

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN TIANG MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA (STUDI KASUS JALAN DIPONEGORO KM. 2 PASIR PENGARAIAN)

Yarvis Syahwaner¹⁾, M. Yusa²⁾, Syawal Satibi³⁾

1) Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Sipil, 2) Dosen Jurusan Magister Teknik Sipil, Laboratorium Mekanika Tanah Dan Batuan Teknik Sipil Universitas Riau, Program Pascasarjana, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. H.R. Soebrantas KM. 12,5 Simpang Baru, Tampan Pekanbaru 28293
E-mail: Yarvissyahwaner@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The slope that often occurs on the road Diponegoro Km. 2 Pasir Pengaraian has always been a problem by Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Rokan Hulu, but previously improvements were made but were not entirely successful. Then the slope repair with retaining walls using the bore pile pile foundation was considered quite successful to prevent landslides on the road section. Based on these conditions the author tries to analyze and evaluate the stability of the slope by strengthening the bore pile pile, by analyzing the influence of the pile position (X_p/X), pile diameter, pile length (L_z/L) pile and pile spacing (S/D) on the slope. The object of the research was carried out on the slope of Diponegoro Km. 2 Pasir Pengaraian. The analysis used is field tension analysis with finite element method analysis of strength reduction. Soil parameters are known from several tests in the field and laboratories which are used as design variables in the analysis process. This thesis presents the safety factor of the two-dimensional finite element method with strength reduction analysis using the OPTUMG2 program to validate the slope stability analysis, slope stability analysis simulation with homogeneous clay soil, medium homogeneous clay and homogeneous rigid clay with mast strengthening and evaluation of slope stability analysis in the study case. The results of the numerical analysis based on the influence of the pile position on the slope, pile diameter, pile length, and spacing between the piles with two pile head conditions is free head and fixed head, the condition of the mast is sufficient to improve the safety factor of slope stability.

Keywords: slope stability, safety factor, finite element method, strength reduction analysis

I. PENDAHULUAN

Permasalahan longsor sering sekali dijumpai dalam bidang ilmu geoteknik, terutama pada fasilitas transportasi seperti jalan raya, bendungan dan terowongan. Kelongsoran dapat terjadi karena banyak faktor, seperti halnya gempa bumi, topografi daerah setempat, struktur geologi, sifat rembesan tanah dan morfologi. Longsoran pada umumnya terjadi jika tanah sudah tidak mampu menahan berat lapisan tanah di atasnya karena ada penambahan beban pada permukaan lereng dan berkurangnya daya ikat antara butiran tanah. Beberapa parameter penting sebagai pemicu terjadinya tanah longsor diantaranya adalah

kemiringan lereng. Semakin besar sudut suatu lereng maka akan semakin besar pula daya dorong yang terjadi, hal tersebut disebabkan oleh

peningkatkan tegangan geser berbanding terbalik dengan tegangan normal yang berupa kekuatan penahan lereng. Selain itu adanya beban dinamis juga akan berpengaruh terhadap besarnya sudut kemiringan lereng tersebut. Di daerah yang mempunyai pengaruh beban dinamis yang tinggi, maka sudut kemiringan lerengnya harus lebih kecil jika dibandingkan dengan daerah yang pengaruh beban dinamisnya rendah. Beban dinamis dapat berupa gempa maupun kegiatan manusia (lalulintas kendaraan). Sehingga beban dinamis yang terjadi disekitar lereng pada kondisi tertentu dapat menimbulkan kelongsoran.

Salah satu masalah yang dihadapi Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Rokan Hulu adalah terjadinya kelongsoran lereng dinding penahan tanah pada ruas jalan Diponegoro Km. 02 Pasir Pengaraian, dimana longsor pada lereng tersebut sering kali membahayakan arus lalu lintas di jalur

transportasi ruas jalan tersebut. Pada tahun 2013 dan 2014 telah dilaksanakan perkuatan terhadap lereng tersebut dengan melaksanakan pembangunan perkuatan dengan bronjong, dinding penahan dari cerocok kayu yang sifatnya sementara dan pembangunan pasangan batu gunung dengan posisi bangunan lebih dekat ke lereng sekitar 15 m, namun lereng dan konstruksi perkuatannya yang dibangun tersebut juga mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh longsor.

Berdasarkan beberapa rangkaian kejadian yang terjadi pada lereng ruas jalan Diponegoro Km. 2 Pasir Pengaraian tersebut penulis tertarik untuk melakukan analisis dan evaluasi keamanan terhadap lereng yang diperkuat dengan bor pile dengan menggunakan metode elemen hingga.. Ada pun lokasi longsor yang akan diteliti dapat dilihat pada Gambar 1.1 dibawah ini.



Gambar 1 Lokasi Longsor Badan Jalan Diponegoro Km. 02 Pasir Pengaraian

II. TINJAUAN PUSTAKA

Metode Teori Dasar Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng bertujuan untuk mendapatkan desain lereng yang aman dan ekonomis. Agar analisis stabilitas lereng dapat dilakukan dengan baik, maka diperlukan pemahaman terhadap faktor keamanan dan metoda analisis kestabilan lereng.

Dalam suatu pekerjaan perancangan suatu lereng, angka keamanan merupakan hal

yang sangat penting untuk diketahui dan dipahami secara mendalam. Nilai angka keamanan biasanya diambil melalui proses identifikasi yang diperoleh melalui data-data yang didapat di lapangan ataupun dalam perhitungan di laboratorium. Jika variabel ketidakpastian atau kesalahan didapatkan dan diprediksi besar nilainya, maka dibutuhkan suatu angka keamanan yang tinggi agar mampu mendapatkan suatu kondisi yang cukup aman untuk dapat dibangunnya suatu lereng yang telah dipersiapkan untuk didesain. Besarnya angka keamanan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

1. Ketidakpastian pada saat mendesain seperti parameter kekuatan tanah, distribusi tekanan air pori, geometri lereng, dan lapisan tanah.
2. Biaya untuk mendatarkan dan merendahkan lereng agar stabil.
3. Konsekuensi keruntuhan yang akan terjadi.
4. Lamanya penggunaan lereng yang bersifat sementara atau permanen.

Besar faktor keamanan dalam aplikasinya sangat tergantung pada kualitas hasil penyelidikan tanah, fungsi lereng, dan pengalaman perencana. Semakin rendah kualitas penyelidikan tanah dan pengalaman perencana, maka semakin besar faktor keamanan yang diambil. Menurut Duncan dan Buchignani (1976) merekomendasikan besarnya faktor keamanan seperti pada Tabel 2.1 di bawah :

Tabel 1 Faktor Keamanan Untuk Kondisi Lingkungan Dan Ketepatan

Kondisi Lingkungan	Ketetapan Penentuan Parameter Tanah			
	Kurang Akurat		Akurat	
	Sementara	Permanen	Sementara	Permanen
Tidak ada bangunan penduduk	1,3	1,5	1,25	1,3
Banyak bangunan penduduk	1,3	2	1,3	1,5

Sumber : An Engineering Manual For Settlement Studies, 1976

Secara teoritis, faktor keamanan digunakan untuk mendefinisikan stabilitas lereng. Nilai faktor keamanan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara kekuatan geser dari tanah (*shear strength*) dan tegangan geser (*shear stress*) yang bekerja pada tanah atau bidang longsor, Dimana :

$SF > 1$, menunjukkan lereng stabil

$SF < 1$, menunjukkan lereng tidak stabil

$SF = 1$, menunjukkan lereng dalam keseimbangan

Berdasarkan ketentuan diatas umumnya faktor keamanan dirumuskan sebagai:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots \dots \dots (2.1)$$

Kekuatan geser drained tanah efektif terdiri atas kohesi dan geseran, dituliskan seperti berikut:

$$\tau' = c' + (\sigma_n - \mu) \tan \phi' \dots \dots \dots (2.2)$$

karena $\sigma' = \sigma - \mu$ maka persamaan menjadi :

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan cara yang sama dapat dituliskan persamaan tegangan geser sebagai berikut :

$$\tau_d = c'_d + \sigma'_d \tan \phi'_d \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana c_d dan ϕ'_d adalah kohesi dan sudut geser dalam yang terjadi.

τ' = Tegangan geser yang dapat digerakan oleh tanah (kN/m²)

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

ϕ' = Sudut geser dalam tanah (Derajat)

τ_f = kuat geser tanah rata-rata

τ_d = tegangan geser yang direduksi bertahap

σ' = tegangan efektif

μ = tekanan air pori

FS = faktor keamanan untuk tegangan total

Kemudian dengan cara sama kita dapat menuliskan persamaan kekuatan geser yang bekerja sepanjang bidang longsor. Dengan memasukkan persamaan τ_f dan τ_d ke dalam persamaan faktor keamanan, maka kita dapatkan :

$$FS = \frac{\tau_f c + \sigma \tan \phi}{\tau_d c + \sigma \tan \phi} \dots \dots \dots (2.5)$$

Metode Analisis Stabilisasi Lereng

Untuk pencegahan longsor untuk semua jenis tanah dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

1. Pengurangan beban aktif pada lereng,
2. Meningkatkan perkuatan lereng
3. Menghindari atau mengurangi bidang gelincir pada lereng

Pengurangan beban aktif biasanya dengan pembentuk lereng dengan perataan lereng yaitu pembentukan lereng dari bagian atas lereng atau penurunan muka air tanah di lereng. Sedangkan perkuatan dapat ditingkatkan dengan menggunakan metode sebagai berikut :

1. Meningkatkan kekuatan geser dengan pembuatan drainase pada lereng,
2. Menghambat/memutuskan bidang lemah pada lereng,
3. Pembuatan struktur perkuatan lereng.

Metode Kesetimbangan Batas

Metode kesetimbangan batas telah menjadi metode utama yang digunakan dalam

mengestimasi stabilitas kemiringan selama beberapa dekade. Prosedur didasarkan pada penentuan faktor keamanan lereng. Faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang menahan dengan gaya yang menggerakkan. Dengan kata lain, ketika faktor keamanan adalah 1,0, kondisi lereng dalam keadaan seimbang.

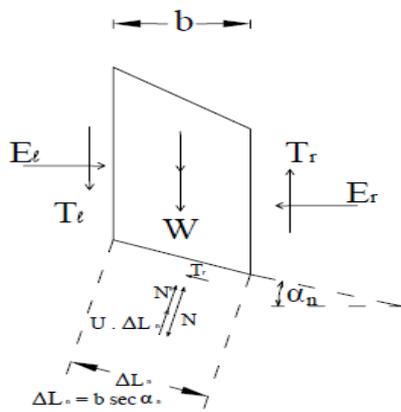
Lereng biasanya diklasifikasikan dengan lereng terbatas dan lereng tak terbatas, Lereng terbatas menunjukkan kondisi kelongsoran lereng yang akan terjadi berada disepanjang bidang gelincirnya. Rasio kedalaman longsor permukaan dengan panjang zona longsor relatif kecil (<10%). Jenis tanah di kegagalan ini biasanya granular terutama di tanah kohesif. Metode irisan adalah metode umum untuk memecahkan masalah stabilitas lereng menggunakan metode kesetimbangan batas. Menurut Abramson (1995) Metodologi membagi massa geser menjadi beberapa irisan, momen dan kekuatan keseimbangan yang dijumlahkan untuk seluruh massa geser adapun beberapa metode tersebut dapat dirangkum berikut :

1. Metode Irisan

Metode irisan merupakan salah satu metode yang paling sederhana, stabilitas dari tiap-tiap irisan dihitung secara terpisah untuk memenuhi kesetimbangan massa tanah baik seluruh ataupun irisan individu. Metode ini sangat nyaman untuk perhitungan tangan tetapi kurang akurat dari metode lain.

2. Metode Bishop

Metode ini pada dasarnya sama dengan metode swedia, tetapi metode ini memperhitungkan gaya-gaya antar irisan yang ada. Metode Bishop mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran. Pertama yang harus diketahui adalah geometri dari lereng dan juga titik pusat busur lingkaran bidang luncur, serta letak rekahan, Untuk menentukan titik pusat busur lingkaran bidang luncur dan letak rekahan pada longsor busur dipergunakan grafik metode Bishop yang disederhanakan merupakan metode sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti.



$$S = c' \cdot \Delta L_n + \Delta L_n \cdot \sigma \tan \phi$$

Gambar 2 Gaya Pada Suatu Elemen Menurut Bishop

3. Metode Janbu

Metode ini digunakan untuk menganalisis lereng yang bidang longsornya tidak berbentuk busur lingkaran. Bidang longsor pada analisa metode janbu ditentukan berdasarkan zona lemah yang terdapat pada massa batuan atau tanah.

Cara lain yaitu dengan mengasumsikan suatu faktor keamanan tertentu yang tidak terlalu rendah. Kemudian melakukan perhitungan beberapa kali untuk mendapatkan bidang longsor yang memiliki faktor keamanan terendah. Janbu mengembangkan suatu cara analisis stabilitas lereng yang dapat diterapkan untuk semua bidang longsor.

Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga pertama kali diperkenalkan ke dalam ilmu geoteknik oleh Clough dan Woodward pada tahun 1967. Metode elemen hingga memberikan potensi besar untuk menangani permasalahan geoteknik karena kemampuannya untuk memodelkan perilaku ketegangan nonlinear tanah. Tanah yang sangat kompleks, sehingga perilaku elastis linear biasanya tidak cukup untuk menangkap perilaku masalah geoteknik.

Beberapa model sederhana seperti *linear Model elastis*, *Model elastis multilinear*, *Model elastis hiperbolik* atau *model elastoplastis* sering digunakan untuk menyederhanakan hubungan tanah tegangan-regangan dan kadang-kadang memberikan kesepakatan yang baik. Dalam penggunaan model elastoplastis, karakteristik tanah Model konstitutif, seperti *elastisitas*, fungsi *yield*, fungsi *potensial*, dan Aturan pengerasan adalah faktor kunci dalam penentuan model yang sukses dan harus dikalibrasi dengan tes laboratorium.

Model elastis linear adalah model yang paling sederhana, hanya membutuhkan dua parameter (*modulus young* (E), dan *poisson rasio* (ν). Namun, ini bukan model yang baik untuk digunakan dalam material tanah kecuali pada tekanan yang rendah dan tingkat ketegangan kecil. Oleh karena itu, model *elastik plastic* biasanya digunakan dalam model tanah. Pemodelan *Mohr-Coulomb* adalah model yang paling sering digunakan dalam mekanika tanah.

Analisis Strength Reduction

Untuk mendapatkan faktor keamanan lereng dapat dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga, metode kesetimbangan batas dan metode pengurangan kekuatan (ho, 2009). Faktor reduksi kekuatan (SRF) adalah faktor yang terbagi untuk membawa lereng ke titik kegagalan. Dalam kesetimbangan batas faktor keamanan didefinisikan sebagai berikut :

$$FS = \frac{\tau_r}{\tau_d} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

τ_r = Tahanan Geser

τ_d = Tegangan Geser yang direduksi bertahap

Dalam metode reduksi kekuatan, parameter kekuatan geser yang diperhitungkan c_f, ϕ_f didefinisikan dengan :

$$c'_f = \frac{c'}{SRF} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\phi'_f = \arctan \frac{(\tan \phi)}{(SRF)} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

SRF = faktor reduksi kekuatan

Keuntungan dari Analisis Elemen Hingga dalam Analisis Stabilitas Lereng

Beberapa keuntungan yang terkenal dari analisis elemen hingga dalam stabilitas lereng dirangkum berikut ini. Keuntungan utama dibandingkan dengan membatasi metode keseimbangan menurut Griffiths dan Lane (1999) yaitu :

1. Tidak ada asumsi yang harus dibuat mengenai bentuk atau lokasi permukaan lereng yang longsor
2. Karena tidak ada konsep irisan dalam pendekatan elemen hingga tidak ada kebutuhan untuk asumsi tentang kekuatan bidang gelincir lereng. Metode elemen hingga memenuhi kesetimbangan sampai "kegagalan" tercapai.
3. Jika kompresibilitas tanah data tersedia, solusi elemen hingga akan memberikan informasi tentang deformasi pada tingkat tegangan yang bekerja kerja.

Tiang Bore Pile

Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi bore pile jika dibandingkan dengan tiang pancang, yaitu:

1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan dowel pada pelat penutup tiang (*pile cap*). Kolom dapat secara langsung diletakkan di puncak bored pile.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
5. Bore pile dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.

Kemudian kerugian menggunakan pondasi *bore pile* yaitu:

1. Pengecoran *bore pile* dipengaruhi kondisi cuaca.
2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan *bore pile* mengurangi kapasitas dukung *bore pile*, terutama bila *bore pile* dipasang cukup dalam.
4. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.

Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Tiang

Sejumlah metode telah diusulkan untuk menganalisis dan menstabilkan lereng. Terdapat tiga kategori utama analisis telah diklasifikasikan sebagai dasar tekanan, dasar perpindahan dan metode kontinum (*FEM, FD, BEM*) (Jeong. 2003).

Metode berbasis tekanan berdasarkan estimasi tekanan batas tanah lateral diterapkan pada tiang. Metode perpindahan berdasarkan analisis uncoupled dimana respon tiang yang meliputi gaya geser pada kedalaman geser, distribusi saat lentur, defleksi tiang dan tahanan tanah yang disebabkan oleh gerakan tanah lateral. Dalam penelitian yang dilakukan (Viggiani 1981

dan Poulos 1995), Prosedur desain umum untuk menstabilkan lereng dapat dilakukan dengan tiga langkah utama yaitu :

1. Mengevaluasi gaya geser total yang dibutuhkan untuk meningkatkan faktor keamanan lereng ke nilai yang diinginkan
2. Memperkirakan gaya geser maksimum yang masing-masing tiang dapat memberikan melawan pergerakan lapisan geser lereng,
3. Memilih jenis dan jumlah tiang dan lokasi yang paling cocok di lereng.

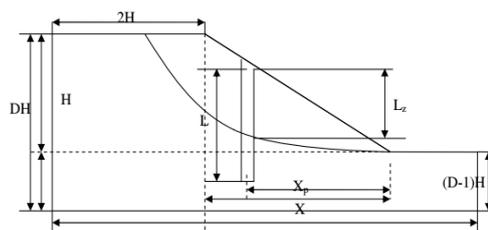
Menurut Lee (2006) faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja tiang dalam menstabilkan tanah/lereng adalah :

1. Kepala tiang tahanan,
2. Kekakuan Tiang,
3. Dimensi tiang
4. Posisi dan jarak tiang
5. Panjang tiang,
6. Sifat dan pergerakan tanah.

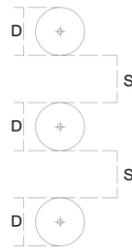
Penerapan Pembebanan Lateral Dalam Stabilisasi Lereng

Pengaruh tiang pada stabilitas lereng adalah karena pembebanan pasif atau tahanan. Tiang menahan tanah lateral, yang menginduksi tegangan lentur dalam tiang. Sejumlah metode telah diusulkan untuk menilai pengaruh tiang terhadap pergerakan tanah lateral. Sebelumnya menurut penelitian Chen dan Poulos (1995) mengusulkan metode elemen hingga untuk menganalisis perkuatan tiang terhadap pergerakan tanah lateral. Analisis ini mengasumsikan gerakan tanah dan siklus persamaan untuk mendapatkan tekanan tanah terhadap tiang.

Sistem pemasangan tiang pada lereng ditampilkan sebagai Gambar 2.8. Tampilan atas dari susunan tiang ditunjukkan pada Gambar 2.7. L_z/L digunakan untuk panjang tiang dan kedalaman bidang longsor dari permukaan lereng. Rasio S/D merupakan jarak antara tiang dan diameter tiang. Jarak tiang dari ujung kaki untuk jarak antara kaki dan puncak (X_p/X).



Gambar 3 Profil Dari Sistem Stabilitas Tiang (Ho, 2009)



Gambar 4 Pengaturan Posisi Tiang (OPTUMG2)
 Dari Gambar 2.7 dan 2.8 tersebut diatas dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain :

$$\frac{L_z}{L} = \frac{\text{Panjang tiang di atas permukaan bidang longsor}}{\text{Panjang tiang total}}$$

$$\frac{X_p}{X} = \frac{\text{jarak dari tiang kaki lereng}}{\text{jarak antara puncak dan kaki lereng}}$$

$$\frac{S}{D} = \frac{\text{Jarak Tiang}}{\text{Diameter}}$$

Dimana

L_z = Panjang tiang di atas permukaan bidang longsor

L = Panjang tiang total

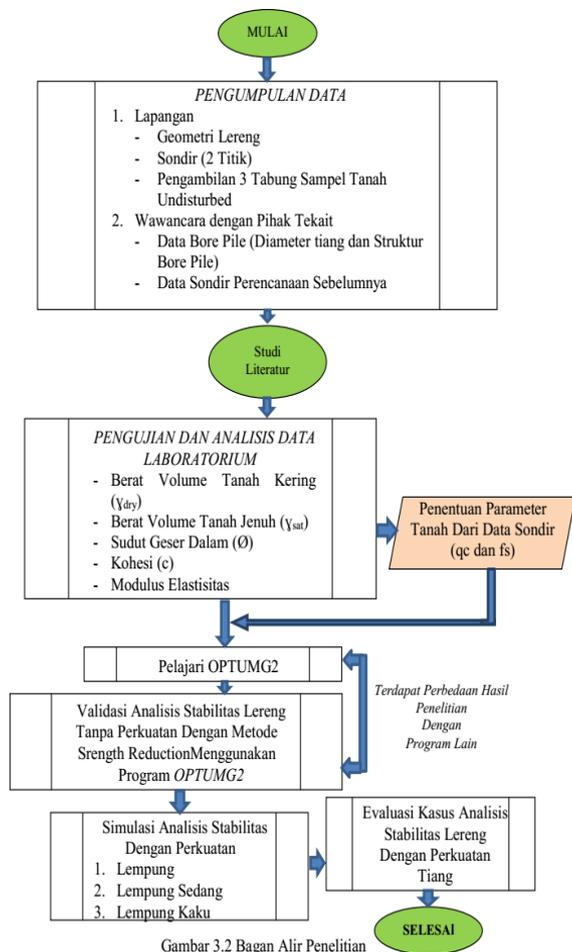
X_p = jarak dari tiang kaki lereng

X = jarak antara puncak dan kaki lereng

D = Diameter Tiang

S = Jarak Tiang

III. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

Parameter Tanah Dalam Program OPTUMG2

Stratifikasi Tanah Pada Lereng (Studi Kasus)

Stratifikasi tanah adalah penggambaran jenis lapisan tanah berdasarkan hasil pengujian tanah dari data sondir. Hasil stratifikasi tanah pada kasus longsor ini diperoleh dari tahapan-tahapan analisis sebagai gambaran estimasi stratifikasi tanah dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5 pada halaman 71 dan 72.

Identifikasi Jenis Tanah Berdasarkan Data Sondir (nilai qc dan fs)

Untuk mengetahui parameter tanah, peneliti melakukan korelasi nilai qc dan fs dari data sondir dengan tabel klasifikasi tanah menurut Sungkono (1995) halaman 42. Berikut adalah hasil analisa nilai qc dan fs data sondir terhadap jenis lapisan tanah menurut konsistensinya.

- Cross 15

Tabel 2 Hasil Sondir 7 (Atas Kiri Cross 15)

Kedalaman (m)	Qc (kg/cm ²) Sondir	Nilai Rata-rata (Fs) Sondir	Jenis Tanah
0 – 1,5	14 - 52	0,77	Lempung Atau Lempung Kelanauan
1,5 – 2,8	30 - 246	0,14	Lempung Berbutir Sampai Dengan Pasir Lepas
2,8 – 5	30 - 52	1,51	Pasir Kelanauan, Pasir Agak Padat
5 – 9,8	30 - 164	8,96	Lempung Kerikil Kenyal

➔ Penentuan Parameter Tanah Dari Data Sondir (qc dan fs)

Tabel 3 Hasil Sondir 5 (Tengah) Cross 15

Kedalaman (m)	Qc (kg/cm ²) Sondir	Nilai Rata-rata (Fs) Sondir	Jenis Tanah
0 – 0,2	26	0,66	Lempung
0,2 – 2,2	50 - 200	2,17	Lempung Kepasiran
2,2 – 4,2	210 - 350	2,67	Pasir Kelanauan

Tabel 4 Hasil Sondir 3 (Kanan) Bawah Cross 15

Kedalaman (m)	Qc (kg/cm ²) Sondir	Nilai Rata-rata (Fs) Sondir	Jenis Tanah
0 – 1,2	0 - 14	0,18	Lempung
1,2 – 2,8	36 - 150	1,85	Lempung Berpasir
2,8 – 4,2	130 - 300	2,08	Pasir Kelanauan Sangat Padat

- Cross 22

Tabel 5 Hasil Sondir 6 (Atas) Kiri Cross 22

Kedalaman (m)	Qc (kg/cm ²) Sondir	Nilai Rata-rata (Fs) Sondir	Jenis Tanah
0 - 1	0 – 30	0,58	Lempung Kelanauan
1 – 2	34 - 74	0,93	Lempung Berpasir
2 – 5	20 - 58	1,65	Lempung Kelanauan Kenyal
5 – 9,2	20 - 138	9,54	Lempung agak kenyal, lempung berbutir sampai dengan lempung padan dan kaku

Tabel 6 Hasil Sondir 2 (Bawah) Kanan Cross 22

Kedalaman (m)	Qc (kg/cm ²) Sondir	Nilai Rata-rata (Fs) Sondir	Jenis Tanah
0 – 2,6	0 - 32	0,43	Lempung Kelanauan
2,6 – 7,8	52 - 300	2,69	Lempung Padat
7,8 – 12,8	204 - 370	2,73	Lempung Kekerikilan Kenyal

Identifikasi Parameter Lapisan Tanah Berdasarkan Jenis Tanah

Identifikasi parameter tanah dilakukan setelah diketahui jenis tanah berdasarkan data qc dan fs sondir, kemudian penentuan parameter lapisan tanah pada lereng (γ_{wet} , γ_{dry} , E, ν , ϕ) dilakukan dengan korelasi berdasarkan tabel *Determination of soil properties, using Cone Penetration Testing (Brouwer, 2002)* yang dapat dilihat pada bab sebelumnya halaman 44. Sedangkan nilai kohesi secara empiris (c) ditentukan berdasarkan data sondir (qc) terbesar pada setiap lapisan tanah dengan rumus kohesi

berdasarkan data sondir (Sunggono, 1995) halaman 46. Berikut tabel hasil korelasi parameter lapisan tanah berdasarkan jenis tanah.

- Cross 15

Jenis Tanah	γ_{wet} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)	c (kPa)	E (Mpa)	ν	ϕ (°)
Lempung	14	14	2,5	1	0,3	17,5
Lempung Kepasiran	15	15	2,31	1,5	0,3	17,5
Pasir Kelanauan	18	20	17,5	8	0,3	30
Lempung Kekerikilan Kenyal	20	20	18,5	10	0,3	25

Tabel 7 Parameter Lapisan Tanah (Data Sondir 3) Cross 15

Jenis Tanah	γ_{wet} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)	c (kPa)	E (Mpa)	ν	ϕ (°)
Lempung Atau Lempung Kelanauan	14	14	2,6	1	0,35	17,5
Lempung Berbutir Sampai Dengan Pasir Lepas	15	15	12,3	1,5	0,3	22,5
Pasir Kelanauan, Pasir Agak Padat	18	18	2,6	3	0,3	22,5
Lempung Agak Kenyal	21	21	8,2	10	0,3	24
Lempung Kekerikilan Kenyal	20	20	18,5	10	0,3	25

Tabel 8 Parameter Lapisan Tanah (Data Sondir 5) Cross 15

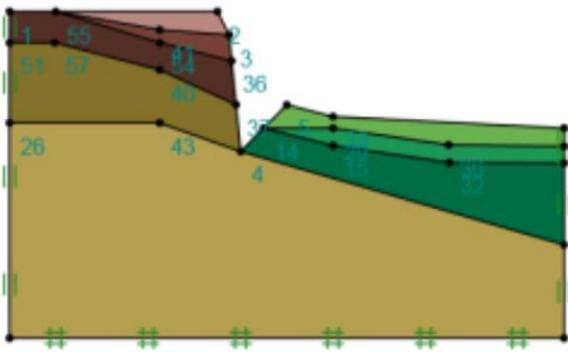
- Cross 22

Jenis Tanah	γ_{wet} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)	c (kPa)	E (Mpa)	ν	ϕ (°)
Lempung Kelanauan	14	14	1,7	1	0,35	17,5
Lempung Berpasir	18	18	3,7	5	0,3	22,5
Lempung Kelanauan Kenyal	18	18	2,9	3	0,3	22,5
Lempung agak kenyal, lempung berbutir	20	20	6,9	5	0,3	24
Lempung Kekerikilan Kenyal	20	20	18,5	10	0,3	25

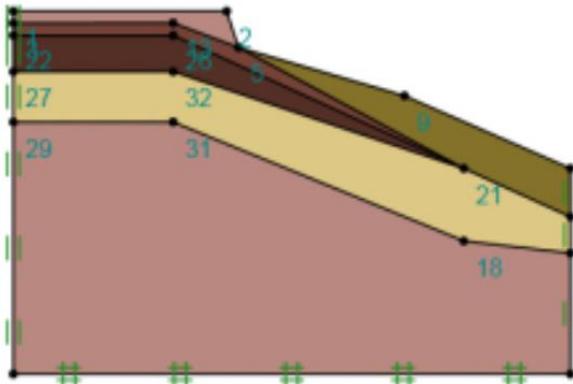
Tabel 9 Parameter Lapisan Tanah (Data Sondir 6) Cross 22

Tabel 10 Parameter Lapisan Tanah (Data Sondir 6) Cross 22

Jenis Tanah	γ_{wet} (kN/m ³)	γ_{dry} (kN/m ³)	c (kPa)	E (Mpa)	ν	ϕ (°)
Lempung	14	14	2,5	1	0,3	17,5
Lempung Berpasir	18	18	7,5	5	0,3	17,5
Pasir Kelanauan Sangat Padat	18	19	15	8	0,3	30
Lempung Kekerikilan Kenyal	20	20	18,5	10	0,3	25



Gambar 5 Model Geometri Lereng Cross 15 Pada Program OPTUMG2

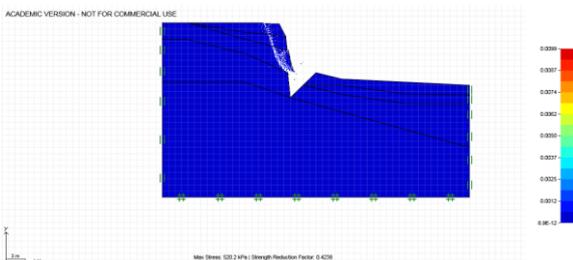


Gambar 6 Model Geometri Lereng Cross 15 Pada Program OPTUMG2

IV. Hasil Dan Pembahasan

Setelah geometri lereng dibuat selanjutnya melakukan input parameter lapisan tanah sesuai dengan parameter tanah yang telah diketahui sebelumnya, kemudian dilanjutkan dengan running analisis dengan analisis *strength reduction*.

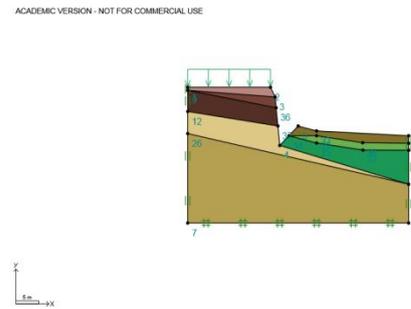
Berdasarkan analisis yang dilakukan diketahui faktor keamanan lereng cross 15 $FS = 0,4238$, dimana kondisi bidang longsor lereng tersebut berada pada puncak lereng. Kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 7 Kondisi Kelongsoran Pada Lereng Cross 15 Tanpa Pembebanan $FS = 0,4238$

a. Evaluasi stabilitas lereng cross 15 dengan pembebanan.

Kemudian dilanjutkan dengan analisis stabilitas lereng dengan pembebanan. Dalam analisis ini diasumsikan terdapat beban lalu lintas pada bagian atas lereng dengan dilai pembebanan sebesar 10 kN/m^2 , kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar sebagai berikut :

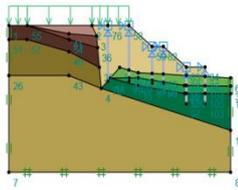


Gambar 8 Model Penampang Awal Cross 15 Dengan Pembebanan

Kemudian penulis melakukan evaluasi terhadap perbaikan yang dilakukan sebelumnya dengan langkah-langkah analisis berikut ini :

1. Evaluasi Analisis Stabilitas Lereng Non Homogen Setelah Perbaikan

Dalam analisis perkuatan lereng yang dilakukan pengaruh perkuatan terhadap stabilitas lereng berlapis, parameter tiang yang digunakan sama dengan perkuatan dilapangan. Berdasarkan data diperoleh yang kemudian diinput kedalam program OPTUMG2, dimana diameter tiang yang digunakan 40 cm dengan jumlah baris tiang enam batang dan spasi tiang 3 m.



Gambar 10 Model Penampang Lereng` Cross 15 Setelah Perbaikan

Dalam kasus ini penulis merasa perlu melakukan evaluasi terhadap desain awal perencanaan pembangunan dinding penahan tanah tersebut ditinjau dari faktor ekonomis desain yang dilakukan, antara lain :

1. Alternatif penanganan dengan penambahan model timbunan pada lereng tanpa pembebanan dan dengan pembebanan.
2. Alternatif penanganan dengan perkuatan tiang bore pile pada lereng.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil validasi, simulasi dan evaluasi analisis stabilitas lereng dan analisis stabilitas lereng dan homogen Lempung, lempung sedang dan lempung kaku yang diperkuat dengan tiang. Berdasarkan analisis stabilitas lereng, lereng yang diperkuat dengan tiang berdasarkan pengaruh posisi tiang, diameter tiang, panjang tiang dan S/D tiang dan perbedaan kondisi kepala tiang telah dimasukkan ke dalam analisis elemen hingga dan dibahas. Beberapa kesimpulan dapat dibuat dalam analisis ini :

1. Pada Lereng homogen, posisi tiang optimal berada dibagian tengah lereng (X_p/X) = 0,5, kondisi dimana tiang dapat

meningkatkan faktor keamanan lereng terlepas dari kondisi kepala tiang.

2. Berdasarkan pengaruh diameter tiang terhadap lereng dengan kondisi kepala tiang jepit lebih dapat meningkatkan faktor keamanan lereng sebesar 1 % terhadap faktor keamanan lereng dengan kondisi kepala tiang bebas. Dimana kondisi kepala tiang bebas memperlihatkan dengan bertambahnya diameter tiang maka faktor keamanannya akan semakin meningkat walaupun tidak terlalu signifikan, kemudian tiang dengan kondisi kepala tiang jepit faktor keamanannya lebih cenderung sama.
3. Untuk pengaruh panjang tiang (L_z/L) dengan kondisi kepala tiang bebas, Peningkatan faktor keamanan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya panjang tiang yang berada dibawah bidang longsor, sedangkan panjang tiang (L_z/L) dengan kondisi kepala tiang jepit tidak terdapat peningkatan faktor keamanan terhadap penambahan panjang tiang.

Saran

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang diperoleh maka untuk keperluan desain disarankan.

1. Dalam sudut pandang desain, tiang harus ditempatkan di bagian tengah lereng untuk mencapai faktor keamanan tertinggi dibandingkan dengan lokasi lain pada lereng.
2. Penggunaan tiang dengan kondisi kepala tiang jepit sebainya digunakan pada jenis tanah lempung kaku
3. Terhadap simulasi analisis perkuatan dengan tiang yang dilakukan pada lempung dan lempung sedang, perkuatan dengan satu baris

tiang belum tentu meningkatkan stabilitas sehingga sebaiknya menggunakan dua baris tiang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ausilio, E., Conte, E., and Dente, G. (2001). "Stability analysis of slopes reinforced with piles." *Computers and Geotechnics*, Vol. 28, No. 8, 591-611.
- Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S., and Boyce, G.M. (2002). "Slope stability and stabilization methods." 2nd ed. John Wiley
- Ang, E.C. (2005). "Numerical investigation of load transfer mechanism in slopes reinforced with piles." PhD. Thesis, University of Missouri-Columbia.
- Ausilio, E., Conte, E., and Dente, G. (2001). "Stability analysis of slopes reinforced with piles." *Computers and Geotechnics*, Vol. 28, No. 8, 591-611.
- Bahan-bahan kuliah mekanika tanah 1, 2 dan Lanjutan
- Chen, C.Y. and Martin, G.R. (2002). "Soil-structure interaction for landslide stabilizing piles." *Computers and Geotechnics*, Vol. 29, 363-386.
- Cai F, and Ugai K.(2000). " Numerical analysis of the stability of a slope reinforced with piles." *Soils Found*, Japan Geotech Society, Vol. 40(1), 73-84.
- Das, Braja M., *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1 dan Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995.
- Bowles, Joseph E., *Analisis dan Desain Pondasi*, Jilid 1, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1998. Das, Braja M., *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1 dan Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1995
- Hardiyatmo, Hary Christady, *Mekanika Tanah 1 dan Mekanika Tanah 2*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2002
- Sunggono KH, *Buku Teknik Sipil*, Penerbit Nova, Bandung, 1995
- Dinas Bina Marga Dan Pengairan Kabupaten Rokan Hulu
- Duncan, J.M. and Dunlop, P. (1969). "Slopes in stiff -fissured clay and shales." *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, Vol. 95, No.2, 467 - 492.
- Duncan, J.M. (1996). "State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes." *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 122, No. 7, 577-596.
- Duncan, J.M. and Wright, S.G. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*, Wiley, New Jersey.
- Griffiths, D.V., and Lane, P.A. (1999). "Slope stability analysis by finite elements." *Géotechnique*, Vol. 49, 387-403.
- Hassiotis, S., Chameau, J.L, Gunaratne, M. (1997). "Design method for stabilization of slopes with piles." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 123 No.4, 314-23.
- I-Hsuan Ho, 2009, *Optimization of Pile Reinforced Slopes Using Finite Element Analyses*, Iowa State University
- Ito, T., Matsui, T., and Hong, W.P. (1981), "Design method for stabilizing piles against
- Matsui, T., and San, K. C., 1992, "Finite element slope stability analysis by shear strength reduction technique." *Soils and Foundations*, Vol. 32, No. 1, 59-70.
- Wei, W.B., and Cheng, Y.M. (2009). "Strength reduction analysis for slope reinforced with one row of piles." *Computers and Geotechnics*, Vol. 36, 1176-1185.
- Hirnawan, R.F., 1993, *Ketanggapan Stabilitas Lereng Perbukitan Rawan Gerakan tanah atas Tanaman Keras, Hujan & Gempa*, Disertasi, UNPAD, 302pp