

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Pengertian Tanah

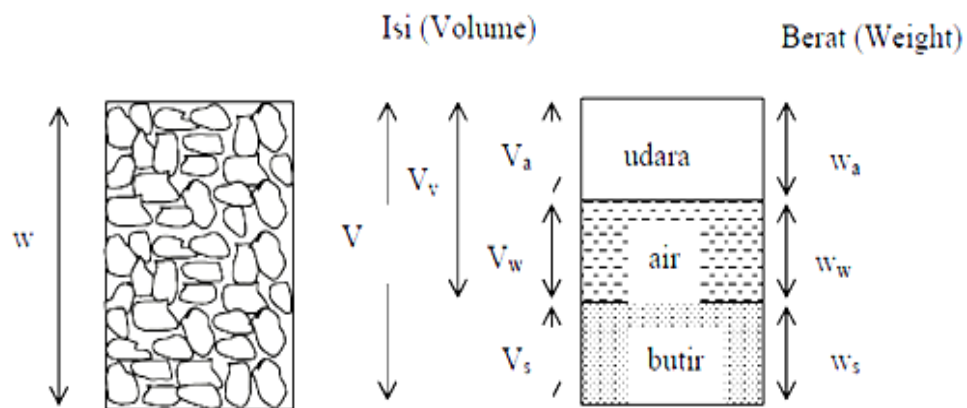
Tanah merupakan sekumpulan tubuh alam yang menduduki hampir sebagian besar dari daratan bumi, tanah juga memiliki banyak manfaat diantaranya adalah sebagai tempat bagi makhluk hidup lainnya dalam melangsungkan kehidupannya dan sebagai penopang setiap bangunan yang berada di atasnya. Tanah berasal dari 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) = $W_s + W_w + W_a = W_s + W_w$,

V = volume/isi (cm^3) = $V_v + V_s$,

V_v = volume/isi pori (cm^3) = $V_a + V_w$,

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

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

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

W_a = berat udara = 0, dan

W_w = 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 (W_w) dengan berat butiran padat (W_s), yang dinyatakan dalam bentuk Persamaan 3.1.

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

2. Berat volume kering (*Dry density*)

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

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \times 100\% \quad (3.2)$$

3. Berat volume jenuh (*Saturated density*)

Berat volume (γ_{sat}), adalah jumlah antara berat air (W) dengan berat butiran padat (W_s) disbanding dengan volume total (V) tanah, yang dinyatakan dalam bentuk Persamaan 3.3.

$$\gamma_{sat} = \frac{W_w + W_s}{V} \times 100\% \quad (3.3)$$

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

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

$$\gamma = \frac{W}{V} \times 100\% \quad (3.4)$$

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, 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, 2006).

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. Tegangan 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.

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

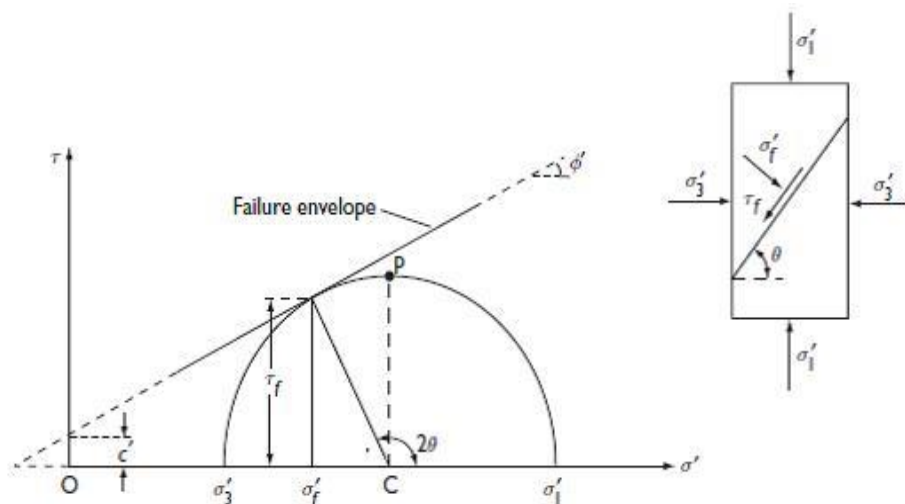
dengan :

τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah

φ = sudut gesek dalam (°)

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



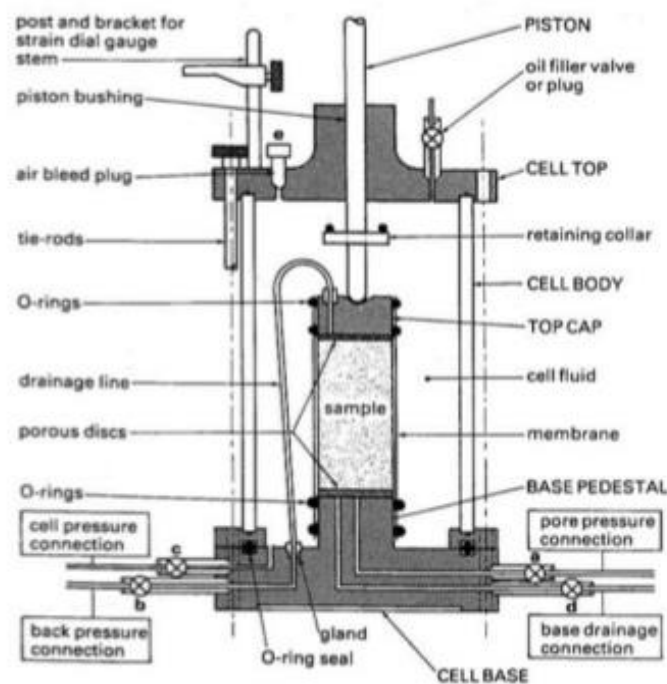
Gambar 3.2 Lingkaran Mohr

(Sumber : Craig, 1989)

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

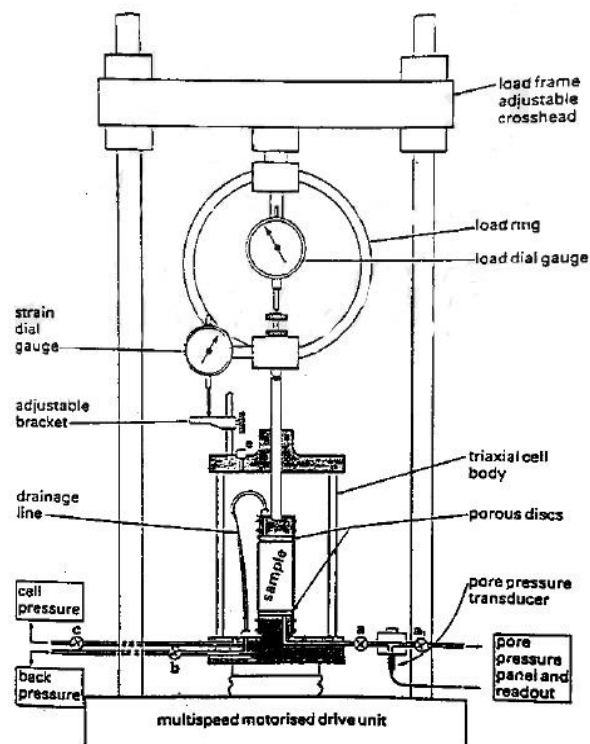
1. Pengujian geser langsung (*Direct shear test*)
2. Pengujian triaksial (*Triaksial test*)
3. Pengujian tekan bebas (*Unconfined compression test*)

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 pada SNI 03-2455-1991. 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 K. H., 1986)



Gambar 3.4 Pengaturan Alat Uji Triaksial Dalam Bingkai Pembebanan

(Sumber: Head K. H., 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 ketegangan 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, (E_s), 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.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.8)$$

$$\text{Luas Tekoreksi} = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \quad (3.9)$$

$$\text{Tegangan Deviator} = \frac{P}{A'} \quad (3.10)$$

$$\sigma = \sigma_3 + \sigma_{\Delta} \quad (3.11)$$

$$x = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \quad (3.12)$$

$$r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3.13)$$

dengan :

ε = regangan,

$\Delta\sigma$ = tegangan Deviator (kg/cm^2),

σ_1 = tekanan utama mayor,

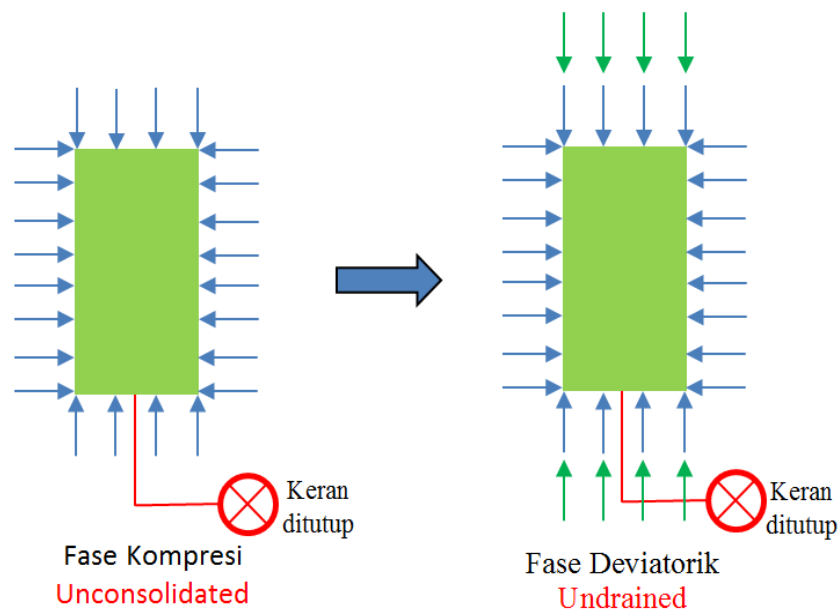
σ_3 = tekanan utama minor,

$\Delta\sigma$ = 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 ditunjukkan 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.

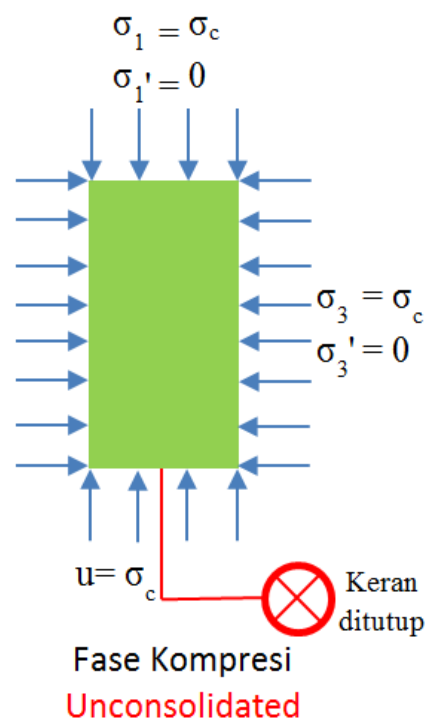


Gambar 3.5 Skematis Uji UU

(Sumber : 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 komprese kita akan memperoleh nilai tegangan yaitu tegangan total, tegangan air pori dan tegangan efektif, dapat dilihat pada Gambar 3.6 dibawah ini.



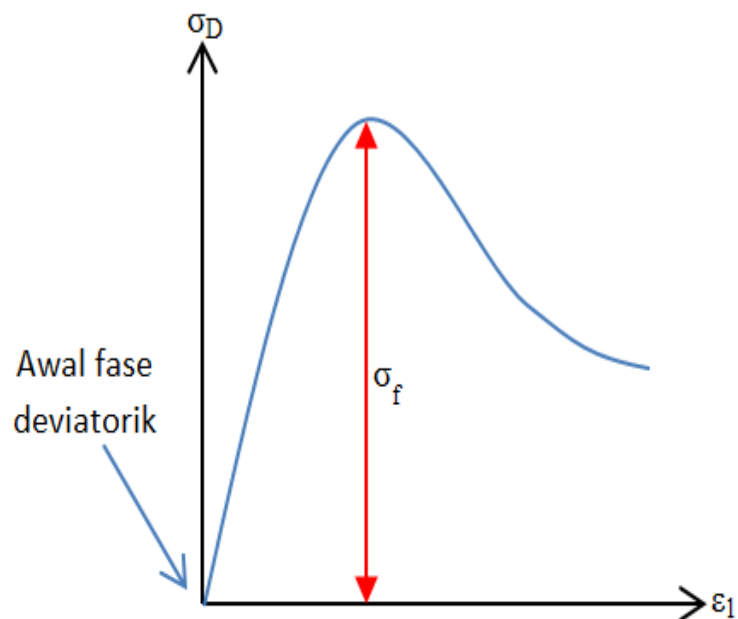
Gambar 3.6 Uji UU-Tegangan Diakhir Fase Kompresi

(Sumber : 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 deviatorik), akan terjadi penambahan atau pengurangan tegangan air pori $\pm u_f$ 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.

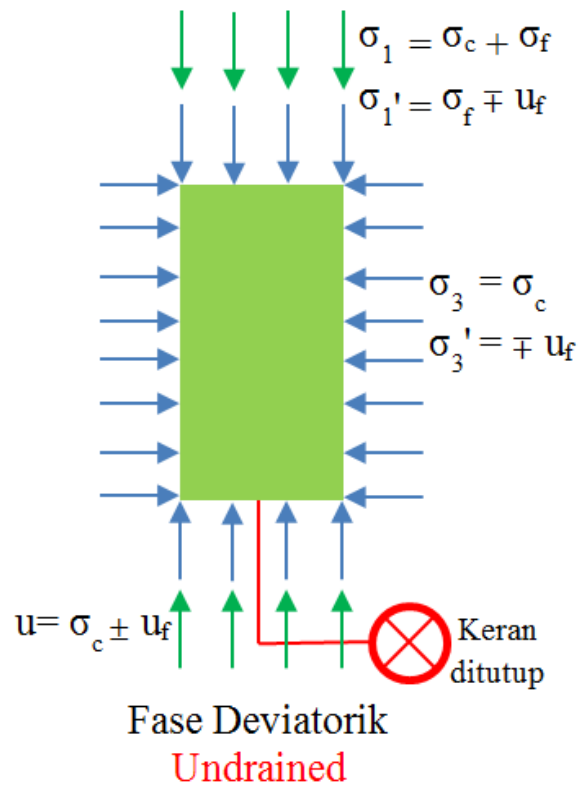


Gambar 3.7 Tipikal Hasil Uji UU (Fase Deviatorik)

(Sumber : 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 : 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 Stabiitas Lereng Tanpa Perkuatan

Lereng stabil apabila lereng tidak memiliki potensi pergerakan, sehingga besarnya gaya penahan harus lebih besar daripada gaya penggerak lereng. Lereng telah diklasifikasikan berdasarkan oleh kecuraman atau sudut kemiringan lereng antara lain oleh SNI-03-1997-1995 yang adapt dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Klasifikasi kemiringan lereng menurut SNI-03-1997-1995

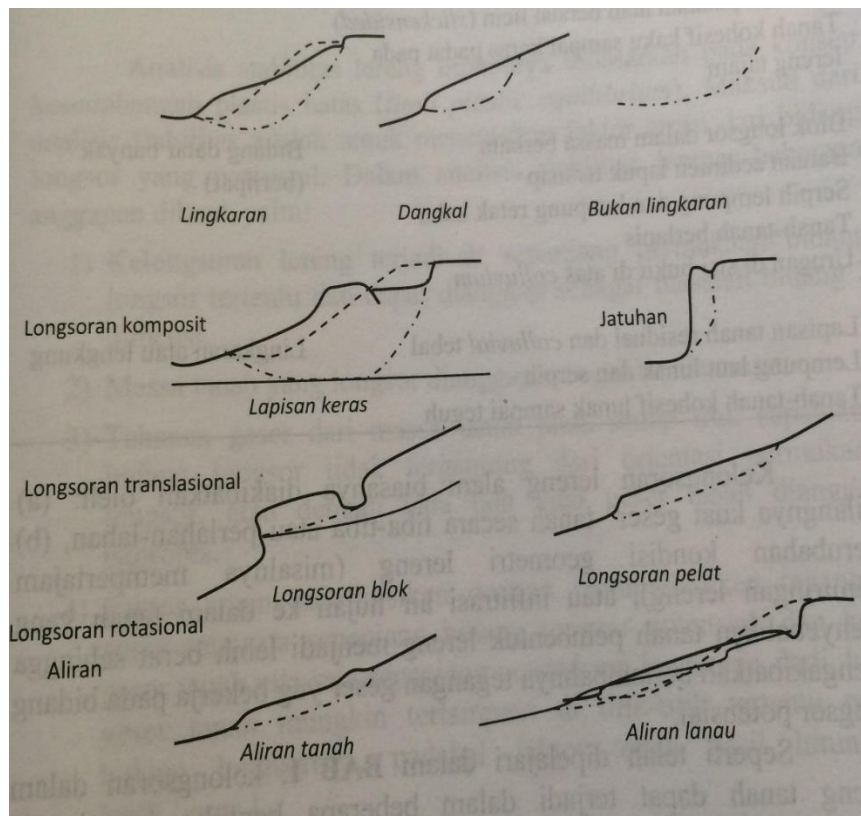
Sudut Kemiringan Lereng (°)	Kondisi menurut SNI 03-1997-1995
45	Sedang
60	Curam
90	Curam

(Sumber : SNI-03-1997-1995)

Dari Tabel diatas disimpulkanbahwa pada lereng yang diteliti saat inidiklasifikasikan sebagai lereng curam, karena memiliki sudut kemiringan antara 70° - 85°.

3.3.1 Model - Model Keruntuhan

Longsor pada lereng biasanya disebabkan oleh perubahan tegangan efektif yang disebabkan oleh perubahan tekanan pori dan bertambahnya berat sendiri tanah akibat infiltrasi air hujan kedalam tanah. Lereng yang kadar airnya bertambah menyebabkan tekanan pori akan naik dan berakibat kuat geser tanah turun. Kelongsoran dapat terjadi secara tidak terduga baik lambat maupun cepat. Longsor memiliki beberapa tipe penurunan, untuk lebih jelas dapat dilihat seperti pada Gambar 3.9 dihalaman selanjutnya.



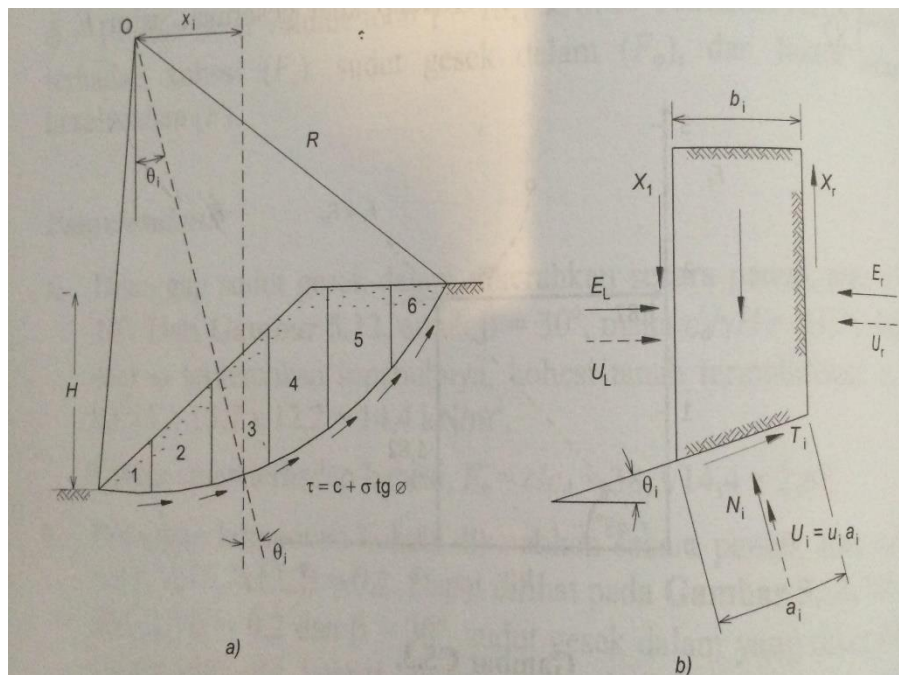
Gambar 3.9 Tipe-tipe Gerakan Massa Lereng

(Sumber : Skempton dan Hutchinson, 1969)

Dari Gambar diatas pada daerah lereng yang diteliti saat ini, termaksud sebagai tipe gerakan massa jatuhan, yaitu jenis gerakan massa tanah yang disebabkan oleh air hujan yang mengisi retakan dipuncak pada sebuah lereng yang terjal.

3.3.2 Metode *Bishop*

Metode *bishop* adalah metode yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng. Metode *bishop* merupakan metode yang sederhana dan memiliki tingkat ketelitian yang cukup tinggi. Analisis dilakukan dengan membagi lereng perpias bagian seperti dapat dilihat pada Gambar 3.10. analisis dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.14 dan 3.15 dihalaman selanjutnya.



Gambar 3.10 Gaya Yang Bekerja Pada Metode Bishop

(Sumber : Bishop A.W., 1955)

$$Sf = \frac{(c x \Delta x + w \tan \Phi)}{w \sin \Phi} \quad (3.14)$$

$$m = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \tan \Phi}{F} \right) \quad (3.15)$$

dengan:

SF = *safety factor*

C = kohesi (KN/m²)

Φ = sudut gesek dalam tanah

α = sudut irisan dengan bidang longsor

W = berat irisan tanah (KN/m)

Q = beban Merata

Δx = panjang irisan (m)

F = faktor Aman Rencana

3.3.3 Pembebanan Pada Lereng

Pembebanan lereng dipengaruhi oleh gaya (tekanan) yang ada di atasnya. Gaya vertikal yang disebabkan oleh bangunan yang berada di atasnya harus dapat ditahan oleh kekuatan lereng. Gaya vertikal oleh bangunan di atasnya dapat ditentukan menggunakan rumus matematik bangun ruang pada Persamaan 3.3 dan 3.4 serta SNI-2013 pada Persamaan 3.5 dibawah ini.

$$V = p \times l \times t \quad (3.16)$$

$$Q = V \times B_j \quad (3.17)$$

$$Q_{tot} = 1,2 Q_d \times 1,6 Q_l \quad (3.18)$$

dengan:

V = Volume (m^3)

P = Panjang Balok (m)

L = Lebar Balok (m)

T = Tinggi Balok (m)

B_j = Berat Jenis Material

Q_{tot} = Berat total bangunan (kN)

Q_d = Berat sendiri bangunan (kN)

Q_l = Beban hidup (kN)

Pada pembebanan pada beban hidup (Q_l) telah diatur pada SNI 03-2847-2013 dan dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

A	Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali yang disebut dalam b	200 kg/m ²
b	Lantai dan tangga rumah tinggal dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125 kg/m ²

Lanjutan Tabel 3.2 Beban Hidup Pada Lantai Gedung

c	Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel asrama dan rumah sakit	250 kg/m ²
d	Lantai ruang olahraga	400 kg/m ²
e	Lantai ruang dansa	500 kg/m ²

(sumber : SNI 03-2847-2013 pasal 9.2)

3.4 *Soil nailing*

Soil nailing adalah suatu metode perbaikan tanah asli yang pertamakali di aplikasikan pada tahun 1961. *soil nailing* adalah metode yang mengkombinasikan perkuatan pasif dari batangan baja dan adukan beton (*schorete*). Perkuatan lereng dengan *soil nailing* dilakukan dengan melakukan pemboran dan memasukan tulangan pada lereng. Saat ini, *soilng nailing* sering dipilih sebagai perkuatan lereng yang dianggap sebagai metode perkuatan lereng yang paling efektif karena proses kontruksinya lebih cepat dan hemat dari biaya.

3.4.1 Kelebihan *Soil nailing*

Soil nailing sering dipilih sebagai alternatif perkuatan lereng karena dianggap lebih menguntungkan daripada perkuatan lainnya. Kelebihan *soil nailing* antara lain sebagai berikut.

1. Penggunaan metode *soil nailing* lebih hemat, ini dikarenakan penggunaan material dan volume baja yang lebih sedikit apabila dibandingkan dengan metode lain seperti *grand anchors*. Pengerjaan *soil nailing* yang lebih cepat menjadi faktor yang dapat lebih menghemat biaya dalam pekerjaan perkuatan lereng.

2. Dinding *soil nailing* lebih fleksibel terhadap penurunan karena memiliki bentuk konstruksi yang lebih tipis apabila dibandingkan dengan dinding gravitasi
3. Tahan gempa
4. Penggunaan peralatan yang relatif kecil
5. Pekerjaan konstruksi *soil nailing* tidak mengganggu lingkungan dikarenakan bebas dari getaran dan memiliki tingkat suara pekerjaan yang kecil
6. Luas area yang diperlukan dalam pekerjaan tidak terlalu besar, sehingga dapat digunakan pada pekerjaan yang memiliki area pekerjaan yang kecil.
7. Dapat digunakan sebagai konstruksi sementara maupun permanen
8. Pekerjaan konstruksi fleksibel dapat menyesuaikan dengan kondisi lapangan baik dari kemiringan, dan dapat mengetahui jenis tanah pada setiap titik penulangan

3.4.2 Kekurangan *Soil nailing*

Soil nailing memiliki banyak kelebihan akan tetapi juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain sebagai berikut.

1. *Soil nailing* tidak cocok untuk struktur yang membutuhkan kontrol ketat pada deformasi. Penanggulangan dapat dilakukan dengan menggunakan tansion *nail* akan tetapi akan menambah biaya konstruksi.
2. *Soil nailing* kurang cocok untuk digunakan pada tempat yang memiliki muka air tinggi. karena akan mempersulit penggalian dibawah muka air.
3. Dibutuhkan kontraktor yang ahli dan berpengalaman dikarenakan tingkat kesulitan dalam pengerjaannya.

3.4.3 Komponen *Soil nailing*

Pada pekerjaan konstruksi *soil nailing* dibutuhkan komponen-komponen antara lain sebagai berikut.

1. Batang baja (*Nail bars*)

Batang baja memiliki nilai kuat tarik bermacam-macam. Kuat tarik batang baja dapat merujuk pada *Federal Highway Administration (FHWA)* antara 420 Mpa-520 Mpa dengan diameter bervariasi sesuai kebutuhan 19 mm, 22 mm, 25 mm,

29 mm, 32 mm, 36 mm, dan 43 mm. Batang baja yang digunakan menganut pada standar ASTM A615 baja ulir dengan daya dukung tanah 420 MPA atau 520 Mpa, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah.

Tabel 3.3 Properti Batang Baja Ulir *Soil nailing*

Diameter	Luas Penampang		Berat Jenis		Kuat Leleh		Kapasitas Beban Aksial	
	inch ²	mm ²	lbs/ft	Kg/m	Ks i	MP a	Kips	kN
19	0.44	284	0.86	21.8	60	414	26.4	118
					75	517	33.0	118
22	0.66	387	0.99	25.1	60	414	36.0	160
					75	517	45.0	200
25	0.79	510	1.12	28.4	60	414	47.4	211
					75	517	59.3	264
29	1.00	645	1.26	32.0	60	414	60.0	267
					75	517	75.0	334
32	1.27	819	1.43	36.3	60	414	76.2	339
					75	517	95.3	424
36	1.56	1006	1.61	40.9	60	414	93.6	417
					75	517	117.0	520

(Sumber: Byrne et al, 1998)

Pada penelitian ini digunakan baja ulir dengan diameter 25 mm dan panjang *nail* 3 meter lebih panjang dari pada sudut keruntuhan lereng. Contoh bentuk baja dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Nail bar*

(Sumber : Navid, 2009)

2. *Hex nut, washer, dan bearing plate*

Hex nut (mur persegi enam), dan *washer* (cincin yang terbuat dari karet atau logam) yang digunakan harus memiliki kuat leleh yang sama dengan batangan bajanya. *Bearing plate* (pelat penahan) umumnya berbentuk persegi dengan panjang sisi 200-250 mm, tebal 19 mm, dan kuat leleh 250 MPa (ASTM A36).

3. *Grout* (Cor beton)

Cor beton untuk *soil nailing* dapat berupa adukan semen pasir. Semen yang digunakan adalah semen tipe I, II, dan III. Semen tipe I (normal) paling banyak digunakan untuk kondisi yang tidak memerlukan syarat khusus, semen tipe II digunakan jika menginginkan panas hidrasi lebih rendah dan ketahanan korosi terhadap sulfat yang lebih baik daripada semen tipe I, sedangkan semen tipe III digunakan jika memerlukan waktu pengerasan yang lebih cepat. Pada penelitian ini digunakan semen tipe I dengan mutu K-25.

4. *Nail Head*

Nail head adalah bagian ujung dari baja yang menonjol keluar dari *wall facing*

5. *Reinforcement Connector* (Penghubung)

Reinforcement Connector digunakan sebagai penyambung potongan baja, ini dilakukan apabila dibutuhkan baja dengan kepanjangan tertentu.

6. *Wall Facing* (Muka atau Tampilan Dinding)

Wall facing berfungsi sebagai penghubung antar batangan baja, dan sebagai pelindung permukaan galian tanah terhadap erosi. *Wall facing* dibuat dengan menggunakan beton yang disemprotkan ke bagian permukaan lereng.

7. *Centralizers* (Penengah)

Centralizers adalah alat yang dipasang sepanjang batangan baja. Jarak pemasangan *centralizers* berkisar antara (0,5 m – 2,5 m).. Alat ini terbuat dari PVC atau material sintetik lainnya. *Centralizers* dapat dilihat pada Gambar 3.12 dihalaman selanjutnya.



Gambar 3.12 Centralizers (penengah)

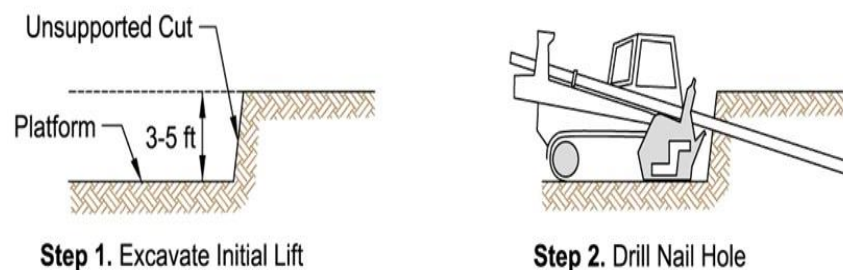
(sumber : Navid, 2009)

8. *Drainage System* (Sistem Drainase)

Drainage System (Sistem Drainase) digunakan untuk mencegah meningkatnya tekanan air pada lereng di belakang muka dinding. Pada drainase dipasang lembaran vertikal komposit untuk mengalirkan air dan dibagian bawah. Kaki lereng harus disediakan saluran pembuangan untuk membuang air yang telah dikumpulkan.

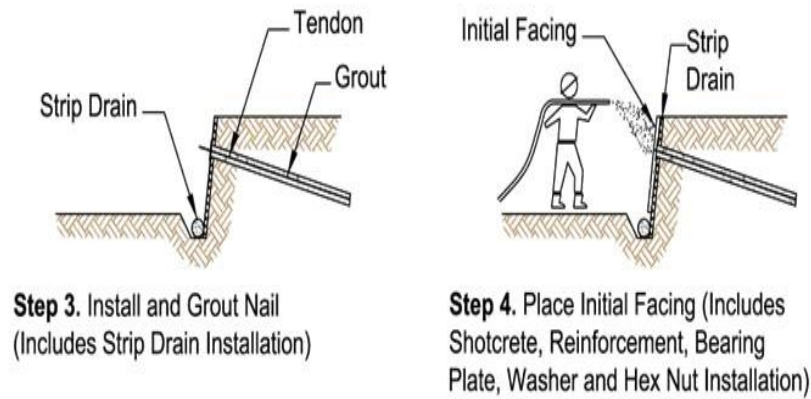
3.4.4 Metode Pelaksanaan *Soil nailing*

Metode pelaksanaan *soil nailing* diawali dengan persiapan alat-alat berat, kemudian mulai dilaksanakan pekerjaan konstruksi seperti pada Gambar 3.13, Gambar 3.14, dan Gambar 3.15 dibawah ini dan halaman selanjutnya.



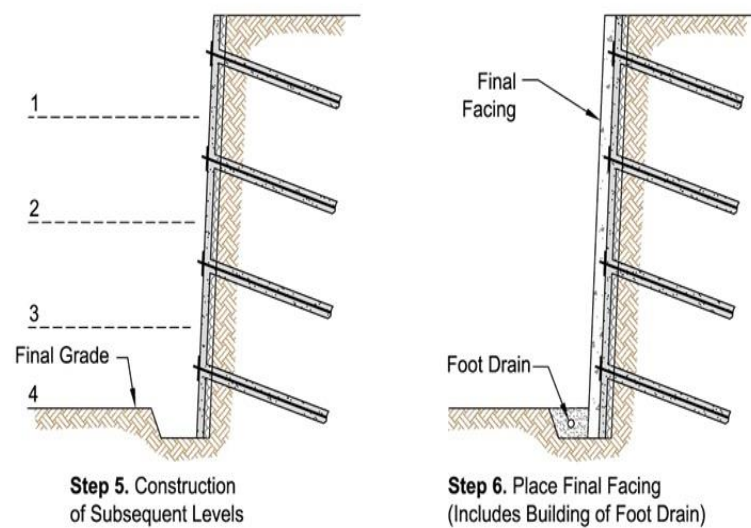
Gambar 3.13 Tahapan Pekerjaan *Soil nailing* Bagian 1 dan 2

(sumber : Navid, 2009)



Gambar 3.14 Tahapan Pekerjaan *Soil nailing* Bagian 3 dan 4

(sumber : Navid, 2009)



Gambar 3.15 Tahapan Pekerjaan *Soil nailing* Bagian 5 dan 6

(sumber : Navid, 2009)

1. Penggalian adalah awal pekerjaan yang dilakukan untuk pekerjaan *soil nailing*. Penggalian harus dilakukan secara bertahap antara 1-2 meter hingga kedalaman yang telah direncanakan dicapai. Kedalaman penggalian tiap tahap harus disesuaikan dengan jenis tanah yang ada, dikarenakan tidak boleh terjadi kelongsoran walaupun tanpa perkerasan, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.16 dibawah ini.



Gambar 3.16 Pekerjaan Galian Tanah

(Sumber : Navid, 2009)

2. Pengeboran dilakukan setelah semua penggalian telah selesai. Pengeboran dapat dilakukan dengan menggunakan *auger* dengan lubang terbuka untuk menghemat biaya karena pekerjaan dapat lebih cepat. Pengeboran untuk *nail* dapat dilihat pada Gambar 3.17 dibawah ini.



Gambar 3.17 Pengeboran Tanah Untuk Nail

(Sumber : Navid, 2009)

3. Pemasangan *nail bar* dan *grouting*, setelah pengeboran selesai, *nail bar* dimasukkan kedalam lubang yang telah digali kemudian dicor dengan beton. Pengecoran dimaksudkan untuk mengikat beton tulangan dan tanah. Aliran air ke dalam dinding galian harus dicegah. Metode konvensional dalam

pengendalian air permukaan dan drainase, diperlukan selama masa konstruksi. Peningkatan tekanan air dengan melakukan penambahan lembaran geokomposit vertikal, sehingga dapat membantu mencegah peningkatan tekanan air tanah pada muka lereng, untuk lebih jelas pemasangan *nail* dapat dilihat pada Gambar 3.18 dibawah ini.



Gambar 3.18 Pemasangan Nail

(Sumber : Navid, 2009)

4. Muka sementara (*Temporary Wall Facing*) dilakukan dengan menyemprotkan *shotcrete* dengan ketebalan 75-100 mm. muka sementara ini berfungsi untuk menjadi perkuatan sementara dan melindungi permukaan tanah dari erosi dan pengisian rongga-rongga yang ada ditanah. Pekerjaan muka sementara dapat dilihat pada Gambar 3.19 dihalaman selanjutnya.



Gambar 3.19 Pembuatan Muka Sementara

(Sumber : Navid, 2009)

5. Pembuatan muka permanen (*Permanent Wall facing*) dilakukan dengan cara yang sama dengan muka sementara tetapi memiliki ketebalan 150-300 mm dan belum termaksud dengan ketebalan dari dinding sementara. Pengecoran muka permanen dilakukan secara berlapis setiap 50 – 100 mm. Muka permanent dapat dilihat pada Gambar 3.20 dibawah ini.



Gambar 3.20 Muka Permanen

(Sumber : Navid, 2009)

3.5 Analisis Stabilitas Lereng dengan *Soil nailing*

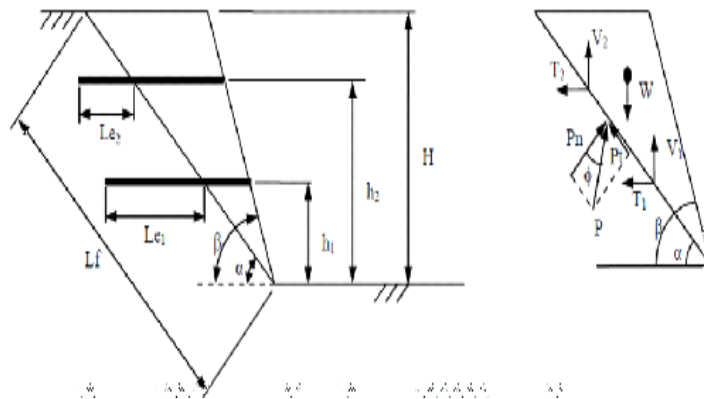
Perkuatan dinding penahan tanah harus didesain sesuai dengan kebutuhan sehingga lereng dapat stabil (aman dari kelongsoran). Analisis stabilitas lereng dengan *soil nailing* dibagi dengan dua tahap pendesainan eksternal dan internal dimana kedua tahap tersebut harus mendapatkan nilai keamanan yang sesuai sehingga lereng dianggap stabil.

3.5.1 Analisis Stabilitas Eksternal

Analisis stabilitas eksternal dilakukan untuk menentukan faktor aman terhadap keruntuhan lereng dari gaya secara eksternal.

1. Analisis terhadap keruntuhan lereng global (*global stability failure*)

Analisis terhadap keruntuhan lereng global dilakukan untuk mengetahui nilai aman terhadap keruntuhan global. Pada perhitungan ini akan digunakan metode baji (*wedge*) dengan bidang longsor planar. Gaya yang bekerja pada metode ini dapat dilihat pada Gambar 3.21 dibawah ini. Analisis dengan menggunakan metode baji (*wedge*) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.19 dan 3.20.



Gambar 3.21 Gaya Yang Bekerja Pada Metode Baji (*Wedge*)

(Sumber : Hoek dan Bray, 1981)

$$\sum T_i - P_n \sin \alpha + P_t \cos \alpha = 0 \quad (3.19)$$

$$W - P_n \cos \alpha - P_t \sin \alpha - \sum V_i = 0 \quad (3.20)$$

Faktor keamanan geser dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang telah disederhanakan seperti pada Persamaan 3.21.

$$FS = \frac{c \cdot L_f + (W+Q) \cos \alpha \cdot \tan \phi + \sum T_i \sin \alpha + i - \sum V_i \cos \alpha + i \tan \phi}{(W+Q) \sin \alpha - \sum T_i \cos \alpha + i - \sum V_i \sin \alpha + i} \quad (3.21)$$

dengan:

SF = faktor aman

- C = kohesi tanah (kN/m²)
 Φ = sudut gesek dalam tanah
 α = sudut kemiringan longsor terhadap garis horisontal
 W = berat irisan tanah ke-n (kN/m)
 Q = beban mati diatas lereng (kN/m)
 L_f = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-n (m)
 L_e = panjang *nail bar* di belakang bidang longsor (m)
 β = kemiringan lereng
 I = kemiringan *nail*
 ΣT_i = jumlah daya dukung terhadap gaya tarik (kN/m)
 ΣV_i = jumlah daya dukung gaya geser (kN/m)

a. Gaya Geser dan Gaya Tarik Ijin Global

Analisis gaya geser dan gaya tarik ijin global dari *nail bar* harus dilakukan untuk mengetahui stabilitas lereng terhadap keruntuhan. Analisis gaya tarik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.22 dibawah ini.

$$V = \frac{R_n}{2 \cdot 1 + 4 \tan^2(90^\circ - \alpha)} \quad (3.22)$$

dengan:

- V = gaya geser ijin *nail bar*
 T = gaya tarik ijin *nail bar*
 R_n = daya dukung tarik *nail bar*

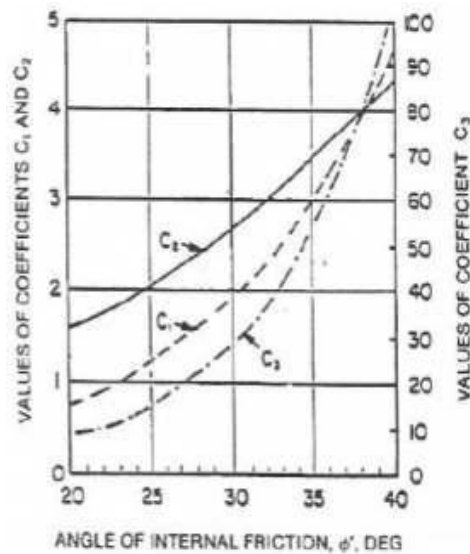
Analisis gaya geser ijin *nail bar* global dapat dihitung dengan Persamaan 3.23 yang ada dibawah ini.

$$V = P_{max} \frac{D}{2} L_o \quad (3.23)$$

dengan :

- V = gaya geser ijin pasif tanah
 D = diameter *nail bar*+*grouting*
 L_o = panjang penyaluran

Analisis gaya geser ijin tanah global didapatkan dengan menggunakan nilai koefisien tanah pasir berdasarkan dari Gambar 3.22.



Gambar 3.22 Grafik Korelasi untuk Tanah Pasir API

(Sumber : Tucker dan Briaud, 1988)

Nilai gaya geser ijin terkecil yang didapatkan antara tanah dan *nail bar* harus dibatasi dengan ketentuan dari Persamaan 3.24 berikut.

$$\frac{V_{max}^2}{Rc^2} + \frac{T_{max}^2}{Rn^2} = 1 \quad (3.24)$$

dengan:

V_{max} = gaya geser ijin global,

T_{max} = gaya tarik ijin global,

Rc = daya dukung geser *nail bar*

Adapun untuk menentukan nilai perkiraan modulus reaksi lateral menurut Bowles dapat dilihat pada Tabel 3.4 dihalaman selanjutnya.

Tabel 3.4 Harga Perkiraan Modulus Reaksi Lateral Tanah (k_s)

Jenis Tanah	K_s (kef)	K_s (kN/m ³)
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	150 – 300	24000 – 48000
Tanah berlempung		
$q_u \leq 200$ kPa (4 kSF)	75 – 150	12000 – 24000
$200 < q_u \leq 400$ kPa	150 – 300	24000 – 48000
$Q_u > 800$ kPa	> 300	> 48000

(Sumber : Bowles J.E., 1996)

b. Gaya Tarik Ijin dari Perkuatan *Soil nailing*

Pada gaya tarik ditentukan gaya ijin terbesar yang akan digunakan, maka apabila gaya tarik ijin lebih kecil daripada gaya ijin global maka digunakan gaya ijin global. Untuk gaya tarik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.25 seperti dibawah ini.

$$T_i = \frac{\pi \times D \times L_e \times f_{max}}{F_o \times S} \quad (3.25)$$

F_{max} adalah daya dukung geser pada ikatan antara tanah dengan permukaan sepanjang *nail bar*. Pada f_{max} dapat dilakukan dengan pengujian tanah. Daya dukung tanah berpasir juga pernah disebutkan dalam jurnal *ellias and juran 1991* seperti pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Daya Dukung Tanah Berpasir

Soil Type	Ultimate Bond Strength (kN/m ²)
Sand/gravel	100 – 180
Silty sand	100 – 150
Silty clayey sand	60 – 140
Silty fine sand	55 – 90

(Sumber: Ellias and Juran, 1991)

2. Analisis Terhadap Penggeseran

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui faktor aman perkuatan lereng terhadap kegagalan penggeseran tanah. Analisis dilakukan dengan menggunakan gaya atau berat sendiri dari bangunan perkuatan sebagai penahan. Analisis terhadap guling dapat dicari nilai faktor aman dengan menggunakan Persamaan 3.26 dibawah ini.

$$FS = \frac{cb \times Bl + (W + Q + PA \sin \varphi) \tan \varphi}{PA \cos \varphi} \quad (3.26)$$

Tekanan aktif lateral dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.27 dan 3.28.

$$PA = \frac{c \times H^2}{2} \times Ka \quad (3.27)$$

$$Ka = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (3.28)$$

dengan:

SF = faktor aman

Cb = kohesi tanah (kN/m²)

Bl = lebar struktur (m)

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/m³)

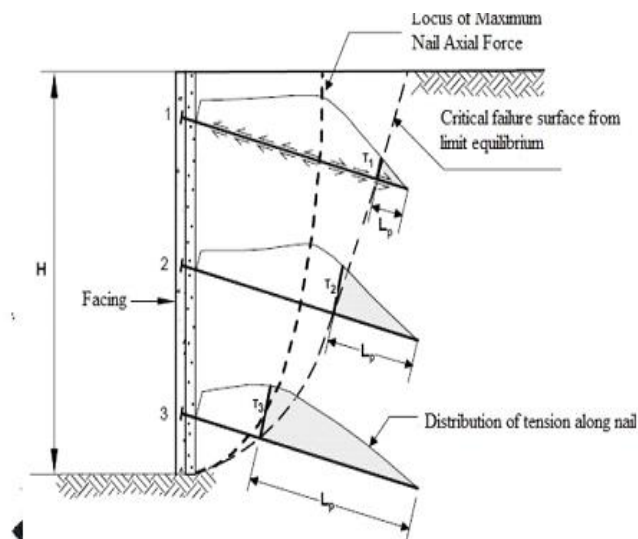
δ = sudut gesek antara tanah fondasi dan dasar struktur

3.5.2 Analisis Stabilitas Internal

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui faktor aman perkuatan lereng *soil nailing* terhadap faktor – faktor yang ada pada internal seperti kekuatan tulangan dan kemungkinan tulangan tercabut

1. Analisis Terhadap Putus Tulangan

Analisis ini dilakukan dengan memperhitungkan jarak antar tulangan dan tekanan tanah yang akan diterima oleh tulangan. Gaya dan aspek yang berpengaruh pada analisis ini dapat dilihat pada Gambar 3.23 di bawah ini dan dianalisis dengan menggunakan Persamaan 3.28 dan 3.29.



Gambar 3.23 Gaya Yang Bekerja Pada Analisis Putus Tulangan

(Sumber :Research Design and Standars Organization, 2010)

$$Fr = \frac{0.25 \times \pi \times d^2 \times fy \times 1000}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \quad (3.29)$$

$$\sigma_h = Kay.z \quad (3.30)$$

dengan:

S_v = jarak tulangan arah vertikal (m)

S_h = jarak tulangan arah horizontal (m)

f_y = daya dukung tarik baja (MPa)

d = diameter tulangan (mm)

σ_h = tekanan horizontal tanah kedalaman ditinjau (kN/m²)

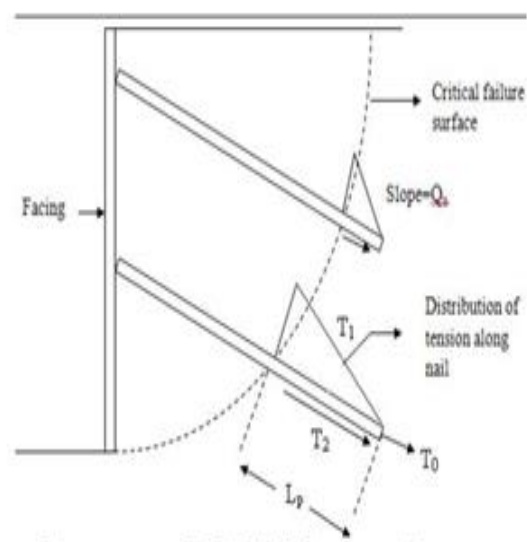
γ = berat isi tanah (kN/m³)

z = kedalaman yang ditinjau (m)

Ka = koefisien tekanan aktif lateral

2. Analisis Terhadap Cabut Tulangan

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tulangan struktur perkuatan lereng dari gaya cabut. Analisis ini dilakukan agar tidak terjadi kegagalan struktur akibat kesalahan pendesainan seperti terlalu pendeknya tulangan. Analisis ini dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.31 dengan gaya yang bekerja ditunjukkan pada Gambar 3.24 dibawah ini.



Gambar 3. 24 Gaya Bekerja Pada Analisis Cabut Tulangan

(Sumber :Research Design and Standars Organization, 2010)

$$Fp = \frac{\pi \times qu \times Ddh \times Lp}{\sigma_h \times Sh \times Sh} \quad (3.31)$$

dengan:

S_v = jarak tulangan arah vertikal (m)

Q_u = ultimate bond strength (kN/m²)

σ_h = tekanan horizontal tanah pada kedalaman (kN/m²)

L_p = panjang tulangan yang berada di zona pasif (m)

Φ = sudut gesek internal tanah

DDH = diameter lubang bor (m)

3.3 Pemodelan Lereng dengan *Software* Geoslope

Geoslope office adalah sebuah paket aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geo-lingkungan. software ini melingkupi slope w, seep w, sigma w, quake w, temp w, dan ctran w. Aplikasi ini bersifat terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke dalam produk yang lain. pada penelitian ini digunakan *software* dengan kategori slope w karena sesuai dengan kebutuhan penelitian. Slope w merupakan produk perangkat lunak untuk membuat pemodelan lereng, menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. Aplikasi slope w yang digunakan dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan pori-air, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. Pada penggunaan aplikasi geoslope dibagi beberapa bagian yaitu pengaturan awal, pembuatan sketsa Gambar, pengaturan analisis, menentukan parameter tiap lapisan tanah, mengGambar, menentukan bidang longsor, penggambaran beban merata, pengGambaran *soil nailing*, dan *solving the problem*.