

EVALUASI KELONGSORAN PADA RUAS JALAN WELERI – SUKOREJO KM. 55 KAB. KENDAL

Avalanches Evaluations On Weleri – Sukorejo Road Section Km. 55 Kendal Regency

GALIEH ALFANTO, USNI APRIATMOKO, INDRASTONO DWI ATMANTO, BAMBANG PARDOYO

ABSTRAKSI

Tugas Akhir ini berisi tentang stabilitas tanah pada ruas jalan, mekanisme dan penanggulangannya di ruas jalan Weleri – Sukorejo Kab. Kendal. Jalan ini dibangun untuk mendukung pertumbuhan ekonomi di daerah Weleri dan sekitarnya. Jalan ini melintasi bukit dan lembah yang mengandung lapisan lanau dan lempung. Kelongsoran lereng terjadi di ruas jalan Weleri – Sukorejo Km. 55.

Tugas Akhir ini meliputi kondisi dimana terjadi pergerakan tanah pada lereng diakibatkan tidak stabilnya lereng, perhitungan manual stabilitas lereng dengan menggunakan metode *Fellinius* dan metode *Bishop* yang disederhanakan, analisis geoteknik dan penggunaan dinding penahan tanah dengan perkuatan *bored pile* sebagai pilihan alternatif metode perkuatan.

Analisis geoteknik menggunakan *software finite element* Plaxis. Model elastis plastis dan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dipilih sebagai model tanah. Analisis menunjukkan bahwa penanggulangan paling optimum kelongsoran ini adalah memasang dinding penahan tanah dikombinasikan dengan perkuatan grup *bored pile* dengan diameter 1 meter yang dimodelkan dengan elemen *elastic-plastic beam*. Dengan menggunakan dinding penahan tanah dikombinasikan dengan perkuatan grup *bored pile*, Faktor Keamanan lereng minimum menjadi meningkat dan mencapai 1,562.

Kata kunci : longsor, stabilitas lereng, *fellinius, bishop, Plaxis, dinding penahan tanah, bored pile*.

ABSTRACT

This undergraduate thesis is about the stability of slopes on Weleri roads, mechanisms and mitigation in Weleri – Sukorejo roads, Kendal Regency. The road was built to support economic growth in Weleri and its surroundings. The road across the hills and valleys that contain clay shale. Catastrophic landslide and slope occurs in Weleri – Sukorejo roads Km. 55, Kendal Regency.

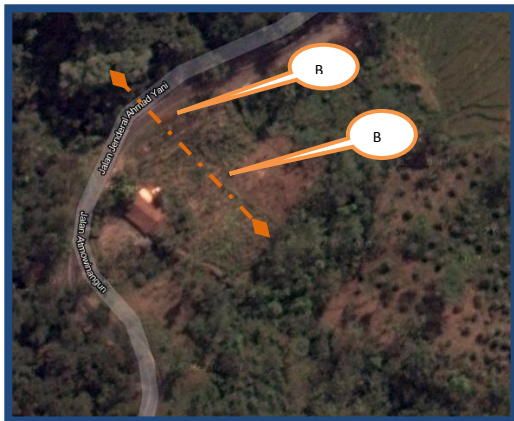
This undergraduate thesis involves conditions which the motions of the soil on the slope because of slope unstability, manual calculation slope stability with Fellinius methods and Simplified Bishop methods, geotechnical analysis and the use of retaining wall with bored pile reinforcement as an alternative method of reinforcement.

Geotechnical analysis using Plaxis finite element software. Plastic and elastic model of Mohr-Coulomb failure criterion was chosen as a model soil. Analysis showed that the most optimum avalanche mitigation is to install a retaining wall combine with group of bored pile reinforcement with a diameter of 1 meter which is modeled with elastic-plastic beam elements. By using retaining wall combine with geoup of bored pile reinforcement, minimum slope safety factor beincreased and reached 1.562.

Key word : *landslides, slope stability, fellinius, bishop, Plaxis, retaining wall, bored pile.*

PENDAHULUAN

Ruas jalan Weleri – Sukorejo merupakan jalur alternatif yang menghubungkan Kota Kendal dengan Kota Temanggung. Pada ruas jalan Weleri – Sukorejo Kab. Kendal terdapat daerah yang rawan longsor yang disebabkan oleh tidak stabilnya lereng badan jalan. Tidak stabilnya lereng badan jalan dapat mempengaruhi kinerja dari jalan tersebut sehingga tidak dapat melaksanakan fungsinya sesuai dengan semestinya. Telah terjadi kelongsoran tanah pada ruas jalan Weleri – Sukorejo yang memakan setengah badan jalan yang sangat mengganggu aktifitas warga setempat khususnya dan pengguna jalan umumnya. Apabila ruas jalan ini tidak segera ditangani maka akan menghambat kegiatan ekonomi dan pendidikan.



Gambar Tampak Atas Daerah Kelongsoran



Gambar Situasi Kelongsoran Jalan

Penanganan yang sudah dilaksanakan pada lokasi terjadinya longsor tersebut adalah membuat dinding penahan tanah yang terbuat dari pasangan batu kali dengan bronjong yang terbukti tidak dapat menanggulangi terjadinya longsor. Oleh

karena itu perlu diadakan evaluasi terhadap kondisi lereng tersebut.

Maksud penulisan Tugas Akhir dengan judul “Evaluasi Kelongsoran pada ruas Jalan Weleri – Sukorejo Km. 55 Kab. Kendal” adalah:

1. Mengevaluasi kelongsoran yang terjadi pada ruas jalan Weleri – Sukorejo Kab. Kendal.
2. Mencari langkah-langkah penanganan terhadap kelongsoran yang terjadi pada ruas jalan Weleri – Sukorejo Kab. Kendal.

Tujuan penulisan Tugas Akhir dengan judul **Evaluasi Kelongsoran pada ruas Jalan Weleri – Sukorejo Km. 55 Kab. Kendal** adalah :

1. Memperoleh penanganan yang tepat terhadap kelongsoran yang terjadi pada ruas jalan Weleri – Sukorejo Kab. Kendal.
2. Dapat meningkatkan sarana jalan yang lancar dan aman pada ruas jalan Weleri – Sukorejo Km. 55 Kab. Kendal.

Pembatasan masalah yang akan dibahas dalam penulisan Tugas Akhir ini mencakup:

1. Analisa data Melakukan interpretasi terhadap data-data lapangan dari laboratorium dan pembebanan dari struktur perkerasan jalan yang bertujuan untuk keperluan input simulasi.
2. Simulasi dan pembahasan
Mencakup simulasi kelongsoran dengan menggunakan program Plaxis V.8. dan ditinjau pergerakan tanah yang terjadi.
3. Kondisi dan batasan pada proses simulasi :
 - a. Pemodelan pada Plaxis terbatas pada daerah yang dilakukan pengukuran topografi dan dimodelkan secara dua dimensi.
 - b. Dalam analisis, pengaruh pergerakan tanah akibat gempa tidak diperhitungkan.

- c. Dalam simulasi dengan Plaxis, tanah diasumsikan sebagai model Mohr - Coulomb dengan lima parameter input utama: ϕ (phi = sudut geser dalam tanah), c (kohesi), γ (berat jenis material tanah dalam kondisi basah maupun kering), k (koefisien permeabilitas) dan E (modulus elastisitas).
4. Evaluasi
Mengevaluasi terjadinya longsoran yang mengakibatkan terjadinya kegagalan struktur konstruksi bangunan.
5. Alternatif penanganan
Menganalisa alternatif penanganan yang mungkin dapat dilakukan terhadap permasalahan yang terjadi.

STUDI PUSTAKA

PERSOALAN MEKANIKA TANAH

Secara garis besar beberapa persoalan tanah diklasifikasikan sebagai berikut :

- A. Hal keseimbangan atau stabilitas.
- B. Deformasi, dalam keadaan plastis atau elastis.
- C. Drainase, menyangkut hal deformasi dan stabilitas

SIFAT PENTING TANAH

Sifat tanah yang perlu diperhatikan untuk sebuah proyek tergantung pada jenis/fungsi proyek. Sesuai dengan sifat-sifatnya, penting diketahui tipe proyek yang dilaksanakan.

Adapun sifat-sifatnya antara lain :

1. Permeabilitas (*Permeability*)
2. Konsolidasi (*Consolidation*)
3. Tegangan geser (*Shear Strength*)

PARAMETER TANAH

Dalam mendesain bangunan geoteknik, diperlukan data-data tanah yang mempresentasikan keadaan lapangan. Pengujian laboratorium dan pengambilan sampel tanah tidak dilakukan pada seluruh lokasi namun ditempatkan di lokasi-lokasi kritis yang memungkinkan dan dianggap mewakili kondisi sebenarnya.

Klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun

beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain :

1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur
2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian
 - a. Sistem klasifikasi AASHTO
 - b. Sistem klasifikasi *Unified*

TEORI KELONGSORAN

Kelongsoran (*land slide*) khususnya untuk tanah merupakan perpindahan massa tanah dari kedudukan semula akibat pengaruh gravitasi sehingga terpisah dari massa yang mantap, dimana perpindahan ini bisa diakibatkan oleh liquefaksi dari pengaruh gempa bumi. Penyebab lain adalah sifat tanah yang mengandung mineral yang mampu kembang susut seperti lempung dan lanau yang sering kali dalam keadaan retak-retak atau bercelah, sehingga tekanan air pori dapat membahayakan stabilitasnya. Selain itu bisa diakibatkan oleh pengaruh tipe perlapisan khusus misalnya antara pasir dan lempung, tekanan beban yang berlebihan pada kepala lereng atau pemotongan kaki lereng dan dalam beberapa kasus struktur tanah umumnya diperlemah oleh proses fisika dan kimia.

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada lereng yang miring ini disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan bangunan seperti, jalan, jembatan, urugan tanah, saluran dan lain-lain. Umumnya analisis ini sering digunakan dalam pengecekan keamanan dari lereng alam, lereng galian dan lereng urugan tanah.

Analisis stabilitas lereng tidaklah mudah karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lain. Terzaghi (1950) membagi penyebab longsoran terdiri dari akibat pengaruh dari dalam (*internal effect*) dan pengaruh dari luar (*external effect*). Pengaruh luar yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Contohnya, akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau

memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam yaitu longsoran yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori di dalam lereng.

Untuk mempermudah pengenalan tipe gerak tanah dan membantu dalam menentukan penyebab serta cara penanggulangannya maka perlu adanya pengklasifikasian tanah berdasarkan material yang bergerak, jenis gerakan dan mekanismenya. Adapun macam-macam gerakan tanah yaitu:

1. Aliran cepat (*Rapid Flowage*)
2. Amblesan (*subsidence*)
3. Runtuhan
4. Longsoran

Faktor-faktor penyebab kelongsoran secara garis besar dibagi menjadi dua, yaitu akibat pengaruh luar (*external effect*) dan akibat pengaruh dalam (*internal effect*).

STABILITAS LERENG (*Slope Stability*)

Permukaan tanah yang tidak datar, yaitu memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horisontal dapat menyebabkan komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan bergerak ke arah bawah. Bila komponen berat tanah tersebut cukup besar kelongsoran tanah dapat terjadi. Dengan kata lain, gaya dorong (*driving force*) melampaui gaya yang berlawanan dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor.

Dalam setiap kasus, tanah yang tidak datar akan menghasilkan komponen gravitasi dari berat yang cenderung menggerakkan massa tanah dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Rembesan dapat merupakan pertimbangan yang penting dalam bergeraknya tanah apabila terdapat air. Gaya – gaya gempa kadang – kadang juga penting dalam analisis stabilitas. Beberapa gaya ini menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan.

Kelongsoran pada lereng umumnya terjadi dalam suatu bidang lengkung. Dalam perhitungan stabilitas, lengkung yang ini dianggap sebagai lingkaran spiral logaritmis. Bidang ini disebut bidang gelincir.

Stabilitas lereng (*Slope Stability*) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan

tanah mengalami keruntuhan. Dalam prakteknya, analisa stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud analisa stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial.

Bentuk umum untuk perhitungan stabilitas lereng adalah mencari angka keamanan (F_s) dengan membandingkan momen-momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja.

$$F_s = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Penggerak}} = \frac{R_c \cdot L_{AC}}{W \cdot y}$$

dimana :

- F_s = Faktor Keamanan
- W = Berat tanah yang akan longsor (KN)
- L_{AC} = Panjang Lengkungan (m)
- c = Kohesi (KN/m²)
- R = Jari-jari bidang longsor yang ditinjau
- Y = Jarak pusat berat W terhadap O (m)

Jika :

$F_s < 1$ maka lereng tidak stabil.

$F_s = 1$ maka lereng dalam keadaan kritis artinya dengan sedikit gangguan tambahan momen penggerak maka lereng menjadi tidak stabil.

$F_s > 1$ maka lereng stabil.

Untuk memperoleh angka keamanan suatu lereng, maka perlu dilakukan ‘trial and errors’ terhadap beberapa bidang longsor yang umumnya berupa busur lingkaran dan kemudian diambil nilai F_s minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis.

Secara lebih umum, faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan.
2. Faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan.

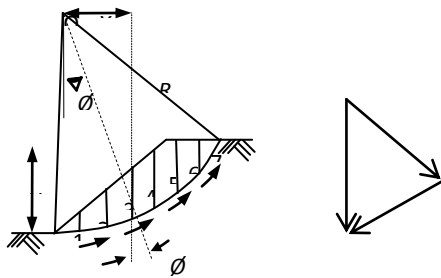
Dalam laporan tugas akhir ini, dasar-dasar teori yang dipakai untuk menyelesaikan masalah tentang stabilitas lereng dan daya dukung tanah menggunakan teori Irisan (*Method Of Slice*), metode Bishop’s (*Bishop’s Method*), dan metode *Fellinius*.

Metode Irisan (*Method of Slice*)

Metode irisan merupakan cara-cara analisa stabilitas yang telah dibahas sebelumnya hanya dapat digunakan bila tanah homogen. Bila tanah

tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanahnya memberikan bentuk aliran dan berat volume tanah yang tidak menentu, cara yang lebih cocok adalah dengan metode irisan (*method of slice*).

Gaya normal yang bekerja pada suatu titik dilingkarkan bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Dalam metode irisan ini, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan (pias) vertikal. Kemudian keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser (X_r dan X_l) dan gaya normal efektif (E_r dan E_l) disepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya geser efektif (T_i) dan resultan gaya normal efektif (N_i) yang bekerja disepanjang dasar irisannya. Pada irisannya tekanan air pori U_l dan U_r bekerja di kedua sisinya, dan tekanan air pori U_i bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui sebelumnya.



(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)

Gambar Gaya-gaya yang Bekerja pada Irisan Bidang Longsor

Metode Bishop Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Metode Bishop disederhanakan (Bishop, 1955) merupakan dasar metode bagi aplikasi program *Mira Slope* dan merupakan penyederhanaan dari metode irisan *Sliding*. Metode Bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal.

Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan, sehingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor keamanan.

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{\tan \phi'}{P}$$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)

Dimana :

σ = Tegangan normal total pada bidang longsor

u = Tekanan air pori

Untuk irisan (pias) yang ke-i, nilai $T_i = \tau a_i$, yaitu nilai geser yang berkembang pada bidang longsor untuk keseimbangan batas, sehingga :

$$T_i = \frac{c' a_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{\tan \phi'}{F}$$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)

Kondisi keseimbangan momen terhadap pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total pada dasar bidang longornya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Fk = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \theta'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)

Dimana :

Fk = Faktor Keamanan

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

ϕ' = Sudut geser dalam tanah efektif (derajat)

b_i = Lebar irisan ke-i (m)

W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)

θ_i = Sudut yang didefinisikan

u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m²)

Rasio tekanan pori (*pore pressure ratio*) didefinisikan sebagai :

$$r_u = \frac{ub}{W} = \frac{u}{\gamma h}$$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)

Dimana :

r_u = Rasio tekanan pori

u = Tekanan air pori (kN/m²)

b = Lebar irisan (m)

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

h = Tinggi irisan rata-rata (m)

Adapun bentuk persamaan Faktor Keamanan untuk analisis stabilitas lereng cara Bishop, adalah :

$$Fk = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + W_i (1 - r_u) \tan \theta'_i] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)

Persamaan faktor aman Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode lainnya seperti metode Fellinius. Lagi pula membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), karena nilai faktor aman F nampak di kedua sisi persamaanya. Akan tetapi, cara ini telah terbukti memberikan nilai faktor aman yang mendekati nilai faktor aman dari perhitungan yang dilakukan dengan cara lain yang mendekati (lebih teliti). Untuk mempermudah perhitungan dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi M_i , dengan rumus :

$$M_i = \cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi' / F)$$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)

Lokasi lingkaran *sliding* (longsor) kritis pada metode Bishop (1955), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode Fellinius lebih mudah, metode Bishop (1995) lebih disukai karena menghasilkan penyelesaian yang lebih teliti.

Dalam praktek diperlukan cara coba-coba dalam menemukan bidang longsor dengan nilai faktor aman yang terkecil. Jika bidang longsor dianggap lingkaran, maka lebih baik kalau dibuat kotak-kotak dimana tiap titik potong garis-garisnya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longornya. Pada titik-titik potongan garis yang merupakan pusat lingkaran longornya dituliskan nilai faktor aman terkecil pada titik tersebut. Kemudian setelah faktor aman terkecil pada tiap-tiap titik pada kotaknya diperoleh, digambarkan garis kontur yang menunjukkan tempat kedudukannya dari titik-titik pusat lingkaran yang mempunyai faktor aman yang sama. Dari faktor aman pada setiap kontur tentukan letak kira-kira dari pusat lingkaran yang menghasilkan faktor aman yang paling kecil.

Metode Fellinius

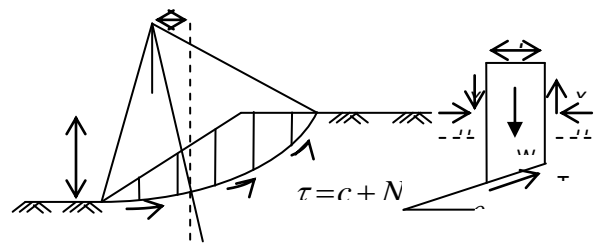
Analisis stabilitas lereng cara Fellinius (1927) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai

resultan nol pada arah tegak lurus bidang longornya. Faktor keamanan didefinisikan sebagai :

$$Fk = \frac{\text{Jumlah Momen dari Tahanan Geser Sepanjang Bidang Longsor}}{\text{Jumlah Momen dari Berat Massa Tanah yang Longsor}}$$

$$= \frac{\sum Mr}{\sum Md}$$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)



(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)

Gambar Gaya-gaya dan Asumsi Bidang pada Tiap Pias Bidang Longsor

Bila terdapat air pada lerengnya, tekanan air pori pada bidang longsor tidak berpengaruh pada M_d , karena resultante gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi antara persamaan yang sudah ada.

$$Fk = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hary Chistady Hardiyatmo)

Dimana :

Fk = Faktor kermanan

c = Kohesi tanah

ϕ = Sudut geser dalam tanah

a_i = Panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i

W_i = Berat irisan tanah ke-i

U = Tekanan air pori pada irisan ke-i

θ_i = Sudut yang didefinisikan dalam gambar

Jika terdapat gaya-gaya selain berat lereng tanahnya sendiri, seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d .

Metode Fellinius memberikan faktor aman yang relatif lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai kira-kira 5% sampai 40% tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori, walaupun analisisnya ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahannya masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkarannya (Whitman dan Baily, 1967) cara ini telah banyak digunakan prakteknya. Karena cara hitungannya yang sederhana dan kesalahan yang terjadi pada sisi yang aman.

PERBAIKAN STABILITAS LERENG

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk menambah stabilitas lereng, antara lain pemotongan lereng, pembuatan berm, menurunkan muka air tanah, pemasangan tiang-tiang, dan lain-lainnya.

Untuk mendapatkan suatu lereng yang stabil ada beberapa cara yang dapat dipakai :

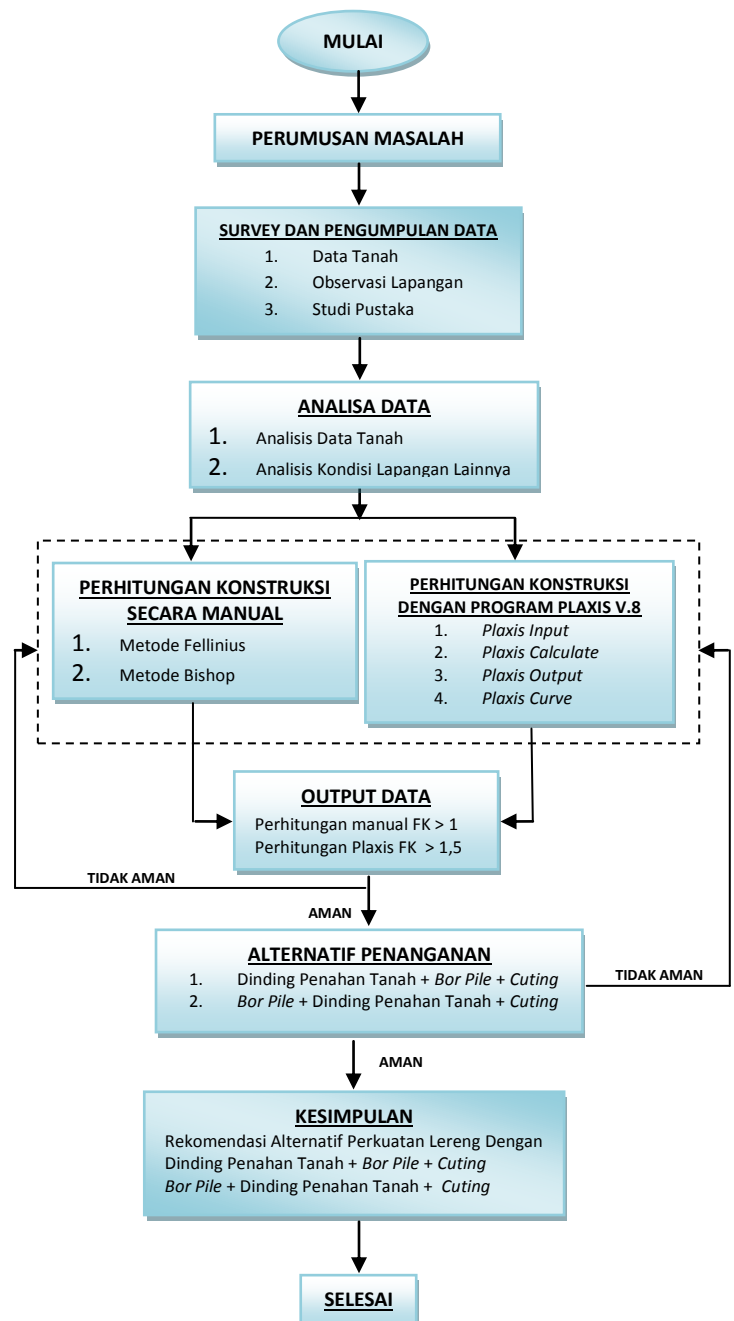
1. Memperkecil gaya atau momen penggerak dengan jalan merubah bentuk lereng.
2. Memperbesar gaya atau momen penahan dengan perkuatan tanah.

Umumnya metode perbaikan stabilitas lereng dapat dibagi dalam tiga kelompok, yaitu :

1. Metode geometri, yaitu perbaikan lereng dengan cara merubah geometri lereng.
2. Metode hidrologi, yaitu dengan cara menurunkan muka air tanah atau menurunkan kadar air tanah pada lereng
3. Metode metode kimia dan mekanis, dengan cara grouting semen untuk menambah kuat geser tanah atau memasang bahan tertentu (tiang) didalam tanah.

ALUR ANALISA

Dalam analisis geoteknik pada Perkuatan Longsoran Pada Ruas Jalan Weleri – Sukorejo Kabupaten Kendal ini melalui beberapa tahapan. Alur dari tahapan tersebut dapat dilihat pada Bagan Alir Penyusunan (flowcart) analisa.



Bagan Alir Penyusunan Tugas Akhir

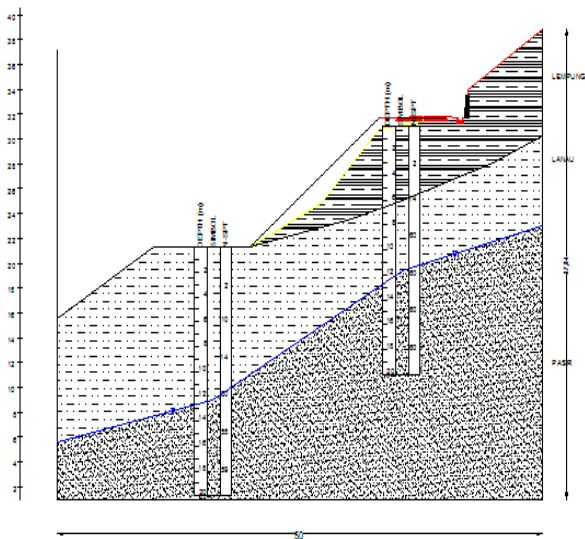
ANALISA DATA

Penyelidikan tanah dilakukan dengan menggunakan bor log dengan kadalaman 20 meter. Pemilihan lokasi penyelidikan tanah didasarkan pada lokasi yang memiliki lereng yang relatif tinggi dan rawan terjadi kelongsoran.

Stratigrafi dan Profil Tanah yang Mewakili

Stratigrafi tanah yaitu penggambaran lapisan tanah yang dibuat berdasarkan hasil pengeboran dan interpretasi hasil N-SPT. Tujuan dilakukan stratigrafi yaitu untuk mengetahui perkiraan pelapisan tanah yang berguna untuk keperluan desain, selain itu dapat diketahui lokasi yang memiliki nilai kekuatan terendah dan digunakan sebagai perencanaan konservatif desain profil tanah yang mewakili.

Stratigrafi dilakukan dengan melakukan penggambaran lapisan tanah berdasarkan kesamaan data pada lapisan tertentu yang mengacu pada data N-SPT.



Gambar Stratifikasi Tanah

ANALISIS KELONGSORAN SECARA MANUAL

Dalam analisis kestabilan lereng secara manual digunakan metode Fellenius dan Bishop.

Tabel Rekapitulasi Data Tanah

NO.	Jenis Lapisan Tanah	Berat Isi Tanah (γ_b)=	Berat Isi Celup Tanah (γ_{sub})=	Kohe si	Sudut Geser ($^\circ$)	Keterangan
		$(1+w) \cdot \gamma_d$ (gr/cm ³)	$\gamma_w \cdot (G-1)/(1+e)$ (gr/cm ³)			
1	Lempung	1,634	1,193	0,12	13	Diatas Muka Air
2	Lanau	1,759	1,554	0,05	29	Diatas Muka Air
3	Pasir	1,763	1,575	0,08	30	Dibawah MAT

Dari hasil perhitungan manual didapatkan faktor keamanan untuk :

1. Metode Fellenius = 0,982
2. Metode Bishop = 0,971

PENANGANAN KELONGSORAN

Dengan diperolehnya penampang melintang lapisan tanah dari SPT dan penyelidikan laboratorium, maka dapat diketahui parameter tanah masing-masing lapisan tersebut untuk keperluan simulasi kelongsoran dengan program **Plaxis V 8**. **Plaxis V.8** adalah program analisa geoteknik, terutama untuk analisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan dianalisa memungkinkan untuk diinput dengan cukup teliti. Selain itu **Plaxis V.8** menyediakan berbagai analisa tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktorkeamanan lereng dan lain-lain. Untuk melakukan analisis dari penampang melintang lereng daerah Weleri, digunakan metode elemen hingga dengan kondisi *plane strain* (regangan bidang). Model *plane strain* digunakan dengan asumsi bahwa sepanjang sumbu potongan melintang lereng relatif sama dan

peralihan dalam arah tegak lurus potongan tersebut dianggap tidak terjadi.

Penentuan Parameter Tanah

Perilaku tanah dan batuan dibawah beban umumnya bersifat non-linier. Perilaku ini dapat dimodelkan dengan berbagai persamaan, yaitu model *Mohr Coulomb*, *Hardening Soil Model*, *Soft Soil Model*, dan *Soft Soil Creep Model*. Pada analisis ini digunakan model *Mohr-Coulomb* yang memerlukan 5 buah parameter :

1. Kohesi (c)
2. Sudut geser dalam (ϕ)
3. Modulus Young (E_{ref})
4. *Poisson Ratio* (ν)
5. Berat isi tanah kering (γ_{dry})
6. Berat isi tanah jenuh air (γ_{sat})
7. Permeabilitas (k)

Nilai nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) didapat dari hasil pengujian tanah *direct shear* (geser langsung), dikarenakan elemen tanah telah mengalami deformasi jauh melewati tegangan puncak sehingga tegangan yang tersisa adalah tegangan sisa (*residual strength*). Dalam hal ini kuat geser yang representatif adalah kuat geser residual. Sedangkan modulus *Young* (E_{ref}) didapat dari pengujian *Unconfined Compression Test*. Nilai *Poisson's ratio* untuk tanah lempung adalah berkisar antara 0,4-0,5. Sedangkan nilai sudut dilatansi (ψ) = 0° , untuk nilai sudut geser kurang dari 30° . Pada table 4.3 diberikan penjelasan mengenai parameter-parameter tanah yang digunakan pada analisa stabilitas lereng.

Tabel Parameter Desain Potongan Melintang

Tabel Material Sets					
Properties	Lapisan	Lempung	Lanau	Pasir	Unit
Kedalaman	-	0 – 5,5	5,5 - 12	12- 20	m
Material model	Model	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	-
Type of material behaviour	Type	Undrained	Drained	Drained	-
Soil unit weight above phreatic level	γ_{unsat}	16,34	17,59	17,63	kN/m ³
Soil unit below phreatic level	γ_{sat}	28,26	33,13	33,38	kN/m ³
Permeability in horizontal direction	K_x	$8,64 \times 10^{-4}$	$8,64 \times 10^{-3}$	8,64	m/day
Permeability in vertical direction	K_y	$8,64 \times 10^{-4}$	$8,64 \times 10^{-3}$	8,64	m/day
Young's modulus (constant)	E_{ref}	30000	3000	50000	kN/m ²
Poisson's ratio	ν	0.25	0.35	0.30	-
Cohesion (constant)	c_{ref}	12.00	5.00	8.00	kN/m ²
Friction angle	ϕ	13.00	29.00	30.00	$^\circ$
Dilatancy angle	ψ	0	0	0	$^\circ$

Tabel Parameter Desain Beton

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Material Model	-	Linear elastic	-
Material Type	-	Non-poros	-
Dry Soil Weight	γ_{unsat}	24,000	kN/m ³
Young's Modulus	E_{reff}	$2,35 \times 10^7$	kN/m ²
Poisson's Ratio	ν	0,150	-

Tabel Parameter Desain *Bor Pile*

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Material Type</i>	-	<i>Elastic</i>	-
Kekakuan Normal (<i>Normal Stiffness</i>)	EA	2,355 x10 ⁷	kN/m
Kekakuan Lentur (<i>Flexural Rigidity</i>)	EI	1,472x10 ⁶	kNm ² /m
Tebal Ekuivalen (<i>Equivalent Thickness</i>)	d	0,860	m
<i>Weight</i>	w	7,700	kN/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0,150	-

Tabel Parameter Desain *Pile Cap*

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Material Type</i>	-	<i>Elastic</i>	-
Kekakuan Normal (<i>Normal Stiffness</i>)	EA	3,00 x10 ⁷	kN/m
Kekakuan Lentur (<i>Flexural Rigidity</i>)	EI	5,625x10 ⁶	kNm ² /m
Tebal Ekuivalen (<i>Equivalent Thickness</i>)	d	1,00	m
<i>Weight</i>	w	7,700	kN/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0,150	-

Tabel Parameter Desain DPT Atas

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Material Type</i>	-	<i>Elastic</i>	-
Kekakuan Normal (<i>Normal Stiffness</i>)	EA	2,00 x10 ⁷	kN/m
Kekakuan Lentur (<i>Flexural Rigidity</i>)	EI	8,33x10 ⁵	kNm ² /m
Tebal Ekuivalen (<i>Equivalent Thickness</i>)	d	0,707	m
<i>Weight</i>	w	7,700	kN/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0,150	-

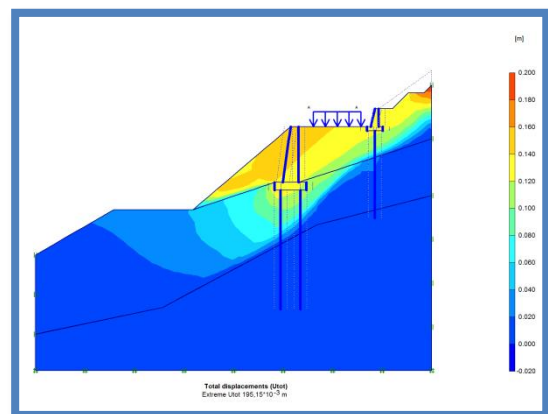
Tabel Parameter Desain DPT Bawah

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Material Type</i>	-	<i>Elastic</i>	-
Kekakuan Normal (<i>Normal Stiffness</i>)	EA	2,00 x10 ⁷	kN/m
Kekakuan Lentur (<i>Flexural Rigidity</i>)	EI	1,667x10 ⁵	kNm ² /m
Tebal Ekuivalen (<i>Equivalent Thickness</i>)	d	4,00	m
<i>Weight</i>	w	7,700	kN/m ²
<i>Poisson's Ratio</i>	ν	0,150	-

Hasil running dengan menggunakan PLAXIS diperoleh bidang longsor seperti gambar berikut:

1. Tahap DPT atas + DPT bawah + *Bor Pile* + *Cuting*

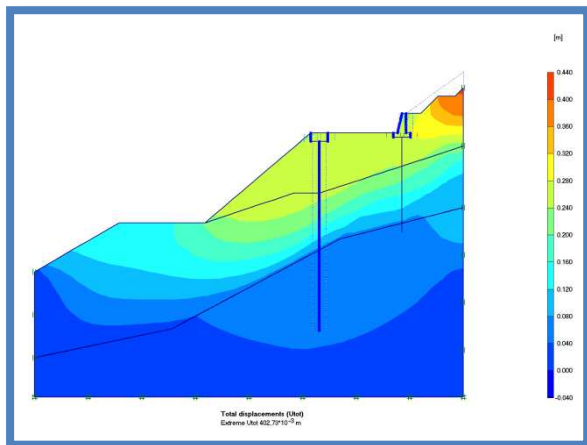
Pada tahap ini menunjukkan hasil bahwa dengan berat sendiri tanah dan penambahan beban vertikal (*traction*) dan pemasangan Dinding Penahan Tanah dengan perkuatan *bor pile* pada lereng di kedua sisi badan jalan dan pemotongan lereng, pada bagian tebing jalan mengalami pergerakan sebesar 19,52 cm dan dengan faktor keamanan sebesar 1,531.



Gambar *Total Displacement* Tahap DPT atas + DPT bawah + *Bor Pile* + *Cuting*

2. Tahap *Bor Pile* + DPT atas + *Cuting*

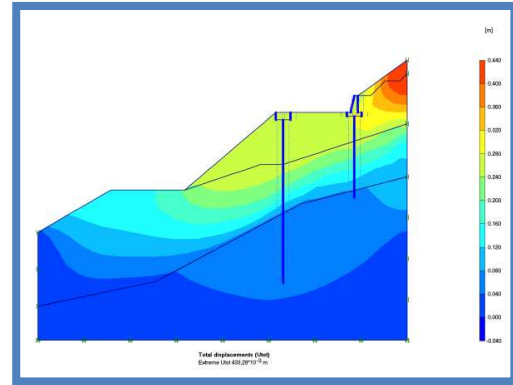
Pada tahap ini menunjukkan hasil bahwa dengan berat sendiri tanah dan penambahan beban vertikal (*traction*) dan pemasangan *Bor Pile* pada tebing sebelah kiri badan jalan dan Dinding Penahan tanah pada lereng sebelah kanan jalan dan pemotongan lereng, pada bagian tebing jalan mengalami pergerakan sebesar 40,73 cm dan dengan faktor keamanan sebesar 1,539.



Gambar ` Total Displacement Tahap *Bor Pile* + DPT atas + *Cuting*

3. Tahap *Bor Pile* + DPT atas + *Pile*

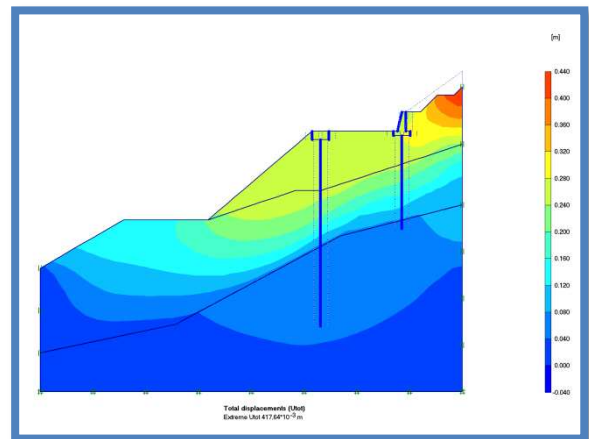
Pada tahap ini menunjukkan hasil bahwa dengan berat sendiri tanah dan penambahan beban vertikal (*traction*) dan pemasangan *Bor Pile* pada tebing sebelah kiri badan jalan dan Dinding Penahan Tanah dengan perkuatan *Bor Pile* pada lereng sebelah kanan badan jalan, pada bagian tebing jalan mengalami pergerakan sebesar 43,33 cm dan dengan faktor keamanan sebesar 1,562.



Gambar Total Displacement Tahap *Bor Pile* + DPT atas + *Pile*

4. Tahap *Bor Pile* + DPT atas + *Pile* + *Cuting*

Pada tahap ini menunjukkan hasil bahwa dengan berat sendiri tanah dan penambahan beban vertikal (*traction*) dan pemasangan *Bor Pile* pada tebing sebelah kiri badan jalan dan Dinding Penahan Tanah dengan perkuatan *Bor Pile* pada lereng sebelah kanan badan jalan dan pemotongan lereng, pada bagian tebing jalan mengalami pergerakan sebesar 41,76 cm dan dengan faktor keamanan sebesar 1,522.



Gambar Total Displacement Tahap *Bor Pile* + DPT atas + *Pile* + *Cuting*

KESIMPULAN

Kenyataan yang ada di lapangan adalah terjadi kelongsoran pada lereng badan jalan. Melalui analisa data tanah serta analisa kestabilan lereng dengan Metode Fellinius, Metode Bishop, dan program PLAXIS *Version* 8.2 serta dengan pengamatan secara langsung di lapangan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kelongsoran disebabkan karena kurang kuatnya lapisan tanah pada badan jalan dengan beban lalu-lintas yang ada, yang disertai dengan tidak kuatnya perkuatan pada lereng jalan dan drainase untuk air hujan yang menjenuhkan permukaan lereng.
2. Hasil analisa secara manual didapat nilai keamanan (FK) longsor lereng yaitu sebesar 0,982 untuk metode *Fellinius* dan 0,971 untuk metode *Bishop* yang menunjukkan nilai keamanan dibawah 1 dengan kriteria lereng tidak stabil.
3. Hasil analisa dengan program komputer (PLAXIS *Version* 8.2) untuk penanganan longsor yang dilakukan Departemen Pekerjaan Umum yaitu didapat nilai keamanan sebesar 1,049 yang mana masih dibawah nilai keamanan yang disyaratkan dalam program komputer ($FK > 1,5$). FK penanganan Departemen Pekerjaan Umum yang didapat sesuai dengan kondisi penanganan di lapangan yaitu bergelombang dan amblas pada permukaan jalan yang ada.
4. Untuk membantu penanganan longsor yang ada, kami merekomendasikan beberapa alternatif penanganan berdasarkan nilai keamanan dari program komputer (PLAXIS *Version* 8.2) yaitu :

Tabel Alternatif Penanganan

Alternatif Penanganan	Konstruksi	<i>Safety of Factor</i> (dengan beban lalu lintas)	Displacement (cm)
1	Dinding Penahan Tanah dengan perkuatan bor pile di kedua sisi badan jalan ditambah pemotongan lereng pada sisi sebelah kanan badan jalan	1,531	19,52
2	Pemasangan Bor Pile pada lereng sebelah kiri badan jalan dan Dinding Penahan Tanah pada lereng sebelah kanan badan jalan ditambah pemotongan lereng sebelah kanan badan jalan	1,539	40,73
3	Pemasangan Bor Pile pada lereng sebelah kiri badan jalan dan Dinding Penahan Tanah dengan perkuatan Bor Pile pada lereng sebelah kanan badan jalan	1,562	43,33
4	Pemasangan Bor Pile pada lereng sebelah kiri badan jalan dan Dinding Penahan Tanah dengan perkuatan Bor Pile pada lereng sebelah kanan badan jalan ditambah pemotongan lereng sebelah kanan badan jalan	1,522	41,76

SARAN

1. Perlu dilakukan pengambilan *sample* tanah yang lebih banyak (kanan, kiri ruas jalan, dan juga di luar badan jalan) untuk mendapatkan kontur lapisan tanah sekitar yang membantu keakuratan model struktur dalam pemodelan program komputer (PLAXIS *Version* 8.2).
2. Pengambilan *sample* tanah tambahan untuk pengujian laboratorium perlu dilakukan untuk mendapatkan data yang lebih representatif.
3. Analisa dengan program komputer (PLAXIS *Version* 8.2) masih memiliki kelemahan, sehingga untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat terlebih dahulu harus dibandingkan dengan metode yang lain terutama secara manual. Ataupun dengan program lain seperti *SAGE CRISP*, *ROC SCIENCE*, *Z SOIL*, *GEO-SLOPE*, dan lain sebagainya.
4. Diperlukan ketelitian dalam memasukkan data-data input karena kesalahan dalam input data akan berakibat fatal.
5. Penggunaan material konstruksi harus sesuai yang disyaratkan dan pelaksanaannya harus sesuai dengan bestek.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahan-bahan Mata Kuliah atau Buku Ajar Mekanika Tanah 1 dan 2, UNDIP.
- Bahan-bahan Mata Kuliah atau Buku Ajar Rekayasa Pondasi 1 dan 2, UNDIP.
- Bahan-bahan Mata Kuliah atau Buku Ajar Stabilisasi Tanah, UNDIP.
- Kh, V Sunggono, 1995, *Buku Teknik Sipil*, Nova, Bandung.
- <http://Klastik.wordpress.com>
- Das, Braja M, 1998, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M, 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2006, *Teknik Pondasi I*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2007, *Mekanika Tanah 2*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Djojonegoro, Wardiman, 1997, *Rekayasa Pondasi I (Konstruksi Penahan Tanah)*, Gunadarma, Jakarta.
- Djojonegoro, Wardiman, 1997, *Rekayasa Fundasi II (Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam)*, Gunadarma, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Petunjuk Perencanaan Penanggulangan Longsoran*, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta.
- Terzaghi, Karl, Peck, B., Ralph, 1991, *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid-2*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Brinkgreve, R.B.J. and Vermeer, P.A, 1998, *PLAXIS Version 8.2*, PLAXIS B.V and University Of Stuttgart, A.A. Balkema / Rotterdam / Brookfield.