

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Klasifikasi dan Parameter Tanah

Menurut Das (1985) tanah merupakan akumulasi partikel mineral yang terikat secara kimia satu sama lain yang terbentuk akibat pelapukan dari batuan. Proses penghancuran dalam pembentukan tanah dari batuan terjadi secara fisis dan kimiawi. Secara fisis dapat diakibatkan oleh erosi air, angin atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan. Sedangkan cara kimiawi, mineral batuan diubah menjadi mineral-mineral baru melalui reaksi kimia. Air dan karbondioksida dari udara membentuk asam karbon yang kemudian bereaksi dengan mineral-mineral batuan dan membentuk mineral baru ditambah garam terlarut. Akibat dari pembentukan tanah secara kimiawi tersebut, maka tanah mempunyai struktur dan sifat-sifat yang berbeda.

3.1.1 Sifat Fisik Tanah

Kekuatan yang sangat berperan dalam analisa kestabilan lereng terdiri dari sifat fisik dan sifat mekanik dari tanah tersebut. Sifat fisik tanah yang digunakan dalam menganalisa kestabilan lereng pada penelitian ini adalah bobot isi tanah (γ), kadar air (w) dan sebagainya. Berikut ini sifat-sifat fisik tanah.

1. Analisis Saringan.

Sifat-sifat suatu tanah tertentu tergantung pada ukuran butirannya. Ukuran butiran menentukan klasifikasi tanah tersebut. Jenis dan sifat tanah yang sangat bervariasi ditentukan oleh perbandingan banyak fraksi-fraksi (kerikil, pasir, lanau, dan lempung), sifat plastisitas butir halus.

Sistem klasifikasi AASHTO bertujuan untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*sub base*) dan tanah dasar (*subgrade*).

Klasifikasi kelompok tanah menurut AASHTO adalah sebagai berikut:

- a. kelompok tanah berbutir kasar (<35% lolos saringan no.200).

Tabel klasifikasi tanah berbutir kasar dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Tanah Berbutir Kasar

Kode	Karakteristik Tanah
A-1	Tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir halus, dengan atau tanpa sifat plastis.
A-2	Terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir halus lolos saringan no.200 dan tidak plastis.
A-3	Kelompok batas tanah berbutir kasar dan halus dan merupakan campuran kerikil/pasir dengan tanah berbutir halus cukup banyak (<35%).

Sumber: Hardiyatmo (2012)

- b. kelompok tanah berbutir halus (>35% lolos saringan no.200).

Tabel klasifikasi tanah berbutir kasar pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Tanah Berbutir Halus

Kode	Karakteristik Tanah
A-4	Tanah lanau dengan sifat plastisitas rendah.
A-5	Tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir-butir plastis, sehingga sifat plastisnya lebih besardari A-4.
A-6	Tanah lempung yang masih mengandung butiran pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.
A-7	Tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

Sumber: Hardiyatmo (2012)

Klasifikasi menurut AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi Umum	material berbutir (<35% lolos saringan no.200)							tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no.200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Analisis ayakan (% lolos)	50 maks	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
No. 10 maks	30	50 maks	51 maks	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
No. 40 maks	15	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	-----	-----	-----	
No. 200 maks	15	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	
Sifat Fraksi yang lewat : # No.40 :				40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	40 min	40 maks	
Batas Cair				10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	
Indeks Plastisitas	6 maks		N.P								
Jenis Umum	Fragmen batuan Kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil atau pasir lanauan atau lempungan				Tanah lanauan		Tamah lempungan	
Tingkat umum sebagai Tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Cukup baik sampai buruk			

Sumber: Hardiyatmo (2012)

2. Kadar Air (*Water Content*)

Kadar air tanah adalah kandungan air pada tanah yang ditentukan dari perbandingan dari berat air yang dikandung tanah dengan berat bagian padat (*solid*) dari tanah. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan kadar air tanah dapat dilihat pada Persamaan 3.1 di bawah ini.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.1)$$

dengan:

w : kadar air (%),

W_w : berat air (gr),

W_s : berat butiran padat (gr).

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. Nilai berat volume tanah untuk analisa kestabilan lereng terdiri dari 3 parameter yaitu:

- a. berat volume tanah pada kondisi basah (γ_b).

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai berat volume tanah pada kondisi basah dapat dilihat pada Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.2)$$

dengan:

W : berat total (gr),

V : volume total (cm³).

Sedangkan jika berat volume tanah dihubungkan dengan adanya pengaruh angka pori dan porositas, rumus untuk mendapatkannya dapat dilihat pada Persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$\gamma_b = \frac{G_s \cdot \gamma_w \cdot (1+w)}{1+e} \quad (3.3)$$

dengan:

G_s : berat jenis tanah,

γ_w : berat volume air air (gr/cm³),

w : kadar air (%),

e : angka pori.

- b. berat volume tanah pada kondisi jenuh air (γ_{sat}).

Berat volume tanah pada saat tenggelam oleh air seluruhnya dapat dirumuskan pada Persamaan 3.4 di bawah ini.

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1+e} \quad (3.4)$$

dengan:

G_s : berat jenis tanah,

γ_w : berat volume air (gr/cm³),

e : angka pori.

- c. berat volume tanah pada kondisi kering sempurna (γ_d).

Berat volume kering adalah perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume total (V). Berikut ini Persamaan 3.5 untuk mendapatkan berat volume kering.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.5)$$

dengan:

W_s : berat butiran (gram),

V : volume total (cm^3).

3.1.2 Sifat Mekanis Tanah

Parameter kuat geser tanah atau sifat mekanis tanah ditentukan dari pengujian-pengujian laboratorium pada benda uji yang diambil dari lokasi lapangan hasil pengeboran yang dianggap mewakili. Salah satu cara pengujian tanah yang dapat dipakai untuk mendapatkan sifat mekanis tanah adalah pengujian *triaxial*. Uji geser *triaxial* adalah uji yang paling dapat diandalkan untuk menentukan parameter tegangan geser. Pembebanan arah vertikal dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

1. dengan memberikan beban mati yang berangsur-angsur ditambah (penambahan setiap saat sama) sampai benda uji runtuh (deformasi arah aksial akibat pembebanan ini diukur dengan sebuah arloji ukur/dial gage),
2. dengan memberikan deformasi arah aksial (vertikal) dengan kecepatan deformasi yang tetap dengan bantuan gigi-gigi mesin atau pembebanan hidrolis. Cara ini disebut juga sebagai uji regangan terkendali.

Dalam penelitian ini dilakukan metode *uncosolidated undrained test* (UU *test*) atau *quick test* (pengujian cepat). Benda uji mula-mula dibebani dengan penerapan tegangan sel, kemudian dibebani dengan beban normal, melalui penerapan tegangan deviator ($\Delta\sigma$) sampai mencapai keruntuhan. Pada penerapan tegangan deviator selama penggeseran, air tidak diijinkan keluar dari benda uji. Jadi, selama pengujian, katup drainase ditutup. Karena pada pengujian air tidak diijinkan mengalir ke luar, beban normal tidak ditransfer ke butiran tanahnya.

Pada uji kuat geser tanah, bila terdapat air di dalam tanah, pengaruh-pengaruh seperti jenis pengujian, permeabilitas, kadar air, akan sangat menentukan nilai-nilai

kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ). Nilai-nilai kuat geser yang rendah terjadi pada pengujian dengan cara *Unconsolidated-Undrained (UU-test)*. Pada tanah lempung yang jenuh air nilai sudut geser dalam (ϕ) dapat mencapai nol, sehingga pada pengujian hanya diperoleh nilai kohesinya (C). Berikut ini nilai estimasi kuat geser tanah menurut Bowles (1977) dalam Hardiyatmo (2012) dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Nilai-Nilai Estimasi Sudut Geser Dalam (ϕ) dari Hasil Triaksial

Jenis Tanah		Macam Pengujian Triaksial		
		UU	CU	CD
Kerikil	Ukuran sedang	40° - 55°	-	40° - 55°
	Berpasir	35° - 50°	-	35° - 50°
Pasir	Kering dan tidak padat	28,5° - 34°	-	-
	Jenuh dan tidak padat	28,5° - 34°	-	-
	Jenuh dan padat	1° - 2°	-	43° - 50°
Lanau	Tidak padat	20° - 22°	-	27° - 30°
	Padat	25° - 30°	-	30° - 35°
Lempung		0° (tidak jenuh)	14° - 20°	20° - 42°

Sumber: Hardiyatmo (2012)

3.2 Beban Lalu Lintas

Berdasarkan Panduan Geoteknik 4 (2002), beban lalu lintas ditambahkan untuk analisis stabilitas timbunan jalan diberikan dalam Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
III	12

Sumber: Pusat Litbang Prasarana Transportasi dalam Panduan Geoteknik 4 (2002)

Jalan tol merupakan kelas jalan I yang memiliki beban lalu lintas sebesar 15 kPa berdasarkan Tabel 3.5 di atas. Kelas jalan I tersebut merupakan kelas jalan tertinggi dengan beban lalu lintas terbesar. Kelas jalan tersebut biasa dilalui oleh jenis kendaraan dengan roda gandar banyak, sehingga desain jalan tol menggunakan beban lalu lintas yang besar untuk analisis kestabilan timbunannya, agar lebih aman terhadap beban lalu lintas yang melewati timbunan di atasnya.

Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya 1987 (PPPJJR 1987) memberikan penjelasan mengenai beban primer atau beban utama rencana yang didukung oleh struktur jalan antara lain sebagai berikut:

1. beban mati, yaitu semua beban yang berasal dari berat sendiri struktur yang terletak di atas timbunan badan jalan, sebagai contoh beban perkerasan,
2. beban hidup, yaitu semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak atau lalu lintas yang dianggap bekerja di atas jalan. Terdapat dua macam beban hidup, antara lain:
 - a. beban "T", yaitu beban terpusat yang digunakan dalam hitungan kekuatan lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan berupa truk dengan beban roda gandar (*dual wheel load*) sebesar 10 ton,
 - b. beban "D", yaitu beban lajur, lajur jalan raya mempunyai lebar minimum 2,75 m dan maksimum 3,75 m, biasanya lebar minimum yang digunakan dalam menentukan beban "D".

Kedua beban lalu lintas dan perkerasan dikombinasikan menjadi satu beban merata yang dijadikan sebagai data input dalam analisis selanjutnya. Nilai ini yang digunakan sebagai data *input* dalam analisis selanjutnya. Nilai ini yang digunakan sebagai tambahan beban yang ditumpu tanah timbunan dan tanah dasar dan digunakan sebagai tambahan beban yang ditumpu tanah timbunan dan tanah dasar dan digunakan sebagai data *input* dalam analisis. Berikut ini persamaan kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Persamaan 3.6.

$$\text{Kombinasi pembebanan} = \text{Beban Hidup} + \text{Beban Mati} \quad (3.6)$$

3.3 Beban Gempa

Gempa melepaskan energi yang menyebabkan adanya percepatan gelombang seismik menuju permukaan tanah. Beban dinamik dari gempa dapat meningkatkan tegangan geser pada lereng, mengurangi volume pori tanah pada lereng, serta menurunkan kuat geser tanah. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi stabilitas lereng akibat adanya gempa adalah:

1. *magnitude* percepatan seismik,
2. durasi lamanya gempa,
3. karakteristik kekuatan beban dinamik yang diakibatkan oleh guncangan gempa yang menimbulkan efek terhadap perilaku kuat geser dan perilaku tegangan-regangan pada material lereng,
4. dimensi lereng.

Beban gempa dapat berpengaruh signifikan terhadap tegangan-tegangan dinamik horisontal dan vertikal pada lereng. Tegangan-tegangan tersebut menghasilkan tegangan normal dinamik dan tegangan geser sepanjang daerah yang berpotensi longsor yang dapat melampaui tahanan geser izin tanah. Hal ini yang menyebabkan lereng menjadi tidak stabil.

Efek dari beban gempa terhadap timbunan pada lapisan tanah lunak adalah:

1. adanya tanah lunak akan memperbesar percepatan permukaan,
2. beban siklis dari kejadian gempa akan mengurangi kuat geser tak terdrainase dari tanah lempung lunak,
3. gaya-gaya yang terjadi akibat timbunan akan bertambah.

Percepatan gempa yang dimasukkan di dalam program *Slope/W* dipilih berdasarkan zonasi gempa yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang diakses pada web www.puskim.pu.go.id.

3.4 Kapasitas Dukung Tanah

Dalam perencanaan konstruksi bangunan sipil, daya dukung tanah mempunyai peranan yang sangat penting, daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban pondasi tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah. Tanah mempunyai

sifat untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan gesernya apabila menerima tekanan. Apabila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, tegangan geser yang ditimbulkan dalam tanah pondasi melampaui kekuatan geser tanah maka akan mengakibatkan keruntuhan geser tanah tersebut.

Menurut Hardiyatmo (2013) kapasitas dukung ijin (q_a) adalah tekanan maksimum yang dapat dibebankan pada tanah, sedemikian rupa sehingga kedua persyaratan di atas terpenuhi. Jadi, bila hitungan kapasitas dukung tanah yang didasarkan pada kapasitas dukung ultimit dibagi faktor aman telah memenuhi, padahal penurunan yang akan terjadi, yang dihitung berdasarkan tekanan dari hasil hitungan kapasitas dukung tanah tersebut, melampaui batas nilai toleransinya, maka nilai kapasitas dukungnya harus dikurangi sampai penurunan yang terjadi memenuhi syarat.

Kapasitas dukung ultimit (*ultimate bearing capacity*) (q_u) didefinisikan sebagai beban maksimum persatuan luas dimana tanah masih dapat mendukung beban dengan tanpa mengalami keruntuhan. Bila dinyatakan dalam persamaan yang dapat dilihat pada Persamaan 3.7, maka:

$$q_u = \frac{P_u}{A} \quad (3.7)$$

dengan:

q_u : kapasitas dukung ultimit atau kapasitas dukung batas (kN/m²),

P_u : beban ultimit atau beban batas (kN),

A : luas beban (m²).

Terzaghi (1943) dalam Bowles (1991) memberikan persamaan kuat dukung ultimit yang dapat diberikan oleh tanah untuk fondasi menerus tak terhingga dengan lebar B pada kondisi keruntuhan geser umum dari bahan yang bersifat plastis. Persamaan kapasitas dukung ultimit dan kapasitas ultimit netto Terzaghi dapat dituliskan pada Persamaan 3.8 dan Persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$q_u = c.N_c + D_f.\gamma.N_q + 0,5.\gamma.B.N_\gamma \quad (3.8)$$

dan

$$q_{un} = c.N_c + D_f.\gamma.(N_q-1) + 0,5.\gamma.B.N_\gamma \quad (3.9)$$

dengan:

q_u : kapasitas dukung ultimit (kN/m^2),

q_{un} : kapasitas dukung ultimit netto (kN/m^2),

c : kohesi (kN/m^2),

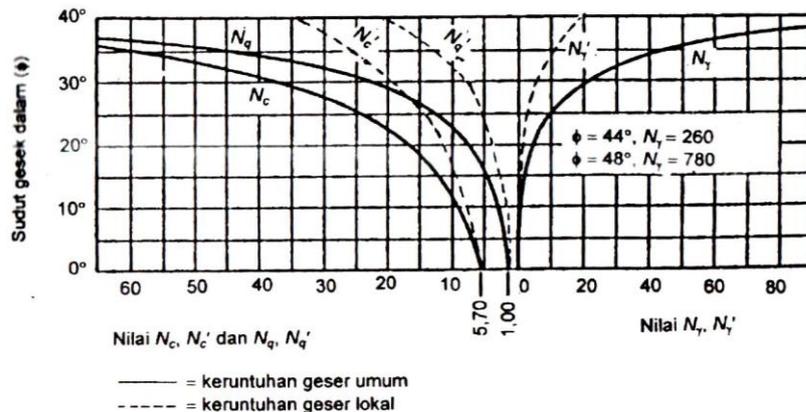
D_f : kedalaman fondasi (m),

γ : berat volume tanah (kN/m^3),

B : lebar fondasi (m),

N_c, N_q, N_γ : faktor kapasitas dukung tanah.

Nilai-nilai dari N_γ, N_c, N_q dalam bentuk grafik yang diberikan Terzaghi dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan nilai numeriknya pada Tabel 3.6 berikut.



Gambar 3.1 Hubungan ϕ dan N_c, N_γ, N_q

(Sumber: Terzaghi, 1943)

Tabel 3.6 Nilai Faktor Kapasitas Dukung Tanah Menurut Terzaghi

ϕ	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,67	1,0	0,0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2

**Lanjutan Tabel 3.6 Nilai Faktor Kapasitas Dukung Tanah Menurut
Terzaghi**

ϕ	Keruntuhan Geser Umum			Keruntuhan Geser Lokal		
	Nc	Nq	N γ	Nc'	Nq'	N γ '
10	9,6	2,7	1,2	8,0	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5,0	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35,0	23,7	11,7	9,0
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

Sumber: Terzaghi (1943)

Persamaan 3.10 digunakan untuk mengetahui angka aman suatu pondasi terhadap beban yang di atasnya.

$$SF = \frac{q_{un}}{q_n} \quad (3.10)$$

dengan:

q_{un} : kapasitas dukung ultimit *netto* (kN/m²),

q_n : beban *netto* yang diterima tanah dasar (kN/m²),

SF : angka aman.

3.5 Kelongsoran Lereng

Perbedaan elevasi pada permukaan tanah, seperti yang terjadi pada lereng dapat mengakibatkan pergerakan massa tanah dari bidang dengan elevasi yang tinggi menuju bidang dengan elevasi yang lebih rendah yang diakibatkan oleh gravitasi, air, maupun gaya gempa yang mengakibatkan ketidakstabilan pada tanah.

Pergerakan tanah tersebut akan menghasilkan tegangan geser yang berfungsi sebagai gaya penahan. Apabila berat massa tanah yang bekerja sebagai pendorong lebih besar daripada tegangan geser yang menahan pergerakan, maka akan terjadi keruntuhan atau kelongsoran. Penyebab utama terjadinya keruntuhan lereng adalah meningkatnya tegangan geser, menurunnya kuat geser pada bidang longsor, atau keduanya secara simultan.

3.5.1 Penyebab Kelongsoran Lereng

Tanah longsor terjadi dapat diakibatkan oleh aktifitas manusia ataupun karena peristiwa alam. Beberapa penyebab terjadinya kelongsoran lereng antara lain adalah sebagai berikut ini.

1. Erosi tanah.

Erosi tanah dapat disebabkan oleh aliran air hujan yang terlalu deras, sungai-sungai, maupun gelombang air laut. Erosi tanah ini dapat terjadi pada bagian kaki lereng dan semakin lama akan bertambah curam. Ketika erosi ini dibiarkan, maka dapat mengakibatkan tanah longsor karena tidak ada penopang yang kuat pada bagian kaki lereng.

2. Gempa bumi.

Gempa bumi dapat mengakibatkan getaran dalam tanah yang memiliki kekuatan tinggi maupun rendah. Getaran tersebut dapat menimbulkan tekanan pada partikel mineral dan bidang lemah pada massa batuan dan tanah yang dapat mengakibatkan longsornya lereng tersebut.

3. Getaran.

Seperti gempa bumi, pada dasarnya tanah longsor disebabkan salah satunya oleh getaran. Getaran tersebut berasal dari berbagai hal, seperti mesin, lalu lintas, penggunaan bahan peledak, hingga petir.

4. Tingginya curah hujan.

Pada daerah tropis khususnya Indonesia, terjadinya tanah longsor diakibatkan karena curah hujan yang tinggi. Hal itu terbukti karena tanah longsor sering terjadi ketika musim hujan tiba. Ketika intensitas hujan deras, maka aliran air hujan tersebut menghantam lereng tanah dan menggerus sisi lereng ataupun

kekuatan tanah tersebut melemah akibat kadar air tanah yang meningkat, sehingga hal tersebut dapat mengakibatkan longsor.

5. Lereng yang terjal.

Kemiringan lereng mempengaruhi erosi tanah melalui *runoff*. Semakin curam lereng, maka semakin besar laju dan jumlah aliran permukaan dan semakin besar erosi yang terjadi. Selain itu, semakin curam lereng dapat memperbesar energi angkut air. Jika kemiringan lereng semakin besar, maka jumlah butiran tanah yang terpercik ke bawah oleh air hujan akan semakin banyak. Hal itu disebabkan gaya berat yang semakin besar, sejalan dengan semakin miringnya permukaan tanah dari bidang horisontal, sehingga lapisan tanah atas yang tererosi akan semakin banyak.

6. Lahan pertanian pada lereng.

Penggunaan lahan pada lereng dapat mempengaruhi kestabilan lereng tersebut, seperti penggunaan lahan untuk pertanian dan perkebunan. Penggunaan lahan pertanian dan perkebunan membutuhkan air yang banyak, sehingga kadar air pada lereng tanah tersebut menjadi lebih dari kadar air optimum dan dapat mengakibatkan lereng tersebut melemah dan mudah longsor. Selain itu karena akar-akar tanaman yang kecil, sehingga daya ikat akar dengan tanah juga kecil.

7. Tanah tidak padat.

Tanah yang tidak padat masih memiliki banyak pori udara, ketika hujan tiba maka tanah tersebut akan menyimpan banyak air dan mengakibatkan kadar air meningkat sehingga kekuatan lereng melemah.

8. Kelebihan beban.

Adanya beban yang berlebihan yang bekerja pada atas lereng akan memicu terjadinya longsor karena beban yang berlebihan akan memberikan tekanan pada tanah yang besar, sehingga tanah tersebut akan mudah longsor.

3.5.2 Jenis Kelongsoran Lereng

Cruden dan Varnes (1996) mengklasifikasikan keruntuhan lereng ke dalam 5 kategori, namun pada penelitian ini kelongsoran yang dihasilkan dari *software Slope.W* adalah kelongsoran *rotational slide*. *Slide* (gelincir), pergeseran massa tanah pada bawah lereng yang terjadi secara dominan pada permukaan runtuh atau terhadap area kecil pada regangan geser. Pergerakan biasanya bersifat progresif dari daerah keruntuhan lokal. Terdapat dua jenis kelongsoran gelincir, yaitu *rotational slide* dan *translational slide* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 *Rotational slide* memiliki bidang gelincir berbentuk busur lingkaran, yang pada umumnya berkaitan dengan kondisi tanah yang homogen. *Translational slide* memiliki bidang gelincir berbentuk datar. Kelongsoran ini dipengaruhi oleh adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan. *Translational slide* cenderung terjadi bila lapisan tanah yang berbatasan terletak pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng. Berikut ini Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 adalah keruntuhan lereng *rotational slide* dan *translational slide*.



Gambar 3.2 Keruntuhan Lereng Slide

(Sumber: Das, 1985)



Gambar 3.3 (a) Rotational Slide dan (b) Translational Slide

(Sumber: Das, 1985)

3.5.3 Penanggulangan Kelongsoran Lereng

Penanggulangan kelongsoran lereng sangat penting dilakukan, agar jika belum terjadi dapat ditanggulangi sedini mungkin sebelum adanya korban atau kerugian, ataupun kelongsoran sudah terjadi dapat diperbaiki dan meminimalisir kerugian yang terjadi kembali. Berikut ini metode penanggulangan kelongsoran yang dapat dilakukan.

1. Terasering tanah.

Terasering tanah merupakan bangunan konservasi tanah yang secara mekanis dibuat untuk memperkecil kemiringan lereng atau mengurangi panjang lereng dengan cara menggali dan mengurug tanah melintang lereng. Pembuatan terasering berguna untuk meningkatkan peresapan air ke dalam tanah dan mengurangi jumlah aliran permukaan sehingga memperkecil risiko pengikisan akibat air. Berikut ini beberapa fungsi terasering tanah:

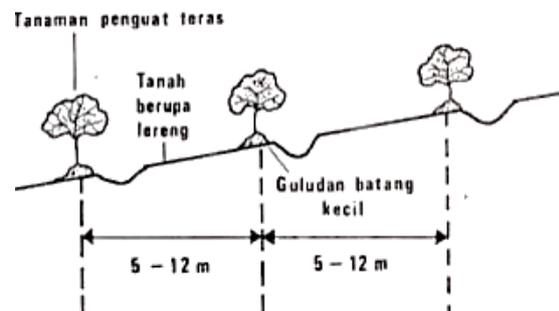
- a. menjaga dan meningkatkan kestabilan lereng,
- b. memperbanyak resapan air hujan ke dalam tanah,
- c. mengurangi *runoff* atau kecepatan aliran air di permukaan tanah,
- d. mempermudah perawatan atau konservasi lereng,
- e. mengurangi panjang lereng atau memperkecil tingkat kemiringan lereng,
- f. mengendalikan arah aliran air menuju ke daerah yang lebih rendah sehingga terkonsentrasi pada satu tempat,
- g. menampung dan menahan air pada lahan miring.

Terasering dapat dibagi menurut bentuknya, yaitu sebagai berikut ini.

a. Terasering kredit.

Terasering kredit merupakan suatu terasering dengan bentuk guludan tanah atau batu yang sejajar kontur. Jenis terasering ini menggabungkan guludan dan saluran air menjadi satu. Syarat untuk membuat terasering kredit ini dengan kemiringan lereng 3-10% dan kedalaman tanah >30 cm, tanah harus memiliki daya resap air yang tinggi dan tidak ada kanal yang rawan longsor. Kekurangan terasering kredit ini membutuhkan banyak tenaga kerja dan harus dibuat pada daerah yang intensitas hujan lebatnya rendah.

Berikut ini gambar terasering kredit. Gambar terasering kredit dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.

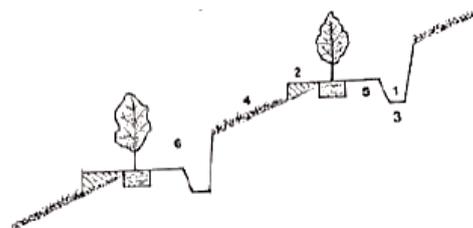


Gambar 3.4 Terasering Kredit

(Sumber: Sukartaatmadja, 2004)

b. Terasering kebun.

Terasering kebun merupakan suatu terasering yang dibuat sejajar kontur dengan bagian lain yang dibiarkan seperti keadaan aslinya. Lahan yang letaknya berada di antara dua teras yang bersebelahan dibiarkan tidak diolah. Pembuatan terasering jenis ini dapat dilakukan pada lereng dengan kemiringan 30-50%. Gambar terasering kebun dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



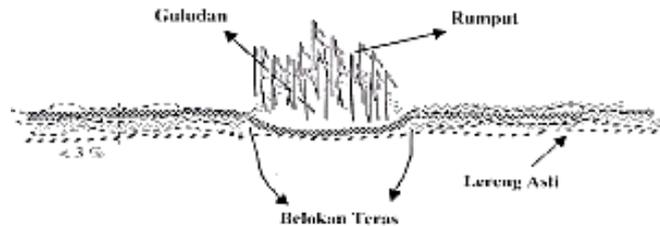
Gambar 3.5 Terasering Kebun

(Sumber: Sukartaatmadja, 2004)

c. Terasering datar.

Terasering datar merupakan suatu teras dengan bentuk tanggul yang sejajar kontur, serta dilengkapi saluran air di bagian atas dan bawah tanggul. Dalam pembuatan teras datar ada beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu kemiringan lereng $<3\%$, kedalaman tanah <30 cm, tanaman yang

ditanam adalah musiman dan berada pada daerah dengan intensitas hujan rendah. Berikut ini Gambar 3.6 terasering datar.

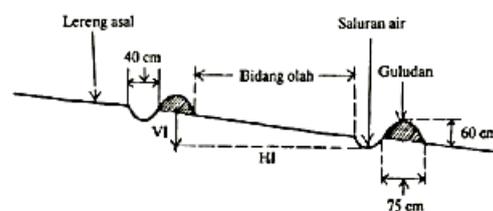


Gambar 3.6 Terasering Datar

(Sumber: Sukartaatmadja, 2004)

d. Terasering guludan.

Terasering guludan adalah terasering dengan bentuk guludan yang dibuat melintang lereng. Terasering ini dibuat pada lereng dengan kemiringan 10-15% dan kedalaman tanah >30 cm, pada daerah dengan daya resap air yang tinggi, diperlukan saluran pembuangan air yang landai dengan kemiringan 0,1%, sehingga dapat menampung endapan tanah hasil erosi tersebut. Gambar terasering guludan dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



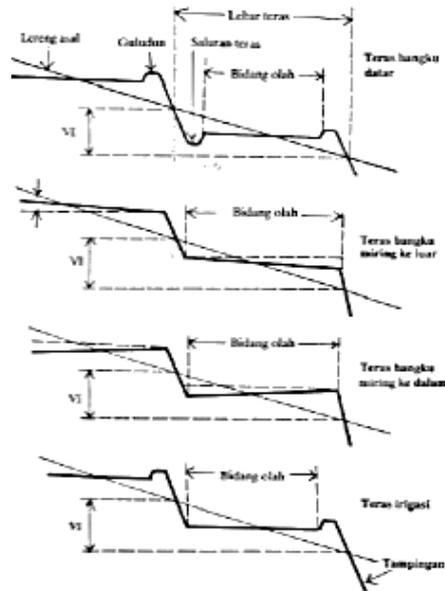
Gambar 3.7 Terasering Guludan

(Sumber: Sukartaatmadja, 2004)

e. Terasering bangku.

Terasering bangku adalah suatu teras yang dibuat dengan memotong lereng, sehingga bidang olah miring ke belakang (*reverse back slope*) dan membentuk deretan bangku. Teras bangku dilengkapi dengan saluran pembuangan air dan ditanami rumput untuk menguatkan lereng. Syarat pembuatan terasering jenis ini yaitu hampir sama dengan teras guludan,

namun dapat dibuat di daerah dengan daya serap air yang rendah. Berikut ini Gambar 3.8 terasering bangku.

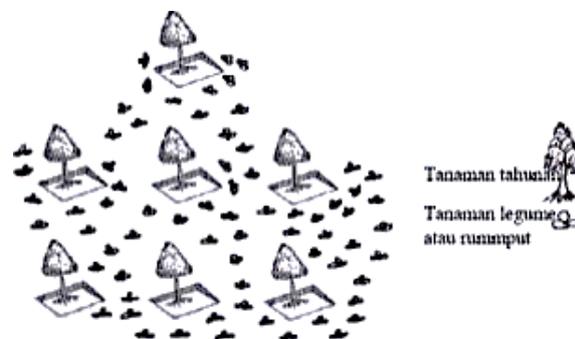


Gambar 3.8 Terasering Bangku

(Sumber: Sukartaatmadja, 2004)

f. Terasering individu.

Teras individu adalah terasering yang dibuat pada masing-masing tanaman. Pembuatan teras individu sangat sederhana, yaitu dengan cara menggali tanah pada tempat yang akan ditanami dan menimbun tanah hasil galian ke lereng bagian bawah sampai landai, sehingga membentuk seperti terasering bangku yang terpisah. Berikut ini Gambar 3.9 terasering individu.



Gambar 3.9 Terasering Individu

(Sumber: Sukartaatmadja, 2004)

g. Terasering saluran.

Terasering saluran merupakan suatu terasering dengan bentuk berupa lubang-lubang buntu yang dibuat untuk menampung endapan-endapan tanah akibat sedimentasi. Syarat pembuatan terasering saluran yaitu kemiringan lereng antara 3-10%, kedalaman tanah >30 cm, tanah bertekstur kasar dan memiliki daya resap air yang tinggi.

h. Terasering batu.

Terasering ini menggunakan batu sebagai dinding dengan jarak yang disesuaikan disepanjang garis kontur pada lahan yang miring. Terasering ini sangat baik dilakukan pada lereng yang tersusun dari banyak batu dan kerikil. Tujuan dari pembuatan terasering jenis ini adalah memanfaatkan batu-batuan yang berada dipermukaan tanah tersebut.

2. Melandaikan kemiringan lereng.

Semakin landai lereng, maka semakin kecil laju dan jumlah aliran permukaan dan semakin kecil kemungkinan erosi yang akan terjadi. Jika kemiringan lereng semakin landai, maka jumlah butiran tanah yang terpercik ke bawah oleh air hujan akan semakin sedikit. Hal itu disebabkan karena gaya berat yang mengecil, sejalan dengan semakin miringnya permukaan tanah dari bidang horisontal, sehingga lapisan tanah atas yang tererosi akan semakin sedikit.

3. Dinding penahan tanah.

Dinding penahan tanah dibuat dari pasangan batu, beton atau beton bertulang. Keberhasilan dinding penahan tanah tergantung pada kemampuan menahan geseran dan stabilitas terhadap guling. Selain untuk menahan gerakan tanah, juga berfungsi melindungi bangunan dari runtuh. Dinding penahan tanah wajib dipasang drainase dan pipa air, sehingga tidak terjadi tekanan hidrostatik yang besar.

4. Sumuran.

Gorong-gorong beton pracetak dimasukkan ke dalam sumuran yang digali dengan kedalaman melebihi bidang longsoran. Kemudian gorong-gorong diisi dengan beton tumbuk atau material berbutir tergantung dari kekuatan geser

yang dikehendaki. Pelaksanaan penanggulangan tersebut bisa dilakukan sampai dengan kedalaman lereng 15 meter.

5. Tiang pancang.

Pemasangan tiang pancang cocok digunakan untuk mencegah atau menanggulangi kelongsoran yang tidak terlalu dalam, namun tidak cocok untuk jenis tanah yang sensitif karena getaran yang terjadi pada saat pemancangan dapat menurunkan massa tanah. Tingkat efektifitasnya tergantung pada kemampuan menembus lapisan tanah.

6. Jangkar kabel.

Metode penanggulangan ini dilakukan bila massa batuan yang bergerak berukuran besar.

7. Beton semprot.

Cara penanggulangan dengan beton semprot digunakan untuk memperkuat permukaan batu yang bersifat lapuk.

8. Bronjong.

Bronjong adalah bangunan berupa anyaman kawat yang diisi dengan batu belah. Keuntungan penggunaan bronjong adalah sebagai berikut:

- a. bronjong memiliki sifat yang tidak kaku, sehingga dapat menahan gerak vertikal maupun horisontal,
- b. jika bronjong runtuh, masih dapat digunakan lagi,
- c. bronjong bersifat lulus air sehingga tidak menyebabkan terjadinya genangan air permukaan,
- d. pelaksanaan pemasangannya mudah,
- e. material mudah didapat,
- f. biaya lebih ekonomis.

9. Perkuatan geotekstil.

Geotekstil merupakan teknik pelapisan tanah untuk mencegah terjadinya longsor dan amblesan tanah. Bahan geotekstil memiliki kuat tarik yang tinggi, khususnya jenis geotekstil *woven*. Biaya yang dibutuhkan untuk pemasangan geotekstil ini 40% lebih murah dibandingkan dengan beton dan waktu pengerjaannya juga lebih cepat.

3.6 Lereng Timbunan

3.6.1 Angka Keamanan (*Safety Factor*)

Kelongsoran suatu lereng umumnya terjadi melalui suatu bidang tertentu yang disebut dengan bidang gelincir (*slip surface*). Faktor keamanan memiliki peranan penting dalam analisis stabilitas timbunan, yaitu sebagai faktor untuk mengurangi risiko keruntuhan sampai pada tingkatan yang dapat diterima. Perbandingan antara gaya-gaya penahan terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah inilah yang disebut dengan faktor keamanan (*safety factor*).

Faktor keamanan untuk lereng tanpa perkuatan menurut Lazarte (2003) dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Faktor Keamanan Lereng Menurut Lazarte

<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
<i>Nail Bar Tensile Strength</i>	1,8	1,35
<i>Facing Flexure</i>	1,5	1,1
<i>Facing Puncing Shear Failure</i>	1,5	1,1
<i>Headed Stud Tensile Failure (A307 Bolt)</i>	2,0	1,5

Sumber: Lazarte, dkk (2003)

Angka faktor keamanan yang digunakan pada penelitian ini adalah pada stabilitas global dengan waktu jangka panjang yaitu untuk beban statis sebesar 1,5 dan dengan beban gempa sebesar 1,1.

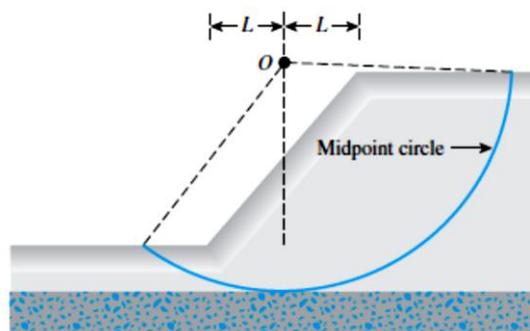
3.6.2 Analisis dengan Metode Kesetimbangan Batas

Ada beberapa metode yang dikembangkan dalam analisis kestabilan lereng, namun pada penelitian ini hanya akan menggunakan salah satu metode, yaitu metode kesetimbangan batas. Metode kesetimbangan batas merupakan metode kesetimbangan yang membandingkan antara gaya yang menahan longsor dengan gaya yang mengakibatkan longsor.

Dalam menganalisis kestabilan suatu lereng, metode kesetimbangan batas membagi massa bidang longsor menjadi irisan-irisan. Gaya gesek yang bekerja pada irisan diasumsikan mewakili seluruh bagian yang sama dari kuat gesek batuan atau tanah, dimana gaya gesek tersebut bekerja. Sedangkan pada gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Penentuan angka aman suatu lereng membutuhkan paling sedikit satu asumsi yang berkenaan dengan gaya-gaya antar irisan. Arah, besar dan titik kerja dari gaya-gaya irisan merupakan asumsi yang paling sering digunakan.

Keruntuhan lereng dari jenis tanah kohesif banyak terjadi karena bertambahnya kadar air tanah. Sebab terjadinya kelongSORan adalah karena tidak tersedianya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan tanah longsor ke bawah pada bidang longSORnya.

Lengkungan bidang longSOR yang dapat berupa bentuk bidang lingkaran, log spiral ataupun kombinasi keduanya. Ada juga bidang longSOR yang tidak berupa kurva menerus akibat perpotongan dari bidang longSOR dengan lapisan tanah keras, seperti lempung sangat padat, pasir padat, permukaan batu atau lapisan tanah lunak. Bentuk- bentuk bidang longSOR dapat dilihat pada Gambar 3.10 di bawah ini.



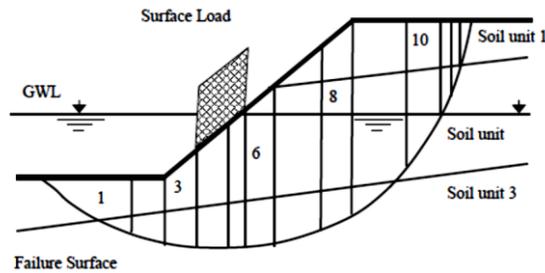
Gambar 3.10 Bentuk-Bentuk Bidang LongSOR Lingkaran

(Sumber: Das, 1985)

Menurut Bowles (1984) bentuk anggapan bidang longsor berupa lingkaran dimaksudkan untuk mempermudah hitungan analisis stabilitasnya secara matematik dan dipertimbangkan mendekati bentuk di lapangan dari bidang longsor yang sering terjadi. Kesalahan analisis stabilitas lereng tidak banyak disebabkan oleh bentuk anggapan bidang longsornya, akan tetapi banyak ditentukan pada penentuan sifat-sifat tanah dan pencarian koordinat longsor kritisnya.

Menurut Sowers (1975) tipe longsor terbagi kedalam 3 bagian berdasarkan kepada posisi bidang gelincirnya, yaitu longsoran kaki lereng (*toe failure*), longsoran muka lereng (*face failure*) dan longsoran dasar lereng (*base failure*). Longsoran kaki lereng umumnya terjadi pada lereng yang relatif agak curam ($>45^\circ$) dan tanah penyusunnya relatif mempunyai nilai sudut geser dalam yang besar ($>30^\circ$). Longsoran muka lereng biasa terjadi pada lereng yang mempunyai lapisan keras (*hard layer*), dimana ketinggian lapisan keras ini melebihi ketinggian kaki lerengnya, sehingga lapisan lunak yang berada diatas lapisan keras berbahaya untuk longsor. Longsoran dasar lereng biasa terjadi pada lereng yang tersusun oleh tanah lempung, atau bisa juga terjadi pada lereng yang tersusun oleh beberapa lapisan lunak (*soft seams*).

Pada metode ini tanah diasumsikan sebagai material *rigid-plastic* yang tidak ada regangan sampai keruntuhan terjadi. Analisis ini tergantung pada bentuk bidang runtuh yang diasumsikan sebagai *planar failure surface*, *circular arch* atau *logaritmik spiral*. Analisis kestabilan lereng berdasarkan metode kesimbangan batas dilakukan dengan cara membagi massa tanah yang menggelicir menjadi beberapa irisan yang dianggap sebagai suatu blok geser. Perhitungan lereng dengan metode kesetimbangan batas dilakukan dengan membagi massa longsor menjadi segmen-segmen seperti pada Gambar 3.11, untuk bidang longsor lingkaran adalah:



Gambar 3.11 Pembagian Massa Tanah Bidang Longsor

(Sumber: Abramson, dkk, 2002)

Berdasarkan kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi, metode irisan dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu sebagai berikut ini.

1. Metode yang tidak memenuhi kedua kesetimbangan gaya dan momen.
Metode yang tidak memperhitungkan salah satu kesetimbangan gaya dan momen adalah metode biasa (*ordinary method*), metode *bishop* disederhanakan (*simplified bishop method*) dan metode *janbu* yang disederhanakan (*simplified janbu method*).
2. Metode yang memenuhi kondisi kesetimbangan gaya dan momen.
Metode yang memperhitungkan kedua kesetimbangan gaya dan momen yaitu metode *spencer*, metode *morgenstern-price* dan metode kesetimbangan batas umum (*generalized limit equilibrium method*).

Masing-masing metode memiliki asumsi dasar yang berbeda dalam penentuan angka keamanan stabilitas lereng. Prinsip dasar dianalisis dari perbandingan antara kuat geser tanah (τ_f) dengan gaya dorong tanah (τ), atau perbandingan dari momen yang menahan (*resisting moment*) dengan momen yang mendorong (*driving moment*).

Berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada irisan, perbedaan pada setiap metode dapat dilihat pada Tabel 3.8 di bawah ini.

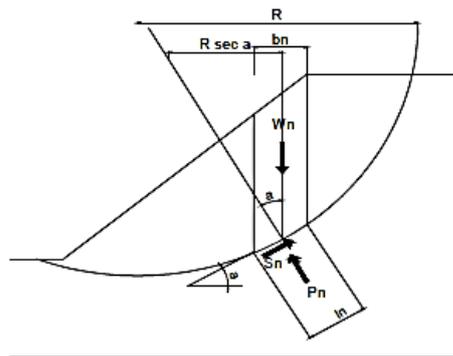
Tabel 3.8 Kesetimbangan pada Setiap Metode Kesetimbangan Batas

Metode	Kesetimbangan Gaya		Kesetimbangan Momen
	x	y	
<i>Fellenius</i>	Tidak	Tidak	Ya
<i>Janbu Simplified</i>	Ya	Ya	Tidak
<i>Morgenstern-Price</i>	Ya	Ya	Ya

Sumber: Abramson (2002)

3.6.3 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Metode *Fellenius*

Metode ini ditemukan oleh Fellenius pada tahun 1936. Metode ini memiliki asumsi bahwa gaya horisontal yang mendorong bidang kerja dari kedua arah diabaikan, karena diasumsikan memiliki nilai yang sama. Berikut ini Gambar 3.12 gaya yang bekerja pada bidang kelongsoran.



Gambar 3.12 Gaya yang Bekerja pada Bidang Kelongsoran

(Sumber: Krahn, J., 2003)

Pada metode *Fellenius* ini, nilai W_n dan P_n diasumsikan berada di tengah bidang kerja. Berikut ini Persamaan 3.11 untuk mendapatkan nilai faktor keamanan dengan metode *Fellenius*.

$$SF = \frac{\text{Resisting Force}}{\text{Driving Force}} = \frac{\sum (c \cdot l_n [W_n \cdot \cos \alpha - u \cdot l_n] \tan \varphi)}{\sum W_n \cdot \sin \alpha} \quad (3.11)$$

dimana:

SF : nilai faktor keamanan,

c : kohesi tanah (kN/m^2),

l_n : panjang sisi miring irisan ke-n (m),

W_n : gaya akibat beban tanah ke-n (kN),

α : sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat bidang longsor ($^\circ$),

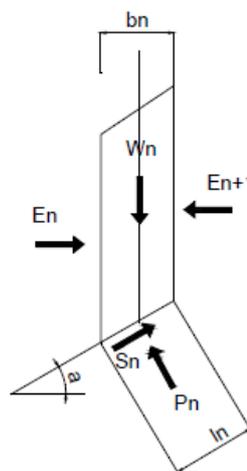
φ : sudut geser tanah ($^\circ$),

u : tekanan air pori (kN/m^2).

3.6.4 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Metode *Janbu Simplified*

Janbu membuat suatu metode analisa yang dapat digunakan pada permukaan longsor yang berbentuk *circular* dan *non circular*. Janbu merumuskan persamaan umum kesetimbangan dengan menyelesaikan secara vertikal dan horisontal pada dasar tiap-tiap irisan dengan memperhitungkan seluruh kesetimbangan gaya. Janbu juga mengembangkan metode yang mirip dengan metode *Bishop* Sederhana (*Simplified Bishop Method*) yang dikenal dengan metode *Janbu* Sederhana (*Simplified Janbu Method*). Metode ini memiliki asumsi sama dengan metode *Bishop* yang mengasumsikan bahwa gaya normal antar irisan diperhitungkan tetapi gaya geser antar irisan diabaikan atau bernilai nol ($X_L - X_R = 0$). Perbedaan antara Metode *Bishop* Sederhana dan Metode *Janbu* Sederhana terletak pada penurunan angka faktor keamanan. *Bishop* menurunkan angka faktor keamanan dari kesetimbangan vertikal, sedangkan *Janbu* menurunkan angka faktor keamanan dari kesetimbangan horisontal.

Gaya normal pada dasar irisan *Janbu* memiliki kesamaan dengan gaya normal pada metode *Bishop* Sederhana. Gaya normal di dasar dan tiap irisan ditentukan dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah vertikal. Berikut ini gaya yang bekerja pada bidang irisan pada metode *Janbu* dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Bidang Irisan Metode *Janbu*

(Sumber: Hoek, E dan Bray, J.W., 1981)

Dari gaya-gaya yang bekerja didapatkan persamaan faktor keamanan dan dapat dilihat pada Persamaan 3.12 berikut ini.

$$SF = \frac{\text{Resisting Force}}{\text{Driving Force}} = \frac{\sum (c \cdot b_n [W_n - u \cdot b_n] \tan \varphi) \frac{\sec^2 \alpha_n}{1 + \frac{\tan \varphi \cdot \tan \alpha_n}{F}}}{\sum W_n \cdot \tan \alpha} \quad (3.12)$$

dimana:

SF : nilai faktor keamanan,

c : kohesi tanah (kN/m²),

b_n : panjang horisontal bidang irisan ke-n (m),

W_n : gaya akibat beban tanah ke-n (kN),

α : sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat bidang longsor (°),

φ : sudut geser tanah (°),

u : tekanan air pori (kN/m²).

Menurut metode *Janbu*, faktor keamanan yang didapat harus dikoreksi karena pengaruh geometri lereng dan parameter kuat geser tanah, dengan menggunakan Persamaan 3.13 dan 3.14 berikut.

$$FK_{\text{Janbu}} = f_0 \cdot F \quad (3.13)$$

$$f_0 = 1 + b_1 \left[\frac{d}{L} - 1,4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \right] \quad (3.14)$$

Nilai b₁ merupakan fungsi dari jenis tanah berikut ini.

1. Tanah kohesif (c > 0), maka nilai b₁ = 0,69
2. Tanah non kohesif (φ > 0), maka nilai b₁ = 0,31
3. Tanah dengan c dan φ, maka nilai b₁ = 0,5

3.6.5 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Metode *Morgenstern-Price*

Metode *Morgenstern-Price* ini dapat digunakan untuk semua bentuk bidang longsor dan telah memenuhi semua kondisi kesetimbangan. Metode ini menggunakan asumsi terdapat hubungan antara gaya geser antar irisan dan gaya normal antar irisan yang dinyatakan dalam Persamaan 3.15 berikut ini.

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \quad (3.15)$$

dimana:

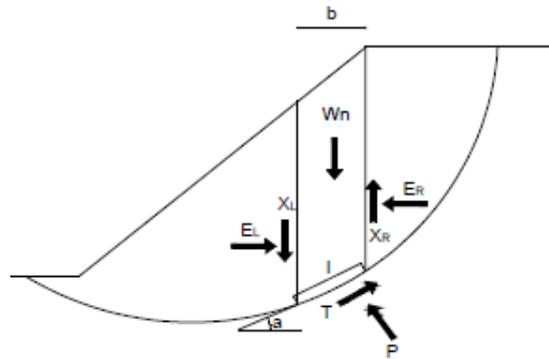
X : gaya geser di sekitar irisan,

λ : faktor pengali,

$f(x)$: faktor keamanan,

E : gaya normal di sekitar irisan.

Bentuk beberapa fungsi $f(x)$ yang dapat digunakan ada pada Gambar 3.14 berikut.



Gambar 3.14 Gaya yang Bekerja pada Tiap Irisan Metode *Morgenstern-Price*

(Sumber: Morgenstern, N. R dan Price, 1965)

Terdapat perbedaan cara perhitungan faktor keamanan diantara metode *Morgenstern-Price* dengan metode kesetimbangan batas umum. Dalam metode kesetimbangan batas umum, perhitungan faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal dan kesetimbangan momen pada pusat gelincir untuk semua irisan. Sementara itu metode *Morgenstern-Price*, perhitungan faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan kondisi kesetimbangan gaya dan momen dari setiap irisan.

Persamaan gaya normal dapat dilihat pada Persamaan 3.16 di bawah ini.

$$P = \frac{[W_n - (X_R - X_L) - \frac{1}{F}(c \cdot l \cdot \sin \alpha - u \cdot l \cdot \tan \phi \cdot \sin \alpha)]}{\cos \alpha \left(1 + \tan \alpha \cdot \frac{\tan \phi}{F}\right)} \quad (3.16)$$

dimana:

- P : gaya normal (kN),
 c : kohesi tanah (kN/m²),
 W_n : gaya akibat beban tanah ke-n (kN),
 α : sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat bidang longsor (°),
 φ : sudut geser tanah (°),
 u : tekanan air pori (kN/m²),
 X_L, X_R : gaya gesek yang bekerja di tepi irisan (kN).

Dalam metode ini analisa faktor keamanan dilakukan dengan dua prinsip, yaitu kesetimbangan momen (F_m) dan kesetimbangan gaya (F_f). Faktor keamanan dari prinsip kesetimbangan momen adalah untuk bidang kelongsoran lingkaran dapat dilihat pada Persamaan 3.17 berikut ini.

$$F_m = \frac{\sum [c.l + (P-u.l) \tan \varphi]}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad (3.17)$$

Persamaan untuk nilai faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan gaya dapat dilihat pada Persamaan 3.18 berikut ini.

$$F_f = \frac{\sum [c.l + (P-u.l) \tan \varphi] \cos \alpha}{\sum P \cdot \sin \alpha} \quad (3.18)$$

dimana:

- F_m : faktor keamanan kesetimbangan momen,
 F_f : faktor keamanan kesetimbangan gaya,
 c : kohesi tanah (kN/m²),
 P : gaya normal (kN),
 W : gaya akibat beban tanah (kN),
 α : sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat bidang longsor (°),
 φ : sudut geser tanah (°),
 u : tekanan air pori (kN/m²).

Pada proses iterasi pertama, gaya geser di sekitar irisan (X_L dan X_R) diasumsikan nol, kemudian pada proses iterasi selanjutnya gaya tersebut didapatkan dengan Persamaan 3.19 berikut ini

$$(E_R - E_L) = P \cdot \sin \alpha - \frac{1}{F} [c \cdot l + (P - u \cdot l) \tan \phi] \cos \alpha \quad (3.19)$$

Kemudian gaya geser tersebut dihitung dengan mengasumsikan nilai λ dan $f(x)$.

3.7 Perkuatan Geotekstil

3.7.1 Geotekstil untuk Perkuatan Timbunan

Geotekstil telah banyak digunakan untuk perkuatan tanah dasar pada struktur perkerasan jalan. Geotekstil juga telah sering digunakan untuk stabilisasi timbunan badan jalan yang terletak pada pondasi tanah lunak. Pengaruh penting yang menguntungkan dari macam-macam pemakaian geotekstil untuk perkuatan timbunan adalah kecuali berfungsi utama sebagai pemisah, geotekstil juga berfungsi sebagai tulangan atau perkuatan yang menaikkan kapasitas dukung tanah dasar oleh kekuatan komposit tanah dengan geotekstil.

Timbunan yang dibangun pada tanah lunak mempunyai kecenderungan bergerak ke arah lateral, karena akibat dari tekanan tanah horisontal yang bekerja pada timbunan tersebut. Tekanan horisontal ini menyebabkan timbulnya tegangan geser pada dasar timbunan, yang harus ditahan oleh tanah pondasi yang lunak tersebut. Jika tanah pondasi ini tidak menahan tegangan geser tersebut, maka timbunan dapat mengalami keruntuhan. Oleh karena itu, pada dasar timbunan dapat dipasang geotekstil dengan kuat tarik tinggi yang berguna untuk menambah nilai stabilitas timbunan tersebut.

Menurut *Federal High Way Administration* (1998) dalam Hardiyatmo (2013) dalam fungsinya sebagai perkuatan, geotekstil memberikan pengaruh perkuatan melalui tiga kemungkinan mekanisme yaitu sebagai berikut ini.

1. Kekangan lateral (*lateral restraint*) pada lapis pondasi jalan dan tanah dasar (*subgrade*) melalui gesekan dan penguncian antar agregat. Ketika kendaraan

lewat, beban roda cenderung menggeser agregat bergerak ke arah lateral. Gerakan ini ditahan oleh gesekan tanah dasar atau geosintetik. Geotekstil yang mempunyai tahanan gesek tinggi dapat memberikan tahanan tarik terhadap gerakan lateral agregat tersebut. Tanah dasar yang lunak, biasanya tidak tahan terhadap gaya lateral, sehingga ketika agregat bergerak ke arah lateral akan terbentuk alur atau lekukan di bagian atas agregat dan tanah dasar.

2. Meningkatkan kapasitas dukung tanah, yaitu dengan memaksa bidang runtuh bergerak ke luar, sehingga meninggikan tahanan geser tanah.
3. Dukungan membran akibat beban roda. Dukungan membran ini menaikkan kapasitas dukung jalan, yaitu oleh pengaruh gaya tarik membran di dalam geosintetik oleh pengaruh beban roda.

Jika tanah dasar lunak, ketika beban lalu lintas bekerja di atasnya, geotekstil akan terdeformasi secara signifikan. Deformasi ini menyebabkan kekuatan tariknya termobilisasi. Semakin besar deformasinya, maka semakin besar pula tahanan tarik yang termobilisasi. Gaya tarik termobilisasi dalam geotekstil ini menambah dukungan tanah dasar dengan menaikkan CBR, sehingga mengurangi tebal agregat lapis pondasi yang dibutuhkan.

3.7.2 Perancangan Perkuatan Geotekstil

Kriteria bahan geotekstil yang harus diperhatikan dalam kasus pembangunan jalan adalah ketahanan geotekstil terhadap tusukan, kuat tarik dan regangan yang optimum. Geotekstil yang dipilih harus mempunyai kriteria berikut:

1. modulus atau kuat tarik tertentu yang disesuaikan dengan kondisi tanah dasar,
2. karakteristik deformasi oleh akibat beban yang diperlukan agar geotekstil yang dipilih dapat termobilisasi kuat tariknya.

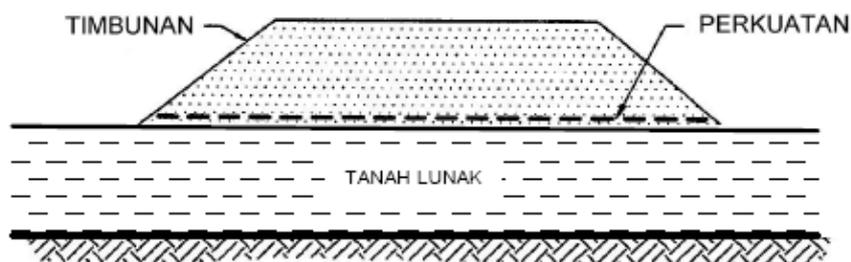
Penggunaan geotekstil untuk jalan sementara dan permanen harus dipertimbangkan kriteria ketahanannya. Dalam perancangan, tegangan yang bekerja pada permukaan atas tanah dasar akibat beban sendiri agregat dan beban lalu lintas harus lebih kecil dari kapasitas dukung tanah dengan faktor aman tertentu. Saat pelaksanaan dilakukan, tegangan yang terjadi pada tanah dasar dan geotekstil bisa lebih besar daripada beban layan. Oleh karena itu, pemilihan

geotekstil untuk jalan biasanya didasarkan pada tegangan yang diharapkan akan bekerja dan dipilih berdasarkan ketahanan pada kondisi yang paling kritis.

Pemasangan geotekstil pada timbunan harus memiliki nilai faktor keamanan yang disyaratkan, untuk timbunan yang bersifat sementara ataupun permanen. Perancangan lereng timbunan dianggap pada kondisi kritis jika:

1. keruntuhan lereng mengakibatkan adanya korban atau kerusakan pemukiman yang signifikan,
2. adanya gaya tarik termobilisasi dalam tulangan perkuatan pada umur rancangan struktur,
3. keruntuhan tulangan perkuatan mengakibatkan runtuhnya struktur.

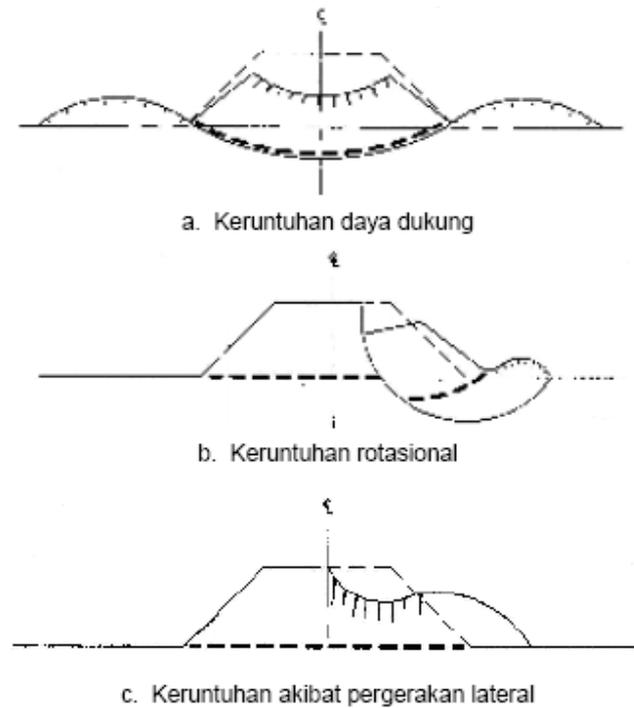
Perkuatan geotekstil atau geogrid dapat dipasang satu lapis atau lebih tergantung besarnya gaya geser yang akan ditahan, seperti pada Gambar 3.15 ini.



Gambar 3.15 Timbunan di Atas Tanah Lunak

(Sumber: Hardiyatmo, 2008)

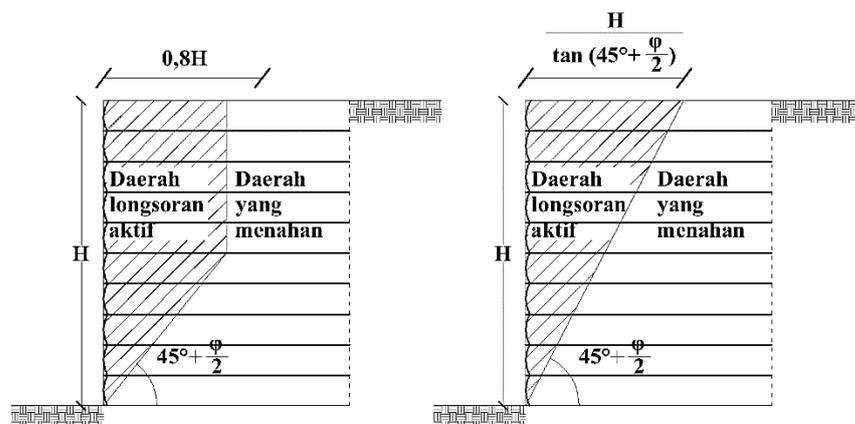
Perencanaan timbunan yang diperkuat adalah perencanaan untuk mencegah keruntuhan. Gambar 3.16 menunjukkan model keruntuhan yang dapat terjadi pada timbunan yang diperkuat. Ketiga kemungkinan keruntuhan tersebut memberikan indikasi jenis analisis stabilitas yang dibutuhkan. Selain itu, penurunan timbunan dan potensi rangkai pada perkuatan juga harus dipertimbangkan.



Gambar 3.16 Model Keruntuhan pada Timbunan yang Diperkuat
(Sumber: Holtz, dkk, 1996)

3.7.3 Analisis Stabilitas Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil Panjang Perzona

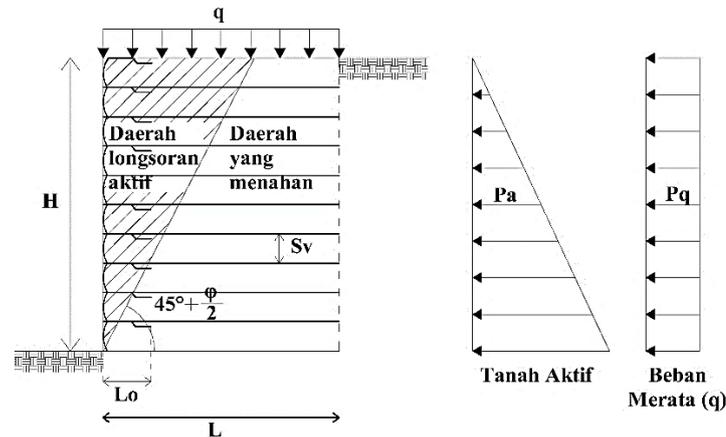
Analisis gaya-gaya yang bekerja untuk stabilitas terhadap gaya-gaya internal digunakan analisis tegangan seperti pada dinding penahan tanah dengan menggunakan teori klasik Rankine dan Coulomb. Metode yang digunakan ada dua macam dengan anggapan bentuk longsor tanah adalah segitiga dan trapesium yang masih dalam taraf penelitian lanjutan. Berikut ini bentuk longsor tanah dan daerah yang menahan dapat dilihat pada Gambar 3.17 berikut ini.



Gambar 3.17 Bentuk Longsor Tanah dan Daerah yang Menahan

(Sumber: Suryolelono, K.B., 1993)

Panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar $(45 - \frac{\phi}{2})^\circ$. Berikut ini gaya-gaya yang bekerja pada perkuatan menurut Suryolelono (1993) dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Perkuatan

(Sumber: Suryolelono, K.B., 1993)

Analisis stabilitas konstruksi memiliki 2 pendapat yaitu sebagai berikut ini.

1. Menggunakan koefisien tekanan tanah diam, dengan Persamaan 3.20 berikut.

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (3.20)$$

dimana:

K_0 : koefisien tekanan tanah diam,

ϕ : sudut geser dalam ($^\circ$).

2. Menggunakan koefisien tekanan tanah aktif, dengan Persamaan 3.21 berikut.

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.21)$$

dimana:

K_a : koefisien tanah aktif,

ϕ : sudut geser dalam ($^\circ$).

Pada penelitian ini digunakan koefisien tekanan tanah aktif dengan menggunakan Persamaan 3.21 di atas. Selanjutnya perhitungan akan ditinjau dari stabilitas internal dan stabilitas eksternal sebagai berikut ini.

1. Stabilitas internal.

Tegangan horisontal tanah yaitu tegangan tanah yang diakibatkan oleh adanya pergerakan tanah ke arah horisontal. Tegangan horisontal pada penelitian ini dipengaruhi oleh adanya tegangan akibat tanah itu sendiri dan tegangan akibat beban yang bekerja di atas timbunan. Pada Gambar 3.22 di atas merupakan gambaran gaya-gaya yang bekerja pada suatu timbunan, berikut ini Persamaan 3.22 untuk menghitung tekanan tanah horisontal.

$$\sigma_{hc} = q.K_a + K_a.H_i.\gamma \quad (3.22)$$

dimana:

σ_{hc} : tekanan tanah horisontal (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).

Selanjutnya menghitung jarak vertikal antar lapisan geotekstil (S_v) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.23 berikut ini.

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc}.SF} \quad (3.23)$$

dimana:

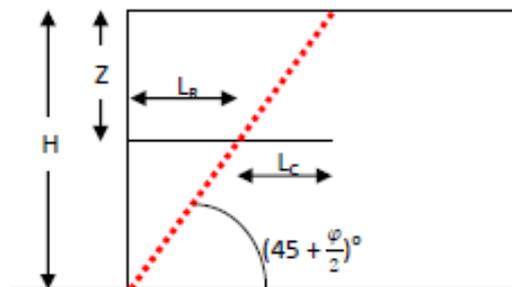
S_v : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m),

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

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

SF : faktor keamanan (digunakan 1,5).

Panjang geotekstil dianalisis berdasarkan asumsi bentuk bidang longsor dengan sudut kemiringan sebesar $(45 - \frac{\phi}{2})^\circ$. Berikut bidang longsor untuk menentukan panjang geotekstil dapat dilihat pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19 Bidang Longsor untuk Menentukan Panjang Geotekstil

(Sumber: Suryolelono, K.B., 1993)

Perhitungan panjang geotekstil (L) sesuai hasil perhitungan jarak vertikal geotekstil (S_v) di atas, sehingga digunakan panjang terbesar geotekstil pada masing-masing zona. Berikut ini Persamaan 3.24 untuk menghitung tekanan tanah vertikal.

$$\sigma_v = \gamma \cdot H_i \quad (3.24)$$

dimana:

σ_v : tekanan tanah vertikal (kN/m^2),

γ : berat volume tanah (kN/m^3),

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

Berikut ini Persamaan 3.25 untuk menghitung panjang geotekstil di daerah longsor aktif.

$$L_R = \frac{H - Z_i}{\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \quad (3.25)$$

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 ($^\circ$).

Berikut ini Persamaan 3.26 untuk menghitung panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker.

$$L_c = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{2(c + \sigma_v \cdot \tan \varphi)} \quad (3.26)$$

dimana:

L_c : panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker (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 ($^\circ$).

Perhitungan L_R dan L_c di atas selanjutnya akan dijumlahkan dan menjadi panjang geotekstil total, seperti pada Persamaan 3.27 berikut.

$$L_{tot} = L_R + L_c \quad (3.27)$$

dimana:

L_R : panjang geotekstil di daerah longsoran aktif (m),

L_c : panjang geotekstil yang bekerja sebagai angker (m).

Panjang *overlapping* geotekstil tidak ada analisis khusus, karena secara teoritis tidak diperlukan tetapi dalam praktek dilakukan agar konstruksi merupakan satu kesatuan. Persamaan 3.28 berikut dapat digunakan untuk menghitung panjang *overlapping* (L_o).

$$L_o = \frac{1}{\beta} \frac{T_{all}}{4(c + \sigma_v \cdot \tan \varphi)} \geq 1 \text{ m} \quad (3.28)$$

dimana:

L_o : panjang *overlapping* geotekstil (m),

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

Tall : kuat tarik geotekstil (kN/m),

c : kohesi tanah (kN/m²),

σ_v : tekanan tanah vertikal (kN/m²),

φ : sudut geser dalam (°).

2. Stabilitas eksternal.

Stabilitas eksternal pada timbunan meninjau pada 3 stabilitas yaitu sebagai berikut ini.

a. Stabilitas terhadap guling.

Stabilitas terhadap guling ditinjau terhadap titik A. Berikut ini persamaan-persamaan gaya aktif.

1) Gaya aktif.

Persamaan gaya aktif akibat tanah (E_a) dapat menggunakan Persamaan 3.29 dan Persamaan 3.30 untuk lengan gaya aktif akibat tanah berikut ini.

$$E_a = \frac{1}{2} H^2 \cdot \gamma \cdot K_a \quad (3.29)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{H}{3} \quad (3.30)$$

dimana:

K_a : koefisien tanah aktif,

H : tinggi tanah timbunan (m),

γ : berat volume tanah (kN/m³).

Sehingga momen akibat tanah dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.31 berikut.

$$M_{\text{Atanah}} = E_a \cdot \text{Lengan} \quad (3.31)$$

dimana:

M_{Atanah} : momen akibat tanah terhadap titik A (kN.m),

Ea : gaya aktif akibat tanah (kN).

Persamaan gaya aktif akibat beban (E_q) dapat menggunakan Persamaan 3.32 dan Persamaan 3.33 untuk lengan gaya aktif akibat beban berikut ini.

$$E_q = q \cdot H \cdot K_a \quad (3.32)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{H}{2} \quad (3.33)$$

dimana:

q : beban merata (kN/m),

H : tinggi tanah timbunan (m),

K_a : koefisien tanah aktif.

Sehingga momen akibat beban dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.34 berikut.

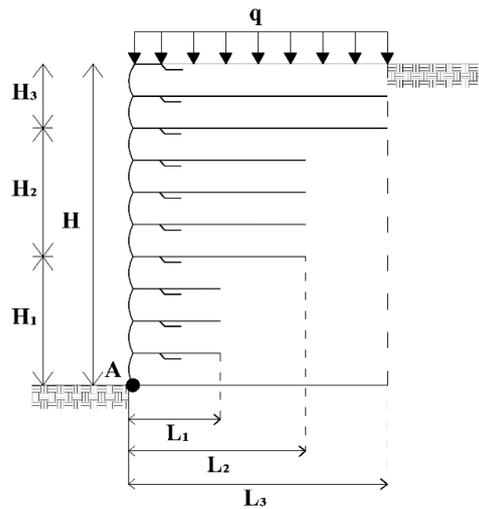
$$M_{Abeban} = E_q \cdot \text{Lengan} \quad (3.34)$$

dimana:

M_{Abeban} : momen akibat beban terhadap titik A (kN.m),

E_q : gaya aktif akibat beban (kN).

Berikut ini tinjauan stabilitas terhadap gaya guling dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20 Tinjauan Stabilitas terhadap Guling

(Sumber: Suryolelono, K.B., 1993)

2) Gaya pasif.

Persamaan untuk menghitung gaya pasif dapat dilihat pada Persamaan 3.35 dan Persamaan 3.36 untuk menghitung lengan gaya pasif berikut ini.

$$W = L_i \cdot H_i \cdot \gamma \quad (3.35)$$

dan

$$\text{Lengan} = \frac{L_i}{2} \quad (3.36)$$

dimana:

W : gaya pasif (kN),

L_i : panjang geotekstil lapisan ke-i (m),

H_i : tinggi tanah pada masing-masing zona (m),

γ : berat volume tanah (kN/m^3).

Sehingga momen pasif terhadap titik A dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.37 berikut.

$$M_p = W_i \cdot \text{Lengan} \quad (3.37)$$

dimana:

M_p : momen pasif (kN.m),

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

Sehingga stabilitas timbunan terhadap guling dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.38 berikut.

$$SF = \frac{\sum M_p}{\sum M_A} > 1,5 \quad (3.38)$$

dimana:

SF : faktor aman (SF),

$\sum M_p$: jumlah momen pasif (kN.m),

$\sum M_A$: jumlah momen aktif (kN.m).

b. Stabilitas terhadap geser.

1) Gaya yang melawan.

Persamaan untuk menghitung gaya yang melawan dapat dilihat pada Persamaan 3.39 berikut.

$$F = [C_g + \frac{W_{total}}{l_g} \cdot \tan \delta] l_g \quad (3.39)$$

dimana:

F : gaya yang melawan (kN),

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

W_{total} : total gaya pasif (kN),

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

l_g : panjang geotekstil paling bawah (m).

2) Gaya yang mendorong.

Persamaan untuk menghitung gaya yang mendorong dapat dilihat pada Persamaan 3.40 berikut.

$$E = E_a + E_q \quad (3.40)$$

dimana:

E : gaya yang mendorong (kN),

E_a : gaya aktif akibat tanah (kN),

E_q : gaya aktif akibat beban (kN).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap geser dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.41 berikut.

$$SF = \frac{F}{E} > 1,5 \quad (3.41)$$

dimana:

SF : faktor aman terhadap geser,

F : gaya yang melawan (kN),

E : gaya yang mendorong (kN).

c. Stabilitas terhadap kuat dukung yang terjadi.

Perhitungan stabilitas terhadap kuat dukung ini didasarkan pada beban yang bekerja di atasnya.

1) Kuat dukung ijin.

Berikut ini Persamaan 3.42 untuk menghitung kuat dukung ijin tanah.

$$\sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot L \cdot N_\gamma \quad (3.42)$$

dimana:

σ_{ult} : kuat dukung ijin (kN/m^2),

c : kohesi tanah (kN/m^2),

N_c, N_q, N_γ : faktor daya dukung tanah Terzaghi

γ : berat volume tanah (kN/m^3),

L : panjang geotekstil (m).

2) Kuat dukung yang terjadi.

Berikut ini Persamaan 3.43 untuk menghitung kuat dukung yang terjadi.

$$\sigma_{terjadi} = H \cdot \gamma + q \quad (3.43)$$

dimana:

$\sigma_{terjadi}$: kuat dukung yang terjadi (kN/m^2),

H : tinggi tanah timbunan (m),

γ : berat volume tanah (kN/m^3),

q : beban yang bekerja di atas timbunan (kN/m).

Sehingga stabilitas timbunan terhadap kuat dukung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.44 berikut.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{terjadi}} > 1,5 \quad (3.44)$$

dimana:

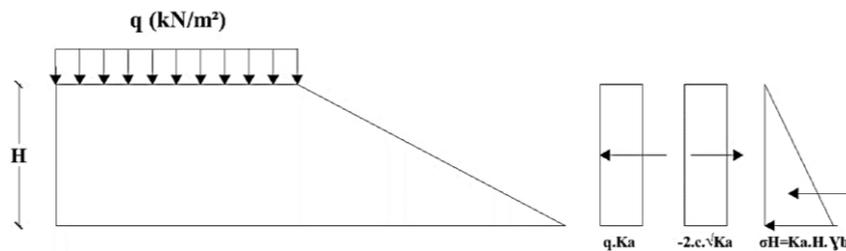
SF : faktor aman terhadap kuat dukung,

σ_{ult} : kuat dukung ijin (kN/m^2),

$\sigma_{terjadi}$: kuat dukung yang terjadi (kN/m^2).

3.7.4 Analisis Stabilitas Timbunan 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 ini Gambar 3.21 merupakan distribusi tekanan lateral tanah pada suatu timbunan.



Gambar 3.21 Distribusi Tekanan Lateral Tanah pada Timbunan

Koefisien tanah aktif adalah suatu nilai yang menunjukkan hubungan antara tegangan vertikal dan lateral tanah. Koefisien tanah aktif tersebut akan digunakan untuk mencari tegangan horisontal yang akan mempengaruhi jarak vertikal antar lapisan geotekstil. Akibat jenis tanah pada timbunan ini seragam, maka perhitungan koefisien akan seragam pada seluruh tanah timbunan. Berikut ini Persamaan 3.45 koefisien tanah aktif.

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.45)$$

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 horisontal. Tegangan horisontal pada penelitian ini dipengaruhi oleh adanya tegangan akibat tanah itu sendiri dan tegangan akibat beban yang bekerja di atas timbunan. Pada Gambar 3.26 di atas merupakan gambaran gaya-gaya yang bekerja pada suatu timbunan, berikut ini Persamaan 3.46 untuk menghitung tekanan tanah lateral pada lapisan zona teratas.

$$\sigma_{hc} = q \cdot k_a - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} + K_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (3.46)$$

Namun, untuk tekanan tanah lateral di bawahnya sudah tidak dipengaruhi oleh beban lagi, sehingga Persamaan 3.47 merupakan persamaan tekanan tanah lateralnya.

$$\sigma_{hc} = - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} + K_a \cdot H \cdot \gamma_b \quad (3.47)$$

dimana:

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

q : beban merata (kN/m),

H : tinggi lapisan tanah (m),

γ_b : berat volume tanah (kN/m^3),

c : kohesi tanah (kN/m^2).

Selanjutnya menghitung jarak vertikal antar lapisan geotekstil (S_v) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.48 berikut ini.

$$S_v = \frac{T_{all}}{\sigma_{hc} \cdot SF} \quad (3.48)$$

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).

Selanjutnya menentukan panjang minimum geotekstil (L) menggunakan analisis perhitungan gaya yang menahan dengan gaya yang mendorong pada suatu lereng timbunan. 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.

Kekuatan geotekstil berasal dari gesekan antara tanah dengan perkuatan geotekstil, sehingga semakin besar bidang gesek dari geotekstil maka semakin besar pula kekuatan tahannya. Namun, perlu diperhatikan letak geotekstil yang menahan harus terletak di luar bidang longsor. Hal itu agar tidak menyebabkan geotekstil menambah beban pada bidang longsor tersebut, sehingga dapat menambah beban pendorong dari bidang longsor. Berikut ini Persamaan 3.49 untuk menghitung panjang geotekstil dengan nilai faktor aman yang telah ditentukan sebelumnya, yaitu sebesar 1,5.

$$L = \frac{SF[q \cdot K_a \cdot H + K_a \cdot H^2 \cdot \gamma_b - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H]}{(q + \gamma_b \cdot H) \tan \phi} \quad (3.49)$$

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 3.50 untuk mencari panjang minimum geotekstil dengan nilai faktor aman 1,5.

$$L^2 = \frac{SF \left[\frac{1}{2} \cdot q \cdot K_a \cdot H^2 + \frac{1}{6} \cdot K_a \cdot H^3 \cdot \gamma_b - c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H^2 \right]}{\left(\frac{1}{2} \cdot q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_b \cdot H \right)} \quad (3.50)$$

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).

c. Stabilitas terhadap daya dukung tanah.

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 3.51, Persamaan 3.52 dan Persamaan 3.53 untuk menghitung panjang minimum geotekstil berdasarkan nilai faktor keamanan daya dukung tanah sebesar 1,5.

$$L \leq \frac{\sigma_{ult}}{H \cdot \gamma_b + q} \quad (3.51)$$

dengan:

$$q_{ult} = c.N_c + 0,5.L.\gamma_b.N_\gamma \quad (3.52)$$

dan

$$\sigma_{ult} = q_{ult} \cdot SF \quad (3.53)$$

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 terhadap eksentrisitas.

Stabilitas terhadap eksentrisitas nilai $1/6 L$ harus lebih besar daripada nilai eksentrisitas tanah. Berikut Persamaan 3.54 untuk menghitung panjang minimum geotekstil.

$$\frac{1}{6} L \geq \frac{SF \left[\frac{1}{2} q \cdot K_a \cdot H^2 + \frac{1}{6} K_a \cdot H^3 \cdot \gamma_b - c \cdot \sqrt{K_a} \cdot H^2 \right]}{(q \cdot L + \gamma_b \cdot H \cdot L)} \quad (3.54)$$

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 ($^{\circ}$),

γ_b : berat volume tanah (kN/m^3).

2. Stabilitas internal.

a. Panjang *overlapping*.

Panjang *overlapping* merupakan panjang lipatan geotekstil (L_o). Berikut Persamaan 3.55 untuk menghitung panjang *overlapping*.

$$L_o = \frac{\sigma_{hc} \cdot S_v \cdot SF}{2 \cdot H \cdot \gamma_b \cdot \tan \varphi} \geq 1 \text{ m} \quad (3.55)$$

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 3.56 untuk menghitung panjang efektif.

$$L_e = \frac{SF \cdot S_v \cdot K_a \cdot \gamma_b \cdot H}{2 \cdot H \cdot \gamma_b \cdot \tan \varphi} \geq 0,5 \text{ m} \quad (3.56)$$

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.

Panjang total geotekstil yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.57 berikut.

$$L_{tot} = S_v + L + L_o \quad (3.57)$$

dimana:

L_{tot} : panjang total (m),

S_v : jarak vertikal antar lapisan geotekstil (m),

L : panjang minimum geotekstil (m),

L_o : panjang *overlapping* (m).

3.8 Program *Slope/W* untuk Analisis Stabilitas Timbunan

GeoStudio 2012 adalah sebuah *software* untuk pemodelan geoteknik dan geolingkungan. *Software* ini terdiri dari *Slope/W*, *Seep/W*, *Sigma/W*, *Quake/W*, *Temp/W* dan *Ctran/W* yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke produk lain. Analisis kestabilan lereng ini dengan penambahan beban gempa menggunakan fitur *Quake/W* sebagai *parent analysis* lalu dilanjutkan ke fitur *Slope/W* untuk mengetahui nilai SF. Fitur *Slope/W* ini tidak mengakomodasi untuk analisis *displacement* akibat beban gempa, maka digunakan fitur *Quake/W* untuk mencari nilai *displacement* akibat beban gempa.

Program komputer *Slope/W* adalah bagian dari *GeoStudio* yang berfungsi untuk menganalisa nilai faktor aman atau *safety factor* (SF) lereng. *Slope/W* dapat menganalisa masalah stabilitas baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan (*limit equilibrium*) untuk berbagai permukaan miring. Analisis gempa dengan metode statik di *input* ke *seismic load* sehingga di dapat nilai gempanya tanpa melalui program *Quake/W*.