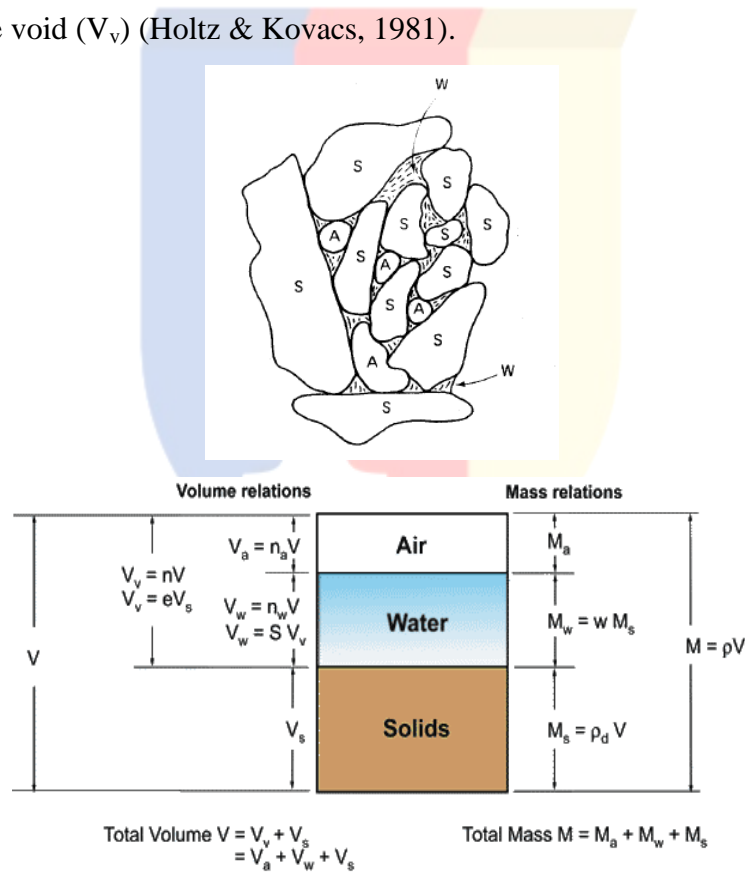


BAB II Tinjauan Pustaka

II.1. Tanah

Menurut SNI 8460:2017, tanah adalah himpunan mineral yang mengandung bahan organik dan endapan-endapan yang relatif bersifat lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran material tanah relatif lemah yang disebabkan oleh zat organik, karbonat, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel. Secara umum, setiap massa dari partikel tanah terdiri dari kumpulan partikel padat dan berongga. Material tanah diisi dengan air (*water*), udara (*air*), dan material padat (*solid*) seperti yang terlihat pada Gambar II.1. Dengan kata lain, volume dari tanah terdiri dari volume material padat (V_s) dan volume void (V_v) (Holtz & Kovacs, 1981).



Gambar II.1 Kerangka Tanah Terdiri Dari *Solid Particel* (S) dan *voids* dengan *air* (A) dan *Water* (W)
(Sumber: Holtz & Kovacs, 1981)

Tanah terdiri dari berbagai jenis campuran atau lebih dari satu jenis ukuran partikel. Salah satu contohnya adalah tanah lempung (*clay*) yang belum tentu partikelnya hanya lempung saja, tetapi bisa tercampur dengan partikel lain (lanau atau pasir), dan mungkin juga cenderung mengandung campuran bahan organik (Herdiyatmo, 2010). Sifat-sifat tanah tersebut juga berbeda-beda, seperti contoh sifat tanah pasir dan lempung yang ditunjukkan oleh Tabel II.1.

Tabel II.1 Perbedaan Sifat Tanah Pasir dan Lempung

SIFAT	PASIR	LEMPUNG
Ukuran butir	Kasar	Halus
Permeabilitas	Tinggi	Rendah
Kenaikan air kapiler	Rendah	Tinggi
Pengaruh air	Tidak ada	Terjadi konsistensi kembang susut
Perlawanan geser	Non kohesif	Kohesif
Kompresibilitas	Kecil	Besar, perlu diperhitungkan
Proses konsolidasi	Cepat	lambat

(Sumber: Bowles, 1989)

Pada proyek perkuatan lereng ini, tanah asli atau tanah setempat yang terdapat di daerah Cimanggis, Depok adalah *silty clay* (tanah lanau sedikit lempung) seperti yang terlihat oleh Gambar II.2. Untuk penimbunan proyek ini memakai material sirtu (pasir dan batu) dan tanah lempung lanau (*clayey silt*).

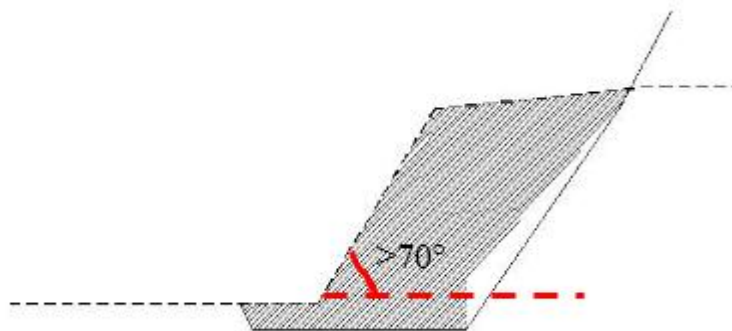


Gambar II.2 Kondisi Tanah Eksisting
(Sumber: Dokumen Pribadi)

II.2. Lereng

II.2.1. Umum

Lereng merupakan suatu permukaan tanah terbuka yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan yang lebih rendah sehingga membentuk sudut tertentu. Jika lereng tersebut memiliki kemiringan permukaan lebih dari 70° maka lereng tersebut harus diperkuat (Departemen Pekerjaan Umum, 2009). Kondisi lereng di proyek ini memiliki kemiringan lebih dari 70° sehingga perlu adanya perkuatan lereng agar terhindar dari kelongsoran. Seperti yang terlihat pada Gambar II.3.



Gambar II.3 Kondisi Permukaan Lereng yang Diperkuat

Perbedaan elevasi pada permukaan lereng dapat mengakibatkan pergerakan massa tanah dari bidang elevasi tinggi ke elevasi rendah karena gaya gravitasi (Tijani, 2015). Pergerakan tanah tersebut akan menghasilkan tegangan geser yang berfungsi untuk gaya penahan lereng. Jika berat massa yang bekerja pada lereng

tersebut sebagai gaya pendorong lebih besar dari tegangan geser (gaya penahan lereng) maka akan mengakibatkan kegagalan lereng (kelongsoran).

II.2.2. Kelongsoran Lereng

Kelongsoran merupakan masalah yang sering terjadi pada lereng. Menurut Budhu (2011) kegagalan tanah (kelongsoran) adalah bidang tergelincir dimana satu bagian dari massa tanah meluncur relatif terhadap lain, membuat setiap bagian dari tanah di atas dan di bawah bidang mengalami slip. Kelongsoran terjadi akibat bertambahnya deformasi tanah yang signifikan dari tegangan geser ($strain = 2\%$) hingga mencapai tegangan geser puncak ($strain \geq 10\%$). Contoh lereng yang mengalami kelongsoran ditunjukkan oleh Gambar II.4.



Gambar II.4 Kelongsoran Lereng

(Sumber: republika.co.id, 2018)

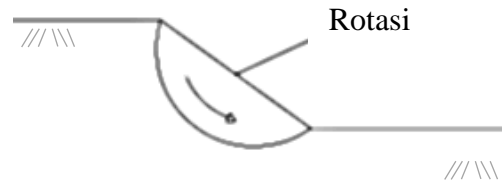
Menurut Liong dan Herman (2012) jenis-jenis kegagalan tanah (kelongsoran) terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. Jatuhan (*Fall*)

Bergerakannya massa bebatuan atau tanah ataupun keduanya melalui udara dari posisi semula menuju posisi yang lebih rendah, umumnya terjadi pada permukaan bidang yang miring. Umumnya untuk jenis jatuhan bebatuan terjadi begitu cepat dan kemungkinan didahului dengan gerakan awal berupa batu-batuan kecil yang jatuh. Jika jatuhan yang terjadi pada tanah, umumnya terjadi apabila beban di atasnya bertambah seketika secara mendadak atau mengalami gempa atau getaran mendadak.

2. Gelinciran (*Slides*)

Kegagalan tanah gelincir umumnya dipengaruhi akibat gerakan rotasional. Gerakan rotasional merupakan gerakan yang membentuk bidang busur yang bergerak dari atas lereng menuju kaki lereng. Umumnya kelongsoran ini terjadi pada tanah yang bersifat kohesi dan berbutir halus seperti tanah lembung dan lanau seperti yang dilihat pada Gambar II.5.

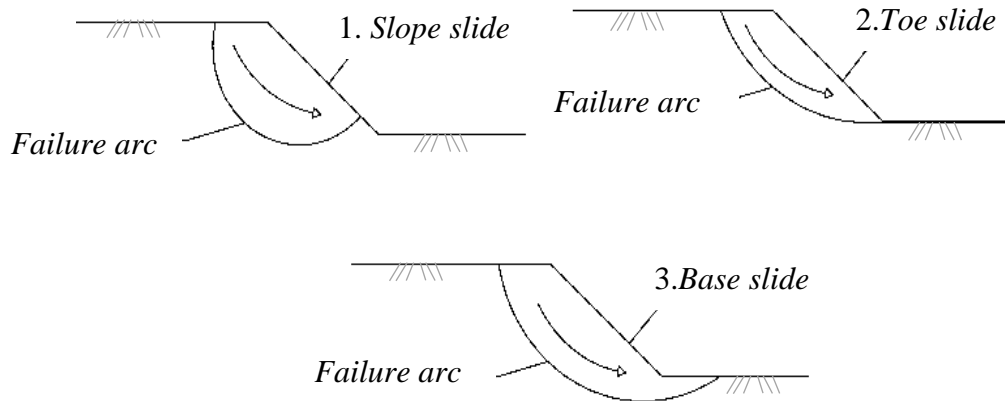


Gambar II.5 Kelongsoran Rotasi

(Sumber: Liong dan Herman, 2012)

Selain itu, menurut Luriyanto, Maulana, Prabandiyani, & Atmanto (2014) kelongsoran gelincir (rotasi) sering sekali terjadi di Indonesia. Terdapat beberapa jenis kelongsoran gelincir (rotasi) yang terjadi di Indonesia, seperti yang terlihat pada Gambar II.6.

- a. Kelongsoran lereng (*slope slide*), kelongsoran yang permukaannya mengalami kelongsoran hingga bidang lereng sebelum melewati dasar lereng.
- b. Kelongsoran di ujung kaki lereng (*toe slide*), kelongsoran yang terjadi dari atas permukaan lereng hingga dasar lereng.
- c. Kelongsoran dasar (*base slide*), kelongsoran yang bidangnya membentuk bidang busur lingkaran pada seluruh bidang lereng yang umumnya terjadi pada tanah lunak yang berada di atas tanah keras.

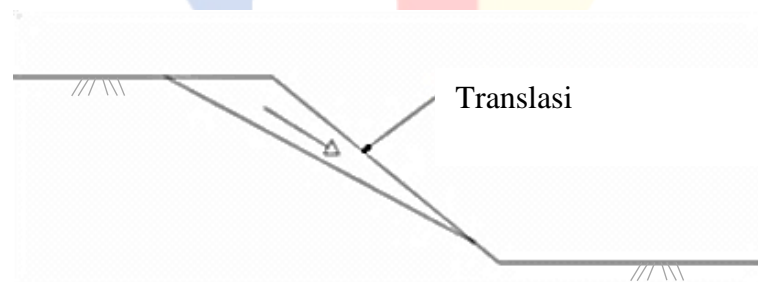


Gambar II.6 Jenis-Jenis Kelongsoran Rotasi

(Sumber: Luriyanto, Maulana, Prabandiyani, & Atmanto, 2014)

3. Translasi (*Translation*)

Kelongsoran ini terjadi akibat adanya gerakan translasi yang umumnya terjadi pada lereng dengan permukaan lemah dan memiliki butiran tanah yang lebih kasar. Biasanya massa tanah bergerak langsung turun dan keluar sepanjang permukaan yang lebih memiliki bentuk palnar atau lembut bergelombang dan memiliki sedikit gerakan rotasi seperti yang terlihat pada Gambar II.7. Secara khusus tanah yang mengalami kelongsoran translasi berbahan granuler seperti pasir dan kerikil. Hal ini terjadi karena nilai kohesi yang sangat rendah (Budhu, 2011).



Gambar II.7 Kelongsoran Translasi

(Sumber: Budhu, 2011)

II.2.3. Faktor yang Mempengaruhi Ketidakstabilan Lereng

Permukaan tanah yang memiliki bidang vertikal, komponen gravitasinya cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan gaya penahannya, akan terjadi kelongsoran maka untuk menanggulangnya dilakukan analisis yang disebut analisis stabilitas

lereng (Bowles, 1997). Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk perencanaan bangunan yang berkaitan dengan tanah seperti: jalan raya, jalan kereta api, bendungan urugan tanah, saluran, bandara, dinding penahan tanah, stabilitas lereng dan lain-lainnya. Umumnya dilakukan untuk mengetahui keamanan lereng $\geq 1,5$ dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah (Wihardi, Munirwansyah, & Saleh, 2018).

Dalam melakukan analisis stabilitas lereng terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil perhitungan. Menurut Herdiyatmo (2010) faktor-faktor tersebut bisa akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Selain faktor tersebut terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi dalam melakukan analisis stabilitas lereng di antaranya (Badriza, 2015):

1. Pengaruh Cuaca

Beberapa jenis tanah mengalami perubahan tegangan geser (gaya penahan) dari waktu ke waktu tergantung daripada cuaca. Misalnya terdapat beberapa jenis tanah yang mengembang saat musim hujan sehingga tegangan geser tanah menjadi sangat rendah dan menyusut saat musim kemarau yang mengakibatkan tegangan geser besar. Oleh karena itu, dalam melakukan analisis stabilitas lereng harus ditentukan tegangan geser yang dipakai yang kritis.

2. Pengaruh Air

Air merupakan salah satu material penyusun tanah sehingga dalam melakukan analisis stabilitas lereng sangat penting diperhatikan. Jika pada permukaan tanah air mendadak berkurang maka akan terjadi pengurangan gaya angkat air pada massa tanah, yang mengakibatkan beban lereng bertambah. Kenaikan beban ini menyebabkan kenaikan tegangan geser, yang apabila tahanan geser tanah terlampaui maka akan mengakibatkan kelongsoran. Hal ini terjadi pada lereng yang tanahnya berpermeabilitas rendah.

Tegangan geser yang terjadi pada volume konstan dapat diikuti oleh berkurangnya gaya *intergranuler* dan naiknya tekanan air pori. Kelongsoran tanah dapat terjadi, bila pengurangan gaya *intergranuler* (antar-molekul) tanah besar, menyebabkan

masa tanah dalam kedudukan tegangan efektif nol (*liquefaction*), sehingga tanah dapat mengalir seperti cairan.

3. Pengaruh Rayapan (*Creep*)

Permukaan tanah dipengaruhi oleh siklus kembang-susut, siklus ini terjadi akibat perubahan temperatur, perubahan dari musim, dan di daerah dingin yang diakibatkan pembekuan air (Tijani, 2015). Saat kondisi tanah mengembang, tanah akan naik sehingga melawan gaya gravitasi, ketika menyusut tanah akan turun dibantu oleh gaya gravitasi. Hasil gerakan keduanya adalah gerakan perlahan lereng turun ke arah bawah (Herdiyatmo, 2010).

II.2.4. Analisis Stabilitas Lereng

Metode analisis stabilitas lereng merupakan metode untuk menentukan faktor keamanan bidang longsor. Faktor keamanan bidang longsor didefinisikan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya yang menggerakannya (Herdiyatmo, 2010).

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (2.1)$$

Dengan menggunakan persamaan Mohr-Coulomb didapatkan nilai tahanan geser (τ) yang dapat dikerahkan tanah sepanjang bidang longsornya dinyatakan dengan:

$$\tau = c + \sigma tg \varphi \quad (2.2)$$

Nilai c dan φ adalah parameter kuat geser tanah disepanjang bidang longsornya. Persamaan geser yang terjadi akibat beban tanah dan beban lain pada bidang longsornya:

$$\tau_d = c_d + \sigma tg \varphi_d \quad (2.3)$$

Sehingga persamaan menjadi:

$$F = \frac{c + \sigma tg \varphi}{c_d + \sigma tg \varphi_d} \quad (2.4)$$

Atau

$$c_d + \sigma tg \varphi_d = \frac{c}{F} + \sigma \frac{tg \varphi}{F} \quad (2.5)$$

Dengan menyederhanakan persamaan tersebut, sehingga di dapatkan:

$$F_c = \frac{C}{C_d} \quad (2.6)$$

Kelongsoran terjadi pada massa tanah dengan berat ($W_1 + W_2$) dengan bidang longsor berpusat di titik O. Sehingga jumlah momen yang menggerakannya adalah:

$$\sum M_d = W_1 \times \gamma_1 - W_2 \times \gamma_2 \quad (2.7)$$

Sedangkan untuk nilai momen yang menahannya untuk keseimbangan adalah jumlah perkalian antara komponen kohesi sepanjang dengan jarak R (Herman, 2008) yaitu:

$$\sum M_r = c_d \times L_{AED}(R) = c_d \times R^2 \times \theta \quad (2.8)$$

Keterangan:

$\sum M_r$ = Jumlah momen penahan (kN.m)

R = Jari-jari lingkaran longsor (m)

θ = Sudut seperti yang tergambar (derajat)

Kondisi lereng dalam keadaan seimbang menjadi:

$$\sum M_r = \sum M_d$$

$$c_d \times R^2 \times \theta = W_1 \times \gamma_1 - W_2 \times \gamma_2$$

$$C_d = \frac{(W_1 \times \gamma_1 - W_2 \times \gamma_2)}{R^2 \times \theta} \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan persamaan faktor aman pada komponen kohesi tanahnya menjadi:

$$C_d = \frac{C_u}{F} \quad (2.10)$$

Maka diperoleh faktor aman untuk analisis stabilitas lereng lempung homogeny dengan $\phi = 0$ dan $c = c_u$ yaitu:

$$F = \frac{c_u \times R^2 \times \theta}{W_1 \times \gamma_1 - W_2 \times \gamma_2} \quad (2.11)$$

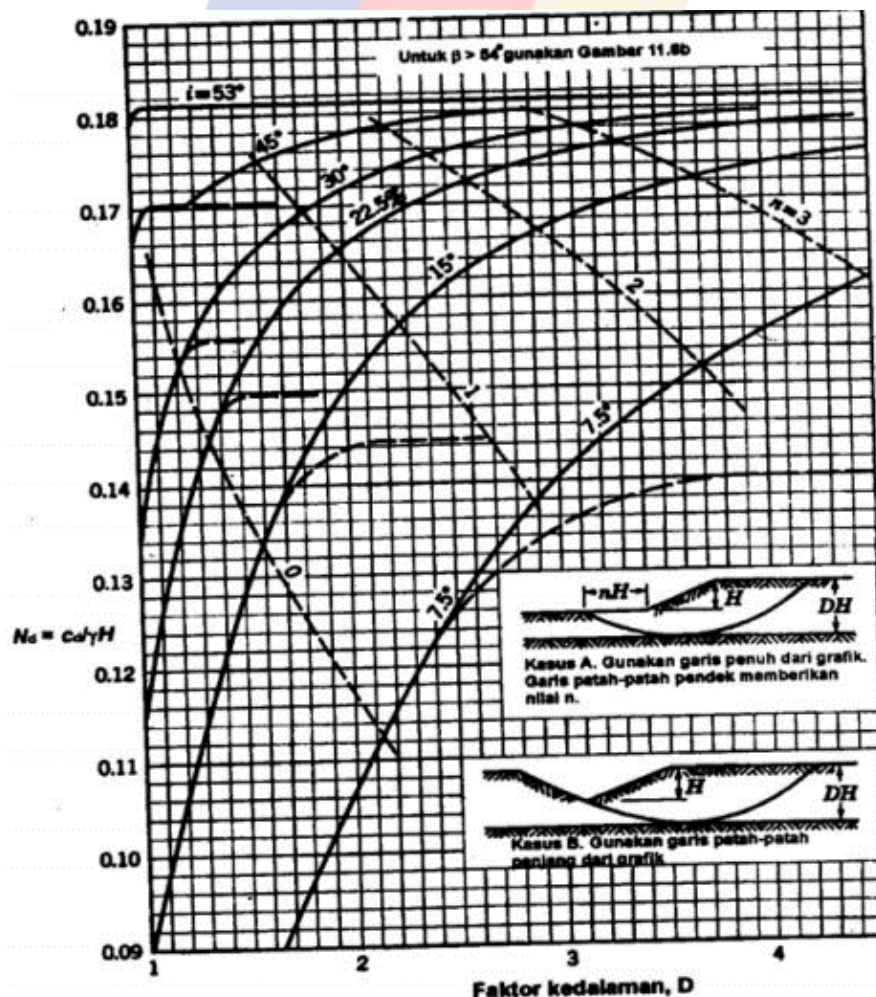
Metode Taylor (1948) memberikan cara penyelesaian stabilitas lereng bersifat lempung homogen dengan nilai c konstan dan $\phi = 0$ dengan memperhatikan angka stabilitasnya, yaitu:

$$N_d = \frac{C_u}{F \gamma H} \quad (2.12)$$

Nilai N_d merupakan bilangan yang tidak memiliki dimensi. Pada kondisi kritis ($F = 1$), nilai $H = H_c$ dan $c_d = c_u$ maka didapatkan nilai H sebagai berikut:

$$H_c = \frac{C_u}{\gamma N_d} \quad (2.13)$$

N_d merupakan fungsi dari sudut kemiringan lereng β (Gambar II.9). Seperti yang terlihat pada Gambar II.9 jika terlihat nilai $\beta > 53^\circ$, memiliki lingkaran bidang longsor yang kritis selalu pada ujung kaki lereng. Jika $\beta < 53^\circ$ lingkaran bidang longsor dapat terjadi kritis pada kaki lereng atau di luar kaki lereng tergantung lokasi dari lapisan keras, jika lingkaran longsor di luar kaki lereng atau keruntuhannya di dasar (*base failure*), nilai angka stabilitas N_d maksimum adalah 0,81 (Taylor, 1948).



Gambar II.9 Diagram Stabilitas Lereng $\phi = 0$ Menggunakan Metode Taylor 1948

(Sumber: Taylor, 1948)

Didalam Gambar II.9 nilai D didefinisikan sebagai:

$$D = \frac{\text{tinggi dari dasar lapisan keras ke puncak lereng}}{\text{tinggilereng}} \quad (2.14)$$

Metode kestabilan Taylor (1948) dilakukan berdasarkan analisis tegasan keseluruhan dan menggunakan kaidah bulatan geser. Berdasarkan kaidah tersebut terdapat dua faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng yaitu kedalaman lapisan kukuh dan jarak dari kaki lereng yang mungkin berlaku gelinciran.

Penggunaan metode Taylor berdasarkan nilai c dan ϕ yang terdapat disepanjang bidang longsor sehingga t

$$F = \frac{c}{\gamma H \cos^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\gamma' \tan \phi}{\gamma_{sat} \tan \alpha} \quad (2.15)$$

Keterangan:

- c Kohesi tanah (kN/m^2)
- H Ketinggian (m)
- α Sudut kemiringan dasar irisan
- γ_{sat} Berat jenis tanah dengan ada airnya (kN/m^3)
- γ' Berat jenis tanah tanpa ada berat jenis air (kN/m^3)
- ϕ *Friction Angel* (derajat)

b. Analisis Stabilitas Lereng untuk Tanah $\phi > 0$ menggunakan Diagram Taylor 1948

Kondisi tanah kohesif tidak bergantung terhadap tegangan normal pada bidang tersebut, sehingga perlu mengambil momen terhadap pusat lingkaran untuk melakukan stabilitasnya. Jika tanah tersebut memiliki ϕ sebagai komponen gaya normal terhadap distribusi tegangan gesernya membuat tegangan normal yang bekerja tidak merata. Seperti pada Gambar II.10.

Seperti yang terlihat pada Gambar II.11 lingkaran AB adalah bidang longsor yang dicoba lewat kaki lereng. Sehingga gaya-gaya yang bekerja pada massa tanah yang akan mengalami kelongsoran permieter tegak lurus terhadap bidang Gambar adalah sebagai berikut:

$$(a) \text{ Gaya berat } W = \text{luas } (ABC) \times \gamma_b \times 1 \quad (2.17)$$

(b) Kohesi yang bekerja pada bidang longsor adalah $c' = c_d \times$ (panjang garis lurus AB). c' tahanan geser dari komponen kohesi, resultan gaya c' bekerja sejajar dengan garis AB dan berjarak jari-jari lingkaran O. Tinjau $c' = c_d \times$ panjang lengkungan AB $\times R$, lengan momen dapat dinyatakan oleh:

$$z = \frac{c_d \times \text{PanjanglengkungAB} \times R}{c'} = \frac{R \times \text{PanjanglengkungAB}}{\text{PanjangGarisLurusAB}} \quad (2.18)$$

(c) Resultan gaya normal dan gaya gesek sepanjang lengkungan AB, sebesar P dan membuat sudut ϕ terhadap arah garis normal pada lengkung AB. Untuk keseimbangan gaya P harus lewat titik dimana W dan C_d berpotongan.

Jika dianggap komponen gesekan dapat dikerahkan secara penuh ($\phi_d = \phi$), maka arah gaya P merupakan garis singgung pada lingkaran- ϕ . Karena arah gaya c' , P dan W telah diketahui, poligon gaya dapat dibuat. Besar c diperoleh dari poligon gaya tersebut, kohesi yang dikerahkan untuk keseimbangan adalah:

$$c_d = \frac{c'}{\text{Panjang Garis AB}} \quad (2.19)$$

Penentuan c_d dengan coba-coba pada lingkaran longsornya, beberapa percobaan harus dilakukan untuk menentukan nilai c_d maksimum (kondisi kritis lereng). Kohesi yang dikerahkan sepanjang bidang longsor untuk keseimbangan adalah:

$$c_d = \gamma \times H[f(\alpha, \beta, \theta, \phi)] \quad (2.20)$$

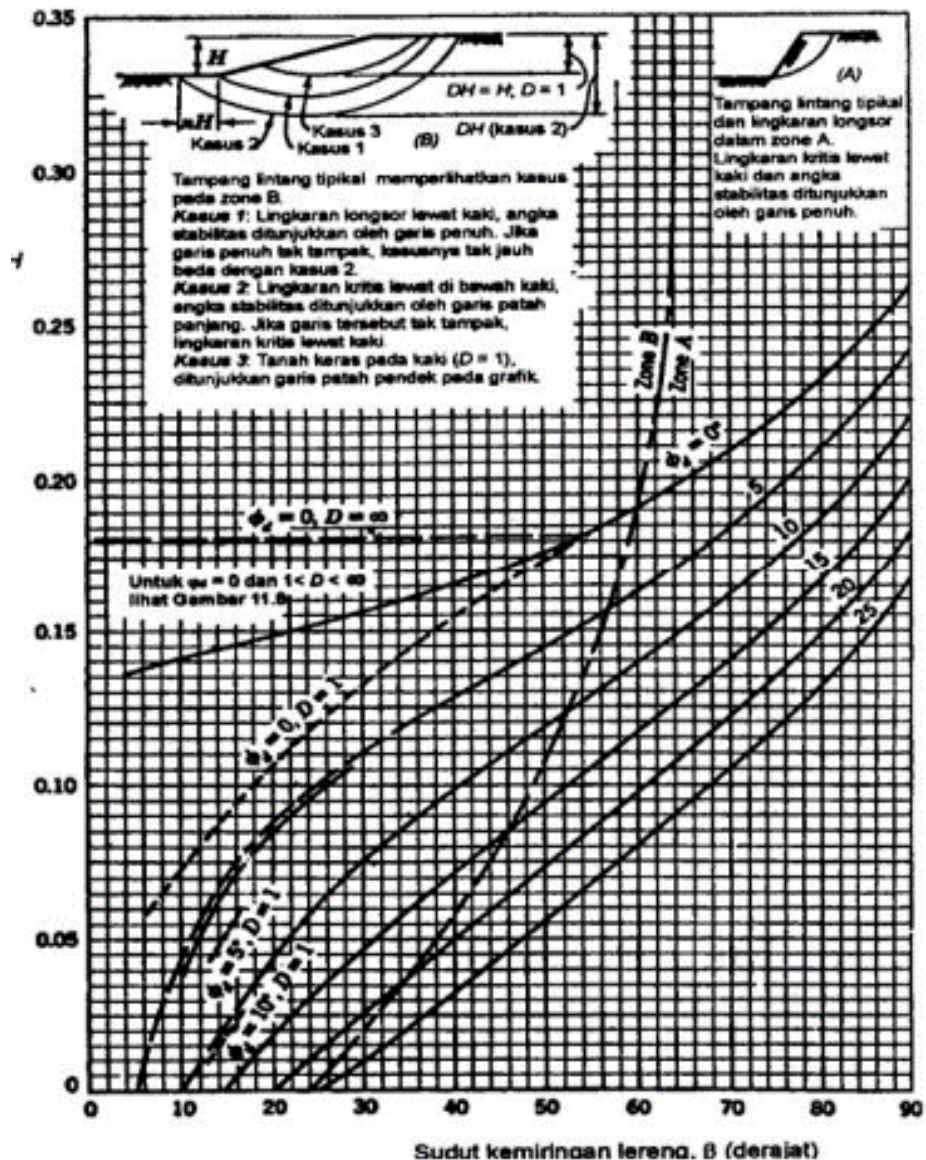
Pada kondisi kritis $F = 1$, dan $H = H_c$ dan $c = c_d$ maka persamaannya menjadi:

$$c_d = \gamma \times H_c [f(\alpha, \beta, \theta, \varphi)] \quad (2.21)$$

Bila dinyatakan dalam nilai banding maka angka stabilitasnya menjadi:

$$\frac{c}{\gamma H_c} = f(\alpha, \beta, \theta, \varphi) \quad (2.22)$$

Gambar II.12 digunakan untuk mencari nilai nilai φ dan β , menentukan faktor keamanan terhadap nilai kohesinya, dengan anggapan seluruh nilai sudut gesek dalam berkembang penuh ($F_\varphi = 1$) atau sebaliknya.



Gambar II.12 Diagram Stabilitas Lereng Untuk Tanah dengan $\varphi > 0$

(Sumber: Taylor, 1948)

II.3. Cerucuk

Pile *raft* atau cerucuk biasa digunakan oleh masyarakat untuk keperluan pembangunan. Cerucuk merupakan tiang-tiang kayu yang digunakan untuk fondasi rumah ataupun perkuatan tepi irigasi. Cerucuk biasanya terbuat dari material kayu gelam atau dolken, bakau, ataupun bambu (Hermawan, Surjandari, & Saad, 2014).

Menurut Murti (2008) penggunaan cerucuk pada tanah lempung dapat meningkatkan daya dukung tanah sebesar 2,2 kali dibandingkan dengan tanpa cerucuk. Lapisan tanah lempung dan lanau (*silty clay*) yang diperkuat dengan menggunakan cerucuk akan semakin baik jika bertambah jumlah cerucuknya (Prasetya, 2003). Dalam melakukan pemasangan cerucuk digunakan diameter 12cm, panjang 4 – 5 m dengan jarak 40cm mampu menaikan daya dukung tanah yang awalnya $0,25 \text{ kg/cm}^2$ menjadi 50 kg/cm^2 (Roeseno, 1998). Menurut Hermawan, Surjandari, & Saad (2014) peningkatan konfigurasi cerucuk dengan diameter 10 – 20 cm panjang 1,5 m dengan spasi 2,5d menghasilkan faktor keamanan yang optimum. Penggunaan cerucuk pada material geosintetik dan bronjong perkuatan lereng dapat meningkatkan faktor keamanan dari lereng tersebut (Budhu, 2011).

II.4. Geosintetik

II.4.1. Umum

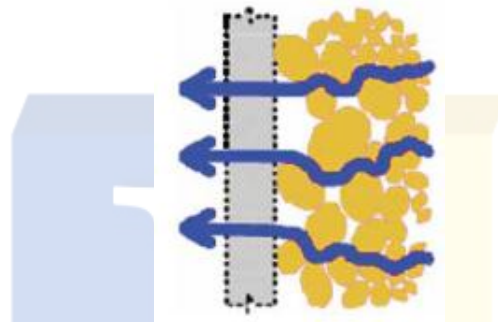
Geosintetik merupakan salah satu jenis bahan atau material polimer sintetik yang difabrikasi secara khusus dan digunakan untuk perbaikan dan perkuatan tanah pada tanah yang memiliki kontur tidak stabil yang dapat diaplikasikan dibidang rekayasa geoteknik, geoenvironmental, hidraulik serta transportasi (ASTM D4439-18, 2018).

Material geosintetik memiliki fungsi-fungsi utama, yakni sebagai separasi atau pemisah, filter, perkuatan, penampung cairan, drainase, dan gas serta juga sebagai kontrol erosi. Dalam beberapa kasus di lapangan, material geosintetik dapat memiliki 2 atau bahkan lebih dari fungsi-fungsi tersebut. Sementara fungsi yang digunakan pada proyek perkuatan menggunakan material geosintetik di sekolah

IHF Podomoro Golf View menurut Departemen Pekerjaan Umum (2009) diantaranya yaitu:

1. Filter

Material geosintetik ini berfungsi sebagai penyaring antara pasir dan air, dimana air dapat mengalir dengan bebas, sedangkan butir-butiran pasir tertahan. Biasanya fungsi geosintetik ini diaplikasikan pada formasi lapisan agregat, sistem pipa pada *sub-surface drainage*, tanggul sungai untuk mencegah erosi tanah. Secara skematik ditunjukkan pada Gambar II.13.



Gambar II.13 Geosintetik untuk Filter
(Sumber: Tijani, 2015)

2. Perkuatan

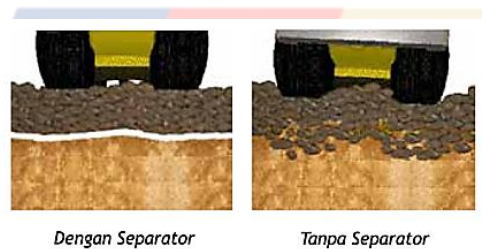
Geosintetik berfungsi sebagai elemen perkuatan di dalam massa tanah atau di dalam kombinasi tanah yang dapat menghasilkan semacam tanah komposite yang memiliki properties kekuatan dan deformasi jauh lebih baik dibandingkan suatu massa tanah tanpa adanya perkuatan. Sebagai contoh geotekstil dan geogrid yang digunakan untuk menambahkan kuat tarik tanah, seperti yang terlihat pada Gambar II.14.



Gambar II.14 Geosintetik untuk Perkuatan Lereng

3. Separasi atau Pemisah

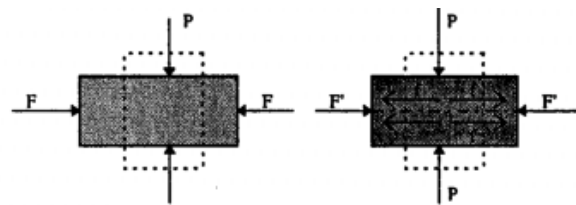
Gambar II.15 merupakan pemakaian material geosintetik yang berguna sebagai pemisah dua jenis lapisan tanah atau lebih yang memiliki ukuran butiran berbeda. Sebagai contohnya Geotekstil yang berguna untuk mencegah masuknya material tanah dasar lunak (*sub grade*) ke dalam material fondasi jalan atau sirtu (*base layer*) yang memiliki distribusi ukuran butiran yang lebih besar atau kasar (*coarse grained*), masuknya material tanah dasar (*sub grade*) lunak yang biasanya memiliki ukuran butiran lembut (*fine grained*) ke dalam material pondasi jalan (*base layer*) yang memiliki distribusi ukuran butiran lebih kasar (*coarse grained*) yang ditimbun di atasnya.



Gambar II.15 Perbedaan Perilaku Timbunan dengan Separator dan Tanpa Separator
(Sumber: Tijani, 2015)

II.4.2. Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng

Konsep dasar perkuatan tanah (Gambar II,16) yaitu untuk mengurangi gaya yang menyebabkan keruntuhan dengan meningkatkan besarnya gaya perlawanan terhadap gaya yang menimbulkan kelongsoran (Tijani, 2015).

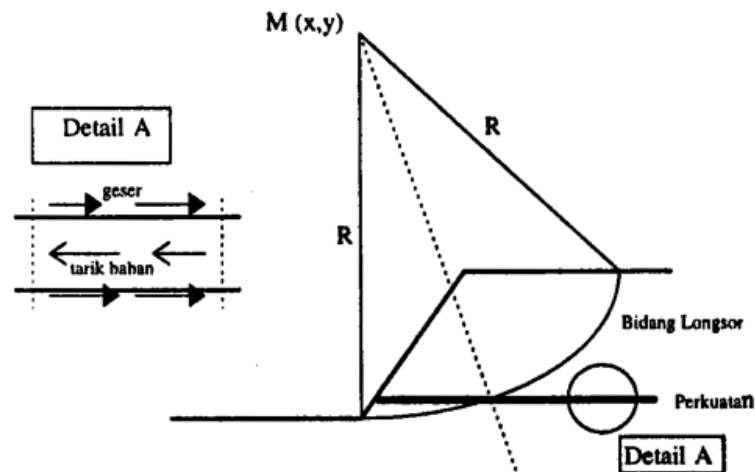


(a) Tanpa Perkuatan (b) Dengan Perkuatan

Gambar II.16 Skema Konsep Perkuatan Tanah

(Sumber: Tijani, 2015)

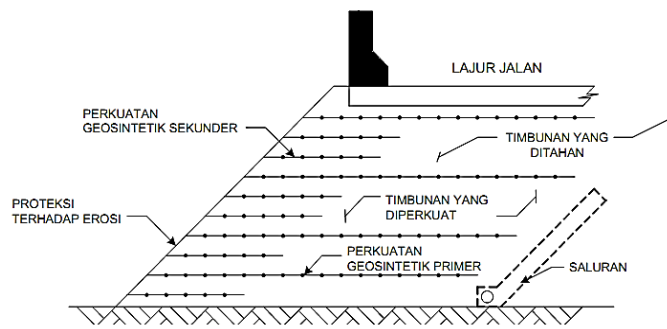
Gambar II.17 merupakan Skematik konstruksi perkuatan tanah dengan menggunakan material geosintetik memiliki fungsi untuk menghilangkan gaya yang dapat mengakibatkan keruntuhan dengan kemampuan geser dan tarik (Suryolelono, 1993).



Gambar II.17 Perlawanan Perkuatan Tanah Terhadap Gaya-Gaya yang Meruntuhkan
(Sumber: Suryolelono, 1993)

Berdasarkan Gambar II.17 terlihat pengaruh material geosintetik dalam memberikan perlawanan terhadap gaya yang melongsorkan. Bila material tersebut berpotongan dengan bidang luncur lereng.

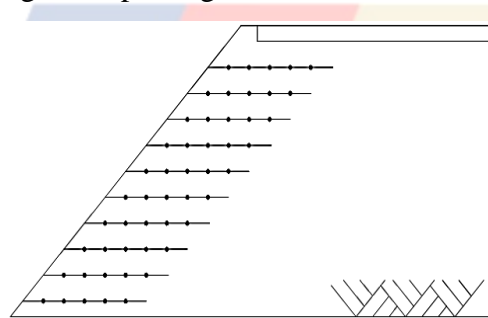
Menurut Ashamawy & Bourdeu (1995) pada suatu perkuatan tanah memiliki bidang luncur yang berbeda. Bentuk bidang luncur klasik merupakan bentuk dengan tampak lingkaran. Bentuk bidang longsor dalam uji coba model di Laboratrium merupakan kombinasi antara bidang datar di bagian dasar permukaan dengan bidang lengkung (tampak sebagai busur lingkaran) serta bentuk lain berupa garis spiral (Suryolelono, 1993). Fungsi-fungsi geosintetik dalam perkuatan lereng dilihat pada Gambar II.18 sampai Gambar II.20.



Gambar II.18 Geosintetik Meningkatkan Stabilitas Lereng

(Sumber: Badriza, 2015)

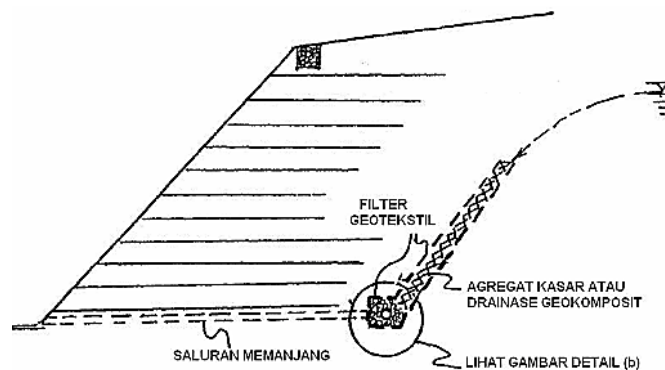
Berdasarkan Gambar II.18 material geosintetik dapat memungkinkan kemiringan lereng yang curam dengan tetap mengutamakan keselamatan.



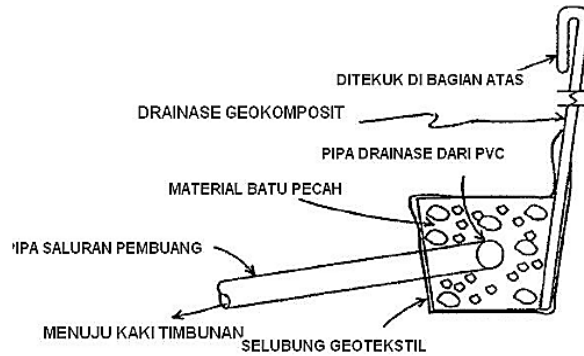
Gambar II.19 Geosintetik Sebagai Penahan Lateral

(Sumber: Badriza, 2015)

Berdasarkan Gambar II.19, material geosintetik berperan sebagai tahanan lateral selama proses pemadatan timbunan. Hal ini memungkinkan untuk meningkatkan pengurugan (*confinement*) lateral untuk tanah di permukaan lereng dan peningkatan kepadatan tanah di kaki lereng.



(a) Material Geosintetik pada Drainase



(b) Detail Penggunaan Material Geosintetik pada Drainase

Gambar II.20 Geosintetik untuk Drainase Lereng

(Sumber: Tijani, 2015)

Berdasarkan Gambar II.20 drainase pada lereng pipa berlubang (*perforated pipes*) yang dibungkus dengan material granular dan dihubungkan dengan saluran drainase dari agregat kasar dapat dilapisi dengan *Geotekstil non woven*.

Pada metode penahan dinding tanah dengan memakai *Geoframe* berbeda dengan metode yang lain, karena pada metode berat sendiri tanah tidak hanya sebagai beban, tetapi juga sebagai kekuatan untuk mengikat *Geogrid* pada tiap layer. Sedangkan pada metode konvensional beban tanah murni sebagai beban yang harus di tanah oleh dinding konvensional.

II.4.3. Geoframe

Geoframe merupakan produk asli dari PT. Geoforce Indonesia yang menerapkan pemakaian material geosintetik dan ramah lingkungan atau sistem LCA (*Life Cycle Assesment*). *Geoframe* terdiri dari *geogrid*, *geotekstil non woven* dan frame bahan galvanis yang menjadi kesatuan (Geoforce Indonesia, 2019).

Komposisi atau unsur yang terdapat *geoframe* memiliki fungsi dan keunggulan masing-masing. *Geogrid* memiliki kekakuan yang tinggi, yang berfungsi untuk menahan gaya yang bekerja pada lereng atau dinding *geoframe*. *Geotekstil non woven* berperan sebagai lapisan filter dan drainase yang mampu menyaring butiran tanah halus agar tidak tererosi namun masih memungkinkan untuk keluar melalui pori-pori atau serat material. Sehingga air rembasan pada lereng dapat

mengalir keluar. Frame berperan sebagai pengaku dan pembentuk kemiringan dinding yang sesuai dari hasil desain *engineering*.

Kombinasi dari ketiga unsur tersebut menjadi suatu kesatuan struktur ringan namun kokoh, bahkan cenderung tidak memberikan penambahan beban pada lereng. Selain itu geoframe memungkinkan untuk dilakukan penghijauan lereng karena geoframe dapat ditumbuhi oleh vegetasi yang dapat menahan laju erosi pada lereng dan membuat lereng terlihat lebih alami. Selain memiliki struktur yang ringan, geoframe berfungsi sebagai perkuatan tanah yang mempunyai keunggulan lain, yaitu sebagai berikut:

1. Memiliki struktur yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan;
2. Memiliki sistem sederhana dan mudah diaplikasikan serta tidak memerlukan peralatan khusus;
3. Memiliki struktur yang fleksibel dan cocok untuk daerah rawan gempa bumi;
4. Memiliki struktur yang sangat ringan dan tidak memberikan beban tambahan pada lereng;
5. Mengoptimalkan DMJ (Daerah Milik Jalan) atau ketersediaan atau keterbatasan area di lokasi konstruksi;
6. Mengoptimalkan tanah galian disekitar lokasi proyek untuk bahan konstruksi dinding penahan tanah; dan
7. Mengurangi volume bahan timbunan dan memungkinkan digunakannya bahan timbunan dengan kualitas yang lebih rendah.
8. Mengurangi biaya untuk elemen-elemen penutup (*facing*) seperti yang diperlukan dalam dinding yang distabilisasi secara mekanis.

Untuk perbandingan antara dinding penahan tanah metode konvensional dengan geoframe ditunjukkan pada Tabel II.2.

Tabel II.2 Perbandingan Metode Konvensional dengan Metode Geoframe

Metode	Kesan	Biaya	Material
<i>Geoframe</i>	Alami	Menengah	Ramah lingkungan
Konvensional	Tidak alami	Tinggi	Tidak ramah lingkungan

(Sumber: Tijani, 2015)

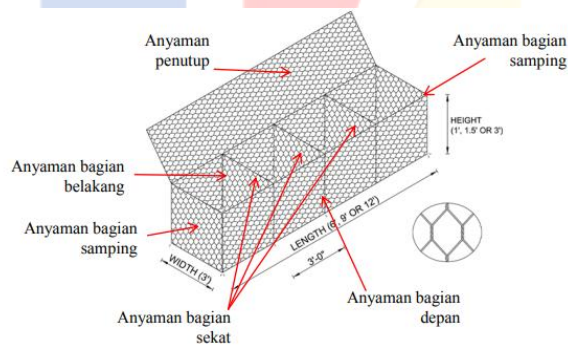
II.5. Bronjong

Bronjong merupakan kotak yang terbuat dari anyaman kawat baja berlapis seng atau berbahan galvanis atau dari belahan-belahan bambu atau bisa terbuat dari material seperti plastik geogrid seperti yang terlihat pada Gambar II.21, yang pada penggunaannya diisi batu-batu untuk pencegahan erosi, melindungi dan memperkuat tebing tanah yang dipasang pada tebing-tebing serta tepi-tepi sungai yang proses penganyamannya menggunakan mesin atau orang. Ukuran bronjong sesuai standar yaitu 2 x 1 x 0,5 m dengan ϕ kawat anyaman 2,70 mm atau 3,00 mm (SNI 03-0090, 1999)



Bronjong ini terbuat dari bambu yang dianyam, bronjong bambu biasanya berbentuk bulat

(a) Bronjong Anyaman Bambu



(b) Bronjong Anyaman Kawat Galvanis



(c) Bronjong PVC

Gambar II.21 Macam-Macam Bronjong

(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Badan Pembinaan Konstruksi, 2012)

Penggunaan bronjong di sungai berfungsi sebagai penahan laju endapan lumpur sungai, atau bisa juga berfungsi sebagai pemecah aliran sungai yang deras sehingga tidak terjadi pengikisan di tebing. Selain itu, berfungsi sebagai penguat tanah dan menaikkan tinggi elevasi aliran sungai agar air sungai dapat dimanfaatkan sebagai kepentingan irigasi. Sementara, bronjong yang di pasang di daratan berfungsi sebagai mencegah longsoran tanah, baik di tebing buatan ataupun talud.

Bronjong merupakan konstruksi yang bersifat sementara, akan tetapi memiliki kekokohan yang cukup kuat dan pemasangan yang sangat sederhana serta memiliki harga yang lebih ekonomi dibandingkan dengan konstruksi beton. Hal inilah yang menjadi keunggulan bronjong sehingga masih dipakai pada perkuatan tanah. Tetapi terdapat beberapa kerugian jika menggunakan konstruksi bronjong untuk perkuatan tanah yaitu kawat bronjong rawan terjadi kerusakan dari pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab.

II.6. Aplikasi Plaxis V.8.2

II.6.1. Definisi Umum

Aplikasi Plaxis V.8.2 merupakan aplikasi analisis geoteknik yang sering digunakan dalam pemodelan stabilitas tanah. Cara kerja aplikasi Plaxis yaitu dengan menggunakan metode elemen hingga (FEM) dan mampu melakukan analisis yang mendekati perilaku sebenarnya. Aplikasi Plaxis V.8.2 juga memiliki fitur-fitur khusus yang mampu membuat pemodelan geomteri yang kompleks pada stabilitas tanah (Setyanto, Zakaria, & Permana, 2016). Geomteri tanah yang diinput untuk melakukan analisis stabilitas tanah pada aplikasi Plaxis cukup teliti. Karena material tanah merupakan material yang *multiphase*, yang membuat perilaku tanah tidak linear dan bergantung pada waktu. Selain itu, keberadaan air tanah perlu diperhitungkan (Wihardi, Munirwansyah, & Saleh, 2018).

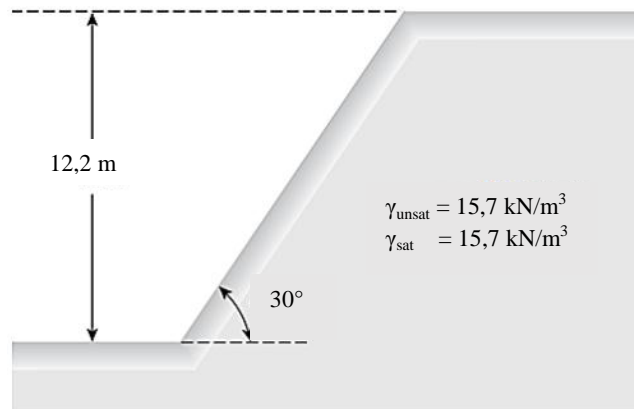
Selain itu aplikasi Plaxis V.8.2 dapat melakukan banyak analisis seperti tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, penurunan tanah (*displacement*), faktor keamanan statis dan dinamis. Untuk melakukan analisis stabilitas lereng dengan

menggunakan bronjong dan geoframe digunakan dengan metode elemen hingga kondisi *plane strain* (regangan bidang). Model ini digunakan dengan asumsi bahwa sepanjang sumbu potong melintang penampang dipandang relatif sama dengan peralihan dalam arah tegak lurus potongan tersebut, sehingga dianggap tidak terjadi (Setyanto, Zakaria, & Permana, 2016).

II.6.2. Validasi Aplikasi Plaxis

Penggunaan aplikasi pada proses perhitungan kadang mengalami kendala, berupa beda hasil perhitungan dengan hasil perhitungan menggunakan manual. Oleh sebab itu, untuk meyakinkan dalam melakukan perhitungan dengan menggunakan aplikasi perlu adanya analisis dasar mengenai aplikasi tersebut (Setyanto, Zakaria, & Permana, 2016). Berdasarkan hal itu dilakukan desain sederhana untuk memvalidasi mengenai aplikasi tersebut dengan perhitungan manual.

Carilah faktor keamanan untuk suatu timbunan dengan tinggi $H = 12,2$ m, mempunyai kemiringan lereng $\beta = 30^\circ$. Permukaan tanah keras pada kedalaman tak berhingga. Memiliki kohesi $c = 38,3$ kN/m², sudut gesek dalam $\phi = 10^\circ$ dan $\gamma_{\text{unsat}} = 15,7$ kN/m³.



Gambar II.26 Kondisi Contoh Lereng Sederhana
(Sumber: Herdiyatmo, 2010)

1. Perhitungan Manual

Menurut Taylor (1948) didalam melakukan perhitungan manual dengan menggunakan terdapat beberapa langkah, yaitu:

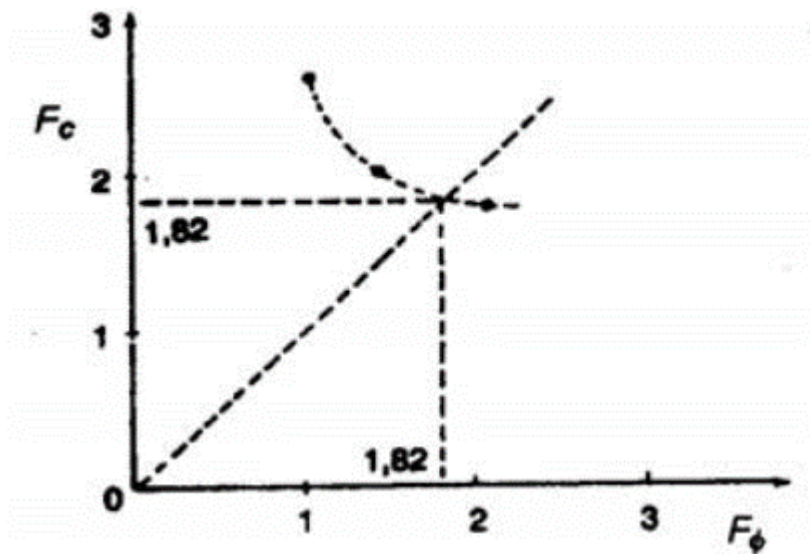
(a) Asumsikan nilai susut gesek dalam dikerahkan secara sepenuhnya sebesar $\varphi = 10^\circ$. Berdasarkan Gambar II.12 dengan nilai $\beta = 30^\circ$, maka $c_d/\gamma H = 0,075$. Sehingga $c_d = 0,075 \times 15,7 \times 12,2 = 14,4 \text{ kN/m}^2$

$$\text{Faktor aman terhadap kohesi adalah } F_c = \frac{c}{c_d} = \frac{38,3}{14,4} = 2,67$$

(b) Asumsikan kohesi berpengaruh sepenuhnya sehingga $c/\gamma H = 38,3/(15,7 \times 12,2) = 0,2$ dengan nilai $\beta = 30^\circ$ berdasarkan Gambar II.12 didapatkan $\varphi < 0$, hal ini berarti $F_\varphi = \sim$.

(c) Menentukan faktor aman terhadap geser, nilai faktor aman yang sama harus diberikan kepada komponen kohesi dan gesekan. Nilai F_c diasumsikan, dan nilai $F_\varphi = \text{tg}\varphi/\text{tg}\varphi_d$ ditentukan berdasarkan diagram. Selanjutnya menggambar hubungan antara F_φ dengan F_c yaitu dengan cara:

- Satu titik pada kurva F_c, F_φ telah dihitung, yaitu pada $F_c = 2,67$ dan $F_\varphi = 1$. Hal ini membutuhkan 2 titik lagi untuk menggambar kurva.
- Asumsikan nilai $F_c = c/c_d = 2$, sehingga nilai $c_d = c/F_c = 38,3/2 = 19,23 \text{ kN/m}^3$. Dan nilai $c_d/\gamma H = 19,2/(15,7 \times 12,2) = 0,1$. Berdasarkan Gambar II.12 diperoleh nilai $\varphi_d = 7^\circ$, sehingga nilai $F_\varphi = \text{tg } 10^\circ/\text{tg } 7^\circ = 1,44$.
- Asumsikan nilai $F_c = 1,8$ atau $c_d = c/F_c = 38,3/1,8 = 21,3 \text{ kN/m}^3$. Serta nilai $c_d/\gamma H = 21,3/(15,7 \times 12,2) = 0,11$. Berdasarkan Gambar II.12 diperoleh nilai $\varphi_d = 5^\circ$, sehingga nilai $F_\varphi = \text{tg } 10^\circ/\text{tg } 5^\circ = 2,02$.
- Selanjutnya tarik garis melalui ketiga titik tersebut. Buat garis 45° dari titik asal, sehingga diperoleh faktor keamanan sebesar $F = 1,82$.

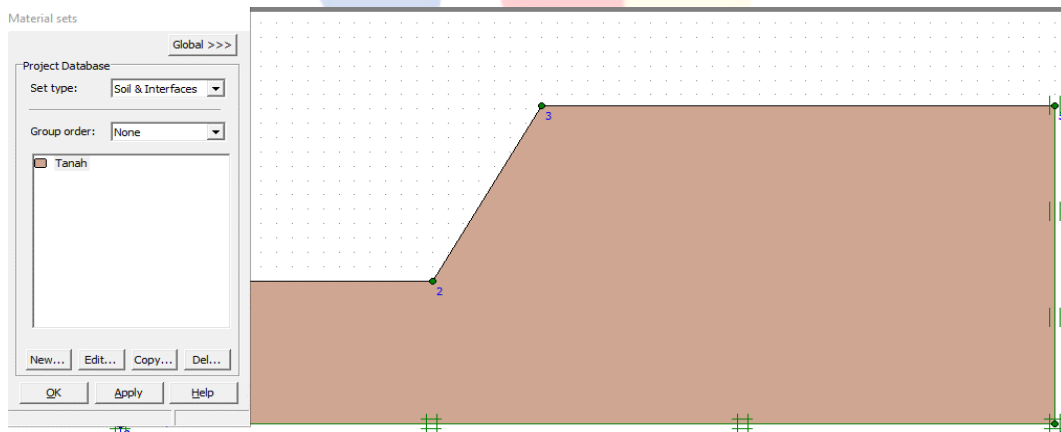


Gambar II.27 Hubungan Antara F_c dengan F_ϕ

2. Perhitungan menggunakan Aplikasi Plaxis V.8.2.

Menurut Wihardi, Murniwansyah, & Saleh (2018) dalam melakukan analisis stabilitas lereng menggunakan Aplikasi Plaxis V.8.2 terdapat beberapa langkah, di antaranya:

- (a) Memasukan data-data tanah yang terdapat pada Gambar II.26 selanjutnya modelkan seperti Gambar II.28



Gambar II.28 Analisis Desain Sederhana dengan 1 Jenis Tanah

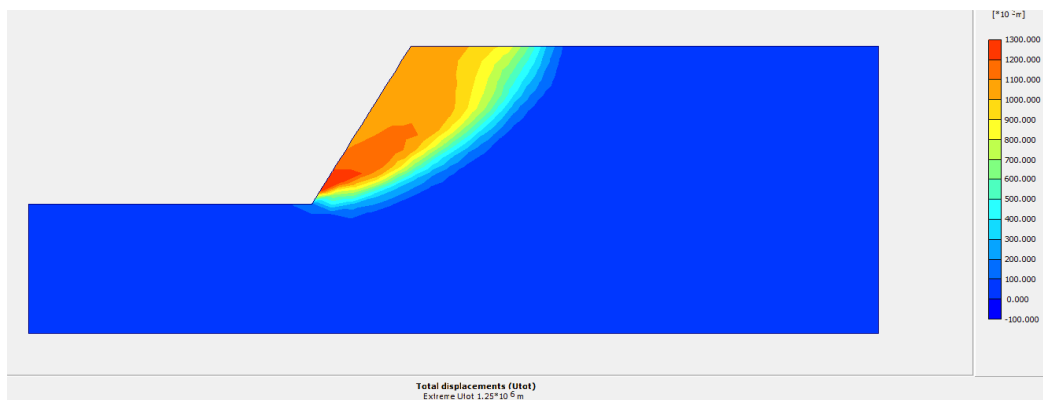
- (b) Pada validasi pemograman ini tidak ada beban yang berada di atas lereng, serta muka air tanah di bawah lereng. Sehingga kita langsung melakukan analisis lereng seperti urutan Gambar II.29.

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water	F
Initial phase	0	0	N/A	N/A	0.00 ...	0	0
✓ Gravity	1	0	Plastic	Total multipliers	0.00 ...	0	1
✓ NILL Step	2	1	Plastic	Staged construction	1.00 ...	2	4
✓ SF	3	2	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	2	6

Gambar II.29 Urutan Analisis Stabilitas Lereng Metode Taylor

(c) Mencari nilai faktor keamanan lereng

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada Gambar II.29 dikeluarkanlah nilai faktor keamanan lereng pada Aplikasi Plaxis V.8.2.



(a) Hasil Analisis Plaxis V.8.2.

Calculation information			
Multipliers			
Step Info			
Step	105 of 105	Extrapolation factor	1.000
PLASTIC STEP		Relative stiffness	0.000
Multipliers			
		Incremental Multipliers	Total Multipliers
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ -Mdisp: 1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ -MloadA: 1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ -MloadB: 1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ -Mweight: 5.500
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ -Maccel: 0.000
Strenght reduction factor	Msf:	0.000	Σ -Msf: 1.843
Time	Increment:	0.000	End time: 1.000
Dynamic Time	Increment:	0.000	End time: 0.000

(b) Hasil Perhitungan dengan Menggunakan Plaxis

Gambar II.30 Analisis Stabilitas Lereng dengan Plaxis V.8.2

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng mendapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,82 dengan menggunakan perhitungan manual serta 1,843 dengan menggunakan perhitungan Aplikasi Plaxis V.8.2. Hal ini membuktikan bahwa perhitungan Aplikasi Plaxis V.8.2 dengan perhitungan manual tidak jauh beda, hanya selisih 0,023 atau tingkat error $< 3\%$.

II.7. Manajemen Biaya Proyek

Menurut Husen (2011) manajemen biaya proyek adalah seluruh kegiatan yang harus memiliki standar kinerja pada biaya proyek yang dibuat secara akurat untuk mencapai sasaran dengan anggaran yang telah disepakati. Manajemen biaya proyek meliputi suatu proses yang diperlukan untuk mencapai semua pekerjaan. Proses-proses itu meliputi:

1. Perencanaan sumber daya;
2. Estimasi biaya;
3. Penganggara biaya;
4. Pengendalian biaya.

Semua hal itu dijadikan satu, yaitu perencanaan anggaran biaya. Perencanaan anggaran biaya merupakan hal yang sangat penting dalam suatu proses konstruksi, sehingga harus dilakukan dengan teliti. Selain itu, menurut Rani (2016) di dalam perencanaan anggaran biaya suatu proyek meliputi *money* (uang), *machine* (mesin), *man-power* (pekerja), *market* (pasar), dan *methode* (Metode) yang digunakan dalam proyek tersebut. Sehingga perencanaan anggaran biaya dapat dilakukan dengan sangat baik dan membuat proyek tersebut mendapatkan keuntungan.

II.7.1. Perencanaan Anggaran Biaya

Menurut Lantang, Sompie & Malingkas (2014) perencanaan biaya merupakan suatu kegiatan merencanakan sesuatu hal dalam bentuk tertentu. Serta memperhitungkan biaya dan susunan pelaksanaan yang dibutuhkan, baik dalam bidang administrasi maupun teknik. Perencanaan biaya dilakukan secara aktual atau nyata berdasarkan hitungan volume pekerjaan, analisis harga satuan dari suatu proyek atau bangunan.

Perencanaan biaya konstruksi dapat dilakukan dengan cara mempelajari terlebih dahulu Gambar rencana dan spesifikasi teknis. Dengan menggunakan Gambar rencana kebutuhan material dapat diketahui, serta dapat menghitung volume dari pekerjaan tersebut. Dalam melakukan kegiatan tersebut, perlu memahami secara menyeluruh mengenai proses konstruksi baik dari jenis dan kebutuhan alat sampai biaya konstruksi. Menurut Rani (2016) hal lain yang dapat memengaruhi biaya konstruksi adalah:

1. Produktivitas tenaga kerja;
2. Kontrak kerja;
3. Ketersediaan material dan peralatan;
4. Faktor eksternal, seperti cuaca, kondisi kahar;
5. Sistem pengendalian manajemen QHSE.

Secara umum dalam merencanakan perhitungan RAB dirumuskan sebagai berikut:

$$RAB = \Sigma (\text{Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}) \quad (2.23)$$

Σ (stigma) adalah jumlah seluruh. Sehingga jumlah seluruh dari perhitungan volume pekerjaan dikalikan dengan harga satuan pekerjaan. Berikut Tabel II.3 menunjukkan mengenai rumus yang digunakan untuk menghitung volume dari setiap pekerjaan.

Tabel II.3 Rumus-Rumus Perhitungan Volume Pekerjaan

Uraian Pekerjaan	Rumus Hitung Volume
Pekerjaan Persiapan	
Pembersihan Lahan	$V = p \times l$ p : panjang lahan (m) l : lebar lahan V : luas lahan (m ²)
Pekerjaan Tanah & Bronjong	
Pek. Penggalan Bronjong layer 1-3	$V_g = p \times l \times t$ p : panjang lahan bronjong (m) l : lebar lahan bronjong (m) t : tinggi lahan bronjong (m)

Tabel II.3 Rumus-Rumus Perhitungan Volume Pekerjaan (Lanjutan)

Uraian Pekerjaan	Rumus Hitung Volume
Pek. Penggalan Bronjong layer 1-3	V_g : Volume galian bronjong (m ³)
Pek. Penggalan Bronjong layer 4-11	$V_g = p \times l \times t$ p : panjang lahan bronjong (m) l : lebar lahan bronjong (m) t : tinggi lahan bronjong (m) V_g : Volume galian bronjong (m ³)
Pek. Pemasangan Batu Bronjong	$V_b = 0,9 (p \times l \times t)$ p : panjang bronjong (m) l : lebar bronjong (m) t : tinggi bronjong (m) V_b : Volume batu bronjong (m ³)
Pek. Perakitan Bronjong	$V_B = 0,9 (p \times l \times t)$ p : panjang bronjong (m) l : lebar bronjong (m) t : tinggi bronjong (m) V_B : Volume batu bronjong (m ³)
Pek. Pemasangan Geotekstile Bronjong	$V_{gt} = p \times l$ p : panjang bronjong (m) l : lebar bronjong (m) V_{gt} : Luas permukaan bronjong (m ²)
Pek. Pemasangan Geogrid Bronjong	$V_{gg} = p \times l$ p : panjang bronjong (m) l : lebar bronjong (m) V_{gg} : Luas permukaan bronjong (m ²)
Pek. Urugan Sirtu Untuk Bronjong Layer 4-11	$V_t = p \times l \times t$ p : panjang lahan dibelakang bronjong (m) l : lebar lahan dibelakang bronjong (m) t : tinggi lahan dibelakang bronjong (m) V_t : Volume timbunan sirtu (m ³)
Pekerjaan Geosintetik	
Pek. Pemasangan Frame	$V_f = p \times t$ p : panjang permukaan lereng (m) t : tinggi permukaan lereng (m) V_f : luas permukaan geoframe (m ²)
Pek. Pemasangan Geosintetik	$V_{gf} = p \times l$ p : panjang bronjong (m)

Tabel II.3 Rumus-Rumus Perhitungan Volume Pekerjaan (Lanjutan)

Uraian Pekerjaan	Rumus Hitung Volume
Pek. Pemasangan Geosintetik	l : lebar bronjong (m) Vgf : luas permukaan geoframe (m ²)
Pek. Pemasangan Geosintetik	Vgo = p x l p : panjang bronjong (m) l : lebar bronjong (m) Vgo : luas permukaan geoframe (m ²)
Pek. Urugan Sirtu	Vt = p x l x t p : panjang lahan dibelakang geoframe (m) l : lebar lahan dibelakang geoframe (m) t : tinggi lahan dibelakang geoframe (m) Vt : Volume timbunan sirtu (m ³)

II.7.2. Analisis Harga Satuan

Menurut Rani (2016) harga satuan merupakan hasil analisis dari perhitungan jumlah harga bahan dan upah tenaga kerja. Harga bahan dan upah pekerja didapat berdasarkan pedoman jurnal harga bahan dan upah tenaga kerja di pasaran dan lokasi pekerjaan. Untuk mendapatkan harga bahan dan upah tenaga kerja yang sesuai dengan lokasi pekerjaan perlu adanya koefesien atau indeks pengali. Secara umum dapat dirumuskan menjadi persamaan 2.20

$$AHS = \Sigma (\text{koefesien} \times \text{harga satuan}) \quad (2.24)$$

Σ (stigma) adalah jumlah dari perkalian antara masing-masing koefesien pekerjaan dengan harga satuan dari setiap pekerjaan. Berdasarkan analisis SNI, koefesien bahan, upah tenaga kerja dan peralatan sudah ditetapkan untuk menetapkan harga yang diperlukan dalam membuat harga satuan pekerjaan. Menurut Husen (2011) komposisi perbandingan antara susunan material, peralatan, upah tenaga suatu pekerjaan juga sudah ditetapkan secara umum didalam SNI. Di dalam analisis biaya SNI, koefesien pekerja dan bahan bangunan dibuat secara umum, tetapi dalam kenyataannya terdapat perbedaan antara produktifitas pekerja dan penggunaan material bangunan di masing-masing proyek. Oleh sebab itu dalam melakukan analisis harga satuan perlu diperhatikan secara teliti agar proyek tersebut tidak mengalami kerugian.

Tetapi terdapat beberapa koefisien yang tidak ada di SNI, seperti koefisien untuk alat berat. Sehingga harus dihitung dalam menentukan koefisien alat berat. Alat berat yang digunakan dalam proyek ini adalah *dump truck*, *excavator backhoe*, dan *vibrator roller*. Secara umum koefisien alat berat dapat dirumuskan pada persamaan 2.21.

$$\text{Koefisien Alat Berat} = 1/Q \quad (2.25)$$

Q merupakan produktivitas alat berat. Alat berat memiliki produktivitasnya masing-masing. Untuk produktivitas alat berat yang digunakan dalam proyek perkuatan lereng ini, dapat melihat tabel II.4.

Tabel II.4 Produktivitas Alat Berat

Alat Berat	Rumus Hitung Produktivitas
Dump Truck	$Q = V \times (60/CT) \times \text{Job efisiensi}$ V : Kapasitas bak (m ³) CT : T ₁ + T ₂ + T ₃ + T ₄ T ₁ : Waktu muat (menit) T ₂ : Waktu tempuh isi (menit) T ₃ : Waktu tempuh kosong (menit) T ₄ : Waktu lain-lain (menit) Q : Produktivitas (m ³ /jam)
Excavator Backhoe	$Q = V \times (60/CT) \times S \times \text{BFF} \times \text{Efisiensi}$ V : Kapasitas bucket (m ³) CT : Waktu siklus (menit) S : Faktor koreksi
Vibrator Roller	$Q = (be \times v \times 1000 \times t \times Fa) / n$ be : lebar efektif pemadatan = b - b ₀ (overlap) m b : lebar efektif pemadatan (1,680m) (m) b ₀ : lebar overlap (0,20m) (m) t : tebal pemadatan (m) v : kecepatan rata-rata alat (km/jam) n : jumlah lintasan Fa : faktor efisiensi alat

(Sumber: Rostiyanti, 2008)