

**PERKUATAN LERENG PADA MENARA SUTT STA 19 +255
JALAN TOL SEMARANG – SOLO SEKSI TINALUN – LEMAH IRENG**

Hendra Sugih Arjaya, Elmi Besty Pratiwi

Ir Siti Hardiyati SP1.MT, Ir Indrastono DA, M.Ing

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239

Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Tugas Akhir Perkuatan Lereng Pada Menara SUTT Sta 19 +255 Jalan Tol Semarang - Solo Seksi Tinalun - Lemah Ireng membahas analisa stabilitas lereng pada proyek Jalan Tol tersebut. Efek pembangunan jalan tol menyebabkan lereng pada STA 19+255 di sisi menara SUTT memiliki daerah topografi dengan ketinggian 61 meter dan sangat curam. Diperkirakan dengan curah hujan yang tinggi dengan posisi lapisan batu lempung yang searah dengan kemiringan lereng menjadikan lokasi tersebut rawan longsor.

Simulasi kelongsoran untuk menentukan angka keamanan kondisi lereng yang terbentuk dengan dua cara, yaitu: manual (Fellenius) dan dengan software komputer (PLAXIS V 8.2). Pembuatan model topografi lereng sesuai dengan kondisi lapangan yang ada Jenis lapisan tanah ditentukan dengan stratifikasi menggunakan data boring dan nilai SPT yang ada.

Analisa penanganan awal direncanakan dengan membuat terasering dengan kemiringan 60° dan melakukan cutting pada puncak lereng. Selanjutnya lereng tersebut diberi perkuatan menggunakan proteksi bored pile dengan diameter 0,6 meter. Perkuatan dibuat di sisi menara SUTT dan di dasar lereng. Kedalaman bored pile pada sisi menara 30 m terukur dari kaki menara SUTT mengelilingi menara SUTT sehingga terbentuk seperti sheet pile. Kedalaman bored pile pada dasar lereng 8 meter dipasang berderet pada sisi jalan tol saja. Angka aman yang didapat dari alternatif penanganan tersebut dihitung dan diperbandingkan hasilnya dengan cara manual (Fellenius) dan software komputer (PLAXIS V 8.2).

Nilai angka aman (safety factor) yang dihitung dengan PLAXIS sebelum penanganan sebesar 1,48. Setelah dilakukan alternatif penanganan nilai angka aman (safety factor) naik menjadi 1,62. Hasil perhitungan angka aman yang didapat dari hasil perhitungan manual (Fellenius) tidak jauh berbeda dengan perhitungan dengan software komputer (PLAXIS V 8.2). Pada kondisi sebelum penanganan sebesar 1,36. Setelah diberi proteksi bored pile nilai angka aman (safety factor) naik menjadi 1,54. Rasio perbandingan sebelum dan setelah penanganan menghasilkan rasio sekitar 0,16.

Dari Analisa Rencana Anggaran Biaya jumlah biaya yang dibutuhkan untuk pembuatan proteksi Perkuatan Lereng Pada Menara SUTT Sta 19 +255 Jalan Tol Semarang - Solo Seksi Tinalun - Lemah Ireng sebesar Rp 4.037.000.000,00 (Empat Miliar Tiga Puluh Tujuh Juta Rupiah).

Kata Kunci: longsor, analisa, stabilitas lereng, angka aman (*safety factor*), *bored pile*

ABSTRACT

The Final Task Slope Reinforcement on SUTT Tower at Sta 19 +255 on Tinalun –Lemah Ireng Section of Semarang – Solo Toll Road describe analysis slope stability in Semarang – Solo toll road project. Development toll road project make slopes at STA 19 +225 beside SUTT tower has a topography with high 61 meter and very step. High rainfall with clay stone layer position feared can make the slope the site vulnerable to landslides. Avalanche simulations to determine the condition of existing safety factor and areas of landslides in two ways: manual (Fellenius) and computer software (PLAXIS V 8.2). Modeling topographic slope in accordance with the existing field conditions soil type was determined by using data stratification boring and the value of existing SPT. Analysis of first treatment planned make terracing with tilt 60° and cutting on peak slopes. Then the slopes gave protection bored piles with a diameter of 0,6 meters. Retrofitting is made on the side of the SUTT tower and at the base of the slopes. The depth of the bored pile on the side of the tower 30 meters from base SUTT tower around SUTT tower like sheet pile. While the depth of bored pile on the base slopes 8 meters listed only in line side toll road. Figures obtained from alternative safe handling is calculated and compared the results with manual (Fellenius) and computer software (PLAXIS V 8.2). The numerical value of safe (safety factor) with PLAXIS before treatment 1,48. After treatment which is calculated of 1.62. Safe rate calculation results obtained from the calculation manual (Fellenius) is not much

different from the calculations with computer software (PLAXIS V 8.2). In condition before treatment is 1,36. After given bored pile protection numerical value of safe (safety factor) increase to 1,54. Ratio increasing safety factor before and after treatment around 0,16.

For Analysis estimated cost planning total cost need for make protection Slope Reinforcement on SUTT Tower at Sta 19 +255 on Tinalun –Lemah Ireng Section of Semarang – Solo Toll Road Rp 4.037.000.000,00 (Four Billion Thirty Seven Milion Rupiah).

Keywords: avalanche, analysis, slope stability, safe rate (safety factor), bored pile.

Latar Belakang

Proyek Jalan Tol Semarang - Solo merupakan pembangunan yang dilakukan untuk memperlancar arus lalu lintas antara kota Semarang dan Solo. Namun terjadi beberapa longsor di beberapa lokasi pembangunan jalan tol tersebut. Seperti yang terjadi pada Sta 19 + 255, kelongsoran tersebut terjadi di sekitar SUTT tegangan tinggi. Sehingga perlu dicari pemecahan untuk mengatasi kelongsoran tersebut. Harus dilakukan evaluasi dan analisis geoteknik di lokasi tersebut. Dari evaluasi dan analisi tersebut dapat diketahui metode yang baik untuk menanggulangi kelongsoran tersebut.

Perumusan Masalah

Longsor atau keruntuhan dapat disebabkan oleh tingkat kerentanan tanah dan kecuraman dari lokasi tersebut. Masalah yang akan dibahas pada penelitian ini hanya sebatas pada evaluasi dan analisis kelongsoran pada daerah tersebut serta pemecahannya.

Tinjauan Umum

Kelongsoran merupakan proses pemindahan massa tanah dengan arah miring yang disebabkan *factor* yang mempengaruhi kelongsoran dimana secara visualisasi terjadi longsor-longsor kecil berupa jatuhnya tanah di lereng apakah longsor termasuk kelongsoran rotasi, kelongsoran translasi, dan kelongsoran gabungan.

Faktor dalam meliputi masuknya air melalui rembesan permukaan tanah yang dapat melarutkan bahan pengikat seperti pasir dan air yang menyebabkan kedua material tidak terikat, berpengaruh

pada nilai kekuatan gesernya berkurang dan massa tanah akan bertambah karena air masuk pada pori-pori tanah dimana beban pada kepala lereng akan besar dan mengalami perlemahan pada kaki lereng. Faktor luar yaitu adanya penambahan beban pilar jembatan di atas tanah.

Penyelidikan laborat sangat perlu untuk menganalisa parameter-parameter tanah yang dalam hal ini antara lain adalah komposisi tanah (*soil properties*), sifat sifat teknik tanah (*soil engineering*). Penyelidikan di lapangan yaitu test sondir untuk mendapatkan kekuatan tanah dan boring untuk mengetahui kedalaman tanah keras serta lapisan lapisan kedalaman tanah.

Perbaikan Tanah, meliputi:

- Stabilisasi Tanah (*Soil Stabilization*)

Stabilisasi tanah adalah suatu cara yang ditempuh untuk memperbaiki mutu tanah serta meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah, penggunaan stabilitas baik secara mekanis maupun kimia.

- Dinding Penahan Tanah (*Retaining Wall*)

Dinding penahan tanah mempunyai fungsi untuk menahan longsohnya tanah. Untuk mengatasi tekanan tanah aktif dari tanah.

- *Bored Pile*

Pondasi *bored pile* terdiri dari berbagai macam konstruksi, sering digunakan sebagai salah satu metode dinding penahan tanah sementara atau permanen yang efisien. *Bore Pile* dengan diameter yang kecil maupun dapat digunakan sebagai dinding penahan tanah yang ekonomis dan dapat membantu untuk mencegah kelongsoran dan membantu pergerakan tanah pada lereng akibat adanya tekanan lateral tanah serta penambahan beban pilar di atasnya.

- Stabilitas Lereng

Adapun maksud analisa stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. 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 (*Bhisop's Method*) dan metode *Fellenius*.

Teori Perhitungan Kelongsoran:

Keruntuhan terjadi dikarena adanya 2 permukaan tanah dengan perbedaan ketinggian yang terdapat gaya pendorong yang bekerja mendorong ke bawah yaitu *massa* tanah dan berat struktur dan nantinya gaya tersebut akan ditahan gaya penahan oleh lapisan bawahnya yang bekerja ke atas berupa gaya gesekan, lekatan dan kekuatan geser tanah. Maka keruntuhan terjadi bila gaya pendorong lebih besar dari gaya penahan yang menyebabkan tanah menjadi tidak stabil. Penyelesaian kelongsoran ini diselesaikan beberapa cara yaitu teori metode irisan (*Method of Slice*), metode Bishop's (*Bishop's Method*) dan Metode *Fellenius*.

1. Metode irisan (*Method of Slice*)

Perhitungan tersebut digunakan pada jenis yang homogen dengan aliran rembesan di dalam tanah dan berat massa tanah tidak menentu, dimana massa tanah dipecah beberapa pias vertical. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser, gaya normal efektif, resultan gaya geser efektif dan resultan gaya normal efektif bekerja disepanjang dasar irisannya.

2. Metode Bishop's (*Bishop's Method*)

Metode Bishop's menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertical 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 karena membutuhkan cara coba-coba tetapi hasil lebih akurat

3. Metode *Fellenius*

Analisa ini di tinjau tegangan total yaitu gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsohnya. Metode *Fellenius* memberikan faktor aman yang relatif lebih rendah dari cara hitungan lainnya. Batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai kirakira 5-40% tergantung dari faktor aman,

Analisa dan Pembahasan

Analisis kelongsoran di hitung dengan dua cara, yaitu:

1. Perhitungan Faktor Keamanan (Fk) Longsor

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam Tugas Akhir ini, dasar-dasar teori yang dipakai untuk menyelesaikan masalah tentang stabilitas longsor dan daya dukung tanah menggunakan Metode *Fellenius*.

2. Analisa Kelongsoran Menggunakan Program Komputer PLAXIS

PLAXIS (*Finite Element Code For Soil and Rock Analysis*) adalah program pemodelan dan *postprocessing* metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil. PLAXIS *Version 8.2* menyediakan berbagai analisa teknik tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, dan lain-lain. Program ini dirancang untuk dapat melakukan pembuatan geometri yang akan dianalisa.

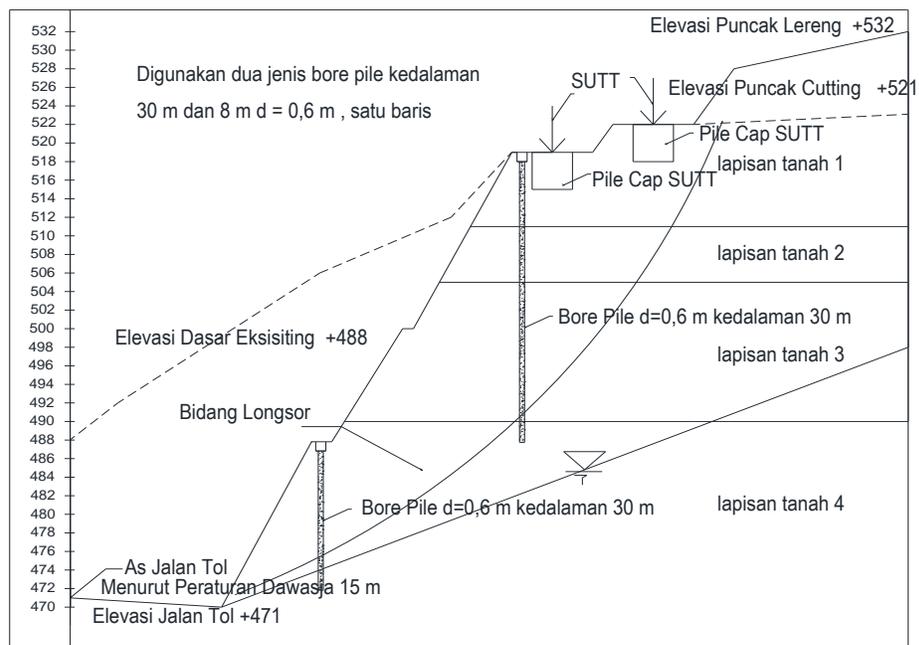
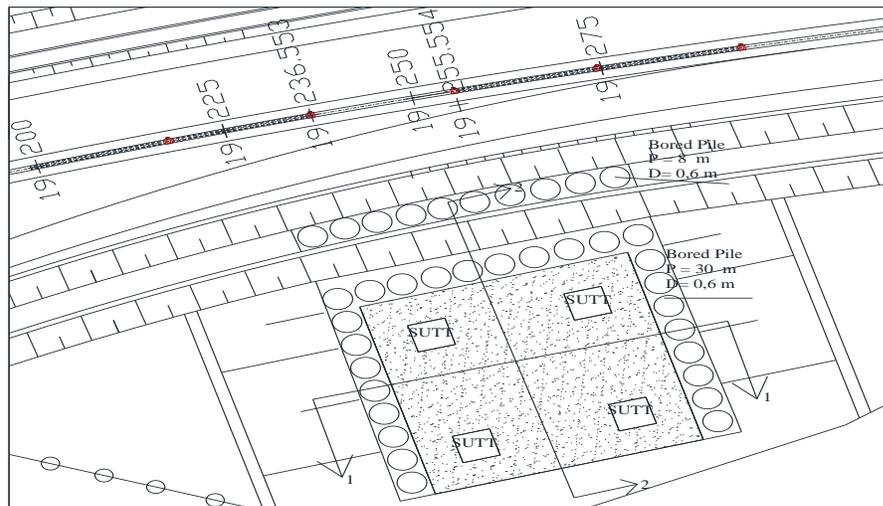
Perbandingan Analisa Kelongsoran Manual dengan Menggunakan Program Komputer PLAXIS

Hasil Perbandingan Angka Keamanan Pada Kondisi Melintang

| <i>Phase</i> | <i>Identification</i> | Faktor Keamanan | | <i>Displacement</i> (m) |
|--------------|------------------------|------------------------|---------------|----------------------------|
| | | <i>Fellenius</i> | <i>Plaxis</i> | |
| 1 | <i>Gravity Loading</i> | - | - | - |
| 2 | Konsolidasi 1 | - | - | $881,41 \times 10^{-3}$ |
| 3 | SF 1 | 1,36 | 1,48 | - |
| 4 | SF 1 | 1,41 | | |
| 5 | SF 1 | 1,38 | | |

Perencanaan Konstruksi

Penggunaan perkuatan *bored pile* merupakan solusi yang tepat dalam menangani kelongsoran pada sta 19+255. Pemasangan konstruksi tersebut berdasarkan daerah kritis yang terdapat pada program PLAXIS. Panjang dari pondasi tersebut harus menembus bidang longsor agar faktor keamanan dapat meningkat dikarenakan pemasangan konstruksi *bored pile* dan konstruksi tersebut melingkari bangunan SUTT dengan panjang dan lebar sesuai dengan kondisi sekitar.



Dari perhitungan perencanaan konstruksi dengan cara PLAXIS dan *Fellenius* di dapat nilai angka aman sebagai berikut:

Tabel Peningkatan Angka Aman dengan Proteksi

| NO | Kondisi | Angka Aman | |
|-------|--------------------|------------------|--------|
| | | <i>Fellenius</i> | PLAXIS |
| 1 | Sebelum Penanganan | 1,36 | 1,48 |
| 2 | Setelah Penanganan | 1,54 | 1,62 |
| Rasio | | 0,18 | 0,14 |

Perencanaan Tulangan

1. Tulangan Utama

Penentuan tulangan berdasarkan buku istimewa dipohusodo yaitu tulangan pokok 14D32 dan D tulangan spiral 12 mm

Pengecekan syarat tulangan pokok yaitu

Syarat rasio tulangan pokok yaitu $0,01 < \rho_g < 0,08$

$$\begin{aligned} \text{jarak tulangan pokok } dB &= 1,5 \times D \\ &= 1,5 \times 32 = 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

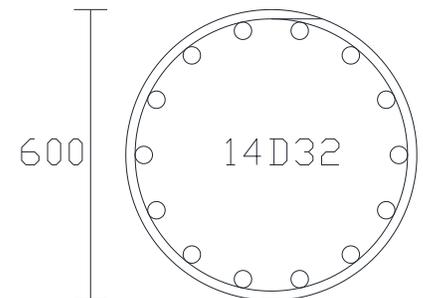
Mengecek kekuatan 1 tiang bored pile

yaitu kuat rencana > kuat dibutuhkan

$$\phi P_n > P_u$$

$$0,85 (\phi \times 0,85 \times f_c (A_g - A_{st}) + F_y \times A_{st}) > (\text{hasil PLAXIS})$$

$$9792,85 \text{ kN} > 5854 \text{ kN}$$



2. Tulangan Spiral

Syarat $V_u > \phi V_c$

dimana V_u = kapasitas geser yg bekerja (148,45 kN)

V_c = kapasitas geser beton

$$= 1/6 \sqrt{F_c} b d$$

$$= 236,98 \text{ kN}$$

(maka memerlukan tulangan sengkang)

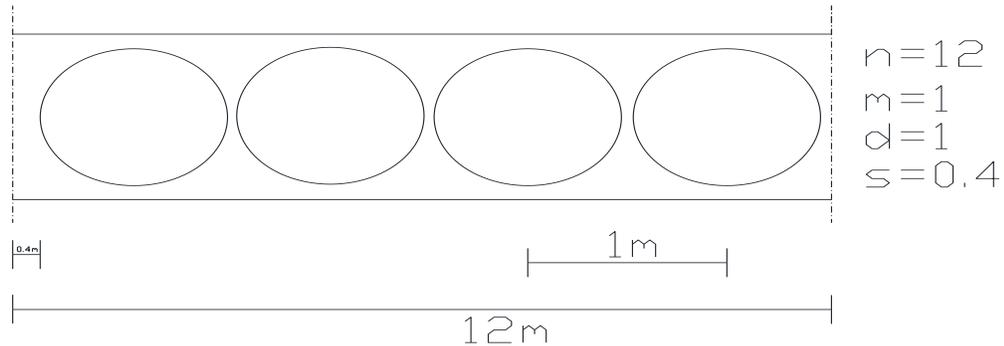
Berdasarkan perhitungan lebih lanjut maka diperoleh :

penulangan spiral D12 dengan spasi 60 mm sepanjang 8 meter di Bagian ujung karena memiliki gaya lintang paling besar.

Sedangkan pada sepanjang 22 meter dipasang tulangan spiral D12 dengan jarak 200 mm.

3. Perhitungan *Pile Cap*

- Perencanaan dianggap balok tinggi dengan syarat $L_n / D_{eff} < 5$
- Berdasarkan perhitungan maka digunakan tulangan horisontal dan vertikal dengan D12 - 20 mm
- Pemasangan *pile cap* sebagai berikut:



Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Tabel Rencana Anggaran Biaya

| NO. | URAIAN PEKERJAAN | SATUAN | VOLUME | JUMLAH (Rp.) | HARGA (Rp.) | KETERANGAN (Rp.) |
|------------|---|----------------|--------|-----------------|------------------|------------------------------|
| I | PEKERJAAN PERSIAPAN | | | | | Rp. 5.000.000 |
| 1 | Mobilisasi dan Demobilisasi | Ls | 1 | Rp. 3.000.000 | Rp. 3.000.000 | |
| 2 | Administrasi dan Dokumentasi | Ls | 1 | Rp. 2.000.000 | Rp. 2.000.000 | |
| II | PEKERJAAN TANAH | | | | | Rp. 992.631.302 |
| 1 | Galian Tanah Biasa | m ³ | 34923 | Rp. 27.390 | Rp. 956.540.970 | |
| 2 | Galian Struktur | m ³ | 1126 | Rp. 24.387 | Rp. 27.459.762 | |
| 3 | Tanah Diratakan dan Dipadatkan | m ³ | 337 | Rp. 25.610 | Rp. 8.630.570 | |
| III | PEKERJAAN STRUKTUR | | | | | Rp 2.672.095.512. |
| 1 | Tiang Bor Beton <i>Cast in Place</i> Dia. 60 cm | m ³ | 974 | Rp. 1.830.043 | Rp.1.782.461.882 | |
| 2 | <i>Pile Cap</i> (Beton mutu K- 350) | m ³ | 153 | Rp. 1.851.412 | Rp. 283.266.036 | |
| 3 | Baja Tulangan D 12 Ulir | Kg | 3153 | Rp. 121.213 | Rp. 382.184.590 | |
| 4 | Baja Tulangan D 32 Ulir | Kg | 1818 | Rp. 123.313 | Rp. 224.183.034 | |
| | | | | Jumlah | | Rp. 3.669.726.814 |

Tabel Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

| NO. | URAIAN PEKERJAAN | HARGA |
|--|---------------------|-------------------|
| I | PEKERJAAN PERSIAPAN | Rp. 5.000.000 |
| II | PEKERJAAN TANAH | Rp. 992.631.302 |
| III | PEKERJAAN STRUKTUR | Rp. 2.672.095.512 |
| Jumlah | | Rp. 3.669.729.814 |
| PPN 10% | | Rp. 369.729.814 |
| Total | | Rp. 4.036.453.628 |
| Dibulatkan | | Rp.4.037.000.000 |
| <p>Terbilang : Empat miliar tiga puluh juta rupiah.</p> | | |

Penutup

Kesimpulan

Kenyataan yang ada di lapangan adalah lokasi Jalan Tol Semarang – Solo, Paket V, Tinalun – Lemah Ireng pada Menara SUTT rawan longsor. Melalui analisa data tanah serta analisa kestabilan lereng dengan Metode *Fellenius* dan program *PLAXIS Version 8.2* serta dengan pengamatan secara langsung di lapangan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Jenis tanah pada lokasi kajian adalah lanau sedikit lempung (lapisan 1), lanau kelempungan (lapisan 2), pasir lempung (lapisan 3), dan batuan lempung (lapisan 4).
2. Kelongsoran disebabkan lereng yang relatif tinggi, dan curam, serta curah hujan tinggi yang menjenuhkan permukaan lereng.
3. Hasil analisa secara manual (Metode *Fellenius*) didapat nilai keamanan (FK) longsor lereng yaitu sebesar 1,36 dan hasil analisa dengan *software* (*PLAXIS Version 8.2*) didapat nilai

keamanan 1,42 (FK) Nilai faktor keamanan minimal pada PLAXIS *Version* 8.2 menggunakan standart 1,6, maka lereng dapat disimpulkan tidak aman.

4. Hasil analisa dengan program komputer (PLAXIS *Version* 8.2) untuk penanganan longsoran yang kami rencanakan sebesar 1,62 yang mana masih dibawah nilai keamanan yang disyaratkan dalam program komputer (FK > 1,6).
5. Untuk membantu penanganan longsor yang ada, kami merekomendasikan alternatif penanganan berdasarkan nilai keamanan dari program komputer (PLAXIS *Version* 8.2) yaitu dengan menambahkan *bore piled* di samping menara dengan kedalaman 30 m menembus bidang longsor, dan *bored pile* dengan kedalam 9 m di dasar bidang longsor.

Saran

1. Kurangnya data penunjang yang dibutuhkan seperti tidak adanya data sondir, *triaxial test*, serta pengujian *directshear test* hanya dilakukan pada kedalaman 5 – 10 meter. Sehingga ditemukan kesulitan dalam perencanaan kekuatan longsoran.
2. Perlu dilakukan pengambilan *sample* tanah yang lebih banyak (kanan, kiri menara SUTT) untuk mendapatkan kontur lapisan tanah sekitar yang membantu keakuratan model struktur dalam pemodelan program komputer (PLAXIS *Version* 8.2). Pengambilan sampel hanya dilakukan tepat di bawah menara SUTT, sehingga menyulitkan pembuatan model struktur dalam pemodelan program komputer (PLAXIS *Version* 8.2).
3. Pengambilan *sample* tanah tambahan untuk pengujian laboratorium perlu dilakukan untuk mendapatkan data yang lebih representatif.
4. 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.
5. Diperlukan ketelitian dalam memasukkan data-data input karena kesalahan dalam input data akan berakibat fatal.
6. Penggunaan material konstruksi harus sesuai yang disyaratkan dan pelaksanaanya 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.

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, 1992, *Mekanika Tanah 1*, Beta Offset, Yogyakarta

Hardiyatmo, Hary Christady, 1997, *Teknik Pondasi 2*, Beta Offset, Yogyakarta

Hardiyatmo, Hary Christady, 2007, *Mekanika Tanah 2*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta

Hardiyatmo, Hary Christady, 2010, *Teknik Pondasi 1*, Beta Offset, Yogyakarta.

Istimawan Dipohusodo, 1998, Struktur beton bertulang, Jakarta

Prakash, Shamsheer and Sharma, Hari D, 1990, *Pile Foundations in Engineering Practice* John Wiley & Sons, Inc, New York.

Terzaghi, Karl, Peck, B., Ralph, 1991, *Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid-2*, Penerbit Erlangga, Jakarta.