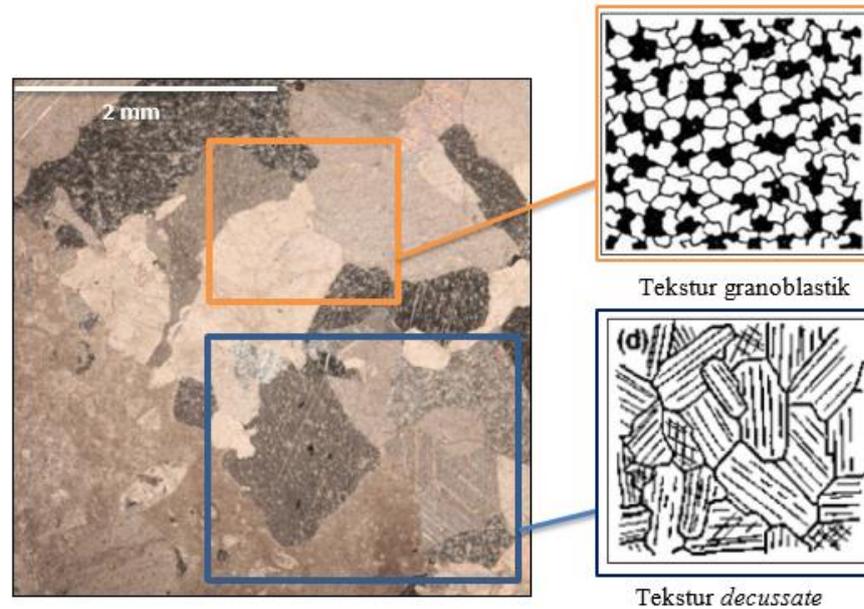
Tabel 3. Ringkasan deskripsi marmer

Kode Sampel	Ukuran Kristal (mm)	Tekstur		
		Ketahanan proses metamorfisme	Bentuk Mineral	Khusus Batuan Metamorf
M01	1 – 2,5	kristaloblastik	granoblastik	<i>decussate</i>
M12	0,5 – 1,5	<i>relict</i>	granoblastik	<i>decussate & saccharoidal</i>
M13	0,05 - 1	<i>relict</i>	granoblastik	<i>saccharoidal</i>
M19	0,5 - 2	kristaloblastik	granoblastik	<i>decussate</i>

Sumber: Kurniawati (2018); Titisari dan Kurniawati (2018)

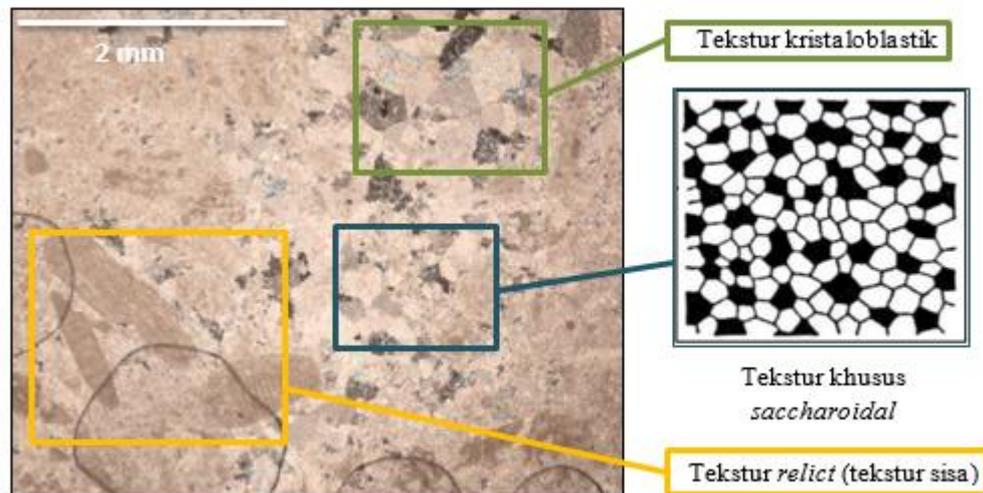
Hadirnya mineral kalsit yang dominan pada marmer mengindikasikan bahwa batuan asal (*protolith*) di daerah penelitian sebelum mengalami metamorfisme adalah batugamping. Kelimpahan dari mineral kalsit tersebut mempengaruhi warna marmer apabila sudah mengalami proses pemolesan. Marmer di daerah penelitian didominasi oleh warna putih kecoklatan. Hal ini dikarenakan kalsit merupakan mineral yang lebih mendominasi dibandingkan ketersediaan dolomit dan karena hadirnya mineral pengotor yaitu hematit.

Adanya persamaan konsistensi karakter *onix marble* dengan marmer di daerah penelitian maka marmer daerah Besole dapat digolongkan sebagai jenis *onix marble*.



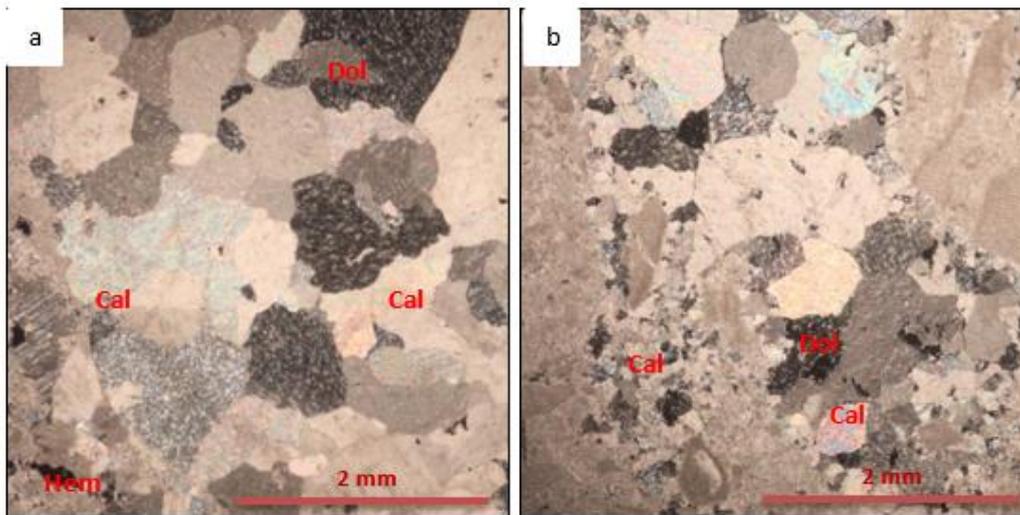
Sumber: modifikasi Winter (2001); Kurniawati (2018); Titisari dan Kurniawati (2018)

Gambar 3. Fotomikrograf dari sayatan tipis marmer (M01) pada posisi XPL yang memperlihatkan tekstur granoblastik (berdasarkan bentuk mineral) dan tekstur *decussate* yang merupakan tekstur khusus batuan metamorf



Sumber: modifikasi Winter (2001); Kurniawati (2018); Titisari dan Kurniawati (2018)

Gambar 4. Fotomikrograf dari sayatan tipis marmer (M12) pada posisi XPL yang menunjukkan tekstur kristaloblastik dan *relict* (tekstur sisa) berdasarkan ketahanan proses metamorfisme, serta tekstur *saccharoidal* yang merupakan tekstur khusus batuan metamorf.



Sumber: Data primer diolah (2018)

Gambar 5. Fotomikrograf dari sayatan tipis marmer pada posisi XPL (a: marmer M01, b: marmer M19) yang menunjukkan kehadiran mineral kalsit (Cal) dan dolomit (Dol) yang relatif dominan dan kehadiran mineral hematit (Hem) sebagai mineral minor.

Prosentase kandungan senyawa oksida utama berdasarkan analisis geokimia pada 4 sampel batuan (M01, M12, M13, M19) meliputi senyawa-senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , SrO , BaO , dan LoI dapat dilihat pada **Tabel 4**. Dengan mengintegrasikan hasil pengamatan petrografi dan hasil uji geokimia dilakukan perhitungan mineralogi normatif (**Tabel 5**) menunjukkan kandungan mineral kalsit dengan rumus kimia CaCO_3 memiliki jumlah persentase kelimpahan yang dominan yaitu 97,4% – 99,2% dan mineral dolomit dengan rumus kimia $\text{CaOMgO} \cdot 2\text{CO}_2$ memiliki jumlah kelimpahan 0,042% – 2,441%. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa mineral kalsit merupakan mineral penyusun marmer yang paling dominan.

Tabel 4. Hasil pengujian geokimia pada marmer

Komponen	Kode Sampel				Range (%)	Rata-rata (%)
	M1 (%)	M12 (%)	M13 (%)	M19 (%)		
SiO ₂	0,84	0,65	0,48	0,48	0,48 – 0,65	0,61
Al ₂ O ₃	0,12	0,08	0,01	0,03	0,01 – 0,12	0,06
Fe ₂ O ₃	0,27	0,13	0,12	0,12	0,12 – 0,27	0,16
CaO	56,0	54,6	55,0	55,3	54,6 – 56,0	55,2
MgO	0,39	0,22	0,31	0,21	0,21 – 0,03	0,28
Na ₂ O	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02 – 0,03	0,02
K ₂ O	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cr ₂ O ₃	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
TiO ₂	0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01 – 0,01	0,01
MnO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P ₂ O ₅	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02 – 0,04	0,03
SrO	0,15	0,01	0,02	0,01	0,01 – 0,15	0,05
BaO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
LOI	43,2	42,8	42,8	42,9	42,8 – 43,2	42,9
Total (%)	101,05	98,55	98,81	99,1	99,1 – 101,05	99,33

Sumber: Data primer diolah (2018)

Tabel 5. Hasil perhitungan mineralogi normatif yang menunjukkan mineral penyusun marmer didominasi oleh mineral kalsit

Jenis Mineral	Rumus Kimia	Kode Sampel			
		M01 (%)	M12 (%)	M13 (%)	M19 (%)
Kalsit	CaCO ₃	99,2	97,4	97,8	98,2
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	0,77	2,59	2,19	1,79
Hematit	Fe ₂ O ₃	0,03	0,01	0,01	0,01
Total (100%)		100	100	100	100

Sumber: Kurniawati (2018)

Karakteristik marmer berdasarkan uji keteknikan pada 5 sampel marmer menghasilkan nilai ketahanan aus, nilai serapan air, dan nilai kuat tekan yang berbeda (**Tabel 6**) dengan rata-rata nilai kuat tekan sebesar 781,71 kg/cm², rata-rata nilai ketahanan aus sebesar 0,0399 (mm/menit) dan rata-rata nilai serapan air sebesar 0,70%. Nilai kuat tekan yang paling tinggi pada sampel M12 dengan nilai sebesar 1112,08 kg/cm² dan nilai kuat tekan yang paling rendah pada sampel M13 dengan nilai sebesar 371,23 kg/cm².

Tabel 6. Hasil pengujian sifat keteknikan pada marmer

Kode Sampel	Ukuran			Berat Basah (SSD) (gram)	Berat Kering Oven (gram)	BJ Basah (SSD) (kg/m ³)	BJ Kering Oven (kg/m ³)	Beban Maks. (kN)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Ketahanan Aus (mm/menit)	Serapan Air (%)
	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)								
M01	51,1	48,38	49,02	310,4	306,0	2561	2525	235	969,30	0,0425	1,44
M12	50,69	50,65	50,75	334,9	334,1	2570	2564	280	1112,08	0,0422	0,24
M13	56,79	52,96	55,77	408,1	407,5	2433	2429	80	371,23	0,0331	0,15
M18	51,42	50,16	51,63	322,3	317,4	2420	2384	130	513,97	0,0460	1,54
M19	51,31	51,34	51,48	329,0	328,5	2426	2422	140	541,98	0,0359	0,15
Rata-rata	52,26	50,69	51,73	340,9	338,7	2482	2465	173	781,71	0,0399	0,70

Sumber: Data primer diolah (2018)

Rekomendasi pemanfaatan marmer berdasarkan data pengukuran densitas kekar dan lebar rekahan pada luas bidang 1m x 1m menggunakan grid ukuran 10 x 20 cm disesuaikan dengan ukuran keramik atau lantai hunian, maka marmer pada daerah penelitian direkomendasikan dapat dimanfaatkan sebagai lantai hunian dengan ukuran $\leq 10 - 40$ cm.

Rekomendasi pemanfaatan marmer berdasarkan data geokimia marmer, mengacu pada tabel parameter kimia yang merupakan rangkuman spesifikasi marmer (Scott dan Durham, 1984 dalam Abdullateef dkk., 2014) yang mensyaratkan senyawa oksida utama SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaCO₃, MgO, dan CO₂. Mengacu pada rangkuman tersebut, marmer Besole dapat direkomendasi untuk bahan baku industri kertas, pewarna tekstil, produksi pestisida, penyingkapan gula, dan produksi semen (Tabel 7 – 10).

Tabel 7. Rekomendasi pemanfaatan marmer (M01) berdasarkan data geokimianya

Senyawa kimia (%)	Rekomendasi Pemanfaatan								Rekomendasi Marmer Daerah Besole (M01)								
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	Hasil Uji Geokimia (%)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
	Bahan tahan panas	Industri kertas	Pelumas	Pewarna tekstil	Produksi pestisida	Penyingkapan gula	Pembuatan kaca	Produksi semen		(%)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
SiO ₂	<1	-		<2,5	-	<2	-	-	0,84								
Al ₂ O ₃	<1	-	<1,5	<2	-	-	-	-	0,03								
Fe ₂ O ₃	-	-			-	<0,5	0,05	-	0,27								
CaO	-	>96	>72,6	>94	>60	-	>96	>82	99,2								
MgO	>18	-	<1	<3	-	<4	-	<3	0,39								
CO ₂	-	-	<1	-	-	-	-	-	43,2								
Kesimpulan Rekomendasi										X	V	X	V	V	V	X	V

Keterangan:

- : memenuhi syarat rekomendasi pemanfaatan
- : tidak memenuhi syarat rekomendasi pemanfaatan
- V : direkomendasikan
- X : tidak direkomendasikan

Sumber: Data primer diolah (2018)

Tabel 8. Rekomendasi pemanfaatan marmer (M12) berdasarkan data geokimianya

Senyawa kimia (%)	Rekomendasi Pemanfaatan								Hasil Uji Geokimia (%)	Rekomendasi Marmer Daerah Besole (M12)							
	(a) Bahan tahan panas	(b) Industri kertas	(c) Pelumas	(d) Pewarna tekstil	(e) Produksi pestisida	(f) Penyaringan gula	(g) Pembuatan kaca	(h) Produksi semen		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
SiO ₂	<1	-		<2,5	-	<2	-	-	0,65								
Al ₂ O ₃	<1	-	<1,5	<2	-	-	-	-	0,08								
Fe ₂ O ₃	-	-				<0,5	0,05	-	0,13								
CaO	-	>96	>72,6	>94	>60	-	>96	>82	97,4								
MgO	>18	-	<1	<3	-	<4	-	<3	0,22								
CO ₂	-	-	<1	-	-	-	-	-	42,8								
Kesimpulan Rekomendasi										X	V	X	V	V	V	X	V

Keterangan:

- : memenuhi syarat rekomendasi pemanfaatan
- : tidak memenuhi syarat rekomendasi pemanfaatan
- V : direkomendasikan
- X : tidak direkomendasikan

Sumber: Data primer diolah (2018)

Tabel 9. Rekomendasi pemanfaatan marmer (M13) berdasarkan data geokimianya

Senyawa kimia (%)	Rekomendasi Pemanfaatan								Hasil Uji Geokimia (%)	Rekomendasi Marmer Daerah Besole (M13)							
	(a) Bahan tahan panas	(b) Industri kertas	(c) Pelumas	(d) Pewarna tekstil	(e) Produksi pestisida	(f) Penyaringan gula	(g) Pembuatan kaca	(h) Produksi semen		(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
SiO ₂	<1	-		<2,5	-	<2	-	-	0,48								
Al ₂ O ₃	<1	-	<1,5	<2	-	-	-	-	0,01								
Fe ₂ O ₃	-	-				<0,5	0,05	-	0,12								
CaO	-	>96	>72,6	>94	>60	-	>96	>82	97,8								
MgO	>18	-	<1	<3	-	<4	-	<3	0,31								
CO ₂	-	-	<1	-	-	-	-	-	42,8								
Kesimpulan Rekomendasi										X	V	X	V	V	V	X	V

Keterangan:

- : memenuhi syarat rekomendasi pemanfaatan
- : tidak memenuhi syarat rekomendasi pemanfaatan
- V : direkomendasikan
- X : tidak direkomendasikan

Sumber: Data primer diolah (2018)

Tabel 10. Rekomendasi pemanfaatan marmer (M19) berdasarkan data geokimianya

Senyawa kimia (%)	Rekomendasi Pemanfaatan								Rekomendasi Marmer Daerah Besole (M19)								
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	Hasil Uji Geokimia (%)								
	Bahan tahan panas	Industri kertas	Pelumas	Pewarna tekstil	Produksi pestisida	Penyaringan gula	Pembuatan kaca	Produksi semen	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	
SiO ₂	<1	-		<2,5	-	<2	-	-	0,48								
Al ₂ O ₃	<1	-	<1,5	<2	-	-	-	-	0,03								
Fe ₂ O ₃	-	-		<2	-	<0,5	0,05	-	0,12								
CaO	-	>96	>72,6	>94	>60	-	>96	>82	98,2								
MgO	>18	-	<1	<3	-	<4	-	<3	0,21								
CO ₂	-	-	<1	-	-	-	-	-	42,9								
Kesimpulan Rekomendasi									X	V	X	V	V	V	X	V	

Keterangan:

- : memenuhi syarat rekomendasi pemanfaatan
- : tidak memenuhi syarat rekomendasi pemanfaatan
- V : direkomendasikan
- X : tidak direkomendasikan

Sumber: Data primer diolah (2018)

Berdasarkan sifat keteknikan marmer daerah penelitian dan mengacu pada SII (Standar Industri Indonesia 0378-80), menunjukkan bahwa marmer di daerah penelitian dengan kode sampel M12 dapat direkomendasikan untuk lantai dengan beban hidup > 250 kg/cm², sedangkan marmer M19 dapat direkomendasikan sebagai marmer untuk batu tempel atau batu hias pada konstruksi dalam (Tabel 11).

Berdasarkan Tabel 12 yang memuat syarat mutu batuan untuk batu alam SII 0379-80, menunjukkan bahwa keseluruhan marmer pada daerah penelitian dapat direkomendasikan sebagai batu alam dengan sifat yang berbeda, meliputi, (1) marmer M12 direkomendasikan sebagai batu alam untuk pondasi bangunan sedang; (2) marmer M01 direkomendasikan sebagai batu alam untuk pondasi bangunan ringan; (3) marmer M18 dan M19 direkomendasikan sebagai batu alam untuk tonggak dan batu tepi jalan; dan (4) marmer M13 direkomendasikan sebagai batu alam untuk batu hias/batu tempel.

Tabel 11. Rekomendasi pemanfaatan marmer Besole berdasarkan syarat-syarat fisik marmer SII. 0378-80

Pemanfaatan Marmer Besole Berdasarkan Syarat-syarat Fisik Marmer SII. 0378-80															
Kode Sampel	Penyerapan Air Maksimum (%)				Kuat Tekan Minimum (kg/cm ²)					Ketahanan Aus Maksimum (mm/menit)					
	Nilai Lab.	a	b	c	d	Nilai Lab.	a	b	c	d	Nilai Lab.	a	b	c	d
		0,75	0,75	0,75	1,00		800	800	600	500		0,130	0,160	-	-
M01	1,44	x	x	x	v	969,30	v	v	v	v	0,0425	v	v	v	v
M12	0,24	v	v	v	v	1112,08	v	v	v	v	0,0422	v	v	v	v
M13	0,15	v	v	v	v	371,23	x	x	x	x	0,0331	v	v	v	v
M18	1,54	v	v	v	x	513,97	x	x	x	v	0,0460	v	v	v	v
M19	0,15	v	v	v	v	541,98	x	x	x	v	0,0359	v	v	v	v

Keterangan:

v: memenuhi syarat

x: tidak memenuhi syarat

a: lantai dengan beban hidup > 250 kg/cm²b: lantai dengan beban hidup < 250 kg/cm²

c: batu tempel/batu hias konstruksi luar

d: batu tempel/batu hias konstruksi dalam

*Sumber: Data primer diolah (2018)***Tabel 12.** Rekomendasi pemanfaatan marmer Besole berdasarkan syarat mutu batuan untuk bangunan SII. 0379-80

Pemanfaatan Marmer Besole Berdasarkan Syarat-syarat Fisik Marmer SII. 0379-80																					
Kode Sampel	Penyerapan Air Maksimum (%)						Kuat Tekan Minimum (kg/cm ²)						Ketahanan Aus Maksimum (mm/menit)								
	Nilai Lab.	a	b	c	d	e	f	Nilai Lab.	a	b	c	d	e	f	Nilai Lab.	a	b	c	d	e	f
		5	5	8	5	5	5		1500	1000	800	500	600	200		-	-	-	-	0,16	-
M01	1,44	v	v	v	v	v	v	969,30	x	x	v	v	v	v	0,0425	v	v	v	v	v	v
M12	0,24	v	v	v	v	v	v	1112,08	v	v	v	v	v	v	0,0422	v	v	v	v	v	v
M13	0,15	v	v	v	v	v	v	371,23	x	x	x	x	x	v	0,0331	v	v	v	v	v	v
M18	1,54	v	v	v	v	v	v	513,97	x	x	x	v	x	v	0,0460	v	v	v	v	v	v
M19	0,15	v	v	v	v	v	v	541,98	x	x	x	v	x	v	0,0359	v	v	v	v	v	v

Keterangan:

v: memenuhi syarat

x: tidak memenuhi syarat

a: pondasi bangunan berat

b: pondasi bangunan sedang

c: pondasi bangunan ringan

d: tonggak dan batu tepi jalan

e: penutup lantai atau trotoar

f: batu hias / batu tempel

Sumber: Data primer diolah (2018)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian, terdapat beberapa karakteristik marmer di Desa Besole, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tuluagung. Berdasarkan deskripsi megaskopis, marmer berwarna putih kecoklatan dalam kondisi segar, berwarna coklat kekuningan dalam kondisi lapuk, memiliki struktur non foliasi sehingga batuan lebih pejal dan padat. Sementara, berdasarkan pengukuran

densitas dan lebar rekahan kekar, marmer memiliki densitas yang menengah dan termasuk kekar *closely jointed*. Karakteristik lainnya berdasarkan analisis petrografi, marmer memiliki ukuran kristal $\leq 0,5 - 2$ mm, memiliki tekstur berdasarkan ketahanan proses metamorfisme yaitu kristaloblastik dan *relict*, tekstur berdasarkan bentuk mineral yaitu granoblastik, tekstur khusus batuan metamorf yaitu *decussate* dan *saccharoidal*. Komposisi marmer terdiri dari kalsit, dolomit, dan hematit. Sementara itu, berdasarkan analisis uji geokimia, marmer memiliki kandungan oksida yang bervariasi meliputi SiO_2 berkisar antara 0,48 % - 0,65%, Al_2O_3 0,01% - 0,12%, Fe_2O_3 0,12% - 0,27%, CaO 54,6% - 56%, dan MgO 0,21% - 0,39%. Karakteristik yang terakhir berdasarkan uji sifat keteknikan, marmer memiliki rata-rata nilai uji kuat tekan sebesar 781,71 kg/cm², rata-rata nilai ketahanan aus sebesar 0.0399 mm/menit dan rata-rata nilai serapan air sebesar 0,70%.

Rekomendasi pemanfaatan marmer pada daerah penelitian berdasarkan densitas kekar dimanfaatkan sebagai lantai hunian dengan ukuran tertentu, berdasarkan uji geokimia marmer dapat dimanfaatkan sebagai bahan industri kertas, pewarna tekstil, produksi pestisida, penyaringan gula dan produksi semen, sedangkan berdasarkan sifat keteknikannya marmer dapat dimanfaatkan sebagai lantai dengan beban hidup > 250 kg/cm², batu tempel/batu hias pada konstruksi dalam, pondasi bangunan ringan – sedang, batu alam untuk tonggak dan batu tepi jalan.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebaiknya pengambilan sampel conto batuan di lapangan lebih banyak agar dapat dimanfaatkan lebih maksimal pada pengujian sifat keteknikan dan uji geokimia marmer sehingga data yang diperoleh lebih valid. Perlu dilakukan perhitungan cadangan marmer yang lebih rinci agar dapat memperkirakan jangka waktu penambangan marmer di daerah Besole.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan dana hibah untuk membiayai pelaksanaan penelitian ini dan dukungan dalam penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullateef, J.O., Elueze, A. A., dan Ahmed, J.B. (2014). Geochemistry and Economic Potential of Marble from Obajana, North Central, Nigeria., *Advances in Applied Science Research*, 5, 145-151
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. New York: Wiley.
- Davis, George H. (1984). *Structural Geology of Rocks and Regions*. New York: John wiley and Sons Inc.
- Fatoye, F.B. dan Gideon, Y.B. (2013). Geology and Occurences of Limestone and Marble in Nigeria, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research*, 3(11), 60-65.
- Hadyan, A., Setiawan, I.N., Budianta, W., Alfyan, M.F. (2015). Petrogenesis dan Sifat Keteknikan Marmer Jokotuo. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke 8, Geoweeek 2015*, Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, 618-620
- Haty, I.P. (2011). Pemanfaatan Batu Marmer Berdasarkan Analisa Kuat Tekan dan Serapan Air Daerah Teras Kecamatan Campurdarat Kabupaten Tulungagung Propinsi Jawa Timur. Dalam *Jurnal Ilmiah MTG*, 4(2).
- Hamdani, M.R. (2015). Studi Pemanfaatan Limbah Mamer sebagai Agregat Kasar Capuran Aspal Berpori, Makassar. *Jurnal Tugas Akhir Universitas Hasanuddin*.

- Kurniawati, S. (2018). Geologi, Karakteristik dan Rekomendasi Pemanfaatan Marmer Desa Besole, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur. Skripsi Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada (*unpublished*).
- Pikatan, G.M, dan Kartono, L. (2013). *Grha* Kerajinan Batu Marmer di Tulungagung. *Jurnal eDemensi Arsitektur*, 1(2), 98-104.
- Setyowati, E.W. 2016. Kuat Tekan Beton Limbah Batu Onix Tulungagung. *Jurnal Media Teknik Sipil* Vol.14 No.2., UMM
- Suhala, S, dan Arifin, M. (1997). *Bahan Galian Industri*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral.
- Titisari, A.D. dan Kurniawati, S. (2018). Genesa Marmer Daerah Besole, Kecamatan Besuki, Kabupaten Tulungagung, Provinsi Jawa Timur Berdasarkan Karakteristiknya. [Proceeding] Seminar Nasional Kebumihan Ke-11, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Tushadi. (1990). *Bahan Galian Industri Indonesia*. Bandung: Direktorat Sumberdaya Mineral, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral.
- Utami, S. (2010). Pemanfaatan Limbah Marmer Untuk Pembuatan Paving Stone. *Jurnal Neutron*, 10(2), 55-56
- Winter, J. D. (2001). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. New Jersey: Prentice Hall.