

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Tanah

Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dari bahan - bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai zat cair juga gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995). Selain itu dalam arti lain tanah merupakan akumulasi partikel mineral atau ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1989).

Tanah juga merupakan kumpulan-kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (diantaranya mungkin material organik) rongga- rongga diantara material tersebut berisi udara dan air (Verhoef, 1994). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida - oksida yang mengendap diantara partikel - partikel. Ruang diantara partikel - partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya (Hardiyatmo, 2010).

Tanah juga dapat didefinisikan sebagai akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan partikelnya, yang terbentuk oleh karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori -pori yang berisi air dan udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh karbonat dan oksida yang tersenyawa diantara partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut berada pada tempat semula maka bagian ini disebut sebagai tanah sisa (*residu soil*). Hasil pelapukan terangkut ke tempat lain dan mengendap di beberapa tempat lain.

3.2 Parameter Tanah

Berdasarkan Hardiyatmo (2013), tanah dapat terdiri dari beberapa bagian. Dalam tanah yang kering sendiri, tanah memiliki dua bagian yang terkandung didalamnya yaitu terdiri dari butiran tanah dan udara. Pada tanah jenuh, tanah juga memiliki dua bagian yaitu terdiri dari butiran tanah dan air. Sedangkan pada tanah tidak jenuh, tanah memiliki tiga bagian yaitu terdiri dari butiran tanah, udara dan air. Pada penelitian kali ini parameter tanah yang digunakan sebagai analisis dalam *input* ke program geoslope adalah kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan berat volume (γ). Berikut merupakan penjabaran mengenai kohesi, sudut geser dalam, dan berat volume

1. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik-menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah, dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai kohesi pada penelitian ini didapat dengan mengolah data borlog yang didapatkan dari data penyelidikan tanah jawa timur dengan lokasi Borlog 1 (BH 1). Berikut merupakan rumus 3.1 untuk mencari nilai kohesi

$$c = 0,1 \cdot N \quad (3.1)$$

Dimana,

c = kohesi

N = nilai pada borlog

2. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam atau kekuatan geser tanah dapat didefinisikan sebagai tahanan maksimum dari tanah terhadap tegangan geser dibawah suatu kondisi yang diberikan. Kekuatan geser (*shear strength*) tanah merupakan gaya tahanan internal yang bekerja per satuan luas masa tanah untuk menahan keruntuhan atau kegagalan sepanjang bidang runtuh dalam masa tanah tersebut.

3. Berat Volume

Nilai berat volume tanah akan menentukan besarnya beban yang diterima pada permukaan bidang longsor, dinyatakan dalam satuan berat per volume. Semakin besar berat volume pada suatu lereng maka gaya geser penyebab kelongsoran akan semakin besar. Berikut merupakan Tabel 3.1 korelasi Nilai N-SPT terhadap berat volume dan sudut geser dalam dan Tabel 3.2 hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah

Tabel 3.1 Korelasi Nilai N-SPT

N	γ (kN/m ³)	ϕ (°)
0-4	11-13	26-28
4-10	14-16	29-34
10-30	17-19	35-40
30-50	20-21	38-45
>50	>21	>45

(Sumber: Budhu, M. 2012)

Tabel 3.2 Hubungan Sudut Geser Dalam dan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil Kepasiran	35 – 40
Kerikil Kerakal	35 – 40
Pasir Padat	35 – 40
Pasir Lepas	30
Lempung	20 – 30

(Sumber: Das (1994) dalam Wicaksono)

3.3 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda- beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi ini menjelaskan secara

singkat sifat- sifat umum tanah yang sangat bervariasi namun tidak ada yang benar-benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai kemungkinan pemakaiannya (Das. 1995).

Sistem klasifikasi tanah dimaksudkan untuk memberikan informasi tentang karakteristik dan sifat-sifat fisik tanah serta mengelompokkannya sesuai dengan perilaku umum dari tanah tersebut. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan suatu kondisi fisik tertentu. Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis. tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Menurut Verhoef (1994), tanah dapat dibagi dalam tiga kelompok:

1. Tanah berbutir kasar (pasir,kerikil)
2. Tanah berbutir halus (lanau, lempung)
3. Tanah campuran

Perbedaan antara pasir/kerikil dan lanau/lempung dapat diketahui dari sifat-sifat material tersebut. Lanau/lempung seringkali terbukti kohesif (saling mengikat) sedangkan material yang berbutir (pasir, kerikil) adalah tidak kohesif (tidak saling mengikat). Struktur dari tanah yang tidak berkoehesi ditentukan oleh cara penumpukan butir (kerangka butiran). Sruktur dari tanah yang berkoehesi ditentukan oleh konfigurasi bagian-bagian kecil dan ikatan diantara bagian-bagian kecil ini. Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah tidak kohesif dan tanah kohesif, atau tanah berbutir kasar dan berbutir halus (Bowles, 1989). Namun klasifikasi ini terlalu umum sehingga memungkinkan terjadi identifikasi yang sama untuk tanah-tanah yang hampir sama sifatnya

3.4 Lereng

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal. Lereng dapat terbentuk secara alamiah karena proses

geologi atau karena dibuat oleh manusia. Lereng yang terbentuk secara alamiah misalnya lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia antara lain yaitu galian dan timbunan untuk membuat jalan raya dan jalan kereta api, bendungan, tanggul sungai dan kanal serta tambang terbuka. Suatu longsoran adalah keruntuhan dari massa tanah yang terletak pada sebuah lereng sehingga terjadi pergerakan massa tanah ke bawah dan ke luar. Longsoran dapat terjadi dengan berbagai cara, secara perlahan-lahan atau mendadak serta dengan ataupun tanpa tanda-tanda yang terlihat.

Dalam ilmu bidang Teknik Sipil, ada tiga macam jenis lereng, berikut jenisnya:

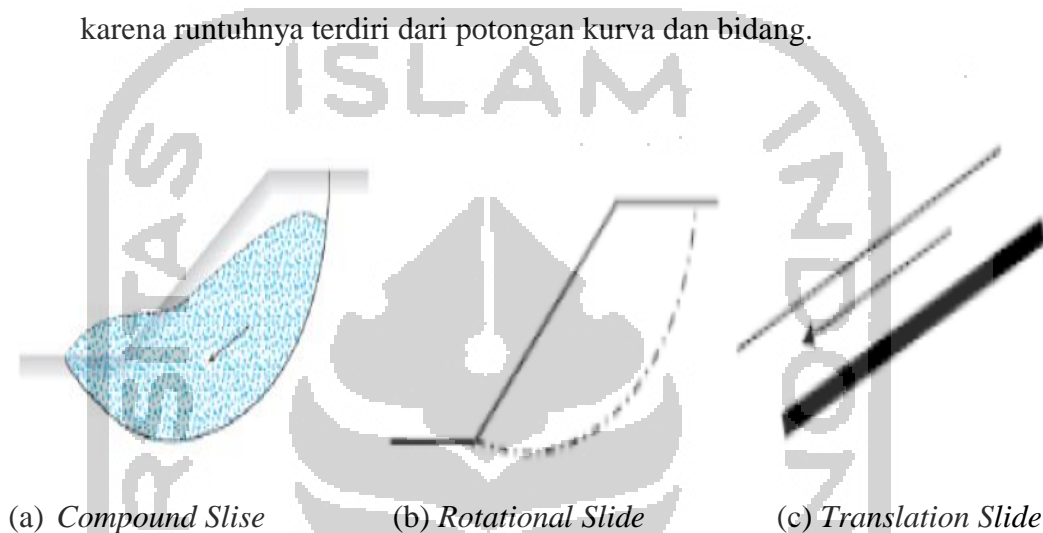
1. Lereng alam, yaitu lereng yang proses terbentuk karena proses - proses alam, dimana proses ini terjadi oleh alam sendiri (alami) misalnya lereng suatu bukit.
2. Lereng yang dibuat dengan tanah asli, misalnya apabila tanah dipotong untuk pembuatan jalan, gedung, bangunan lainnya atau saluran air untuk keperluan irigasi.
3. Lereng dibuat dari tanah yang dipadatkan, sebagai tanggul untuk jalan. Pada ketiga jenis lereng ini kemungkinan untuk terjadi longsor selalu ada, karena dalam setiap kasus tanah yang tidak rata akan menyebabkan komponen gravitasi dari berat memiliki kecenderungan untuk meng-gerakkan massa tanah dari elevasi lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah.

Longsoran lereng adalah pergerakan massa tanah batuan dalam arah tegak, mendatar, atau miring dari kedudukan semula sebagai akibat ketidak mampuan lereng menahan gaya geser yang bekerja pada batas antara massa yang bergerak dan massa yang stabil (Wicaksono,2016).

Berikut ada 3 tipe utama dari kelongsoran tanah seperti pada Gambar 3.1 berikut ini:

1. Kelongsoran rotasi (*rotational slips*), yaitu kelongsoran yang bentuk permukaan runtuh pada potongannya dapat berupa busur lingkaran atau kurva bukan lingkaran.

2. Kelongsoran translasi (*translational slips*), cenderung terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang relatif dangkal dibawah permukaan lereng.
3. Kelongsoran gabungan (*compound slips*), terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang lebih dalam. Hal ini umumnya terjadi karena runtuhnya terdiri dari potongan kurva dan bidang.



Gambar 3.1 Macam Keruntuhan Lereng

(Sumber: Das, (1985) dalam Sekarti)

3.5 Faktor-Faktor Penyebab Kelongsoran

Beberapa faktor penyebab kelongsoran antara lain bisa dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, dimana perbedaan faktor tersebut juga berbeda-beda cara untuk mempengaruhi kestabilan lereng yang dimaksud. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah faktor geologi, topografi, perubahan iklim cuaca, perubahan struktur tanah lempung dan lanau akibat proses psikokimia, dan juga pengaruh air dalam tanah. Berikut penjelasan mengenai faktor yang menyebabkan tanah longsor:

1. Pengaruh Geologi

Proses geologi dalam pembentukan lapisan-lapisan kulit bumi dengan cara pengendapan sedimen ternyata memungkinkan terbentuknya suatu lapisan yang potensial mengalami kelongsoran. Sebagai contoh adalah pembentukan lapisan tanah sebagai berikut, sungai yang mengalir air ke laut membawa

partikel partikel halus yang jumlahnya tergantung dari volume dan kecepatan alirannya, kemudian partikel-partikel tersebut mengendap di dasar laut membentuk lapisan tanah, dimana penyebaran pengendapannya bisa merata atau tidak merata tergantung arus air laut. Karena pembentukan tiap lapisan terjadi di air maka dasar tiap lapisan adalah air, yang bisa dilihat seringkali sebagai lapisan tipis pada zona pemisah antara lapisan lempung dan lanau kepasiran atau sebagai aliran laminer pada lapisan pasir yang lebih permeabel. Dengan keadaan demikian bila banyak air memasuki lapisan pasir tipis sedangkan pengeluaran air sedikit sehingga keadaan lapisan menjadi jenuh, maka tekanan air akan bertambah dan tekanan air inilah yang akan menyebabkan kelongsoran. Berbeda bila air memasuki lapisan pasir tebal sehingga keadaan lapisan tidak sepenuhnya jenuh air, maka lapisan tersebut bahkan bisa menjadi drainase alamiah.

2. Pengaruh Topografi

Berbagai macam bentuk variasi pada permukaan bumi yang diantaranya meliputi daerah pegunungan dan lembah dengan sudut kemiringan permukaannya yang cenderung berbeda-beda. Dimana perbedaan sudut permukaan tersebut mulai dari yang mempunyai kemiringan besar maupun daerah-daerah dengan sudut kemiringan yang kecil atau dataran rendah yang permukaannya cenderung datar, ternyata memiliki peranan penting dalam menentukan kestabilan. Daerah dengan kemiringan besar tentu lebih potensial mengalami kelongsoran dibanding daerah datar, sehingga kasus kelongsoran sering ditemukan di daerah perbukitan atau pegunungan, dan pada perbedaan galian atau timbunan yang memiliki sudut kemiringan lereng yang besar. Kestabilan lereng terganggu akibat lereng yang terlalu terjal, perlemahan pada kaki lereng dan tekanan yang berlebihan dari beban di kepala lereng.

3. Pengaruh Proses Cuaca

Perubahan temperatur, fluktuasi muka air tanah musiman, gaya gravitasi dan relaksasi tegangan sejajar permukaan ditambah dengan proses oksidasi dan dekomposisi akan mengakibatkan suatu lapisan tanah kohesif yang secara lambat laun tereduksi kekuatan gesernya, terutama nilai kohesi dan sudut

geser dalamnya. Pada tanah non kohesif misalnya lapisan pasir, bila terjadi getaran gempa, mesin atau sumber getaran lainnya akan mengakibatkan lapisan tanah tersebut ikut bergetar sehingga pori-pori lapisan akan terisi oleh air atau udara yang akan meningkatkan tekanan dalam pori. Tekanan pori yang meningkat dengan spontan dan sangat besar ini akan menyebabkan terjadinya likuifikasi atau pencairan lapisan pasir sehingga kekuatan gesernya hilang.

4. Perubahan Struktur Tanah Lanau

Kehilangan kekuatan geser tanah lanau dan lempung disebabkan yang pertama adalah akibat penyerapan air dan kembang susut tanah, sedangkan yang kedua adalah akibat pertukaran ion dimana ion bebas dalam mineral lempung digantikan ion mineral lain. Seringkali kedua faktor tersebut saling bekerja sama dan mempercepat proses. Misalnya tanah lempung yang menyerap air yang mengandung larutan garam, air tersebut menyebabkan lempung menjadi lunak yang lambat laun akan mereduksi kekuatannya, dan di pihak lain ion garam dapat menggantikan ion bebas mineral lempung sehingga susunan ion lempung berubah yang otomatis mempengaruhi pula kekuatannya.

5. Pengaruh Air Dalam Tanah

Keberadaan air dapat dikatakan sebagai faktor dominan penyebab terjadinya kelongsoran, karena hampir sebagian besar kasus kelongsoran melibatkan air di dalamnya. Tekanan air pori memiliki nilai besar sebagai tenaga pendorong terjadinya kelongsoran. Penyerapan maupun konsentrasi air dalam lapisan tanah kohesif dapat melunakkan lapisan tanah tersebut yang pada akhirnya mereduksi nilai kohesi dan sudut geser dalam sehingga kekuatan gesernya berkurang. Aliran air dapat menyebabkan erosi yaitu pengikisan lapisan oleh aliran air, mengganggu keseimbangan lereng. Adapun nilai kapasitas dukung terzaghi bisa dilihat pada Tabel 3.3 berikut

Tabel 3.3 Faktor Kapasitas Dukung Terzaghi

ϕ	Nc	Nq	Ny	ϕ	Nc	Nq	Ny
0	5,70	1,00	0,00	26	27,09	14,21	9,84
1	6,00	1,10	0,01	27	29,24	14,21	11,60
2	6,30	1,22	0,04	28	31,61	17,81	113,70
3	6,62	1,35	0,06	29	34,24	19,98	16,18
4	6,97	1,49	0,10	30	37,16	22,46	19,13
5	7,34	1,64	0,14	31	40,41	25,28	22,65
6	7,73	1,81	0,20	32	44,04	28,52	26,87
7	8,15	2,00	0,27	33	48,09	32,32	31,94
8	8,60	2,21	0,35	34	52,64	26,50	38,04
9	9,09	2,44	0,44	35	57,75	41,44	45,41
10	9,61	2,69	0,56	36	63,53	47,16	54,36
11	10,16	2,98	0,69	37	70,01	53,80	65,27
12	10,76	3,29	0,85	38	77,50	61,55	78,61
13	11,41	3,63	1,04	39	85,97	70,61	95,03
14	12,11	4,02	1,26	40	95,66	81,27	115,31
15	12,86	4,45	1,52	41	106,81	93,85	140,51
16	13,68	4,92	1,82	42	119,67	108,75	171,99
17	14,60	5,45	2,18	43	134,58	126,50	211,56
18	15,12	6,04	2,59	44	151,95	147,74	261,60
19	16,56	6,70	3,07	45	172,28	173,28	325,34
20	17,69	7,44	3,64	46	196,22	204,19	407,11
21	18,92	8,26	4,31	47	224,55	241,80	512,84
22	20,27	9,19	5,09	48	258,28	287,85	650,67
23	21,75	10,23	6,00	49	298,71	344,63	831,99
24	23,36	11,40	7,08	50	347,50	415,14	1072,80
25	25,13	12,71	8,34				

(Sumber: Terzaghi 1943)

3.6 Stabilitas Lereng

Permukaan tanah yang tidak selalu datar dan mempunyai perbedaan tinggi elevasi antara tempat yang satu dengan yang lain membentuk suatu lereng (*slope*). Stabilitas lereng (*slope stability*) sangat erat kaitannya dengan kelongsoran tanah. Kelongsoran tanah (*landslides*) merupakan proses perpindahan massa tanah secara alami dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Hal ini terjadi karena tanah kehilangan kesetimbangan daya dukungnya dan akan berhenti jika telah mencapai kesetimbangan baru (Zaika, 2014).

Pada permukaan tanah yang tidak datar atau mempunyai sudut kemiringan maka akan cenderung menggerakkan massa tanah ke arah permukaan yang lebih rendah. Analisis yang menjelaskan tentang kejadian tersebut dikenal dengan analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng banyak digunakan dalam perencanaan konstruksi, seperti : timbunan untuk jalan raya, galian lereng untuk jalan raya serta konstruksi tubuh bendung. Maksud dari analisis ini adalah menentukan faktor keamanan (*safety factor*) dari bidang potensial longsor. Analisis stabilitas didasarkan pada konsep umum keseimbangan batas (*General Limit Equilibrium*), untuk menghitung faktor keamanan (SF) yang melawan gaya runtuh pada stabilitas lereng tersebut.

Pada umumnya suatu lereng dapat dikatakan stabil apabila faktor keamanannya lebih besar dari pada satu. Kestabilan lereng tergantung dari kekuatan geser tanahnya. Pergeseran tanahnya terjadi karena adanya gerakan relatif antara butir-butir tanah. Oleh karena itu, kuat geser tanah tergantung pada gaya yang bekerja antara butir-butirnya. Tanah yang padat dengan susunan butir seperti pembagian ukuran butir *interlocking* dan besarnya kontak antara butir, lebih besar kekuatan gesernya dari tanah yang lepas (Das,1995).

Stabilitas lereng dapat dianalisis dengan menggunakan beberapa metode. Pangular (1985) membagi tiga kelompok cara menganalisis stabilitas lereng, yaitu analisis lereng secara visual, analisis lereng secara komputasi, dan menggunakan grafik. Stabilitas lereng ditunjukkan dari nilai Faktor Keamanannya. Dalam analisis stabilitas lereng, kuat geser yang dibutuhkan (τ_d) di sepanjang bidang longsor

potensial untuk memelihara keseimbangan dihitung, dan kemudian dibandingkan dengan kuat geser yang tersedia (τ).

Dalam hal ini faktor keamanan dianggap konstan di sepanjang permukaan bidang longsor dan faktor keamanan (FK) dinyatakan oleh rasio kuat geser yang tersedia terhadap yang dibutuhkan. Jadi, suatu proporsi konstan kuat geser yang tersedia, dimobilisasi pada setiap titik pada bidang longsor untuk menahan penggelinciran.

Umumnya tujuan utama analisis stabilitas lereng adalah untuk mendukung perancangan yang aman dan ekonomis dari galian, timbunan, bendungan urugan, dan lain-lain. Evaluasi stabilitas lereng meliputi: identifikasi geologi, material, lingkungan dan parameter ekonomi yang akan mempengaruhi proyek ataupun memahami sifat ukuran besarnya dan frekuensi masalah lereng yang potensial

Sebelum dilakukan analisis stabilitas lereng, pertimbangan dari segi geologi yang terkait dengan masalah tersebut harus dilakukan. Menurut Abramson et al. (1996), segi-segi geologi yang terkait dengan stabilitas lereng meliputi: struktur tanah atau batuan, struktur geologi, *discontinuity*, tegangan-tegangan di dalam tanah, pelapukan akibat perubahan iklim, aktivitas longsor sebelumnya dan mineralogi lempung.

Faktor keamanan lereng (*safety factor*) merupakan perbandingan antara kuat geser dan tegangan geser Persamaan 3.2. Rumus keamanan lereng

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (3.2)$$

Dimana,

SF = faktor keamanan,

τ_f = tahanan geser maksimum,

τ_d = tegangan geser maksimum

Secara umum menurut Braja M. Das faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan dan gaya pendorong. Gaya pendorong atau *driving force* yaitu gaya yang menyebabkan kelongsoran sedangkan gaya penahan atau *resisting force* yaitu gaya penahan yang melawan kelongsoran yang ada pada

bidang gelincir tersebut serta tergantung pada besar atau kecilnya sudut bidang gelincir atau sudut lereng. Apabila $SF < 1$ berarti lereng dianggap longsor, $SF = 1$ berarti lereng dalam keadaan labil atau kritis, dan apabila $SF > 1$ berarti lereng aman. Gaya yang menahan longsor menurut teori Mohr-Coulomb, adalah tahanan geser tanah maksimum (τ) yang dapat dimobilisasi tanah sepanjang bidang longsor. Adapun persamaan 3.3 tahanan geser maksimum dapat dilihat dibawah

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \nu \quad (3.3)$$

Dimana,

τ = tahanan geser maksimum (kuat geser tanah),

c = kohesi,

σ = tegangan normal,

ν = sudut geser dalam tanah.

Faktor keamanan stabilitas lereng atau biasanya yang disebut SF terhadap kuat geser tanah diambil dengan nilai lebih besar atau sama dengan 1,5. Menurut Lazarte (tahun 2003) nilai faktor keamanan (SF) berdasarkan intensitas kelongsorannya ditunjukkan seperti pada Tabel 3.4 di bawah

Tabel 3.4 Nilai Keamanan Lereng

<i>Resisting Component</i>	<i>Minimum Safety Factor (SF)</i>	
	<i>Static Load</i>	<i>Seismic Load</i>
<i>Global stability (long term condition)</i>	1,5	1,1
<i>Global stability (excavation lift)</i>	1,2	NA
<i>Bearing capacity</i>	3,0	2,3
<i>Sliding capacity</i>	1,5	1,1
<i>Pullout resistance</i>	2,0	1,5

Lanjutan Tabel 3.4 Nilai Keamanan Lereng

<i>Resisting Component</i>	<i>Minimum Safety Factor (SF)</i>	
	<i>Static Load</i>	<i>Seismic Load</i>
<i>Nail bar tensile strength</i>	1,8	1,35
<i>Facing flexure</i>	1,5	1,1
<i>Facing punching shear failure</i>	1,5	1,1
<i>Headed stud tensile failure</i>	2,0	1,5

(Sumber: Lazarte (2003))

3.7 Metode Stabilitas Lereng

Metode yang dipilih dalam menganalisis stabilitas lereng tentunya sangat banyak dan beraneka ragam. Dalam pemilihan metode sendiri biasanya didasarkan atas kondisi lereng ataupun tanah. Dimana metode yang dipilih dengan tujuan mempermudah peneliti dalam menganalisis kondisi tanah ataupun lereng di lapangan.

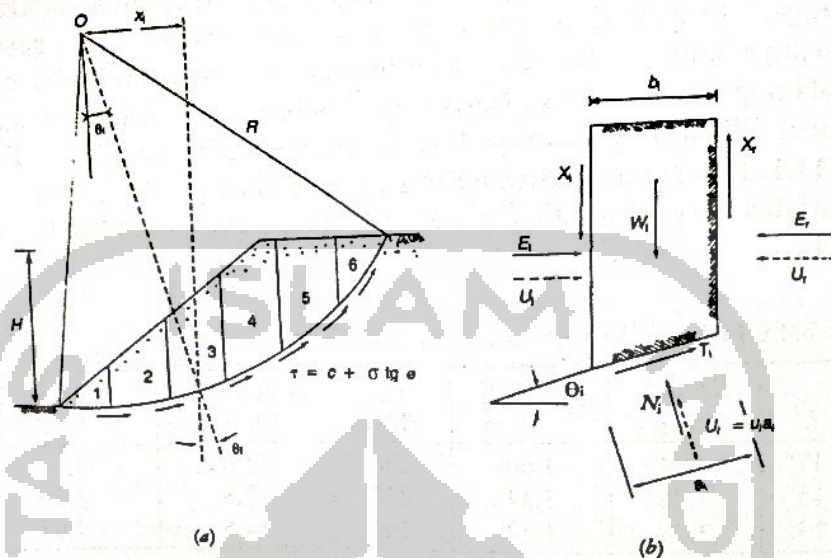
3.7.1 Metode Fellenius

Analisis Metode *Fellenius* menganggap bahwa gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori dapat dilihat pada persamaan 3.4 dan 3.5. Gambar 3.2 merupakan gambaran gaya yang bekerja pada irisan.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (3.4)$$

atau

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.5)$$



Gambar 3.2 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan
(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Rumus 3.6 untuk faktor aman adalah sebagai berikut

$$F = \frac{\text{jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}}$$

$$F = \frac{\sum Mr}{\sum Md} \quad (3.6)$$

Persamaan 3.7 lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka

$$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=n} (W_i \sin \theta_i) R \quad (3.7)$$

Dimana,

R = jari-jari lingkaran bidang longsor

n = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke- i

θ_i = sudut yang ada pada Gambar 3.2

Persamaan 3.8 momen menahan tanah yang akan longsor adalah:

$$\sum Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) R + \sum_{i=1}^m T_{iy} \quad (3.8)$$

Sehingga persamaan 3.9 untuk nilai faktor aman adalah:

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + N_i \operatorname{tg} \varphi) + \sum_{i=1}^m T_{iy}}{\sum_{i=1}^{i=n} (W_i \sin \theta_i) R} \quad (3.9)$$

Persamaan (3.9) digunakan apabila tanah tidak ada pengaruh muka air tanah dan dalam kondisi belum jenuh air.

Bila terdapat tekanan air pori pada lereng maka rumus untuk persamaannya dengan mengubah persamaan (3.9) diubah menjadi persamaan 3.10 dalam tegangan efektif

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi + \sum_{i=1}^m T_{iy}}{\sum_{i=1}^{i=n} (W_i \sin \theta_i) R} \quad (3.10)$$

Dimana,

SF = faktor aman

c = kohesi tanah (kN/m)

φ = sudut gesek dalam tanah ($^{\circ}$)

a_i = Panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- i

W_i = berat irisan tanah ke- i

u_i = tekanan air pori pada irisan ke- i

θ_i = sudut ($^{\circ}$)

Metode *Fellenius* menghasilkan faktor aman yang lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai 5%-40% tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori (Whitman dan Bely, 1969). Metode *Fellenius* sendiri juga banyak digunakan untuk analisis kekuatan lereng dikarenakan mudah dipahami dibandingkan dengan Metode *Bishop*

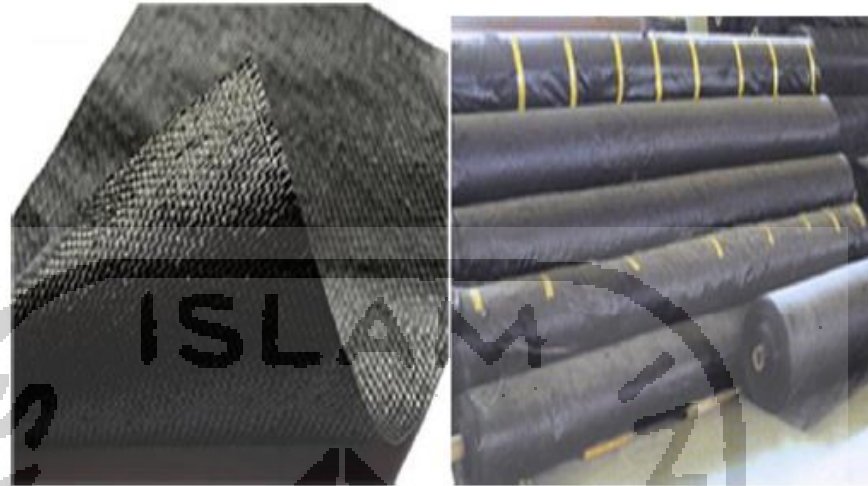
3.8 Geotekstil

Geotekstil adalah material lembaran yang dibuat dari bahan tekstil *polymeric*, bersifat lolos air (bisa ditembus oleh air), yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (non woven), rajutan atau anyaman (woven) yang digunakan dalam kontak dengan tanah atau material lain dalam aplikasi di bidang teknik sipil. Fungsi perkuatan pada geotekstil dapat diartikan sebagai fungsi tulangan. Dalam artian ini adalah tanah secara kondisi alami memiliki kekuatan untuk dapat menahan kuat tekan tetapi tidak memiliki kekuatan untuk menahan gaya tarik, maka dari itu fungsi dari geotekstil disini adalah sebagai fungsi penahan gaya tarik pada tanah. (Hardiyatmo, 2007).

3.8.1 Jenis dan Spesifikasi Geotekstil

1. Geotekstil Woven

Geotextile woven merupakan salah satu turunan produk *geosynthetic* yang berbentuk anyaman, biasanya dua arah yaitu atas dan bawah. *Geotextile woven* diproduksi dengan mengadopsi teknik seperti tenun tekstil. *Geotextile woven* terbuat dari *silt film tape polypropylene*. *Geotextile Woven* memberikan kuat tarik maksimal pada berat tahanan minimal, sehinggadapat memberikan keuntungan ekonomis yang besar untuk mendapatkan tingkat keamanan struktur yang diharapkan. *Geotextile Woven* tidak mudah koyak atau robek pada saat dipasang di lapangan. Struktur anyaman yang kekar (*double twist*) dari *Geotextile Woven* menjamin kekuatan tekanan hingga 40 kN/m saat digunakan sebagai separator atau lapisan pemisah. Karena jika material pemisah ini sudah koyak pada saat pemasangan, maka fungsi separator akan terganggu. *Geotextile woven* merupakan material berbentuk lembaran yang terbuat dari serat atau benang *polymer* yang berbahan dasar *polypropylene* atau *polyester*. *Geotextile woven* bersifat permeable dan memiliki *Tensile Strength* (TS) atau kuat tarik yang tinggi. *Geotextile woven* mempunyai *tensile strength* lebih tinggi jika dibandingkan dengan geotextile jenis *non woven*. Geotekstil woven bisa dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3 Geotekstil Woven

(Sumber: Distributor jual geomembrane)

2. Geotekstil Non Woven

Geotextile Non Woven adalah salah satu jenis geotekstil yang terbuat dari bahan *polypropylene* dan *polyester*. Bentuk dari *geotextile non woven* tidak teranyam. *Geotextile non – woven* dirancang untuk memberikan kinerja yang optimal per satuan berat. Ketahanan mekanik dan hidrolis yang sangat baik menjadikan *Geotextile Non Woven* ini sebagai pilihan yang tepat untuk lapisan pemisah dan penyaring. karena memiliki (*puncture resistance*) yang tinggi untuk menjamin material tidak rusak pada saat pelaksanaan. *Geotextile Non Woven* memiliki bukaan pori yang relatif kecil namun memiliki permeabilitas yang tinggi. Hal ini berfungsi sebagai penahan butiran tanah yang baik, namun tetap memungkinkan aliran air tidak terganggu. Kriteria ini sangat penting saat diaplikasikan untuk drainasi yang menuntut tidak terjadinya penyumbatan (*clogging*) pada media drainasinya karena akumulasi lolosnya butiran tanah dalam jumlah besar. Demikian juga pada saat diaplikasikan pada konstruksi filter di bawah riprap. *Geotextile Non Woven* dengan baik menahan butiran tanah atau pasir, namun tetap memungkinkan aliran air sama sekali tidak terganggu, sehingga tidak akan terjadi peningkatan

tekanan hidrostatis dan hidrodinamis air yang mengganggu stabilitas timbunan. Gambar geotekstil non woven bisa dilihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Geotekstil Non Woven

(Sumber: Distributor jual geomembrane)

3.8.2 Fungsi Geotekstil

Fungsi geotekstil sendiri secara umum hamper sama dengan fungsi geosintetik, dimana geotekstil sendiri merupakan turunan dari berbagai macam geosintetik. Berikut merupakan berbagai fungsi dari geotekstil:

1. Pemisah atau separasi
2. Filtrasi
3. Drainasi
4. Perkuatan atau tulangan
5. Proteksi
6. Gabungan dari berbagai macam fungsi

Berikut merupakan penjelasan dari berbagai macam fungsi dari geotekstil diatas:

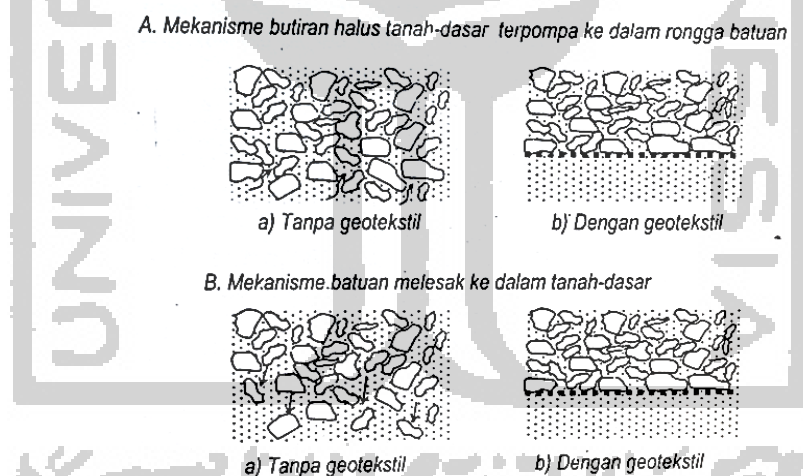
a. Fungsi Pemisah

Pada umumnya tanah dengan berbagai macam gradasi tidak akan bisa diletakan secara bersama-sama. Di alam butiran tanah yang yang berukuran

lebih kecil akan berpindah menempati butiran tanah yang lebih besar. Karena perpindahan butiran tanah tersebut yang secara bebas tidak terkontrol maka dapat menyebabkan gangguan yang dapat merugikan bangunan ataupun system tanah disekita dan diatasnya.

Untuk menangani hal tersebut maka penggunaan separator ataupun material pemisah akan sangat membantu diantara dua jenis tanah tersebut. Pemasangan geotekstil yang merupakan bahan sintesis yang fleksibel sebagai pemisah diantara kedua material yang berbeda akan menjaga integritas keduanya.

Dengan adanya bantuan dari separator geotekstil ini maka diharapkan kondisi tanah akan lebih stabil dari pada sebelumnya. Dimana kestabilan tanah ini juga kan berpengaruh terhadap kekuatan tanah itu sendiri. Dan diharapkan tidak akan mengganggu keseimbangan bangunan diatas tanah yang telah diberi separator geotekstil. Berikut gambar 3.5 gambaran butiran tanah



Gambar 3.5 Perbedaan gerakan butiran tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

b. Fungsi Filtrasi

Terkait dengan fungsi filtrasi, maka geotekstil harus dapat berfungsi sebagai filter yang memberikan kemungkinan adanya gerakan cairan yang melewatinya. Pada saat yang sama geotekstil juga harus biasa menahan tanah pada bagian hulu agar butiran tanah tidak ikut Bersama aliran. Karena hal tersebut maka

geotekstil harus mempunyai permeabilitas yang cukup besar (pori yang cukup besar) dan kekuatan untuk menahan butiran tanah agar tidak ikut terbawa aliran

c. Fungsi Drainase

Fungsi drainase dalam geotekstil sebagai keseimbangan dalam system geotekstil terhadap tanah, yang memungkinkan aliran yang bebas mengalir searah bidangnya pada periode waktu yang Panjang.

d. Fungsi Tulangan

Tanah hanya mempunyai kekuatan untuk menahan tekan , tapi tidak dapat menahan gaya tarik. Kelemahan terhadap tarik ini dapat dipenuhi oleh geotekstil. Geotekstil mempunyai kemampuan untuk menahan tarik dan dapat memberikan perkuatan dalam bentuk tulangan seperti halnya tulangan beton. Geotekstil sebagai tulangan memberikan kuat tarik dan kekakuan.

e. Fungsi Proteksi

Material dasar yang mudah tererosi dapat diminimalisir dengan bantuan material geotekstil. Dimana geotekstil yang diletakan di bawah lapisan pelindung lereng dapat digunakan untuk perlindungan lereng sungai atau material dasar dari bahaya erosi akibat adanya gerusan dari air sungai.

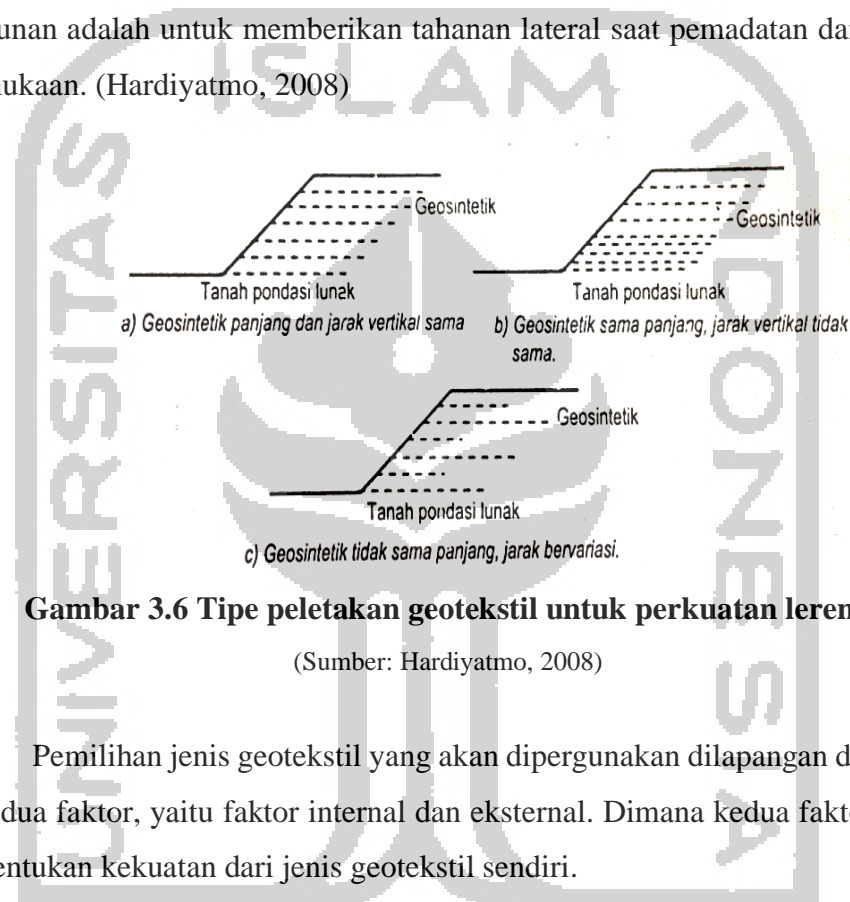
f. Gabungan Fungsi-fungsi

Maksud dari gabungan fungsi-fungsi adalah pada saat penggunaan geotekstil tersebut maka geotekstil tersebut biasa saja dapat mempunyai fungsi ganda ataupun lebih. Seperti halnya saat geotekstil digunakan dalam hal stabilitas lereng, dimana geotekstil dimaksudkan untuk memberi perkuatan pada lereng yang berfungsi sebagai tulangan, namun geotekstil pada perkuatan lereng secara tidak langsung juga dapat berfungsi sebagai pemisah antara lapisan tanah asli dengan lapisan tanah timbunan yang baru.

3.8.3 Perkuatan Geotekstil Untuk Lereng

Pemasangan geotekstil untuk perkuatan lereng timbunan dengan kemiringan yang landai ditunjukkan pada Gambar 3.6. Geotekstil dapat dipasang dengan panjang yang sama ataupun berbeda-beda. Secara tipikal pada umumnya geotekstil yang dipakai panjangnya sama, namun geotekstil dapat juga dipasang dengan

panjang yang berbeda. Pada Panjang yang lebih pendek geotekstil berfungsi sebagai tulangan sekunder. Tulangan ini berfungsi untuk mengatasi problem tingkat kepadatan tanah di bagian pinggir lereng timbunan yang biasanya sulit memenuhi syarat. Tulangan sekunder juga berfungsi untuk mengurangi kelongsoran lereng dangkal. Selain itu geotekstil yang diletakan di pinggir timbunan adalah untuk memberikan tahanan lateral saat pemadatan dan stabilitas permukaan. (Hardiyatmo, 2008)



Gambar 3.6 Tipe peletakan geotekstil untuk perkuatan lereng

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

Pemilihan jenis geotekstil yang akan dipergunakan dilapangan dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor internal dan eksternal. Dimana kedua faktor ini akan menentukan kekuatan dari jenis geotekstil sendiri.

3.8.4 Geotekstil Untuk Perkuatan Tanah

Kegunaan geotekstil dalam bidang Teknik sipil sangatlah banyak, salah satunya adalah dalam hal perkuatan tanah, tanah lereng khususnya. Dimana tanah merupakan komponen yang sangat penting dalam hal Teknik sipil, karena tanah akan menopang bangunan di atasnya. Bila komponen dari tanah sendiri labil maka bangunan di atasnya dapat dipastikan juga tidak akan stabil (mudah roboh). Cristopher, et al. (1990) mengklasifikasikan:

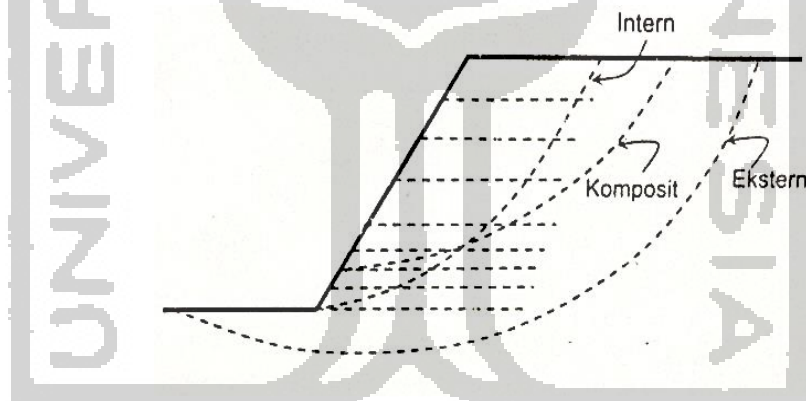
1. Struktur timbunan dengan lereng $< 70^\circ$ yang lerengnya diperkuat, disebut dengan lereng tanah bertulang

2. Struktur timbunan dengan kemiringan lereng $> 70^\circ$ yang lerengnya diperkuat, disebut struktur dinding penahan tanah

Sedangkan dalam perancangan lereng bertulang disarankan:

1. Untuk lereng tanah bertulang dengan kemiringan $< 70^\circ$, dalam perancangan cocok digunakan teori stabilitas lereng.
2. Untuk lereng dengan sudut kemiringan $> 70^\circ$ dapat didefinisikan sebagai dinding (*wall*) dan perhitungan perancangan dilakukan menurut teori tekanan tanah lateral.

Pada umumnya lereng bertulang dianalisis dengan menggunakan metoda stabilitas lereng yang didasarkan pada teori keseimbangan batas. Berikut merupakan Gambar 3.7 model keruntuhan lereng.



Gambar 3.7 Keruntuhan intern, ekstern, dan komposit

(Sumber: Hardiyatmo, 2013)

Perhitungan faktor aman lereng bertulang dihitung berdasarkan analisis stabilitas lereng tanah tak bertulang klasik. Faktor aman lereng tak bertulang (SF_u) didefinisikan sebagai berikut (3.11)

$$SF_u = \frac{\text{Momen menahan } (Mr)}{\text{Momen menggerakkan } (Md)} \quad (3.11)$$

3.8.5 Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Panjang per Zona

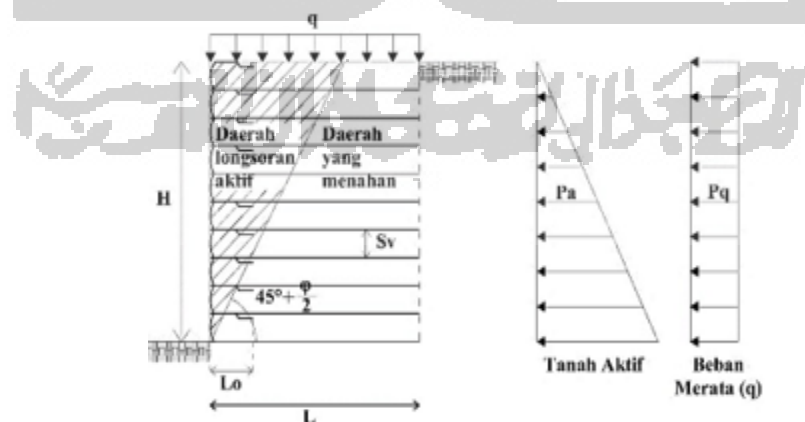
Pada perhitungan ini ada dua anggapan macam bentuk longsoran, yaitu bentuk bentuk longsoran tanah trapezium dan bentuk longsoran tanah segitiga yang masih dalam bentuk penelitian selanjutnya, dimana analisis gaya-gayanya yang bekerja untuk stabilitas terhadap gaya internal digunakan analisis tegangn seperti analisisi pada dinding penahan tanah. Berikut ini merupakan gambaran untuk bentuk longsoran tanah segitiga dan longsoran tanah trapezium yang bisa dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini



Gambar 3.8 Bentuk Longsoran Tanah

(Sumber: Suryolelono, K.B, 1993)

Sedangkan gambaran untuk gaya yang bekerja pada perkuatan adalah seperti gambar dibawah ini 3.9



Gambar 3.9 Gaya yang Bekerja pada Daerah Perkuatan

(Sumber: Suryolelono, K.B, 1993)

1. Stabilitas internal

Tegangan horizontal tanah adalah gaya yang diakibatkan oleh pergerakan tanah menuju arah horizontal. Tegangan horizontal ini dipengaruhi oleh tegangan tanah sendiri dan akibat beban merata di atasnya.

Berikut persamaan 3.12 menghitung koefisien tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.12)$$

Dimana:

K_a : koefisien tanah aktif

ϕ : sudut geser dalam ($^\circ$)

kemudian untuk perhitungan tekanan tanah horizontal dilihat pada persamaan 3.13

$$\sigma_{hc} = q \cdot K_a + K_a \cdot H_i \cdot \gamma \quad (3.13)$$

Dimana,

σ_{hc} : tekanan tanah horizontal (kN/m^2)

q : beban merata (kN/m)

K_a : koefisien tanah aktif

H_i : tinggi tanah yang ditinjau dihitung dari permukaan tanah (m)

γ : berat volume tanah (kN/m^3)

kemudian untuk mencari jarak vertical antar geotekstil (S_v) pada persamaan 3.14

$$S_v = \left(\frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot S_f} \right) \quad (3.14)$$

Dimana,

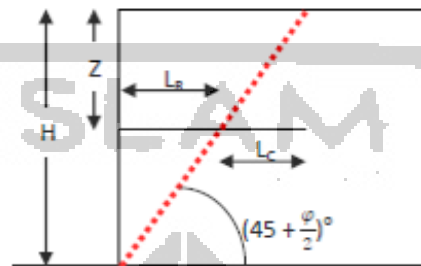
S_v : tebal lapisan perkuatan (m)

T_{all} : kuat tarik yang diizinkan dari bahan perkuatan (kN/m^2)

σ_{hc} : tekanan tanah horizontal pada kedalaman yang ditinjau

S_f : angka keamanan (1,5)

Untuk Panjang geotekstil sendiri dapat dianalisis dengan asumsi sudut longsor sebesar $(45 - \frac{\phi}{2})$. Berikut merupakan Gambar 3.10 bidang longsor dan analisis panjang geotekstil



Gambar 3.10 Bidang Longsor dan Panjang Geotekstil

(Sumber: Suryolelono, K.B, 1993)

Untuk perhitungan panjang geotekstil (L) sesuai hasil perhitungan jarak spasi antar geotekstil (S_v) di atas, maka nantinya digunakan panjang terbesar geotekstil dari masing-masing zona.

Kemudian untuk mencari tekanan tanah vertikal pada persamaan 3.15

$$\sigma_v = \gamma \cdot H_i \quad (3.15)$$

Dimana,

σ_v : tekanan tanah vertikal (kN/m^2)

γ : berat volume tanah (kN/m^3)

H_i : tinggi tanah ke-i dihitung dari permukaan (m)

Kemudian untuk mencari panjang geotekstil di daerah longsor pada persamaan 3.16

$$L_R = \left(\frac{H - Z_i}{\tan(45 - \frac{\phi}{2})} \right) \quad (3.16)$$

Dimana,

L_R : panjang geotekstil di daerah longsor aktif (m)

H : tinggi tanah timbunan (m)

Z_i : tinggi tanah yang ditinjau dihitung dari permukaan tanah (m)

ϕ : sudut geser dalam ($^\circ$)

mencari panjang geotekstil di daerah belakang longsor pada persamaan 3.17

$$L_c = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{2(c + \sigma_v \tan \phi)} \quad (3.17)$$

Dimana,

L_c : panjang geotekstil yang bekerja sebagai anker (m)

β : koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67)

T_{all} : kuat tarik geotekstil (kN/m)

c : kohesi tanah (kN/m²)

σ_v : tekanan tanah vertikal (kN/m²)

ϕ : sudut geser dalam ($^\circ$)

kemudian untuk mencari panjang total dari geotekstil pada persamaan 3.18

$$L_{tot} = L_R + L_c \quad (3.18)$$

Dimana,

L_R : panjang geotekstil di daerah longsor aktif (m)

L_c : panjang geotekstil yang bekerja sebagai anker (m)

Sedangkan untuk mencari panjang *overlapping* (L_o) pada persamaan 3.19

$$L_o = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{4(c + \sigma_v \tan \phi)} \geq 1 \text{ m} \quad (3.19)$$

Dimana,

L_o : panjang *overlapping* geotekstil (m)

β : koefisien *interface* tanah terhadap geotekstil (dipakai 0,67)

T_{all} : kuat tarik geotekstil (kN/m),

c : kohesi tanah (kN/m²)

σ_v : tekanan tanah vertikal (kN/m^2)

ϕ : sudut geser dalam ($^\circ$)

2. Stabilitas Eksternal Geotekstil

Stabilitas eksternal terdiri atas 3 macam yaitu stabilitas bahaya geser, terhadap bahaya guling, dan terhadap kuat dukung tanah.

a. Stabilitas terhadap bahaya guling

1. Gaya Aktif (E_a)

$$E_a = \frac{1}{2} H^2 \cdot \gamma \cdot K_a \quad (3.20)$$

Dimana

$$\text{Lengan} = \frac{H}{3} \quad (3.21)$$

dimana:

K_a : koefisien tanah aktif

H : tinggi tanah timbunan (m)

γ : berat volume tanah (kN/m^3)

maka untuk perhitungan momen akibat tanah menggunakan rumus 3.22 berikut

$$M_{A_{\text{tanah}}} = E_a \cdot \text{Lengan} \quad (3.22)$$

Dimana

$M_{A_{\text{tanah}}}$: momen akibat tanah terhadap titik A (kN.m),

E_a : gaya aktif akibat tanah (kN).

Untuk mencari gaya aktif akibat beban (E_q) pada persamaan 3.23

$$E_q = q \cdot H \cdot K_a \quad (3.23)$$

Dan untuk mencari lengan gaya aktif akibat beban pada persamaan 3.24

$$\text{Lengan} = \frac{H}{2} \quad (3.24)$$

Dimana,

q : beban merata (kN/m)

H : tinggi tanah timbunan (m)

K_a : koefisien tanah aktif

Maka momen akibat beban dapat dihitung dengan persamaan 3.25

$$M_{A\text{beban}} = E_q \cdot \text{Lengan} \quad (3.25)$$

Dimana,

$M_{A\text{beban}}$: momen akibat beban terhadap titik A (kN.m)

E_q : gaya aktif akibat beban (kN)

2. Gaya Pasif

Berikut merupakan persamaan 3.26 untuk menghitung gaya pasif

$$M_p = W_i \cdot \text{Lengan} \quad (3.26)$$

Dimana,

M_p : momen pasif (kN.m)

W_i : gaya pasif pada zona ke-i (kN)

Berikut merupakan persamaan 3.27 untuk menghitung stabilitas guling

$$SF = \frac{\sum M_p}{\sum M_A} > 1,5 \quad (3.27)$$

Dimana,

SF : faktor aman (SF)

ΣM_p : jumlah momen pasif (kN.m)

ΣM_A : jumlah momen aktif (kN.m)

b. Stabilitas terhadap geser

1. Gaya yang melawan

Berikut merupakan persamaan 3.28 perhitungan gaya yang melawan

$$F = \left[C_g + \frac{W_{total}}{lg} \cdot \tan \delta \right] lg \quad (3.28)$$

Dimana,

F : gaya yang melawan (kN)

C_g : lekatan antara geotekstil dan tanah dasar pondasi $\frac{2}{3} \cdot c$

W_{total} : total gaya pasif (kN)

δ : $\frac{2}{3} \cdot \varphi$ (φ sudut gesek dalam dari tanah dasar pondasi)

lg : panjang geotekstil paling bawah (m)

2. Gaya yang mendorong

Berikut merupakan persamaan 3.29 perhitungan gaya yang mendorong

$$E = E_a + E_q \quad (3.29)$$

Dimana,

E : gaya yang mendorong (kN)

E_a : gaya aktif akibat tanah (kN)

E_q : gaya aktif akibat beban (kN)

Maka untuk persamaan 3.30 stabilitas terhadap geser

$$SF = \frac{F_l}{E} > 1,5 \quad (3.30)$$

Dimana,

SF : faktor aman terhadap geser

F : gaya yang melawann (kN)

E : gaya yang mendorong (kN)

c. Stabilitas terhadap kuat dukung

1. Kuat dukung ijin

Berikut merupakan persamaan 3.31 perhitungan kuat dukung ijin

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot L \cdot N_\gamma \quad (3.31)$$

Dimana,

σ_{ult} : kuat dukung ijin (kN/m²)

c : kohesi tanah (kN/m²)

N_c, N_q, N_γ : factor daya dukung tanah Terzaghi

γ : berat vomulme tanah (kN/m³)

L : panjang geotekstil (m)

2. Kuat dukung yang terjadi

Berikut merupakan persamaan 3.32 perhitungan kuat dukung

$$\sigma_{terjadi} = H \cdot \gamma + q \quad (3.32)$$

Dimana,

$\sigma_{terjadi}$: kuat dukung tanah (kN/m²)

H : tinggi tanah timbunan (m)

γ : berat vomulme tanah (kN/m³)

q : beban yang bekerja diatas tanah (kN/m)

maka persamaan 3.33 stabilitas timbunan terhadap kuat dukung tanah adalah sebagai berikut

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{terjadi}} > 1,5 \quad (3.33)$$

Dimana,

SF : factor aman terhadap kuat dukung tanah

σ_{ult} : kuat dukung ijin (kN/m²)

$\sigma_{terjadi}$: kuat dukung tanah (kN/m²)

3.8.6 Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Panjang Seragam

Analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan geotekstil memperhitungkan stabilitas eksternal dan stabilitas internal lereng timbunan. Perhitungan stabilitas internal dengan memperhitungkan gaya-gaya internal menghasilkan panjang *overlapping* geotekstil dan panjang efektif geotekstil yang dibutuhkan. Berikut adalah persamaan 3.34 untuk perhitungan koefisien tanah aktif:

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right) \quad (3.34)$$

Dimana

K_a : koefisien tanah aktif

Φ : sudut geser dalam ($^\circ$)

1. Stabilitas eksternal

Tegangan horisontal tanah yaitu tegangan tanah yang diakibatkan oleh adanya pergerakan tanah ke arah horizontal. Berikut merupakan persamaan 3.35 menghitung tekanan tanah pada lapisan teratas

$$\sigma_{hc} = q \cdot k_a - 2 \cdot c \sqrt{K_a} + K_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (3.35)$$

Dikarenakan tekan tanah dibawahnya tidak dipengaruhi oleh beban lagi maka persamaanya menjadi 3.36

$$\sigma_{hc} = - 2 \cdot c \sqrt{K_a} + K_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (3.36)$$

Dimana,

σ_{hc} : tekanan tanah lateral (kN/m^2)

q : beban merata (kN/m)

H : tinggi lapisan tanah (m)

γ : berat volume tanah (kN/m^3)

Kemudian untuk menghitung jarak antar geotekstil bias dilihat pada

persamaan 3.37

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} SF} \quad (3.37)$$

Dimana

S_v : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m)

T_{all} : kuat tarik ijin geotekstil (kN/m)

σ_{hc} : tekanan tanah lateral (kN/m²)

SF : faktor keamanan (digunakan 1,5)

Dalam menentukan panjang minimum geotekstil (L) harus memperhitungkan stabilitas terhadap geser, stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap daya dukung tanah dan stabilitas terhadap eksentrisitas. Berikut ini masing-masing persamaannya.

a. Stabilitas terhadap geser

Berikut ini Persamaan 3.38 untuk menghitung panjang geotekstil dengan nilai faktor aman yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu sebesar 1,5.

$$L = \frac{SF [q \cdot K_a \cdot H + H^2 \gamma_b - 2C \sqrt{K_a} \cdot H]}{(q + \gamma_b \cdot H) \tan \varphi} \quad (3.38)$$

Dimana,

L : panjang geotekstil (m)

SF : faktor keamanan (digunakan 1,5)

q : beban luar (kN/m)

K_a : koefisien tanah aktif,

H : tinggi lapisan tanah (m)

c : kohesi tanah (kN/m²)

φ : sudut gesek dalam (°)

γ_b : berat volume tanah (kN/m³)

b. Stabilitas terhadap guling

Faktor keamanan terhadap guling yaitu seberapa aman tanah yang telah diperkuat geotekstil menahan momen yang dapat menyebabkan timbunan ini terguling. Faktor ketahanan guling ini terdapat dua gaya yang bekerja, yaitu gaya pendorong dan gaya yang menahan. Berikut ini Persamaan 3.39 untuk mencari panjang minimum geotekstil dengan nilai faktor aman 1,5.

$$L^2 = \frac{SF[\frac{1}{2}q \cdot Ka \cdot H^2 + \frac{1}{6}Ka \cdot H^3 \cdot \gamma_b - c\sqrt{Ka} \cdot H^2]}{(\frac{1}{2}q \cdot Ka \cdot H^2 + \frac{1}{6}Ka \cdot \gamma_b \cdot H)} \quad (3.39)$$

Dimana,

L : panjang geotekstil (m)

SF : faktor keamanan (digunakan 1,5)

q : beban luar (kN/m)

Ka : koefisien tanah aktif,

H : tinggi lapisan tanah (m)

c : kohesi tanah (kN/m²)

φ : sudut gesek dalam (°)

γ_b : berat volume tanah (kN/m³)

c. Stabilitas terhadap daya dukung

Faktor daya dukung tanah yaitu keadaan dimana daya dukung tanah tidak mampu menahan beban di atasnya, sehingga mengakibatkan dinding penahan tanah berdeformasi. Hal tersebut dipengaruhi oleh momen dan gaya horisontal yang terjadi pada dinding penahan. Berikut ini Persamaan 3.40 Persamaan 3.41 dan Persamaan 3.42 untuk menghitung panjang minimum geotekstil berdasarkan nilai faktor keamanan daya dukung tanah sebesar 1,5.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \cdot \gamma_b + q} \quad (3.40)$$

Dimana,

$$q_{ult} = c.N_c + 0,5.L.\gamma_b.N_\gamma \quad (3.41)$$

dan

$$o_{ult} = q_{ult} \cdot SF \quad (3.42)$$

Dimana,

L : panjang geotekstil (m)

SF : faktor keamanan (*safety factor*)

q : beban luar (kN/m)

H : tinggi lapisan tanah (m)

c : kohesi tanah (kN/m²)

γ_b : berat volume tanah (kN/m³)

N_c, N_γ : faktor daya dukung tanah Terzaghi

d. Stabilitas eksentrisitas

$$\frac{1}{6} \geq \frac{SF \left[\frac{1}{2}q.K_a.H^2 + \frac{1}{2}K_a.H^3 \cdot \gamma - c\sqrt{K_a}.H^2 \right]}{(q.L + \gamma.H.L)} \quad (3.43)$$

Dimana

L : panjang geotekstil (m)

SF : faktor keamanan (digunakan 1,5)

q : beban luar (kN/m)

K_a : koefisien tanah aktif

H : tinggi lapisan tanah (m)

c : kohesi tanah (kN/m²)

ϕ : sudut gesek dalam (°)

γ_b : berat volume tanah (kN/m³)

2. Stabilitas internal

a. Panjang overlapping

Panjang *overlapping* merupakan panjang lipatan geotekstil (L_o). Berikut Persamaan 3.44 untuk menghitung panjang *overlapping*.

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \cdot S_v \cdot SF}{2H \cdot \gamma_b \cdot \tan \phi} \geq 1 \text{ m} \quad (3.44)$$

Dimana

L_o : panjang *overlapping* (m)

σ_{hc} : tekanan tanah lateral

S_v : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m)

SF : faktor keamanan (digunakan 1,5)

H : tinggi lapisan tanah (m)

γ_b : berat volume tanah (kN/m^3)

ϕ : sudut gesek dalam ($^\circ$)

b. Panjang efektif

Panjang efektif merupakan panjang perkuatan geotekstil di belakang bidang longsor (L_e). Berikut ini Persamaan 3.45 untuk menghitung panjang efektif.

$$L_e = \frac{SF \cdot S_v \cdot K_a \cdot \gamma_b \cdot H}{2H \cdot \gamma_b \cdot \tan \phi} \geq 0,5 \text{ m} \quad (3.45)$$

Dimana

L_e : panjang efektif (m)

S_v : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m)

SF : faktor keamanan (digunakan 1,5)

K_a : koefisien tanah aktif

H : tinggi lapisan tanah (m)

γ_b : berat volume tanah (kN/m^3)

Φ : sudut gesek dalam ($^\circ$)

c. Panjang total

Berikut merupakan perhitungan panjang total 3.46

$$L_{tot} = S_v + L + L_o \quad (4.46)$$

Dimana

Ltot: panjang total (m),

Sv : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m)

L : panjang minimum geotekstil

Lo : panjang *overlapping* (m)

3.9 Program Geoslope

GEO-SLOPE Office adalah sebuah paket aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geo-lingkungan. Software ini melingkupi SOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W, QUAKE/W, TEMP/W, dan CTRAN/W. Yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk dalam produk yang lainnya.

Fitur ini cukup unik dan memberikan fleksibilitas untuk digunakan baik dikalangan akademisi maupun profesional dalam menyelesaikan berbagai macam permasalahan geoteknik dan geo-lingkungan seperti tanah longsor, pembangunan bendungan, penambangan dan lain-lainnya. SLOPE/W merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. SLOPE/W dapat dilakukan analisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekan pori air, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. Selain itu dapat juga digunakan elemen tekan pori air yang terbatas, tegangan statis atau tegangan dinamik pada analisis kestabilan lereng serta dapat juga dikombinasikan dengan analisis probabilistic.

Geoslope merupakan program yang digunakan untuk pemodelan permasalahan lereng dalam bentuk penggambaran pada layar komputer dalam aplikasi *Computer Aided Design* (CAD). Perhitungan dilakukan dengan input data material properties tanah dan pengaturan analisis sesuai kebutuhan. Setelah proses penginputan dan pengaturan analisis maka tahap *verify* untuk pengecekan apakah terjadi kesalahan dalam proses penginputan data. Kemudian data yang telah dimodelkan dianalisis dengan menggunakan *slope w solve*. Hasil analisis kemudian dapat ditampilkan menggunakan *slope w contour* dan ditampilkan grafis seluruh bidang longsor, yang berbentuk sirkular (lingkaran) dan nilai faktor aman dapat

ditunjukkan dalam bentuk faktor keamanan (SF) serta diagram dan *polygon* yang dapat dilihat pada tiap pias bidang longsor

Ada beberapa metode perhitungan faktor keamanan (SF) antara lain dengan metode ordinary, bishop dan janbu yang dapat dipilih sesuai keinginan. Berikut adalah cara mengoperasikan program *Geoslope*.

1. Pengaturan Awal

Pengaturan awal untuk melakukan analisis dengan program *Geoslope* terdiri dari beberapa tahap, diantaranya pengaturan kertas kerja, skala gambar, dan jarak *grid*. Kertas kerja merupakan ukuran ruang yang disediakan untuk mendefinisikan masalah. Skala gambar merupakan perbandingan yang digunakan untuk mendefinisikan ukuran lereng sebenarnya terhadap gambar pada program. *Grid* diperlukan untuk memudahkan dalam penggambaran agar sesuai dengan koordinat yang diinginkan. Adapun langkah- langkah pengaturan awal adalah sebagai berikut.

- a. Mengatur kertas kerja, klik menu utama *set* kemudian klik *page*.
- b. Mengatur skala gambar, dari menu utama *set* klik *scale*.
- c. Mengatur jarak grid, dari menu utama *set* klik *grid*.

2. Menyimpan data

- a. Pilih Menu-File
- b. pilih Save simpan data yang telah diinput dengan nama stabilitas lereng.
Klik Save

3. Membuat Sketsa Gambar

Pemodelan lereng dimulai dengan pembuatan sketsa gambar dari model, yang merupakan representasi dari masalah yang ingin dianalisis. Pemodelan tersebut dibuat dari menu utama *sketch*, kemudian klik *lines* untuk menggambar model *geometri* lereng.

4. *Analisis Settings*

Analysis Settings merupakan tahapan untuk menentukan pengaturan dalam menganalisis stabilitas kelongoran lereng. Langkah-langkahnya yaitu :

- a. Menentukan *Project ID*, dari menu utama *Key In* klik *analysis settings*. *Project ID* digunakan untuk mendefinisikan nama atau judul pada masalah yang sedang dianalisis.
- b. Menentukan metode analisis, klik *tabsheet method* pada *analysis settings*. Dalam *tabsheet* ini terdapat beberapa metode yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng. Klik pada *only Bishop*, *Ordinary*, dan *Janbu*.
- c. Menentukan bidang gelincir, klik *tabsheet slip surface* pada *analysis settings*. Dalam *tabsheet* ini pergerakan arah kelongsoran dapat ditentukan sesuai dengan keinginan, baik dari arah kiri ke kanan maupun sebaliknya. Bidang longsor ditentukan dengan memilih option *Entry and Exit*.

5. Mendefinisikan Parameter Tanah

Jenis material yang diinput sesuai dengan uraian umum pada langkah langkah sebelumnya material model yang digunakan adalah *Mohr Coulomb*. Parameter yang diperlukan yaitu berat isi tanah, kohesi, dan sudut geser. Sebelum dilakukan *input* data diperlukan penyeragaman satuan masing-masing parameter. Langkah untuk mendefinisikan parameter tanah yaitu dari tampilan menu utama *Key In* klik *material properties*.

6. Menentukan Parameter Tiap Lapis Tanah

Setelah parameter tanah didefinisikan, maka langkah selanjutnya yaitu menentukan parameter masing-masing lapisan tanah. Ada dua tahapan dalam menentukan parameter tiap lapisan tanah, yaitu :

- a. Klik *sketch* pada menu utama kemudian pilih *lines*, gambar masing-masing lapisan tanah. Klik *pointer* lalu tarik sehingga membentuk lapisan tanah yang dikehendaki.
- b. Menggambar *properties* tanah klik *draw* lalu pilih *regions*. Klik titik pertama yang dijadikan titik acuan kemudian buat garis mengelilingi lapisan tanah tersebut dan kembali ke titik pertama. Lalu pilih tipe material.

7. Menggambar *Entry and Exit* Bidang Longsor

Untuk menggambarkan *Entry and Exit* bidang longsor yaitu dari menu utama *draw* klik *slip surface*, kemudian pilih *Entry and Exit*.

8. Menggambar Beban Merata

Menggambar beban merata langkah pertama klik *draw* lalu pilih *pressure lines* isi beban yang dikehendaki lalu mulailah menggambar.

9. Menentukan tipe perkuatan tanah

10. Memeriksa Masukan Data

Setelah data-data yang dibutuhkan untuk proses analisis termodelkan, maka dilakukan pemeriksaan data. Hal ini bertujuan untuk menghindari adanya kesalahan dalam proses pemasukan data. Jika dalam *tabsheet verify* tidak terdapat kesalahan (0 *erros*), maka proses *solving the problem* dapat dilakukan. Langkah untuk melakukan pemeriksaan data yaitu dari menu utama *tools* klik *verify*.

11. *Solving The Problem*

Solving the problem bertujuan untuk menghitung angka keamanan pada lereng berdasarkan data-data yang telah dimasukkan. Langkah untuk *solving the problem* yaitu dari menu utama *tools* klik *SOLVE*, kemudian klik *start* untuk memulai perhitungan. Selama perhitungan *SOLVE* menampilkan angka keamanan minimum dan jumlah *slip surfaces* yang sedang dianalisis.