

**ANALISIS STABILITAS LERENG PADA TANAH CLAY SHALE  
PROYEK JALAN TOL SEMARANG-SOLO PAKET VI  
STA 22+700 SAMPAI STA 22+775**

Syafiq Alhadar, Luluk Asrida, Sri Prabandiyani<sup>\*)</sup>, Siti Hardiyati<sup>\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

**ABSTRAK**

*Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis stabilitas lereng pada tanah clay shale, serta memberikan rekomendasi perencanaan yang memenuhi kriteria desain dengan tingkat pelayanan berdasarkan standar yang diinginkan pada proyek jalan tol Semarang-Solo paket VI. Jalan tol ini dibangun untuk mendukung pertumbuhan ekonomi serta mengurangi kemacetan di Semarang, Solo dan sekitarnya. Lokasi yang ditinjau dalam tugas akhir ini meliputi proyek jalan tol Semarang-Solo paket VI Sta. 22+700 s/d. 22+775. Kami memilih lokasi tersebut karena pada Sta tersebut rawan terjadi kelongsoran. Data-data yang digunakan dalam studi kasus ini merupakan data primer dan data sekunder. Pengumpulan data dilakukan dengan metode interview, pengamatan langsung dilapangan, dan metode literatur. Cara menganalisis dalam tugas akhir ini adalah dengan menghitung stabilitas lereng serta memberikan solusi terhadap permasalahan yang terjadi. Analisis geoteknik dilakukan dengan dua cara, yaitu cara manual dan program. Analisis manual menggunakan metode Fellenius dan Bishop sedangkan analisis metode elemen hingga menggunakan software Plaxis V.8.2. Model keruntuhan Mohr-Coulomb dipilih sebagai model tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa terjadi kelongsoran pada Sta. 22+700 s/d. 22+775. Perkuatan dengan perubahan geometri lereng dan perkuatan dengan bored pile pada 2 elevasi yang berbeda, untuk menanggulangi kelongsoran menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,433 nilai ini lebih besar dari yang disyaratkan yaitu sebesar 1,4.*

**kata kunci** : jalan tol, stabilitas lereng, clay shale, bored pile

**ABSTRACT**

*The aim of this thesis was to analyze the slope stability on clay shale soil and to provide recommendations of design that meet the design criteria with the level of service based on the standard on the project Semarang-Solo toll road. The toll road was built to support economic growth in Semarang, Solo and its surroundings. The location was reviewed in this thesis include a toll road project Semarang-Solo package IV Sta. 22+700 to 22+775. We choose these location because we consider that these sta have the greatest risk of landslides. The data used in this case study were primary and secondary datas. The datas were collected by interview method, observation method and methods of literature. For*

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

*analysing in this thesis were by calculate the slope stability and provide alternative solutions to problems that occured. Geotechnical analysis was done in two ways, namely manual and program. Manual analysis used Fellenius method and Bishop's method while analysis finite element method used Plaxis software 8.2. Mohr-Coulomb failure model were chosen as a model soil. The results showed that the catastrophic landslide occurred at Sta 22+700 to 22+775. Changed the geometry of the slope and strengthening with bored pile at two different elevation were tired to produce sliding safety factor 1,433 this value is greater than the safety factor requirement 1,4.*

**keywords:** road tolls, slope stability, clay shale, bored pile

## **PENDAHULUAN**

Proyek jalan tol Semarang – Solo paket VI merupakan salah satu prioritas bagian program nasional pembangunan Jalan Tol Trans Jawa (Trans Java Toll Road) bersama ruas jalan tol yang lain di Provinsi Jawa Tengah. Jalan Tol Semarang-Solo memiliki arti yang strategis bagi pengembangan jaringan jalan nasional secara khusus di Jawa Tengah dan juga bagi perkembangan jaringan jalan dalam skala regional. Namun di beberapa lokasi pembangunan jalan tol tersebut berpotensi longsor. Seperti yang terjadi pada Sta. 22+700 s/d. 22+775. Sehingga perlu dicari solusi untuk mengatasi masalah tersebut.

## **TINJAUAN UMUM**

Tanah sebagai dasar berdirinya suatu pekerjaan konstruksi sering mengalami masalah pergerakan tanah, terutama pada tanah-tanah dengan kondisi lunak. Masalah pergerakan tanah sering terjadi karena keadaan geografi di berbagai tempat yang memiliki curah hujan tinggi serta struktur geologi dan sifat rembesan tanah pada daerah setempat serta daerah potensi gempa, hal ini masih diperparah dengan minimnya kesadaran masyarakat akan bahaya gerakan tanah misalnya melakukan tindakan yang memicu terjadinya kelongsoran atau pergerakan tanah.

### **Perilaku Tanah Clay Shale**

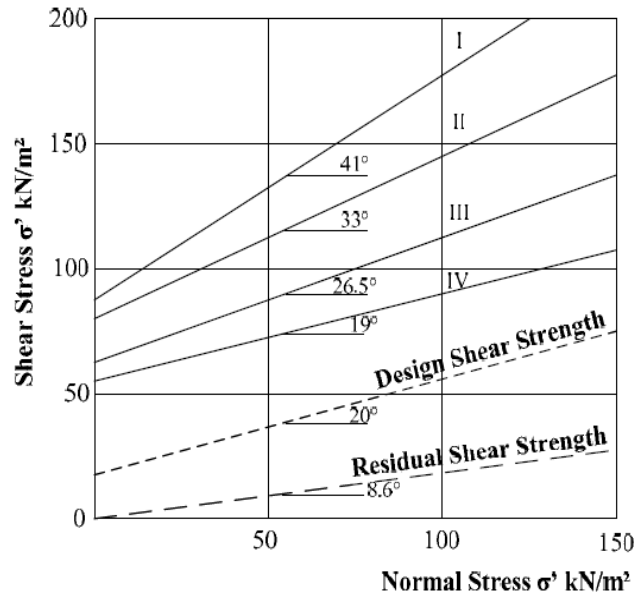
Pada umumnya tanah *clay shale* sangat rentan terhadap perubahan iklim dan cuaca. Hal ini mengakibatkan terjadinya *fissures* dan pelapukan tanah (*soil weathering*) pada daerah-daerah yang terekspos secara langsung dengan udara. Proses ini secara otomatis mengakibatkan turunnya kuat geser tanah. Kuat geser yang menurun (*strength degradation*) yang berlangsung secara terus menerus akan menimbulkan potensi kelongsoran lereng. Kelongsoran lereng bisa dipicu pula oleh masuknya air permukaan ke dalam timbunan lereng yang akan menambah penurunan kuat geser.

Gartung Erwin (1986) membagi *clay shale* menjadi empat zona berdasarkan pelapukan (*weathering*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada zona 1 tanah *clay shale* yang belum mengalami pelapukan (*unweathered*) sampai dengan zona 4 saat *clay shale* mengalami proses akhir pelapukan.

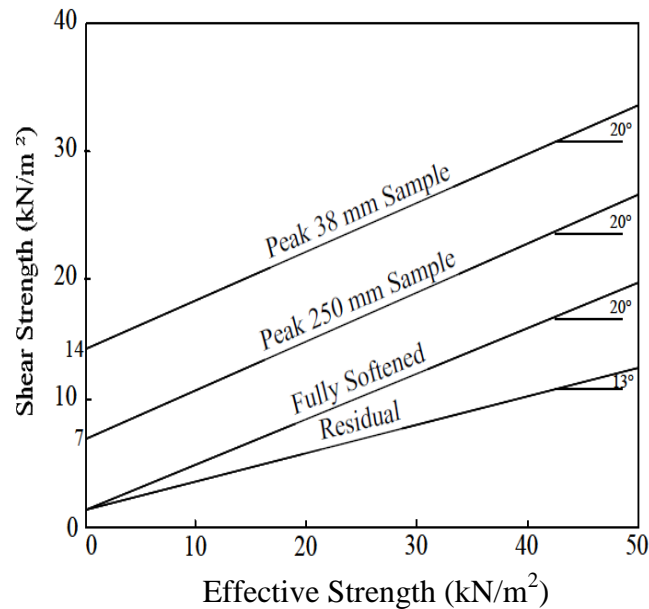
Skempton (1977) melakukan penelitian kuat geser residual tanah *clay shale* pada lereng yang sudah digali atau *excavation*, dengan menggunakan sampel berdiameter 38 mm

dengan pengujian triaksial. Menghasilkan nilai parameter kekuatan puncak dari *clay shale* sebesar  $c = 14 \text{ kN/m}^2$  dan  $\phi = 20^\circ$ .

Sandroni (1977) juga melakukan penelitian kuat geser pada tanah *clay shale* dengan ukuran sampel yang lebih besar yaitu 250 mm dengan pengujian triaksial. Menghasilkan nilai kohesi lebih kecil yaitu sebesar  $c = 7 \text{ kN/m}^2$  dan  $\phi = 20^\circ$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Zona Kuat Geser Tanah Clay Shale Berdasarkan (Gartung, 1986)



Gambar 2 Kuat Geser Tanah Clay Shale (Skempton, 1977)

## **Teori Analisis Kelongsoran**

Gerakan tanah merupakan proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring terhadap kedudukan semula karena pengaruh air, gravitasi, dan beban luar. Untuk mempermudah pengenalan tipe gerak tanah dan membantu dalam menentukan penyebab serta cara penanggulangannya maka perlu adanya klasifikasi tanah berdasarkan material yang bergerak, jenis gerakan dan mekanismenya.

Kemantapan lereng (*slope stability*) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanpa mengalami keruntuhan. Untuk memperoleh nilai *safety factor* (SF) suatu lereng, maka perlu dilakukan '*trial and errors*' terhadap beberapa bidang longsor yang umumnya berupa busur lingkaran dan kemudian diambil nilai SF minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Penyelesaian kelongsoran ini diselesaikan beberapa cara yaitu Metode *Fellenius*, Metode Bishop's (*Bishop's Method*) dan menggunakan program Plaxis V8.2.

### **Metode Fellenius**

Metode Fellenius memberikan faktor keamanan yang relatif lebih rendah dari metode elemen hingga. Batas-batas nilai kesalahan tergantung dari faktor keamanan, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Karena caranya yang sederhana sehingga kesalahan yang terjadi masih pada batas aman.

### **Metode Bishop's (Bishop's Method)**

Metode Bishop's menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal dan persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan tanah, sehingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor keamanan, perhitungan ini lebih sulit tetapi memberikan hasil yang lebih akurat.

### **Metode Elemen Hingga Menggunakan Software Plaxis V8.2**

Faktor keamanan dicari dengan mencari bidang lemah pada struktur lapisan tanah. Faktor keamanan didapatkan dengan cara mengurangi nilai kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam tanah ( $\phi$ ), secara bertahap hingga tanah mengalami keruntuhan.

## **Penanggulangan Kelongsoran**

Pekerjaan penanggulangan kelongsoran meliputi :

### **1. Pekerjaan Pengendalian**

Dimaksudkan untuk mengurangi resiko terjadinya longsor dengan cara mengubah kondisi alam atau topografi, seperti :

- a. Pengendalian air permukaan (*surface water drainage*) dengan cara perencanaan tata saluran permukaan, penanaman vegetasi, perbaikan permukaan lereng.
- b. Pengendalian air rembesan (*ground water drainage*) dengan saluran terbuka, pengalir tegak (*vertical drain*), pengalir datar (*horizontal drain*), pengalir parit pencegat (*interceptor drain*).

- c. Pekerjaan peningkatan counter weight.
2. Pekerjaan Penambatan  
Dengan membangun konstruksi yang mampu menjaga kestabilan masa tanah/batuan, seperti:
  - a. Penambatan tanah dengan membangun dinding penahan tanah (*retaining wall*), bronjong, *bored pile*.
  - b. Penambatan batuan dengan tumpuan beton, batu batuan (*rock bolt*), jangkar kabel (*rock anchor*), dan beton semprot (*shotcrete*).

## **METODOLOGI**

Ada beberapa metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah secara ilmiah. Hal ini tentunya didasari dengan dasar teori dan peranan instansi yang terkait. Berikut ini metode yang digunakan antara lain :

1. Metode literatur yaitu dengan mengumpulkan, mengidentifikasi serta mengolah data tertulis dan metode kerja yang digunakan.
2. Metode observasi yaitu dengan melakukan survey langsung ke lapangan untuk mengetahui kondisi nyata di lapangan sehingga diperoleh gambaran sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan analisis.
3. Metode wawancara dengan bertanya langsung kepada narasumber yang dapat dipercaya untuk memperoleh data-data yang diperlukan.

## **ANALISIS DATA**

Dari hasil pengujian N-SPT diketahui bahwa tanah pada lapisan 2 dan lapisan 4 kemungkinan akan terjadi penurunan kuat geser (*Strenght Degradation*) dari kondisi awal tanah clay shale yang belum terekspose atau belum digali atau *excavation*. Penurunan kuat geser (*Strenght Degradation*) dilakukan dengan menggunakan parameter kuat geser yang berdasarkan penelitian Skempton dengan beberapa kondisi yaitu kondisi *Fully Softened* dan kondisi *Residual*.

Dalam proses analisis ini ada 3 (tiga) kondisi yang akan dianalisis untuk menentukan SF (safety factor) dengan berbagai parameter tanah :

1. Kondisi Awal
2. Kondisi *Fully Softened*
3. Kondisi *Residual*

Dari proses analisis stabilitas lereng yang telah dilakukan dengan mengurangi kuat geser tanah *clay shale* pada lapisan 2 dan lapisan 4 pada kondisi *fully softened* dengan  $c = 3$  kN/m<sup>2</sup> dan  $\phi = 20^\circ$  memberikan hasil (*Safety Factor*)  $SF = 0,875 \leq 1,4$ , sehingga disimpulkan bahwa lereng beresiko mengalami kelongsoran. Nilai parameter tanah dari ini juga akan digunakan untuk analisis stabilitas lereng secara manual sebagai perbandingan dengan analisis metode elemen hingga pada software Plaxis V 8.2. maka hasilnya dapat dibandingkan dalam Tabel 1.

Tabel 1: Hasil Perbandingan Analisis Stabilitas Lereng

No	Zona	Fellenius	Bishop	Plaxis
1	Kondisi Awal	-	-	3,37
2	Kondisi <i>Fully Softened</i>	0,93	0,92	0,875
3	Kondisi <i>Residual</i>	-	-	0,619

Sumber : (Syafiq dan Luluk, 2013)

Dilihat dari hasil perbandingan analisis stabilitas lereng dengan berbagai metode baik manual maupun dengan software didapatkan besaran angka keamanan seperti yang ditampilkan pada Tabel 1, pada kondisi *fully softened* semua metode memberikan angka keamanan  $FS < 1,4$ .

### PERENCANAAN KONSTRUKSI

Perencanaan konstruksi bertujuan untuk memberikan solusi terhadap permasalahan yang diangkat. Solusi yang diberikan bukan merupakan solusi mutlak dari permasalahan yang diangkat, Konstruksi penanganan yang direncanakan dengan menggunakan *bored pile* dan perubahan geometri lereng. Dari hasil analisis kestabilan lereng terhadap penanganan longsor dengan menggunakan program Plaxis V 8.2 memberikan hasil perbandingan dalam Tabel 2.

Tabel 2: Hasil Perbandingan Analisis Kestabilan Lereng

No	Description	Safety Factor (SF)	Kesimpulan
1	Kondisi awal	0,875	Tidak Aman
2	Merubah geometri lereng menjadi 1:4 dan perkuatan dengan 1 <i>bored pile</i>	1,227	Tidak Aman
3	Merubah geometri lereng dan perkuatan dengan 2 <i>bored pile</i>	1,433	Aman

Dari Tabel 2 maka dapat dipilih solusi penanganan longsor dengan beberapa kriteria yaitu, aman, bisa dikerjakan (*workability*), dan ekonomis. Penanganan tersebut juga harus nilai *safety factor (SF)* yang memenuhi persyaratan. Berdasarkan kriteria tersebut maka dapat ditentukan penanganan dengan merubah geometri lereng dan memasang *bored pile* pada 2 elevasi yang berbeda adalah yang paling tepat digunakan sebagai perkuatan lereng di lokasi studi karena mempunyai beberapa kelebihan, yaitu:

1. Memiliki nilai *safety factor (SF)* yang memenuhi persyaratan yaitu sebesar 1,433 nilai ini lebih besar dari yang disyaratkan 1,40.
2. Bisa dikerjakan karena dalam pelaksanaannya *bored pile* lubang dibor terlebih dahulu sehingga *bored pile* mampu menembus tanah keras sedangkan jika menggunakan penanganan lain seperti *sheet pile* tidak bisa dilaksanakan sebab dengan kondisi tanah yang mempunyai nilai  $N-SPT > 50$  *sheet pile* tidak akan bisa masuk ke dalam tanah.
3. Lebih ekonomis karena tidak memerlukan pembebasan lahan.

## **KESIMPULAN**

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis stabilitas lereng yang terjadi di proyek Jalan Tol Semarang-Solo Paket VI Sta. 22+700 s/d. 22+775 adalah:

1. Berdasarkan kondisi geologi dan geoteknik, Jalan Tol Semarang-Solo Paket VI Sta. 22+700 s/d. 22+775 mempunyai lapisan tanah yang homogen yaitu tanah *clay shale*.
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi tanah *clay shale* mengandung mineral *montmorillonite* merupakan faktor penyebab utama terjadinya longsoran, selain itu juga faktor kemiringan lereng yang curam menyebabkan terjadinya longsor.
3. *Safety Factor* (SF) pada Jalan Tol Semarang-Solo Paket VI Sta. 22+700 s/d. 22+775 sebesar 0,875. Angka keamanan ini lebih kecil dibandingkan SF minimal yang disyaratkan yaitu sebesar 1,4 sehingga dapat disimpulkan lereng dalam keadaan tidak aman dan memerlukan penanganan longsor.
4. Untuk mengatasi kelongsoran tanah yang terjadi di Jalan Tol Semarang-Solo Paket VI Sta. 22+700 s/d. 22+775, diberikan penanganan dengan merubah geometri lereng dan pemasangan *bored pile*.
5. Penanganan kelongsoran dilakukan dengan merubah geometri lereng dan memasang konstruksi *bored pile* menghasilkan angka keamanan sebesar 1,433, angka keamanan ini lebih besar dibandingkan SF minimal disyaratkan yaitu sebesar 1,4 sehingga dapat disimpulkan bahwa *bored pile* memenuhi syarat untuk menerima beban.

## **SARAN**

1. Perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam mengenai perilaku tanah *clay shale* dalam berbagai keadaan sehingga menghasilkan analisis yang lebih akurat.
2. Disarankan untuk lebih banyak pengalaman dalam menggunakan *software* Plaxis sebagai bantuan analisis, sehingga *sense of engineering* semakin teruji dan memudahkan dalam menentukan parameter sebagai input.
3. Melakukan pengujian tanah *clay shale* pada saat sesudah dilakukan *excavation* sehingga mendapatkan nilai perubahan kuat geser yang lebih akurat untuk perhitungan secara manual maupun program sehingga mendapatkan hasil yang sesuai.
4. Mengendalikan air permukaan dengan cara membuat desain drainase yang memadai sehingga air permukaan dari puncak-puncak lereng dapat mengalir lancar dan infiltrasi berkurang.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bagemann. 1989. *Geologi untuk Teknik Sipil*, Jakarta: Erlangga.
- Bagemann. 1965. *The Maximum Pulling Force on A Single Tension Pile Calculated on The Basis of Results of The Adhesion Jacked Cone*, Proc.6<sup>th</sup>, Conf. SMFE, Vol.2.,220-233.
- Bishop, A.W. 1955. *The Measurement of Soil in the Triaxial Test*, Edward Arnold Ltd. 2<sup>nd</sup> Ed.
- Bjerrum, L. 1960. *Comparison of Shear Strength Characteristics of Normally Consolidation Clays*, Proceedings of the ASCE Research Conference on the Shear Strength of Cohesive Soils: Boulder.
- Bowles, J. E. 1996. *Analisa dan Desain Pondasi*, Jakarta: Erlangga.

- Bowles, J. E. 1997. *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, Japan.
- Campanella, R.G. and Robertson, P.K., 1981. *Applied Cone Research*, Civil Engineering, University of California.
- Coulomb. 1776. *Non Dimensional Solutions for Laterally Loaded Piles with Soils Modulus Assumed Proporsional to Depth*, Proc. Of The 8 th Texas Conf. On Soil Mechanics and Foundations Engineering, Austin, Texas, pp.1 – 41.
- Das, Braja. M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*, Jakarta: Erlangga.
- Dinas Pekerjaan Umum. 2013. *Analisa Biaya dan Harga Satuan Pekerjaan*. Semarang.
- Fellenius, W. 1927. *Erdstatische Berechnungen, Revised Edition*, W. Ernst u. Sons, Berlin.
- Gartung, Erwin. 1986. *Clay Geosynthetic Barries*. A.A. Balkema Publisher.
- Govt.of Hongkong 2<sup>nd</sup>. 1984. *Geotechnical Manual Slopes*. Hongkong.
- Hansen, J.B. 1970. *The Ultimate Resistance of Rigid Piles Against Transversal Forces*, Danish Geotechnical Institute, Bulletin No.12, Copenhagen, pp. 5-9.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah I*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- \_\_\_\_\_. 2003. *Mekanika Tanah 2*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2003. *Teknik Pondasi I*, Yogyakarta: Beta Offset.
- \_\_\_\_\_. 2003. *Teknik Pondasi II*, Yogyakarta: Beta Offset.
- Holtz and Kovacs. 1981. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: Englewood Cliffs.
- Hvorslev, M. J. and Turnbull, W. J. 1967. *Special Problem in Slope Stability*. New York.
- Japan Road Association. 1976. *Method of Determining The Equivalent Length of Penetration into The Bearing Stratum*. Japan.
- Lambe, T. W. and Whitman, R.V. 1969. *Soil Mechanics*. New York.
- Lambe, T. W. 1962. *Soil Testing for Engineers*. New York.
- Meyerhof. 1956. *Penetration Tests and Bearing Capacity of Cohesionless Soils*, JSMFD, ASCE, Vol.82, SM 1, pp.1-19.
- Meyerhof. 1976. *Principle of Geotechnical Engineering*. PWS Publisher.
- Mitchell, J. K. and Soga, K. 1993. *Fundamentals of Soil Behavior, 3rd Ed. John Wiley and Sons*. New York.
- Punmia, B. C. 1981. *Soil Mechanics and Foundation*. New Delhi.
- Rankine. 1857. *Behavior of Laterally Loaded Piles, Single Piles*, ASCEJ. Soil Mechanics Foundations Divisions, Vol.97.
- Sandroni. 1977. *The Strength of London Clay in Total and Effective Stress Term*, Ph. D. Thesis, University of London.
- Schmertmann. 1967. *Modified Strain Influence Factor Diagrams for Estimating Settlement Over Sand*. Washington.
- Skempton. 1977. *Slope Stability of Cuttings in Brown London Clay ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Tokyo.
- Stark, T. D. and J. M. Duncan. 1991. *Mechanisms of Strength Loss in Stiff Clays*, "Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol 117, No.1, January pp.139-154.
- Taylor, D.W. 1948. *Fundamentals of Soil Mechanics*, Wiley. New York.
- Teng, W.C. 1962. *Foundation Design*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Terzaghi, K. 1943. *Theoritical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons. New York.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Wiley. New York.



- \_\_\_\_\_ . 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid II*, Jakarta: Erlangga.
- Vesic, A. S. 1970. *Teston Instrumented Piles, Ogeechee River Site*, JSMFD, ASCE, Vol.96, SM2, March pp.561-584.
- Whiliam, T. 1962. *Stability Constans for the Complexation of Copper Ions with Water and Soil Fulvic Acids Measured by an Ion Selective Electrode*. New Hampshire.
- Whitman, R.V. and W.A. Bailey. 1967. *Use of Computers for Slope Stability Analysis*, Proc.ASCE.
- Zainal dan Respati, Sri. 1995. *Pondasi..* Bandung : Penerbit Pusat Pengembangan Politeknik.