

**ANALISIS KETAHANAN TANAH DASAR FONDASI CANDI
PRAMBANAN TERHADAP ANCAMAN LIKUIFAKSI BERDASAR
SIMPLIFIED PROCEDURE**

Tri Wahyu Kuningsih¹⁾, Ahmad Rifa'i²⁾ dan Kabul Basah Suryolelono²⁾

Dosen Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta, Jl. Sunter Permai Raya,
Sunter Podomoro Jakarta Utara¹⁾

Dosen Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Jl. Grafika no. 2 Kampus
UGM, Yogyakarta²⁾

Email: triwahyukuningsih@yahoo.co.id¹⁾

ABSTRACT

Prambanan temple complex is geologically located above an active fault that stretches from the area of Prambanan, Piyungan, Pleret, Imogiri, and Pundong. This fault is often called the Opak fault. The re-active fault triggered by a magnitude 6.3 earthquake activity that rocked Yogyakarta on May 27, 2006. An earthquake is a natural disaster that can destroy soil structure in its path. One of damage to soil structure caused by the earthquake is liquefaction. This study aims to determine whether the condition of the subgrade foundation Prambanan secure against the threat of liquefaction.

This study uses a simplified procedure for estimating the liquefaction potential. Simplified procedure uses a comparison of two variables include seismic force in the soil layer called the cyclic stress ratio and capacity to withstand soil liquefaction is cyclic resistance ratio. The data used are N-SPT is in the court of Prambanan. Data recorded earthquakes that have occurred in Yogyakarta used is a version of USGS years 1957-2016.

The results of this study indicate that the value of Factor of Safety (FS) > 1.2 with the existing condition of ground water at a depth of -12.0 meters. It can be concluded that security conditions subgrade foundation Prambanan safe against liquefaction potential.

Keywords: Prambanan, liquefaction, Simplified Procedure.

ABSTRAK

Kompleks Candi Prambanan secara geologis berada di atas sesar aktif yang membentang dari wilayah Prambanan, Piyungan, Pleret, Imogiri, dan Pundong. Sesar ini sering disebut dengan patahan Opak. Sesar tersebut kembali aktif karena dipicu oleh aktivitas gempa bumi 6,3 SR yang mengguncang Yogyakarta pada 27 Mei 2006. Gempa bumi merupakan bencana alam yang dapat merusak struktur tanah yang dilaluinya. Salah satu kerusakan pada struktur tanah yang ditimbulkan oleh gempa bumi adalah likuifaksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah kondisi tanah dasar fondasi Candi Prambanan aman terhadap ancaman likuifaksi.

Penelitian ini menggunakan simplified procedure untuk mengestimasi potensi likuifaksi. Simplified procedure menggunakan perbandingan dua variabel antara gaya seismik pada lapisan tanah yang disebut dengan cyclic stress ratio dan kapasitas tanah dalam menahan likuifaksi yaitu cyclic resistance ratio. Data yang digunakan adalah N-SPT yaitu di pelataran Candi Prambanan. Data gempa tercatat yang pernah terjadi di Yogyakarta digunakan adalah versi USGS tahun 1957 – 2016.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai Factor of Safety (FS) > 1,2 dengan kondisi eksisting muka air tanah pada kedalaman -12,0 meter. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kondisi ketahanan tanah dasar fondasi Candi Prambanan aman terhadap potensi likuifaksi.

Kata Kunci : Candi Prambanan, Likuifaksi, Simplified Procedure.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kompleks Candi Prambanan telah ditetapkan sebagai salah satu warisan budaya dunia (*World Heritage*) oleh UNESCO pada tahun 1991, bernama *Prambanan Temple Compound*. Penetapan candi sebagai warisan budaya dunia berimplikasi pada tanggung jawab dan kewajiban bangsa Indonesia dalam upaya melakukan perlindungan dan pemeliharaan bangunan tersebut sesuai dengan konvensi yang telah ditetapkan oleh UNESCO. Konvensi tersebut antara lain menjaga pelestarian bangunan dari bahaya perang, kerusakan fisik karena termakan usia, dan bencana alam. [1].

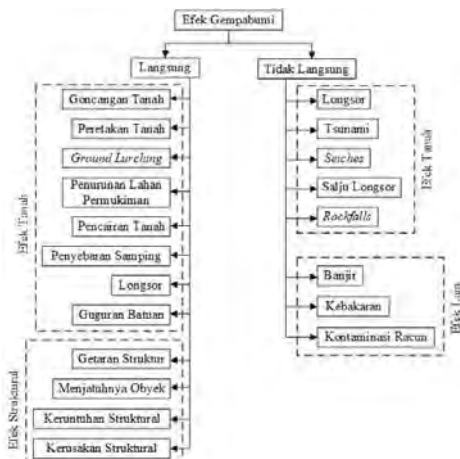
Salah satu potensi *geohazard* yang ada di wilayah Candi Prambanan adalah gempa bumi. Kompleks Candi Prambanan secara geologis berada di atas sesar aktif yang membentang dari wilayah Prambanan, Piyungan, Pleret, Imogiri, dan Pundong. Sesar ini sering disebut dengan patahan Opak. Sesar tersebut kembali aktif karena dipicu oleh aktivitas gempa bumi 6,3 SR yang mengguncang Yogyakarta pada 27 Mei 2006. [1].

Gempa bumi merupakan bencana alam yang dapat merusak struktur tanah yang dilaluinya. Salah satu kerusakan pada struktur tanah yang ditimbulkan oleh gempa adalah likuifaksi. Peristiwa likuifaksi dapat menimbulkan amblasan, keruntuhan pada bangunan, retakan tanah, kelongsoran dan lain – lain. Untuk mengetahui kondisi tanah dasar fondasi Candi Prambanan perlu dilakukan uji potensi likuifaksi. Penelitian ini menggunakan *Simplified Procedure* untuk mengestimasi potensi likuifaksi.

Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba – tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng – lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. [2].

Elnashai dan Sarno [3] memberikan penjelasan bahwa secara umum efek gempa bumi terdiri atas efek langsung dan tak langsung. Efek tersebut seperti dalam Gambar.1. Sejauh ini, guncangan tanah merupakan bahaya yang paling penting. Kerusakan struktural merupakan sebuah ciri utama dari sistem tahan beban secara vertikal dan lateral yang dapat bervariasi antara kerusakan ringan dan keruntuhan. Kerusakan non struktural terdiri atas kegagalan arsitektural, sistem mekanik dan kelistrikan, serta komponen dalam sebuah bangunan. Kerusakan non struktural dapat mengarah pada kehilangan keuangan yang besar, maupun sikap risiko penting untuk hidup.



Gambar 1. Efek gempa bumi secara langsung dan tidak langsung. [3]

Percepatan Tanah

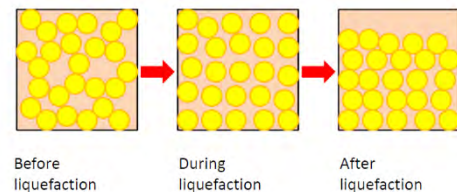
Setiap gempa yang terjadi akan menimbulkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat (*site*). Nilai percepatan tanah yang akan diperhitungkan pada perencanaan bangunan adalah nilai percepatan tanah maksimum. Penentuan pada perencanaan tanah maksimum di suatu tempat dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan alat pengukur yaitu accelerograf dan dengan cara perhitungan pendekatan secara empiris. Metode empiris merupakan cara alternatif jika jaringan accelerograf kurang mendukung. Pendekatan metode empiris, tidak selalu benar namun cukup memberikan gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum. [4].

Oleh sebab itu, untuk keperluan struktur bangunan tahan gempa bumi, nilai percepatan tanah maksimum dapat dihitung dengan pendekatan dari data sejarah gempa bumi. Pendekatan ini akan memberikan sebuah persamaan yang memungkinkan dapat dipakai untuk menghitung nilai percepatan tanah maksimum dari persamaan tersebut.

Likuifaksi

Menurut Tohari [5], likuifaksi adalah fenomena hilangnya kekuatan lapisan tanah akibat getaran gempa. Lapisan pasir berubah mencair sehingga tidak mampu lagi menopang beban bangunan di dalam

atau di atasnya. Likuifaksi terjadi di suatu wilayah, bila masing-masing lapisan tanah berupa pasir atau lanau yang bersifat lepas (tidak padat), jenuh air, dan terkena beban dinamis berupa gempa dengan magnitude > 5 SR dengan percepatan lebih dari $0,1 g$. Mekanisme terjadinya likuifaksi dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme Terjadinya Likuifaksi. [6]

Parameter Likuifaksi

Day [7] menjelaskan bahwa parameter pemicu terjadinya likuifaksi, antara lain sebagai berikut ini.

- Intensitas dan durasi gempa.
- Rasio amplitude gerakan vertikal dan horizontal pada permukaan tanah.
- Jenis tanah.
- Kerapatan relatif tanah.
- Kondisi penempatan dan lingkungan.
- Ukuran butiran tanah.
- Kondisi drainasi.
- Tekanan kekang.
- Bentuk partikel tanah.
- Umur tanah dan sementasi.

Analisis Likuifaksi Metode *Simplified Procedure*

Seed dan Idriss [8] memberikan metode untuk menganalisis likuifaksi pada suatu lapisan dengan ketebalan tertentu menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT). Metode ini menggunakan perbandingan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR).

Cyclic Stress Ratio (CSR)

CSR (*Cyclic Stress Ratio*) adalah rasio dari tegangan geser siklis pada suatu elemen kecil dari lapisan tanah jenuh air dengan tegangan kekangnya (*confining pressure*). Istilah CSR digunakan sejak awal mula studi laboratorium mengenai likuifaksi dilakukan. CSR hanya terjadi saat tanah

menerima tegangan siklis dari gelombang gempa, dan faktor penting dalam penentuan nilai CSR adalah dengan penentuan nilai percepatan puncak muka tanah.

Cyclic Resistance Ratio (CRR)

Cyclic Resistance Ratio (CRR) adalah nilai rasio tahanan siklis tanah, sebagai parameter untuk menahan atau melawan tegangan geser siklis saat gempa. CRR sendiri merupakan nilai yang dibutuhkan oleh suatu tanah dengan kepadatan tertentu untuk terlikuifaksi apabila terjadi gempa dengan magnitudo tertentu atau dengan jumlah getaran (*cycle*) tertentu. Nilai CRR telah diestimasi oleh berbagai peneliti untuk memperkirakan potensi likuifaksi.

Faktor Aman (Factor of Safety)

Perbandingan nilai CRR dan CSR dapat diartikan sebagai faktor aman pada kawasan yang mempunyai ancaman likuifaksi. FS merupakan hasil akhir pada analisa ancaman likuifaksi. Menurut Sonmez dan Gokceoglu [9] nilai $FS \geq 1,2$, memberikan gambaran bahwa kawasan yang ditinjau tidak mempunyai lapisan tanah yang berpotensi terjadi likuifaksi, sedangkan apabila $FS < 1,2$, maka kawasan yang ditinjau mempunyai ancaman likuifaksi.

METODE PENELITIAN

Studi Literatur

Studi literatur dilakukan pertama kali untuk mempelajari konsep yang berkaitan dengan likuifaksi, analisis potensi likuifaksi dengan metode *Simplified Procedure*, dan analisis faktor aman terhadap ancaman likuifaksi. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini.

Pengumpulan Data

Untuk melakukan analisis potensi likuifaksi dengan metode semi empiris, dibutuhkan data uji lapangan yaitu *Standard Penetration Test* (SPT) di

Pelataran Candi Prambanan Yogyakarta dan data gempa tercatat yang pernah terjadi di Yogyakarta dan sekitarnya berdasarkan Elnashai tahun 1903 – 2006, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta tahun 2004 – 2015 dan USGS (*United State Geology Survey*) tahun 1957 – 2015.

Pengolahan Data

Setelah semua data terkumpul, maka dilakukan pengolahan data untuk analisis nilai $N - SPT$ yang telah terkoreksi, menentukan *peak ground acceleration*, *stress reduction factor*, *magnitude scaling factor*, analisis CSR dan CRR.

Dalam penelitian ini, analisis *Peak Ground Acceleration* (PGA) menggunakan persamaan atenuasi Matuscha [10] :

$$a = 119 \cdot e^{0,81M} \cdot (R + 25)^{-1,15}$$

[Pers.1]

Analisis *Cyclic Stress Ratio* (CSR) menggunakan Persamaan Seed dan Idriss [11] (Pers. 2) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) menggunakan Persamaan Rauch [12] (Pers.3) sebagai berikut.

$$CSR = 0,65 \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \left(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \right) r_d$$

[Pers.2]

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} +$$

$$\frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad [Pers.3]$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Peak Ground Acceleration (PGA)

Hitungan *peak ground acceleration* dengan Pers.1 dan data gempa versi BMKG, versi USGS dan versi Elnashai untuk *peak ground acceleration* yang terbesar disajikan dalam Tabel. 1 sebagai berikut.

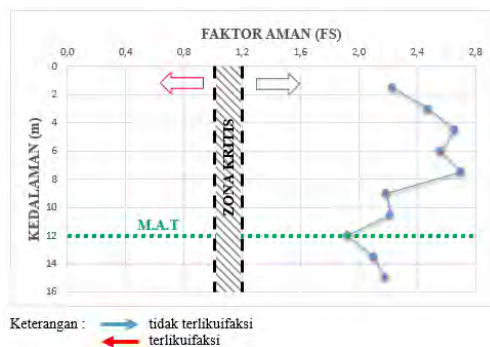
Tabel 1. *Peak Ground Acceleration* terbesar dengan berbagai versi data gempa

DATA GEMPA	PGA (g)
ELNASHAI	0,216 g
USGS	0,209 g
BMKG Yogyakarta	0,101 g

Dari hasil hitungan PGA, diambil nilai PGA terbesar dengan gempa versi Elnashai pada gempa Yogyakarta, 27 Mei 2006 sebesar 0,216 g (Magnitude = 6,3 SR dan kedalaman 10 km). Hasil ini akan digunakan untuk analisis *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR). Hasil ini sesuai dengan penelitian dari Djumarma, dkk. [13] yang melakukan penelitian geoseismik menggunakan mikrotemor di Candi Prambanan dengan PGA 0,2 – 0,3g.

Rasio Antara Nilai CRR dan CSR

Nilai faktor aman terhadap kejadian likuifaksi dinyatakan sebagai rasio antara nilai CSR dengan CRR disajikan dalam Gambar 3. berikut ini.



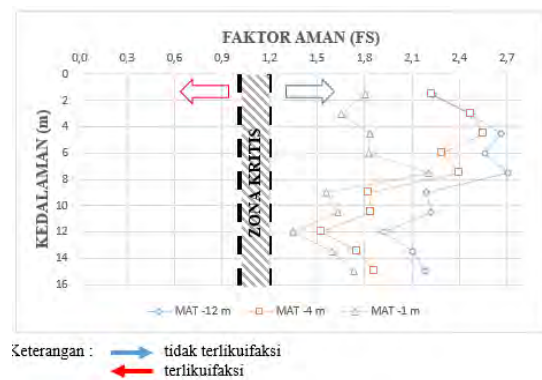
Gambar 3. Hubungan Faktor Aman (FS) dan Kedalaman berdasar nilai CSR dan CRR.

Penelitian Rahmi [13] yang dilakukan dengan *Triaxial Cylic* menyebutkan bahwa di pelataran Candi Siwa, tanah tidak mengalami keruntuhan akibat likuifaksi. Untuk $a_{max} = 0,2$ g; tanah didasar Candi Siwa memperlihatkan peningkatan deformasi yang relatif kecil, sedangkan untuk tanah dipermukaan akan mengalami deformasi yang besar karena kepadatannya lebih longgar.

Nilai faktor aman memperlihatkan untuk FS dari kedalaman -1,5 meter sampai dengan -12,00 meter cukup tinggi. Pada kedalaman di bawah -12,00 meter angka aman memperlihatkan nilai berkurang karena tanah terendam air (muka air tanah pada kedalaman -12,00 meter), walaupun nilai FS pada kedalaman di bawah -12,00

meter menurun dibandingkan bagian tanah tidak terendam air, tanah dalam keadaan aman terhadap kejadian likuifaksi.

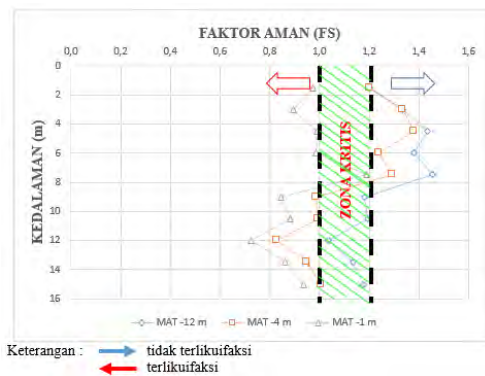
Untuk mengetahui pengaruh muka air tanah dan *peak ground acceleration* terhadap faktor aman tanah terhadap kejadian likuifaksi, maka dilakukan analisis kemungkinan terjadinya kenaikan muka air tanah, dari kedalaman -12 meter menjadi -4 meter dan -1 meter. Hasil *survey* lapangan yang dilakukan pada musim hujan di sumur di sekitar Candi Prambanan, muka air tanah mencapai kedalaman -4 meter. *Peak ground acceleration* dengan asumsi semakin besar dari 0,216 g menjadi 0,3 g dan 0,4 g.



Gambar 4. Hubungan Faktor Aman (FS) dan Kedalaman dengan variasi kedalaman muka air tanah dan nilai PGA 0,216 g.



Gambar 5. Hubungan Faktor Aman (FS) dan Kedalaman dengan variasi kedalaman muka air tanah dan nilai PGA 0,3 g.



Gambar 6. Hubungan Faktor Aman (FS) dan Kedalaman dengan variasi kedalaman muka air tanah dan nilai PGA 0,4 g.

Dari Gambar 4 – 6 tampak bahwa pengaruh muka air tanah dan besarnya nilai *peak ground acceleration* cukup signifikan pada ketahanan tanah terhadap ancaman likuifaksi. Semakin dalam letak muka air tanah, dan semakin besar nilai PGA tampak pengaruh likuifaksi tidak pernah terjadi, sebaliknya semakin dangkal (tinggi) letak muka air tanah dan semakin besar nilai PGA, pengaruh likuifaksi cenderung dapat terjadi.

KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- gempa yang menghasilkan PGA terbesar adalah gempa Yogyakarta, 27 Mei 2006 dengan magnitude 6,3 SR dan kedalaman 10 km berdasarkan gempa tercatat versi Elnashai, 2006,
- analisis *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dengan menggunakan metode *Simplified Procedure* cocok digunakan untuk analisis likuifaksi di pelataran Candi Siwa,
- nilai PGA = 0,216 g dengan berbagai variasi muka air tanah terlihat cukup aman terhadap potensi terjadinya likuifaksi (FS > 1,2), namun untuk nilai PGA = 0,3 g dengan muka air tanah pada kedalaman -1 meter cenderung terjadi likuifaksi (FS < 1,2), demikian pula untuk nilai PGA

0,4 g dengan muka air tanah -4 meter,

- perubahan muka air tanah semakin dangkal dan *peak ground acceleration* semakin besar dapat menurunkan nilai faktor aman tanah terhadap kejadian likuifaksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Tim Penyusunan Detail Engineering Design (DED), 2012, Kegiatan Studi Teknis Pelestarian Candi Siwa, Kompleks Candi Prambanan, BPCB Yogyakarta.
- <http://www.bmkg.go.id> diakses 11 September 2015.
- Elnashai, A.S. and Sarno, L.D., 2008, *Fundamentals of Earthquake Engineering*, John Wiley and Sons, Ltd., West Sussex, United Kingdom.
- Ibrahim, G. dan Subardjo, 2003, Pengetahuan Seisomologi, Badan Meteorologi dan Klimatologi, Manado, Indonesia.
- Tohari., A., 2007, “Kajian Likuifaksi dan Sumber Daya Air”, Puslit Geoteknologi, LIPI.
- Tonkin & Taylor International Ltd, 2013, Canterbury New Zealand Earthquake Sequence 2010-2011, Seminar on disaster preparedness in the Philippines.
- Day, R.W., 2002, *Geotechnical Earthquake Engineering Handbook*, McGraw-Hill, New York, USA.
- Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1971, Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential, *Journal of Soil Mechanics and Foundation*, Division, ASCE, vol. 97, No.9, pp 1249-1273.
- Sonmez, H and Gokceoglu, C., 2005. *A liquefaction severity index suggested for engineering practice*, Environmental Geology, 48, pp. 81-91.

- [10] Matuschka, T. 1980. *Assessment of seismic hazards in New Zealand*. Tech. rept. 222. Department of Civil Engineering, School of Engineering, University of Auckland. Reported in Stafford (2006).
- [11] Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1971, Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential, *Journal of Soil Mechanics and Foundation, Division, ASCE*, vol. 97, No.9, pp 1249-1273.
- [12] Rauch, A.F., 1997, EPOLLS : An Empirical for Predicting Surface Displacements Due to Liquefaction – Induced Lateral Spreading in Earthquakes, Dissertation, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- [13] Rahmi, Noor., 2011, *Perilaku Regangan – Siklis Pembebanan Tanah Pasir Prambanan Dengan Uji Triaksial Siklis*, Tesis, Jurusan Teknik Sipil (Geoteknik) dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada.

