BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Tanah

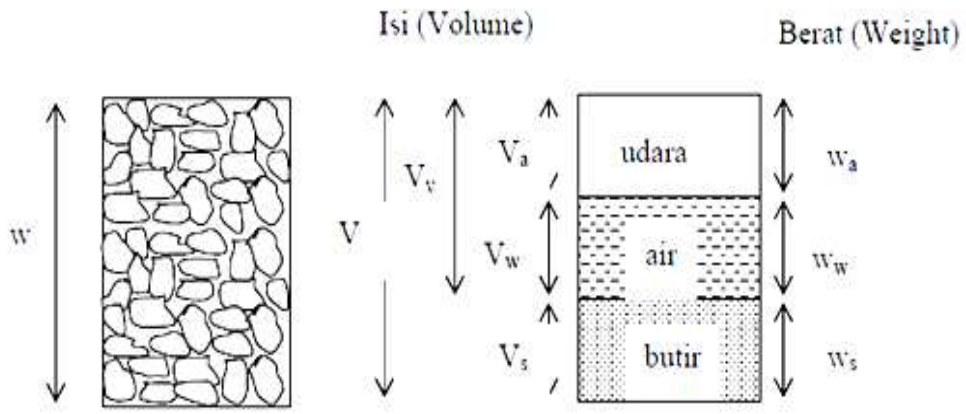
Tanah merupakan sekumpulan tubuh alam yang menduduki hampir sebagian besar dari daratan bumi, tanah juga memiliki banyak manfaat diantaranya adalah sebagai tempat bagi makhluk hidup lainnya dalam melangsungkan kehidupannya dan sebagai penopang setiap bangunan yang berada diatasnya. Tanah berasal dari hasil pelapukan batuan yang terdiri dari butiran – butiran yang dapat dipisahkan atau digabungkan sebagian kecil mineral atau bahan – bahan organik (yang terdiri dari kumpulan bermacam – macam batu, tumbuh-tumbuhan, binatang, dan lain lain).

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

3.1.2 Komponen-Komponen Tanah

Komponen tanah terdiri dari 3 komponen yaitu air, udara dan bahan padat (butiran). Air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah, sedangkan udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis. Bila rongga diantara butiran-butiran terisi oleh udara dan air, tanah pada kondisi jenuh sebagian. Hubungan antara kadar air, angka pori

porositas, berat volume dan lain-lainnya sangat diperlukan dalam penelitian. Diagram yang memperlihatkan fase tanah beserta komponennya dapat dilihat pada Gambar 3.1



berikut ini.

Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

dengan :

W = berat tanah (gr) = Ws + Ww + Wa = Ws + Wa,

V = volume/isi (cm^3) = Vv + Vs,

Vv = volume/isi pori (cm^3) = Vs + Vw,

Va = volume/isi udara (cm^3),

Vw = volume/isi air (cm^3),

Vs = volume/isi butiran (cm^3),

Wa = berat udara = 0, dan

Ww = berat air (gr).

Dari Gambar 3.1 di atas menghasilkan persamaan berat dan volume sebagai berikut :

1. Kadar air (*Moisture Content/water content)*

   Kadar air (w), adalah perbandingan antara berat air (Ww) dengan berat butiran padat (Ws), yang dinyatakan dalam bentuk Persamaan 3.1.

   $$w = \frac{Ww}{Ws} x\ 100\%$$

   (3.1)

2. Berat volume kering (*Dry density*)

   Berat volume kering (γd), adalah perbandingan antara berat butiran padat (Ws) dengan volume total (V) tanah, yang dinyatakan dalam bentuk Persamaan 3.2.

   $$\gamma d = \frac{Ws}{V} x\ 100\%$$

   (3.2)

3. Berat volume jenuh (*Saturated density*)

   Berat volume (γsat), adalah jumlah antara berat air (W) dengan berat butiran padat (Ws) disbanding dengan volume total (V) tanah, yang dinyatakan dalam bentuk Persamaan 3.3.

   $$\gamma sat = \frac{Ww+Ws}{V}\ x\ 100\%$$

   (3.3)

4. Berat volume basah (*Submerged/Wet Densioty*)

   Berat volume basah (γ), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume tanah (Vv), yang dinyatakan dalam bentuk persamaan 3.4.

   $$\gamma = \frac{W}{V}\ x\ 100\%$$

   (3.4)

3.1.3 Klasifikasi Tanah

Menurut Hardiyatmo 2006, klasifikasi tanah adalah suatu sistem yang mengatur beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai beberapa kesamaan sifat dan dimasukkan kedalam kelompok-kelompok dan sub kelompok menurut pemakaiannya. Sistem klasifikasi ini juga berguna untuk memberikan pemahaman bahasa yang mudah dalam menjelaskan secara singkat terkait sifat-sifat tanah yang bervariasi tanpa harus membuat penjelasan yang terperinci.

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang cukup sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas. Klasifikasi tanah dengan sistem *Unified* pertama kali diusulkan oleh *Cassagrande (1942)*, kemudian direvisi oleh kelompok teknis dari *USBR* (*United State Bureau of Reclamation*) (Hardiyatmo, 2006).

3.1.4 Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut persatuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud (Das, 1985). Dalam buku yang lain juga telah disebutkan bahwa kekuatan geser tanah adalah kekuatan dalam memikul beban-beban atau gaya yang dapat menyebabkan terjadinya kelongsoran, keruntuhan, gelincir dan pergeseran tanah.

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Gambar 3.2). Menggunakan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh (Hardiyatmo, 2002).

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Menurut Mohr kekuatan geser tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser tanah yang dimaksud memberikan teori kondisi keruntuhan suatu bahan. Mohr merumuskan keruntuhan (*failure*) kedalam Persamaan 3.5

$$\tau f = c + \sigma tan\varphi \quad (3.5)$$

Memberikan prinsip tegangan efektif yang bekerja pada segumpal tanah. Prinsip ini hanya berlaku pada tanah yang jenuh sempurna. Tegangan normal total (σ) pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan akibat berat tanah total termasuk air didalam ruang pori, persatuan luas, yang arahnya tegak lurus. Sedangkan tekanan air pori (*u*), disebut juga dengan tekanan netral yang bekerja ke segala arah sama besar, yaitu tekanan air yang mengisi rongga di antara butiran padat. Teganga normal efektif (σ') pada suatu bidang di dalam massa tanah, yaitu tegangan yang dihasilkan dari beban berat butiran tanah per satuan luas bidangnya, (Terzaghi, 1923).

Disimpulkan bahwa tegangan normal (σ) adalah jumlah dari tegangan efektif (σ') dan tekanan air pori (*u*). Tegangan normal (σ) dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6.

$$\sigma = \sigma' + u \quad (3.6)$$

Tegangan efektif (σ') berlaku untuk tanah padat. Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, dinyatakan dalam ketentuan tegangan efektif. Tegangan efektif (σ') dapat dinyatakan dalam persamaan Persamaan 3.7.

$$\tau = c' + \sigma \text{ tg } \varphi' \quad (3.7)$$

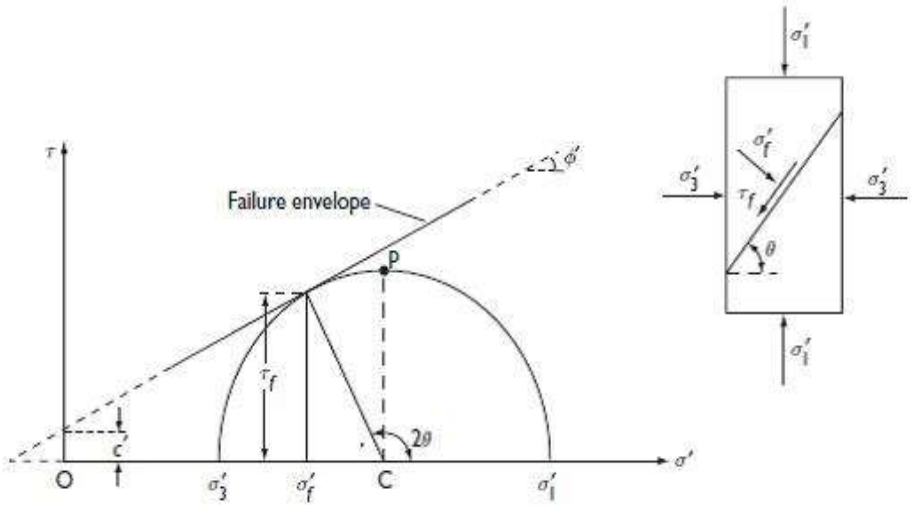
dengan :

τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah

φ = sudut gesek dalam (°)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)



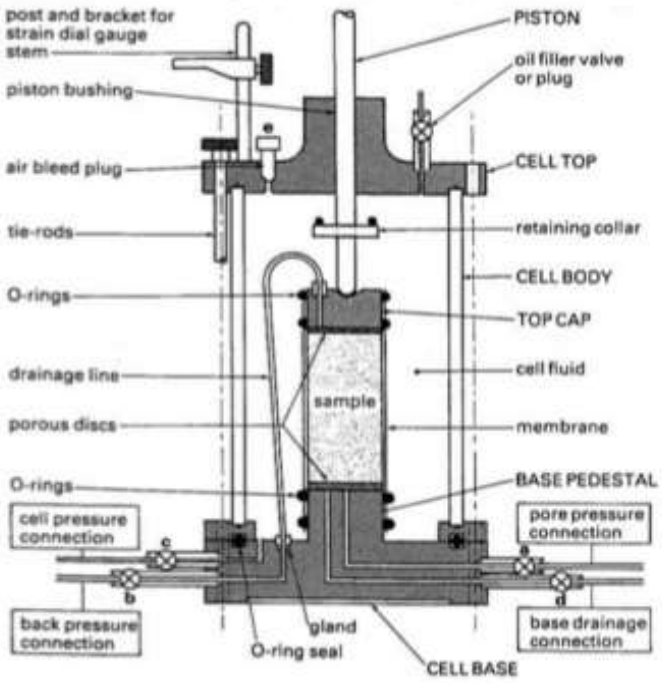
Gambar 3.2 Lingkaran Mohr

(Sumber : Craig, 1997)

Adapun beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah sebagai berikut ini.

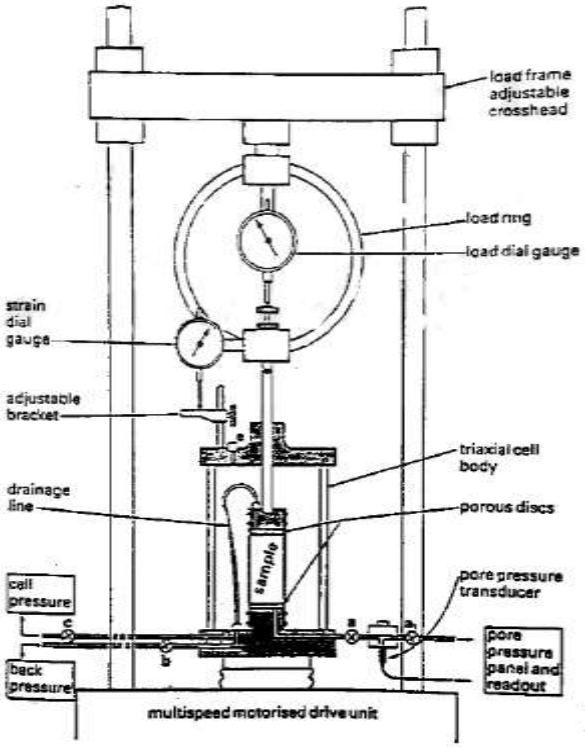
1. Pengujian geser langsug (*Direct shear test)*
2. Pengujian triaksial (*Triaksial test)*
3. Pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*)

Dalam penelitian ini menentukan kuat geser tanah dengan menggunakan pengujian triaksial. Acuan yang digunakan untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan tanpa drainase pada metode pengujian triaksial yaitu pda SNI 03-2455-1991 dan Pd M-22-1996-03. Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 merupakan alat uji yang digunakan dan diagram tata letak pada pengujian triaksial. Sampel tanah dalam kondisi *Uncosolidated-Undrained* yang digunakan pada pengujian ini. Pengujian ini dilakukan minimum 3 kali dengan geser beban normal yang berbeda-beda untuk mendapatkan hasil yang akurat.



Gambar 3.3 Rincian Sel Triaksial

(Sumber : Head, 1986)



Gambar 3.4 Pengaturan Alat Uji Triaksial Dalam Bingkai Pembebanan

(Sumber : Head, 1986)

Pengujian triaksial merupakan pengujian kuat geser yang sering digunakan dan cocok untuk semua jenis tanah. Keuntungannya adalah bahwa kondisi pengaliran dapat dikontrol, tekanan air pori dapat diukur dan bila diperlukan, tanah jenuh dengan permeabilitas rendah dapat dibuat terkonsolidasi (Craig, 1989).

Tegangan geser triaksial adalah salah satu metode yang paling dapat diandalkan untuk menentukan parameter kuat geser. Digunakan secara luas untuk penelitian dan pengujian konvensional. Spesimen tanah pada pengujian ini dengan diameter 35 mm dan panjang umumnya digunakan 70 mm terbungkus membran karet tipis dan ditempatkan didalam ruang silinder plastik yang biasanya diisi air. Spesimen dikenakan tekanan keliling oleh kompresi cairan dalam ruang menyebabkan kegagalan geser dalam

spesimen dan juga menerapkan tegangan aksial melalui ram beban vertikal (*deviator stress*). Tegangan ini dapat diterapkan di salah satu dari cara berikut ini.

1. Tekanan hidrolik dengan penambahan yang sama sampai spesimen gagal (deformasi aksial dari spesimen yang dihasilkan dari beban diterapkan melalui ram diukur dial).
2. Aplikasi deformasi aksial dengan laju yang konstan dengan cara diarahkan atau hidrolik memuat tekan, ini adalah tes ketegagan dikendalikan.

Pengujian ini merupakan pengujian sampel tanah dengan tiga dimensi tekanan. Pada pengujian ini disamping dapat diketahui tegangan geser (τ) juga diperoleh tegangan normal (σ). Kegunaan dari pengujian adalah untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ) dari suatu sampel tanah, serta sifat-sifat elastic tanah seperti; modulus tegangan-regangan (modulus elastis, (Es), modulus geser (G), dan nilai banding (angka) poisson (μ). Pengukuran kekuatan geser dilakukan dengan memberikan tekanan vertikal pada sampel, dari proving ring dapat diketahui tekanan vertikal maksimum, yaitu pada waktu terjadi *failure*. Untuk perhitungan selanjutnya, maka analisis data yang digunakan menggunakan Persamaan 3.8 sampai Persamaan 3.13 berikut ini.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{Lo}$$

(3.8)

$$\text{Luas Tekoreksi} = \frac{Ao}{1-\varepsilon}$$

(3.9)

$$\text{Tegangan Deviator} = \frac{P}{A\prime}$$

(3.10)

$$\sigma = \sigma 3 + \sigma \Delta$$

(3.11)

$$x = \frac{\sigma 1 + \sigma 3}{2}$$

(3.12)

$$r = \frac{\sigma 1 - \sigma 3}{2}$$

(3.13)

dengan :

ε = regangan,

$\Delta\sigma_1$ = tegangan Deviator (kg/cm²),

σ_1 = tekanan utama mayor,

σ_3 = tekanan utama minor,

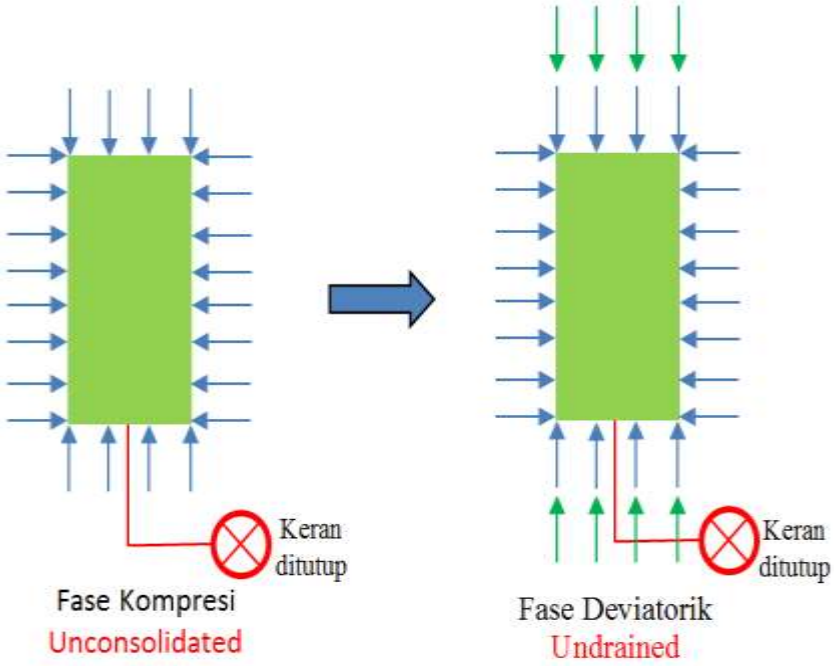
$\Delta\sigma$ = tekanan Deviator,

x = absis (pusat lingkaran), dan

r = jari-jari lingkaran.

Pengujian dengan kondisi *unconsolidated undrained*, drainase dari spesimen tanah tidak diizinkan selama penerapan tekanan ruang. Spesimen uji ditunjukan oleh kegagalan dari penerapan deviator stress ($\Delta\sigma_d$) dan dicegahnya drainase. Karena drainase tidak diperbolehkan pada setiap tahap, pengujian dapat dilakukan dengan cepat. Penerapan tekanan ruang keliling. Tekanan air pori dalam spesimen tanah akan meningkat. Peningkatan lebih lanjut dalam tekanan air pori akan terjadi karena aplikasi deviator stress.

Untuk uji UU, baik pada fase kompresi maupun pada fase deviatorik keran ditutup, artinya tidak ada air yang keluar dari sampel benda uji. Selama benda uji tidak diperbolehkan keluar, benda uji tidak mengalami perubahan volume sama sekali karena air diasumsikan *incompressible.* Tidak berubahnya perubahan volume bukan berarti sama artinya dengan tidak berubah bentuk, karena setelah diuji benda uji mengalami keruntuhan sehingga membuat benda uji lebih mampat, dapat dilihat pada Gambar 3.5 dibawah ini.

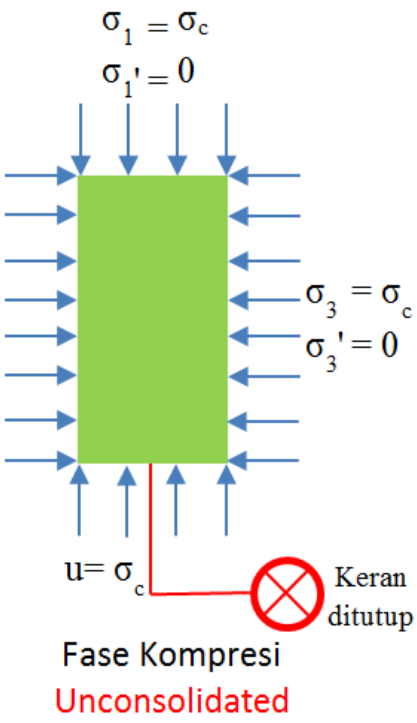


Gambar 3.5 Skematis Uji UU

(Sumber : James-Oetomo, 2013)

1. Fase kompresi (*Unconsolidated*)

Pada fase ini, benda uji diberi tekanan sel $\Delta\sigma_c$ secara bertahap hingga mencapai tegangan kekangan yang diharapkan σ_c. Karena pada fase ini keran ditutup, maka tegangan dari sel triaksial seluruhnya akan ditahan oleh tegangan air pori dari tanah. Diakhir fase komprase kita akan memperoleh nilai tegangan yaitu tegangan total, tegangan air pori dan tegangan efektif, dapat dilihat pada Gambar 3.6 dibawah ini.



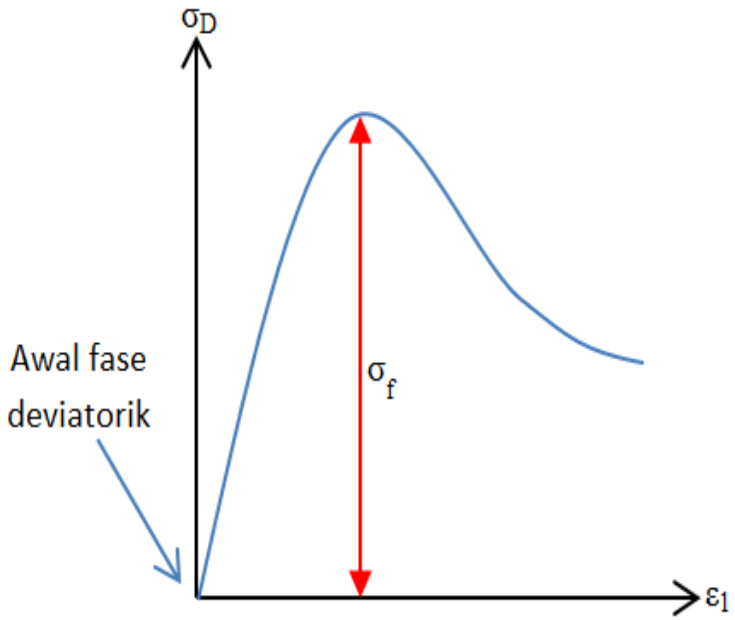
Gambar 3.6 Uji UU-Tegangan Diakhir Fase Kompresi

(Sumber : James-Oetomo, 2013)

2. Fase deviatorik (*undrained*)

   Pada fase ini, pelat dibagian atas dan bawah benda uji akan menekan benda uji dengan tegangan aksial menghasilkan tegangan deviatorik pada benda uji. Saat proses pemberian tegangan aksial (yang tentunya menghasilkan tegangan deiatorik), akan terjadi penambahan atau pengurangan tegangan air pori ±*uf* serta terjadi penambahan tegangan efektif tanah akibat proses *shearing* pada fase *undrained.*

Bila tanah tersaturasi sempurna, maka besarnya penambahan tegangan efektif tanah ini akan selalu sama tidak peduli berapapun besarnya kompresi pada fase *unconsolidated* ini adalah hal yang sangat logis, karena pada fase kompresi dan fase deviatorik disini tidak ada perubahan angka pori/porositas dari benda uji, sehingga pada uji *Unconsolidated Undrained,* benda uji memiliki nilai tegangan efektif yang sama untuk variasi tegangan kompresi yang berbeda. Hasil tipikal dari pengukuran



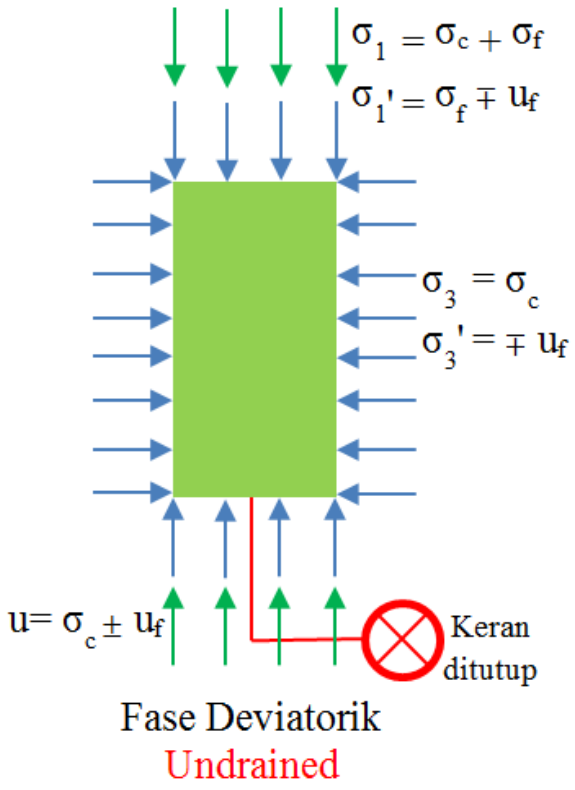
tegangan deviatorik selama pembebanan deviatorik dapat dilihat pada Gambar 3.7 di bawah ini.

Gambar 3.7 Tipikal Hasil Uji UU (Fase Deviatorik)

(Sumber : James-Oetomo, 2013)

Keruntuhan benda uji menurut kriteria Mohr-Coulomb tergantung dari kekuatan maksimal benda uji, sehingga saat menggambarkan tegangan total di lingkaran Mohr, maka kita harus menggunakan tegangan deviatorik maksimal dari kurva diatas. Pada saat puncak deviatorik, benda uji akan dapat tambahan tegangan aksial sebesar σ_f pada arah prinsipalnya. Nilai ini tidak tergantung pada besarnya tegangan kompresi pada fase kompresi (*consolidated*).

Dengan mengukur tegangan air pori, kita dapat menghitung tegangan efektif tanah, namun disini tidak perlu dilakukan, karena secara intuisi telah dijelaskan bahwa besarnya tegangan aksial tambahan σ_f yang diperlukan untuk mencapai keruntuhan dari benda uji selalu konstan, dapat dilihat Gambar 3.8 dibawah ini.



Gambar 3.8 Uji UU-Tegangan Pada Fase Deviatorik (Disaat *Rupture*)

(Sumber : James-Oetomo, 2013)

3.2 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan suatu upaya untuk memperoleh informasi bawah tanah untuk perencanaan perkuatan bangunan. Penyelidikan tanah harus mencapai kedalaman dimana tanah telah memberikan daya dukungnya. Penyelidikan tanah

mencakup antara lain, pengeboran tanah, pengambilan contoh tanah, pengujian lapangan, pengujian laboratorium dan observasi air tanah. Kedalaman penyelidikan tergantung pada Jenis Struktur, Jenis Tanah, Prakiraan awal jenis perkuatan yang akan dipakai. Dalam penelitian ini penyelidikan tanah dilakukan dengan cara menggali lubang sedalam 1,5 meter, dan sampel dibawa ke laboratorium. Tanah yang diambil merupakan tanah asli dan tanah yang tidak terganggu, yaitu bebas dari humus dan akar tumbuh-tumbuhan.

3.3 Stabilitas Lereng

Lereng adalah suatu tanah dengan bentuk permukaan yang tidak datar dan memiliki kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Terdapat dua jenis lereng yaitu lereng alami dan lereng buatan. Lereng alami adalah lereng yang terbentuk sendiri karena proses geologi yang terjadi di muka bumi, misalnya lereng di perbukitan dan lereng di tepi sungai. Sedangkan lereng buatan terjadi karena dibuat oleh manusia berdasakan kebutuhan tertentu, misalnya lereng di tepi jalan dan lereng di pinggiran sungai. Pada setiap jenis lereng pasti ada kemungkinan terjadi longsor, karena di setiap tanah yang memiliki dua permukaan yang berbeda ketinggiannya akan menyebabkan gaya gravitasi dari posisi tanah yang lebih tinggi dan berat untuk menggerakkan tanah ke posisi yang lebih rendah.

3.3.1 Keruntuhan Tanah

Kelongsoran bisa terjadi secara tiba-tiba pada jenis lereng alami maupun buatan dengan ada atau tidaknya tanda-tanda yang terjadi. Kelongsoran disebabkan karena tidak kuatnya tanah menahan gaya geser yang terjadi.

Menurut Das (1994) yang dikutip oleh Violetta (2014), suatu beban yang dikerjakan pada suatu massa tanah akan selalu menghasilkan tegangan-tegangan dengan intensitas yang berbeda-beda di dalam zona berbentuk bola lampu (*bulb*) di bawah beban tersebut. Hal yang pertama yang harus dilakukan adalah meninjau kekuatan tanah. Ini

dikarenakan beban yang bekerja pada massa tanah memerlukan dua pertimbangan yaitu :

1. Besarnya penurunan total,
2. Kemungkinan keruntuhan tanah. Ini dapat berupa suatu gerakan rotasi tanah di bawah areal yang mengalami pembebanan atau kadang-kadang berupa suatu "keruntuhan pons" (*punching failure*). Yang belakangan ini biasanya merupakan gerakan yang terbatas; walaupun demikian, besarnya mungkin cukup untuk menyebabkan gangguan struktural yang cukup berarti pada struktur atas.

3.3.2 Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Kelongsoran pada lereng bisa terjadi karena adanya faktor-faktor luar yang berubah dan mempengaruhi kestabilan lereng yaitu kondisi topografi, seismik, aliran air tanah, kehilangan kekuatan, perubahan tegangan, dan cuaca. Adanya perubahan atau pergerakan dari faktor-faktor luar pada lereng mengakibatkan lereng mempunyai kecenderungan untuk tergelincir. Walaupun dalam jangka wktu yang lama lereng telah stabil.

Menurut Bowles (1991, dalam Violetta 2014), Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja.

Menururt Hardiyatmo (2010), Tanah longsor merupakan perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau campuran dari material tersebut yang bergerak ke bawah atau keluar lereng. Penyebab terjadingya longsor dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah kadar air tanah yang melebihi batas dan beban yang berada diatas tanah tersebut tidak mampu didukung oleh daya dukung tanah dan pengaruh air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika

air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah tersebut akan menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng karena adanya pengaruh dari beban yang berada diatas lereng tersebut sehingga daya dukung tanah yang berada disekitar lereng bisa runtuh (*collaps*) karena tidak mampu menahan beban yang ada diatasnya.

1. Pengaruh Iklim

   Kuat geser tanah (terutama lempung) berubah dari waktu ke waktu bergantung pada iklim. Beberapa jenis tanah saat musim hujan mengembang dan saat musim kemarau menyusut. Selain itu kuat geser tanah saat musim hujan menjadi sangat rendah dibandingkan dengan saat musim kemarau. Oleh karena itu, kuat geser tanah yang dipakai dalam analisis stabilitas lereng harus didasarkan pada kuat geser tanah di musim hujan, atau kuat geser pada saat tanah jenuh air (Hardiyatmo, 2010).

2. Pengaruh Air

   Aliran air atau rembesan menjadi faktor sangat penting dalam stabilitas tanah terutama pada suatu lereng, namun hal tersebut sulit untuk diidentifikasi dengan baik. Erosi permukaan lereng dapat menyebabkan terkikisnya tanah permukaan yang mengurangi tinggi lereng, sehingga menambah stabilitas lereng. Sebaliknya, erosi yang memotong kaki lereng dapat menambah tinggi lereng, sehingga mengurangi stabilitas lereng. Jika pada lereng terjadi penurunan muka air tanah dalam lereng di dekat lereng, contohnya penurunan muka air mendadak pada saluran atau sungai, maka terjadi pengurangan gaya angkat air pada massa tanah, yang menambah beban lereng. Kenaikan beban menyebabkan kenaikan tegangan geser, yang bila tahanan geser tanah terlampaui akan mengakibatkan longsoran lereng. Hal ini banyak terjadi pada lereng yang tanahnya berpermeabilitas rendah (Hardiyatmo, 2010).

3. Pengaruh Rayapan (*Creep*)

   Suatu tanah dapat dipengaruhi oleh siklus kembang-susut. Hal ini terjadi karena diakibatkan adanya perubahan suhu, perubahan musim dari kemarau ke hujan, dan

untuk di daerah dingin dapat diakibatkan oleh pengaruh pembekuan air. Tanah akan melawan gaya-gaya gravitasi saat tanah naik karena mengembangi. Namun saat tanah menyusut, tanah turun dibantu oleh garivitasi. Kedua gerakan tersebut menghasilkan gerakan perlahan lereng turun arah ke bawah (Hardiyatmo, 2010).

3.3.3 Jenis Longsor

Longsoran (*slides*) merupakan gerakan material pembentuk lereng yang diakibatkan oleh terjadinya kegagalan geser, di sepanjang satu atau lebih bidang longsor. Massa tanah yang bergerak bisa menyatu atau terpecah-pecah. Perpindahan material total sebelum longsoran bergantung pada besarnya regangan untuk mencapai kuat geser puncaknya dan pada tebal zona longsornya (Hardiyatmo, 2010).

Longsoran dapat dicegah apabila gaya dorong (gaya penyebab longsor) tidak melebihi gaya perlawanan yang berasal dari tahanan geser tanah sepanjang bidang longsor.

1. Longsoran Translasi

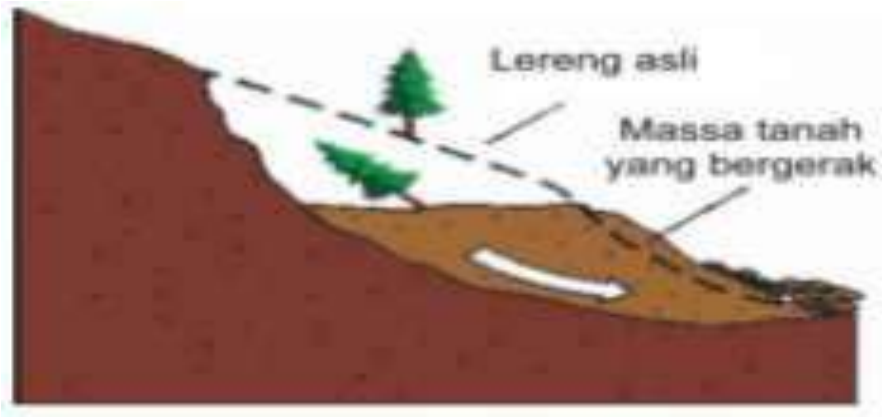
   Longsoran translasi adalah bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai (Gambar 3.9).

Gambar 3.9 Longsoran Translasi

(Sumber : Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)

2. Longsoran Rotasi

Longsoran rotasi adalah bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung (Gambar 3.10).

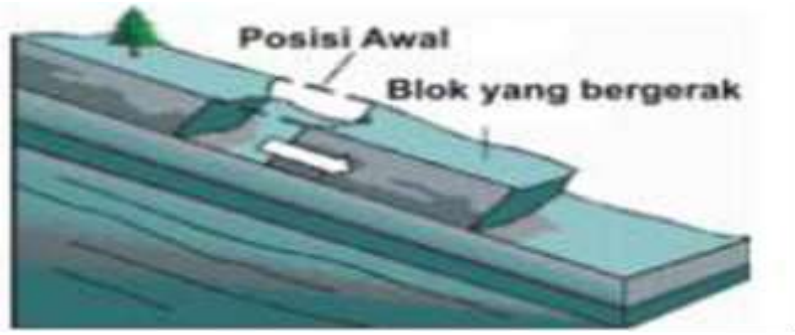


Gambar 3.10 Longsoran Rotasi

(Sumber : Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)

3. Pergerakan Blok

Pergerakan blok adalah perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsoran ini disebut juga longsoran translasi blok batu (Gambar 3.11).



Gambar 3.11 Longsoran Blok

(Sumber : Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)

4. Runtuhan Batu

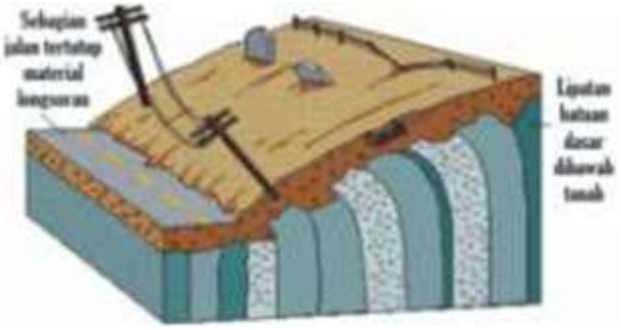
Runtuhan batu terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Umumnya terjadi pada lereng yang terjal hingga menggantung terutama di daerah pantai. Batu-batu besar yang jatuh dapat menyebabkan kerusakan yang parah (Gambar 3.12).

Gambar 3.12 Longsoran Runtuhan Batu

(Sumber : Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)

5. Tanah

Rayapan Tanah adalah jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Jenis tanah longsor ini hampir tidak dapat dikenali. Setelah waktu yang cukup lama longsor jenis rayapan ini bisa menyebabkan tiang-tiang telepon, pohon, atau rumah miring ke bawah (Gambar 3.13).



Gambar 3.13 Longsoran Rayapan Tanah

(Sumber : Departmen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)

6. Aliran Bahan Rombakan

Jenis tanah longsor ini terjadi ketika massa tanah bergerak didorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan lereng, volume dan tekanan air, dan jenis materialnya. Gerakannya terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai ratusan meter jauhnya. Di beberapa tempat bisa sampai ribuan meter seperti di daerah aliran sungai disekitar gunung api. Aliran tanah ini dapat menelan korban cukup banyak (Gambar 3.14).

Gambar 3.14 Longsoran Aliran Bahan Rombakan

(Sumber : Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2008)

3.3.4 Mengatasi Kestabilan Lereng

Mengatasi keruntuhan lereng dilakukan untuk mencegah terjadinya longsor pada daerah yang rawan dan potensial. Memperhatikan penyebab utama longsor merupakan pencegahan yang tepat pada kondisi tersebut.

Terdapat beberapa langkah dalam hal menangani longsor antara lain: pemetaan geologi topografi daerah yang longsor, pemboran untuk mengetahui bentuk pelapisan tanah/batuan dan bidang gelincirnya, pemasangan piezometer untuk mengetahui muka air atau tekanan air porinya, dan pemasangan *slope indicator* untuk mencari bidang geser

yang terjadi. Selain itu dilakukan pula pengambilan tanah tidak terganggu, terutama pada bidang geser untuk dipelajari besar kekuatan tahanan gesernya (Violetta, 2014).

Adapun cara untuk menstabilkan lereng yang berpotensi terjadi bencana longsor adalah sebagai berikut:

1. Gaya penggerak atau momen penyebab longsor diperkecil, misal merubah lereng lebih datar atau memperkecil sudut kemiringan,
2. Gaya lawan atau momen penahan longsor diperbesar, misal memasang dinding atau tembok penahan tanah (cara mekanis).

3.4 Analisis Kestabilan Lereng

Pergerakan tanah adalah suatu gerakan yang bergerak kebawah oleh tanah maupun gerakan penyusun lereng karena terjadinya gangguan kestabilan tanah, hal ini disebut dengan kelongsoran tanah.

Menurut Das. (1994) yang dikutip oleh Violetta (2014), dalam menganalisis stabilitas lereng meliputi konsep kemantapan lereng yaitu penerapan pengetahuan tentang kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser pada tanah dapat terjadi akibat gerak relatif antar butirnya, maka dapat disimpulkan bahwa kekuatan geser terjadi atas 2 hal yaitu :

1. Bagian yang bersifat kohesif, tergantung pada macam tanah dan ikatan butirnya,
2. Bagian yang bersifat gesekan yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.

Konsep umum keseimbangan batas (*General Limit Equilibrium*) merupakan dasar untuk melakukan analisis stabilitas lereng. Untuk menghitung faktor keamanan (SF) yang melawan gaya runtuh pada stabilitas lereng tersebut. dapat menggunakan Persamaa 3.14 berikut ini.

$$SF = \frac{\tau}{\tau d}$$

(3.14)

dengan :

SF = nilai factor keamanan terhadap kekuatan tanah,

T = kekuatan geser rata-rata dari tanah (kN/m^2), dan

τ_d = tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor kN/m^2)

Menurut teori Mohr-Coulomb, disepanjang suatu bidang longsor, tahanan geser maksimum (τ) dapat dikerahkan oleh tanah, yang dituliskan dengan Persamaan 3.15 berikut ini.

$$\tau = c + \tau \text{ tg } \varphi$$

(3.15)

dengan :

c = kohesi,

σ = tegangan normal, dan

φ = sudut gesek dalam tanah.

Menggunakan cara yang sama dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) akibat beban tanah dan beban – beban lain pada bidang longsornya seperti Persamaan 3.16 berikut ini.

$$\tau_d = c_d + \sigma \text{ tg } \varphi_d$$

(3.16)

dengan :

c_d = kohesi, dan

φ_d = sudut gesek dalam

Substitusikan Persamaan 3.15 dan 3.16 ke dalam Persamaan 3.14 maka diperoleh persamaan seperti Persamaan 3.17 berikut ini.

$$F = \frac{c + \sigma\, tg\, \varphi}{cd + \sigma\, tg\, \varphi d}$$

(3.17)

Persamaan 3.17 dapat pula dituliskan dalam bentuk persamaan 3.18 berikut ini.

$$c_d + \sigma\, tg\, \varphi = \frac{c}{F} + \sigma\, \frac{tg\varphi}{F}$$

(3.18)

Untuk memberikan faktor aman terhadap masing-masing komponen kuat geser, faktor aman dapat dinyatakan dengan Persamaan 3.19 dan 3.20.

$$Fc = \frac{c}{cd}$$

(3.19)

$$F\varphi = \frac{tg\, \varphi}{tg\, \varphi d}$$

(3.20)

dengan :

Fc = faktor aman pada komponen kohesi, dan

Fφ = faktor aman pada komponen gesekan.

Apabila faktor keamanannya lebih besar dari pada satu umumnya suatu lereng dapat dikatakan stabil. Hal ini tergantung dari kekuatan geser tanahnya. Pergeseran tanahnya terjadi disebabkan adanya gerakan relatif antar butir-butir tanah. Karenanya, kuat geser tanah tergantung pada gaya yang bekerja antar butir-butirnya. Umumnya, faktor aman stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama denga 1,2 -1,5.

Menurut Bowles (1984) dalam Heryono (2010) membedakan tingkat longsor berdasarkan faktor aman pada Tabel 3.12.

Tabel 3.1 Nilai Faktor Aman Terhadap Bidang Longsor

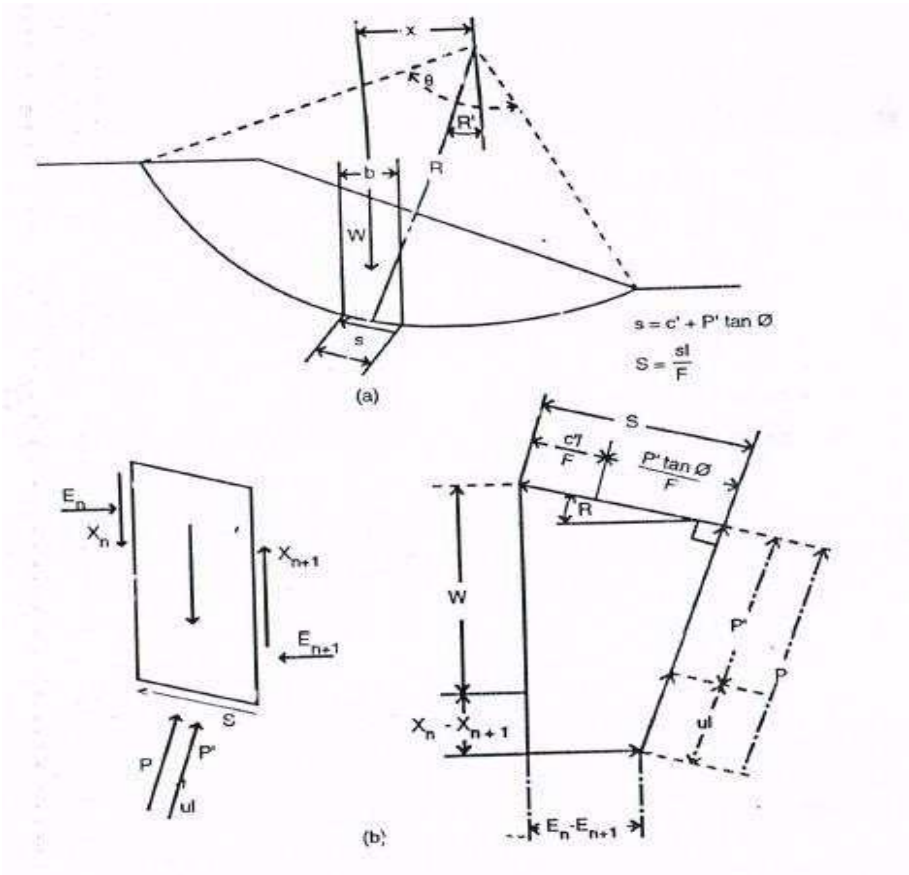
Faktor aman	Kejadian

FK≤ 1,07	Longsor sering terjadi
1,07 < FK <1,25	Longsor dapat terjadi
FK ≥1,25	Longsor jarang terjadi

(Sumber: Bowles, 1984)

3.4.1 Metode *Fellenius*

Fellenius memperkenalkan metode *Fellenius* pertama kali berdasarkan bahwa gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. *Fellenius* mengemukakan metodenya dengan mengasumsikan bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja ditengah-tengah *slice.* Dan *d*iasumsikan pula bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan karena dianggap sama dengan 0 (Violetta, 2014). Gambaran sistem gaya dengan cara *Fellenius* dapat dilihat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.15 di bawah ini.



Gambar 3.15 Sistem Gaya Pada Cara *Fellenius*

(Sumber : Violetta, 2014)

Gaya P ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya lain dalam arah garis kerja P.

$$P = (W + Xn - Xn+1) \cos \alpha - (En - En+1) \sin \alpha \quad (3.21)$$

$$P = W \cos \alpha \, (Xn - Xn+1) \cos \alpha - (En - En+1) \sin \alpha \quad (3.22)$$

Nilai : $(Xn - Xn+1) \cos \alpha - (En - En+1) \sin \alpha = 0$ (3.23)

Sehingga : $P = W \cos \alpha$

(3.24)

Dalam analisis tegangan efektif harga faktor keamanan seperti berikut:

$$Fk = \frac{\Sigma\, c'l + (p - ul)\tan\theta'}{\Sigma\, W \sin\alpha}$$

(3.25)

Dengan memasukkan harga P dari persamaan diatas, maka diperoleh harga Fk seperti berikut :

$$Fk = \frac{\Sigma\, [c'l + (W\cos\alpha - ul)\tan\theta\prime]}{\Sigma\, W \sin\alpha}$$

(3.26)

dengan :

c’ = kohesi tanah dalam kondisi tegangan efektif,

l = panjang busur segmen,

W = berat segmen tanah,

u = tegangan air pori,

θ = sudut geser dalam tanah, dan

α = sudut antara garis vertikal dan jari-jari R.

(Apri, dkk 2014).

Analisis data pada penelitian ini akan menggunakan perhitungan manual. Perhitungan manual pada analisis data menggunakan Rumus *Fellenius*. Menurut Anderson dan Richard, (1987 dalam Violleta 2014) analisis Faktor Keamanan dapat dianalisis dengan :

1. Kriteria Mohr-Coulomb

   τ = c’ + σ’ tan θ’

   (3.27)

   dengan :

   τ = kuat geser tanah,

   c’ = kohesi tanah efektif,

   σ’ = tegangan normal efektif, dan

θ’ = sudut geser dalam tanah efektif.

2. Tegangan normal efektif

$$\sigma' = \sigma - u \tag{3.28}$$

dengan :

σ = tegangan normal total, dan

u = tekanan air pori.

3. Tegangan normal total yang bekerja pada bidang longsor

$$\sigma = \frac{Pw}{l.1} \tag{3.29}$$

dengan :

Pw = gaya normal akibat berat sendiri tanah,

l = lebar alas irisan, dan

1 = satu satuan lebar bidang longsor.

4. Gaya-gaya yang diperlukan untuk mengakibatkan longsor harus lebih kecil daripada gaya-gaya yang ada sehingga faktor keamanan akan menjadi lebih besar atau sama dengan satu. Agar lereng menjadi stabil, atau dengan kata lain:

$$FK = \frac{\text{Tegangan geser yang ada}(\tau)}{\text{Tegangan geser penyebab longsor } (\tau')} \tag{3.30}$$

dengan :

FK > 1,5 menunjukkan kondisi lereng stabil,

FK = 1,5 menunjukkan kondisi lereng kritis, dan

FK < 1,5 menunjukkan kondisi lereng tidak stabil.

5. Tegangan geser

$$\tau' = \tau / F \tag{3.31}$$

Gaya geser yang diperlukan

$$S = \tau \,.\, l \,.\, 1 \tag{3.32}$$

dengan :

τ = tegangan geser, dan

S = gaya geser.

6. Komponen gaya tangensial atau gaya yang bekerja sejajar irisan (Tw)

$$Tw = \tau . l . 1 \quad (3.33)$$

7. Komponen gaya normal (Pw) yang bekerja pada pusat alas irisan akibat berat sendiri tanah

$$Pw = W . \cos \alpha \quad (3.34)$$

8. Komponen gaya tangensial (Tw) akibat berat massa tanah

$$Tw = W \sin \alpha \quad (3.35)$$

9. Maka diperoleh suatu persamaan Faktor Keamanan yaitu :

$$FK = \frac{\Sigma [(c'l + \{Pw - u.l\} \tan \theta')]}{\Sigma W \sin \alpha} \quad (3.36)$$

10. Dan selanjutnya diperoleh persamaan Faktor Keamanan akibat berat sendiri tanah yaitu :

$$FMw = \frac{\Sigma [(c'l + \{ W \cos \alpha - u.l\} \tan \theta')]}{\Sigma W \sin \alpha} \quad (3.37)$$

Fellenius merumuskan persamaan diatas yang merupakan rumus dasar Faktor Keamanan akibat berat sendiri tanah (W) yang didapat dengan cara meninjau kesetimbangan momen seluruh irisan terhadap titik pusat rotasi O.

11. Perbandingan antara seluruh komponen momen penahan longsor dengan momen penyebab longsor untuk seluruh irisan akan memperoleh nilai faktor keamanan, seperti yang dituliskan pada Persamaan 3.38 dibawah ini.

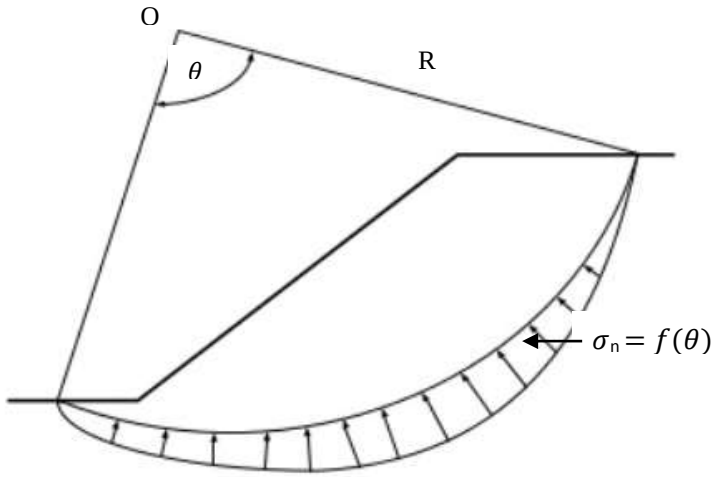
$$FMw = \frac{\Sigma \text{ Momen Penahan Longsor}}{\Sigma \text{ Momen Penyebab Longsor}} \quad (3.38)$$

3.4.2 Metode *Taylor* (1948)

Metode kestabilan *Taylor* diterbitkan melalui analisis tegasan keseluruhan dan menggunakan kaedah bulatan geseran. Melalui kaedah ini, bulatan gelinciran genting bagi sesuatu cerun ditentukan olah dua faktor yaitu kedalaman lapisan kukuh dan jarak daripada kaki cerun yang mungkin berlaku gelinciran. Penggunaan metode *Taylor* lebih sesuai bagi masalah–masalah yang melibatkan tanah lempung tepu tak bersalir (yaitu bagi φ =0). Digunakan untuk lereng pada tanah φ – c homogen atau tanah kohesif murni (φ = 0), tanpa gaya gempa dan rembesan. Jika suatu tanah hanya mempunyai nilai kohesi saja maka penyelesaiannya lebih mudah dibandingkan dengan tanah yang mempunyai kedua komponen kuat geser yaitu kohesi (c) dan sudut gesek dalam (φ), yang dimana penyelesaiannya akan jauh lebih sulit.

Pada tanah kohesif, tegangan normal yang bekerja di sepanjang bidang longsor tidak mempengaruhi tahanan geser pada bidang longsor tersebut. Jadi, dengan mengambil momen terhadap pusat lingkaran dapat di evaluasi stabilitasnya. Akan tetapi distribusi gaya normal dapat mempengaruhi distribusi tahanan gesernya, jika tanah memiliki komponen gesekan (φ). Pada bidang longsor tegangan normal yang bekerja tidak merata sama, akan tetapi merupakan fungsi dari besarnya sudut pusat lingkaran (θ), seperti yang terlihat pada Gambar 3.16 dibawah ini.

Gambar 3.16 Distribusi Tegangan Normal pada Bidang Longsor

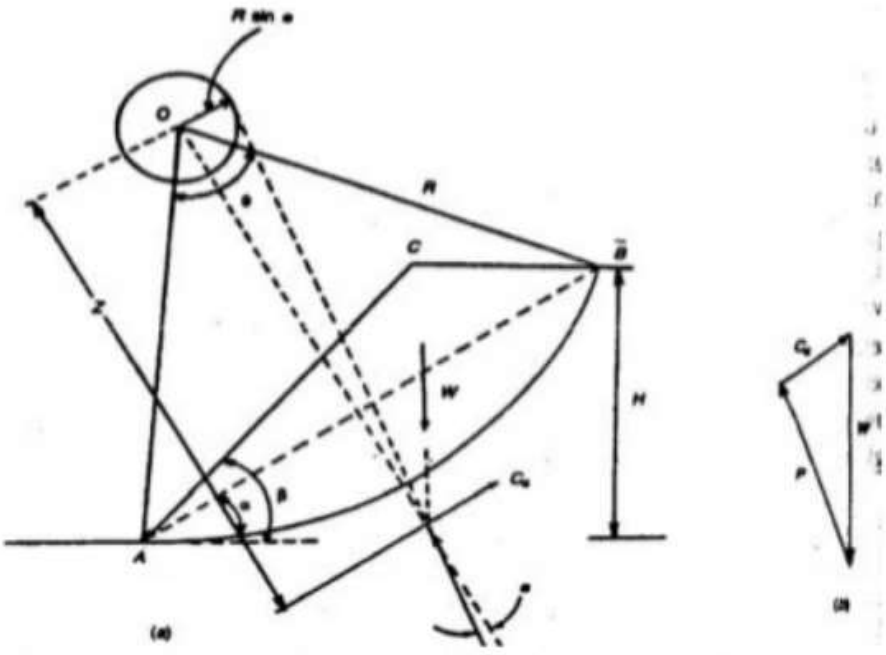


(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

Taylor (1948) memberikan penyelesaian analisis stabilitas untuk tanah yang mempunyai sudut gesek dalam (φ) dan kohesi (c), dimana tekanan air pori dianggap nol. Karena tanah mempunyai c dan φ, maka kuat geser tanah dapat dinyatakan oleh Persamaan :

$$\tau = c + \sigma \text{ tg } \varphi \qquad (3.39)$$

Suatu lereng tanah homogen, dengan kohesi c dan sudut gesek dalam φ, ditunjukkan dalam Gambar 3.17. Bidang longsor yang dicoba lewat kaki lereng adalah bagian lingkaran AB. Lingkaran bidang longsor tersebut berjari-jari R dan berpusat di titik O.



Gambar 3.17 Analisis Stabilitas Lereng dengan φ > 0

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

Gaya-gaya yang bekerja pada massa tanah yang akan longsor permeter tegang lurus bidang longsor yaitu :

1. Gaya berat W = luas (ABC) x γ x 1
2. Kohesi sepanjang bidang longsor adalah Cd = cd x (panjang garis lurus AB)

   Cd tahanan geser dari komponen kohesi, resultan gaya Cd sejajar garis AB dan berjarak z dari O.

   Tinjau Cd = cd x panjang lengkung AB x R

   Lengan momen z dinyatakan oleh,

   z = (cd x panjang lengkung AB) R/Cd

   $= R\ x \frac{panjang\ lengkung\ AB}{panjang\ garis\ lurus\ AB}$

3. Resultan gaya normal dan gaya gesek sepanjang lengkung AB, sebesar P dan membuat sudut φ terhadap arah garis normal pada lengkung AB. Untuk keseimbangan gaya P harus lewat titik dimana W dan Cd berpotongan diperoleh dari poligon gaya tersebut, kohesi yang dikerahkan untuk keseimbangan dapat diperoleh dengan Persamaan 3.40 dibawah ini.

   $$cd = \frac{Cd}{panjang\ garis\ AB} \qquad (3.40)$$

   Untuk menentukan cd maksimum (kondisi kritis lereng) harus dilakukan percobaan. Kohesi yang dikerahkan sepanjang bidang longsor untuk keseimbangan adalah :

   $$cd = \gamma\ H\ [f\ (\alpha, \beta, \theta, \varphi)] \qquad (3.41)$$

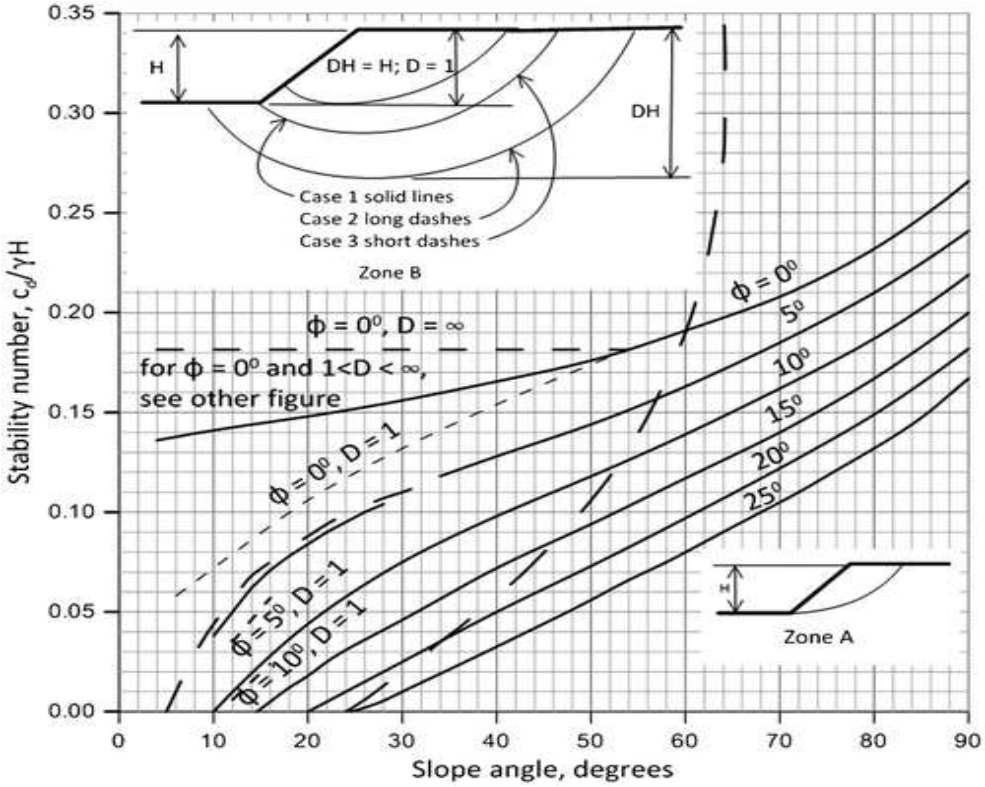
   Pada kondisi kritis F = 1, H = Hc dan c = cd dan persamaan menjadi :

   $$cd = \gamma\ Hc\ [f\ (\alpha, \beta, \theta, \varphi)] \qquad (3.42)$$

   Bila dinyatakan dalam nilai banding angka stabilitas :

$$\frac{c}{\gamma\,Hc} = f\,(\alpha, \beta, \theta, \varphi) \qquad (3.43)$$

Untuk analisis stabilitas lereng dengan tanah yang mempunyai c dan φ dapat dilihat pada Gambar 3.18. Untuk suatu sudut gesek dalam yang telah diketahui (φd)

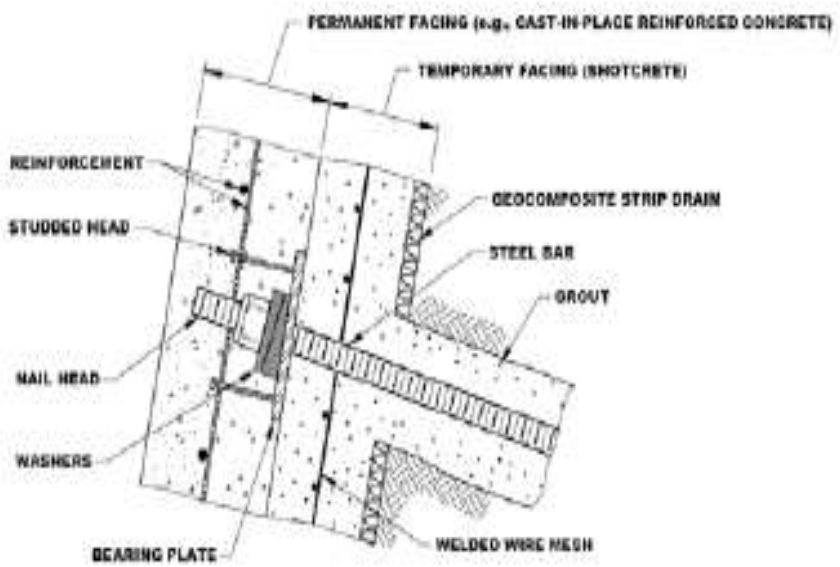


kohesi yang dikerahkan untuk keseimbangan (cd) ditentukan dengan menggunakan metode lingkaran-φ. Gambar 3.18 juga dapat digunakan untuk menentukan nilai faktor aman terhadap nilai kohesinya saja, dengan mengasumsikan seluruh nilai sudut gesek dalam (φ) berkembang penuh (faktor aman 1, untuk komponen gesekan) dan sebaliknya, yaitu menentukan faktor aman terhadap faktor gesekan dengan menganggap kohesi berkembang secara penuh. Untuk menentukan faktor aman terhadap seluruh komponen kuat geser (Fc dan Fφ), maka cara coba-coba harus digunakan (Hardiyatmo, 2002). Nilai c/ γH untuk beberapa nilai β dan φ dapat dilihat pada Gambar 3.18 dibawah ini.

Gambar 3.18 Diagram Stabilitas Lereng untuk Tanah dengan φ > 0

(Sumber : Hardiyatmo, 2002)

3.5 *Soil Nailing*



3.5.1 Sejarah *Soil Nailing*

Pada tahun 1961 di Perancis, pertama kalinya perkuatan dengan *Soil* Nailing diaplikasikan sebagai perkuatan dinding penahan tanah. Salah satu dinding penahan tanah yang menggunakan perkuatan ini dapat ditemukan pada proyek pelebaran jalan kereta api dekat Versailles, Perancis pada tahun 1972, dengan ketinggian lereng sebesar 18 meter dan kemiringannya sebesar 70º. Karena dianggap lebih efektif dari segi biaya dan proses konstruksinya lebih cepat dibandingkan dengan metode konvensional lainnya maka digunakanlah perkuatan dengan metode *Soil* Nailing ini. Selanjutnya metode ini terus berkembang pesat di Eropa dan sekitarnya terutama di daerah Perancis dan Jerman. Gambar 3.19a dan 3.19b menunjukkan potongan melintang suatu lereng dengan perkuatan *soil nailing*.

Gambar 3.19a Potongan Melintang Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing*

(Sumber: Kumalasari, 2012)

Gambar 3.19b Potongan Melintang Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing*

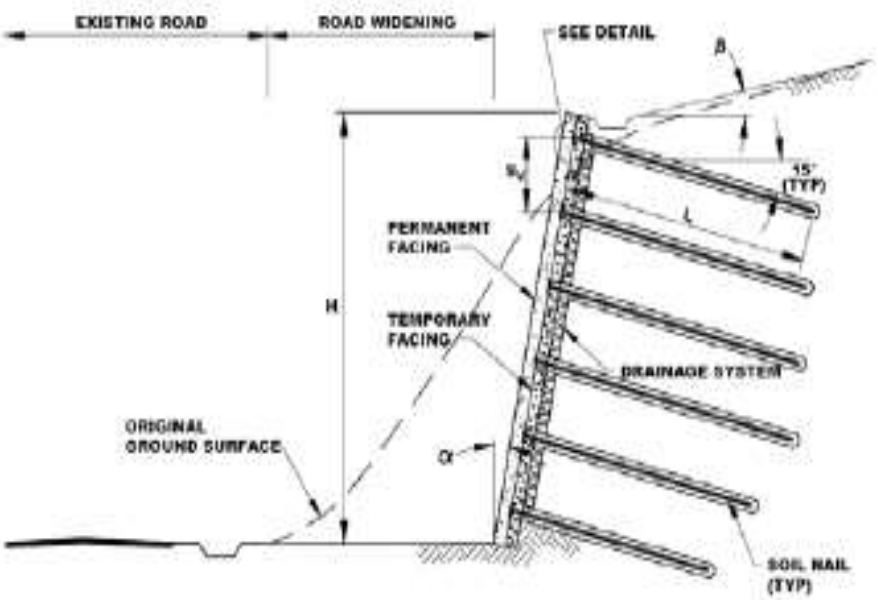
(Sumber: Kumalasari, 2012)

3.5.2 Elemen Dasar Dinding *Soil Nailing*

Secara umum elemen-elemen yang diperlukan dalam praktek *soil nailing* adalah:

1. *Nail Bars*

Baja ulir merupakan batangan baja yang umum digunakan pada *soil nailing* yang sesuai dengan standar ASTM A615, dengan daya dukung tarik 420 MPa (60 ksi atau *Grade* 60) atau 520 MPa (75ksi atau *Grade*



75). Ukuran diameternya yang tersedia yaitu 19, 22, 25, 29, 32, 36, dan 43 mm, serta ukuran panjang yang mencapai 18 m. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.2 Properti Baja Ulir [ASTM A615, Fy = 420 dan 525 MPa (60 dan 75 ksi]

Diameter		Luas Penampang		Berat Jenis		Kuat Leleh		Kapasitas Beban Aksial	
Inggris	mm	Inch^2		Lbs/ft	Kg/m	ksi	MPa	Kips	kN
#6	19	0,44	284	0,86	21,8	60	414	26,4	118
						75	517	33,0	147
#7	22	0,60	387	0,99	25,1	60	414	36,0	160
						75	517	45,0	200
#8	25	0,79	510	1,12	28,4	60	414	47,4	211
						75	517	59,3	264
#9	29	1,00	645	1,26	32,0	60	414	60,0	267
						75	517	75,0	334
#10	32	1,27	819	1,43	36,3	60	414	76,2	339
						75	517	95,3	424
#11	36	1,56	1006	1,61	40,9	60	414	93,6	417
						75	517	117,0	520
#14	43	2,25	1452	1,86	47,2	60	414	135,0	601
						75	517	168,8	751

(Sumber: *Bryne et al, 1998*)

2. *Nail Head*

Nail head adalah bagian ujung dari baja yang menonjol keluar dari *wall facing* (tampilan dinding). Komponen ini terdiri dari *bearing plate* (pelat penahan), *hex nut* (mur persegi enam), *washer* (cincin yang terbuat dari karet atau

logam), dan *headed stud*. *Bearing plate* umumnya berbentuk persegi dengan panjang sisi 200-250 mm, tebal 19 m dan kuat leleh 250 Mpa (ASTM A36), sedangkan *nut*, dan *washer* yang digunakan harus memiliki kuat leleh yang sama dengan batangan bajanya.

3. *Grout* (Cor beton)

Cor beton untuk *soil nailing* dapat berupa adukan semen pasir. Semen tipe I, II, dan III merupakan semen yang biasa digunakan. Untuk kondisi yang tidak memerlukan syarat khusus dapat menggunakan semen tipe I, sementara jika menginginkan panas hidrasi lebih rendah dan ketahanan korosi terhadap sulfat lebih baik menggunakan semen tipe II daripada semen tipe I, sedangkan jika memerlukan waktu pengerasan yang lebih cepat dapat menggunaka semen tipe III.

4. *Centralizers* (Penengah)

Centralizers merupakan sebuah alat yang terbuat dari PVC atau material sintetik lainnya, dimana alat ini dipasang disepanjang batangan baja dengan jarak berkisar antara 0,5 – 2,5 m untuk memastikan tebal selimut beton sesuai dengan rencana.

5. *Wall Facing* (Muka/Tampilan Dinding)

Dalam melakukan pembuatan w*all facing* terdapat dua tahapan. Tahap pertama, muka/tampilan sementara (*temporary facing*) yang dibuat dari *shotcrete*, berfungsi sebagai penghubung antar batangan-batangan baja (*nail bars*), dan sebagai proteksi permukaan galian tanah terhadap erosi.

Tahap kedua adalah pembuatan muka/tampilan permanen (*permanent facing*). Muka permanen dapat berupa panel beton pracetak terbuat dari *shotcrete*. Pada tahap kedua ini sebenarnya memiliki fungsi yang tidak jauh berbeda dengan pembuatan w*all facing* tahap pertama, tetapi pada tahap ini fungsi proteksi terhadap erosi jauh lebih baik, dan dapat digunakan juga sebagai penambah keindahan (fungsi estetika).

Seiring dengan perkembangan dalam bidang geoteknik, aplikasi geosintetik juga ikut berkembang. Dengan mempertimbangkan bahwa geosintetik memiliki permeabilitas yang lebih baik dan memungkinkan untuk menumbuhkan vegetasi sehingga tampilan lereng menjadi indah maka geosintetik juga dapat digunakan sebagaimuka dari lereng dengan perkuatan *soil nailing*.

6. *Drainage System* (Sistem Drainase)

Biasanya lembaran vertikal geokomposit dipasangkan di antara muka dinding sementara dan permukaan galian untuk mencegah meningkatnya tekanan air pada lereng di belakang muka dinding. Pada kaki lereng harus disediakan saluran pembuangan (*weephole*) untuk air yang telah dikumpulkan oleh lembaran geokomposit.

7. *Reinforcement Connector* (*Coupler*)/ Penghubung

*Coupler/*penghubung digunakan untuk menyambung potongan – potongan baja apabila terjadi penyambungan baja karena kebutuhan baja terlalu panjang.

3.5.3 Kelebihan dan Kekurangan *Soil Nailing*

Dalam upaya stabilitas lereng dengan menggunakan perkuatan *soil nailing* terdapat banyak kelebihan apabila dibandingkan dengan perkuatan lereng dengan metode lain, tetapi ada pula kekurangan dalam perkuatan ini. Berikut adalah kelebihan *soil nailing* dibandingkan dengan metode lain yaitu.

1. Dapat menghemat biaya karena batangan baja yang digunakan dalam *soil nailing* lebih pendek sehingga volume baja untuk *nail bars* dalam *soil nailing* lebih sedikit dibandingkan dengan *ground anchors*. Waktu pengerjaan lebih cepat, dapat memakai peralatan pengeboran kecil jika dibandingkan dengan *ground anchors* dan material yang dibutuhkan juga relatif lebih sedikit.
2. Dibandingkan dengan teknik lain luas area yang dibutuhkan dalam masa konstruksi lebih kecil, sehingga untuk pekerjaan yang memiliki areal konstruksi terbatas sangat cocok menggunakan *soil nailing*.

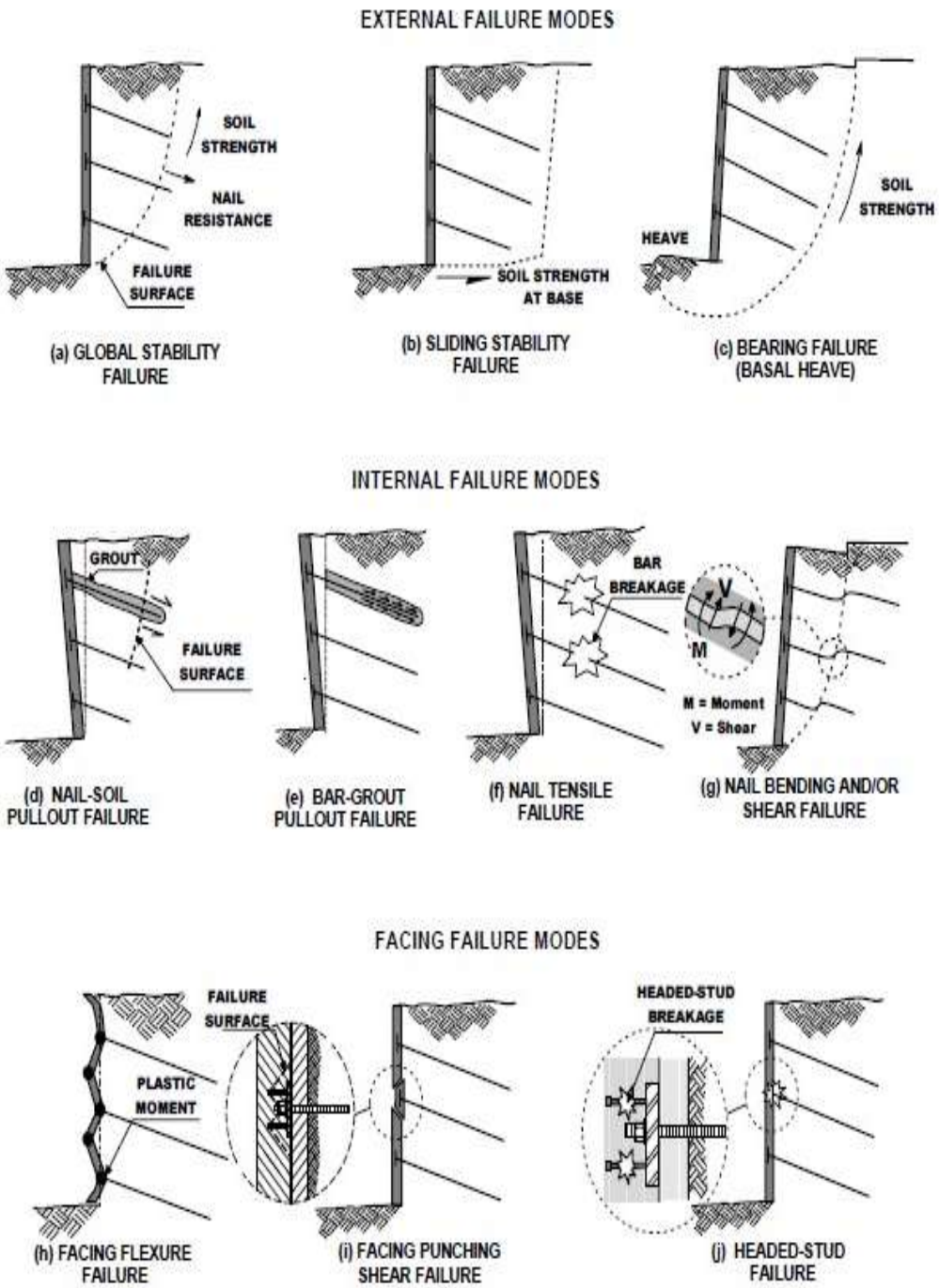
3. Jika dibandingkan dengan dinding gravitasi, dinding dengan *soil nailing* lebih tipis sehingga relatif lebih fleksibel terhadap penurunan.
4. Untuk struktur permanen maupun struktur sementara, dinding dengan *soil nailing* dapat digunakan.
5. Dapat menyesuaikan dengan kondisi lapangan terhadap kemiringan permukaan dan tulangan, bentuk struktur, *density*, dan dimensi perkuatan serta karakteristik tanah diketahui pada tiap level kedalaman selama proses penggalian.
6. Memiliki tahanan terhadap gempa.
7. Saat pengerjaan konstruksi menggunakan peralatan yang relatif kecil, bebas dari getaran dan tingkat kebisingan rendah, sehingga tidak mengganggu lingkungan sekitarnya.

Namun metode *soil nailing* juga memiliki kekurangan, adapun kekurangan dari metode ini antara lain.

1. Untuk daerah dengan muka air tanah tinggi, tidak cocok apabila menggunakan metode *soil nailing* ini.
2. Selain itu untuk struktur yang membutuhkan kontrol ketat terhadap deformasi, lebih baik menggunakan metode lain dibandingkan dengan metode *soil nailing*. Misalnya menggunakan *post tension nail*, namun langkah ini akan meningkatkan biaya konstruksi.
3. Membutuhkan kontraktor yang ahli, dan berpengalaman dikarenakan pelaksanaan konstruksi *soil nailing* relatif lebih sulit.

3.5.4 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Suatu perkuatan dinding penahan tanah harus dirancang agar aman/ stabil terhadap pengaruh-pengaruh gaya dalam dan gaya luar. Analisis terbagi menjadi dua yaitu stabilitas ekstern atau stabilitas luar (*external stability*) dan stabilitas intern atau stabilitas dalam (*internal stability*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.21 berikut ini

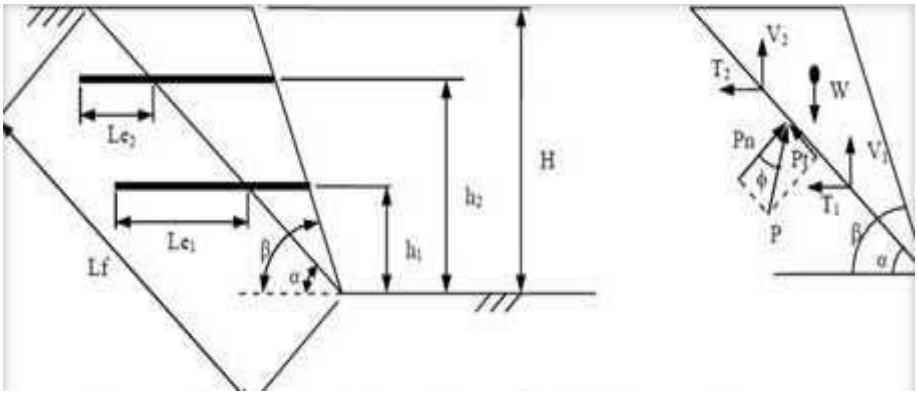


Gambar 3.21. Analisis *External Stability* dan *Internal Stability*

(Sumber: Kumalasari, 2012)

1. Analisis stabilitas eksternal
   a. Faktor aman terhadap keruntuhan global (*global stability failure*)

      `Perkuatan lereng harus aman terhadap keruntuhan, pada perhitungan manual, mengadopsi metode Baji (*wedge*) dengan bidang longsor planar pada Gambar 3.22 berikut ini.



Gambar 3.22 Gaya yang Bekerja dalam Metode Baji (*Wedge Method*)

(Sumber : Kumalasari, 2012)

Berdasarkan Gambar 3.22 didapatkan Persamaan 3.44 dan 3.45 berikut ini.

$$\Sigma Ti - Pn \sin \alpha + Pt \cos \alpha = 0 \quad (3.44)$$

$$W - Pn \cos \alpha - Pt \sin \alpha - \Sigma vi = 0$$

(3.45)

Pada Persamaan 3.44 dan 3.45 variabel “P” merupakan gaya dari tanah pada permukaan bidang longsor, dan dengan mempertimbangkan keseimbangan gaya, maka didapatkan Persamaan 3.46 berikut ini.

$$Pt = \frac{Pn}{Fos} \tag{3.46}$$

Kuat geser tanah pada sepanjang permukaan bidang longsor untuk tanah yang memiliki nilai kohesi. Persamaan 3.47 berikut merupakan persamaan untuk menghitung kuat geser tanah.

$$S = \frac{C\ x\ Lf}{Fs} \tag{3.47}$$

Dari Persamaan 3.44, 3.45, 3.46, dan 3.47, kemudian didapatkan persamaa 3.48 dibawah ini untuk memperoleh nilai faktor keamanan suatu lereng.

$$FS = \frac{c.Lf + W\cos\alpha.\tan\alpha + (\Sigma Ti\sin(\alpha+i) - \Sigma Vi\cos(\alpha+i))tan\varphi}{W\sin\alpha - \Sigma Ti\cos(\alpha+i) - \Sigma Vi\cos(\alpha+i)} \tag{3.48}$$

dengan :

FS = faktor aman,

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

φ = sudut gesek dalam tanah (^{o}),

α = sudut kemiringan bidang longsor terhadap garis horizontal,

W = berat irisan tanah ke-n (kN/m),

Q = beban mati diatas lereng (kN/m),

Lf = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-n (m),

Le = panjang *nail bar* di belakang bidang longsor (m),

β = kemiringan lereng (^{o}),

i = kemiringan pemasangan sudut *nail* (^{o}),

Σ*Ti* = jumlah daya dukung terhadap gaya tarik (kN/m), dan

ΣVi = jumlah daya dukung gaya geser (kN/m).

1) Gaya Geser dan Gaya Tarik Ijin Global

Perlu diperhatikan gaya geser dan gaya tarik dari sebuah *nail bar* untuk menghitung stabilitas lereng terhadap perkuatan secara global, yang dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.49 dan 3.50.

$$V = \frac{Rn}{2\sqrt{1+4tan^2(90°-\alpha)}} \quad (3.49)$$

$$T = 4V \tan(90-\alpha) \quad (3.50)$$

dengan :

V = gaya geser ijin *nail* bar,

T = gaya tarik ijin *nail* bar, dan

Rn = daya dukung tarik *nail* bar.

Untuk menghitung gaya geser ijin dari tanah dapat dihitung dengan Persamaan 3.51 sebagai berikut ini :

$$V = Pmax = \frac{D}{2}\ Lo \quad (3.51)$$

dengan :

V = gaya geser ijin pasif tanah,

D = diameter *nail bar* + *grouting*,

Lo = $\sqrt[4]{\frac{4Ei}{KsD}}$ = panjang penyaluran,

EI = kekakuan *nail bar*, dengan diameter *nail bar* tanpa *grouting*,

Ks = modulus reaksi lateral tanah, ditentukan dari Tabel 3.2, dan

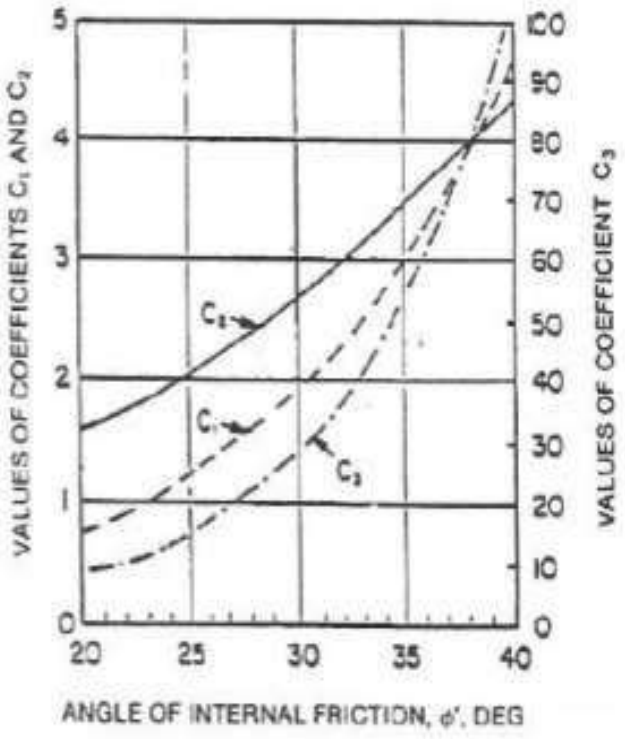
Pmax = Pu/2.

= tegangan pasif yang dibatasi menjadi setengah dari tegangan pasif ultimit, Pu dihitung dengan mengambil nilai terkecil dari Persamaan 3.51 dan 3.52 berikut ini:

$$Pu = (C_1 \times Z + C_2 \times D)\ \gamma' Z \quad (3.51)$$

$$Pu = C_3 D\ \gamma' Z \quad (3.52)$$

(Nilai koefisien C1, C2, dan C3 ditentukan dari Gambar 3.23)



Gamber 3.23 Grafik Korelasi untuk Tanah Pasir API

(Sumber : API, 1987)

Adapun untuk menentukan nilai perkiraan modulus reaksi lateral menurut Bowles pada Tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.3 Harga Perkiraan Modulus Reaksi Lateral Tanah (*ks*)

Jenis Tanah	***ks*,kcf**	***ks*,kN/m3**
Pasir lepas	300 – 100	4800 – 16000
Pasir padat sedang	60 – 500	9600 – 80000
Pasir padat	400 – 800	64000 – 128000
Pasir padat berlempung	200 – 500	32000 – 80000
Pasir padat sedang berlanau		
Tanah berlempung	150 – 300	24000 – 48000
qu ≤ 200 k Pa (4 ksf)	75 – 150	12000 – 24000
200 < qu ≤ 400 kPa	150 – 300	24000 – 48000
qu > 800 k Pa	> 300	> 48000

(sumber : *Bowles, Foundation Analysis and Design, 1996*)

Gaya tarik ijin pada *nail bar* perlu dibatasi setelah mendapat gaya geser ijin terkecil antara *nail bar* dan tanah, yaitu ditentukan dari Persamaan 3.53 dibawah ini.

$$\frac{Vmax^2}{Rc^2} + \frac{Tmax^2}{Rn^2} = 1$$

(3.53)

dengan :

Vmax = gaya geser ijin global,

Tmax = gaya tarik ijin global, dan

Rc = Rn/2 = daya dukung geser *nail bar*.

2) Gaya Tarik Ijin dari Perkuatan *Soil Nail*

Gaya ijin global dapat digunakan apabila gaya ijin global tersebut lebih besar daripada gaya tarik ijin dari masing-masing *nail*, baik untuk gaya ijin tarik dengan persamaan 3.54 berikut :

$$Ti = \frac{\pi DLefmax}{FS}$$

(3.54)

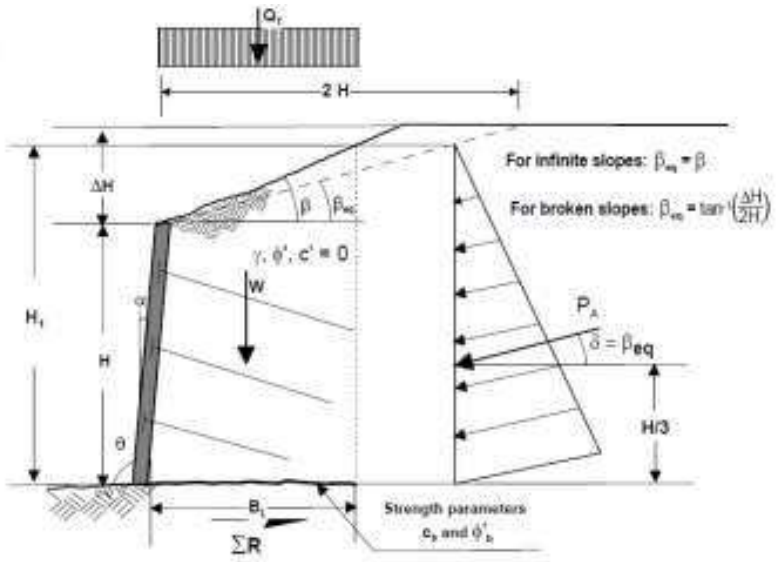
Fmax adalah gaya dukung geser pada ikatan antara tanah dengan permukaan sepanjang *nail bar*. Untuk mendapatkan nilai fmax perlu dilakukan pengujian di lapangan. Nilai fmax untuk setiap jenis tanah pasir dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.4 Daya Dukung Geser *Soil Nailing* pada Tanah Pasir

Soil Type	Ultimate Bond Strength (kN/m2)
Sand/gravel	100 – 180
Silty sand	100 – 150
Silty clayey sand	60 – 140
Silty fine sand	55 – 90

(Sumber: *Elias and Juran, 1991*)

b. Faktor aman terhadap gaya geser (*sliding stability failure*) digambarkan seperti



Gambar 3.24 berikut ini.

Gambar 3.24 Stabilitas terhadap Penggulingan pada Perkuatan *Soil Nailing*

(Sumber : Kumalasari, 2012)

Faktor aman terhadap penggulingan menggunakan persamaan 3.55

$$FS = \frac{cb.BL+(W+Q+Pa\sin\varphi)\ tan\varphi}{Pa\ cos\varphi} \quad (3.55)$$

Tekanan aktif lateral dihitung menggunakan persamaan 3.56 berikut dengan nilai Ka menggunakan persamaan 3.57.

$$PA = \frac{\gamma\ x\ H1^2}{2}\ x\ Ka$$

(3.56)

$$Ka = tg^2\ (45 - \varphi/2)$$

(3.57)

dengan :

FS = faktor aman,

Cb = kohesi tanah (kN/m²),

BL = lebar struktur,

W = berat irisan tanah (kN/m),

Q = beban mati diatas lereng (kN/m),

φ = sudut gesek dalam tanah,

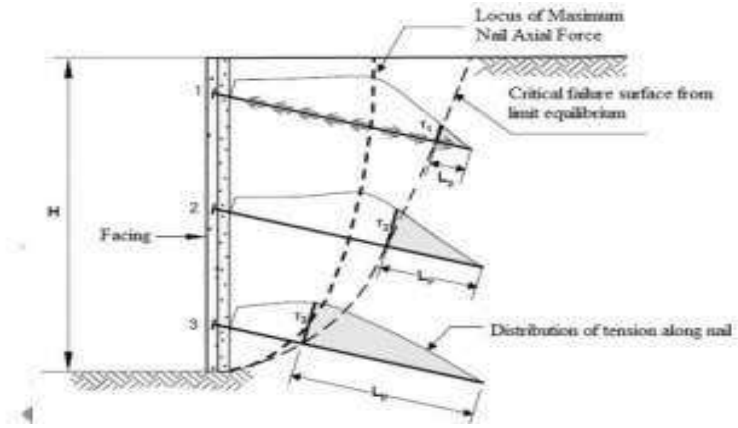
H = tinggi dinding tanah (m),

γ = berat isi tanah (kN/m), dan

δ = sudut gesek antara tanah fondasi dan dasar struktur (fondasi dianggap sangat kasar terbuat dari beton tgδ = tg δ.

2. Analisis Stabilitas Internal

a. Faktor aman (SF) terhadap putus tulangan digambarkan seperti Gambar 3.25 berikut ini.



Gambar 3.25 Keruntuhan Putus Tulangan

(Sumber : Kumalasari, 2012)

Faktor aman (SF) terhadap putus tulangan menggunakan persamaan 3.58 dan 3.59 berikut ini.

$$Fr = \frac{\left(\frac{0{,}25\ x\ \pi\ x\ d^2 x\ fy}{1000}\right)}{\sigma h\ x\ Sv\ x\ Sh}$$

(3.58)

$$\sigma = Ka\ \gamma\ z$$

(3.59)

dengan :

Sv = jarak tulangan arah vertical (m),

Sh = jarak tulangan arah horizontal (m),

Fy = daya dukung tulangan (MPa),

d = diameter tulangan (mm),

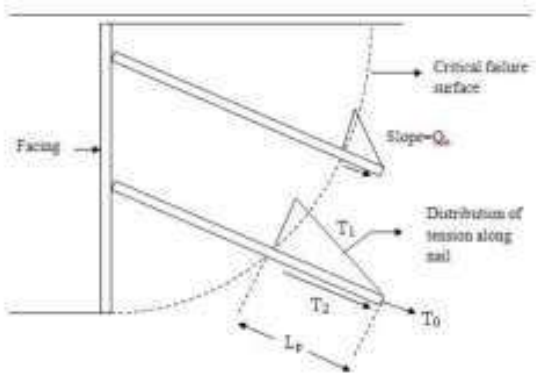
σh = tekanan horizontal tanah pada kedalaman yang ditinjau (kN/m²),

γ = berat isi tanah (kN/m³),

z = kedalaman yang ditinjau (m), dan

Ka = koefisien tekanan aktif lateral pada persamaan 3.57.

b. Faktor aman (SF) terhadap cabut tulangan digambarkan seperti Gambar 3.26 berikut ini.



Gambar 3.26 Keruntuhan Cabut Tulangan

(Sumber : Kumalasari, 2012)

Faktor aman (SF) terhadap cabut tulangan menggunakan persamaan 3.60 berikut.

$$Fp = \frac{\pi \ x \ qu \ x \ Ddh \ x \ Lp}{\sigma h \ x \ Sv \ x \ Sh}$$

(3.60)

dengan :

Sv = jarak tulangan vertical (m),

qu = *ultimate bond strength* (kN/m²),

σh = tekanan horizontal tanah pada kedalaman yang ditinjau (kN/m²),

Lp = panjang tulangan yang berada di zona pasif (m),

Φ = sudut gesek internal tanah (°), dan

Ddh = diameter lubang bor (m).

3.6 Analisis Stabilitas Lereng dengan Program *Geoslope*

Program ini dibuat oleh *Geo-Slope International Ltd, Calgary, Alberta, Canada*. Software ini melingkupi *slope w, seep w, sigma w, quake w, temp w,* dan *ctran w*. Bersifat integrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke dalam produk lain.

Slope w adalah program yang menggunakan teori kesetimbangan batas untuk menghitung faktor kemanan lereng. Program *slope w* menggunakan metode *Ordinary* (atau *Fellenius*), metode Bishop d sederhanakan, metode Janbu yang disederhanakan, metode *Spenser*, metode *Morgenstern-Price*, metode *Corps of Engineers*, metode *Lowe-Karafiath*, metode *Genealized Equilibrium*.

Untuk menghitung faktor keamanan, slope w menggunakan teori kesetimbangan batas dari gaya dan momen. Faktor keamanan merupakan faktor dimana kekuatan geser tanah direduksi hingga massa tanah pada wilayah kelongsoran mencapai kesetimbangan batas.

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

Ada beberapa metode perhitungan faktor keamanan (SF) antara lain dengan metode *ordinary, bishop* dan *janbu* yang dapat dipilih sesuai keinginan. Hasil gambar output perhitungan bisa di *export* ke dalam bentuk foto format (bmp, wmf dan emf) dan gambar dalam bentuk *autocad* dengan format dxf.

1.6.1 Pengaturan Awal

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

1. Mengatur kertas kerja, klik menu utama *set* kemudian klik *page*.
2. Mengatur skala gambar, dari menu utama *set* klik *scale*.
3. Mengatur jarak *grid*, dari menu utama *set* klik *grid*.

1.6.2 Membuat Sketsa Gambar

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

1.6.3 *Analisys Settings*

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

1. menentukan *Project ID*, dari menu utama *Key In* klik *analysis settings. Project ID* digunakan untuk mendefinisikan nama atau judul pada masalah yang sedang dianalisis,
2. menentukan metode analisis, klik *tabsheet method* pada *analysis settings*. Dalam *tabsheet* ini terdapat beberapa metode yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng. Klik pada *only bishop, ordinary,* dan *janbu.,*

3. menentukan bidang gelincir, klik *tabsheet slip surface* pada *analysis settings*. Dalam *tabsheet* ini pergerakan arah kelongson an dapat ditentukan sesuai dengan keinginan, baik dari arah kiri ke kanan maupun sebaliknya. Bidang longsor ditentukan dengan memilih *option Entry and Exit*.

1.6.4 Mendefinisikan Parameter Tanah

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

1.6.5 Menentukan Parameter Tiap Lapisan Tanah

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

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

1.6.6 Menggambar *Entry* and *Exit* Bidang Longsor

Salah satu kesulitan dengan metode *Grid and Radius* adalah untuk memvisualisasikan luasan atau berbagai permukaan bidang longsor. Keterbatasan ini dapat diatasi dengan menentukan lokasi dimana percobaan bidang longsor kemungkinan

akan masuk dan keluar dari permukaan tanah. Metode ini disebut *Entry and Exit.* Untuk menggambarkan *Entry and Exit* bidang longsor yaitu dari menu utama *draw* klik *slip surface,* kemudian pilih *Entry* and *Exit.*

1.6.7 Menggambar Beban Merata

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

1.6.8 Menggambar Perkuatan *Soil Nailing*

Spesifikasi geotekstil yang digunakan sesuai dengan yang spesifikasi *nail* yang digunakan, diantaranya diameter lubang, kuat gesek, spasi antar *nail,* kapasitas beban dll. Langkah untuk menggambar *soil nailing* pada model lereng yaitu pada menu utama *draw* klik *reinforcement loads.* Pilih *nail,* lalu ketik spesifikasi *nail* yang digunakan.

1.6.9 Memeriksa Masukan Data

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

1.6.10 *Solving The Problem*

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

1.6.11 Menampilkan Hasil

Untuk menampilkan hasil analisis dalam bentuk gambar bidang longsor pada menu disamping kiri pilih gambar *countur*. Ada beberapa metode analisis keamanan lereng diantaranya metode *bishop*, *ordinary*, dan *janbu*.

1.6.12 Menyimpan Data

Setelah proses analisis, hasil *running* program kemudian disimpan sehingga bisa dilihat kembali ketika dibutuhkan. Langkah yang harus dilakukan yaitu pada utama klik *file*.