

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Stabilitas Lereng

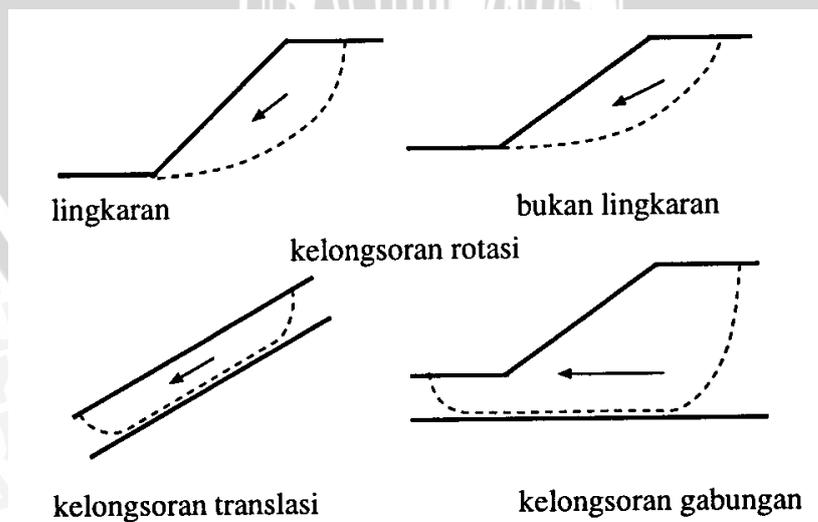
Pada permukaan tanah yang tidak horisontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan-perancangan bangunan seperti jalan kereta api, jalan raya, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain-lainnya. Umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah. (Hariyatmo 2003:326). Indrawahjuni (2011:93) menambahkan apabila komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikembangkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran. Dengan kata lain, suatu lereng akan longsor apabila keseimbangan gaya yang bekerja terganggu yaitu gaya pendorong melampaui gaya penahan.

Hariyatmo (2003:326) menambahkan analisis stabilitas lereng tidak mudah, karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lainnya. Terzaghi (1950) membagi penyebab longsoran lereng terdiri dari akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh luar yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Contohnya, akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam, yaitu longsoran yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori di dalam lereng.

2.2 Tipe Keruntuhan Lereng

Tanah yang terletak di bawah permukaan yang miring atau di bawah sisi miring dari suatu galian terbuka memiliki kecenderungan bergerak ke arah bawah dan ke arah luar karena pengaruh gravitasi. Seandainya kecenderungan ini ditiadakan oleh tahanan geser tanah, maka lereng berada dalam keadaan stabil. Pada kondisi yang sebaliknya penggelinciranlah yang terjadi. Tanah yang terlibat dalam suatu peristiwa penggelinciran bisa terdiri atas tanah yang diendapkan secara alami, timbunan tanah hasil pekerjaan manusia atau kombinasi dari kedua macam tanah tersebut.

Santosa (1998:50) menjelaskan bahwa gaya-gaya gravitasi dan rembesan menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami, lereng yang dibentuk dengan timbunan dan galian. Tipe-tipe keruntuhan lereng dibagi menjadi keruntuhan rotasi, keruntuhan translasi dan keruntuhan gabungan. Kelongsoran rotasi (*rotational Slip*) potongan permukaan runtuhnya berupa busur lingkaran untuk kondisi tanah yang homogen atau kurva bukan lingkaran untuk kondisi tanah yang tidak homogen. Kelongsoran translasi (*translational slip*) cenderung terjadi bila lapisan tanah yang mempunyai kekuatan geser berbeda berada pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng sedangkan kalau lapisan tanah yang mempunyai kekuatan geser yang berbeda berada pada kedalaman yang relatif dangkal maka keruntuhan yang terjadi berupa keruntuhan gabungan. Tipe-tipe keruntuhan diatas bisa dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Tipe-tipe keruntuhan lereng
(Sumber: Santoso, Budi. 1998. Mekanika Tanah Lanjutan)

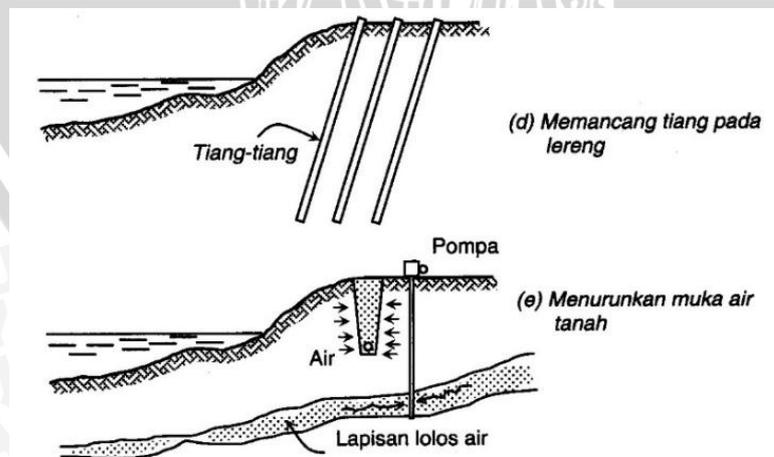
2.3 Perbaikan Lereng

Metode untuk menangani lereng-lereng yang tak stabil terutama bergantung kepada sifat tanah yang dijumpai. Jenis tanah dan jenis formasi tanah yang berbahaya di atas merupakan lapisan-lapisan yang tersusun atas *schist* yang lapuk atau lempung lunak yang berupa serpihan, lempung kaku yang retak, lempung yang mengandung pasir atau lanau, dan massa tanah kohesif yang mengandung lapisan-lapisan atau kantung-kantung lanau atau pasir yang berair. (Terzaghi dan Peck, 1967:340)

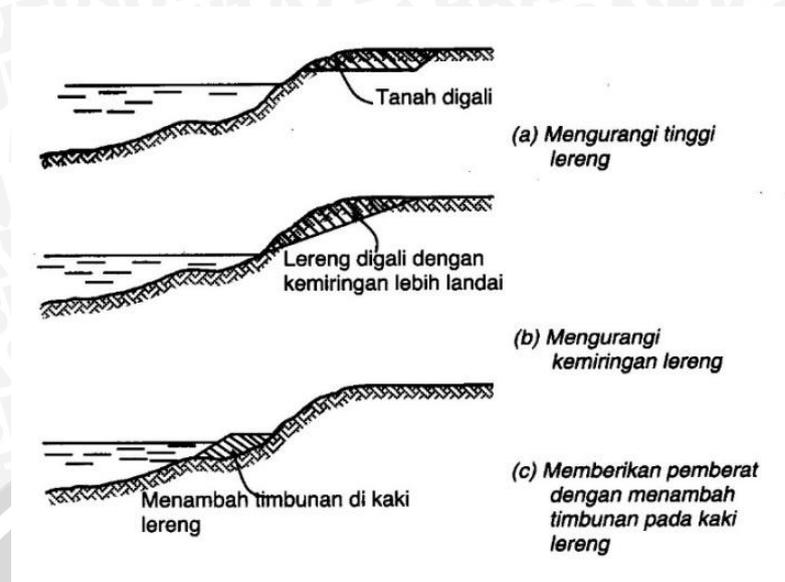
Banyak cara dapat dilakukan untuk menambah stabilitas lereng, antara lain: pemotongan lereng, pembuatan berm, menurunkan muka air tanah, pemasangan tiang-tiang dan lain-lainnya (Hardiyatmo, 2003:391).

Menurut Hardiyatmo metode perbaikan stabilitas lereng dibagi tiga kelompok, yaitu:

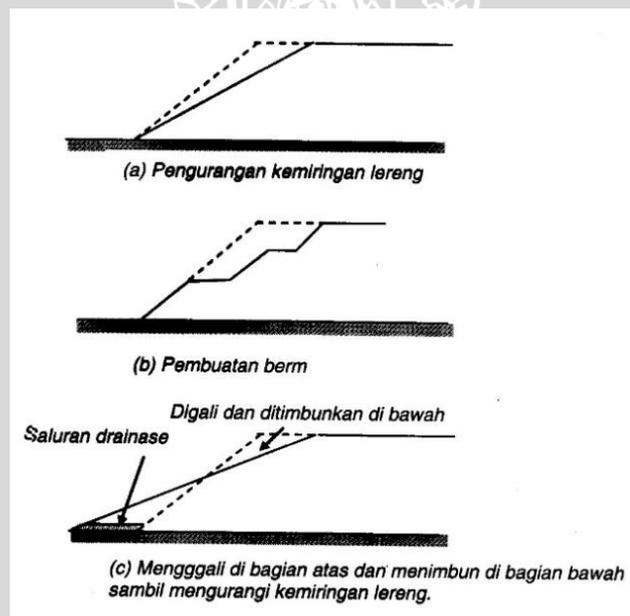
1. Metode geometri yaitu perbaikan lereng dengan cara mengubah geometri lereng. Contoh dari aplikasi metode tersebut bisa dilihat pada gambar 2.3 dan gambar 2.4.
2. Metode hidrologi yaitu dengan cara menurunkan muka air tanah atau menurunkan kadar air tanah pada lereng. Contohnya bisa dilihat pada gambar 2.2 (e).
3. Metode-metode kimia dan mekanis yaitu dengan cara *grouting* semen untuk menambah kuat geser tanah atau memasang bahan tertentu (tiang) di dalam tanah. Contohnya pada gambar 2.3 (d).



Gambar 2.2 Perbaikan Stabilitas Lereng
(Sumber: Hardiyatmo, HC. 2003. Mekanika Tanah II)



Gambar 2.3 Perbaikan stabilitas lereng metode geometri
(Sumber: Hardiyatmo, HC. 2003. Mekanika Tanah II)



Gambar 2.4 Perbaikan stabilitas lereng
(Sumber: Hardiyatmo, HC. 2003. Mekanika Tanah II)

2.4 Tekanan Tanah Lateral

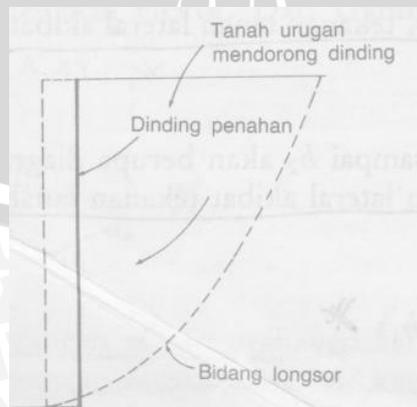
Tanah terbentuk dari pelapukan batuan dan proses pengendapan. Selama proses pengendapan, tanah mengalami konsolidasi, karena pengaruh tekanan *overburden* (yaitu oleh akibat beban tanahnya sendiri). Untuk merencanakan bangunan penahan tanah sering didasarkan atas keadaan yang menyakinkan keruntuhan total

tidak akan terjadi. Gerakan beberapa sentimeter sering tidak begitu penting sepanjang ada jaminan bahwa gerakan-gerakan yang lebih besar lagt tidak akan terjadi. Dalam perancangan dinding penahan, biasanya dilakukan dengan cara menganalisis kondisi-kondisi yang akan terjadt pada keadaan runtuh, kemudian memberikan faktor aman yang cukup yang dipertimbangkan terhadap keruntuhan tersebut.

Analisis tekanan tanah lateral ditinjau pada kondisi keseimbangan plastis, yaitu saat massa tanah pada kondisi tepat saat akan runtuh. Kedudukan keseimbangan plastis ini hanya dapat dicapai bila terjadi deformasi yang cukup pada massa tanahnya. Besar dan distribusi tekanan tanah adalah fungsi dari perubahan letak (*displacement*) dan regangan (*strain*). (Hardiyatmo, 2003:184)

2.4.1 Tekanan Tanah Aktif

Menurut Hardiyatmo (2003:188), tekanan tanah aktif adalah tekanan yang terjadi pada dinding penahan yang mengalami keluluhan atau bergerak ke arah luar dari tanah urugan di belakangnya, sehingga menyebabkan tanah urug akan bergerak longsor ke bawah dan menekan dinding penahannya (gambar 2.5), sedangkan nilai banding tekanan horisontal dan tekanan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif atau K_a . Nilai tekanan aktif lebih kecil dari nilai tekanan saat diam. Gerakan dinding tanah menjauhi tanah urugan menghilangkan pertahanan di belakang dinding. Jadi tekanan tanah aktif adalah gaya yang cenderung mengurangi keseimbangan dinding penahan tanahnya.



Gambar 2.5 Tekanan tanah aktif
(Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady. 2003. Mekanika Tanah II)

2.4.1.1 Gaya Aktif yang Bekerja pada Dinding Penahan Tanah Tak Kohesif

Perhitungan gaya aktif yang bekerja pada dinding penahan dapat dibuat dengan metode Rankine. Prosedur perhitungan metode Rankine untuk dinding penahan dengan urugan tanah di belakang dinding mempunyai permukaan yang rata ditunjukkan pada Gambar 2.6. Sedangkan untuk dinding penahan dengan urugan tanah di belakang dinding dengan kemiringan tertentu ditunjukkan pada Gambar 2.7.

$$P_a = K_a \gamma z \quad (2.1)$$

Dimana,

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

K_a = Koefisien aktif

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah dihitung dari puncak dinding penahan (m)

Harga K_a Untuk tanah datar

$$K_a = \frac{1 - \sin \emptyset}{1 + \sin \emptyset} = \tan^2 \left(45 - \frac{\emptyset}{2} \right) \quad (2.2)$$

Dimana,

K_a = Koefisien aktif

\emptyset = sudut gesek tanah (°)

Harga K_a ntuk tanah miring

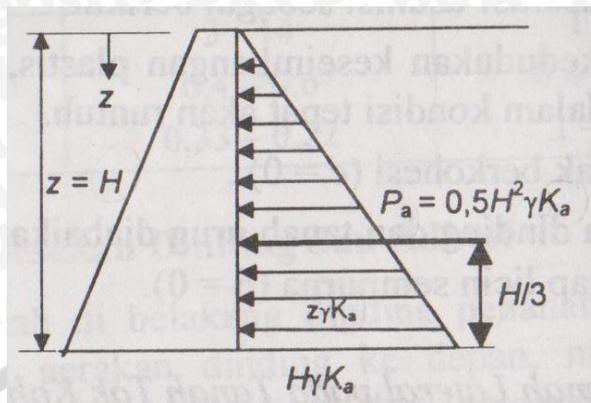
$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \emptyset}} \quad (2.3)$$

Dimana,

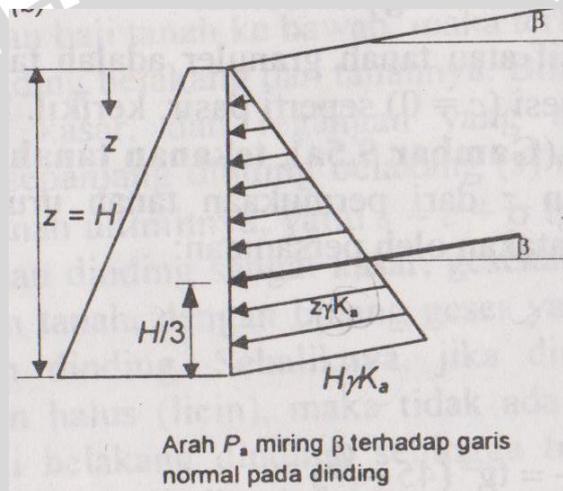
K_a = Koefisien aktif

\emptyset = sudut gesek tanah (°)

β = kemiringan permukaan tanah urug (°)



Gambar 2.6 Metode rankine dinding penahan urugan tanah permukaan rata
(Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. Teknik Pondasi I)



Gambar 2.7 Metode rankine dinding penahan urugan tanah permukaan miring
(Sumber:Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. Teknik Pondasi I)

Keterangan **Gambar 2.6 dan 2.7**

β = Kemiringan permukaan tanah urug ($^{\circ}$)

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

K_a = Koefisien aktif

γ = Berat volume tanah(kN/m³)

H = Kedalaman tanah (m)

z = Kedalaman tanah dihitung dari puncak dinding penahan (m)

2.4.1.2 Gaya Aktif yang Bekerja pada Dinding Penahan pada Tanah Kohesif

$$P_a = \gamma z K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (2.4)$$

Dimana,

P_a = Tekanan tanah aktif (kN/m)

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

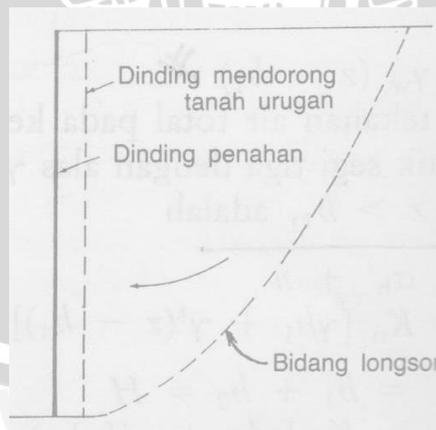
z = Kedalaman tanah dihitung dari puncak dinding penahan (m)

K_a = Koefisien aktif

c = Kohesi (kN/m²)

2.4.2 Tekanan Tanah Pasif

Menurut Hardiyatmo (2003:188), tekanan tanah pasif adalah tekanan tanah yang terjadi saat gaya mendorong dinding penahan tanah ke arah tanah urugannya (gambar 2.8), sedangkan nilai banding tekan horisontal dan vertikal yang terjadi didefinisikan sebagai koefisien tekanan tanah pasif atau k_p . nilai tekanan pasif lebih besar dari nilai tekanan tanah saat diam dan nilai tekanan aktif. Tekanan tanah pasif menunjukkan nilai maksimum dari gaya yang dapat dikembangkan oleh tanah pada gerakan struktur penahan terhadap tanah urugannya, yaitu dimana tanah harus menahan gerakan dinding penahan tanah sebelum mengalami keruntuhan.



Gambar 2.8 Tekanan tanah pasif

(Sumber: Hardiyatmo, Hary Christady. 2003. Mekanika Tanah II)

2.4.2.1 Gaya Pasif yang Bekerja pada Dinding Penahan pada Tanah Tak

Kohesif

$$P_p = K_p \gamma z \quad (2.5)$$

Dimana,

P_p = Tekanan tanah pasif (kN/m)

K_p = Koefisien pasif

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah dihitung dari puncak dinding penahan (m)

Harga K_p Untuk tanah datar

$$K_p = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} = \tan^2 \left(45 + \frac{\theta}{2} \right) \quad (2.6)$$

Dimana,

K_p = Koefisien pasif

θ = sudut gesek tanah (°)

Harga K_p untuk tanah miring

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \theta}} \quad (2.7)$$

Dimana,

K_p = Koefisien pasif

θ = sudut gesek tanah (°)

β = kemiringan permukaan tanah urug (°)

2.4.2.2 Gaya Pasif yang Bekerja pada Dinding Penahan pada Tanah Kohesif

$$P_p = \gamma z K_p - 2c \sqrt{K_p} \quad (2.8)$$

Dimana,

P_p = Tekanan tanah pasif (kN/m)

γ = Berat volume tanah (kN/m³)

z = Kedalaman tanah dihitung dari puncak dinding penahan (m)

K_p = Koefisien pasif

c = Kohesi (kN/m²)

2.4.3 Pengaruh Beban di atas Tanah Urug

Menurut Hardiyatmo (2002:383), beban yang ditumpukan pada tanah urug, akan berbeda pengaruhnya pada tanah, pengaruh beban tersebut akan sesuai dengan bentuk beban itu sendiri. Pengaruh beban di atas tanah urugan dibagi menjadi empat macam beban yaitu beban terbagi rata seperti pada gambar 2.9, beban titik, beban garis, beban terbagi rata memanjang.

Beban terbagi rata dirinci sebagai berikut :

$$P_a = h_s \gamma K_a = q K_a \quad (2.9)$$

Dimana,

P_a = tekanan tanah aktif (kN/m^2)

h_s = kedalaman (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

K_a = koefisien aktif

q = beban terbagi rata (kN/m^2)

Akibat beban terbagi rata, menyebabkan adanya tambahan gaya tekanan tanah aktif (P_a') sebesar:

$$P_a' = q K_a H \quad (2.10)$$

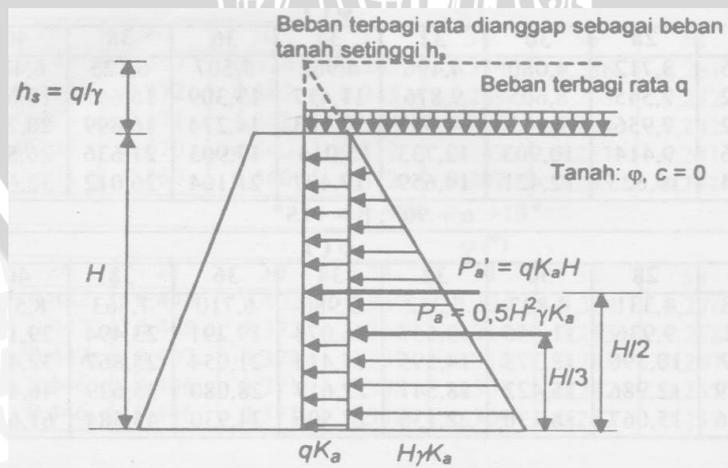
dimana :

q = beban terbagi merata (kN/m^2)

H = tinggi dinding penahan (m)

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

γ = berat volume tanah (kN/m^3)



Gambar 2.9 Diagram tekanan tanah aktif akibat beban terbagi rata q
(Sumber:Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. Teknik Pondasi I)

2.4.4 Tekanan Uplift

Hukum Archimedes berlaku pula untuk konstruksi bendungan, yang gaya tekan keatas sama dengan berat dari volume benda yang dipindahkan. Jadi akan sangat mengurangi berat beton, padahal makin berat betonnya akan makin stabil terhadap gaya geseran. (Suryolelono, 1994)

$$U_{f1} = \gamma_w \cdot H \cdot B \quad (2.11)$$

$$U_{f2} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H \cdot B \quad (2.12)$$

Besarnya momen akibat tekanan uplift :

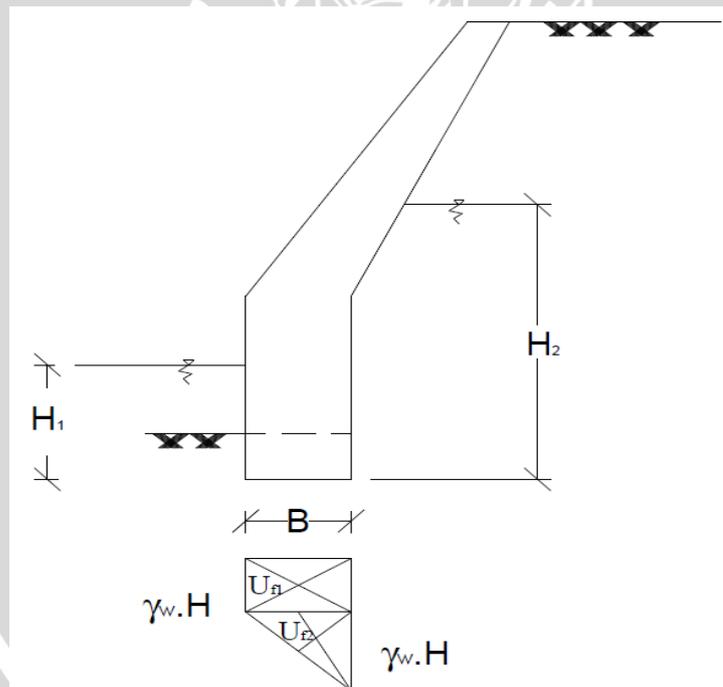
$$MU_f = U_f \cdot (\text{jarak lengan yang ditinjau}) \quad (2.13)$$

Keterangan :

H = tinggi permukaan air dari dasar fondasi

γ_w = berat volume air t/m³

B = lebar pondasi

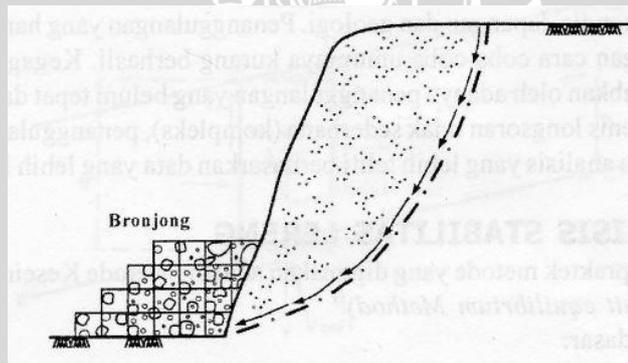


Gambar 2.10 Pengaruh tekanan uplift pada dinding penahan tanah.

2.5 Konstruksi Pasangan Gabion

Gabion atau yang lebih sering disebut dengan bronjong kawat adalah kotak yang dibuat dari anyaman kawat baja berlapis seng yang diisi dengan pecahan batu. Hasil anyaman ini akan menghasilkan dinding penahan tanah yang

mempunyai saluran drainase bebas, karena susunan batu pecah ini akan memiliki celah-celah tempat keluarnya air. Batu yang digunakan adalah batu dengan ukuran yang tidak terlalu besar yaitu antara 30-40 cm. Gabion adalah struktur yang tidak kaku sehingga dapat menahan gerakan vertikal dan horisontal. Gabion berfungsi untuk menahan tanah agar tidak longsor, mencegah terjadinya erosi, menampung aliran permukaan serta material longsor yang berasal dari lahan bagian atas. Struktur gabion akan lebih efektif untuk longsor yang relatif dangkal, namun kurang efektif jika longsorannya berantai. Gabion ini dipasang pada tebing-tebing, tepi sungai dan proses penganyamannya menggunakan bantuan mesin. Material gabion merupakan material yang harganya relatif murah serta mudah didapat, oleh karena itu banyak konstruksi yang memilih menggunakan material tersebut. Gabion merupakan salah satu solusi metode penanggulangan kelongsoran yang biasa disebut penambatan. (Indrawahjuni:2011)



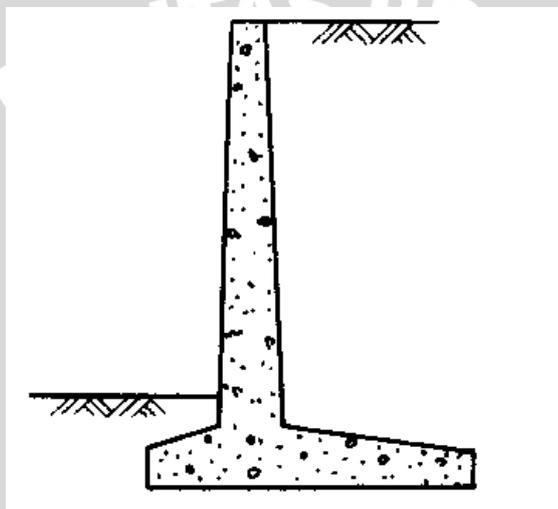
Gambar 2.11 Penambatan gabion
(Sumber: Indrawahjuni, Herlien. 2011. Mekanika Tanah II)

2.6 Dinding Penahan Tanah

Dinding atau dinding penahan tanah adalah suatu bangunan yang dibangun untuk mencegah keruntuhan tanah yang curam atau lereng yang dibangun di tempat di mana kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri, dipengaruhi oleh kondisi gambaran topografi tempat itu. Bila jalan dibangun berbatasan dengan sungai atau danau tanah paya, dinding penahan itu dibangun untuk melindungi kemiringan tanah dan melengkapi kemiringan dengan pondasi yang kokoh.

2.6.1 Dinding Penahan Beton Bertulang dengan Balok Kantilever

Dinding penahan dengan balok kantilever tersusun dari suatu dinding memanjang dan suatu pelat lantai. Masing-masing berlaku sebagai balok kantilever dan kemantapan dari dinding didapat dengan berat badannya sendiri dan berat tanah di atas tumit pelat lantai. Karena dinding penahan jenis ini relatif ekonomis dan juga relatif mudah dilaksanakan, maka jenis ini juga dipakai dalam jangkauan yang luas. Contohnya bisa dilihat pada gambar 2.12 (Nakazawa, 2000:281)



Gambar 2.12 Dinding penahan kantilever

2.7 Stabilitas Dinding Penahan

Besaran tekanan lateral menjadi salah satu faktor utama yang diperhitungkan untuk merencanakan dinding penahan tanah. Tekanan lateral yang terjadi dapat menyebabkan terjadinya geser dan guling. Selain itu hal penting yang harus diperhatikan adalah bentuk struktur dan pelaksanaan konstruksi di lapangan. Oleh karena itu, kestabilan dinding penahan tanah yang harus diperhitungkan antara lain kestabilan tanah terhadap bahaya guling, bahaya geser, serta kapasitas daya dukung. Sehingga konstruksi dinding penahan menjadi aman, dan tidak terjadi keruntuhan.

2.7.1 Stabilitas Terhadap Guling

Menurut Hardiyatmo (2002:399), stabilitas terhadap guling merupakan stabilitas yang ditinjau berdasarkan kondisi tanah yang terguling yang diakibatkan oleh tekanan tanah lateral dari tanah urug di belakang dinding penahan tanah. Penyebab utama bahaya guling ini adalah akibat terjadinya momen, momen ini memiliki kecenderungan menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki depan pelat pondasi. Gaya yang menahan guling adalah momen gaya yang ditimbulkan karena adanya berat sendiri dinding penahan serta momen akibat berat tanah yang ada di atas pelat pondasi.

Faktor keamanan terhadap bahaya penggulingan (F_{gl}), didefinisikan sebagai berikut

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \quad (2.14)$$

Dimana :

$$\sum M_w = W b_1$$

$$\sum M_{gl} = \sum P_{ah} h_1 + \sum P_{av} B$$

$\sum M_w$ = momen yang melawan guling (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = momen yang mengakibatkan guling (kN.m)

W = berat tanah di atas pelat pondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)

B = lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = jumlah gaya-gaya horizontal (kN)

$\sum P_{av}$ = jumlah gaya-gaya vertikal (kN)

Faktor keamanan minimum terhadap guling tergantung pada jenis tanahnya, pembagian faktor keamanan untuk jenis berbagai jenis tanah adalah sebagai berikut :

$$F_{gl} \geq 1,5 \text{ untuk tanah dasar granular}$$

$$F_{gl} \geq 2 \text{ untuk tanah dasar kohesif}$$

Dalam perhitungan stabilitas, tahanan tanah pasif yang berada di depan kaki dinding depan akan diabaikan, karena faktor-faktor seperti pengaruh erosi, iklim, dan retakan akibat tegangan-tegangan tarik tanah dasar yang kohesif tidak dipertimbangkan dalam perhitungan ini.

2.7.2 Stabilitas Terhadap Geser

Menurut Hardiyatmo (2002:396), stabilitas terhadap geser yaitu perbandingan gaya-gaya yang menahan dan mendorong dinding penahan tanah. Gaya-gaya yang menahan bahaya geser adalah gesekan antara tanah dengan dasar pondasi serta tekanan tanah pasif di depan dinding penahan tanah akibat tanah timbunan.

Faktor keamanan terhadap bahaya penggeseran (F_{gs}), didefinisikan sebagai berikut

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_{ah}} \quad (2.15)$$

Untuk tanah granular ($c = 0$)

$$\begin{aligned} \sum R_h &= W f \\ &= W \operatorname{tg} \delta_h \quad \text{dengan } \delta_h \leq \emptyset \end{aligned} \quad (2.16)$$

Untuk tanah kohesif ($\emptyset = 0$)

$$\sum R_h = c_a B \quad (2.17)$$

Untuk tanah $c = \emptyset$ ($\emptyset > 0$ dan $c = 0$)

$$\sum R_h = c_a B + W \operatorname{tg} \delta_h \quad (2.18)$$

Dimana :

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap geser

W = berat total dinding penahan dan tanah di atas pelat pondasi

δ_h = sudut gesek antara tanah dan dasar pondasi, diambil $1/3 - (2/3)\emptyset$

c_a = $a_d \times c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding

c = kohesi tanah dasar

a_d = faktor adhesi

B = lebar kaki dinding penahan (m)

$\sum P_{ah}$ = jumlah gaya horizontal

$f = \operatorname{tg} \delta_b$ = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar pondasi

Faktor keamanan minimum terhadap geser tergantung pada jenis tanahnya, pembagian faktor keamanan untuk jenis berbagai jenis tanah adalah sebagai berikut :

$$F_{gs} \geq 1,5 \text{ untuk tanah dasar granuler}$$

$$F_{gs} \geq 2 \text{ untuk tanah dasar kohesif}$$

Untuk nilai koefisien gesek (f) bermacam jenis tanah akan dirinci dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 2.1 Koefisien gesek (f) antara dasar pondasi dan tanah dasar

Jenis tanah dasar fondasi	$f = \text{tg } \delta$
Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
Tanah lanau tak berkohesi	0,35
Batu keras permukaan kasar	0,60

(Sumber : Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. Teknik Pondasi I)

2.7.3 Stabilitas Terhadap Kapasitas Daya Dukung

Menurut Hardiyatmo (2002:400), persamaan kapasitas daya dukung untuk menghitung stabilitas dinding penahan tanah antara lain adalah menggunakan kapasitas dukung Terzaghi, Meyerhof dan Hansen.

Menurut Hardiyatmo (2002:400), persamaan Terzaghi hanya berlaku untuk pondasi yang dibebani secara vertikal dan sentris. Kapasitas dukung ultimit (q_u) untuk pondasi memanjang didefinisikan sebagai berikut :

$$q_u = c N_c + D_f \gamma N_q + 0,5 B \gamma N_\gamma \quad (2.19)$$

Dimana :

c = kohesi tanah (kN/m^2)

D_f = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

B = lebar kaki dinding penahan (m)

N_c, N_q dan N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung Terzaghi

Hardiyatmo menambahkan persamaan Hansen dan Vesic, kapasitas daya dukung ultimit digunakan untuk menghitung beban miring dan eksentris.

Persamaan Hansen dan Vesic didefinisikan sebagai berikut :

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B \gamma N_\gamma \quad (2.20)$$

dimana :

d_c, d_q, d_γ = faktor kedalaman

i_c, i_q, i_γ = faktor kemiringan beban

B = lebar kaki dinding penahan (m)

e = eksentrisitas beban (m)

γ = berat volume tanah (kN/m³)

N_c , N_q dan N_γ = faktor-faktor kapasitas dukung Hansen dan Vesic

Faktor keamanan minimum untuk keruntuhan kapasitas daya dukung didefinisikan sebagai berikut :

$$F = \frac{q_u}{q} \geq 3 \quad (2.21)$$

Dimana :

q = tekanan akibat beban struktur

q_u = tekanan tanah ultimit

2.8 Geosintetik

Geosintetik adalah suatu produk berbentuk lembaran yang terbuat dari bahan polimer lentur yang digunakan dengan tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari suatu pekerjaan, struktur atau sistem. (ASTM D 4439). Geosintetik memiliki banyak kegunaan dalam rekayasa sipil. Salah satunya adalah sebagai fungsi stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik, serta karakteristik hidrolik tanah.

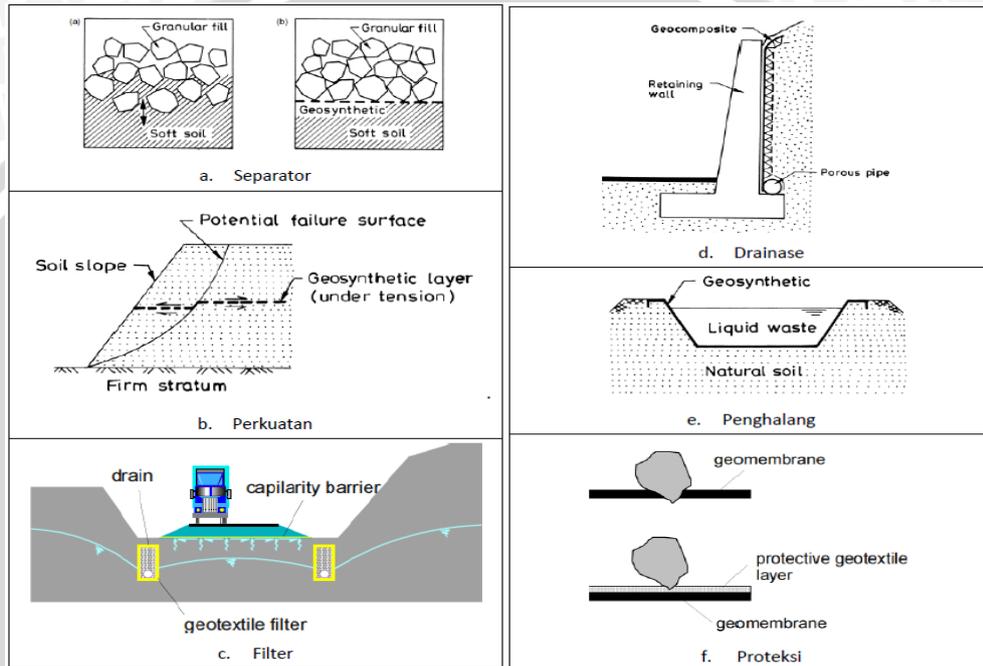
2.8.1 Jenis Geosintetik

Perkembangan teknologi juga berdampak pada perkembangan produk geosintetik, banyak temuan jenis-jenis geosintetik yang sekarang digunakan. Jenis geosintetik disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan. Geosintetik memiliki enam fungsi sebagai berikut:

1. Separator: bahan geosintetik digunakan di antara dua material tanah yang tidak sejenis untuk mencegah terjadi pencampuran material.
2. Perkuatan: sifat tarik bahan geosintetik dimanfaatkan untuk menahan tegangan atau deformasi pada struktur tanah.
3. Filter: bahan geosintetik digunakan untuk mengalirkan air ke dalam sistem drainase dan mencegah terjadinya migrasi partikel tanah melalui filter.
4. Drainase: bahan geosintetik digunakan untuk mengalirkan air dari dalam tanah.

5. Penghalang: bahan geosintetik digunakan untuk mencegah perpindahan zat cair atau gas.
6. Proteksi: bahan geosintetik digunakan sebagai lapisan yang memperkecil tegangan lokal untuk mencegah atau mengurangi kerusakan pada permukaan atau lapisan tersebut.

Gambar 2.13 memperlihatkan ilustrasi aplikasi geosintetik untuk keenam fungsi tersebut di atas:



Gambar 2.13 Fungsi dan aplikasi geosintetik
(Sumber: Modul Pelatihan Geosintetik Volume 1 Dinas PU)

2.8.2 Pemilihan Jenis Geosintetik

Setelah memahami fungsi dan aplikasi geosintetik maka kita harus dapat memilih jenis geosintetik yang berhubungan dengan tipe polimer, elemen dan proses produksi geosintetik. Pada Tabel 2.2 memperlihatkan fungsi utama atau fungsi primer yang dapat diperoleh dari setiap jenis geosintetik. Akan tetapi, pada beberapa kasus geosintetik dapat juga memberikan fungsi sekunder atau bahkan fungsi tersier. Sebagai contoh, geosintetik untuk perkuatan timbunan di atas tanah lunak fungsi primernya adalah perkuatan, tetapi kita juga membutuhkan fungsi sekunder sebagai separator dan fungsi tersier sebagai filter.

Tabel 2.2 Identifikasi Fungsi Primer Geosintetik

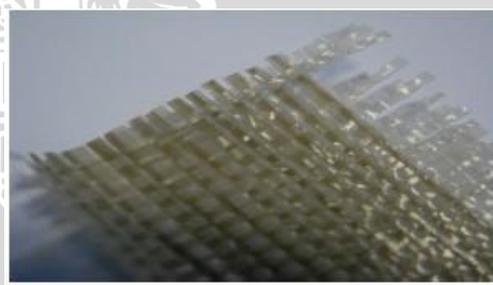
Jenis Geosintetik	Fungsi Utama					
	Separator	Perkuatan	Filter	Drainase	Penghalang	Proteksi
Geotekstil	√	√	√	√		√
Geogrid		√				
Geonet				√		
Geomembran					√	
Geosynthetic Clay Liner (GCL)					√	
Geopipa				√		
Geofoam	√					
Geokomposit	√	√	√	√	√	√

2.9 Geotekstil

Geotekstil merupakan salah satu jenis geosintetik atau produk buatan dari bahan polimer yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja tanah. Dalam proses pembuatan geotekstil, elemen tekstil seperti serat-serat atau beberapa untaian serat yang dikombinasikan menjadi struktur tekstil lembaran. Jenis geotekstil kemudian dibagi berdasarkan metode yang digunakan untuk mengkombinasikan filamen atau pita menjadi struktur lembaran. Jenis geotekstil yang utama adalah tak-teranyam dan teranyam, serta rajutan. Contohnya bisa dilihat pada gambar 2.14 (a), (b), dan (c) di bawah ini.



a. Tak Teranyam



b. Teranyam



c. Rajutan

Gambar 2.14 Jenis-jenis geotekstil bersifat lolos air

2.9.1 Fungsi dan Aplikasi Geotekstil

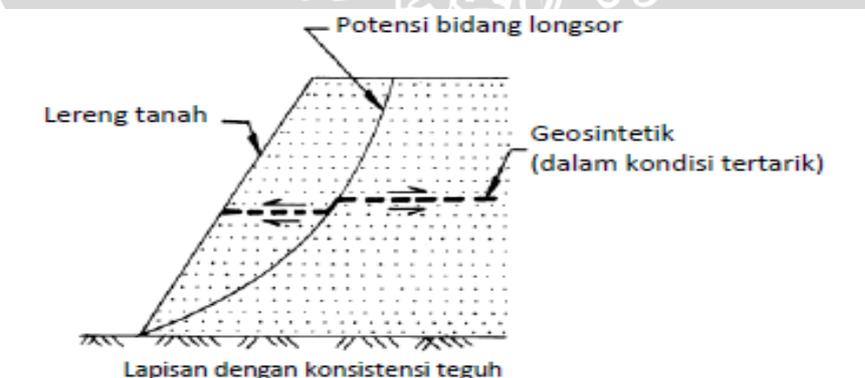
Geotekstil memiliki fungsi primer dan fungsi sekunder yang biasanya lebih dari satu fungsi. Kedua fungsi tersebut menjadikan geosintetik dapat berkontribusi secara total pada saat penerapannya. Dengan demikian, kedua fungsi ini perlu dipertimbangkan pada saat perhitungan dan pembuatan spesifikasi perencanaan. (Pedoman Konstruksi dan Bangunan Dinas PU. 2009)

Geotekstil mempunyai lima fungsi primer seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya. Fungsi-fungsi tersebut bekerja baik secara tersendiri maupun bersama dengan tanah, tergantung dari aplikasi penggunaannya.

2.9.2 Mekanisme Kerja Geotekstil pada Tanah

Salah satu kegunaan geotekstil dalam rekayasa teknik sipil adalah sebagai fungsi stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam ($< 70^\circ$).

Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geotekstil yang disusun ke arah horisontal. Ketika tanah dan geotekstil digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada tahapan tersebut, geotekstil berlaku sebagai bagian tahanan tarik gesekan (*adhesi*), saling mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan menjaga stabilitas massa tanah seperti yang digambarkan pada gambar 2.15 dibawah ini.



Gambar 2.15 Dasar mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik (Sumber : DPU. 2009. *Pedoman Konstruksi Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Penguatan tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009*)

2.10 Teori Perhitungan Penyaluran Geotekstile

Besarnya panjang penyaluran geotekstil harus mampu menahan gaya geotekstil yang bekerja. Prinsip kerja dari panjang penyaluran geotekstil adalah besarnya gaya friksi antara tanah dan geotekstil di sepanjang penyaluran yang tidak berada di dalam bidang longsor, harus mampu menahan gaya geotekstil yang bekerja menahan kelongsoran. Perhitungan panjang penyaluran dapat diformulasikan sebagai berikut ;

$$L = L_e + L_r \quad (2.22)$$

Dimana:

$$L_e = \frac{Sv \sigma_h (F_s)}{2 (c + \gamma z \tan \delta)} = \frac{Sv \sigma_h (F_s)}{2 E (c + \gamma z \tan \phi)} \quad (2.23)$$

$$L_r = (H - z) \times \left(\tan \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \right) \quad (2.24)$$

Dengan ;

L_e = Panjang penyaluran geotekstil yang berada di belakang bidang longsor

L_r = Panjang penyaluran geotekstil yang berada di depan bidang longsor

Sv = Jarak vertikal antar geotekstil

σ_h = Tegangan tanah

F_s = Faktor keamanan

c = kohesi tanah

γ = Berat jenis tanah timbunan

z = Tinggi timbunan hingga geotekstile yang ditinjau

H = Tinggi timbunan

δ = sudut friksi tanah dengan geotekstil

ϕ = sudut friksi tanah

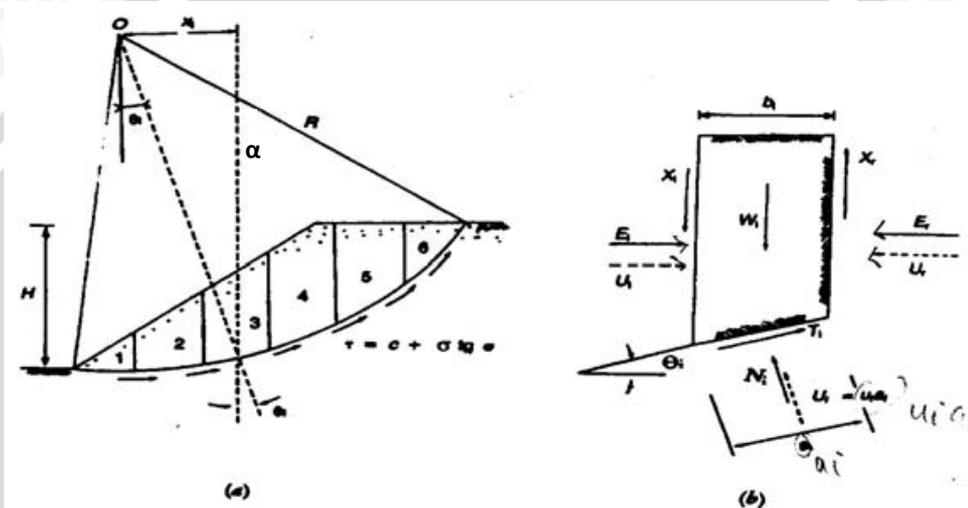
E = efisiensi geotekstil ke tanah = 0.8 – 1.2

Dalam penggunaan geotekstile perlu diperhitungkan panjang lipatan (L_o) dengan memperhitungkan gaya $\frac{1}{2} \sigma_h$. Perhitungan panjang lipatan diformulasikan sebagai berikut;

$$L_o = \frac{Sv \sigma_h (F_s)}{4 (c + \gamma z \tan \delta)} = \frac{Sv \sigma_h (F_s)}{4 E (c + \gamma z \tan \phi)} \quad (2.25)$$

2.11 Metode Irisan

Jika tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanah tidak menentu, cara yang lebih sesuai digunakan adalah dengan metode irisan. Menurut Hardiyatmo (2010:444), gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian, keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan. Ilustrasi dari metode irisan ini dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan
(Sumber: Hardiyatmo, HC. 2010. Mekanika Tanah II)

Keterangan gambar:

X_1 dan X_r = gaya geser efektif disepanjang sisi irisan

E_1 dan E_r = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan

T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

U_1, U_r = tekanan air pori yang bekerja dikedua sisi irisan

U_i = tekanan air pori didasar irisan

2.11.1 Analisa stabilitas lereng (metode ordinary)

Metode ini juga biasa disebut metode Fellinius (1927) menganggap gaya-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.

Faktor keamanan didefinisikan sebagai,

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

$$FS = \frac{\sum r}{\sum d} \quad (2.26)$$

$$FS = \frac{\sum c.L + W \cos \alpha \times \tan \emptyset}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.27)$$

Bila terdapat air pada lereng tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (M_d), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pori lingkaran. Jika terdapat gaya-gaya selain berat tanahnya sendiri, seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d .

$$FS = \frac{\sum L + \sum W \cos \alpha - u.L \tan \emptyset}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.28)$$

dimana:

FS = Faktor keamanan

c = Kohesi tanah (kN/m^2)

\emptyset = Sudut geser dalam tanah (derajat)

α = Sudut dari tengah irisan ke titik pusat (derajat)

L = Panjang lengkung lingkaran pada irisan (m)

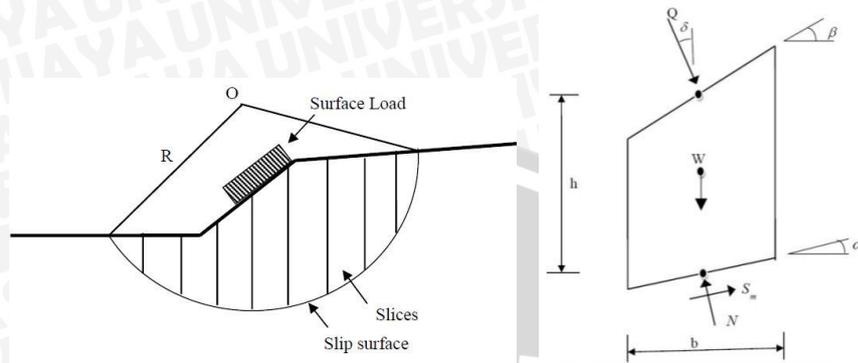
W = Berat irisan tanah (kN)

u = Tekanan air pori pada irisan (kN/m^2)

2.11.2 Analisa stabilitas lereng (metode bishop)

Metode ini dibuat oleh bishop (1955) yang menggunakan bidang runtuh berbentuk busur lingkaran dan membuat potongan-potongan vertikal diatas bidang runtuh. Menurut Herlien (2011:125) perhitungan hanya didasarkan pada keseimbangan momen terhadap titik pusat lingkaran longsor dan keseimbangan

gaya vertikal yang bekerja pada potongan. Bentuk bidang pada metode bishop ini dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Metode Bishop (Sumber: Dr. Amit Prashant et al. 2010)

Keterangan gambar :

- α = Sudut kemiringan dasar irisan
- β = Sudut kemiringan permukaan irisan
- δ = Sudut tegak lurus beban permukaan lereng terhadap garis lurus vertikal
- b = Lebar irisan
- h = Tinggi rata-rata dari irisan
- S_m = Kekuatan geser tanah
- Q = Beban luar
- N = Gaya normal
- W = Beban tanah

Maka safety factor yang diberikan untuk gaya-gaya pada irisan metode bishop ialah :

$$FS_b = \frac{\text{Gayapena han}}{\text{Gayapedorong}} \quad (2.29)$$

$$FS_b = \frac{\sum [c' \cdot bi + Wi (1 - ru) \text{tg } \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \text{tg} \theta_i \text{tg } \phi' / FS_b)} \right)}{\sum [W \sin \alpha]} \quad (2.30)$$

Dimana :

- FS_b = Faktor aman lereng bishop
- FS_b' = Faktor aman lereng bishop untuk cara coba-coba
- c' = Kohesi tanah efektif (kN/m^2)
- ϕ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

- b' = Lebar irisan ke-i (m)
- W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)
- α_i = Sudut (derajat)
- u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m²)

2.11.3 Analisa stabilitas lereng setelah diperkuat geotekstil (metode bishop)

Tahanan geotekstil dan bahan terkait adalah properti sangat penting karena hampir semua aplikasi bergantung pada baik sebagai fungsi primer atau sekunder. Tes ini berguna untuk pengendalian kualitas dan juga dapat digunakan untuk keperluan desain. Persamaan yang mewakili perkuatan geotekstil adalah:

$$\sum_{l=1}^M T_l Y_l \tag{2.31}$$

Dimana Nilai tahanan cabut (T) dapat ditentukan berdasarkan

$$T = F^* \cdot \alpha \cdot \sigma_v \cdot L_e \cdot C \tag{2.32}$$

Dimana:

F^* = Faktor tahanan cabut

α = Faktor koreksi skala

σ_v = Tegangan vertikal efektif pada antarmuka (batas) tanah dan geosintetik

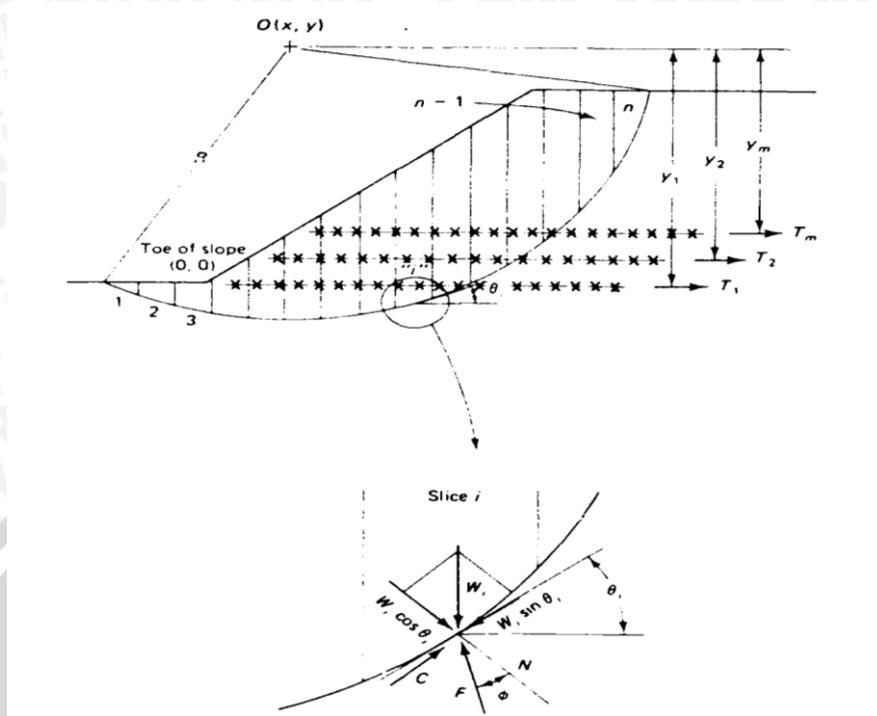
L_e = Panjang tertanam pada zona di belakang bidang keruntuhan (m)

C = Keliling efektif perkuatan, untuk geogrid dan geotekstil nilai $C=2$

Untuk faktor tahanan cabut pada persamaan 31 didapat dari tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Tahanan Cabut

Tipe Perkuatan	Nilai F^*	Nilai α
Geogrid	$2/3 \tan \phi$	0.8
Geotekstil	$2/3 \tan \phi$	0.6



Gambar 2.18 Detail Analisa keamanan dengan adanya kekuatan tarik
(Sumber: Koerner, 1998)

Dalam aplikasinya pada rumus Bishop adalah sebagai berikut:

$$FS_b = \frac{\sum [c'.b_i + W_i (1-ru) \text{tg } \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \text{tg} \theta_i \text{tg } \phi' / FS_b)} \right) + \sum_{I=1}^M T_I}{\sum [W \sin \alpha]} \quad (2.33)$$

Keterangan:

- FS_b = Faktor aman lereng bishop
- FS_b' = Faktor aman lereng bishop untuk cara coba-coba
- c' = Kohesi tanah efektif (kN/m^2)
- ϕ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)
- b' = Lebar irisan ke-i (m)
- W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)
- α_i = Sudut yang didefinisikan dalam (derajat)
- u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2)
- T_i = Tegangan tarik

Faktor Reduksi adalah sebuah mekanisme yang kekuatan ultimate dapat disesuaikan dengan kekuatan yang diijinkan menggunakan nilai sesuai untuk kondisi tertentu kondisi yang disesuaikan dengan menggunakan faktor reduksi. Misalnya, untuk geotekstil dalam aplikasi penguatan, berikut harus digunakan:

$$T_{allow} = T_{ult} \left[\frac{1}{RF_{ID} \times RF_{CR} \times RF_{CD} \times RF_{BD} \times RF_{JNT}} \right] \quad (2.34)$$

Keterangan:

T_{ult} = tegangan ultimate (kN/m atau lb/ft)

RF_{ID} = faktor reduksi kerusakan instalasi

RF_{CR} = faktor reduksi untuk deformasi merayap

RF_{CD} = faktor reduksi untuk degradasi kimia

RF_{BD} = faktor reduksi degradasi untuk biologi

RF_{JNT} = faktor reduksi degradasi sendi (jahitan dan koneksi)

Untuk faktor reduksi pada persamaan 2.31 didapat dari tabel 2.4.

Tabel 2.4 Nilai Geotextiles untuk Berbagai Faktor Pengurangan

Kegunaan	RF_{ID}	RF_{CR}	RF_{CD}	RF_{BD}	RF_{JNT}
Tanggul	1.4	3.0	1.4	1.1	2.0
Lereng	1.4	3.0	1.4	1.1	2.0
Dinding Penahan	1.4	3.0	1.4	1.1	2.0
Daya dukung	1.5	3.0	1.6	1.1	2.0

(Sumber: GRI Standard Practice GT7. Geosynthetic Institute)

2.12 Geostudio

Geostudio merupakan perangkat lunak di bidang geoteknik yang dikembangkan dari Kanada. Dalam penelitian ini program ini dipakai untuk menganalisa stabilitas lereng. Dalam menganalisa stabilitas lereng pada perangkat lunak tersebut kita menggunakan menu *SLOPE/W*, adapun metode yang digunakan di dalam program ini adalah Metode *Limit Equilibrium*.

Metode *Limit Equilibrium* adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya, metode ini juga dikenal dengan metode irisan karena bidang kelongsoran dari lereng tersebut dibagi menjadi beberapa bagian. Dalam Metode *Limit Equilibrium* terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu bidang kelongsorannya yang diasumsikan berbentuk *circular* dan bidang kelongsoran yang diasumsikan berbentuk *non-circular*. Pada metode kesetimbangan batas dengan asumsi bidang kelongsoran berbentuk *circular*.

Bishop (1955) memasukan gaya yang bekerja di sekitar bidang irisan diperhitungkan, tetapi hanya melakukan perhitungan dengan kesetimbangan

momen. Yang terpenting dari metode ini adalah kenyataan bahwa dengan memasukkan pasukan interslicenormal, faktor keamanan menjadi persamaan nonlinier dan sebuah prosedur iteratif diperlukan untuk menghitung faktor keamanan. Metode Janbu yang disederhanakan mirip dengan metode Bishop yang disederhanakan dalam hal itu termasuk gaya interslice normal dan mengabaikan kekuatan geser interslice. Perbedaan antara Bishop yang disederhana dan metode Janbu yang sederhana adalah bahwa metode Janbu yang sederhana memenuhi kesetimbangan gaya hanya terhadap arah horisontal. Lebih lengkapnya bisa dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kondisi kesetimbangan yang Diperhitungkan oleh Berbagai Batas Metode

<i>Method</i>	<i>Force Equilibrium</i>		<i>Momen Equilibrium</i>
	<i>Vertical Direction</i>	<i>Horizontal Direction</i>	
<i>Ordinary or Fellenius</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>
<i>Bishop's Simplified</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>	<i>Yes</i>
<i>Janbu's Simplified</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
<i>Spencer</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>
<i>Morgenstern-Price</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes**</i>
<i>Corps of Engineers</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
<i>Lowe-Karafiath</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
<i>Janbu Generalized</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>No</i>
<i>Sarma</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>	<i>Yes</i>
<i>** Moment equilibrium on individual slice is used to calculate interslice shear forces</i>			

(Sumber: *Stability modeling with SLOPE/W 2007 version*)

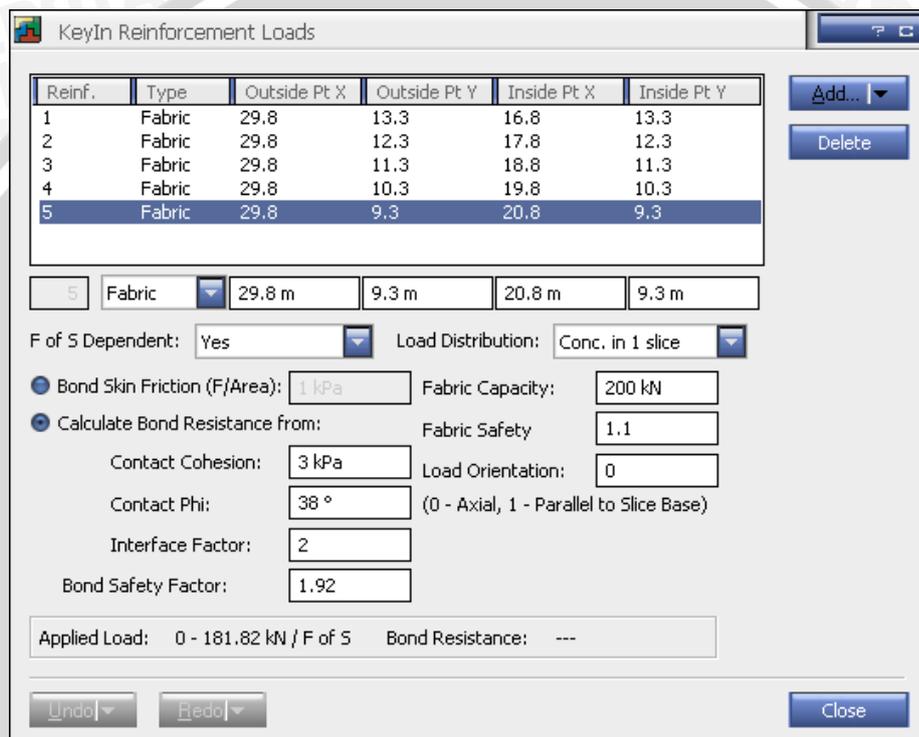
2.12.1 Input Data pada SLOPE/W

Pada SLOPE/W parameter yang ditentukan getekstil adalah:

- Gesekan permukaan per satuan luas (F / L_2)
- Faktor keamanan ikatan
- Kapasitas ultimate getekstil

- Faktor keamanan getekstil
- Orientasi Beban

Data yang dibutuhkan dalam melakukan input perkuatan tanah geotekstil dapat pada software SLOPE/W dapat dilihat pada gambar dibawah. Nilai *Pullout Resistance* (tahanan cabut) dapat langsung ditentukan manual atau dengan input parameter – parameter *Pullout Resistance*. Pada SLOPE/W parameter yang ditentukan getekstil adalah:



Gambar 2.19 Tampilan input data pada SLOPE/W

Keterangan parameter-parameter:

- *Bond safety factor* merupakan faktor tahanan cabut yang paling akurat melalui pengujian tarik cabut terhadap contoh material timbunan akan digunakan. Jika data hasil pengujian tidak tersedia, maka dapat ditentukan seperti pada **Tabel 2.3**
- *Fabric safety* adalah faktor reduksi untuk memperhitungkan kerusakan instalasi geotekstil, *creep*, dan daya tahan tercantum pada **Tabel 2.4**
- *Interface factor* adalah keliling efektif perkuatan, untuk geogrid dan geotekstil nilai C=2

- *Bond skin friction*

Menurut *manual book Slope/W pullout resistance* didapat dari

Bond Resistance $(F/L^2) = (c + \text{overburden stress} \times \tan\phi) \times \text{interface factor}$

- *Fabric capacity* merupakan nilai kuat tarik dari geotekstil yang didapat dari uji laboratorium terhadap bahan yang digunakan, uji laboratorium ini berdasarkan ASTM D4595 09 atau RSNI M 05 2005. Dalam penelitian ini digunakan geotekstil seperti yang ada di gambar 2.19.

Berdasar buku manual Geoslope dikatakan kekuatan geser dari antarmuka tanah dengan geotekstil merupakan parameter penting dari analisis stabilitas lereng di mana busur membentang di sepanjang geotekstil tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan geser antarmuka tidak linier terhadap tegangan normal di sebagian besar kasus. Maka hubungannya menjadi kekuatan geser antarmuka dan tegangan normal pada antarmuka umumnya dianggap linear dan didefinisikan oleh persamaan:

$$PR = (S_{IA} + \sigma'_v \tan\delta) S_{AF} \quad (2.35)$$

Keterangan:

S_{AF} = *surface area factor*/ antarmuka geser tanah-Geosintetik

S_{IA} = *interface adhesion*/adhesi antarmuka

PR = *pullout resistance*/tahanan cabut

Faktor tahanan cabut untuk penguatan ini per satuan panjang geotekstil permukaan dihitung dari perlawanan penarikan, faktor reduksi resistensi, dan faktor global aman:

$$FPR = \frac{PR}{RRF(FS)} \quad (2.36)$$

Keterangan:

FPR = *factored pullout resistance*/faktor reduksi

RRF = *reduction factor*/faktor reduksi tahanan

Kekuatan penarikan maksimum tidak boleh melebihi kapasitas tarik yang diperhitungkan:

$$FTC = \frac{TC}{RF(FS)} \quad (2.37)$$

Keterangan:

- FTC = *factor tensile capacity*/faktor tahanan tarik
- TC = *tensile capacity*/tahanan tarik
- FS = *safety factor*/angka keamanan
- RF = *reduction factor*/faktor tahanan

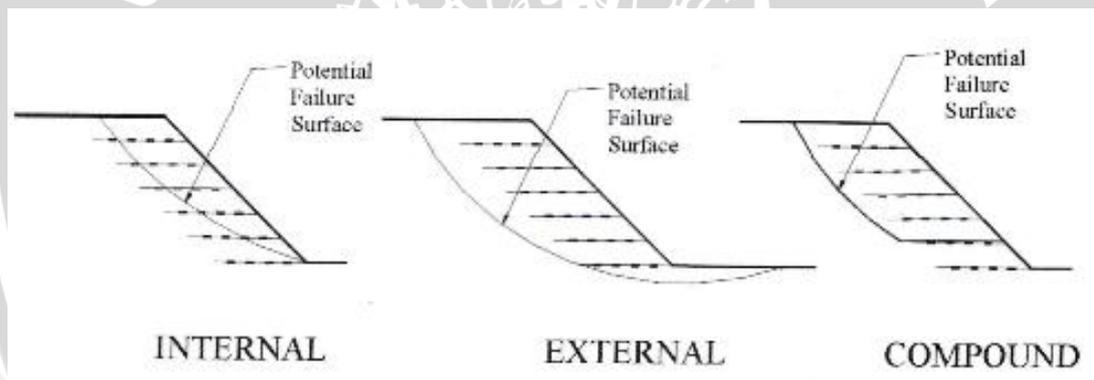
Penarikan maksimum untuk geosynthetic teratas diatur oleh perlawanan penarikan terfaktor dan karena itu dihitung dari panjang tersedia.

$$PF = FPR(l) \tag{2.38}$$

PF = *Pullout force* (gaya ikatan geotekstil)

2.13 Model Kegagalan dari Perkuatan Geotekstil

Dalam analisis perkuatan lereng dengan geotekstil, perlu diketahui bahwa terdapat beberapa model kegagalan yang harus diperhatikan agar perencanaan geotekstil tepat dan efektif. Pada gambar 2.20 ditunjukkan berbagai model kegagalan yang terjadi pada sistem perkuatan geotekstil.



Gambar 2.20 Beberapa jenis kegagalan yang terdapat pada sistem geotekstil

2.13.1 Model Kegagalan Eksternal

Model kegagalan eksternal berkaitan dengan kemampuan massa tanah yang telah diperkuat untuk menahan tekanan tanah aktif yang bekerja disekitar lereng dan tambahan beban luar atau *surchage*. Salah satu model kegagalan eksternal yang harus diperhitungkan ialah stabilitas lereng, merupakan analisa yang diperlukan dalam menentukan faktor aman dari bidang longsor dari suatu sistem lereng yang telah direncanakan. Ada beberapa metode analisa stabilitas lereng yang dapat digunakan diantara lain; metode Fellinius, Bishop, Janbu dan Morgenstern-Price



2.13.2 Model Kegagalan Internal

Model kegagalan internal berkaitan dengan kegagalan sistem geotekstil dalam mekanisme beban yang dipikul antara tanah dan geotekstil. Ada beberapa macam model kegagalan internal yang dapat terjadi diantaranya ialah:

1. *Pullout Failure*, adalah kegagalan disepanjang permukaan geotekstil terhadap tanah karena ikatan antara geotekstil terhadap tanah kurang berfungsi dengan baik dan juga dikarenakan panjang yang kurang dari geotekstil, oleh sebab itu maka diperlukan mutu geotekstil yang tinggi agar mampu mengikat dengan baik.
2. *Tensile Failure*, adalah jenis kegagalan dikarenakan mutu geotekstil yang kurang baik untuk menahan beban penggerak tanah sehingga geotekstil yang digunakan tidak efektif dan dapat berakibat putus atau patah dalam sistem geotekstil yang direncanakan.

2.14 Geo 5

Geo5 merupakan salah satu perangkat lunak (software) yang digunakan untuk bidang geoteknik dan lingkungan sebagai penerapan prinsip ilmu bumi untuk memecahkan masalah lingkungan yang berhubungan dengan tanah. Geo5 mencakup hal-hal antara lain penyelidikan tentang tanah. Geo5 merupakan perangkat lunak (software) yang dapat memberikan hasil perhitungan dan analisis dengan mudah dan cepat kasus kompleks yang berhubungan dengan geoteknik.

Dalam menganalisis permasalahan geoteknik, geo5 menggunakan metode analisis dan metode *finite element* (FEM). Analisis yang dapat digunakan dalam perangkat lunak (software) geo5 antara lain adalah tentang desain penggalian, analisis stabilitas, desain dinding penahan tanah, desain pondasi, analisis penurunan pada tanah, permodelan tanah dalam bentuk digital, serta analisis FEM (Salih,2014)

2.14.1 Analisis Dinding Penahan Kantilever Dengan Geo5

Dinding penahan kantilever akan didesain dan dianalisis stabilitas geser, guling dan daya dukung menggunakan perangkat lunak (software) geo5. Langkah untuk menganalisis dinding penahan menggunakan geo5 adalah :

1. Memilih analisis setting nomer 3, yaitu standard- EN 1997- DA1 pada kotak dialog setting list, selanjutnya memilih OK.
2. Memilih bentuk dinding penahan serta memasukkan dimensi pada kotak dialog geometry.
3. Memasukkan karakteristik material yang digunakan pada kotak dialog material.
4. Menentukan parameter tanah dengan memilih add dalam kotak jenis tanah. Memilih jenis tanah cohesionless saat analisis dinding tanah dalam keadaan diam.
5. Memilih bentuk horisontal dalam kotak dialog terrain.
6. Memilih muka air tanah dan memasukkan ketinggian muka air tanah pada kotak dialog water.
7. Memasukkan beban mati pada kotak dialog new surcharge, selanjutnya memilih add.
8. Menentukan parameter perlawanan di depan dinding penahan tanah pada kotak dialog FF resistance.
9. Memilih jenis situasi desain, serta tekanan yang bekerja pada dinding penahan pada kotak dialog stage settings.
10. Melakukan analisis hasil stabilitas geser dan guling dengan cara membuka kotak dialog verifikasi. Satisfactory menunjukkan bahwa desain aman terhadap stabilitas geser dan stabilitas guling.
11. Melakukan analisis daya dukung desain pada kotak dialog bearing capacity.
12. Memilih desain tulangan utama yang memenuhi daya dukung dinding penahan pada kotak dialog dimensioning.
13. Membuka kotak dialog stabilitas dan menganalisis stabilitas keseluruhan dinding. Menggunakan metode bishop dengan membuat busur lingkaran dan kemudian memilih OK. Maka akan muncul hasil analisis stabilitas geser, guling, daya dukung, serta stabilitas lereng secara keseluruhan.