

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

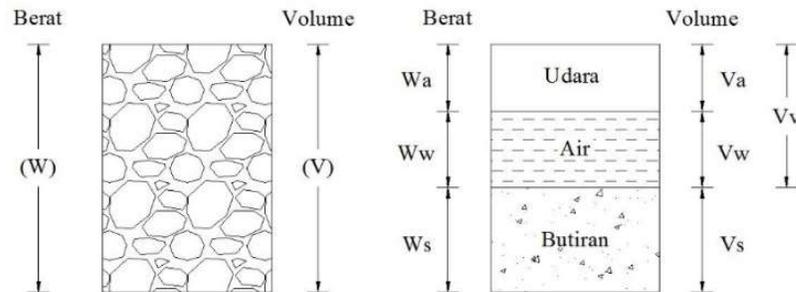
3.1.1 Definisi Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan material, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas, yang terletak diatas batuan dasar. Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, dapat terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran lebih dari satu macam ukuran partikelnya. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja. Akan tetapi, dapat bercampur dengan butiran-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar dari 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm. (*Hardiyatmo, H.C. 1992*).

3.1.2 Bagian-bagian Tanah

Sepotong tanah dapat terdiri dari beberapa bagian. Biasanya terdapat dua sampai tiga bagian. Dalam tanah yang kering hanya akan terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori (ronggga) udara. Sedangkan pada tanah jenuh bisa terdiri sampai 3 bagian, yaitu padat, pori-pori udara dan air pori. (*Hardiyatmo, H.C. 1992*) Untuk lebih jelas memahami bagian-bagian tanah dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Bagian-bagian Tanah.

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Pada gambar 3.1 diatas dapat dilihat bahwa bahwa V merupakan elemen tanah yang mempunyai volume dan W merupakan elemen tanah yang mempunyai berat. Dari gambar diatas dapat dijadikan Persamaan 3.1, Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 berikut.

$$W = W_s + W_w \quad (3.1)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.3)$$

Keterangan:

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butira padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

3.1.3 Sifat-sifat Fisik Tanah

Berikut adalah sifat-sifat fisik tanah yang mungkin akan sering muncul dan digunakan dalam penelitian ini.

1. Kadar Air (w)

Kadar air (w) sering didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran (W_s) dalam tanah tersebut, dinyatakan dalam persen. Lebih jelasnya dapat dilihat dalam Persamaan 3.4 berikut ini.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (3.4)$$

2. Porositas (n)

Porositas (n) biasanya dinyatakan dalam bentuk desimal atau persen, porositas (n) merupakan perbandingan antara volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). Lebih jelasnya dapat dilihat pada Persamaan 3.5 dibawah ini.

$$n = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.5)$$

3. Angka pori (e)

Angka pori (e) biasanya dinyatakan dalam bentuk desimal, angka pori (e) merupakan perbandingan volume rongga (V_v) dengan volume butiran (V_s). Lebih jelasnya dapat dilihat pada Persamaan 3.6 berikut.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.6)$$

4. Berat volume basah (γ_b)

Berat volume basah (γ_b), yaitu perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V). Lebih detailnya dapat dilihat pada Persamaan 3.7 berikut.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.7)$$

5. Berat volume kering (γ_d)

Berat volume kering (γ_d), yaitu perbandingan antara berat butiran (W_s) dengan volume total (V) tanah. Dapat dilihat pada Persamaan 3.8 berikut.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.8)$$

6. Berat volume butiran padat (γ_s)

Berat volume butiran padat (γ_s), yaitu perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s). Detailnya dapat dilihat pada Persamaan 3.9 berikut ini.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.9)$$

7. Berat jenis tanah (G_s)

Berat jenis tanah (G_s) merupakan perbandingan berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w). Lebih jelasnya dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut ini.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.10)$$

Berat jenis tanah (G_s) sendiri memiliki nilai yang bervariasi tergantung macam-macam tanah, untuk lebih jelasnya dapat diamati pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah

| Macam Tanah | Berat Jenis Tanah (G_s) |
|---------------------|-----------------------------|
| Kerikil | 2,65 – 2,68 |
| Pasir | 2,65 – 2,68 |
| Lanau tak organik | 2,62 – 2,68 |
| Lempung organik | 2,58 – 2,65 |
| Lempung tak organik | 2,68 – 2,75 |
| Humus | 1,37 |
| Gambut | 1,25-1,80 |

(Hardiyatmo, H.C. 1992)

8. Derajat kejenuhan (S)

Derajat kejenuhan (S), adalah perbandingan volume air (V_w) dengan volume total rongga pori tanah (V_v). Lebih detailnya dapat dilihat pada Persamaan 3.11 berikut ini.

$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (3.11)$$

Untuk tanah dalam keadaan jenuh maka nilai $S = 1$. Lebih jelasnya bisa dilihat pada Tabel 3.2 tentang derajat kejenuhan tanah berdasarkan keadaan tanah.

Tabel 3.2 Derajat Kejenuhan dan Kondisi Tanah

| Kedaaan Tanah | Derajat Kejenuhan S |
|---------------------|-----------------------|
| Tanah kering | 0 |
| Tanah agak lembab | > 0 – 0,25 |
| Tanah lembab | 0,26 – 0,50 |
| Tanah sangat lembab | 0,51 – 0,75 |
| Tanah basah | 0,76 – 0,99 |
| Tanah jenuh | 1 |

(Hardiyatmo, H.C. 1992)

9. Modulus Young

Nilai modulus young merupakan nilai yang menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan yang terjadi. Nilai ini didapatkan dari pengujian triaksial (*triaksial test*) pada kondisi *undrained*. Secara empiris, nilai modulus elastisitas (E_s) dapat ditentukan dari jenis tanah yang ada dan data sondir. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.3 Nilai Pendekatan Modulus Elastisitas Tanah

| Macam Tanah | E (kN/m ²) |
|----------------------------|------------------------|
| <i>Lempung :</i> | |
| Sangat lunak | 300 – 3000 |
| Lunak | 2000 – 4000 |
| Sedang | 4500 – 9000 |
| Keras | 7000 – 20000 |
| Berpasir | 30000 – 42500 |
| <i>Pasir :</i> | |
| Berlanau | 5000 – 20000 |
| Tidak padat | 10000 – 25000 |
| Padat | 50000 – 100000 |
| <i>Pasir dan kerikil :</i> | |
| Padat | 80000 – 200000 |
| Tidak padat | 50000 – 140000 |
| <i>Lanau</i> | 2000 – 20000 |
| <i>Loess</i> | 15000 – 60000 |
| <i>Cadas</i> | 140000 - 1400000 |

Sumber: Bowles (1977)

Ada beberapa usulan nilai E yang diberikan oleh peneliti-peneliti yang lain. Salah satunya Bowles (1977) pernah mengusulkan persamaan yang dihasilkan dari pengumpulan data pengujian sondir, lebih jelasnya dapat dilihat pada Persamaan 3.12 dan Persamaan 3.13 berikut.

$$E = 3 q_c \quad (\text{untuk pasir}) \quad (3.12)$$

$$E = 2 \text{ sampai } 8 q_c \quad (\text{untuk lempung}) \quad (3.13)$$

Dengan q_c dalam satuan kg/cm^2 . Selain itu, dapat diperoleh dari pengujian SPT. Mitchell dan Gardner (1975) mengusulkan juga bahwa nilai modulus elastis yang dihubungkan dengan nilai SPT dapat dilihat pada Persamaan 3.14 dan Persamaan 3.15 berikut.

$$E = 10 (N + 15) \text{ k/ft}^2 \quad (\text{untuk pasir}) \quad (3.14)$$

$$E = 6 (N + 5) \text{ k/ft}^2 \quad (\text{untuk pasir berlempung}) \quad (3.15)$$

10. Angka poisson (μ)

Angka poisson dapat diketahui dari perhitungan dan pengukuran dari regangan kompresi aksial dan regangan lateral selama uji triaksial. Angka poisson ratio dapat juga ditentukan dengan pendekatan menurut jenis tanah seperti pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Perkiraan Angka Poisson Tanah

| Macam Tanah | Angka Poisson (μ) |
|---------------------------------|-------------------------|
| Lempung jenuh | 0,40 – 0,50 |
| Lempung tak jenuh | 0,10 – 0,30 |
| Lempung berpasir | 0,20 – 0,30 |
| Lanau | 0,30 – 0,35 |
| Pasir padat | 0,20 – 0,40 |
| Pasir kasar ($e = 0,4 - 0,7$) | 0,15 |
| Pasir halus ($e = 0,4 - 0,7$) | 0,25 |
| Batu | 0,10 – 0,40 |
| Loess | 0,10 – 0,30 |

Sumber: Bowles, (1977)

3.1.4 Klasifikasi Tanah

Penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah seperti berikut.

1. Penentuan penurunan bangunan yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanahnya. Dari sini selanjutnya digunakan dalam persamaan penurunan yang didasarkan pada teori konsolidasi dari Terzaghi.
2. Penentuan kecepatan air yang mengalir lewat benda uji, guna menghitung koefisien permeabilitasnya. Dari sini kemudian dihubungkan dengan Hukum Darcy dan jaring arus untuk menentukan debit aliran yang lewat struktur tanahnya.
3. Untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring, dengan menentukan kuat geser tanahnya. Dari sini kemudian dimasukkan dalam rumus statika. (*Hardiyatmo, H.C. 2006, hal 39*).

Klasifikasi tanah sering menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanahnya. Dengan klasifikasi tanah tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya. Jadi bisa disebut secara umum bahwa klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan dan plastisitasnya.

Untuk waktu saat ini, terdapat dua sistem klasifikasi yang dapat digunakan. Keduanya adalah *Unified Soil Classification* dan AASHTO. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisnya. Klasifikasi tanah dari sistem *Unified* mula pertama diajukan oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Dan pada penelitian ini kami akan menggunakan sistem *Unified Soil Classification* untuk mengetahui klasifikasi tanah yang kami uji.

3.1.5 Sistem Klasifikasi Unified

Pada sistem ini, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) dan tanah berbutir halus (lanau dan lempung). Untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Sistem Klafikasi Tanah *Unified*

| Devisi Utama | | Simbol Kelompok | Nama Jenis | |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tanah Berbutir Kasar (Lebih dari 50% butiran tertahan pada saringan no.200) | Kerikil Lebih dari 50% fraksi kasar tertahan pada saringan no.4 | Kerikil Bersih | GW | Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus |
| | | Kerikil dengan butiran halus | GP | Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus |
| | | | GM | Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau |
| | | GC | Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung | |
| | Pasir Lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan no.4 | Pasir Bersih | SW | Pasir bergradasi baik dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus |
| | | | SP | Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus |
| | | Pasir dengan butiran | SM | Pasir berlanau, campuran pasir-lanau |
| | | | SC | Pasir berlempung, campuran pasir-lempung |

Sumber : DAS, (1993)

Lanjutan Tabel 3.5 Sistem Klafikasi Tanah *Unified*

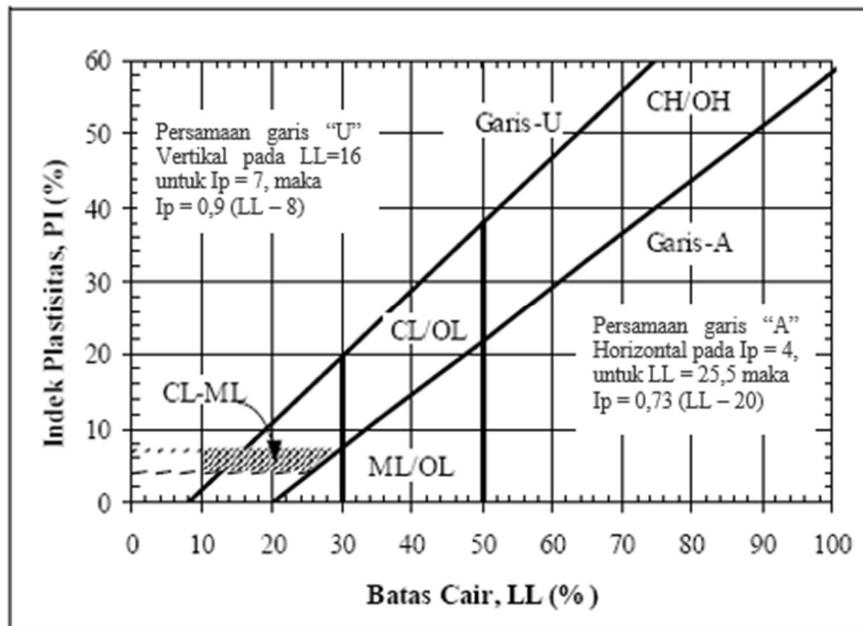
| Devisi Utama | | Simbol Kelompok | Nama Jenis |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tanah Berbutir Halus (Lebih dari 50% butiran lolos saringan no.200) | Lanau dan Lempung (Batas cair 50% atau kurang) | ML | Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung |
| | | CL | Lempung anorganik dengan plastisitas rendah s.d sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus. |
| | | OL | Lempung organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah. |
| | Lanau dan Lempung (Batas cair lebih dari 50%) | MH | Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis |
| | | CH | Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk |
| | | OH | Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi |
| Tanah dengan kandungan organik sangat tinggi | | Pt | <i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> (rawa) dan jenis tanah organik tinggi yang lain. |

Sumber : DAS, (1993)

Tabel 3.6 Kriteria Klasifikasi Tanah *Unified*

| | Kriteria Klasifikasi | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Klasifikasi berdasarkan presentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan no.200 GW,GP,SW,SP Kurang dari 5% ayakan no.200 GM,GC,SM,SC 5% sampai 12% lolos ayakan no.200 Klasifikasi perbatasan yang memerlukan simbol ganda | $Cu = D_{60}/D_{10}$ lebih besar dari 4 $Cc = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ diantara 1 dan 3 | |
| | Tidak memenuhi semua syarat untuk GW | |
| | Batas-batas Atteberg di bawah garis A atau $PI < 4$ | Di atas garis A dengan IP antara 4 dan 7 merupakan kasus antara yang |
| | Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ | membutuhkan simbol ganda |
| | $Cu = D_{60}/D_{10}$ lebih besar dari 6 $Cc = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60})$ diantara 1 dan 3 | |
| | Tidak memenuhi semua syarat SW | |
| | Batas-batas Atteberg di bawah garis A atau $PI < 4$ | Di atas garis A dengan IP antara 4 dan 7 merupakan kasus antara yang |
| | Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ | membutuhkan simbol ganda |

Sumber: DAS, (1993)



Gambar 3.2 Grafik Plastisitas

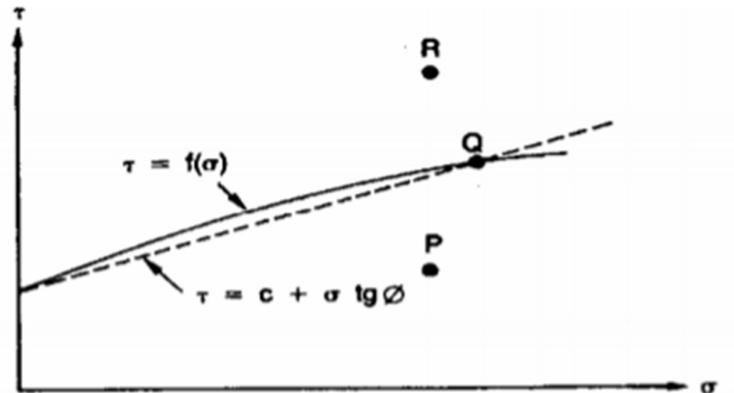
Sumber: DAS, (1993)

3.1.6 Kuat Geser Tanah

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis daya dukung tanah, stabilitas lereng, dan tegangan dorong untuk dinding penahan tanah. *Mohr* (1910) memberikan teori mengenai kondisi keruntuhan suatu bahan. Teorinya adalah bahwa keruntuhan suatu bahan dapat terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Selanjutnya, hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan menurut Persamaan 3.16 berikut.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.16)$$

Dengan τ adalah tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan, dan σ adalah tegangan normal pada saat kondisi tersebut. Garis kegagalan yang didefinisikan dalam Persamaan 3.16 adalah kurva yang ditunjukkan dalam Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb

(Hardiyatmo, H.C. 1992)

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dengan dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh:

1. Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada bidang gesernya.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada gesernya. *(Hardiyatmo, H.C. 2006)*

Sedangkan Coulomb (1776) mendefinisikan fungsi $f(\sigma)$ dalam persamaan 3.17 berikut ini.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (3.17)$$

dengan:

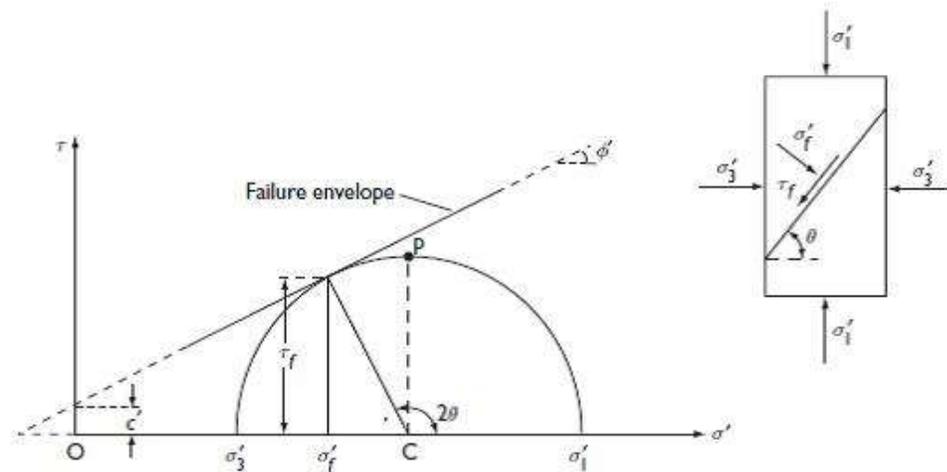
τ = kuat geser tanah

c = kohesi tanah

ϕ = sudut gesek dalam tanah

σ = tegangan normal pada bidang runtuh

Pada Persamaan 3.17 sering disebut sebagai keruntuhan Mohr-Coulomb, yang mana garis keruntuhan dari persamaan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Lingkaran Mohr

.(Hardiyatmo, H.C. 1992)

Dari gambar tersebut hubungan antara tegangan utama efektif saat keruntuhan dan parameter kuat gesernya juga dapat diperoleh. Besarnya nilai parameter kuat geser dapat ditentukan dari Persamaan 3.18 dan Persamaan 3.19 berikut.

$$\sin \phi' = \frac{\frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{c \operatorname{ctg} \phi' + \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)} \quad (3.18)$$

$$(\sigma'_1 - \sigma'_3) = 2 c \cos \phi' + (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin \phi' \quad (3.19)$$

3.2 Penyelidikan Tanah dengan Metode Pengeboran (*Boring*)

Penyelidikan tanah dengan metode ini bertujuan untuk menentukan jenis sifat-sifat tanah (*soil properties*) pada lokasi yang akan dibangun pondasi dari tiap tebal lapisannya. Pengambilan sample tanah ini dikenal dengan sebutan *undisturbed soil sample* (pengambilan tanah tidak terganggu). Pengambilan sample tanah ini adalah dengan cara menge-bor sampai kedalaman tertentu dengan menggunakan tabung (pipa) logam berongga ke dalam tanah.

Tabung-tabung dimasukkan kedalaman tanah, dengan cara menyambung ujung-ujungnya bagian demi bagian sampai kedalaman yang dikehendaki. Sample tanah yang berada dalam tiap bagian tabung selanjutnya dijaga dan dirawat, untuk kemudian dibawa ke laboratorium penyelidikan tanah. Umumnya untuk

menghemat, tidak seluruh tanah pada tiap lapisan yang dibawa ke laboratorium, hanya tanah pada lapisan kedalaman desain rencana saja yang dibutuhkan, mungkin saja sample pada kedalaman 3-4 m.

Hasil uji di laboratorium akan memberikan beberapa data tanah atau parameter-parameter penting yang dibutuhkan dalam perhitungan desain *sheet pile*. Untuk itu dipilih beberapa metode pengujian saja di laboratorium yang akan menghasilkan data tanah yang diperlukan, data tersebut antara lain sebagai berikut ini.

1. Indeks Tanah (Y , w , e , gs , dan lain-lain)
 - a. Pengukuran volume dan berat benda uji.
 - b. Uji saringan (*sieve analysis test*).
 - c. *Atteberg Test*.
2. Kuat Geser Tanah (c , ϕ)
 - a. *Triaxial test* (UU, CU, CD)
 - b. *Direct Shear Test*.
 - c. *Unconfined Compression Test*.

3.3 Stabilitas Lereng

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikembangkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran. Analisis stabilitas tanah pada permukaan yang miring ini, biasanya disebut dengan analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering dijumpai pada perancangan-perancangan bangunan seperti : jalan kereta api, jalan raya, bandara, bendungan urugan tanah, saluran, dan lain-lainya. Umumnya, analisis stabilitas dilakukan untuk mengecek keamanan dari lereng alam, lereng galian, dan lereng urugan tanah.

Analisis stabilitas lereng tidak mudah karena terdapat banyak faktor yang sangat mempengaruhi hasil hitungannya. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air

dalam tanah dan lain-lainnya. Terzaghi (1950) membagi penyebab longsoran terdiri dari akibat pengaruh dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh luar, yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser dari tanahnya. Contohnya, akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam, yaitu longsor yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori di dalam lerengnya (*Hardiyatmo, H.C. 2006*).

3.3.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng

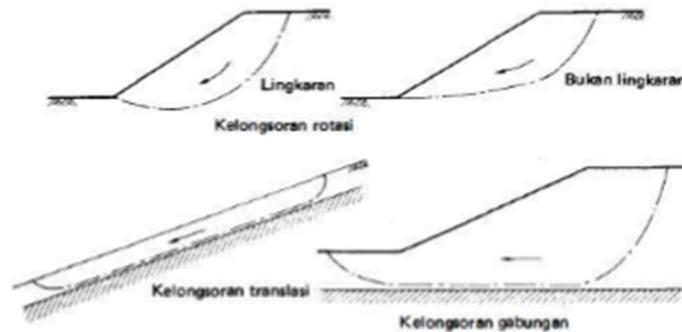
Dalam praktek, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam stabilitas lereng, beberapa anggapan telah dibuat, yaitu:

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi.
2. Masa tanah yang longsor dianggap berupa benda yang masif.
3. Tahanan geser dari masa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang permukaan longsor. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar satu.

Ada 3 tipe utama kelongsoran lereng tanah, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 3.5, yaitu sebagai berikut ini.

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

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



Gambar 3.5 Tipe-tipe Keruntuhan Lereng (Craig, 1989)

Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya menahan dan gaya yang menggerakkan atau dapat dilihat pada Persamaan 3.20 berikut.

$$F = \frac{\tau}{\tau d} \quad (3.20)$$

Dimana τ adalah tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah, τd adalah tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor, dan F adalah faktor aman.

Menurut teori Mohr – Coulumb, tahanan terhadap geser (τ) yang dapat dikerahkan oleh tanah, di sepanjang bidang longsornya, dapat dinyatakan oleh Persamaan 3.21 berikut.

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (3.21)$$

Dengan nilai c adalah kohesi, σ adalah tegangan normal, dan ϕ adalah sudut gesek dalam tanah. Nilai-nilai c dan ϕ adalah parameter kuat geser tanah di sepanjang bidang longsornya.

Dengan cara yang sama, dapat dituliskan persamaan tegangan geser yang terjadi (τd) akibat beban tanah dan beban-beban lain pada bidang longsornya. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Persamaan 3.22 berikut.

$$\tau d = cd + \sigma tg \phi d \quad (3.22)$$

Dengan cd dan ϕd adalah kohesi dan sudut gesek dalam yang terjadi atau yang dibutuhkan untuk keseimbangan pada bidang longsornya.

Secara umum terdapat beberapa data yang dibutuhkan untuk Analisis stabilitas lereng pada tubuh embung, yaitu :

1. Sifat Material

Sifat material yang diperlukan dalam analisis stabilitas lereng yaitu parameter kekuatan geser dan berat satuan material. Parameter kekuatan geser merupakan sifat material terpenting karena faktor keamanan dinyatakan dalam bentuk perbandingan kekuatan geser yang tersedia dan kekuatan geser yang diperlukan, sehingga penentuan parameter kekuatan geser harus seakurat mungkin. Parameter kekuatan geser terdiri dari komponen kohesi dan sudut geser.

2. Air Tanah

Kondisi air tanah merupakan salah satu parameter terpenting dalam analisis kestabilan lereng, karena seringkali terjadi kelongsoran yang diakibatkan oleh kenaikan tegangan air pori yang berlebih. Tekanan air pori tidak diperlukan apabila dilakukan analisis kestabilan dengan tegangan total. Pada umumnya keberadaa air akan mengurangi kondisi kestabilan lereng yang antara lain karena menurunkan kekuatan geser material sebagai akibat naiknya tekanan pori, bertambahnya berat satuan material, timbulnya gaya-gaya rembesan yang ditimbulkan oleh pergerakan air.

3. Beban Pada Lereng

Data yang diperlukan yaitu gaya-gaya luar yang bekerja pada permukaan lereng, seperti beban static dari bangunan dan timbunan diatas tanggul. Gaya-gaya luar ini harus dimasukkan dalam perhitungan karena mempunyai dampak mengurangi kestabilan lereng.

4. Geometri Lereng

Data geometri tanggul yang diperlukan yaitu data mengenai sudut kemiringan dan tinggi. Analisis stabilitas lereng dengan metode irisan merupakan salah satu metode Analisa kestabilan lereng.

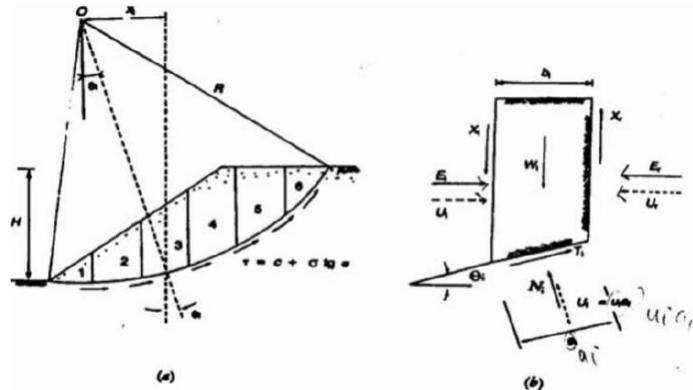
3.3.2 Analisis Stabilitas Lereng atau Galian Secara Manual

Analisis kestabilan lereng atau galian pada umumnya berdasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*) (Hardiyatmo, 2010). Analisis kestabilan lereng ditujukan untuk mendapatkan angka faktor keamanan dari suatu bentuk lereng atau galian tertentu. Dengan diketahuinya faktor keamanan memudahkan pekerjaan pembentukan atau perkuatan lereng untuk memastikan apakah lereng atau galian yang telah dibentuk mempunyai risiko longsor atau cukup stabil. Bertambahnya tingkat kepastian untuk memprediksi ancaman longsor dapat bermanfaat untuk hal-hal sebagai berikut :

1. Memahami perkembangan dan bentuk dari lereng alam dan proses yang menyebabkan terjadinya bentuk-bentuk alam yang berbeda,
2. Menilai kestabilan lereng dalam jangka pendek dan kondisi jangka panjang,
3. Menilai kemungkinan terjadinya kelongsoran yang melibatkan lereng alam atau lereng buatan,
4. Menganalisis kelongsoran dan untuk memahami kesalahan mekanisme dan pengaruh dari faktor lingkungan, dan
5. Mempelajari efek atau pengaruh dari beban gempa pada lereng, galian dan tanggul.

3.3.3 Analisis Galian Tanah Secara Manual Menggunakan Metode *Bishop*

Metode *Bishop* sering dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran. Dalam metode ini diasumsikan bahwa gaya-gaya normal total berada atau bekerja dipusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan baik secara vertikal atau normal. Persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan-potongan yang membentuk lereng atau galian tanah tersebut. Metode *Bishop* menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (*Bishop*, 1955). Metode *Bishop* menggunakan rumus-rumus untuk mengetahui faktor keamanan. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Gaya-gaya yang Bekerja Pada Sumbu Potongan.

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Keterangan:

- X1 dan Xr = gaya geser efektif disepanjang sisi irisan
- E1 dan Er = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan
- T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
- N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
- U₁ dan U_r = tekanan air pori yang bekerja dikedua sisi irisan
- U_i = tekanan air pori didasar irisan

Dari gambar diatas dapat dibuat beberapa persamaan-persamaan untuk mendapatkan nilai faktor keamanan. Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif untuk mencapai keseimbangan batas dapat dilihat pada Persamaan 3.23 berikut.

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - \mu) \frac{tg \phi}{F} \quad (3.23)$$

Untuk irisan ke-i, nilai $T_i = \tau a_i$, yaitu gaya geser yang dikerahkan tanah pada bidang longsor untuk keseimbangan batas, oleh karena itu rumus keseimbangannya menjadi seperti Persamaan 3.24 berikut.

$$\tau = \frac{c' a_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{tg \phi'}{F} \quad (3.24)$$

Keseimbangan momen dengan pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya total yang diberikan tanah pada bidang longsor ada pada Persamaan 3.25 berikut.

$$\sum W_i x_i = \sum T_i R \quad (3.25)$$

Dari Persamaan 3.25 diatas dengan x_i adalah jarak W_i ke pusat rotasi O, dapat diperoleh rumus SF pada Persamaan 3.26 sebagai berikut.

$$SF = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} [c' + (N_i - u_i a_i) \tan \phi]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i} \quad (3.26)$$

Pada Persamaan 3.26 diatas apabila kondisi keseimbangan vertikal, jika $X_1 = X_i$ dan $X_i N_i = X_{i+1}$, $\cos \theta_i + T_i \sin \theta_i = W_i + X_i - X_{i+1}$, maka akan menjadi Persamaan 3.27 berikut.

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - T_i \sin \theta_i}{\cos \theta_i} \quad (3.27)$$

Dengan $N_i' = N_i - \mu_i a_i$ disubsitusikan ke Persamaan 3.24 dan Persamaan 3.27 diperoleh Persamaan 3.28 berikut.

$$N_i' = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - \mu_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / SF}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \tan \phi' / SF} \quad (3.28)$$

Dari persamaan diatas kemudian disubstitusikan ke Persamaan 3.26, maka menjadi Persamaan 3.29 berikut.

$$SF = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} (c' a_i + \phi' \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - u_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / SF}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \tan \phi' / SF})}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i} \quad (3.29)$$

Dari persamaan diatas dapat disederhanakan dengan menganggap $X_i - X_{i+1} = 0$ dengan cara mengambil Persamaan 3.30 dan Persamaan 3.31 berikut.

$$x_i = R \sin \theta_i \quad (3.30)$$

$$b_i = a_i \cos \theta_i \quad (3.31)$$

Kemudian Persamaan 3.30 dan 3.31 disubstitusikan ke dalam Persamaan 3.29, sehingga diperoleh Persamaan 3.32 yaitu persamaan faktor keamanan.

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left[c' b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi' \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \frac{\phi'}{SF})} \right) \right]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.32)$$

Dengan:

- SF = faktor aman
- c' = kohesi tanah efektif (kN/m^2)
- W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)
- u_i = tekanan air pori irisan ke-i (kN/m^2)
- θ_i = sudut (**Gambar 3.6**)
- b_i = lebar irisan ke-i (m)
- ϕ' = sudut gesek dalam efektif ($^\circ$)

Apabila kondisi lereng atau galian terdapat air maka tekanan air pori pada bidang longsor tidak berpengaruh pada Md , karena resultan gaya akibat tekanan air pori melewati titik pusat lingkaran. Nilai banding tekanan pori didefinisikan dalam persamaan 3.33 berikut.

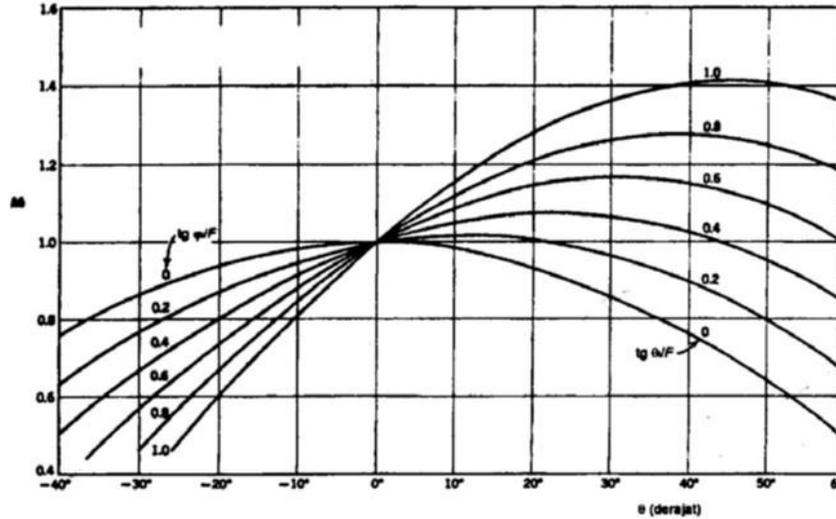
$$r_u = \frac{ub}{W} = \frac{u}{\gamma b} \quad (3.33)$$

Dengan:

- r_u = rasio tekanan air pori
- u = tekanan air pori (kN/m^2)
- b = lebar irisan ke-i (m)
- γ = berat volume tanah (kN/m^2)
- h = tinggi irisan rata-rata (m)

Metode *bishop* ini menggunakan cara *trial and eror* atau dengan cara coba-coba, tetapi hasil hitungan bisa lebih teliti, untuk memudahkan perhitungan dapat digunakan nilai fungsi M_i dimana dapat dilihat pada Persamaan 3.34 dan Gambar 3.7 berikut.

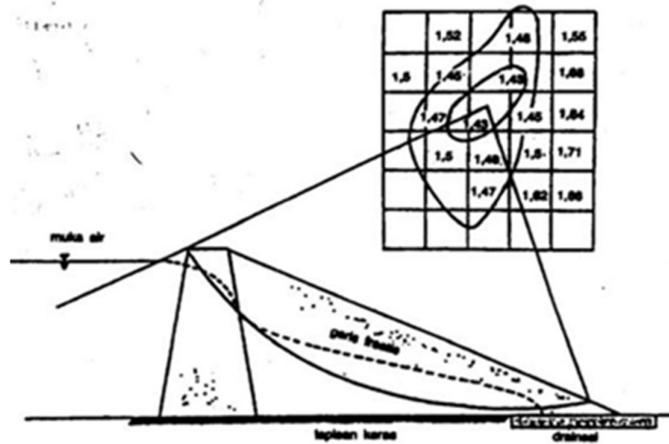
$$M_i = \cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \varphi' / F) \quad (3.34)$$



Gambar 3.7 Diagram Menentukan Nilai M_i

(Sumber: Janbu dkk, 1956)

Lokasi lingkaran longsor kritis metode *Bishop* (1955), biasanya lebih mendekati hasil lapangan, karena itu banyak yang menganggap metode ini lebih disukai. *Trial and error* atau cara coba-coba dipelukan untuk menentukan bidang longsor dengan nilai F terkecil. Pertama dibuat kotak-kotak kecil dimana tiap titik potong garisnya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longsor. Kemudian pada pusat lingkaran longsor atau sumbu lingkaran ditulis nilai perkiraan SF terkecil pada titik tersebut, yaitu dengan cara mengubah jari-jari lingkarannya. Setelah nilai SF terkecil pada tiap titik pada kotaknya diperoleh gambar garis kontur yang menunjukkan kedudukan pusat lingkaran dengan nilai SF yang sama. Dari sini dapat menentukan letak pusat lingkaran dengan SF yang kecil. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.8 Contoh Kontur Faktor Aman

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Faktor keamanan suatu lereng atau galian tanah dapat dilihat pada Tabel 3.7 yang dibuat sesuai dengan besar kestabilan suatu lereng atau galian tanah sebagai berikut.

Tabel 3.7 Pengaruh Jenis Lereng atau Galian Tanah Terhadap Besarnya *Safety Factor*

| Faktor Keamanan (F) | Keadaan Lereng |
|---------------------|----------------------------------------------------------|
| $F < 1,00$ | Lereng dalam kondisi tidak mantap (lereng <i>labil</i>) |
| $1,00 < F < 1,20$ | Lereng dalam kondisi kemantapan diragukan |
| $1,30 < F < 1,40$ | Lereng dalam kondisi memuaskan |
| $1,50 < F < 1,70$ | Lereng dalam kondisi mantap (lereng <i>stabil</i>) |

Sumber: Sosrodarsono (2003)

Pada penelitian kali ini galian tanah pada proses pemasangan *sheet pile* di jalan tol akan digunakan nilai *safety factor* $> 1,3$ dengan keadaan lereng atau galian tanah dalam kondisi memuaskan.

3.4 Perkuatan Tanah

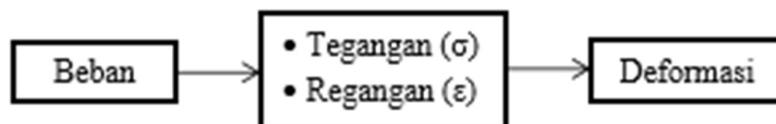
Tanah dilapangan umumnya bersifat lepas, mudah tertekan, mempunyai permeabilitas yang tinggi dan sifat-sifat lain yang tidak sesuai untuk proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus diberi perkuatan. Teknik perkuatan tanah yang berkembang hingga saat ini menggunakan material yang mempunyai sifat fleksibilitas relatif tinggi (Purwanto, 2012)

Keruntuhan atau kelongsoran yang terjadi bukan karena tarikan atau tekanan antar butiran-butiran tanah, namun disebabkan oleh tergulingnya atau tergelincirnya butiran-butiran tanah. Dengan mengetahui tipe keruntuhan yang terjadi, maka perkuatan tanah dapat diterapkan pada bidang longsor dengan cara meletakkan material perkuatan tanah, penjangkaran (*soil nailing*) dan sebagainya.

3.4.1 Teori Perkuatan Tanah

1. Konsep Tegangan-Regangan

Salah satu fungsi terpenting dalam studi mekanika tanah adalah perkiraan mengenai besarnya tegangan akibat suatu beban atau pembebanan yang akan menghasilkan deformasi yang berlebihan disebut Tegangan Runtuh, dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut :



Gambar 3.9 Tegangan dan Regangan

(Sumber: Purwanto, 2012)

2. Masa Tanah

Tanah merupakan material berbutir yang tidak saling terikat/terlepas satu sama lainnya. Butiran tanah mengandung mineral Organik dan Non-Organik. Keruntuhan yang terjadi pada masa tanah akibat beban atau gaya, terutama disebabkan oleh terguling dan tergelincirnya butiran-butiran (*soils*

movement) dan bukan karena oleh tarikan atau tekanan butiran-butiran tanah. Oleh karena itu ada beberapa sifat keruntuhan, yaitu :

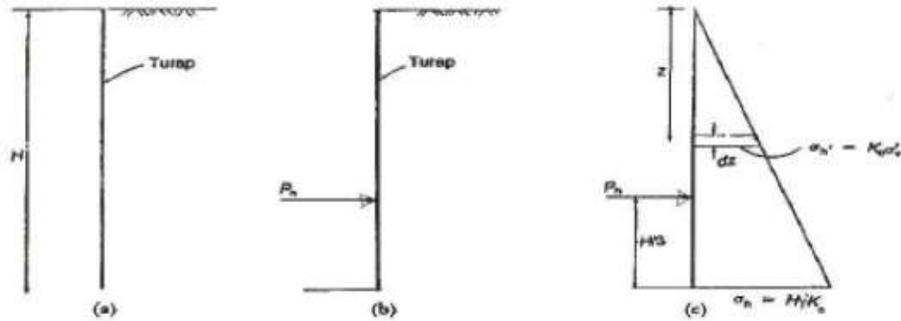
- a. Tegangan yang perlu ditinjau adalah Tegangan Geser, sedangkan tanah atau kekuatannya yang ditinjau adalah Kuat Geser.
- b. Keruntuhan adalah suatu perubahan keadaan dalam struktur tanah yang disertai dengan deformasi pada zona tegangan sampai deformasi itu berhenti. Deformasi total yang dihasilkan adalah :
 - 1) Deformasi akibat tegangan –regangan sampai saat tanah tersebut menjadi runtuh, dan
 - 2) Deformasi yang terjadi sesudah keruntuhan. Kekuatan tanah sesudah runtuh disebut Kekuatan Sisa (*Residual Strength*).

3.5 Tekanan Tanah Lateral

Analisis tekanan tanah lateral digunakan untuk perancangan dinding penahan tanah dan struktur penahan lainnya seperti jembatan, turap, terowongan, saluran beton di bawah tanah dan lain-lainnya. Tekanan tanah lateral adalah gay yang ditimbulkan oleh akibat dorongan tanah di belakang struktur penahan tanah. Besarnya tanah lateral telah diketahui sangat dipengaruhi oleh perubahan letak (*displacement*) dari dinding penahan dan sifat-sifatnya. (*Hardiyatmo, H.C. 1992*). Tekanan tanah lateral dibedakan dalam 3 keadaan yang berbeda-beda, yaitu sebagai berikut:

1. Tekanan tanah lateral pada saat diam.

Tekanan tanah ini terjadi apabila dalam suatu *retaining wall* sama sekali tidak dapat bergerak di dalam tanah. Pada kondisi ini kedudukan tegangan yang telah stabil berkembang dengan tegangan vertikal dan tegangan horisontalnya menjadi tegangan-tegangan efektif utamanya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Definisi Koefisien Tekanan Tanah Saat Diam

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Dari Gambar 3.10c pada sembarang kealamannya dapat diperoleh Persamaan 3.34 berikut.

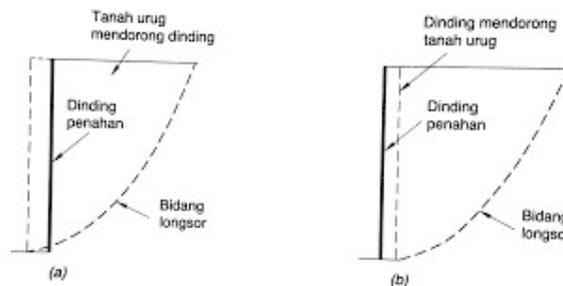
$$K_o = \frac{\sigma_h'}{\sigma_v'} = \frac{\sigma_h'}{\gamma z'} \quad (3.34)$$

Dengan:

- σ_v' = tegangan efektif arah vertikal
- σ_h' = tegangan efektif arah horisontal
- z = kedalaman
- γ' = berat volume efektif

2. Tekanan tanah aktif.

Tekanan tanah aktif akan terjadi dan bekerja ketika *retaining wall* harus menahan longsornya tanah. Dapat juga diartikan dengan tanah aktif dapat terjadi apabila *retaining wall* bergerak menjauh tanah. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Melalui pendekatan lingkaran Mohr didapatkan Persamaan 3.35 yang sering disebut dengan koefisien tekanan tanah aktif.

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.35)$$

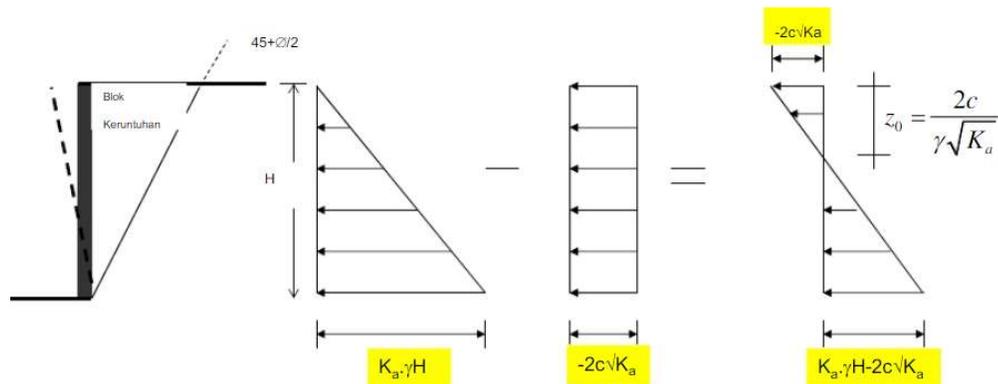
3. Tekanan tanah pasif

Tekanan tanah pasif akan terjadi dan bekerja ketika tanah menahan Bergeraknya *retaining wall* atau apabila dinding didorong menuju tanah. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.11 diatas. Melalui pendekatan lingkaran Mohr diadaptkan Persamaan 3.36 yang sering disebut dengan koefisien tekanan tanah pasif.

$$K_p = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.36)$$

3.5.1 Tekanan Tanah Lateral untuk Tanah Kohesif

Untuk tanah urugan kembali yang berupa tanah kohesif seperti tanah lempung dan pasir, maka tekanan tanah aktif menjadi berkurang. *Bell* (1915) mengerjakan suatu penyelesaian hitungan tekanan tanah lateral pada turap dengan tanah galian berupa tanah lempung seperti Gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.12 Galian Pada Tanah Kohesif

(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Besarnya tekanan tanah aktif dan pasif pada dinding penahan setinggi H , dengan galian tanah dalam kondisi berupa tanah kohesif dapat dinyatakan pada Persamaan 3.37 dan Persamaan 3.38 berikut.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2cH\sqrt{K_a} \quad (3.37)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2cH\sqrt{K_p} \quad (3.38)$$

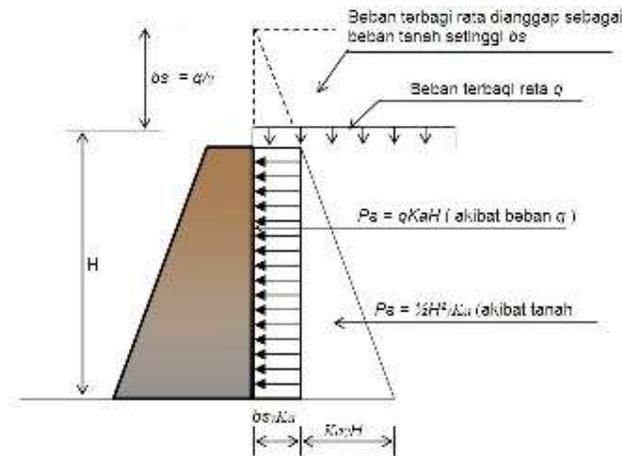
Dengan:

- P_a = tekanan tanah aktif total
 P_p = tekanan tanah pasif total
 H = tinggi dinding penahan tanah
 γ = berat volume tanah
 c = kohesi

3.5.2 Pengaruh Beban di Atas Tanah Urugan

1. Beban Terbagi Merata

Beban merata adalah beban yang bekerja menyentuh bidang konstruksi yang cukup luas dan tidak dapat diabaikan pengaruhnya. Biasanya beban ini dinyatakan dalam satuan newton per meter persegi ataupun newton per meter. Beban terbagi merata disimbolkan dengan q , dan tebal tanah dengan h_s . Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



(Sumber: Hardiyatmo, 1992)

Gambar 3.13 Tekanan Tanah Lateral Akibat Beban Terbagi Merata

Dari gambar diatas dapat diperoleh Persamaan 3.39 berikut.

$$p_a = h_s \cdot \gamma \cdot K_a = q \cdot K_a \quad (3.39)$$

Dikarenakan beban terbagi merata diatas mendapat tambahan tekanan tanah aktif pada dinding penahan tanah setinggi H dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.40 berikut.

$$P_a' = q \cdot K_a \cdot H \quad (3.40)$$

Dengan:

P_a' = tambahan tekanan tanah aktif akibat beban terbagi merata

q = beban terbagi merata

H = tinggi

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

3.6 *Sheet Pile*

Sheet pile adalah salah satu jenis penahan vertikal relatif tipis yang berfungsi untuk menahan tanah dan untuk menahan masuknya air dalam tanah ke dalam lubang galian. *Sheet pile* merupakan salah satu jenis *retaining wall*. *Sheet pile* sendiri terbuat dari beberapa bahan yaitu baja, beton, kayu atau *sheet pile* dari plastik yang berhubungan satu sama lainnya membentuk sebuah dinding kontinu sepanjang tebing saluran. Dalam merencanakan desain *sheet pile* yang perlu diperhatikan adalah kedalamannya *sheet pile* dan jenis tanah. Kedalaman *sheet pile* menentukan kekuatan dari *sheet pile* tersebut. Kekuatan dari *sheet pile* terletak pada ujungnya dan gesekan yang terjadi pada selimut *sheet pile*. Jenis tanah juga menentukan kekuatan *sheet pile* dalam menahan gaya yang terjadi dalam tanah. *Sheet pile* memiliki kelebihan yaitu pemasangannya yang mudah dan biayanya yang murah, akan tetapi *sheet pile* tidak cocok digunakan untuk tanah yang sangat tinggi serta tanah yang memiliki banyak bebatuan. Dikarenakan dari studi kasus yang ada yaitu kedalamannya tanah sedalam 5 meter dan tanah tidak banyak mengandung bebatuan, maka dari itu peneliti menggunakan *sheet pile* untuk perkuatan galian tanah.

3.6.1 Tipe-tipe *Sheet Pile*

Tipe *Sheet Pile* dapat dibedakan menurut bahan yang digunakan. Bahan *Sheet Pile* tersebut bermacam-macam, antara lain sebagai berikut ini.

1. *Sheet Pile* Kayu

Sheet pile kayu digunakan untuk dinding penahan tanah yang tidak begitu tinggi. Karena tidak kuat menahan beban-beban lateral yang besar. *Sheet Pile* kayu ini tidak cocok digunakan pada tanah yang berkerikil karena *sheet pile* cenderung retak ketika dipancang. Bila *sheet pile* kayu digunakan untuk bangunan permanen yang berada diatas muka air, maka perlu diberikan lapisan pelindung agar tidak mudah lapuk. *Sheet pile* kayu banyak digunakan pada pekerjaan-pekerjaan sementara, misalnya untuk penahan tebing galian. Contoh *sheet pile* kayu dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut.



Gambar 3.15 *Sheet Pile* Kayu

(Sumber : Junaidawally, 2013)

2. *Sheet Pile* Beton

Sheet Pile beton merupakan balok-balok beton yang telah dicetak sebelum dipasang dengan bentuk tertentu. Balok-balok *sheet pile* dibuat saling mengkait satu sama lain. Masing-masing balok, kecuali dirancang kuat menahan beban-beban yang akan bekerja pada waktu pengangkatannya. *Sheet pile* beton ini biasanya digunakan untuk konstruksi berat yang dirancang dengan tulangan untuk menahan beban permanen setelah konstruksi dan juga untuk menangani tegangan yang

dihasilkan selama konstruksi. Penampang tiang-tiang ini adalah sekitar 500-800 mm lebar dan tebal 150-120 mm. Ujung bawah turap biasanya dibentuk meruncing untuk memudahkan pemancangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.16 di bawah ini.



Gambar 3.16 Sheet Pile Beton

(Sumber Junaidawally, 2013)

Pada penelitian ini digunakan *sheet pile* beton tipe W 600 A 1000 dengan panjang turap minimal 14 meter dan memiliki nilai kuat tekan beton sebesar 35 Mpa yang diperoleh dari tabel *sheet pile* beton PT. Wijaya Karya Beton. Dapat dilihat pada Lampiran.

3. *Sheet Pile* Baja

Sheet Pile baja sangat umum digunakan, baik dipakai untuk bangunan-bangunan permanen maupun bangunan sementara, karena lebih menguntungkan dan mudah penanganannya. Keuntungan-keuntungannya antara lain:

- a. Kuat menahan gaya-gaya benturan pada saat pemancangan,
- b. Bahan turap relatif tidak begitu berat,
- c. Dapat digunakan berulang-berulang,
- d. Mempunyai keawetan yang tinggi, dan
- e. Penyambungan mudah, bila kedalam turap besar.

Tebal *sheet pile* baja berkisar antara 10-13 mm. Penampang *sheet pile* bisa berbentuk Z, lengkung dalam, lengkung rendah, sayap lurus. *Interlock* pada *sheet pile* dibentuk seperti jempol telunjuk atau bola keranjang yang bisa dihubungkan

sehingga dapat menahan air. Gambar 3.17 berikut merupakan contoh *sheet pile* baja.



Gambar 3.17 Sheet Pile Baja

(Sumber: Junaidawally, 2013)

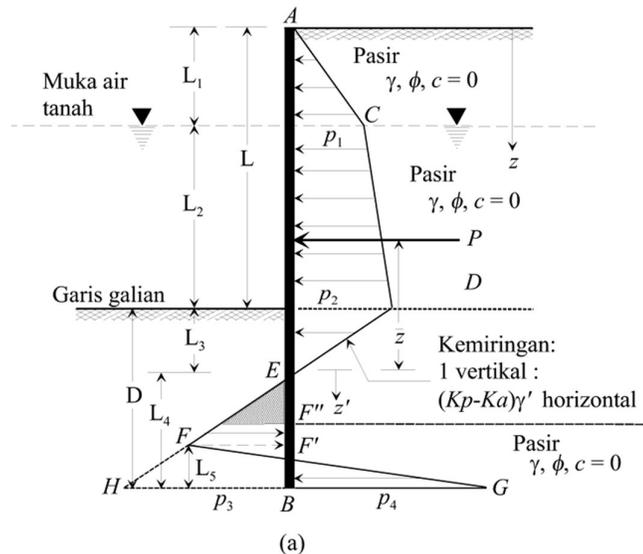
Pada penelitian ini digunakan *sheet pile* baja jenis *Larssen 430* yang memiliki nilai kuat tarik baja sebesar 400 Mpa. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran.

3.6.2 Prinsip Kerja Turap *Kantilaver* Dalam Tanah *Kohesif*

Terdapat dua kemungkinan yang terjadi pada saat perancangan turap *kantilaver* dalam kondisi tanah *kohesif*. Dari dua kemungkinan tersebut memberikan bentuk tekanan tanah lateral yang berbeda. Dua kemungkinan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Seluruh turap dipancang di dalam lapisan tanah lempung.

Dalam merancang turap pada kondisi tanah *kohesif* sangat kompleks dikarenakan dalam kenyataanya dilapangan kuat geser tanah lempung berubah dengan waktunya, dengan demikian tekanan tanah lateral juga mengalami perubahan. Kedalaman penancangan turap dan dimensi turap harus memenuhi persyaratan kuat menahan tekanan pada waktu segera sesudah turap dipancang maupun setelah waktu yang lama sesudah pemancangannya, dimana kuat geser tanah lempung sudah berubah. Tekanan tanah dihitung sesudah turap menancap, yaitu berdasarkan kuat geser *undrained*. Analisisnya dapat dilakukan dengan nilai c dari kuat tekan geser. Gambar 3.18 berikut menunjukkan kondisi tekanann awal untuk turap yang dipancang pada tanah *kohesif* di seluruh bagainnya.



Gambar 3.18 Tekanan Tanah Awal pada Turap Kantilaver

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai $\phi = 0$ dan $Ka = Kp = 1$, maka tekanan tanah pasif di sisi kiri turap dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.39 berikut ini.

$$p_p = \gamma' (z - H) + 2c \quad (3.39)$$

Sedangkan tekanan tanah aktif disela-sela kanan dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.40 berikut ini.

$$p_a = \gamma' z - 2c \quad (3.40)$$

Dengan:

z = kedalaman tanah di bawah muka tanah asli

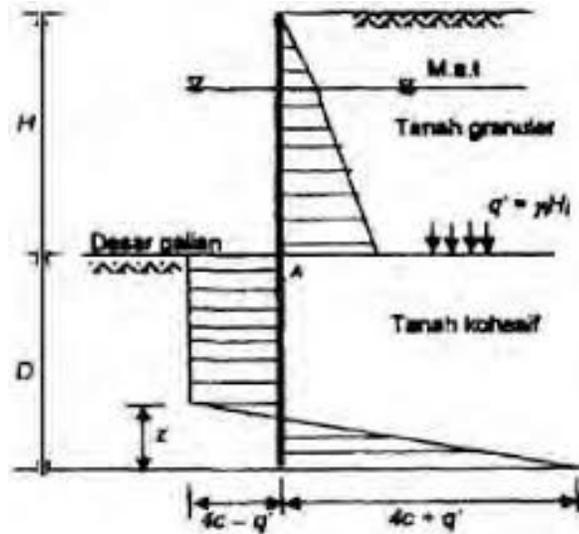
c = kohesi pada kondisi *undrained*

γ' = berat volume efektif (berat volume basah bila tanah di atas muka air

H = tinggi turap yang menahan tanah

2. Turap dipancang pada tanah kohesif dan diurug tanah granular.

Pada kondisi ini kurang lebih sama dengan turap dipancang seluruhnya didalam tanah. Perbedaannya hanya tekanan tanah aktif di atas garis galian adalah sama dengan $K_a \gamma' z$ untuk tanah urugan granulernya. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.19 di bawah ini.



Gambar 3.19 Tekanan Tanah pada Pemancangan Turap dalam Kondisi Tanah Kohesif dengan Tanah Urug Granuler

(Sumber: Teng, 1962)

3.7 Program *Plaxis* 8.5

Plaxis adalah program analisis geoteknik yang dipilih karena dapat menganalisis stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. *Plaxis* 8.5 menyediakan berbagai analisis tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan lereng dan lain-lain.

Model yang akan dipakai pada penelitian ini yaitu Model Mohr-Coulomb dengan pendekatan-pendekatannya. Model ini merupakan model elastis-plastis yang terdiri dari lima buah parameter, yaitu E dan μ untuk memodelkan elastisitas tanah, ϕ dan c untuk memodelkan plastisitas tanah, dan ψ sebagai sudut dilatasi. Disamping kelima parameter dari model tersebut, kondisi tegangan awal dari tanah memegang peranan yang penting dalam hamper seluruh masalah deformasi tanah. Tegangan horizontal awal tanah harus ditentukan terlebih dahulu dengan menentukan nilai K_0 yang tepat (*Brinkgreve, 2007*).

Pada kondisi di lapangan yang dimodelkan ke dalam program *Plaxis* ini bertujuan untuk memisalkan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program dan diharapkan pelaksanaan di lapangan dapat di dekati sedetail mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai contoh dari kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan.

Untuk tahapan analisis menggunakan program *Plaxis* secara garis besar dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu sebagai berikut ini.

1. *Input data*

Pada tahapan *input data* dilakukan pemodelan berupa data geometri dinding tanah dan bahan perkuatan yang akan dianalisis, material tanah, pembebanan, *meshing* dan *initial condition*. Dari tahapan ini diharapkan dapat menggambarkan kondisi nyata di lapangan.

2. *Calculation*

Tahap *calculation* dilakukan setelah pemodelan pada tahap *input data*. Pada tahap ini, analisis dilakukan sesuai dengan kondisi lapangan dan kondisi model yang sudah digambarkan di tahap *input data*. Ada empat macam tipe pada tahap *calculation* pada *Plaxis 8.5*, yaitu *type plastic, consolidation, phi/c reduction, dan dynamic analysis*.

3. *Output*

Output adalah tahap dimana kita dapat melihat hasil analisis yang telah dilakukan pada tahap *calculation*. Hasil analisis dapat ditampilkan dalam bentuk angka, gambar, tabel dan kurva. Untuk hasil analisis yang akan ditinjau dan dipaparkan dalam penelitian ini berupa *total displacement*, potensi kelongsoran, *safety factor*, dan *total stresses*.

4. *Curve*

Curve menggambarkan hasil dari seluruh tahapan analisis dan menampilkan dua parameter untuk melihat hasil perbandingan dari masing-masing tahapan analisis. Pada penelitian ini akan mengambil dua hal yang akan dibandingkan dari tahap *curve* yaitu *safety factor* dan *curve vertical displacement*.