

ANALISIS DINAMIKA TANAH DASAR TERHADAP PENGARUH PERCEPATAN GETARAN TANAH MAKSIMUM AKIBAT GEMPA

Studi Kasus di Tanah Dasar Candi Siwa Prambanan Yogyakarta

Tri Wahyu Kuningsih¹, Andina Prima Putri², Rekso³

^{1,2,3}Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta

E-mail: triwahyukuningsih@yahoo.co.id

ABSTRAK

Candi Prambanan merupakan salah satu cagar budaya yang dilindungi di Indonesia. Candi Prambanan terletak pada daerah yang memiliki potensi *geohazard*. Salah satu potensi *geohazard* yang ada di wilayah Prambanan adalah gempa bumi (*seismic*). Mengingat besarnya pengaruh yang akan terjadi pada Candi Prambanan apabila terjadi gempa, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya deformasi, tegangan, regangan struktur Candi Siwa apabila terjadi gempa. Penelitian ini menggunakan metode observasi di lapangan sebagai data awal, kemudian diolah menggunakan perangkat lunak untuk mendapatkan hasil – hasil yang sudah ditetapkan pada tujuan. Hasil penelitian ini adalah percepatan getaran tanah maksimum sebesar 0.271 g pada waktu puncak pada 23.576 detik dari awal gempa. Pada saat terjadi percepatan getaran tanah maksimum, tegangan efektif yang didapatkan 84.1905 kPa dan *displacement* vertikal sebesar 3.4412 meter. Muka air tanah eksisting terletak pada kedalaman 12 meter. Dalam analisis terhadap potensi likuifaksi, pada kedalaman di bawah 12 meter ditemukan potensi terjadi likuifaksi karena tegangan efektif bernilai kurang dari nol.

Kata kunci: percepatan getaran tanah maksimum, Candi Siwa Prambanan, potensi *geohazard*

ABSTRACT

Prambanan Temple is one of the world heritages in Indonesia. Prambanan Temple located in an area that has geohazard potential. One of the geohazard potentials in the Prambanan region is earthquake (seismic). Considering the magnitude of influence that will occur in Prambanan Temple in the event of an earthquake, this study aims to determine the magnitude of deformation, stress, strain in the structure of the Shiva Temple in the event of an earthquake. This study uses observational methods in the field as preliminary data, then is processed using software to obtain results that have been set at the destination. The results of this study are the peak ground acceleration of 0.271 g at peak time at 23,576 seconds from the beginning of the earthquake. At the time of peak ground acceleration, the effective stress obtained is 84.1905 kPa and the vertical displacement is 3.4412 meters. The existing ground water surface is located at a depth of 12 meters. In an analysis of liquefaction potential, at depths below 12 meters, it is found that there is a potential for liquefaction because the effective stress is less than zero.

Keywords: peak ground acceleration, Shiva Prambanan Temple, geohazard potential

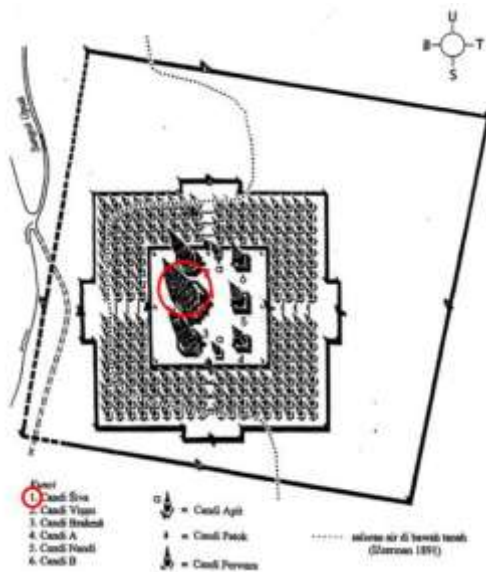
PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu wilayah di dunia yang memiliki aktivitas gempa yang sangat tinggi, yang sekaligus merupakan wilayah tektonik yang sangat aktif disebabkan oleh dua hal. Pertama Indonesia berada pada pertemuan empat lempeng tektonik utama dunia, yaitu lempeng Australia, lempeng Eurasia, lempeng Philipina dan lempeng Pasifik yang memiliki percepatan gerak yang berbeda satu sama lain. Kedua, Indonesia merupakan pertemuan dua system pegunungan, yaitu pegunungan Mediterania yang membentang dari pulau Sumatera, Jawa, Bali sampai Nusa Tenggara dan system pegunungan pasifik yang terbentang di pulau Halmahera dan Sulawesi. Di samping itu, Indonesia merupakan daerah dengan struktur palung kepulauan yang

khas dengan karakteristik fisiografik yang unik sebagai missal merupakan pemisah dua samudera yang sangat dalam. Perbedaan kecepatan gerak keempat lempeng utama dan aktivitas vulkanik dua sistem pegunungan tersebut menjadikan Indonesia salah satu wilayah rawan gempa (Hatmoko, 2016).

Candi Prambanan terletak di Provinsi D.I. Yogyakarta dan merupakan salah satu daerah yang mempunyai potensi *geohazard*. Salah satu potensi *geohazard* yang ada di wilayah Prambanan adalah gempa bumi (*seismic*) (Tim Penyusun Laporan Studi Mitigasi Bencana Di Kawasan Cagar Budaya Candi Prambanan, 2012). Kompleks Candi Prambanan terdiri dari beberapa candi antara lain Candi Trimurti (Candi Brahma, Siwa dan Wisnu), Candi Garuda, Candi Nandi, Candi Apit dan Candi Angsa. Denah Kompleks Candi Prambanan disajikan pada

Gambar 1 di bawah ini (Tim Penyusunan Detail Engineering Design (DED), 2012).



Gambar 1 Denah Kompleks Candi Prambanan (Detail Lokasi Candi Siwa) (Tim Penyusunan Detail Engineering Design (DED), 2012)

METODE

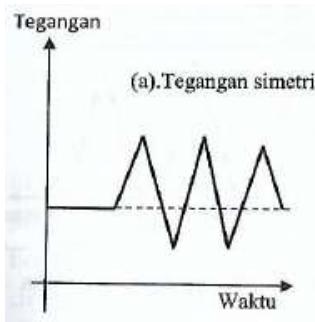
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini di Kawasan Candi Prambanan Yogyakarta dengan spesifikasi di tanah dasar Candi Siwa sebagai candi terbesar.

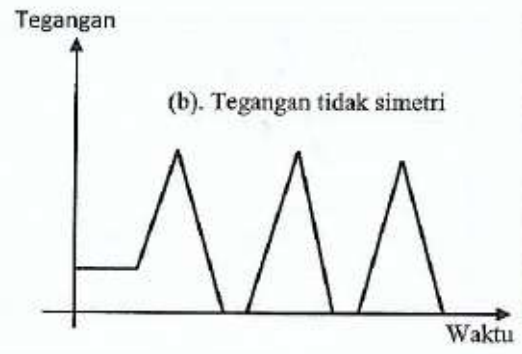
Kajian Teori

Tegangan Pada Elemen Tanah Akibat Gempa

Tegangan yang terjadi pada elemen tanah adalah kombinasi dari tegangan akibat beban statis dan tegangan akibat beban dinamik. Jika tegangan statik awal cukup besar dan tegangan akibat dinamik relatif kecil, efek yang dihasilkan seperti pada Gambar 2. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan simetri. Namun demikian jika tegangan akibat beban statik relatif kecil dibandingkan dengan tegangan akibat dinamis, maka efek kombinasinya dapat dilihat pada Gambar 3 (Hatmoko, 2016).



Gambar 2 Tegangan pada elemen tanah saat terjadi gempa (tegangan simetri) (Hatmoko, 2016)



Gambar 3 Tegangan pada elemen tanah saat gempa (tegangan tidak simetri) (Hatmoko, 2016)

Percepatan Puncak (*Peak Acceleration*)

Parameter yang biasa digunakan untuk mengukur amplitude pergerakan tanah adalah percepatan horizontal puncak (*peak ground acceleration*) (PGA). PGA pada komponen gerak adalah harga maksimum absolut dari percepatan horizontal yang diperoleh dari accelogram pada komponen tersebut. Dengan mengambil jumlah komponen vector orthogonal, resultan PHA maksimum bisa diperoleh (Hatmoko, 2016).

Pergerakan tanah dengan percepatan puncak tinggi biasanya, namun tidak selalu, lebih merusak dibanding dengan pergerakan tanah dengan percepatan puncak yang lebih rendah. Percepatan puncak yang tinggi namun durasinya cukup singkat mungkin menyebabkan kerusakan bangunan yang tidak signifikan. Beberapa gempa yang menghasilkan percepatan puncak lebih besar dari 0,5g tidak memberikan kerusakan struktur yang signifikan, sebab percepatan tersebut terjadi pada frekuensi yang tinggi dan durasi gempa cukup singkat (Hatmoko, 2016).

Tegangan Efektif

Ketika sebuah bangunan dibangun, berat dari bangunan tersebut akan disalurkan melalui fondasi yang menyebabkan tekanan pada lapisan di bawahnya, yang dapat menyebabkan masalah pada stabilitas tanah.

Pergerakan dan ketidakstabilan tanah dapat disebabkan dari nilai tegangan total (bisa disebabkan oleh pembebanan atau galian tanah), juga dapat disebabkan karena perubahan tekanan pori, selisih antara tegangan total dan tekanan pori disebut tegangan efektif. Tekanan efektif pada dasarnya memiliki pengaruh terhadap kekuatan, volume, dan perpindahan tanah yang merepresentasikan tegangan yang dihasilkan oleh pembebanan (Terzaghi, 1936).

Tegangan efektif tidak bisa ditentukan hanya dari hasil data sebuah lapisan tanah, melainkan melalui proses perhitungan dari nilai tegangan total serta tegangan air pori yang digambarkan pada persamaan berikut.

$$\sigma' = \sigma - u \quad (\text{Per. 1})$$

Di mana:

σ' = Tegangan Efektif (Kpa)
 σ = Tegangan Total (Kpa)
 u = Tekanan Air Pori (Kpa)

Hasil dari perhitungan persamaan tersebut tidak dapat menjadi parameter fisik hasil Analisa, namun berguna dalam membuat konsep penentuan sifat tanah dalam suatu Kawasan

N-SPT

N-SPT (*Standard Penetration Test*) adalah sebuah tes yang dilakukan di lokasi penelitian yang berguna untuk ekspolaris sebuah kawasan dalam penentuan perencanaan desain fondasi (www.astm.org/Standards/D1586), pada umumnya test ini dilakukan dengan Teknik pengeboran pada permukaan lapisan yang akan diteliti.

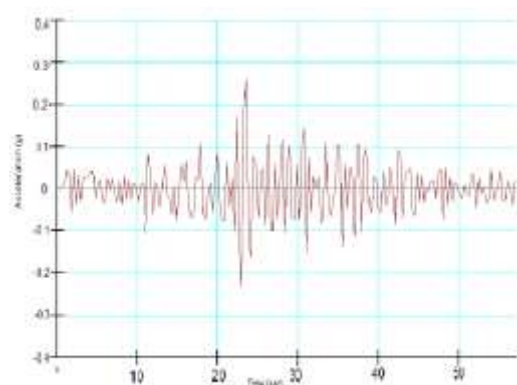
Tujuan dari dilakukannya tes tersebut adalah untuk mengetahui kemampuan daya dukung tanah di bawah struktu bangunan/fondasi serta untuk menentukan massa jenis relatif pada lapisan tanah yang umumnya adalah tipe granular seperti lapisan tanah berpasir, tanah berbatu.

Nilai dari tes tersebut kemudian seringkali menjadi data empiris yang menentukan apakah sebuah lapisan memiliki potensi likuifaksi atau tidak.

Hasil dari tes tersebut kemudian menjadi salah satu faktor dalam perhitungan dalam menentukan sifat dasar sebuah lapisan tanah.

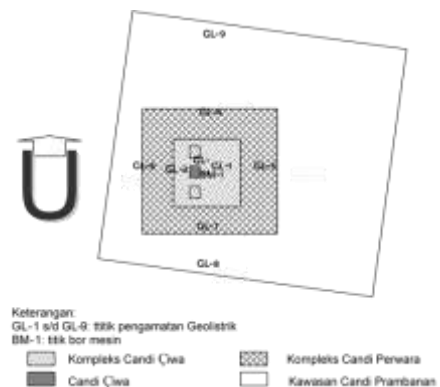
Tabel 1.1 Tabel hubungan nilai N-SPT terhadap kepadatan tanah

Relative Density	SPT N value	Bulk Density (kg/m³)
Very loose	0 - 4	< 1 600
Loose	5 - 10	1 530 - 2 000
Medium	11 - 30	1 750 - 2 100
Dense	31 - 50	1 750 - 2 245
Very Dense	> 50	> 2 100



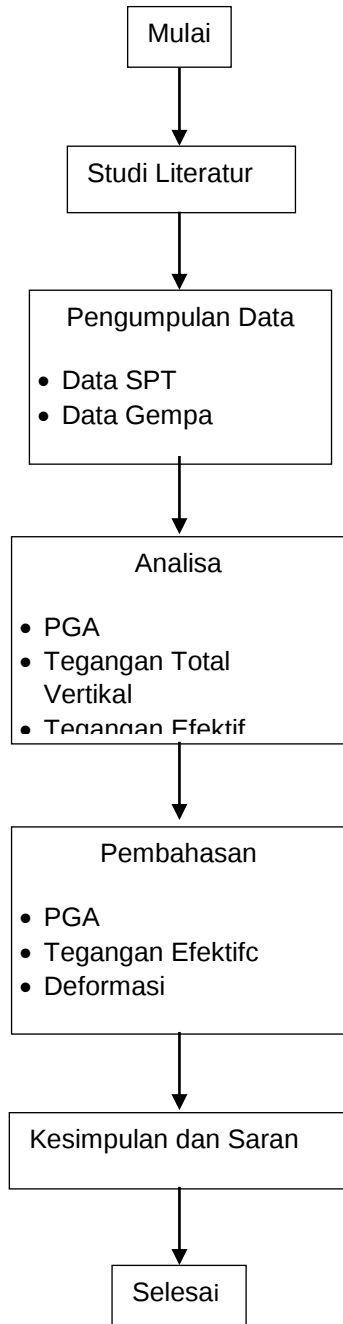
Dikutip dari *US Army Corp of Engineers engineering manual publication* pada desain *sheet pile* pada tabel di bawah mengenai hubungan nilai SPT terkoreksi (N-SPT) dan kepadatan tanah (*Bulk Density*) dihubungkan dengan massa jenis relatif (US Army Corp of Engineers, 1994)

Dalam penelitian ini, sampel diambil hasil uji yang dilakukan di lubang bor tept di bawah candi yang diteliti, hasil sampel ini dinilai mewakili beban kritis bangunan terhadap pembebanan dinamis yang dialami bangunan tersebut. Data ini diperoleh berdasarkan hasil penelitian

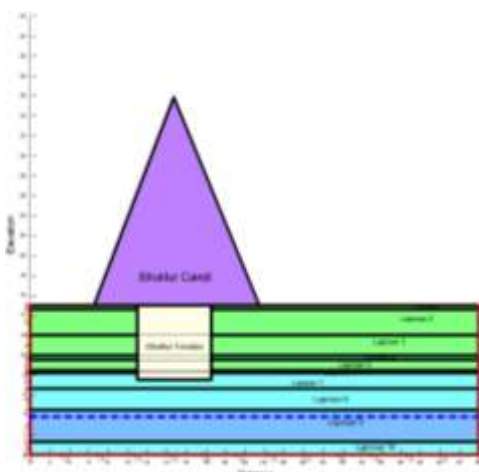


Gambar 1.1 Perencanaan titik pelaksanaan uji SPT (Sumber : (Tim Penyusunan Detail Engineering Design (DED), 2012)

Diagram Air



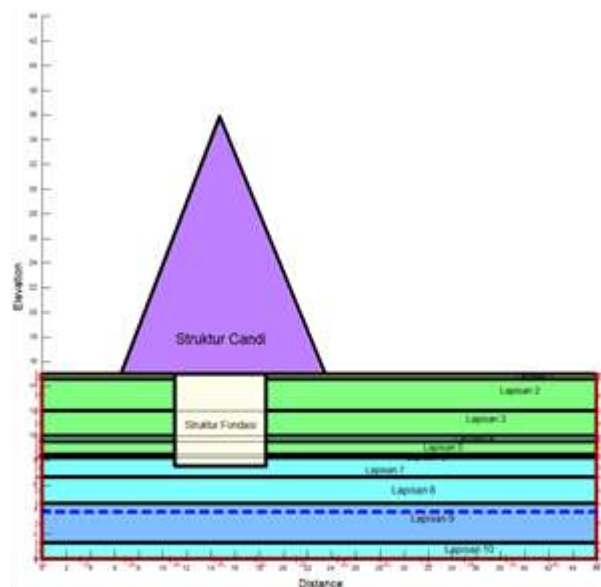
HASIL DAN PEMBAHASAN



Membuat Pemodelan Kawasan penelitian menggunakan perangkat lunak sesuai dengan ketentuan luas bangunan, fondasi, kedalaman tanah, lapisan tanah, muka air tanah.

Gambar 1. 2 Model lapisan perkerasan tanah kawasan Candi

Penentuan PGA dari gempa yang diteliti diambil dari basis data *United State Geological Survey* (USGS) yang kemudian dikonversi ke dalam tabel secara manual untuk mendapatkan PGA dan momen pada percepatan puncak, kemudian data dipindahkan ke dalam program perhitungan pembebanan gempa secara vertikal maupun horizontal



Gambar 1.3 Grafik pembebanan dinamis dan nilai GPA

Dari gambar tersebut didapat nilai percepatan getaran tanah (GPA) sebesar 0.271 g pada waktu 23.576 s sejak adanya perubahan secara signifikan terhadap alat ukur gempa (Seismograf).

Selanjutnya, pengolahan data dilakukan dengan memasukkan atribut-atribut dalam tanah (massa jenis, *Poisson Ratio*, kohesi, dll) dan fungsi ke dalam sistem perhitungan. Koefisien dari setiap variable ditentukan melalui tahap korelasi antara nilai kohesi dan N-SPT dan dari nilai hasil penelitian sebelumnya (Das, Braja M).

Setelah semua atribut Analisa perhitungan telah dimasukan, maka kemudian dilakukan tahap proses mengerjakan perhitungan untuk mendapatkan nilai nilai yang menjadi acuan penilaian sifat dasar tanah akibat dampak pembebanan, ada pun hasil-hasil yang digunakan dalam pembahasan merupakan variable yang

dinilai dapat berpengaruh terhadap kestabilan tanah. Sampel yang diambil untuk mendapatkan informasi mengenai sifat tanah dalam merespon beban.

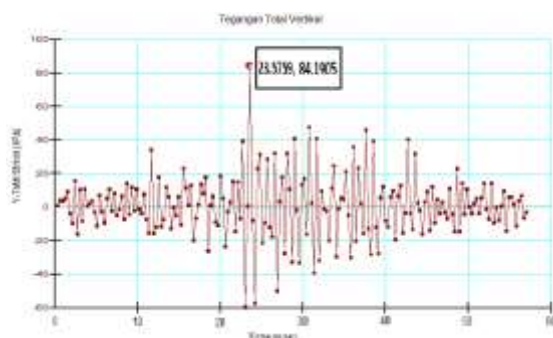
Untuk mendapatkan data tegangan efektif, sampel data informasi hasil perhitungan diambil pada tiap kedalaman tertentu mengikuti kedalaman hasil SPT, metode ini dilakukan agar memudahkan proses analisa, dengan membandingkan variabel yang lainnya pada titik sampel yang sama.

Dalam penelitian kali ini hasil Analisa dan perhitungan dari Pembebanan gempa dengan nilai perhitungan $GPA = 0.271 g$, dan durasi pembebanan dinamis = 57 s, dengan variabel N-SPT dan tegangan efektif adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 Data Pada Puncak Percepatan (23.576 s) Tanah Horizontal.

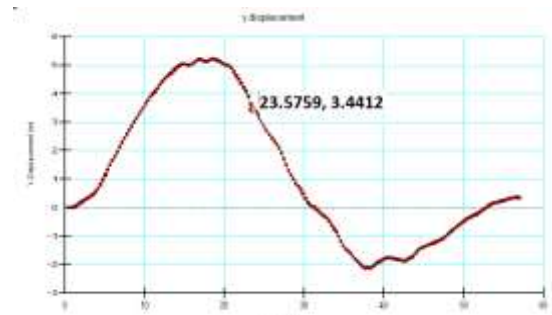
Lapisan	Kedalaman (m)	N-SPT (blows/ft)	Tegangan Efektif (kPa)
2	1.9	15	-3.7
3	3.5	19	-0.87
4	5	23	3.98
5	6.1	25	2.21
7	7.85	29	8.05
8	10.5	28	11.18
9	12.45	25	0.209
10	15	31	-21.418

Data dalam tabel tersebut kemudian dikonversi ke dalam sebuah grafik, ada pun grafik yang disampaikan selain nilai N-SPT, tegangan efektif, adalah nilai Perpindahan permukaan tanah pada sumbu y (*y-displacement*) sebagai salah satu faktor pengoreksi terhadap dampak pembebanan dinamis terhadap kestabilan tanah, serta grafik tegangan total sebagai representasi dari analisa sifat tanah dalam kondisi jenuh.



Gambar 1.4 Grafik tegangan total vertikal

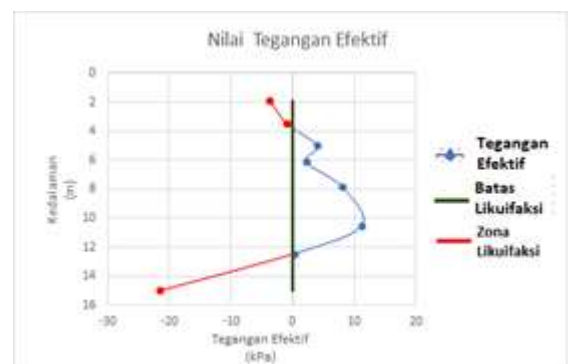
Gambar tegangan total vertikal (σ_v) di atas menggambarkan kondisi tegangan tanah dalam kondisi terendam (jenuh total), yang menunjukkan tegangan puncak yang terjadi pada waktu yang sama pada saat percepatan getaran tanah maksimum ($t = 23.579$), yang menunjukkan pembebanan dinamis (gempa) sangat berpengaruh kepada lapisan tanah pada kondisi tanah terendam.

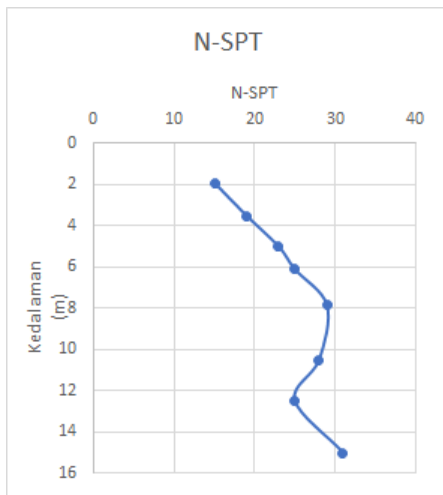


Gambar 1.4 Grafik perpindahan permukaan tanah akibat pembebanan gempa

Pada gambar tersebut didapatkan informasi mengenai pengaruh nilai PGA terhadap perpindahan vertikal permukaan tanah terhadap pembebanan, nilai ini menggambarkan nilai PGA berpengaruh terhadap perpindahan lewat grafik di mana titik momen PGA berada di awal fase perpindahan dari titik tertinggi menuju titik terendahnya.

Gambar 1.5 Grafik nilai N-SPT terhadap kedalaman tanah berdasarkan kedalaman uji





Gambar 1.5 Grafik Nilai tegangan efektif dengan Nilai batas likuifaksi

Berdasarkan gambar grafik di atas, maka dapat digambarkan pembebanan dinamis berpengaruh terhadap kestabilan tanah dasar sebuah bangunan, hal ini dapat disampaikan melihat nilai tegangan efektif yang sebagiannya menembus batas likuifaksi (≤ 0) maka masuk ke dalam zona likuifaksi.

Kesimpulan

Buku

- Hatmoko, J.T. (2016). *Dinamika Tanah Dan Liquefaction*. Cahaya Atma Pustaka Yogyakarta.
- Tim Penyusun Laporan Studi Mitigasi Bencana Di Kawasan Cagar Budaya Candi Prambanan. (2012). BPCB Yogyakarta.
- Tim Penyusunan Detail Engineering Design (DED). (2012). Kegiatan Studi Teknis Pelestarian Candi Siwa, Kompleks Candi Prambanan. BPCB Yogyakarta.
- US Army Corp of Engineers, *Engineering Manual EM 1110-2-2504, Table 3-1, dated 31 March 1994*
- Das, Braja M. *Mekanika Tanah Jilid 2*. Erlangga. Jakarta

Skripsi/Tesis/Disertasi

- Aziz, N. (2006). *Analisis Ekonomi Alternatif Pengelolaan Ekosistem Mangrove di Kecamatan Barru, Kabupaten Barru*. Tesis Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor. 105 hlm.

Peraturan/Undang- Undang

- RI (Republik Indonesia). (2012). Undang-Undang No. 18 Tahun 2012 tentang Pangan. Lembaran Negara RI Tahun 2012, No. 227. Sekretariat Negara. Jakarta.

Naskah Prosiding

- Terzaghi, Karl (1936). *"Relation Between Soil Mechanics and Foundation Engineering"*.

Presidential Address". Proceedings, First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Boston. 3, 13-18

Setiawan I. B. (1999). *Studies on environ-mental change and sustainable development of Cidanau Watershed*. Proceeding of International Workshop on Sustainable Resources Management of Cidanau Watershed. Vol.1. RUBRD-UT/IPB. Bogor.