

**ANALISIS STABILITAS LERENG DAN ALTERNATIF PENANGANANNYA :
STUDI KASUS LONGSORAN PADA RUAS JALAN PRINGSURAT KM. MGL.
22+631 – 22+655 KABUPATEN TEMANGGUNG**

Apri Luriyanto, Iqbal Maulana, Sri Prabandiyani R.W.^{*)}, Indrastono Dwi Atmanto^{*)}

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

ABSTRAK

Tugas akhir ini berisi tentang stabilitas lereng dan penanggulangannya di ruas jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 - 22+655 Kabupaten Temanggung. Bentang alam di daerah Pringsurat ini merupakan pegunungan dan berbukit yang berpotensi longsor. Ruas jalan ini merupakan jalan nasional kelas II yang dibangun untuk menghubungkan kota-kota di Jawa Tengah seperti Semarang, Temanggung, Magelang dengan kota-kota di Daerah Istimewa Yogyakarta. Jalan ini melintasi perbukitan yang mengandung lapisan tanah lanau, lempung, dan berpasir. Kelongsoran terjadi pada ruas jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 – 22+655 Kabupaten Temanggung. 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 analisis dalam penulisan tugas akhir ini adalah menghitung stabilitas lereng serta memberikan solusi terhadap permasalahan yang terjadi. Analisis geoteknik dilakukan dengan dua cara, yaitu menggunakan cara manual dan menggunakan program. Analisis manual menggunakan metode menurut Whitlow (1995) untuk tanah multilayer sedangkan analisis program menggunakan software Plaxis V.8.2. Model elastis plastis dan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dipilih sebagai model tanah. Hasil analisis menunjukkan bahwa terjadi kelongsoran pada KM. MGL. 22+631 – 22+655. Untuk menangani hal tersebut dicoba dengan dua alternatif penanganan longsor yaitu dengan perkuatan Geotextile jenis BW250 Woven dan perkuatan Boored Pile, dimana kedua alternatif penanganan tersebut mampu untuk menanggulangi longsor yang dibuktikan dengan hasil nilai Safety Factor 1,4114 untuk Geotextile dan 1,4617 untuk Boored Pile.

kata kunci : *longsor, stabilitas lereng, tanah berlapis-lapis, plaxis, geotextile, boored pile*

ABSTRACT

This thesis contained about the stability of the soil and it countermeasures on roads Pringsurat KM. MGL. 22 +631 - 22 +655 District of Temanggung. Pringsurat landscape is hilly mountainous and prone to landslide. This road section is a class II national road built to connect cities in Central Java such as Semarang, Temanggung, Magelang with the

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

cities of Yogyakarta. This road crosses the hills that contain layers of silt soil, clay, and sandy. Landslide occurred on roads Pringsurat KM. MGL. 22 +631 - 22 +655 District of Temanggung. The data used in this case study is primary data and secondary data. Data collection was conducted using interviews, direct observation in the field, and method literature. Method of analysis in this thesis is to calculate the slope stability and provide solutions to the problems that occur. Geotechnical analysis done in two ways, with the manual method and the program. Manual analysis method by Whitlow (1995) for multilayer soil while the program analyzes using Plaxis software V.8.2. Model of elastic and plastic collapse of Mohr-Coulomb criterion chosen as a model soil. The analysis showed that the landslide occurred at KM. MGL. 22 +631 - 22 +655. To deal with such matters tried with two alternatives, namely the handling of avalanches with geotextile type BW250 Woven and boored Pile, where the two alternatives are able to cope with the handling of landslides as evidenced by the results of the Safety Factor values 1.4114 and 1.4617 for Geotextile for boored Pile.

keywords: *landslides, slope stability, multilayer soil, PLAXIS, geotextile, boored pile*

PENDAHULUAN

Pringsurat adalah kecamatan di Kabupaten Temanggung, Jawa Tengah. Daerah ini terletak di jalur utama antara Semarang dengan Yogyakarta. Ruas jalan tersebut cukup vital, mengingat menghubungkan antara Semarang dengan Temanggung, Magelang, Yogyakarta, dan kota-kota kabupaten lain di Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Arus barang dan manusia yang melewati ruas tersebut cukup banyak dan rutin. Kemacetan biasa terjadi ketika tanjakan, banyak truk-truk besar yang kesulitan untuk menanjak, sehingga harus berjalan dengan sangat pelan, sementara kendaraan di belakangnya tidak dapat menyalip, mengingat jalur tersebut hanya terdapat dua lajur sehingga ketika dua arah ramai maka tidak ada kesempatan untuk menyalip truk yang berjalan amat pelan tersebut. Sehingga akumulasi beban yang diterima jalan semakin besar. Selain itu curah hujan yang tinggi memicu tanah untuk bergerak sehingga daya dukung tanah berkurang. Akibat dari masalah-masalah tersebut, ruas jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 s/d 22+655 mengalami longsor pada bahu jalan, terlihat seperti di Gambar 2, jika tidak segera diperbaiki maka bidang longsor akan meluas sampai ke badan jalan.

Maksud dari Tugas Akhir ini adalah :

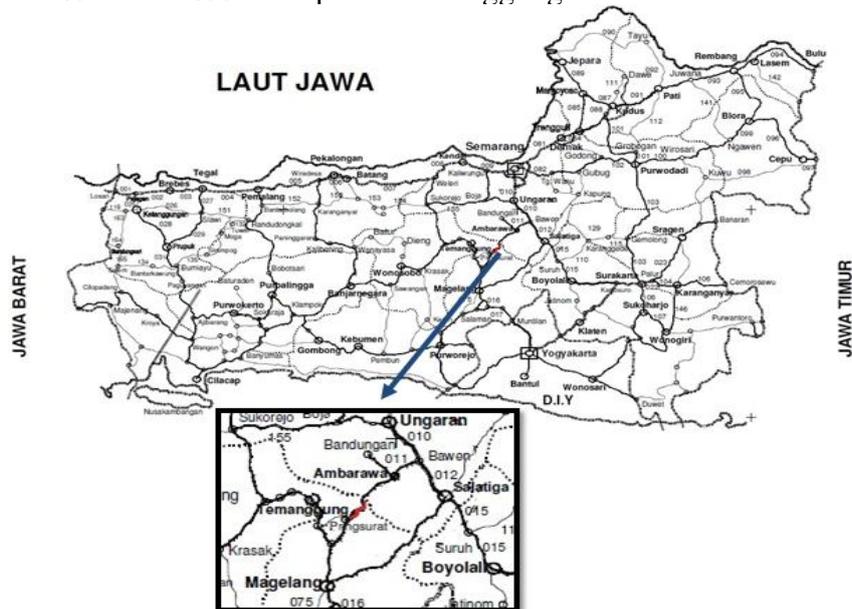
1. Mengetahui karakteristik fisik tanah pada Ruas Jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 – 22+655 Kabupaten Temanggung.
2. Melakukan analisis stabilitas lereng berdasarkan data-data yang telah diperoleh dari Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro.

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi kelongsoran yang terjadi pada lereng di ruas jalan Pringsurat tersebut.
2. Memperoleh penangan yang tepat terhadap kelongsoran yang terjadi pada lereng di ruas jalan Pringsurat tersebut.

Perkuatan longsor direncanakan menggunakan *Geotextile* dan *Bored Pile*. Dipilih alternatif penanganan longsor berdasarkan pemodelan konstruksi yang direncanakan.

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah studi kasus longoran pada Ruas Jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 – 22+655 Kabupaten Temanggung.



Gambar 1. Tampak Atas Daerah Kelongsoran



Gambar 2. Situasi Kelongsoran Jalan

LANDASAN TEORI

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 Sistem klasifikasi AASHTO
3. Klasifikasi Tanah Sistem klasifikasi Unified

Teori 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 pengklasifikasian tanah berdasar material yang bergerak, jenis gerakan dan mekanismenya. Jenis-jenis gerakan tanah yaitu aliran cepat, amblesan, runtuhan, longsor.

Jenis-Jenis Kelongsoran

1. *Rotational slide*, jika bidang longsor mempunyai bentuk seperti busur derajat, log spiral, dan bentuk lengkung yang tidak teratur. Kelongsoran ini berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen.
2. *Translation slide*, jika bidang longsor cenderung datar atau sedikit bergelombang. Terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan.
3. *Surface slide*, terjadi bila bidang gelincirnya terletak dekat dengan permukaan tanah.
4. *Deep slide*, terjadi jika bidang gelincirnya terletak jauh dibawah permukaan tanah.

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng

Secara umum faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng ada dua (2) yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal adalah faktor yang berasal dari tubuh lereng seperti material tanah pembentuk lereng, muka air tanah, kemiringan lereng, retakan pada lereng, pelapukan tanah, dan aktivitas geologi dari lereng untuk lereng alami. Sedangkan faktor eksternal adalah faktor yang berasal dari luar seperti infiltrasi air hujan, aktivitas manusia, keberadaan vegetasi, rayapan lereng, dan gempa.

Penanggulangan Kelongsoran

Banyak cara yang dilakukan dalam penanggulangan longsor agar kejadian tersebut dapat teratasi dengan baik dan tidak mengakibatkan kerugian yang sangat besar. Adapun cara yang dilakukan dalam penanggulangan longsor yaitu :

1. Stabilitas tanah
2. Pemadatan
3. Penambatan
4. Drainase

Cara Analisa Kemantapan Lereng

Secara garis besar analisis kemantapan lereng terbagi menjadi empat kelompok, yaitu:

1. Pengamatan visual
2. Menggunakan komputasi.
3. Menggunakan grafik.
4. Menggunakan *software* komputer, antara lain PLAXIS, XSTABL, RHEOSTAUB, dan lain-lain.

Dalam menganalisa stabilitas lereng harus ditentukan terlebih dahulu faktor keamanan (FK) dari lereng tersebut. Secara umum faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak longsor, seperti ditunjukkan Persamaan 1

$$Fk = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \dots\dots\dots (1)$$

1. Metode Irisan (*Method of Slices*)

Analisa stabilitas dengan menggunakan metode irisan, dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 2. Dengan AC merupakan lengkung lingkaran sebagai permukaan bidang longsor percobaan. Tanah yang berada di atas bidang longsor percobaan dibagi dalam beberapa irisan tegak. Lebar tiap-tiap irisan tidak harus sama. Perhatikan satu satuan tebal tegak lurus irisan melintang talud, gaya-gaya yang bekerja pada irisan tertentu (irisan no n) ditunjukkan dalam Gambar 3. W_n adalah berat irisan. Gaya-gaya N_r dan T_r adalah komponen tegak dan sejajar dari reaksi R. P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi-sisi irisan. Demikian juga, gaya geser yang bekerja pada sisi irisan adalah T_n dan T_{n+1} . Untuk memudahkan, tegangan air pori dianggap sama dengan nol. Gaya P_n , P_{n+1} , T_n , dan T_{n+1} adalah sulit ditentukan. Tetapi, kita dapat membuat asumsi perkiraan bahwa resultan P_n dan T_n adalah sama besar dengan resultan P_{n+1} dan T_{n+1} , dan juga garis-garis kerjanya segaris.

Untuk pengamatan keseimbangan Persamaan 2

$$N_r = W_n \cos \alpha_n \dots\dots\dots (2)$$

Gaya geser perlawanan dapat dinyatakan dengan Persamaan 3 berikut :

$$T_r = \tau_d(\Delta L) = \frac{\tau_f(\Delta L_n)}{F_s}$$

$$= \frac{1}{F_s} [c + \sigma \tan \phi] \Delta L_n \dots\dots\dots (3)$$

Tegangan normal σ dalam Persamaan 3 diatas adalah :

$$\frac{N_r}{\Delta L_n} = \frac{W_n \cos \alpha_n}{\Delta L_n} \dots\dots\dots (4)$$

Untuk keseimbangan blok percobaan ABC, momen gaya dorong terhadap titik O adalah sama dengan momen gaya perlawanan terhadap titik O, atau dapat dilihat pada Persamaan 5 dan Persamaan 6

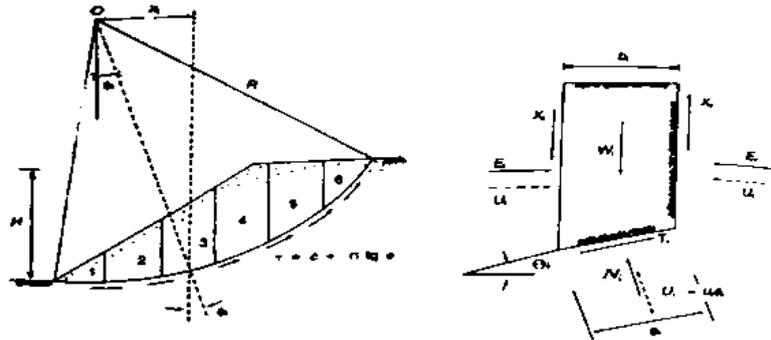
$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n r \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} \frac{1}{F_s} \left(c + \frac{W_n \cos \alpha_n}{\Delta L_n} \tan \phi \right) (\Delta L_n) (r) \dots\dots\dots (5)$$

atau

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \dots\dots\dots (6)$$

Catatan :

$$\Delta L_n = \frac{(b_n)}{\cos \alpha_n}, \text{ dengan } b_n = \text{lebar potongan nomor } n.$$



Gambar 3. Gaya – Gaya Yang Bekerja Pada Irisan Bidang Longsor

2. Metode *Fellenius*

Besarnya gaya P ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya lain dalam arah garis kerja P. seperti ditunjukkan Gambar 4 dan Persamaan 7 dan Persamaan 8 berikut:

$$P = (W + X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha \dots\dots\dots (7)$$

$$P = W \cos \alpha (X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Harga : } (X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha \cong 0$$

$$\text{Sehingga : } P = W \cos \alpha \dots\dots\dots (9)$$

Dalam analisis tegangan efektif harga faktor keamanan seperti Persamaan 10 :

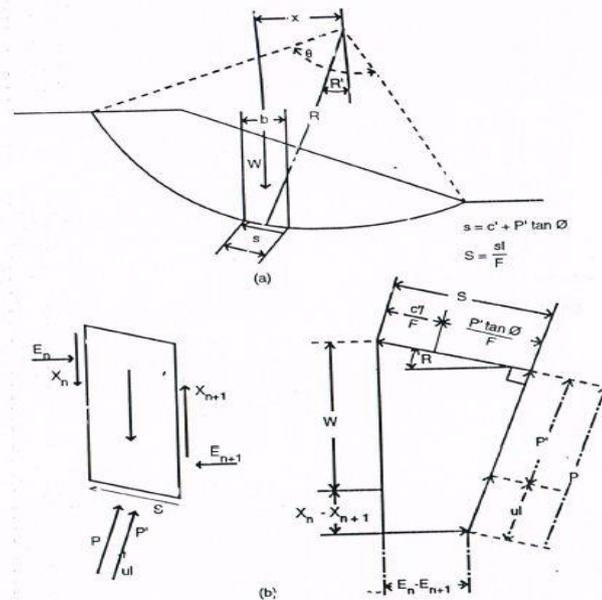
$$F_k = \frac{\sum [c' L + (P - u \cdot 1) \tan \phi]}{W \sin \alpha} \dots\dots\dots (10)$$

Dengan memasukkan harga P dari Persamaan 10 diatas, maka diperoleh harga Fk seperti Persamaan 11 :

$$F_k = \frac{\sum [c' L + (W \cos \alpha - u \cdot 1) \tan \phi]}{W \sin \alpha} \dots\dots\dots (11)$$

Dalam hal ini :

- c' : kohesi tanah dalam kondisi tegangan efektif
- l : panjang busur segmen
- W : berat segmen tanah
- u : tegangan air pori
- φ : sudut geser dalam tanah
- α : sudut antara garis vertikal dan jari-jari R



Gambar 4. Sistem Gaya Pada Cara Fellenius

Penentuan Bidang Longsor

Lengkungan bidang longsor dapat berupa bentuk bidang lingkaran, log spiral atau kombinasi dari keduanya. Kadang-kadang dijumpai pula suatu bidang longsor yang kurva menerus akibat perpotongan dengan lapisan tanah keras. Mengingat bidang longsor dipengaruhi oleh:

1. Lapisan tanah keras
2. Lempung sangat kaku
3. Pasir padat
4. Permukaan batu
5. Lapisan tanah yang sangat lunak

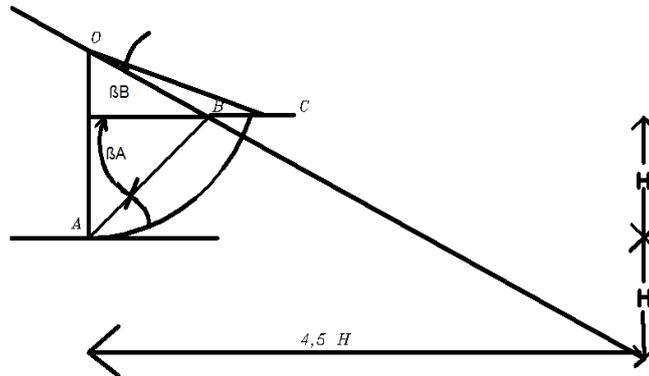
Data pengujian laboratorium yang dapat digunakan untuk memperkirakan letak dan bentuk bidang longsor antara lain : sondir, SPT (*Standard Proctor Test*), UCS dan geolistrik. Dari data sondir pada umumnya bidang longsor akan melalui tanah yang memiliki nilai q_c kecil dengan konsistensi yang sangat lunak, atau melalui tanah dengan q_c yang tinggi yang berbatasan dengan lapisan tanah yang lain dengan konsistensi yang sebanding. Bidang longsor terjadi pula pada tanah dengan N-SPT yang kecil, di mana sudut gesernyapun akan sangat kecil.

Analisis lereng terbatas dengan bidang longsor yang berbentuk lingkaran pada umumnya mempunyai tiga macam tipe kelongsoran, yaitu :

1. Kelongsoran muka lereng
2. Kelongsoran dasar
3. Kelongsoran ujung kaki / bawah lereng

Bidang longsor tersebut kemudian dianalisa untuk menentukan faktor keamanan lerengnya dengan menggunakan metode 'trial and errors'. Untuk memudahkan proses itu maka titik-titik pusat bidang longsor harus ditentukan dahulu melalui suatu pendekatan.

Fellenius memberikan petunjuk-petunjuk untuk menentukan letak titik pusat busur longsor kritis yang melalui tumit suatu lereng pada tanah kohesif seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Lokasi pusat busur longsor kritis pada tanah kohesif

Tabel 1. Sudut – sudut petunjuk menurut Fellenius

Lereng 1 : n	Sudut Lereng θ°	Sudut – Sudut Petunjuk	
		$\hat{\alpha}A^\circ$	$\hat{\alpha}B^\circ$
$\sqrt{3} : 1$	60	29	40
1 : 1	45	28	38
1 : 1,5	33,41	26	35
1 : 2	25,34	25	35
1 : 3	18,26	25	35
1 : 5	11,19	25	37

Pada tanah kohesif untuk menentukan letak titik pusat busur lingkaran sebagai bidang longsor yang melalui tumit lereng dilakukan secara coba-coba dimulai dengan menggunakan bantuan sudut-sudut petunjuk dari Tabel 1 di atas.

Grafik Fellenius memperlihatkan bahwa dengan meningkatnya nilai sudut geser maka titik pusat busur longsor akan bergerak naik. Titik O merupakan perkiraan letak titik pusat busur longsor. Titik O ditarik dari garis dengan koordinat $4.5H$ dan H dari tumit lereng. Dari busur-busur longsor tersebut dianalisa masing-masing angka keamanannya pada titik-titik di sekitarnya, untuk memperoleh nilai faktor keamanan yang paling minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Apabila belum ditemukan titik dengan nilai faktor keamanan yang paling minimum, maka ditentukan lagi sebuah koordinat pendekatan pada garis tersebut sepanjang 2 m dari titik sebelumnya.

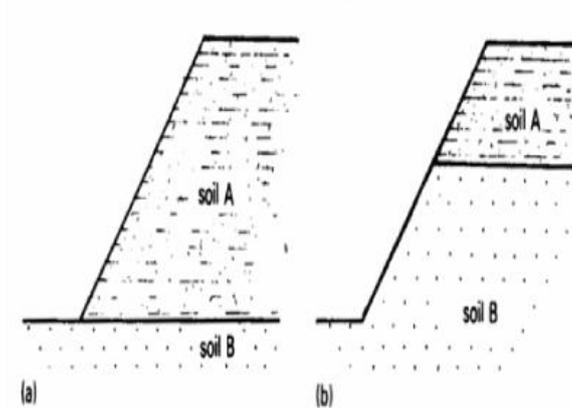
Analisa secara manual pada umumnya adalah dengan membagi bidang busur lingkaran longsor tersebut menjadi pias-pias untuk memudahkan perhitungan. Pias-pias tersebut dibuat setebal $b = (0.1) R$. Penyelesaiannya dapat dengan menggunakan cara Fellenius ataupun Bishop.

Dengan penyelidikan, untuk menentukan bentuk bidang longsor pada penampang sepanjang as longsor, diperlukan minimal 3 titik yang menunjukkan kedalamannya. Titik pertama diambil dari titik potong antara as longsor dengan retakan yang ada pada mahkota longsor. Dua titik lainnya didapat dari hasil pengamatan inklinometer atau pipa PVC/unting-unting. Selain itu perlu dievaluasi juga sebagai berikut :

- Data penampang geologi teknik lengkap, seperti letak lapisan tanah terlemah.
- Data pengujian laboratorium, misalnya hubungan antara kadar air dan batas-batas Atterberg.
- Data penyelidikan terinci, misalnya uji penetrasi standar.

3. Metode Menurut Whitlow (1995) Untuk Tanah Multilayer

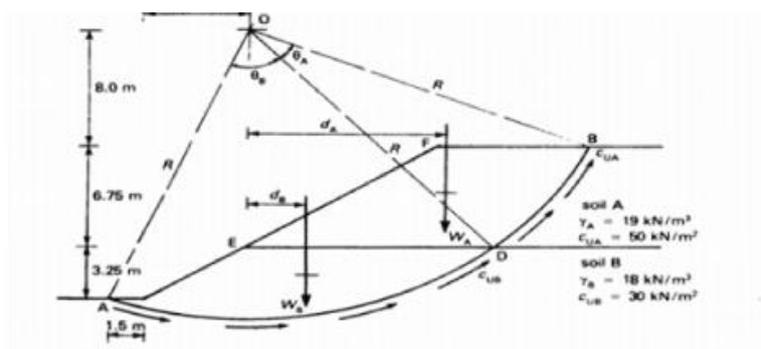
Metode ini digunakan pada tanah non-homogen yang multilayer, dimana nilai sudut geser sama dengan nol (0). Jenis umum dari lereng multilayer terjadi ketika salah satu tanah membentuk lereng pada permukaan yang sudah ada, seperti ditunjukkan Gambar 6. Sistem multilayer juga termasuk ketika tanah terdorong melalui endapan berlapis.



Gambar 6. Tanah Multilayer

Menurut Whitlow (1995) untuk menganalisa nilai faktor keamanan di tanah multilayer dilakukan langkah sebagai berikut :

1. Dimulai dengan menentukan titik pusat busur longsor terhadap stabilitas lereng di sembarang tempat, kemudian membuat busur yang memprediksi bidang gelincir lereng.
2. Kemudian tarik garis dari titik pusat busur ke setiap batas lapisan tanah yang dibatasi garis busur.



Gambar 7. Analisis Stabilitas Menurut Whitlow (1995) Di Tanah Multilayer

3. Akan didapat sudut antara jari-jari lengkung dengan per lapisan tanah.
4. Menghitung luas perlapisan tanah yang dibatasi dengan garis lengkung (A)
5. Menentukan panjang jarak titik berat luas penampang ke garis vertical dari titik pusat busur longsor (d).

Untuk menganalisa faktor keamanan, nilai – nilai yang telah didapat dari Gambar 7 disubstitusikan kedalam Persamaan 12 berikut :

$$F = \frac{R^2 - \sum(Cui * \theta_i) * \pi * 180}{\sum(Wi * di)} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

- F : faktor keamanan
- Cu : nilai kohesi (Kpa)
- γ : berat jenis tanah (kn/m³)
- A : luas perlapisan tanah yang dibatasi dengan garis lengkung (m²)
- d : jarak dari titik pusat penampang perlayer terhadap garis vertical dari titik pusat longsor (m)
- W : berat perlapisan ke-I (m³)
- θ_i : sudut antara jari-jari lengkung dengan per lapisan tanah
- R : jari – jari busur longsor

Perhitungan ini dilakukan trial and error dari berbagai macam titik pusat longsor kemudian diambil yang paling mendekati dengan kondisi existing di lapangan dan berdasarkan nilai FS yang terkecil.

Perencanaan Struktur

Boored Pile

Pondasi Tiang terdiri dari berbagai macam konstruksi, sering digunakan sebagai salah satu metode dinding penahan tanah sementara atau permanen yang efisien. *Bored Pile* dengan diameter yang kecil dapat digunakan sebagai dinding penahan tanah yang ekonomis. Sedangkan pemakaian tiang pancang untuk konstruksi yang sama, lebih mahal bila dibandingkan dengan *Bored Pile*, akan tetapi kontrol terhadap kekuatannya lebih baik. Konstruksi ini sangat cocok dan memenuhi syarat untuk digunakan pada basement yang dalam, struktur bawah tanah serta pada konstruksi jalan pada lereng perbukitan. Pondasi *bored pile* ini dapat membantu untuk mencegah kelongsoran dan membantu pergerakan tanah pada lereng akibat adanya tekanan lateral tanah serta penambahan beban lalu lintas yang terjadi.

Beban ultimate yang dapat ditanggung oleh sebuah *bored pile* sama dengan jumlah tahanan dasar dan tahanan cerobong (*shaft resistance*). Tahanan dasar merupakan hasil kali luas dasar (*Ab*) dan daya dukung ultimate (*qf*) pada elevasi dasar lorong. Tahanan cerobong adalah hasil kali luas keliling cerobong (*As*) dan nilai rata-rata tahanan geser ultimate tiap satuan luas (*fs*) yang lazim disebut ‘friksi kulit’ (*skin friction*) antara *bored pile* dan tanah. Berat tanah yang dipindahkan atau disingkirkan biasanya diasumsikan sama dengan berat *bored pile*.

Pilihan dari masing-masing tipe tiang tersebut diatas tergantung dari jenis tanah (granular atau kohesif, lunak atau keras), profil muka air tanah, tinggi tanah maksimum yang ditahan, waktu konstruksi yang tersedia, biaya dan umur rencana.

Analisa Daya Dukung Tanah (*Bearing Capacity*)

1. Metode *Skempton*

Daya dukung *bored pile* yaitu kemampuan tanah untuk mendukung beban baik dari beban diatas atau pondasinya agar tidak terjadi keruntuhan geser. Dapat dihitung dengan Persamaan 13 dan Persamaan 14 berikut

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s$$

$$= (\mu \cdot A_b \cdot N_c \cdot c_b) + (\sum 0,45 \cdot c \cdot A_s) \dots\dots\dots (13)$$

$$W = V \times \gamma_{\text{beton}} \times n \quad Q_{ijin} = \frac{Q_{ult}}{F_k} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana:

Q_{ult} = Daya Dukung Tiang Maksimum (*ultimate*) pada *bored pile*

Q_b = Tahanan ujung ultimit (kN) = $\mu \cdot A_b \cdot N_c \cdot c_b$

Q_s = Tahanan gesek ultimit (kN) = $0,45 \cdot c \cdot A_s$

A_b = Luas Penampang tiang (m^2)

μ = faktor koreksi, dengan $\mu = 0,8$ untuk $d < 1$ $\mu = 0,75$ untuk d

N_c = faktor kapasitas dukung menurut *Skempton* = 9

c_b = kohesi tanah di bawah ujung tiang

W = Berat *Bored Pile*

γ_{beton} = Berat jenis beton bertulang (2400 kg/cm³).

N = Jumlah tiang pancang

2. Metode *Mayerhorf*

Adapun persamaan yang digunakan seperti Persamaan 15 (*Meyerhorf, 1976*).

$$Q_{p1} = A_p \cdot q_p = A_p \cdot q' \cdot N_q \dots\dots\dots (15)$$

Dimana:

q_p = daya dukung ujung tiang (t/m^2)

$q_p = q' \cdot N_q^*$ = daya dukung per satuan luas.

A_p = luas penampang ujung tiang (m^2)

q' = tegangan vertikal efektif

N_q = faktor daya dukung ujung

Harga q_p tidak dapat melebihi daya dukung batas q_l , karena itu daya dukung ujung tiang perlu ditentukan pada Persamaan 16 (*Meyerhorf, 1976*)

$$Q_{p2} = A_p \cdot q_l = A_p \cdot 5 \cdot N_q^* \cdot \tan \emptyset \dots\dots\dots (16)$$

Dimana :

Q_{p2} = daya dukung ujung tiang (t/m^2)

A_p = luas penampang ujung tiang (m^2)

N_q = faktor daya dukung ujung

\emptyset = sudut geser dalam

q_l = daya dukung batas

Untuk kemudahan, harga Q_{p1} dan Q_{p2} dibandingkan dan diambil harga yang lebih kecil sebagai daya dukung ujung tiang. Harga N_q^* ditentukan sebagai fungsi dari sudut geser dalam tanah (\emptyset)

3. Tanah Lempung

Formula yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 17 (*Meyerhorf, 1976*)

$$Q_p = A_p \cdot q_p$$

$$= A_p \cdot c_u \cdot N_c^*$$

$$= 9 \cdot cu \cdot Ap \dots\dots\dots (17)$$

Dimana:

- QP = daya dukung ujung tiang (t/m²)
- AP = luas penampang ujung tiang (m²)
- Nc* = faktor daya dukung ujung
- cu = kohesi (m)

Daya Dukung Ijin Tiang Group

Dalam pelaksanaan jarang ditemukan pondasi tiang berdiri sendiri tetapi terdiri dari beberapa kelompok, nilai daya dukung ijin grup ini dikalikan dengan faktor efisien. Seperti ditunjukkan Persamaan 18 berikut:

$$Q = Q_{ult} \cdot n \cdot E \dots\dots\dots (18)$$

Dimana :

$$Eff = 1 - \frac{\theta}{90} \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m \cdot n} \right)$$

- n = jumlah tiang dalam satu baris
- m = jumlah baris
- d = jarak sisi tiang (m)
- s = jarak antar tiang
- θ = arc tan (d/s)
- Q = kapasitas daya dukung *bored pile* maksimum dalam grup (KN)
- Q_{ult} = kapasitas daya dukung *bored pile* maksimum satu tiang tunggal (KN)
- Eff = efisien group tiang

Persyaratan kekuatan pondasi = P_{max} < P grup

$$P_{max} = \frac{\sum P_v}{n} + \frac{M_x \cdot Y_{max}}{n \cdot y \cdot \sum y^2} + \frac{M_y \cdot X_{max}}{n \cdot x \cdot \sum x^2} \dots\dots\dots (19)$$

Kontrol Gaya Horizontal Yang Terjadi Pada Tiang

Untuk tiang yang relatif pendek yaitu apabila perbandingan antara panjang tiang dengan diameter tiang (L/d) ≤ 20 dan M_{max} < My, gaya horisontal pada tiang. (Broms (1964) di dalam Hardiyatmo, Hary, C. 2002) seperti Persamaan 20 dan Persamaan 21

$$Hu = 9 \cdot Cu \cdot d (L - 3d/2) \dots\dots\dots (20)$$

$$M_{max} = Hu (L/2 + 3d/4) \dots\dots\dots (21)$$

Dimana :

- Hu = tahanan tiang ultimit terhadap beban lateral (kN)
- Cu = nilai kohesi (KN/m)
- L = panjang tiang (m)
- d = diameter tiang (m)
- My = momen terhadap tiang sendiri (kNm)
- M_{max} = momen maksimum yang dapat ditahan oleh tiang (kNm)

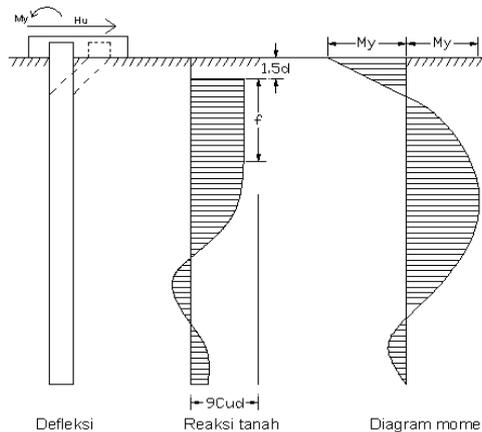
Jika M_{max} > My maka tiang termasuk tiang panjang berlaku Persamaan 22:

$$Hu = \frac{2My}{3d/2 + f/2} \dots\dots\dots (22)$$

$$H_s = \frac{Hu}{F} \dots\dots\dots (23)$$

Dengan memberikan faktor keamanan $F = 3$, untuk Persamaan 23 maka gaya horizontal yang aman terhadap keruntuhan tanah dan tiang :

Untuk gambar diagram distribusi reaksi tanah dan momen yang terjadi untuk tiang ujung jepit secara pendekatan dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini:



Gambar 8. Tiang Ujung Jepit pada Tanah Kohesif

Perencanaan Tulangan *Bored Pile*

Pada perencanaan penulangan *Bored Pile* ini, terlebih dahulu harus mengetahui gaya-gaya dalam yang bekerja pada *Bored Pile* tersebut. Seperti *Axial Force*, *Shear Forces* dan *Bending Momen*. Pada kasus ini, gaya-gaya dalam tersebut didapat dari program *Plaxis*.

a. Perencanaan Tulangan Pokok

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Menghitung rasio tulangan dengan lebar inti.

Lebar inti dihitung dengan Persamaan berikut.

$$\text{Lebar inti} = D - (p+p)$$

Untuk syarat rasio tulangan pokok yaitu $0,01 < \rho_g < 0,08$.

Sedangkan untuk menghitung ρ_g menggunakan Persamaan 24 berikut.

$$\rho_g = \frac{A_{st}}{A_g} \dots\dots\dots (24)$$

Untuk menghitung eksentrisitas dapat digunakan Persamaan 25 seperti dibawah.

$$e = M_u/P_u \dots\dots\dots (25)$$

Keterangan :

- Lebar inti = yaitu lebar efektif *Bored Pile*
- D = Diameter *Bored Pile*
- P = Selimut beton
- ρ_g = rasio tulangan
- A_{st} = Luas total tulangan
- A_g = Luas *Bored Pile*

2. Perhitungan beban (pada daerah beton dan disangga oleh baja tulangan) 1 tiang yang harus dipikul berdasarkan persyaratan $\Phi P_n > P_u$. Untuk menghitung P_n menggunakan Persamaan 26 seperti dibawah.

$$\Phi P_n = (0,85 \times \Phi \times 0,85 \times f_c (A_g - A_{st})) + (f_y \times A_{st}) \dots\dots\dots (26)$$

Keterangan :

- P_n = Beban Axial rencana
- P_u = Beban Axial *Bored Pile*
- Φ = Faktor reduksi (0,85)

3. Transformasi penampang dari lingkaran ke bujursangkar, untuk menghitung diagram regangan *Bored Pile* dengan Persamaan 27 s/d Persamaan 31 berikut:

- Tebal segiempat ekivalen = $0,8.D$

- Lebar penampang segiempat ekivalen = $\frac{\pi (D)^2}{4 \text{ tebal ekivalen}} \dots\dots\dots (27)$

- Menghitung luasan total tulangan $A_{st} = \frac{1}{2} \times (0,25 \times \pi \times D^2 \times n) \dots\dots\dots (28)$

- Memeriksa kekuatan tulangan pada kondisi *balance*. $C_b = \frac{600.d}{600 + f_y}$ (mm)

- d = Lebar penampang ekivalen - d'

- $E_s > E_y$ ($f_s = f_y$) $f_s = E_s \times E_s$

- $E_s < E_y$ ($f_s = f_s$) $E = 4700 \cdot \sqrt{f'c}$

- $C_c = 0,85 \times f_c \times B \times a_b$ $T_s = f_s \times A_{st} \dots\dots\dots (29)$

- $M_b = C_c \left(\frac{H}{2} - \frac{a_b}{2} \right) + T_{s1} \left(\frac{H}{2} - d' \right) + T_{s2} \left(\frac{H}{2} - d' - d'' \right) + T_{s3} \left(\frac{H}{2} - d' - 2 * d'' \right) + T_{s4}$

$\left(\frac{H}{2} - d' - 3 * d'' \right) T_{s'1} (H' - 2 * d'') - T_{s'2} (H' - d'') - T_{s'3} (H') \dots\dots\dots (30)$

- $P_b = C_c + T_{s1} + T_{s2} + T_{s3} + T_{s4} - (T_{s'1} + T_{s'2} + T_{s'3}) \dots\dots\dots (31)$

4. Memeriksa kekuatan penampang dengan hancur tarik. Syarat $\Phi P_n > P_u$. Menggunakan Persamaan 33 berikut, dimana nilai e_b sesuai Persamaan 32.

$E_b = \frac{M_b}{P_b} \dots\dots\dots (32)$

$P_n = 0,85 F_c h^2 \left(\sqrt{\frac{0,85 x e}{h}} - 0,38 \right)^2 + \frac{\rho g m D_s}{2,5 h} - \left(\frac{0,85 x e}{h} - 0,38 \right) \dots\dots\dots (33)$

h = diameter penampang

e = eksentrisitas terhadap pusat tulangan terjauh dari sumbu

$m = \frac{f_y}{0,85 f_c} \dots\dots\dots (34)$

D_s = diameter lingkaran tulangan terjauh dari sumbu

b. Perencanaan Tulangan Geser

- Terlebih dahulu kita menentukan kira-kira tulangan diameter berapa yang akan digunakan. Setelah kita menentukan diamter tulangan gesernya, kemudian menghitung sesuai dengan syarat-syarat dan menggunakan Persamaan 35 dibawah ini.
- Syarat ratio tulangan $\rho_{min} > \rho$ aktual.
- $A_g = b \times h$

- $A_c = 0,25 \cdot \pi \cdot \text{lebar inti}$
- $A_{sp} = 0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2$
- $D_c = h - 2 \cdot p$
- $S = \frac{4 \cdot A_s \cdot (D_c - \phi_{senggang})}{D_c^2 \cdot \rho_s}$ (35)

Keterangan =

- A_g = Berat kotor
- A_c = Luas silinder
- A_{sp} = Luas tulangan geser
- D_c = Tinggi efektif
- S = Jarak antar tulangan geser.

Geotextile

Geotextile adalah setiap bahan tekstil yang umumnya lolos air yang dipasang bersama pondasi, tanah, batuan atau material geoteknik lainnya sebagai suatu kesatuan dari sistem struktur, atau suatu produk buatan manusia. Ini merupakan kain permeabel yang bila digunakan dalam hubungan dengan tanah, memiliki kemampuan untuk memisahkan, menyaring, memperkuat, melindungi, atau menguras. Biasanya terbuat dari *polypropylene* atau *polyester*, kain *geotextile* datang dalam tiga bentuk dasar: anyaman, tekanan jarum (*needle punched*), atau terikat oleh panas (*heat bonded*).

Pada program *Plaxis*, material *Geotextile* dimasukkan dalam bentuk EA dan Np. Adapun nilai EA dan Np tersebut didapat dari perhitungan pada Persamaan 36 dan Persamaan 37 dibawah ini.

$$EA = \frac{P_{ijin}}{\epsilon} \dots\dots\dots (37)$$

$$P_{ijin} = P \frac{creep}{RFid \cdot RFcd \cdot RFbd \cdot RFjoint} \dots\dots\dots (38)$$

Keterangan :

- EA = Besarnya kuat tarik batas dibagi dengan elongation (perpanjangan)
- Np = Pijin : besarnya kuat tarik ijin
- Sedangkan untuk elongasi (ϵ), *RFid*, *RFcd*, *RFbd*, dan *RFjoint*
(Sumber : Mailing List Forum Geoteknik Indonesia)

(a) Stabilitas eksternal

Stabilitas eksternal atau stabilitas luar (*external stability*) dinding tanah bertulang dianggap sebagai blok padat harus stabil terhadap bahaya penggeseran, penggulingan, keruntuhan fondasi dan stabilitas lereng global, termasuk beban tekanan tanah lateral dibelakang struktur dan beban-beban yang bekerja di atasnya.

Keruntuhan dinding tanah bertulang harus ditinjau terhadap mekanisme-mekanisme berikut ini:

(a.1) Faktor aman terhadap penggeseran

Lebar dasar struktur dinding tanah bertulang harus sedemikian hingga struktur terhindar dari resiko penggeseran pada dasarnya. Umumnya faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}) diambil sama dengan 1,5. Koefisien tekanan tanah aktif dibelakang struktur seperti Persamaan 38 dibawah.

$$K_{a1} = \text{tg}^2 (45^\circ - \phi_1/2) \dots\dots\dots (38)$$

Besarnya gaya-gaya yang bekerja dibelakang struktur dihitung perlapisan seperti Persamaan 39 dan Persamaan 40 dibawah ini.

Akibat tekanan tanah lapis-1 :

$$P_{a1} = 0,5 H_1^2 \gamma_1 K_{a1} \dots\dots\dots (39)$$

Pada tanah lapis-1 :

$$P_{q2} = q H_1 K_{a1} \dots\dots\dots (40)$$

Tekanan tanah aktif total yang ditimbulkan oleh tanah di belakang struktur, dinyatakan oleh Persamaan 41 berikut.

$$P_a = P_{a1} + P_{q2} \dots\dots\dots (41)$$

Tanah urugan akan digunakan untuk tanah urugan struktur *geotextile*, sehingga Berat Struktur dan Tahanan Geser Total pada dasar struktur *geotextile* dapat dihitung dalam Persamaan 42 dan Persamaan 43 berikut :

$$\sum W = H \gamma L \dots\dots\dots (42)$$

$$R_h = \sum W \text{tg} \delta_b \dots\dots\dots (43)$$

Untuk permukaan dinding vertikal, faktor aman terhadap penggeseran dinyatakan dengan Persamaan 44 berikut

$$F_{gs} = \frac{R_h}{\sum P_a} \dots\dots\dots (44)$$

Dengan mengambil faktor aman terhadap penggeseran sebesar 1,5 , maka diperoleh lebar dasar struktur *geotextile*, dengan Persamaan 45 berikut:

$$L = \frac{1,5 \sum P_a}{R_h} \dots\dots\dots (45)$$

(a.2) Faktor aman terhadap Penggulingan

Faktor aman terhadap penggulingan struktur dinding tanah bertulang terhadap kaki depan dinyatakan oleh Persamaan 46 berikut:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_r}{M_d} \geq 1,5 \text{ s/d } 2 \dots\dots\dots (46)$$

Dimana :

$\sum M_r$ = jumlah momen lawan (kN.m)

$\sum M_d$ = jumlah momen penggulingan (kN.m)

Perhitungan momen penggulingan ($\sum M_d$), dengan resultan tekanan tanah aktif total terletak pada jarak y dimana y dan $\sum M_d$ terlihat pada Persamaan 47 dibawah.

$$y = \frac{\sum P_a * H}{\sum P_a} \dots\dots\dots (47)$$

Besar momen penggulingan diperoleh dari Persamaan 48:

$$\sum M_d = \sum P_a * y \dots\dots\dots (48)$$

Momen yang melawan penggulingan ($\sum M_r$), dihitung seperti Persamaan 49 berikut:

$$\sum M_r = \sum W \times (L/2)$$

$$\sum M_r = H \gamma L \times (L/2) \dots\dots\dots (49)$$

Dengan mengambil faktor aman terhadap penggulingan, maka diperoleh Persamaan 50 berikut:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_r}{M_d} \geq 2 \dots\dots\dots (50)$$

Untuk menentukan Lebar dasar struktur *geotextile* dapat menggunakan Persamaan 51 berikut:

$$L = \sqrt{\frac{2x \sum M_d}{\sum M_r}} \dots\dots\dots (51)$$

Letak eksentrisitas akibat gaya-gaya penggulingan harus lebih kecil dari L/6. Kemudian untuk check letak eksentrisitas gaya (*e*), terhadap pusat berat struktur. Seperti pada Persamaan 52 dan Persamaan 53

$$e < \frac{L}{6}$$

$$\sum W = H \gamma L \dots\dots\dots (52)$$

$$e = \frac{\sum M_d}{\sum W} \dots\dots\dots (53)$$

(b) Stabilitas internal

Stabilitas internal atau stabilitas dalam (*internal stability*) mensyaratkan bahwa struktur harus menyatu dan dapat berdiri sendiri oleh pengaruh gaya luar maupun oleh akibat beratnya sendiri. Kestabilan intern struktur harus diperoleh melalui transfer tegangan-tegangan dari tanah ke tulangan. Karena itu, tulangan-tulangan harus dirancang dengan mempertimbangkan ukuran dan bentuknya, sedemikian hingga; (1) tidak putus, (2) tidak tercabut dari massa tanah yang menimbunnya oleh akibat pengaruh gaya-gaya yang bekerja.

(b.1) Faktor aman terhadap Putus Tulangan

Tulangan-tulangan harus tidak putus saat menahan tegangan-tegangan yang ditransfer oleh tanah ke tulangan tersebut. Untuk mengetahui sudut gesek antara tanah dan tulangan digunakan Persamaan 54 berikut.

$$\mu = \text{tg} (2\phi/3) \dots\dots\dots (54)$$

Panjang tulangan yang harus disediakan pada zona pasif, untuk tiap kedalaman tulangan dihitung dengan Persamaan 55 berikut:

$$L_p = L - (\text{tg} (45^\circ - \phi/2) (H - z)) \dots\dots\dots (55)$$

Untuk Koefisien Tekanan Tanah Aktif di dalam struktur diperoleh dari Persamaan 56 berikut.

$$K_a = \text{tg}^2 (45^\circ - \phi/2) \dots\dots\dots (56)$$

Faktor aman terhadap putus tulangan (*Fr*) dinyatakan oleh Persamaan 57 berikut (untuk tulangan berbentuk lembaran):

$$F_r = \frac{T_a}{\Delta P_h} \geq 1,2 \dots\dots\dots (57)$$

Dimana :

T_a = kuat tarik ijin tulangan (kN/m²)

ΔP_h = gaya horizontal

(b.2) Faktor aman terhadap Cabut Tulangan

Tulangan-tulangan harus cukup panjang, sehingga tanah pada zona aktif yang akan longsor dapat ditahan oleh tahanan gesek tulangan-tulangan yang berada dalam zona

pasif. Gaya lawan tulangan maksimum per meter lebar yang dapat dihasilkan dari gesekan antara tanah dan tulangan dengan menggunakan Persamaan 58 berikut:

$$T_{\text{mak}} = 2 \mu \sigma_v L_p \dots\dots\dots (58)$$

Dimana:

$$\mu = \text{tg} (2\phi/3)$$

L_p = panjang tulangan yang berada di zona pasif.
 $= L - \text{tg} (45^\circ - \phi/2)(H - z)$

Faktor aman terhadap cabut tulangan (F_p), untuk tulangan lembaran (*geotextile*) sesuai dengan Persamaan 59 dibawah ini:

$$F_p = \frac{2\mu\sigma_v L_p}{\Delta P_h} \geq 1,5 \dots\dots\dots (59)$$

Untuk keamanan tulangan terhadap putus tulangan, nilai $F_r > 1,5$

(b.3) Panjang overlap

Panjang *overlap* atau panjang lipatan (L_o) pada bagian penutup permukaan dinding yang diperkuat dengan *geotextile* yang dihitung dengan Persamaan 60 berikut ini :

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} S_v F}{2\mu z \gamma} \dots\dots\dots (60)$$

Dimana :

z = kedalaman tulangan yang ditekuk masuk ke tanah (m)

σ_{hc} = tekanan horisontal rata-rata pada lipatan (kN/m²)

F = faktor aman = 1,5

μ = koefisien gesek antara tanah dan geotextile, dapat diambil $\mu = \text{tg}(2\phi/3)$

S_v = jarak tulangan arah vertikal (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

Untuk mencari kedalaman tekukan dengan Persamaan 61 berikut ini:

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} S_v F}{2\mu z \gamma} \dots\dots\dots (61)$$

Drainase

Dilakukan dengan memanfaatkan pengaliran horizontal radial yang menyebabkan disipasi air yang cepat dan gaya kapilaritas air sehingga mempercepat laju konsolidasi dibawah pra pembebanan dan menambah kekuatan geser tanah.

Prinsip kerjanya adalah mempercepat aliran air, jika tanpa drainase maka aliran air akan bergerak ke arah vertikal saja, tetapi dengan adanya drainase maka aliran air akan bergerak ke arah vertikal dan horizontal. Dengan adanya drainase akan terjadi laju konsolidasi tiga dimensi, yaitu arah x, y dan z.

Pengaruh Lalu Lintas

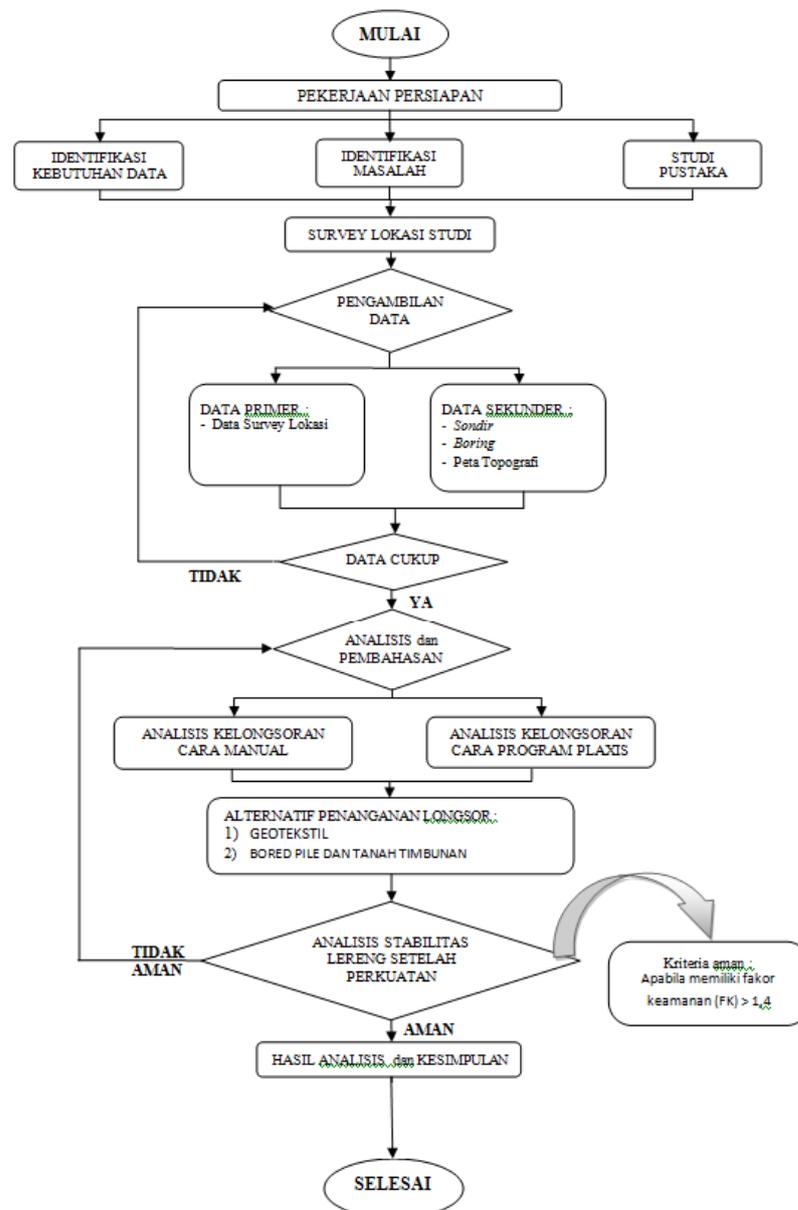
Data lalu lintas adalah data pokok untuk melakukan perencanaan suatu jalan baik jalan baru maupun untuk peningkatan jalan lama. Data lalu lintas yang diperlukan adalah data lalu lintas harian rata-rata. Data lalu lintas harian rata-rata diperlukan untuk merencanakan suatu konstruksi struktur perkerasan jalan.

METODOLOGI

Cara Analisa Data

Cara Analisa Penanganan Longsor Pada Ruas Jalan Pringsurat Pringsurat KM. MGL. 22+631 s/d 22+655 Kabupaten Temanggung dilakukan dengan menggunakan 2 cara, yaitu perhitungan manual dengan menggunakan metode menurut Whitlow (1995) untuk tanah multilayer dan perhitungan dengan program PLAXIS. Adapun cara analisa dalam penulisan tugas akhir ini adalah menghitung daya dukung lapisan subgrade yang telah ada serta memberi alternatif solusi terhadap permasalahan tersebut. Dimana kajian geoteknik berasal dari data penyelidikan di lapangan dan di laboratorium.

Pemecahan Masalah



Gambar 9. Alur Flowchart Analisa

ANALISA DATA

Analisis data merupakan faktor yang sangat penting sebagai input perencanaan. Data yang lengkap memudahkan dalam perhitungan dan desain, selain itu kelengkapan data membuat akurasi perhitungan dan analisis semakin baik dan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

Pada kasus longsor ruas jalan Pringsurat ini, data tanah yang ada hanya penyelidikan sondir manual. Hasil penyelidikan sondir manual tersebut masih kurang untuk menganalisis longsor, sehingga dilakukan pengujian boring manual sebanyak 2 titik yaitu B1 (kedalaman 2 meter) dan B2 (kedalaman 3 meter). Maksud dari pengujian boring manual tersebut adalah untuk melengkapi data sondir manual sebelumnya dan membandingkan hasil hitungan empiris dari penyelidikan sondir manual dengan penyelidikan boring manual (kondisi sebenarnya yang ada di lapangan).

Analisis data akan membahas mengenai data-data yang ada, meliputi data pengklasifikasian tiap lapisan tanah berdasarkan pada sifat fisik tanah (γ, w, G_s, e, n), sifat butiran tanah (clay, silt, sand, gravel), sifat plastisitas (LL, PL, PI), sifat mekanik (c, ϕ) serta penyebaran tiap lapisan tanah berdasarkan hasil boring manual. Selain data tanah diperlukan juga peta topografi, dan peta geometrik lereng yang digunakan untuk simulasi kelongsoran dengan perhitungan manual metode menurut R. Whitlow maupun pada software Plaxis V.8.2.

Pengumpulan Data

Sondir Manual

Pada pekerjaan sondir manual ini dikerjakan oleh Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Alat yang digunakan adalah sondir ringan manual tipe Gouda / Dutch Cone Penetrometer dengan kapasitas 2,50 ton dan tahanan konus (Conus Resistance) $q_c = 250,0 \text{ kg/cm}^2$. Banyaknya titik sondir ada 4 (empat) yaitu titik S1, S2, S3, dan S4.

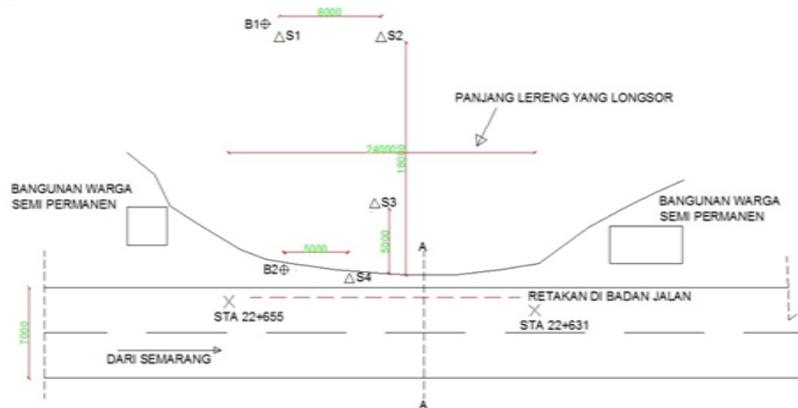
Booring Manual

Pada pekerjaan Boring ini dilakukan pada 2 titik bor yaitu B1 dengan kedalaman 3 meter, dan B2 dengan kedalaman 2 meter. Lokasi titik pekerjaan Boring dan Sondir seperti pada Gambar 10. Pengujian Boring manual ini dilakukan untuk mendukung pengujian Sondir yang sudah dilakukan sebelumnya, sehingga data-data untuk perhitungan kasus kelongsoran lereng ini bisa lebih lengkap. Setelah data terkumpul dan perhitungan dilakukan akan mendapat profil melintang lapisan tanah seperti pada Gambar 11 untuk analisa lebih lanjut.

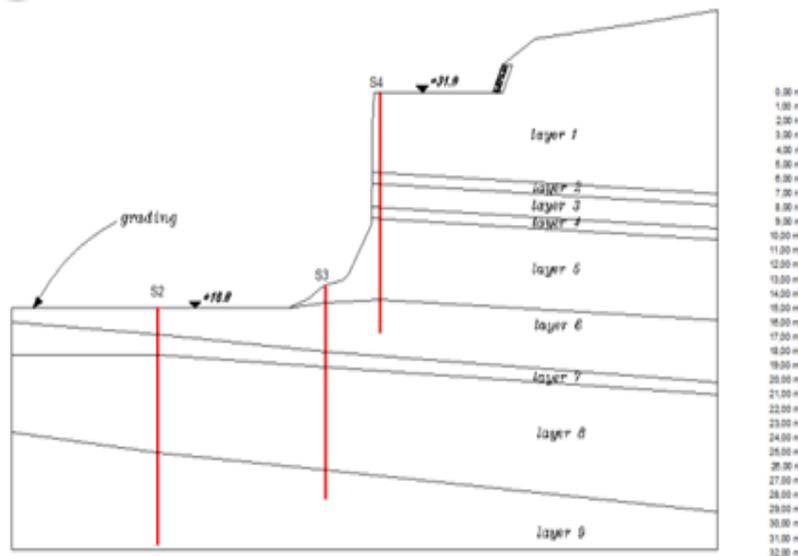
Analisa Pembebanan Lalulintas

Data lalu lintas adalah data pokok untuk melakukan perencanaan suatu jalan, baik jalan baru maupun untuk peningkatan jalan lama. Data lalu lintas yang diperlukan adalah data lalu lintas harian rata-rata.

Pada program *Plaxis V8.2* pembebanan diberikan berdasarkan pada beban lalu lintas. Beban lalu lintas tersebut harus diperhitungkan pada seluruh lebar permukaan timbunan. Menurut Tabel 2.14, ruas jalan Pringsurat merupakan jalan Arteri kelas II sehingga digunakan beban lalu lintas sebesar 12 kPa.



Gambar 10. Lokasi Titik Sondir dan Booring Pada Potongan Memanjang Jalan



Gambar 11. Lapisan Tanah pada Potongan Melintang Jalan

Keterangan:

- Layer 1: Kepasiran dan Lempung Kelanauan, Sangat Kaku
- Layer 2 : Kelempungan dan Lanau, Kepadatan Medium
- Layer 3 : Kepasiran dan Lempung Kelanauan, Sangat Kaku
- Layer 4 : Kelempungan dan Lanau, Kepadatan Medium
- Layer 5 : Kepasiran dan Lempung Kelanauan, Sangat Kaku
- Layer 6 : Kelempungan dan Lanau, Padat
- Layer 7 : Kepasiran dan Lempung Kelanauan, Kaku
- Layer 8 : Kepasiran dan Lempung Kelanauan, Teguh
- Layer 9 : Kelempungan dan Lanau, Kepadatan Medium

Analisis Kestabilan Lereng

Analisis Dengan Program Plaxis V.8.2

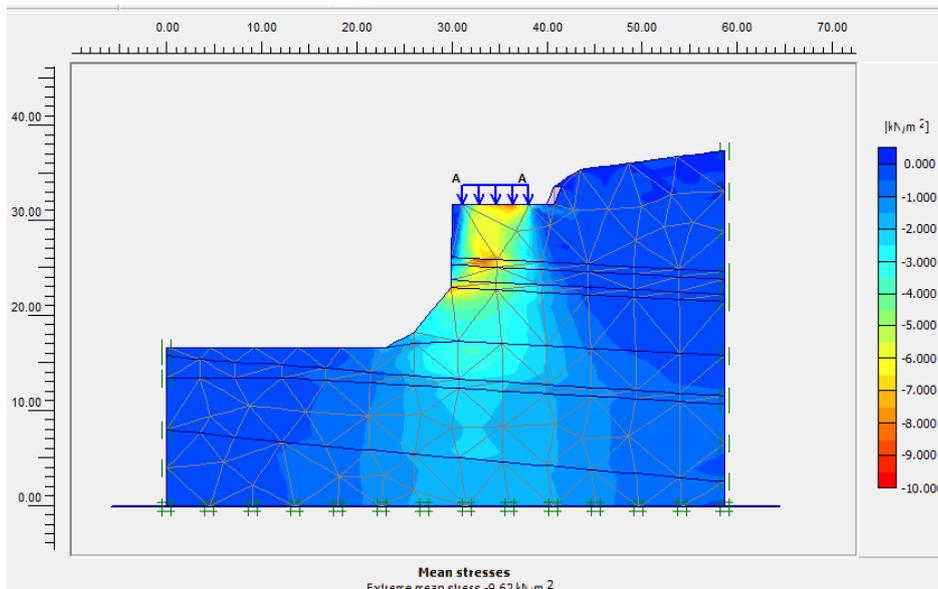
Dengan penampang *cross section* serta dilengkapi komponen lapisan-lapisan tanah dari hasil pengujian laboratorium, maka dapat diketahui parameter tanah dari masing-masing lapisan untuk keperluan input simulasi kelongsoran dengan program Plaxis V.8.2.

Pada analisis ini digunakan model *Mohr-Coulomb* yang memerlukan 5 parameter, antara lain : kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), modulus young (E_{ref}), poisson's ratio (ν), berat isi tanah kering (γ_{dry}), berat isi tanah asli (γ). Seperti ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Desain Material pada Simulasi Kelongsoran Program Plaxis

Layer	Elevation	Soil Type	Cu (KN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	E (kN/m^2)	ν	γ_{sat} (kN/m^3)	γ_{dry} (kN/m^3)
1	24,77-31,8	C Soil, V stiff	116,5	0,00	4020	0,35	18	16
2	23,97-24,71	Φ Soil, Med Dense	0,00	38,25	12000	0,35	20	16
3	22,37-23,97	C Soil, V stiff	146,27	0,00	5820	0,35	18	17
4	21,57-22,37	Φ Soil, Med Dense	0,00	37,54	12000	0,35	20	
5	19,95-21,57	C Soil, V stiff	73,14	0,00	4110	0,35	18	16
6	11,57-15,95	Φ Soil, Dense	0,00	39,38	7950	0,35	21	19
7	10,81-11,67	C Soil, V stiff	102,04	0,00	11363	0,35	18	16
8	2,7-10,81	C Soil, Firm	106,01	0,00	8193	0,35	16	12
9	0-2,7	Φ Soil, Med Dense	0,00	36,33	19514	0,35	20	17

Pemodelan PLAXIS digunakan permodelan dimana kondisi belum ada perkuatan lereng di lokasi tersebut. Hasilnya seperti pada Gambar 12 berikut.

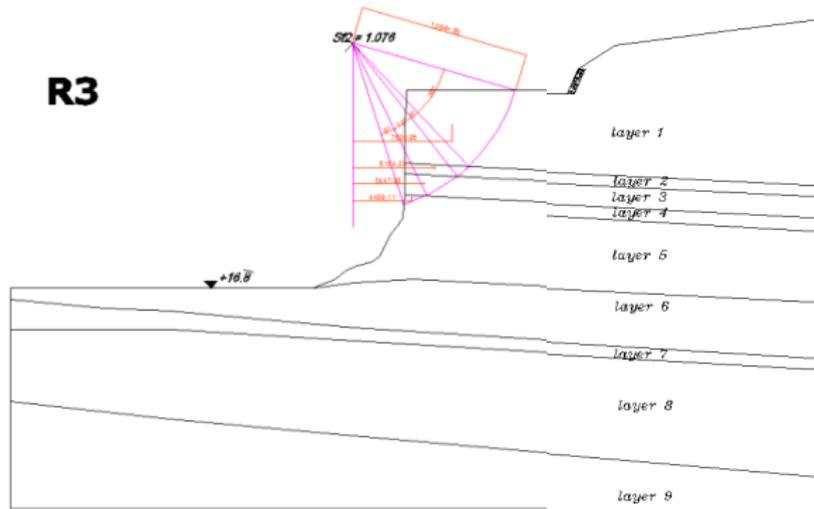


Gambar 12. Pola Bidang Gelincir

Dari hasil perhitungan manual didapatkan faktor keamanan untuk *Plaxis v8.2* = 0,8305.

Analisis Lereng Cara Manual

Dalam analisis kestabilan lereng secara manual digunakan metode yang digunakan R.Withlow pada tanah multilayer(*Basic Soil Mechanics, 1995*). Dari pemodelan lereng kemudian ditentukan titik pusat busur longsor dengan cara *trial and error* dengan menentukan titik pusat di sembarang tempat. Percobaan *trial and error* ini dilakukan dari berbagai macam potongan cross section dan diambil yang paling mendekati dengan kondisi existing di lapangan, juga berdasarkan nilai FS yang terkecil. Seperti pada Gambar 13 yang menunjukkan permodelannya dan Tabel 3 untuk hasil perhitungan *trial and error*.



Gambar 13. Permodelan Lereng

Tabel 3. Hasil Perhitungan Trial & Error 3

R2	Layer	Cu	θ	Cu* θ	Y (km/m ³)	A	W = Y*A	d	W*d
12,941	A	116,55	29	3379,95	16,677	50,455	841,438	7,492	6304,054
	B	204,574	4	818,296	16,677	5,555	92,64	6,442	5896,791
	C	146,27	10	1462,7	16,677	9,381	156,44	5,903	923,506
	D	202,47	6	1214,82	16,677	3,6	6,00372	5,185	311,292
	E	103,3451	23	2379,373	16,677	4,703	78,431	4,159	326,198
				$\Sigma(Cu*\theta)$	9255,139			$\Sigma(w*d)$	8461,843
								F=	1,017

Dari 3 (tiga) kali percobaan didapatkan hasil FS terkecil yaitu 1,01761.

Perbandingan Hasil Safety Factor Metode Manual Dan Dengan Program Plaxis V8.2.

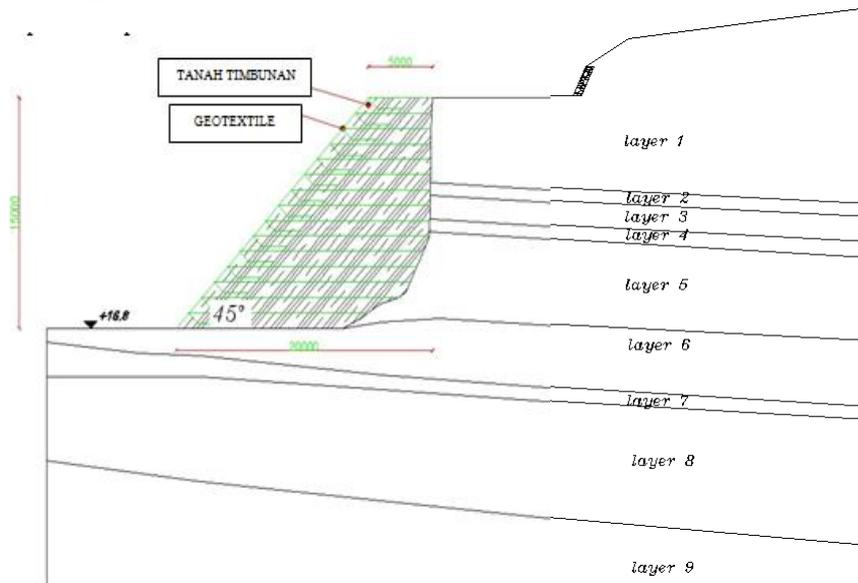
Dari analisis kestabilan lereng secara manual didapatkan SF sebesar 1,01761 (*trial 3*). Dengan menggunakan program Plaxis V8.2 didapat nilai SF 0,8305. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa lereng tersebut mengalami kelongsoran karena memiliki nilai SF < 1,5. Hasil ini sesuai dengan keadaan yang terjadi dilapangan bahwa lereng mengalami kelongsoran sehingga memerlukan perkuatan untuk mencegah terjadinya longsor. Adapun alternatif penanganan longsor yang akan digunakan yaitu perkuatan dengan *Geotextile* dan kombinasi timbunan tanah dengan *Bored Pile*. Kedua alternatif tersebut akan dihitung dan disimulasikan menggunakan program *Plaxis* pada tahap berikutnya. Setelah dilakukan

simulasi dan perhitungan, akan dipilih penanganan yang paling efektif dan relatif ekonomis.

Perencanaan Konstruksi

Perkuatan Dengan Geotextile

Alternatif pertama yaitu menggunakan perkuatan *Geotextiel*, dapat dilihat pada Gambar 14 dibawah. Lebar bawah *geotextile* 20 meter dan Tinggi 15, sedangkan untuk tebal perlapisan *geotextile* yaitu 1 meter. Material geotextil dan timbunan dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah.



Gambar 14. Perkuatan Lereng dengan *Geotextile*

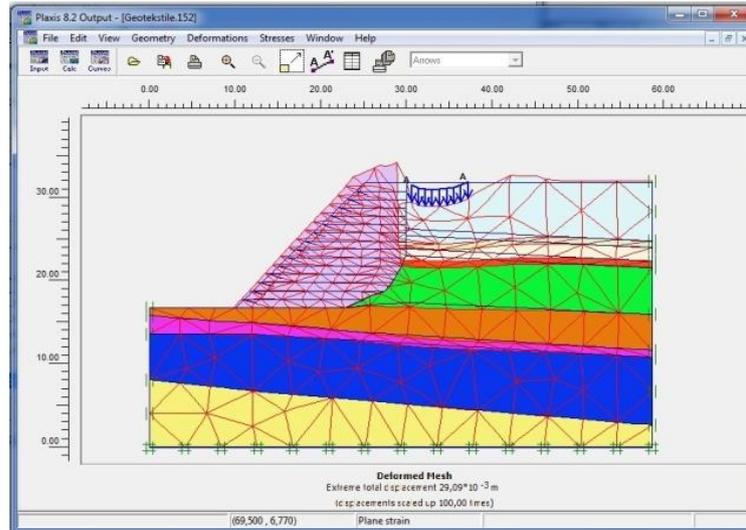
Tabel 4. Spesifikasi *Geotextile* dan Input Material Pada *Plaxis*

Spesifikasi Geotextile	
Jenis	BW250 WOVEN
Bahan Dasar	Polypropelene
Berat Jenis	250
Nilai Tensile Strength	55
Input properties Ggeotextile Plaxis	
EAQ (kN/m)	274,725
Np (kN/m)	13,736

Tabel 5. Material Timbunan pada *Geotextile*

Jenis tanah	Cu (kN/m ²)	$\Phi(^{\circ})$	E (kN/m ²)	V	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)	Material Model
Non Kohesif	0,00	40,00	5000	0,35	20	18	Mohr-coulomb

Kemudian dilakukan analisis perkuatan *Geotextile* dengan menggunakan program *plaxis*. Seperti pada Gambar 15.

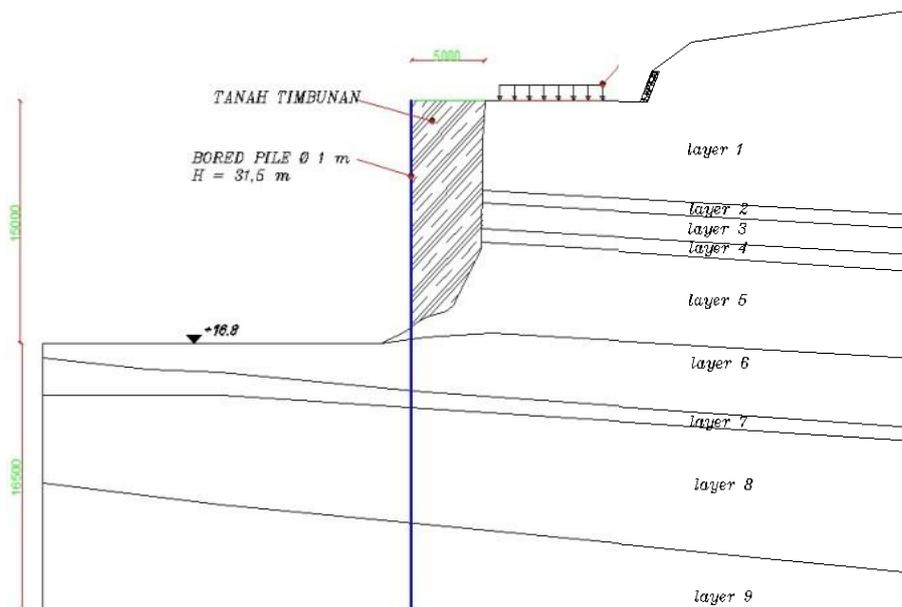


Gambar 15. *Deformed Mesh*

Dari analisis menggunakan program Plaxis untuk perkuatan dengan menggunakan *Geotextile*, didapatkan nilai *Safety Factor* sebesar $1,4116 > 1,4$ (ok).

Perkuatan Dengan Kombinasi Bored Pile Dan Tanah Timbunan

Untuk penanganan alternatif yang kedua yaitu menggunakan kombinasi *bored pile* dengan tanah timbunan. Sebenarnya tanah timbunan ini hanya digunakan untuk mengisi ruang kosong antara tanah eksisting dengan *bored pile*, seperti pada Gambar 16. Selain itu, tanah timbunan ini juga untuk menambahkan lebar dari bahu jalan yang sebelumnya sudah longsor.

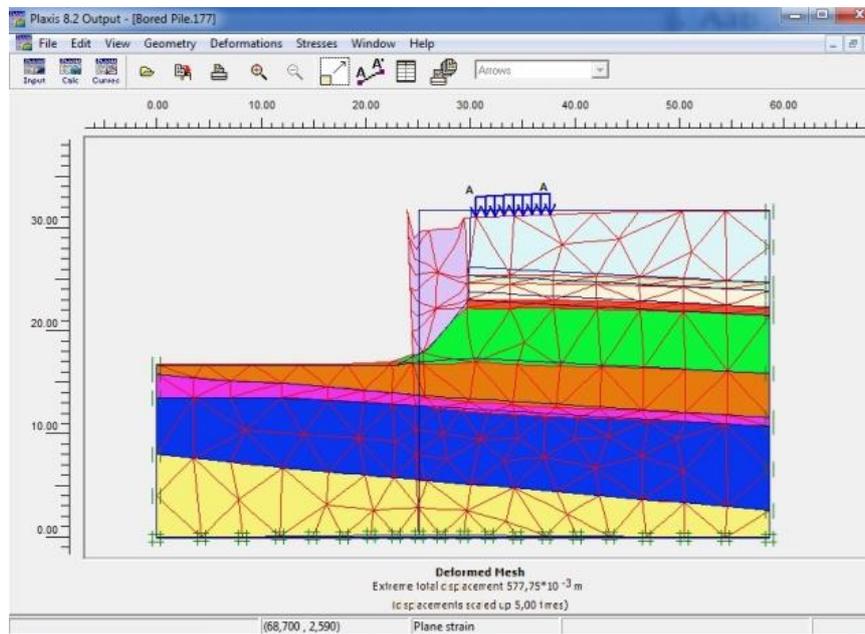


Gambar 16. Perkuatan Lereng dengan *Bored Pile* Tanah Timbunan

Tabel 6. Parameter Desain Bored Pile

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
<i>Material type</i>	-	<i>Elastic</i>	-
Kekakuan Normal	EA	$7,175 \times 10^6$	Kn/m
Kekakuan Lentur	EI	$4,407 \times 10^5$	kN/m ²
Tebal Ekuivalen	d	1000	m
<i>Weight</i>	w	20,67	kN/m ²
<i>Poisson Ratio</i>	v	0-,350	-

Dengan parameter seperti Tabel 6, kemudian dilakukan analisis perkuatan *Bored Pile* kombinasi dengan tanah timbunan menggunakan program plaxis, seperti ditunjukkan Gambar 17.



Gambar 17. *Deformed Mesh*

Dari analisis menggunakan program Plaxis untuk perkuatan dengan menggunakan perkuatan *Bored Pile* kombinasi dengan tanah timbunan, didapatkan nilai *Safety Factor* sebesar $1,4617 > 1,4$ (ok).

Analisis Stabilitas Struktur Bored Pile Dan Desain Tulangan

Pada tahap ini, dilakukan desain struktur Bored Pile dan Check stabilitas struktur dari *Bored Pile* berdasarkan *Extreme Axial forces* -1000 KN, *shear forces* -662,59 KN, *bending moment* -4310 KNm. Data tersebut didapat dari hasil perhitungan program Plaxis.

Untuk kasus ini, *Bored Pile* didesain menggunakan diameter 2 meter dengan kedalaman 31,5 meter dari badan jalan.

Dari perhitungan didapatkan desain sebagai berikut : tulangan utama 22 D 22 (Gambar 18) dan tulangan geser spiral D16 dengan spasi 100 mm dipasang pada ujung tiang yang memiliki gaya geser lebih besar yaitu pada $\frac{1}{4}$ L di bagian ujung tiang. Sedangkan pada

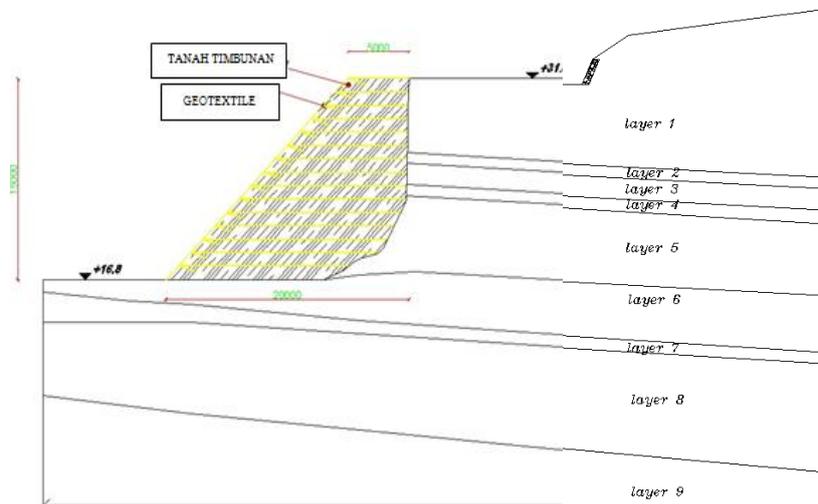
bagian tengah tiang dipasang tulangan spiral D16 dengan jarak 350 mm, karena gaya geser pada daerah tersebut tidak besar.



Gambar 18. Potongan Bored Pile

Analisis Stabilitas Dan Perencanaan Perkuatan Lereng Dengan Geotextile

Lokasi struktur *Geotextile* harus sedemikian rupa sehingga stabilitas lereng dapat memenuhi syarat keamanan dengan memperhatikan biaya dan pelaksanaan konstruksi. Perencanaan struktur tanah bertulang merupakan proses coba-coba untuk memperoleh desain struktur yang efektif dan efisien. Seperti yang kami gunakan terlihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Lokasi Struktur *Geotextile*

Analisis stabilitas struktur *Geotextile* dilakukan dengan menganggap struktur mempunyai panjang tak terhingga, sehingga analisisnya dapat dilakukan secara dua dimensi. Struktur tanah bertulang harus dirancang sedemikian hingga stabil oleh pengaruh gaya luar dan dalam. Dari hasil perhitungan didapatkan desain *Geotextile* yaitu tinggi *Geotextile* 15 meter, lebar bawah 20 meter, lebar atas 5 meter, lebar per-lapisan *Geotextile* 1 meter, panjang tekukan 1 meter. Setelah semua analisis dihitung dapat dilihat nilai keamanan dalam tiap kondisi seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai *Safety Factor* Hasil Perhitungan

No	Description	Safety Factor (SF)	Kesimpulan
1	Kondisi Eksisting	0,8262	Tidak Aman
2	Perkuatan <i>Geotextile</i>	1,4114	Aman
3	Perkuatan <i>Bored Pile</i> dan Timbunan	1,4617	Aman

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis stabilitas lereng yang terjadi di ruas jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 s/d 22+655 adalah:

1. Berdasarkan hasil penyelidikan sondir manual dan boring manual, ruas jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 s/d 22+655 mempunyai lapisan tanah yang bervariasi yaitu kepasiran, kelembungan dan kelanauan.
2. Hasil analisis menunjukkan faktor kemiringan lereng yang curam (hampir 90°), dan kemacetan biasa terjadi pada tanjakan, banyak truk-truk besar yang kesulitan untuk menanjak, sehingga harus berjalan dengan sangat pelan, sementara kendaraan di belakangnya tidak dapat menyalip, mengingat jalur tersebut hanya terdapat dua lajur sehingga ketika dua arah ramai maka tidak ada kesempatan untuk menyalip truk yang berjalan amat pelan tersebut. Sehingga akumulasi beban yang diterima jalan semakin besar menyebabkan terjadinya longsor.
3. *Safety Factor* (SF) pada ruas jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 s/d 22+655 sebesar 0,8262. 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 ruas jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 s/d 22+655, diberikan 2 (dua) alternatif penanganan yaitu dengan memberikan perkuatan *Geotextile* jenis BW250 Woven, dan perkuatan *Bored Pile* kombinasi dengan timbunan tanah.
5. Penanganan kelongsoran dilakukan dengan memberikan perkuatan *Geotextile* jenis BW250 Woven menghasilkan angka keamanan sebesar 1,4114. Sedangkan untuk alternatif kedua perkuatan *Bored Pile* kombinasi dengan timbunan tanah menghasilkan angka keamanan sebesar 1,4617. Angka keamanan ini lebih besar dibandingkan SF minimal disyaratkan yaitu sebesar 1,4 sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua alternatif tersebut memenuhi syarat untuk menerima beban.

SARAN

1. Perlu dilakukan penyelidikan tanah berupa Boring mesin yang lebih dalam sehingga menghasilkan analisis yang lebih akurat.
2. Perlu dilakukan pengendalian air permukaan dengan cara membuat desain drainase yang memadai sehingga air permukaan dari puncak-puncak lereng dapat mengalir lancar dan infiltrasi berkurang.
3. Penggunaan material konstruksi harus sesuai yang disyaratkan dan pelaksanaannya harus sesuai dengan rencana.
4. Perkuatan pada ruas jalan Pringsurat KM. MGL. 22+631 s/d 22+655 agar segera dilaksanakan, mengingat lereng tersebut sudah rawan terjadi longsor.

DAFTAR PUSTAKA

Bagemann. 1965. *The Maximum Pulling Force on A Single Tension Pile Calculated on The Basis of Results of The Adhesion Jacked Cone*, Proc.6th, Conf. SMFE, Vol.2.,220-233.

- 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.
- Das, Braja. M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*, Jakarta: Erlangga.
- Dinas Pekerjaan Umum. 2009. *Pedoman Perkuatan Tanah Dengan Geosintetik*. Dep. PU Direktorat Jendral Bina Marga.
- 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.
- Gadjah Mada University Press. 2003. *Mekanika Tanah 2*, Yogyakarta.
- Koerner, Robert M. 2005. *Designing with Geosynthetics*. Pearson Education, Inc.
- Look, Burt. W. 1962. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor and Francis Group.
- 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.
- Punmia, B. C. 1981. *Soil Mechanics and Foundation*. New Delhi.
- Schmertmann. 1967. *Modified Strain Influence Factor Diagrams for Estimating Settlement Over Sand*. Washington.
- Terzaghi, K. 1943. *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons. New York.
- Terzaghi, K. and Peck, R.B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, Wiley. New York.
- Erlangga. 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid II*, Jakarta.
- Vesic, A. S. 1970. *Teston Instrumented Piles, Ogeechee River Site*, JSMFD, ASCE, Vol.96, SM2, March pp.561-584.
- Whitlow, R. 1995. *Basic Soil Mechanics Third edition*. LongMan Malaysia PP.
- Zainal dan Respati, Sri. 1995. *Pondasi*. Bandung : Penerbit Pusat Pengembangan Politeknik