

**KARAKTERISTIK FISIK DAN MINERALOGI TUF PENYUSUN CANDI
PLAOSAN**
*PHYSICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS OF TUFF ON
PLAOSAN TEMPLE*

Leliek Agung Haldoko¹, Agus Harjanto¹, Agus Hendratno², Rony Muhammad³, Arif
Gunawan³

¹ UPN "Veteran" Yogyakarta, ² Universitas Gadjah Mada dan ³ Museum dan Cagar Budaya
leliek_agung@yahoo.co.id

ABSTRAK

Candi Plaosan yang terletak di Dukuh Plaosan, Desa Bugisan, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah dibangun menggunakan material andesit dan tuf. Tuf pada Candi Plaosan di antaranya dipakai pada bagian pagar, stupa perwara dan talud parit. Tuf memiliki karakteristik yang lebih mudah lapuk jika dibandingkan dengan andesit. Akibatnya kebutuhan batu pengganti untuk jenis tuf menjadi lebih besar. Permasalahan terjadi ketika batu pengganti yang digunakan memiliki kualitas yang tidak sesuai dengan batu aslinya. Karena itu perlu penelitian untuk menentukan karakteristik tuf penyusun Candi Plaosan.

Penelitian dilakukan untuk memperoleh karakteristik fisik maupun mineralogi tuf penyusun Candi Plaosan. Karakteristik fisik yang diteliti meliputi parameter densitas, porositas, kekerasan dan kuat tekan. Selain itu dilakukan analisis mineralogi untuk mengetahui jenis tuf dan komposisi mineral penyusunnya.

Hasil penelitian menunjukkan batu kulit Candi Plaosan merupakan jenis lithic tuff, sedangkan untuk batu isian terdiri dari dua jenis yaitu lithic tuff dan vitric tuff. Nilai densitas tuf batu kulit berkisar antara 1,12-1,23 g/cm³ sedangkan untuk batu isian antara 0,96-1,20 g/cm³. Porositas batu kulit berkisar antara 45,56-47,00% sedangkan untuk batu isian antara 46,54-50,59%. Kekerasan tuf batu kulit maupun batu isian memiliki nilai yang sama yaitu 3 skala mohs. Tuf batu kulit memiliki kuat tekan 46,15-67,71 kg/cm² sedangkan pada batu isian berkisar antara 28,81-51,86 kg/cm². Dengan karakteristik fisik dan mineralogi yang telah diperoleh, maka batu pengganti yang akan digunakan diharapkan dapat memenuhi seluruh karakteristik batu aslinya.

Kata Kunci: Candi Plaosan; tuf; densitas; porositas; kekerasan; kuat tekan

ABSTRACT

Plaosan Temple, which is located in Plaosan Hamlet, Bugisan Village, Prambanan District, Klaten Regency, Central Java, was built with andesite and tuff materials. Tuff at Plaosan Temple is used for the fence, ancillary stupas and trench retaining wall. Tuff has characteristics that are more easily weathered when compared to andesite. Therefore, the need for replacement stones for tuff becomes greater. Problems occur when the replacement stones has a quality that does not match the original stones. Because of that, research is needed to determine the tuff characteristics that make up Plaosan Temple.

Research was conducted to obtain the physical and mineralogical characteristics of the tuff of Plaosan Temple. Physical characteristics tested include parameters of density, porosity, hardness and compressive strength. In addition, mineralogical analysis was carried out to determine the type of tuff and its mineral composition.

Results of the research showed that outer stones of Plaosan Temple was a type of lithic tuff, while the inner stones consisted of two types, namely lithic tuff and vitric tuff. Density value of outer stones ranged from 1.12-1.23 g/cm³ and for inner stones it was between 0.96-1.20 g/cm³. Porosity of outer stones ranged from 45.56-47.00% and for inner stones it was between 46.54-50.59%. Hardness of outer stones and inner stones has the same value, which is 3 on the mohs scale. Outer stones have the compressive strength of 46.15-67.71 kg/cm² and the inner stone ranges from 28.81-51.86 kg/cm². Based on the physical and mineralogical characteristics that have been obtained, the replacement stone that will be used is expected to match all the characteristics of the original stone.

Keywords: Plaosan Temple; tuff; density; porosity; hardness; compressive strength

PENDAHULUAN

Cagar budaya merupakan salah satu kekayaan budaya bangsa yang penting artinya bagi pemahaman dan pengembangan sejarah, ilmu pengetahuan dan kebudayaan, sehingga penting untuk dijaga kelestariannya. Cagar budaya di Indonesia salah satunya adalah berupa candi dengan material penyusunnya batu atau bata. Batu penyusun candi banyak jenisnya, salah satunya adalah tuf.

Tuf banyak dipakai sebagai bahan penyusun material candi terutama pada candi yang terdapat di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Hal ini karena tuf banyak ditemukan di formasi semilir salah satunya di perbukitan sekitar Prambanan (Mulyaningsih, 2011). Dalam penggunaannya sebagai material penyusun candi, tuf sering disebut sebagai batu putih. Tuf adalah batuan piroklastik yang memiliki komposisi utama abu vulkanik. Salah satu candi yang menggunakan tuf sebagai material penyusunnya adalah Candi Plaosan (Romanzah, 2015). Tuf pada Candi Plaosan diantaranya dipakai pada bagian pagar, stupa perwara dan talud parit (Gambar 1).



Gambar 1. Pagar (kiri), stupa perwara (tengah) dan talud parit (kanan) Candi Plaosan yang tersusun atas tuf

Candi Plaosan terletak di Dukuh Plaosan, Desa Bugisan, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah. Candi Plaosan dibangun sekitar abad ke-9 M pada masa pemerintahan Rakai Panangkaran dari kerajaan Mataram Kuna (Purwaningsih, 2018). Permasalahan yang terjadi saat ini adalah ketika material batu candi mengalami kerusakan dan pelapukan, untuk material penggantinya kadang menggunakan batu dengan tekstur yang berbeda dengan aslinya. Permasalahan lainnya muncul ketika material batu pengganti ternyata lebih cepat lapuk dibandingkan material batu aslinya. Ini menandakan material batu pengganti yang digunakan memiliki kualitas yang tidak sesuai dengan batu aslinya

Tuf memiliki karakteristik yang lebih mudah lapuk jika dibandingkan dengan andesit. Karena itu di Candi Plaosan, bagian candi yang tersusun atas tuf mengalami pelapukan yang jauh lebih intensif daripada bagian candi yang tersusun atas andesit. Akibatnya kebutuhan batu pengganti untuk jenis tuf menjadi lebih besar. Untuk mendapatkan batu pengganti yang sesuai tentunya diperlukan data mengenai karakteristik tuf penyusun Candi Plaosan. Tuf memiliki karakteristik fisik tertentu diantaranya dilihat dari parameter densitas, porositas, kekerasan dan kuat tekan. Selain itu tuf juga mempunyai karakteristik mineralogi tertentu karena ada yang didominasi oleh fragmen batuan (*lithic tuff*), didominasi gelas vulkanik (*vitric tuff*) dan didominasi oleh fragmen kristal mineral (*crystal tuff*) (Williams dkk, 1982).

Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk menentukan karakteristik tuf penyusun Candi Plaosan berdasarkan karakteristik fisik maupun mineraloginya. Hal ini diperlukan agar ketika melakukan pemugaran yang menggunakan batu pengganti akan selalu digunakan jenis batu dengan karakteristik yang sama batu aslinya. Dengan begitu material batu pengganti yang digunakan akan memiliki kualitas sesuai dengan batu aslinya sehingga tidak lebih mudah lapuk. Selain itu penggantian

dengan jenis batu sesuai akan mengikuti prinsip keaslian bahan seperti yang diamanatkan dalam UU No. 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya.

METODE

Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai tuf maupun Candi Plaosan dari buku teks, jurnal maupun paper.

Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan di Candi Plaosan untuk pengamatan material penyusun candi yang ada serta pengambilan sampel tuf untuk uji laboratorium. Sampel yang diambil berasal batu runtuh dari bagian pagar, stupa perwara, talud parit dan batu isian. Pengambilan sampel dibantu oleh arkeolog Candi Plaosan untuk memastikan ketepatan sampel yang diambil.

Pengujian Laboratorium

Analisis Petrografi

Analisis petrografi dilakukan dengan cara pengujian mikroskopik batuan dalam sayatan tipis (*thin section*) 0,03 mm menggunakan peralatan mikroskop polarisasi. Analisis petrografi dilakukan untuk mendeskripsikan secara rinci tekstur dan mineralogi batuan serta menentukan penamaan batuan.

Uji Densitas

Uji densitas dilakukan untuk mengukur kerapatan massa batuan pada tiap-tiap sampel.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Keterangan :

ρ = Densitas (g/cm³)

m = Massa (g)

v = Volume (cm³)

Uji Porositas

Porositas (η) adalah perbandingan antara volume pori dan volume sampel secara keseluruhan. Uji porositas untuk mengetahui besarnya porositas tiap-tiap sampel.

$$\eta = \frac{Vv}{V} \times 100\%$$

Keterangan

η = Porositas (%)

Vv = Volume pori dalam sampel (cm³)

V = Volume total sampel (cm³)

Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat resistensi tiap-tiap sampel terhadap kemudahan mengalami abrasi atau mudah tergores. Uji kekerasan dilakukan dengan alat Skala Mohs.

Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan tiap-tiap sampel dalam menahan beban per satuan luas. Uji kuat tekan dilakukan dengan alat *Universal Testing Machine*.

$$C = \frac{P}{A}$$

Keterangan :

C = kuat tekan (kg/cm²)

P = beban (kg)

A = luas permukaan bidang uji (cm²)

Analisis Data

Data hasil pengujian laboratorium selanjutnya akan dianalisis sehingga akan didapatkan karakteristik mineralogi dan karakteristik fisik tiap-tiap sampel yang meliputi densitas, porositas, kekerasan dan kuat tekan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Batuan di Lapangan

Candi Plaosan tersusun atas andesit dan tuf. Pada Candi Plaosan tuf dipakai sebagai material penyusun pagar candi, stupa perwara, talud parit maupun batu isian. Karena itu pengambilan sampel disesuaikan pada lokasi tersebut. Tuf penyusun Candi Plaosan (batu asli) secara umum telah berada pada kondisi yang lapuk (Gambar 2). Hal ini dapat dilihat dari warnanya yang menjadi kecokelatan dan bentuk blok batunya yang sudah aus. Tuf memiliki karakteristik yang lebih mudah lapuk jika dibandingkan dengan andesit. Di Candi Plaosan, bagian candi yang tersusun atas tuf mengalami pelapukan yang jauh lebih intensif dari bagian candi yang tersusun atas andesit. Akibatnya kebutuhan batu pengganti untuk bagian candi yang tersusun atas tuf lebih besar daripada andesit. Untuk mendapatkan batu pengganti yang sesuai tentunya diperlukan data mengenai karakteristik tuf Candi Plaosan.



Gambar 2. Tuf penyusun Candi Plaosan telah dalam kondisi lapuk

Uji Laboratorium

Analisis Petrografi

Analisis petrografi dilakukan untuk mendeskripsikan secara rinci tekstur dan mineralogi batuan dalam sayatan tipis. Dari hasil deskripsi kemudian dicocokkan dengan klasifikasi batuan sehingga didapatkan penamaan detil untuk tiap-tiap sampel.

1) Batu asli pagar (batu kulit) (P1)

Dari hasil pengamatan sayatan tipis termasuk dalam batuan piroklastik, kondisi batuan lapuk, warna abu-abu kecokelatan, pemilahan buruk (*poorly sorted*), kemas terbuka. Komposisi butiran terdiri dari fragmen batuan (*lithic*) yang didominasi oleh pecahan batuan piroklastik (*pumice*) dan pecahan batuan beku (60%), feldspar (10%), kuarsa (1%), dan mineral opak (4%), bentuk menyudut tanggung. Butiran berukuran 0,05 mm – 8 mm. Matriks berupa abu vulkanik (25%).

Penamaan Petrografis: *Lithic Tuff* (Klasifikasi Williams, 1982)

2) Batu asli stupa perwara (batu kulit) (P2)

Dari hasil pengamatan sayatan tipis termasuk dalam batuan piroklastik, kondisi batuan lapuk, warna abu-abu kecokelatan, pemilahan sedang (*moderately sorted*), kemas terbuka. Komposisi butiran terdiri dari fragmen batuan (*lithic*) yang didominasi oleh pecahan batuan piroklastik (*pumice*) dan pecahan batuan beku (55%), feldspar (10%), kuarsa (2%), dan mineral opak (3%), bentuk menyudut tanggung. Butiran berukuran 0,05 mm – 2 mm. Matriks berupa abu vulkanik (30%).

Penamaan Petrografis: *Lithic Tuff* (Klasifikasi Williams, 1982)

3) Batu asli talud parit (batu kulit) (P3)

Dari hasil pengamatan sayatan tipis termasuk dalam batuan piroklastik, kondisi batuan lapuk, warna abu-abu kecokelatan, pemilahan buruk (*poorly sorted*), kemas terbuka. Komposisi butiran terdiri dari fragmen batuan (*lithic*) yang didominasi oleh pecahan batuan piroklastik (*pumice*) dan pecahan batuan beku (30%), feldspar (10%), kuarsa (2%), dan mineral opak (3%), bentuk menyudut tanggung. Butiran berukuran 0,05 mm – 2 mm. Matriks berupa abu vulkanik (55%).

Penamaan Petrografis: *Lithic Tuff* (Klasifikasi Williams, 1982)

4) Batu asli isian 1 (P4)

Dari hasil pengamatan sayatan tipis termasuk dalam batuan piroklastik, kondisi batuan lapuk, warna abu-abu kecokelatan, pemilahan sedang (*moderately sorted*), kemas terbuka. Komposisi butiran terdiri dari feldspar (5%), kuarsa (5%), lithic (3%) dan mineral opak (2%), bentuk menyudut tanggung. Butiran berukuran 0,05 mm – 0,3 mm. Matriks berupa abu vulkanik (85%).

Penamaan Petrografis: *Vitric Tuff* (Klasifikasi Williams, 1982)

5) Batu asli isian 2 (P5)

Dari hasil pengamatan sayatan tipis termasuk dalam batuan piroklastik, kondisi batuan lapuk, warna abu-abu kecokelatan, pemilahan buruk (*poorly sorted*), kemas terbuka. Komposisi butiran terdiri dari fragmen batuan (*lithic*) yang didominasi oleh pecahan batuan piroklastik (*pumice*) dan pecahan batuan beku (35%), feldspar (15%), kuarsa (2%), dan mineral opak (3%), bentuk menyudut tanggung. Butiran berukuran 0,05 mm – 0,6 mm. Matriks berupa abu vulkanik (45%).

Penamaan Petrografis: *Lithic Tuff* (Klasifikasi Williams, 1982)

6) Batu asli isian 3 (P6)

Dari hasil pengamatan sayatan tipis termasuk dalam batuan piroklastik, kondisi batuan lapuk, warna abu-abu kecokelatan, pemilahan buruk (*poorly sorted*), kemas terbuka. Komposisi butiran terdiri dari fragmen batuan (*lithic*) yang didominasi oleh pecahan batuan piroklastik (*pumice*) dan pecahan batuan beku (45%), feldspar (10%), kuarsa (2%), dan mineral opak (3%), bentuk menyudut tanggung. Butiran berukuran 0,05 mm – 1,5 mm. Matriks berupa abu vulkanik (40%).

Penamaan Petrografis: *Lithic Tuff* (Klasifikasi Williams, 1982)

Hasil analisis petrografi menunjukkan tuf penyusun Candi Plaosan terdiri dari dua jenis yaitu *lithic tuff* dan *vitric tuff*. Untuk batu kulit semuanya tersusun atas *lithic tuff* sedangkan untuk batu isian tersusun atas *lithic tuff* dan *vitric tuff*. *Lithic tuff* merupakan tuf yang didominasi oleh fragmen batuan. *Vitric tuff* merupakan tuf yang didominasi oleh abu (gelas) vulkanik. Dilihat dari mineralogi batuan, fragmen atau butiran penyusun tuf Candi Plaosan didominasi oleh pecahan batuan piroklastik (*pumice*) dan pecahan batuan beku.

Uji Densitas

Uji densitas dilakukan untuk mengukur kerapatan massa batuan pada tiap-tiap sampel tuf penyusun Candi Plaosan. Tekstur batuan, komposisi mineral maupun porositas batuan bisa mempengaruhi tingkat kerapatan massa batuan. Untuk jenis batu yang sama, maka batu dengan densitas yang lebih tinggi akan memiliki kualitas yang lebih baik daripada batu dengan densitas yang lebih rendah. Berikut ini adalah nilai densitas tuf penyusun Candi Plaosan (Tabel 1).

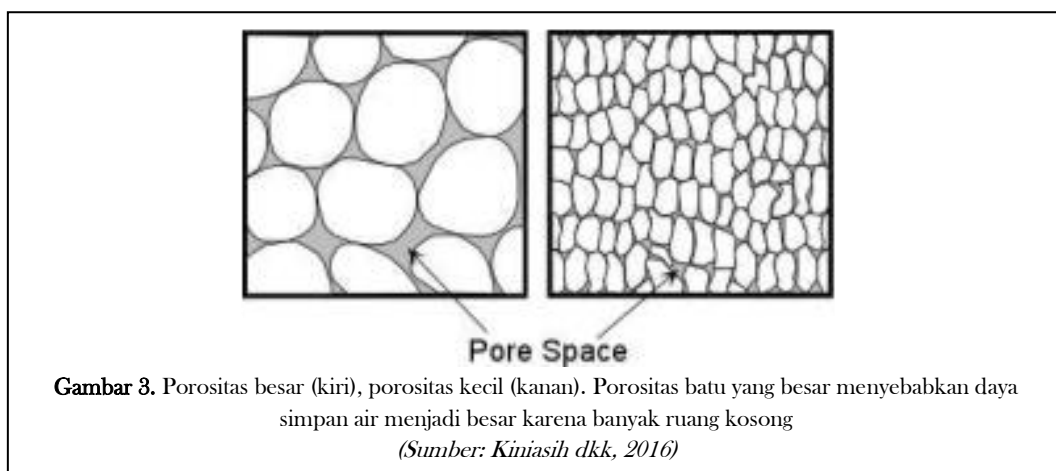
Tabel 1. Densitas tuf Candi Plaosan

Lokasi	Kode	Sampel	Densitas (g/cm ³)
Candi Plaosan	P1	Batu asli pagar	1,12
	P2	Batu asli stupa perwara	1,23
	P3	Batu asli talud parit	1,23
	P4	Batu asli isian 1	1,17
	P5	Batu asli isian 2	1,20
	P6	Batu asli isian 3	0,96

Berdasarkan Tabel 1, nilai densitas batu kulit paling tinggi terdapat pada batu asli stupa perwara dan batu asli talud parit yaitu 1,23 g/cm³. Untuk batu asli pagar memiliki densitas 1,12 g/cm³. Untuk batu isian nilai densitasnya bervariasi antara 0,96 g/cm³ sampai 1,20 g/cm³. Data ini menunjukkan secara umum tuf batu kulit Candi Plaosan memiliki densitas yang lebih tinggi dari batu isian.

Uji Porositas

Uji porositas untuk mengetahui besarnya porositas tiap-tiap sampel tuf penyusun Candi Plaosan. Porositas bisa menunjukkan besarnya ruang kosong pada material batu. Tekstur batuan yang berbeda dapat menghasilkan porositas yang berbeda. Bahkan batu yang sejenis juga bisa mempunyai porositas yang berbeda karena meskipun teksturnya sama tetapi komposisi antara fragmen dan matriks bisa berbeda. Komposisi matriks yang lebih besar



dapat menyebabkan porositas menjadi lebih kecil. Ini karena matriks memiliki ukuran halus, ketika saling bersinggungan akan menghasilkan celah yang lebih sempit. Porositas yang besar akan menyebabkan batu memiliki daya simpan air yang besar juga (Gambar 3).

Daya simpan air yang lebih besar memungkinkan pelapukan batu terjadi lebih intensif karena air yang menjadi salah satu agen pelapuk batuan (Yanuardi, 2009). Untuk jenis batu yang sama, maka batu dengan porositas yang lebih kecil akan memiliki kualitas yang lebih baik daripada batu dengan porositas yang lebih besar. Berikut ini adalah nilai porositas tuf penyusun Candi Plaosan (Tabel 2).

Tabel 2. Porositas tuf penyusun Candi Plaosan

Lokasi	Kode	Sampel	Porositas (%)
Candi Plaosan	P1	Batu asli pagar	47,00
	P2	Batu asli stupa perwara	45,63
	P3	Batu asli talud parit	45,56
	P4	Batu asli isian 1	47,91
	P5	Batu asli isian 2	46,54
	P6	Batu asli isian 3	50,59

Berdasarkan Tabel 2, nilai porositas batu kulit paling kecil terdapat pada batu asli stupa perwara dan batu asli talud parit yaitu 45,63% dan 45,56%. Untuk batu asli pagar memiliki porositas yang lebih besar yaitu 47,00%. Untuk batu asli isian memiliki porositas yang bervariasi yaitu 46,54% sampai 50,59%. Data ini menunjukkan secara umum tuf batu kulit Candi Plaosan memiliki porositas yang lebih kecil dari batu isian.

Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat resistensi tiap-tiap sampel tuf penyusun Candi Plaosan terhadap kemudahan mengalami abrasi atau mudah tergores. Batu dengan kekerasan yang lebih tinggi cenderung tidak mudah mengalami keausan akibat abrasi dari material lain jika dibandingkan dengan batu yang memiliki kekerasan rendah. Menurut Soekmono (dalam Natasya dkk, 2013) keausan pada batu candi dapat menghapus keindahan seni ukir yang ada. Berikut ini adalah nilai kekerasan tuf penyusun Candi Plaosan (Tabel 3).

Tabel 3. Kekerasan tuf penyusun Candi Plaosan

Lokasi	Kode	Sampel	Kekerasan (skala mohs)
Candi Plaosan	P1	Batu asli pagar	3
	P2	Batu asli stupa perwara	3
	P3	Batu asli talud parit	3
	P4	Batu asli isian 1	3
	P5	Batu asli isian 2	3
	P6	Batu asli isian 3	3

Hasil uji kekerasan (Tabel 3) menunjukkan semua sampel tuf penyusun Candi Plaosan memiliki tingkat kekerasan yang sama. Hal ini ditunjukkan dari nilai kekerasan yang sama baik pada batu kulit maupun batu isian yaitu 3 skala mohs.

Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan tiap-tiap sampel tuf penyusun Candi Plaosan dalam menahan beban per satuan luas. Nilai kuat tekan yang tinggi memungkinkan suatu material dapat menahan beban material di atasnya dengan lebih baik. Dengan nilai kuat tekan yang lebih tinggi maka akan dapat meminimalkan terjadinya retakan atau pecah pada blok batu saat menopang blok batu di atasnya. Berikut ini adalah nilai kuat tekan tuf penyusun Candi Plaosan (Tabel 4).

Tabel 4. Kuat tekan tuf penyusun Candi Plaosan

Lokasi	Kode	Sampel	Kuat Tekan (kg/cm ²)
Candi Plaosan	P1	Batu asli pagar	46,15
	P2	Batu asli stupa perwara	63,87
	P3	Batu asli talud parit	67,71
	P4	Batu asli isian 1	51,86
	P5	Batu asli isian 2	45,44
	P6	Batu asli isian 3	28,81

Hasil uji kuat tekan (Tabel 4) menunjukkan untuk batu kulit nilai kuat tekan paling tinggi terdapat pada batu asli stupa perwara dan batu asli talud parit yaitu 63,87 kg/cm² dan 67,71 kg/cm². Untuk batu asli pagar memiliki kuat tekan yang lebih rendah yaitu 46,15 kg/cm². Batu asli isian memiliki kuat tekan 28,81 kg/cm², 45,55 kg/cm² dan 51,86 kg/cm². Data ini menunjukkan secara umum tuf batu kulit Candi Plaosan memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dari batu isian.

KESIMPULAN

Tuf penyusun Candi Plaosan pada bagian batu kulit merupakan jenis *lithic tuff*, sedangkan untuk batu isian terdiri dari dua jenis yaitu *lithic tuff* dan *vitric tuff*. Densitas tuf penyusun batu kulit Candi Plaosan berkisar antara 1,12-1,23 g/cm³ sedangkan untuk batu isian berkisar antara 0,96-1,20 g/cm³. Untuk porositas, pada batu kulit berkisar antara 45,56-47,00% sedangkan pada batu isian berkisar antara 46,54-50,59 %. Kekerasan tuf pada batu kulit maupun batu isian memiliki nilai yang sama yaitu 3 skala mohs. Untuk kuat tekan, pada batu kulit berada pada kisaran 46,15-67,71 kg/cm² sedangkan pada batu isian berkisar antara 28,81-51,86 kg/cm². Berdasarkan nilai densitas, porositas, kekerasan dan kuat tekan, secara umum tuf batu kulit Candi Plaosan memiliki kualitas yang lebih baik dari batu isian. Untuk mengganti tuf penyusun Candi Plaosan yang telah lapuk, batu pengganti yang dipakai diharapkan memiliki kualitas yang minimal sama dengan batu aslinya.

REKOMENDASI

Untuk mendapatkan batu pengganti yang sesuai dengan karakteristik tuf penyusun Candi Plaosan perlu dilakukan penelitian pada sampel tuf yang ada pada lokasi-lokasi penambangan. Penelitian ini perlu dilakukan agar didapatkan tuf dengan kualitas yang baik sebagai pengganti batu candi.

DAFTAR PUSTAKA

- Kiniasih, S.D., Amalia F., Muthia, D.P. (2016). *Densitas dan Porositas Batuan*. Jurusan Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Mulyaningsih, S., Husadani, Y.T., Umboro, P.A., Sanyoto, S., dan Purnamawati, D.I. *Aktivitas Vulkanisme Eksplosif Penghasil Formasi Semilir Bagian Bawah di Daerah Jetis Imogiri*, Jurnal Teknologi Technoscintia Vol. 4 No. 1/VIII/2011
- Natasya, B., Wanny, R.W. (2013). *Kerusakan pada Relief Lalitavistara Candi Borobudur*. Program Studi Arkeologi, Fakultas Ilmu Pengetahuan Budaya, Universitas Indonesia.
- Purwaningsih, A.E. (2018). *Upaya Pelestarian dan Pemanfaatan Candi Plaosan*. Skripsi. Fakultas Ilmu Budaya, Universitas Diponegoro Semarang.
- Romanzah, A. (2015). *Identifikasi Batuan Penyusunan Pagar Candi Plaosan, Desa Bugisan, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten Menggunakan Metode Geolistik Konfigurasi Wenner*. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta
- Setyastuti, A. (2011). *Belajar dari Kearifan Lokal Nenek Moyang dalam Rekayasa Lahan dan Pembangunan Candi Prambanan* : Buletin Narasimha No. 4/IV/2011. Balai Pelestarian Peninggalan Purbakala Yogyakarta.
- Vundo, B.B. (2018). *Pelestarian Candi Sambisari Sebagai Warisan Bersejarah di Kalasan Yogyakarta*. Sekolah Tinggi Pariwisata Ambarukmo Yogyakarta.
- Williams, H., F.J. Turner, C.M. Gilbert. (1982). *Petrography: An Introduction to The Study of Rocks in Thin Section*. W. H. Freeman and Company. San Francisco.
- Yanuardi, M.H. (2009). *Penyebab Kerusakan dan Pelapukan Beserta Penanganannya: Studi Atas Faktor Biotik dan Abiotik di Candi Borobudur*. Jurnal Sejarah Lontar Vol. 6 No. 2. Universitas Negeri Jakarta.