



STABILITAS STRUKTUR TANAH CANDI SUKUH: SAAT INI DAN MENDATANG

SOIL STRUCTURE STABILITY OF THE SUKUH TEMPLE: PRESENT AND FUTURE

Hendy Soesilo
Balai Arkeologi D.I. Yogyakarta
hendy.soesilo@kemdikbud.go.id

ABSTRACT

The research of soil structure stability at Sukuh Temple was carried out in order to seek the answer to geotechnical and geological issues of the temple's environment. This National Heritage Site, which, was built around 14th century AD, has some environment disturbances caused by developing settlement area, tourism, and mining. Furthermore, the existence of mining activity at the site as shown by the tunnels and caves in the underground of the Temple's area, could make potential triggers for landslide in the future of the temple.

Considering the major influence of mining activity in the area of this site, the soil structure study is necessary for focusing to assess the threats caused by this mining activity in the Temple's area. Geotechnical survey and geological survey condition have been done to collect data for this study. The survey were also been done for identifying other aspect such as earthquake in surrounding area of the Temple.

Keyword : Sukuh Temple, Development Area, Slope Stability.

ABSTRAK

Penelitian stabilitas struktur tanah Candi Sukuh dilaksanakan untuk mengatasi permasalahan geoteknik dan geologi lingkungan candi. Pada saat ini kawasan Candi Sukuh yang merupakan situs lingkungan benda cagar budaya peninggalan abad ke 14, telah mengalami gangguan ekosistem karena adanya perkembangan wilayah pemukiman, wisata, serta berbagai kepentingan masyarakat lainnya seperti penambangan Gol C yang meninggalkan sisa galian berupa lorong dan gua di dalam tanah, yang dapat memicu pergerakan tanah berupa longsoran.

Oleh karena pertimbangan pelestarian maka dilaksanakan penelitian struktur tanah yang ada di kawasan Candi Sukuh, terutama mengenai kemungkinan akibat perubahan lingkungan dari kegiatan penambangan. Penelitian dilakukan dengan melaksanakan survey terhadap kondisi geoteknik, geologi, dan kemungkinan pengaruh lain misalnya gempa, terhadap kawasan candi.

Kata Kunci : Candi Sukuh, Perkembangan Wilayah, Kestabilan Lereng.

Tanggal masuk : 30 Juni 2015
Tanggal diterima : 04 Mei 2016

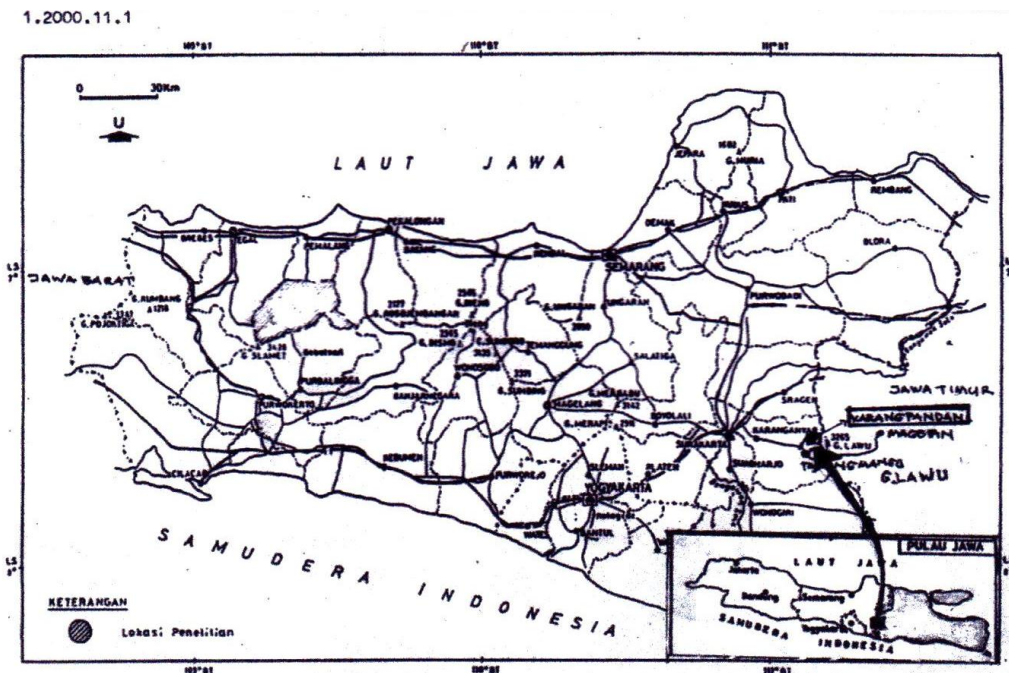


PENDAHULUAN

Candi Suku terletak di lereng barat Gunung Lawu, pada ketinggian 1.186 m dari permukaan air laut dan koordinat 7°37'38" LS – 111°07'52" BT. Secara administratif, candi ini terletak di dusun Suku desa Sumberejo, Kecamatan Ngargoyoso, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah dengan jarak sekitar 20 km dari kota Karanganyar dan 36 km dari Kota Solo. Candi ini merupakan cagar budaya peninggalan Kerajaan Majapahit yang dibangun pada abad 14 Masehi.

Belanda. Pemugaran pertama dilakukan oleh *Oudheidkundige Dienst in Nederlandsch-Indie* (Jawatan Purbakala Hindia-Belanda) pada tahun 1917. Pada akhir tahun 1970 candi Suku mengalami pemugaran kembali oleh Departemen Pendidikan dan Kebudayaan (Lap. BSKB).

Saat ini kawasan sekitar Candi Suku telah mengalami perubahan lingkungan akibat adanya pengembangan pembangunan sektor pariwisata dan penambangan bahan tambang golongan C yang mengakibatkan lahan hutan semakin sempit. Candi Suku yang berdiri di



Gambar 1. Peta lokasi Penelitian Candi Suku (Dok. BSKB Borobudur)

Candi Suku mempunyai arsitektur yang khas karena adanya penyimpangan bentuk bangunan Candi hindu pada umumnya. Situs yang dibangun pada akhir pengaruh Hindu di Jawa ini memiliki bentuk-bentuk teras berundak tinggi. Keunikan candi ini menyebabkan adanya upaya pelestarian Candi Suku telah dilakukan sejak zaman

atas tanah residual hasil pelapukan mempunyai komposisi kandungan humus dan pasir lempungan yang dominan, yang terletak di atas batuan dasar satuan breksi andesit piroksen yang mulai rapuh. Kondisi kandungan tanah pelapukan inilah yang saat ini dimanfaatkan masyarakat sebagai bahan tambang golongan C berupa pasir dan batu.

© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA
 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak meruikan kepentingan yang wajar Balai Arkeologi Yogyakarta.
 2. Dilarang memurnikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.
 3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Balai Arkeologi Yogyakarta.

2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.

3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.

Matrial ini merupakan bidang batas kontak dari sisa-sisa gunung api kuno (*volcanic neck*) di Jawa dan bersifat impermeable yang dapat merupakan sebagai bidang gelincir. (bidang lapisan satuan yang massif dan mampu melongsorkan batuan lainnya). Pada saat ini kerusakan lingkungan sekitar kawasan situs sudah pada tahapan kondisi rawan bencana, karena adanya penambangan galian Cyang dilakukan penduduk dengan berbagai alasan ekonomi.

Penambangan dilakukan dengan tambang terbuka (*open pit*) dari singkapan-singkapan yang tererosi yang kemudian dilanjutkan dengan aktivitas penambangan dengan mengejar jalur lewat batu-batu pasir (breksi andesit piroksin) di dalam tanah dengan menggali lorong-lorong (*tunnel*) dari goa-goa yang ada di sekitar kawasan situs. Kegiatan penambangan ini membahayakan dan akan mengakibatkan penurunan daya dukung tanah di Kawasan situs, yang bilamana tidak diantisipasi dini dapat menyebabkan terjadinya bencana berupa longsor dan gerakan tanah lainnya. Sehubungan adanya permasalahan tersebut, maka target pelaksanaan penelitian adalah untuk memperhitungkan kemungkinan penyebab paling utama dari faktor gerakan tanah, yaitu adanya gua-gua dan lorong bekas tambang galian pasir dan batu di kawasan situs.

Seluruh kegiatan yang dilakukan di sekitar Candi Suku haruslah memperhitungkan faktor internal dan eksternal dari lingkungan candi, antara lain adanya kemungkinan perubahan struktur tubuh tanah akibat perubahan iklim dan lingkungan serta adanya gangguan gempa vulkanik maupun tektonik. Kondisi tubuh tanah Candi

Suku pada saat ini mulai lapuk (termasuk batuan dasarnya). Maka perlu diantisipasi permasalahan daya dukung tanahnya untuk dapat diketahui kemungkinan-kemungkinan hal-hal yang akan timbul akibat adanya pengembangan aktifitas manusia. Perencanaan pemanfaatan yang tepat guna diharapkan dapat melestarikan benda cagar budaya yang ada.

Penelitian geoteknik: khususnya stabilitas lereng Candi Suku ini difokuskan pada penelitian terhadap sifat fisik dan daya dukung candi. Permasalahan daya dukung tanah kawasan Candi Suku yang diakibatkan oleh aktivitas penambangan golongan C, baik berupa tinggalan gua dan lorong bawah tanah yang ada di sekitar kawasan candi tersebut menjadi pertimbangan utama dalam rangka penelitian kerawanan stabilitas lereng kawasan Candi Suku yang secara tidak langsung akan mempengaruhi struktur tanah pendukung situs yang ada, serta membahas aspek-aspek analisis pengembangan yang tepat guna sesuai dengan kaidah penataan geologi lingkungan dan arkeologi kawasan candi.

Lokasi daerah penelitian terletak pada jalur jalan raya Solo - Tawangmangu lewat Karanganyar, Karangpandan. Sebagian besar daerah penelitian dapat dicapai oleh kendaraan roda empat dan sebagian dengan jalan kaki. Kondisi geografis bagian Utara merupakan lembah dan punggung bukit, bagian Selatan merupakan punggung bukit yang dapat dicapai dengan roda dua, sedang bagian Barat dan Timur merupakan lereng punggung bukit Batu Jamus yang hanya dapat dicapai dengan jalan kaki.



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Balai Arkeologi Yogyakarta.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.

3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.

Metode penelitian lapangan dilaksanakan dengan menggunakan metode pemetaan geologi permukaan (*surface geological mapping*), pengamatan batuan, gejala geologi, pengukuran kemiringan lapisan tanah dan lereng, serta pencatatan dan pengambilan contoh batuan. Untuk permasalahan khusus (*detail*), dilakukan metode pengambilan sampel secara sistematis (*systematic sampling method*), yaitu metode pengambilan contoh batuan secara sistematis dengan transe, serta dilakukan pemetaan stratigrafi dengan metode *Measuring Section* (MS).

DATA DAN ANALISIS

A. Gambaran Umum Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak pada lereng sebelah Barat Gunung Lawu, Kabupaten Karanganyar, Propinsi Jawa Tengah, pada perbatasan morfologi tubuh gunung dan kaki gunung. Secara umum di bagian Utara daerah penelitian merupakan perbukitan bentang alam yang bergelombang sedang dan bagian Selatan terkena pengaruh struktur yang sangat kuat dapat berupa perbukitan terjal dan dataran bergelombang, dengan sebagian berupa kerucut terjal yang merupakan terobosan batuan beku.

Bentang alam di wilayah penelitian yang bergelombang, terbentuk dari aliran breksi lava dan jatuhnya piroklastik, yang saat ini tingkat pelapukannya tinggi dengan tingkat erosi sedang. Tumbuhan yang ada berupa tanaman keras, perkebunan, palawija serta tanaman padi.

B. Dasar dan Teori Penelitian

Analisa stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastisitas, yang dimaksudkan adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam analisis stabilitas lereng dapat dibuat beberapa anggapan yaitu:

- Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
- Masa tanah yang longsor dianggap berupa benda yang masif.
- Tahanan geser dari masa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
- Faktor aman adalah memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor yang potensial dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui pada titik-titik tertentu pada bidang longsornya, bilamana faktor aman (*Save Factor*) $SF = 1$.
- Faktor aman (SF) didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan (Abramson dkk, 1996)

$$F = \tau/\tau_d$$

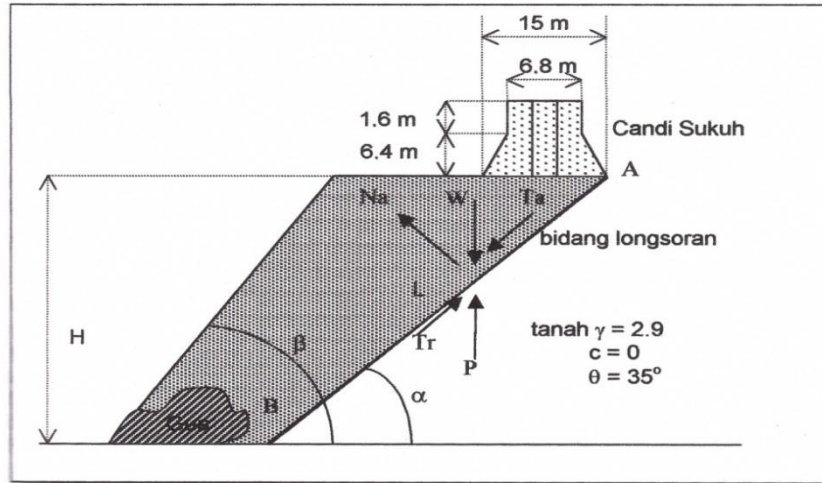
Dimana τ adalah tegangan geser yang dapat



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA
 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak meruikan kepentingan yang wajar Balai arkeologi Yogyakarta.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.
 3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.

digerakkan oleh tanah dan td adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya

berat tanah yang akan longsor.



Keterangan :

- β = sudut kelerengan
- α = sudut bidang geser/longsor
- γ andesit porous = 2,6
- Jika $W = \frac{1}{2} \gamma_{tanah} H^2 (\cos \alpha - \cos \beta) + \gamma_{batu} \left\{ (6,8 \cdot 1,6) + \left(\frac{15+6,8}{2} \cdot 6,4 \right) \right\}$,
 T_a = gaya geser
- T_r = gaya untuk melawan gaya geser
- H = tinggi lereng
- L = panjang bidang longlos \overline{AB}

maka :

$Gaya\ geser\ T_a = W \sin \alpha$

Tahanan geser tanah yang dikerahkan untuk seimbang

$$T_r = L (Cd + \sigma tg \emptyset)$$

$$= L \left(\frac{c}{F} + \frac{N_a}{L} + \frac{tg \emptyset}{F} \right)$$

$$= 1/F (Lc + N_a tg \emptyset)$$

Dimana :

- N_a = $W \cos \alpha$
- S = $\overline{AB} = H \sin \alpha$
- c = kohesi tanah
- \emptyset = sudut gesek dalam dari tanah



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Balai Arkeologi Yogyakarta.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.
3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.

(internal friction)
 Pada kondisi seimbang $T_a = T_r$
 $1/F (Lc + W \cos \theta) = W \sin \alpha$, maka :

$$F = \frac{W \cos \alpha \cdot \text{tg} \theta + Lc}{W \sin \alpha}$$

Pasir padat tidak berkoheisi ($c = 0$) dan punya nilai $\theta = 35^\circ$, maka persamaan menjadi sederhana :

$$F = \frac{\cos \alpha \cdot \text{tg} 35^\circ}{\sin \alpha} = \frac{\cos \alpha \cdot 0,7}{\sin \alpha}$$

Analisis kestabilan lereng seperti yang diuraikan tersebut di atas, belum memperhitungkan pengaruh gempa bumi. Apabila pengaruh gempa diperhitungkan maka metode keseimbangan batas dapat dimodifikasi dengan memasukkan pengaruh percepatan gempa untuk menghitung faktor aman.

Gaya gempa diasumsikan proporsional dengan berat tanah yang berpotensi longsor dikalikan dengan koefisien gempa (Abramson dkk, 1996)

Percepatan gempa desain, a_d dapat dinyatakan dengan rumus :

$$a_d = b_1 \{a_c \cdot z\}^{b_2}$$

Dimana b_1 dan b_2 adalah koefisien tanah/batuan. Lokasi Candi Sukuh parameter $b_1 = 0,87$ dan $b_2 = 1,05$ (data parameter BGV). Parameter a_c adalah percepatan gempa darat (gal). Parameter z adalah koefisien zona bernilai 1 untuk lokasi solo, Jogja dan sekitarnya, dengan mempergunakan periode gempa ulang 100 tahun, nilai $a_c = 160 \text{ gal} = 160 \text{ cm/detik}^2$.

Koefisien gempa dirumuskan sebagai berikut :

$$k = \frac{a_d}{g}$$

Dimana g adalah percepatan gravitasi = 980 cm/detik^2 .

Berdasarkan hal tersebut di atas nilai koefisien gempa, k untuk daerah Candi Sukuh adalah sebesar $k = 0,183$.

C. Keadaan Geologi Daerah Penelitian

1) Geomorfik Daerah Penelitian

Model yang tepat dan dapat dipergunakan untuk daerah penelitian yang merupakan daerah vulkanik adalah model menurut Van Zuidam (1983) yang membagi menjadi empat satuan geomorfik antara lain :

- Satuan geomorfik lereng kaki gunung api
- Satuan geomorfik perbukitan gawir sesar
- Satuan geomorfik depresi graben



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.
3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.

- Satuan geomorfik isolated hills

Berdasarkan model tersebut di atas, daerah penelitian adalah merupakan kombinasi satuan geomorfik lereng kaki gunung api dan geomorfik *isolated hills*.

Koefisien kelerengan :
 $K = \frac{\text{tinggi vertikal}}{\text{jarak horisontal}} \times 100\%$ (Otto,1991)

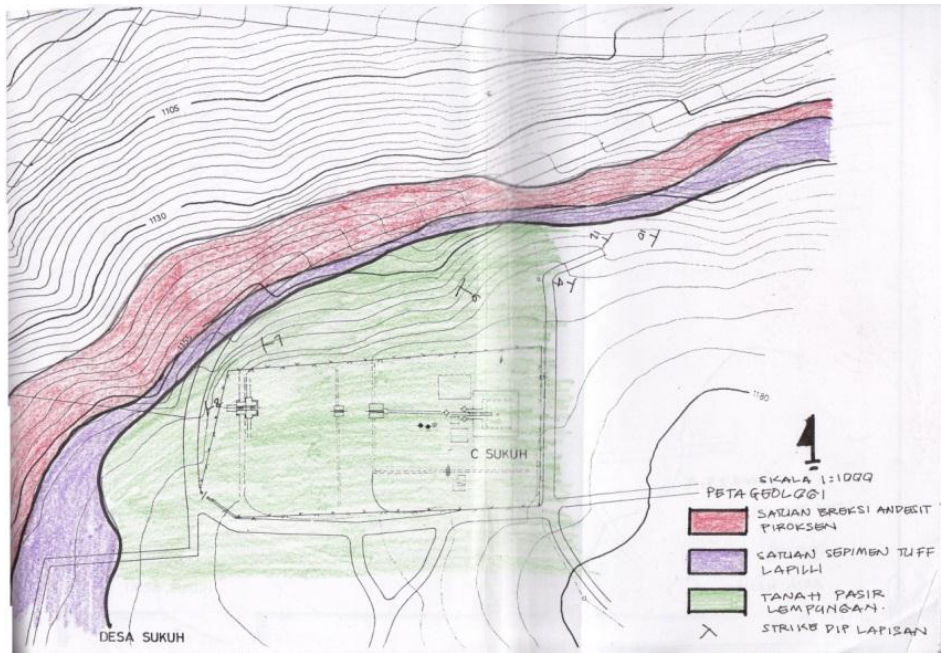
Rata-rata indeks kemiringan lereng daerah penelitian berkisar antara 10% sampai 30%.

Pada sisi Utara dan Barat dengan klasifikasi lereng terjal mencapai $K = 30\%$, sebelah Selatan Candi Suku $K = 10\%$, sedang sebelah Timur yang berbatasan dengan daerah Perhutani dengan kemiringan lereng mencapai $K = 12\%$.

2) Struktur Geologi Daerah Penelitian

Berdasarkan geologi regional Candi Suku terbentuk karena pengaruh pergerakan lempeng Asia, Pasifik, serta Australia. Pengaruh pergerakan ini yang paling kuat adalah di pulau Jawa, yang menimbulkan aktivitas gunung api serta gaya kompresi yang secara umum terjadi dari arah Selatan ke Utara. Proses ini mengakibatkan terjadinya struktur perlipatan (merupakan suatu perbukitan yang memanjang), sesar antara lain berupa graben yang terdapat di sisi Utara dan Barat Candi Suku ditunjukkan oleh adanya lereng yang terjal, kemungkinan sebagai gawir sesar (*faultscrap*).

Karakter daerah penelitian yang mempunyai



Gambar 2. Peta Geologi Kawasan Candi) Suku (dok. Penulis)



kombinasi geomorfik seperti tersebut di atas mempunyai potensi bencana yang cukup besar. Oleh karena itu, ancaman-ancaman terhadap candi Sukuh haruslah diantisipasi agar bencana, misalnya tanah longsor dapat dihindari.

3) Stratigrafi dan Litologi Daerah Penelitian

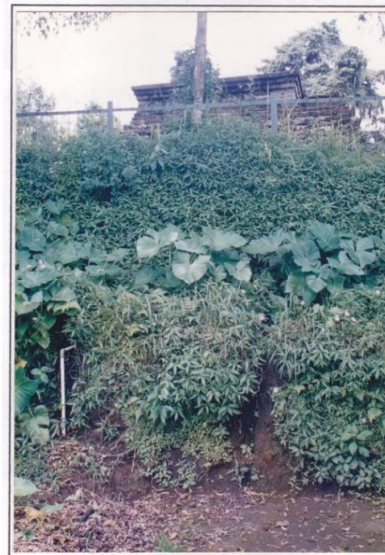
Dari hasil pengamatan lapangan dan pengukuran secara *measuring section* di lapangan, satuan litostratigrafi dari yang berumur tua hingga ke muda adalah sebagai berikut:

Pada masa Plistosen atas (700.000 tahun yang lalu) diendapkan satuan breksi andesit piroksen yang tebalnya mencapai 125 meter yang merupakan tubuh batuan dasar dengan fragmen/ bongkah batuan dasar (*basement*) massif yang dapat bersifat impermeabel, namun saat ini batuan tersebut bagian atas/permukaannya telah mengalami pelapukan.

Batuan breksi andesit piroksen bersifat masif, sortasi jelek, kemas terbuka dengan terbentuknya retakan-retakan yang ada di dalam gua, bentuk fragmen sub angular, ukuran fragmen relatif seragam, diameter mencapai 25 cm, berat jenisnya mencapai 2,6, densitas 2,2 gr/cm³, porositasnya mencapai 17,6%, dengan kuat tekan mencapai 500 kg/cm², komposisi andesit piroksen menunjukkan tekstur holokristalin porfiritik, komposisi mineral plagioklas (80%), piroksen (10%), mineral opak (3%), yang tertanam pada massa dasar pasir vulkanik dan

berlapis bersama lapili tuff, dimana singkapan batu pasir mempunyai sifat fisik berat jenis 2,51, densitasnya mencapai 2 gr/cm³, porositasnya mencapai 19,8%, dan kuat tekan mencapai 112,4 kg/cm², sedangkan komposisi mineral fragmen breksi tuff dan lapili menunjukkan jenis sedimen piroklastik dengan komposisi mineral gelas mencapai 80%, mineral lempung 10%, oksida besi 3%, homblende 2%, piroksen 3%, dan plagiokias 1%, mineral opak 1% dengan nama batuan *vitric tuff*. Pada saat ini telah digali oleh penduduk setempat dengan membuat "caving" serta lorong "tunnel" di bawah permukaan tanah candi menjadi gua-gua.

Terdapat perlapisan pada tuff dengan gelas vulkanik memperlihatkan ciri dari *welded tuff* yang terjadi karena proses



Gambar 3. Kenampakan perbedaan vegetasi yang tumbuh dan mencirikan perbedaan litologi yang ada pada sisi lereng utara (dok. Penulis).



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Balai Arkeologi Yogyakarta.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.

3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.

aliran piroklastik yang menumpuk secara cepat dengan tingkat suhu yang tak jauh berbeda / dan mendingin secara bersamaan dengan aliran lava hasil kegiatan gunung api yang bersifat effusif.

Di atas batuan tersebut pada masa resen (hingga saat ini) diendapkan material rombakan hasil vulkanisme yang terdiri dari batuan tuff lapili dan berlapis berwarna abu-abu kecoklatan, lapuk berwarna coklat, ketebalan mencapai 75 cm. Kemudian di atas batuan tuff lapili terdapat lapisan tanah hasil pelapukan berupa humus, pasir lempungan yang berwarna kekuningan dan relatif abu-abu, ketebalan mencapai 2 meter. Spesifikasi teknis dari kondisi tanah yang ada di sekitar Candi Suku, densitas 2,5 - 2,9 gr/cm³, BJ 2,08, kadar air 92,3%, porositas mencapai 7,4% dengan pH = 5.

bufferzone). Dengan kemiringan lereng yang terjal, mencapai 30% serta kondisi tanah pasir lempungan yang kohesinya tidak terlalu lekat serta merupakan komponen terurai (*unconsolidated detritus*), material lepas yang bersifat permeabel (1 cm/dt) yang mudah meluluskan air, maka daerah ini mudah sekali untuk terjadi longsoran, sebab terletak di atas batuan dasar andesit piroksen yang lebih impermeabel dan dapat sebagai pemicu bidang gelincir.

Pada sisi Utara terdapat gua-gua hasil tambang oleh penduduk untuk diambil sebagai batu lepas/tras dan pasir dari tuff lapili yang telah lapuk, penambangan ini untuk sementara telah dihentikan, karena kondisi tingkat kerawanan struktur tubuh tanah Candi Suku.

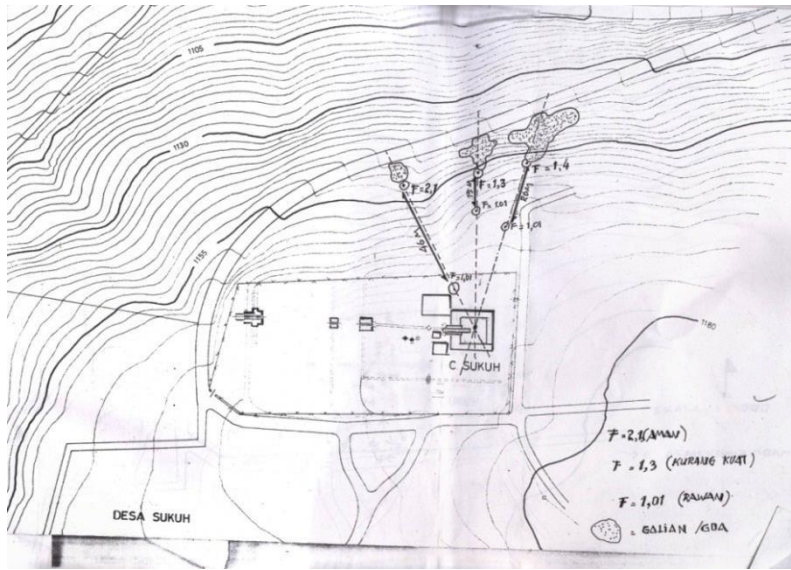
D. Analisis Geoteknis Daerah Penelitian

Pada daerah penelitian sisi Utara (zona penyangga/

Tabel 1. Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian

Umur	Tebal	Litologi	Struktur	Keterangan
				Tanah pasir lempungan
Resen	2 meter		tidak selaras	abu-abu dan kekuningan
Plistosen atas	125 meter		tidak selaras	tuff lapili
				breksi andesit piroksen

Catatan : tanpa skala

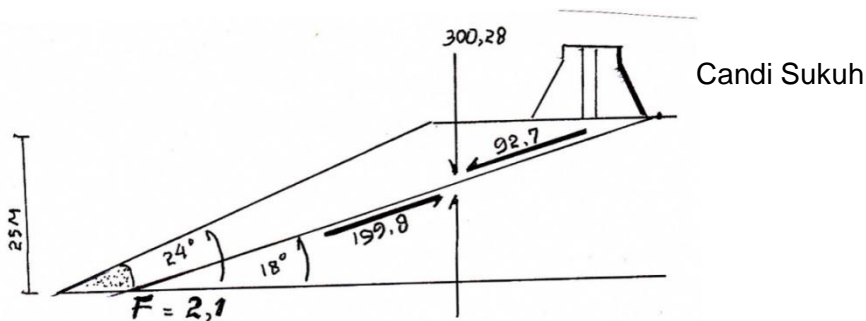


Gambar 4. Peta Keletakan Lokasi Gua pada Kawasan Candi Sukuh (dok. Penulis)

Dengan mempergunakan perhitungan secara grafis dan data lokasi dapat dihitung angka aman dari masing-masing gua adalah sebagai berikut :

1). Geoteknik Gua I

- Analisis Perhitungan



$W = \frac{1}{2} \cdot 2,9 \cdot 25^2 (0,806 - 0,766) + 209,66$	$= 300,28 \text{ ton}$
Gaya geser	$= 199,899 \text{ ton}$
gaya penahan	$= 92,788 \text{ ton}$
sudut lereng (β)	$= 24^\circ$
sudut bidang geser (α)	$= 18^\circ$

$$F = \frac{\cos 18^\circ \text{tg} 35^\circ}{\sin 18^\circ} = \frac{0,9510 \cdot 0,7}{0,3090} = 2,1 \text{ (aman)}$$

Dengan memperhitungkan kemungkinan pengaruh gempa, maka analisis perhitungan adalah sebagai berikut :



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Balai Arkeologi Yogyakarta.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.

3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.

$$\begin{aligned} F &= \frac{(\cos 18^{\circ} - k) \times \operatorname{tg} 35^{\circ}}{(\sin 18^{\circ} + k)} \\ &= \frac{(0,951 - 0,183) \times 0,7}{(0,309 + 0,183)} \\ &= \frac{0,5379}{0,4920} \\ &= 1,09 \text{ (aman limit)} \end{aligned}$$

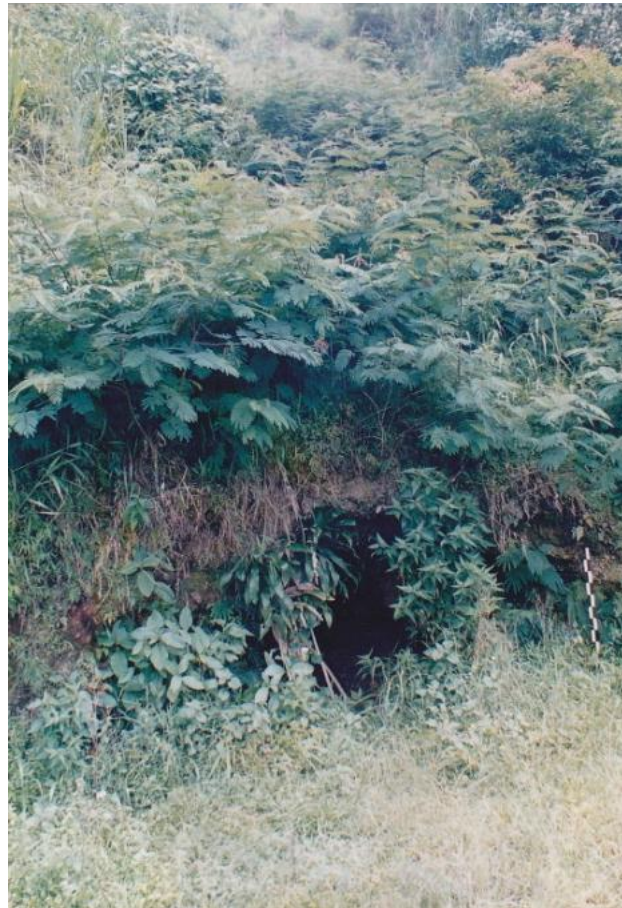
Gaya geser = 147,74 ton
Gaya penahan = 161,43 ton

- Analisis Pengurangan

Kedalaman gua nomor I adalah lebih kurang 8 meter, tinggi lebih kurang 2 meter, lebar lebih kurang 4 meter, bentuk oval terpancung.

Prediksi volume = $\pm (8 \times 4 \times 2) \text{ m}^3 = 32 \text{ m}^3$

Koefisien jumlah volume penyusutan untuk pengurangan sirtu sebanyak 1,3. Untuk keamanan diperlukan bahan urugan tanah, pasir dan batu sebanyak: $1,3 \times 32 \text{ m}^3 = 42 \text{ m}^3$

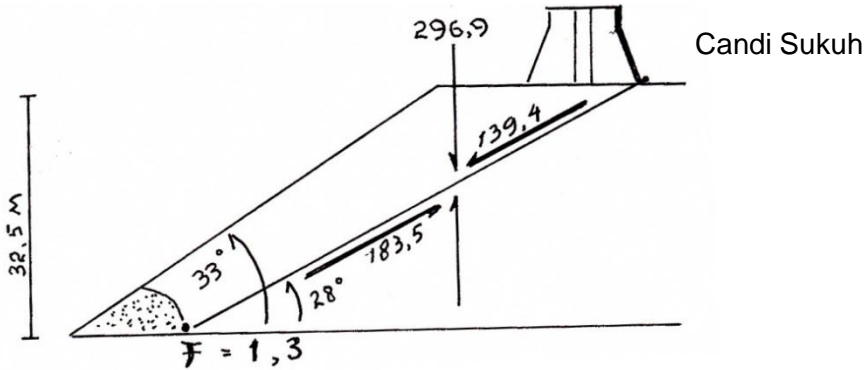


Gambar 5. Lorong pintu Gua I yang sempit, terletak di bawah lereng sisi Utara dan mempunyai SF 2,1 (aman) (Dok. Penulis)



2). Geoteknik Gua II

- Analisis Perhitungan



$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{2} \cdot 2,9 \cdot 32,52 (0,707 - 0,643) + 209,66 = 296,9 \text{ ton} \\
 \text{ gaya geser} &= 139,4 \text{ ton} \\
 \text{ gaya penahan} &= 183,5 \text{ ton} \\
 \text{ sudut lereng} &= 33^\circ \\
 \text{ sudut bidang geser} &= 28^\circ
 \end{aligned}$$

$$F = \frac{\cos 28^\circ \text{tg} 35^\circ}{\sin 28^\circ} = 1,3 \text{ (aman)}$$

Bilamana pengaruh gempa bumi diperhitungkan :

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{(\cos 28^\circ - k) \times \text{tg} 35^\circ}{(\sin 28^\circ + k)} \\
 &= \frac{(0,883 - 0,183) \times 0,7}{(0,469 + 0,183)} \\
 &= \frac{0,49}{0,652} \\
 &= 0,7 \text{ (resiko longsor)}
 \end{aligned}$$

Gaya geser = 193,58 ton

Gaya penahan = 145,48 ton

- Analisis Pengurangan

Kedalaman gua nomor II adalah lebih kurang 15 meter, tinggi lebih kurang 2,5 meter, lebar lebih kurang 15 meter, bentuk gua bercabang.

$$\text{Prediksi volume} = + (15 \times 15 \times 2,5 \times 0,4) \text{ m}^3 = 250 \text{ m}^3$$

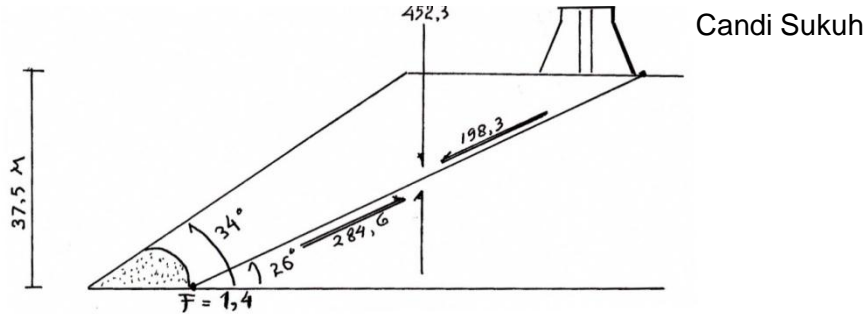
Untuk kestabilan tanah, maka diperlukan bahan urugan tanah, pasir dan batu sebanyak 250 m³.

© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA
 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak meruikan kepentingan yang wajar Balai arkeologi Yogyakarta.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.
 3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.



3). Geoteknik Gua III

- Analisis Perhitungan



$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{2} \cdot 2,9 \cdot 37,52 (0,788 - 0,669) + 209,66 = 452,3 \text{ ton} \\
 \text{ gaya geser} &= 198,3 \text{ ton} \\
 \text{ gaya penahan} &= 284,6 \text{ ton} \\
 \text{ sudut lereng} &= 34^{\circ} \\
 \text{ sudut bidang geser} &= 26^{\circ}
 \end{aligned}$$

$$F = \frac{\cos 26^{\circ} \text{tg} 35^{\circ}}{\sin 26^{\circ}} = 1,4 \text{ (aman)}$$

Dengan memperhitungkan pengaruh gempa maka analisis menjadi :

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{(\cos 26^{\circ} - k) \times \text{tg} 35^{\circ}}{(\sin 26^{\circ} + k)} \\
 &= \frac{(0,899 - 0,183) \times 0,7}{(0,438 + 0,183)} \\
 &= \frac{0,501}{0,621} \\
 &= 0,8 \text{ (resiko longsor)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ Gaya geser} &= 280,88 \text{ ton} \\
 \text{ Gaya penahan} &= 226,60 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

- Analisis pengurangan:

Kedalaman gua nomor III adalah lebih kurang 18 meter, tinggi lebih kurang 3 meter, lebar lebih kurang 17 meter, bentuk oval terpancung.

$$\text{Prediksi volume} = \pm(18 \times 17 \times 3 \times 0,4) \text{ m}^3 = 368 \text{ m}^3$$

Diperlukan bahan urugan tanah, pasir dan batu sebanyak 368 m³

Dari ketiga gua tersebut analisis total tanah pasir batu yang diperlukan untuk pengurangan 3 gua adalah sebanyak 660 m³ atau sejumlah 165 truk.

Permasalahan lereng Candi Sukuh yang terdiri dari batu besar berupa breksi andesit piroksen serta tuff lapili yang sudah lapuk, kerakal dan pasiran yang menguatkan struktur tubuh tanah, mempunyai permeabilitas tinggi

© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merujuk kepentingan yang wajar Balai arkeologi Yogyakarta.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.
3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.



(1 cm/detik) dan sedikit lempung, struktur yang demikian merupakan tanah dengan daya dukung kecil.

Melihat hasil perhitungan analisis kestabilan lereng dan

gua yang ada di Candi Sukuh, baik yang dipengaruhi gempa maupun tidak, maka dapat diklasifikasikan interpretasi sebagai berikut:

TABEL 2. STABILITAS TANAH & GUA DI SEKITAR CANDI SUKUH

GUA	Sudut bidang geser (α)	SF		Interpretasi
		TG	DG	
I	18°	2,1	1,09	Aman, limit batas bila ada gempa
II	28°	1,3	0,7	Longsor bila gempa terjadi
III	26°	1,4	0,8	Dapat longsor bila terjadi gempa

Keterangan:

TG = perhitungan tanpa gempa

DG = perhitungan dengan gempa



Gambar 6. Kenampakan lereng Utara yang mengalami longsor kecil, karena kondisi tanah yang labil (Dok. Penulis)



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
2. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.
3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.

Hal yang mengkhawatirkan yaitu bila gua tidak diurug, maka air yang menetes dari langit-langit gua pasti membawa partikel tanah dari atap gua, hal ini akan mengurangi kekuatan struktur tubuh tanah.

Pada permukaan gua yang mempunyai lereng terjal, saat ini merupakan lahan pertanian, dimana tanah tersebut diolah dan dapat membuat tanah semakin gembur, sehingga menyebabkan tingkat erosi bertambah, pada kondisi lereng yang terjal akan semakin rawan terhadap kelongsoran. Gua yang ada pada saat ini, dari segi geoarkeologis dan geoteknis tidak memungkinkan untuk dibiarkan seperti apa adanya dan harus segera dilakukan penyelamatan dengan penimbunan.

E. Geologi Tata Lingkungan

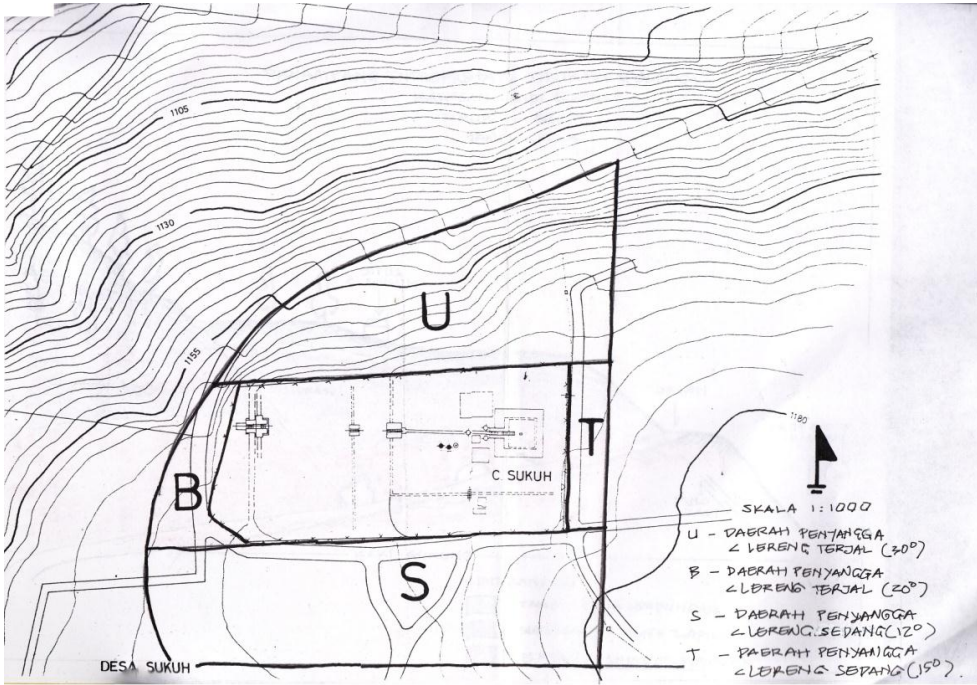
Dalam geologi tata lingkungan bahwa sifat fisik merupakan suatu sebab yang akan

memberikan suatu akibat dalam bentuk usaha pencegahan dan penanggulangan supaya dapat mencapai target untuk mendapatkan dampak positif semaksimal mungkin, serta dampak negatif seminimal mungkin sehingga kelangsungan kehidupan kelestarian alam dapat terjaga dan berjalan selaras.

Gunung api merupakan bagian suatu bahaya lingkungan maupun sumber alam yang tidak terpisahkan dari kehidupan manusia dan merupakan bagian dari suatu ekosistem. Dibawah ini akan dibahas tentang sumber alam di daerah penelitian seperti pertanian dan kehutanan bahan galian (C), air tanah dan air permukaan serta obyek pariwisata dari sudut pandang geologi.

1). Pertanian dan Kehutanan.

Pada daerah penelitian, lahan pertanian hanya dianjurkan pada sudut kelerengan di bawah



Gambar 7. Peta Geologi Tata Lingkungan Kawasan Candi Sukuh (dok. Penulis)



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merujuk kepentingan yang wajar Balai arkeologi Yogyakarta.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.

3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.

5% dan biasanya didekat pemukiman penduduk, sedang di sekitar Candi Suku yang mempunyai kelerengan dengan klasifikasi terjal (30%) tidak dianjurkan untuk lahan pertanian, dikarenakan kondisi tubuh tanah mudah meluluskan air (*permeabel*), sehingga bila terletak di atas satuan tubuh tanah yang impermeabel (breksi andesit piroksen) dapat menyebabkan terjadinya longsoran.

Tanah hasil vulkanisme, sangat baik dan subur untuk tumbuhan bila unsur-unsur yang diperlukan lengkap, baik bersifat asam maupun basa. Biasanya tanah ini dihasilkan oleh batuan dasar yang bersifat *intermediate* dan akan menghasilkan pH netral.

Unsur lain yang tak kalah penting adalah air, daerah penelitian mempunyai curah hujan yang tinggi, rata-rata curah hujan pada daerah gunung api di Indonesia antara 3.000 mm sampai 6.000 mm per tahun.

Daerah perbukitan di sebelah Timur Candi Suku, mempunyai kondisi tanah dengan kemungkinan resiko erosi tinggi, namun demikian saat ini kawasan tersebut dalam penguasaan Departemen Kehutanan, akan lebih baik kondisinya tetap dipertahankan sebagai kawasan hutan lindung. Daerah kehutanan telah melaksanakan konservasi lahan secara baik berdasarkan kondisi tanah dan kepentingannya.

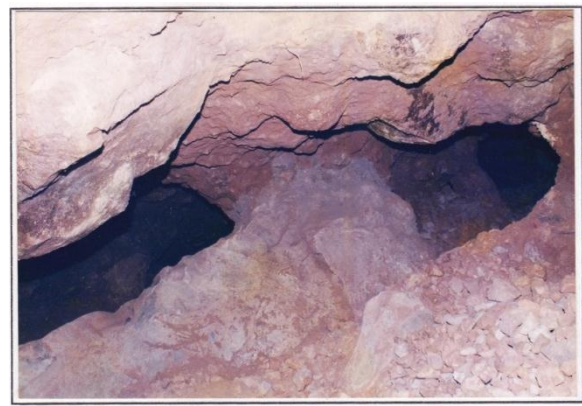
Kepentingan lahan hutan, adalah untuk daerah resapan air dan daerah penyangga (*buffer zone*) bagi daerah sekitar Candi Suku yang terletak pada lereng di bawahnya.

2). Lingkungan Ilmiah

Kawasan Candi Suku adalah merupakan situs benda cagar budaya yang penting untuk pengembangan studi sejarah kebudayaan manusia dan pengetahuan yang lainnya. Daerah ini dengan kondisi lingkungan serta ekosistem yang ada haruslah tetap dipertahankan seperti aslinya sehingga warisan budaya dan lingkungan tidak berubah karena kondisi jaman.

3). Bahan Galian (C)

Bahan galian yang ditambang berupa pasir vulkanik sebagai matrik dari breksi. Bongkah batuan beku ditemukan dalam jumlah yang banyak terutama sepanjang sungai dan banyak tersingkap di pinggir jalan. Bahan galian pasir vulkanik, berkaitan erat dengan pengendapan tuff, dapat dipergunakan sebagai tras untuk



Gambar 8. Lorong Gua III berupa tunnel, yang digali mengikuti arah retakan dan bahan yang ditambang baik berupa pasir hasil pelapukan Tuff lapili dan batu hasil rombakan breksi andesit piroksen. (Dok. Penulis)

pencampur semen, namun kondisi mutunya rendah.



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;
 2. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 3. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagai artikel atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.

4). Air tanah dan Air Permukaan

Air permukaan secara umum jernih, tak berwarna, tak berbau dan rasanya tawar dengan debit pengaliran yang besar, sehingga dari segi kualitas dan kuantitasnya baik.

Kondisi air limpasan permukaan dengan mempertimbangkan kondisi struktur tubuh tanah serta kelerengan yang ada jarang terjadi limpasan yang deras, secara umum di sekitar lingkungan dan halaman Candi Suku, arah limpasan dominan menuju ke arah Utara dan Barat. Oleh karenanya perlu untuk dibuat sistem peresapan dan sistem drainase terbuka dan tertutup yang baik di tempat yang diperkirakan tersebut di atas.

Air bawah tanah di sekitar Candi Suku dapat terjadi karena adanya zone retakan pada tubuh batuan breksi andesit piroksen yang terakumulasi dan terturat sebagai air tanah yang terkadang bersifat asam.

5). Obyek Pariwisata dan Budaya

Daerah penelitian yang mempunyai ketinggian mencapai 1.000 meter di atas permukaan air laut, dengan udara yang sejuk serta terletak pada celah graben suatu pegunungan, bagus untuk pengembangan daerah peristirahatan yang dapat dikombinasi sebagai lingkungan budaya.

6). Bencana Alam

Untuk daerah penelitian, bencana alam yang biasa terjadi dan mempunyai potensi tinggi berupa longsoran adalah karena kondisi tanah yang tidak stabil dan merupakan zona lemah yang



Gambar 9. Kegiatan ritual sebagai sumber budaya, pariwisata dan ilmu pengetahuan (Dok. Penulis)

mempunyai lereng yang terjal. Hal ini dapat terjadi bilamana kondisi lingkungan berubah, karena kerusakan lahan akibat pemanfaatan yang tidak tepat seperti adanya penambangan golongan C dan kemungkinan potensi terjadinya gerakan tanah akibat gempa vulkanik maupun tektonik.

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Kawasan Candi Suku terdiri dari batuan dasar breksi andesit piroksen yang berumur Plestosen Atas (700.000 tahun yang lalu). Lapisan tersebut mempunyai ketebalan lebih kurang 125 meter dengan kondisi yang sudah rapuh dan merupakan penyangga tubuh tanah yang terdiri dari pasir lempungan, berwarna abu-abu dan kekuningan. Mempunyai permeabilitas tinggi (1 cm/detik) yang cepat meresapkan air, serta rawan longsor.
2. Berdasarkan kondisi kelerengan serta struktur tubuh tanah pendukung



Candi Suku, dapat diperhitungkan kestabilan tanah dan batu pada gua I sebesar $SF = 2,1$ (aman), dengan perhitungan pengaruh gempa SF menjadi 1,09 (klasifikasi aman, limit longsor bila terjadi gempa). Gua II $SF = 1,3$ (aman), dengan perhitungan pengaruh gempa SF menjadi 0,7 (klasifikasi longsor bila terjadi gempa). Gua III $SF = 1,4$ (aman), dengan perhitungan pengaruh gempa SF menjadi 0,8 (klasifikasi longsor bila terjadi gempa). Namun demikian kemungkinan pengaruh adanya rembesan air yang melalui rekahan batu akan membawa material tanah serta mengikisnya, dapat memicu terjadinya longoran.

3. Melihat kondisi geografis dan geologis kawasan Candi Suku hanya dapat dikembangkan sebagai daerah tujuan wisata berwawasan kebudayaan, namun tidak untuk pengembangan daerah penambangan maupun lahan pertanian.

B. Saran

Berdasarkan keseimbangan akan ekosistem yang ada, hendaknya pemeliharaan dan pengelolaan lahan kawasan dilakukan secara menyeluruh dan berkesinambungan, sehingga kebijakan pencegahan dapat dilakukan sedini mungkin dan tidak dianjurkan untuk meneruskan penambangan golongan C. Untuk pengurangan dan penutupan gua, apabila

diperlukan dapat dilakukan dengan metode "close and fill".

Perlu dilakukan pembagian daerah penyangga (*buffer zone*), pada sisi Utara hanya dimanfaatkan untuk lahan tanam yang tidak memerlukan pengolahan tanah, dalam tata tanam hendaknya diperoleh perbandingan yang seimbang antara pemukiman, hutan dan tanah pertanian/perkebunan, misalnya dapat ditanami tanaman keras berupa buah-buahan, tanaman pelindung, dan lain sebagainya. Kondisi lereng sebelah Barat hendaknya tetap dipelihara seperti kondisi saat ini, sedang bagian Selatan tidak menambah bangunan permanen yang dapat menyebabkan daerah resapan air berkurang, sebelah Timur yang merupakan milik instansi Kehutanan bagus untuk potensi kawasan ekowisata (*camping ground*).

Sistem drainase dibuat untuk peresapan air dan pengaliran dengan baik, sehingga air permukaan dapat terkontrol, khususnya untuk sisi Utara dan Barat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Kabul Basah Suryolelono, Dip H.E, D.E.A Guru Besar Fakultas Teknik Sipil UGM sebagai Konsultan Tim Geoteknis Penanganan Kestabilan Lereng Candi Suku – Jateng.



DAFTAR PUSTAKA

- Abramson L.W, Lee, T.S, Sharma S dan Boyce, G.M.. 1996, *Slope Stability and Stabilisation Methods* - John Wiley and sons. New York.
- Amat Suwito. 1989. "Geologi Daerah Karangpandan, Kabupaten Karanganyar, Jateng", Skripsi FT. Geologi UGM, Yogyakarta.
- Cliff Ollier, Ollier & Boyd Edinburg. 1991. *Weathering* - University of Papua and New Guinea.
- Ersin Seyhan. 1977, "Dasar-Dasar Hidrologi", Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hary Christadi Hardiyatmo. 1994. *Mekanik Tanah 2* - Gramedia Pustaka Utama - Jakarta.
- Hendy Soesilo dkk, (2000), "Studi Lingkungan Situs Tentang Rembesan Tubuh Tanah di Bawah Bangunan Candi Borobudur", Laporan Kerja Balai Studi dan Konservasi Borobudur.
- Kabul Basah Suryolelono, Nafiri. 1999. *Geosintetik – teknik* - Yogyakarta
- Otto Soemarwoto. 1991. "Analisis Dampak Lingkungan", Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Balai Arkeologi Yogyakarta.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.

3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.



© Hak cipta milik BALAI ARKEOLOGI YOGYAKARTA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Balai Arkeologi Yogyakarta.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Balai Arkeologi Yogyakarta.
3. Isi artikel menjadi tanggung jawab penulis.