

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Definisi Tanah

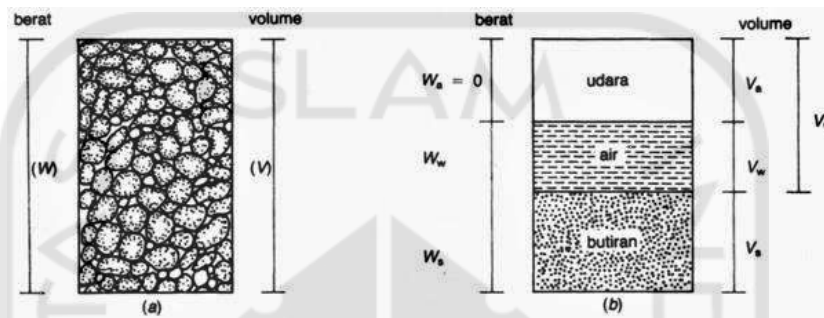
Tanah terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan kandungan organik yang merupakan hasil pelapukan batuan. Baik secara fisik maupun kimiawi. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbelut bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk lainnya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi akibat pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses tersebut disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*).

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga akan digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis. (Hardiyatmo, 2012).

3.1.2 Komponen-Komponen Tanah

Tanah terdiri dari tiga komponen, yaitu: air, udara dan bahan padat (butiran). Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran, sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga terisi oleh udara dan air, tanah pada kondisi jenuh sebagian. Tanah kering adalah tanah yang tidak mengandung air sama sekali atau kadar airnya nol.

Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase ditunjukkan dalam Gambar 3.1 berikut ini. Gambar 3.1a memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume (V) dan berat total (W), sedangkan Gambar 3.1b memperlihatkan hubungan berat dengan volumenya.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

Keterangan:

$$\begin{aligned}
 V &= \text{Volume/isi (cm}^3\text{)} &= V_v + V_s \\
 V_v &= \text{Volume/isi pori (cm}^3\text{)} &= V_a + V_w \\
 V_a &= \text{Volume/isi udara (cm}^3\text{)} \\
 V_w &= \text{Volume/isi air (cm}^3\text{)} \\
 V_s &= \text{Volume/isi butiran (cm}^3\text{)} \\
 W_a &= \text{Berat udara} = 0 \\
 W_w &= \text{Berat air (gr)} \\
 W &= \text{Berat tanah (gr)} &= W_s + W_w + W_a = W_s + W_w
 \end{aligned}$$

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), kadar air dinyatakan dalam persamaan 3.1 berikut ini.

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

2. Berat Volume Kering (*Wet Density*)

Berat volume kering (γ_d), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V). berat volume kering dinyatakan dalam persamaan 3.2 berikut ini.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{v} \quad (3.2)$$

3. Berat volume jenuh (*saturated density*)

Berat volume (γ_{sat}), adalah jumlah antara berat air (W) dengan berat butiran padat (W_s) dibanding dengan volume total (V) tanah, berat volume jenuh dinyatakan dalam persamaan 3.3 berikut ini.

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

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 (Vv), berat volume basah dinyatakan dalam persamaan 3.4 berikut ini.

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

5. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s), dengan berat volume air (γ_w), berat jenis dinyatakan dalam persamaan 3.5 berikut ini.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.5)$$

G_s tidak berdimensi. Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Berat jenis $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk tanah-tanah tidak berkoheksi atau tanah granular, sedang untuk tanah-tanah kohesif tidak mengandung bahan organik G_s berkisar di antara 2,68 sampai 2,72 (Hardiyatmo, 2012). Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah berikut.

Tabel 3.1 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

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

(Sumber: Hardiyatmo, 2012)

3.1.3 Properties Tanah

Properties tanah yang digunakan dalam proses penelitian meliputi berat volume basah (γ), sudut geser dalam (ϕ), serta kohesi (c).

1. Berat volume tanah basah (γ)

Berat volume tanah basah adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume tanah (V). nilai dari berat volume tanah basah (γ) sesuai dengan jenis tanahnya dapat dilihat pada Tabel 3.2 Korelasi berat volume untuk tanah kohesif dan non kohesif berikut ini.

Tabel 3.2 Korelasi Berat Volume (γ) untuk Tanah Kohesif dan non Kohesif

	<i>Cohesionless Soil</i>				
N	0 - 10	11 - 30	31 - 50	>50	
<i>Unit Weight (γ)</i>	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23	
<i>Angle of friction (ϕ)</i>	25 - 32	28 - 36	30 - 40	>35	
<i>State</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>	
	<i>Cohesive</i>				
N	<4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	>25
<i>Unit Weight (γ)</i>	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	>20
qu, kPa	<25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	>100
<i>consistency</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

(Sumber: Lambe dan Whitman, 1969)

2. Sudut Geser Dalam (ϕ)

Kekuatan geser dalam mempunyai variable kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam juga dapat disebut sebagai sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material diberikan tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang diberikan terhadapnya. Nilai dari sudut geser dalam (ϕ) sesuai dengan jenis tanahnya ditunjukkan pada Tabel 3.3 hubungan antara sudut geser tanah dengan jenis tanah berikut ini.

Tabel 3.3 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil kepasiran	35° – 40°
Kerikil kerakal	35° – 40°
Pasir padat	35° – 40°
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	25° – 30°
Lempung	20° – 25°

(Sumber: Das, 1995)

3. Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah, yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Aspek yang mempengaruhi nilai kohesi adalah kerapatan dan jarak antar molekul dalam suatu tanah. Kohesi berbanding lurus dengan kerapatan suatu tanah, sehingga apabila kerapatan semakin besar maka kohesi yang akan dimiliki juga semakin besar. Nilai kohesi dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahnya. Di bawah ini merupakan Tabel 3.4 nilai kohesi berdasarkan nilai berat volume tanah yang dimiliki.

Tabel 3.4 Nilai Kohesi Tanah Berdasarkan Nilai Berat Volume (γ)

	<i>Cohesive Soil</i>				
N-SPT	<4	4 - 6	6 - 15	16 - 30	31 - 50
<i>State</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>
<i>Cohesion</i>	0 - 10	10 - 25	25 - 45	45 - 95	>100
<i>Unit Weight</i>	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	20 - 23

(Sumber: Lambert and Whitman, 1969)

3.2 Kuat Geser Tanah

3.2.1 Definisi Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser tanah merupakan perlawanan internal terhadap tanah tersebut persatuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud (Das, B. M, 1985). Dalam buku yang lain juga telah disebutkan bahwa kekuatan geser tanah adalah kekuatan tanah 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. 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.

3.2.2 Teori Kuat Geser Tanah

Menurut teori Mohr (Mohr, 1910), kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan dengan persamaan 3.6 berikut ini:

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.6)$$

dimana:

τ = tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan (kN/m²)

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

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hardiyatmo, 2002). Coulomb mendefinisikan $f(\sigma)$ seperti pada persamaan 3.7 berikut ini:

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

dimana:

τ = kuat geser tanah (kN/m²)

c = kohesi tanah

ϕ = sudut gesek dalam (°)

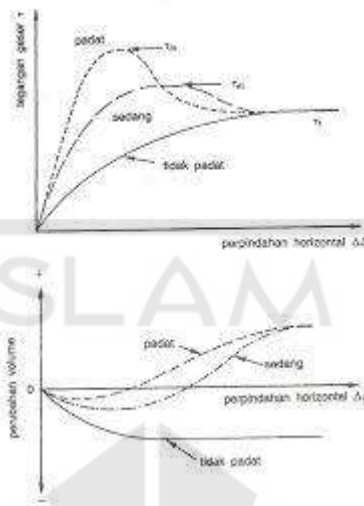
σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

3.2.3 Kuat Geser Tanah Pasir

Kuat geser tanah pasir dapat ditentukan dari salah satu ujia triaksial (*triaxial test*) atau uji geser langsung (*direct shear test*). Kelebihan tekanan air pori akibat adanya beban yang bekerja di atas tanah pasir dalam kondisi jenuh adalah nol. Hal ini disebabkan tanah pasir mempunyai permeabilitas besar, sehingga pada kenaikan beban, air pori relative cepat menghambur ke luar tanpa menimbulkan tekanan yang berarti. Jadi, dapat dianggap bahwa kondisi pembebanan pada tanah pasir akan berupa pembebanan pada kondisi terdrainase atau *drained*.

1. Uji Geser Langsung pada Tanah Pasir

Gambar 3.2 memperlihatkan sifat khusus dari hasil uji geser langsung pada tanah pasir tidak padat, sedang dan padat. Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa.



Gambar 3.2 Hasil Uji Geser Langsung pada Tanah Pasir

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

- Pada tanah pasir padat dan sedang, tegangan geser bertambah oleh perpindahan akibat geser ΔL , pada suatu nilai yang maksimum τ_m dan berkurang ke nilai yang mendekati konstan pada nilai τ_t pada perpindahan akibat geser yang besar. Tegangan yang konstan (τ_t) ini merupakan tegangan geser batas (ultimit).
- Pada tanah pasir tidak padat, tegangan geser bertambah dengan ΔL , pada suatu nilai maksimum, dan kemudian konstan.
- Untuk tanah pasir padat dan sedang, volume awal berkurang, kemudian bertambah dengan ΔL -nya. Pada ΔL yang besar, volume benda uji mendekati konstan.
- Untuk tanah pasir tidak padat, volume benda uji berangsur-angsur berkurang pada suatu nilai tertentu dan kemudian mendekati konstan.

Pada pasir padat, butiran berhubungan saling mengunci satu sama lain dan rapat. Sebelum kegagalan geser terjadi, hubungan yang saling mengunci ini menambah perlawanan gesek pada bidang geser. setelah tegangan tegangan puncak tercapai pada nilai ΔL yang rendah, tingkat penguncian antar butirnya turun dan tegangan geser selanjutnya berkurang. Pengurangan tingkat

penguncian antar butir menghasilkan penambahan volume contoh benda uji selama geseran berlangsung. Kadang-kadang benda uji menjadi cukup mengembang sehingga meluap dari tempatnya. Pada kondisi ini tegangan geser menjadi konstan, yaitu pada nilai tegangan batasnya. Derajat hubungan saling mengunci antar butir akan sangat besar pada tanah-tanah pasir yang tergradasi baik dengan bentuk butiran yang bersudut. Dalam keadaan ini, pasir akan mempunyai kuat geser yang tinggi.

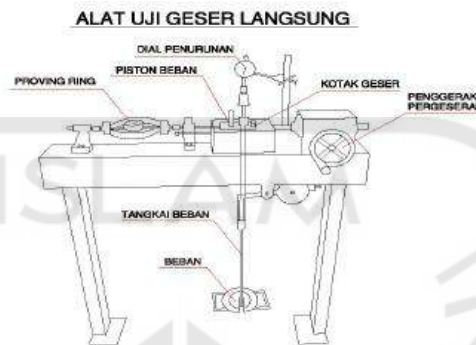
Pada pasir yang tidak padat, derajat penguncian antar butir kecil, sehingga kenaikan tegangan geser secara berangsur-angsur akan menghasilkan suatu nilai yang menuju nilai tegangan batas, dengan tidak ada nilai tegangan geser puncak. Tiap kenaikan tegangan geser, akan diikuti oleh pengurangan volume benda uji. Pada tegangan vertikal dan tegangan sel yang sama, nilai tegangan geser batas dan angka pori untuk pasir tidak padat dan tanah pasir padat mendekati sama. Benda uji tanah pasir dikatakan pada nilai banding pori kritis, jika tercapai keadaan volume benda uji yang tetap tak berubah pada proses penggeseran. Pada tanah pasir, hanya kuat geser dari pengujian *drained*, relevan digunakan dalam praktek. Nilai kuat geser ϕ' ($c' = 0$) pada masing-masing kondisi pasir diperlihatkan pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Nilai Sudut Gesek Dalam ϕ' untuk Tanah Pasir

Macam	Sudut gesek dalam efektif ϕ'	
	Tidak padat	Padat
Pasir bulat, seragam	27°	35°
Pasir gradasi baik, bentuk bersudut	33°	45°
Kerikil pasir	35°	50°
Pasir berlanau	27° – 30°	30° – 34°

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

Detail alat uji geser langsung (*direct shear test*) dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Alat Uji *Direct Shear Test*

(Sumber: SNI 2813 - 2008)

3.3 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah merupakan suatu upaya untuk memperoleh informasi bawah tanah untuk perencanaan pondasi bangunan sipil. Penyelidikan tanah harus mencapai kedalaman dimana tanah telah memberikan daya dukungnya atau berkontribusi penurunan akibat struktur yang akan dibangun. 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, perkiraan awal jenis pondasi yang akan dipakai.

Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara, misalnya dengan menggali lubang uji, pengeboran dll. Biasanya tanah yang akan diuji akan dibawa ke laboratoriu, namun ada juga yang melakukan pengujian langsung di lapangan tergantung pada jenis pengujian yang akan dilakukan dan keperluannya. Penyelidikan tanah biasanya dibagi menjadi 3 tahap, antara lain pengeboran atau penggalian lubang uji, pengambilan contoh tanah dan pengujian contoh tanah. Pengujian pun dilakukan pada tanah terganggu (*disturbed sample*) dan tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*). Tanah yang diambil untuk sampel pengujian merupakan tanah asli, yaitu bebas dari humus dan akar-akar tumbuhan.

3.4 Lereng dan Longsoran

3.4.1 Lereng

Lereng adalah suatu bidang dipermukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah. Lereng dapat terbentuk secara alami dan dapat juga dibuat oleh manusia. Dalam bidang teknik sipil, ada tiga jenis lereng yaitu.

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk karena peristiwa alam, misalnya lereng suatu bukit.
2. Lereng yang dibuat dari tanah asli, misalnya tanah yang dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk irigasi.
3. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan, misalnya tanggul untuk jalan atau bendungan tanah.

Lereng dikatakan stabil apabila lereng tidak memiliki potensi pergerakan, sehingga besarnya gaya penahan harus lebih besar daripada gaya penggerak lereng. Lereng telah diklasifikasikan berdasarkan kecuraman atau sudut kemiringan lereng antara lain oleh SNI-03-1997-1995 yang bisa dilihat pada Tabel 3.6 klasifikasi kemiringan lereng berikut ini.

Tabel 3.6 Klasifikasi Kemiringan Lereng Menurut SNI-03-1997-1995

Sudut Kemiringan (°)	Kondisi Lereng
45	Sedang
60	Curam
90	Curam

(Sumber: SNI-07-1997-1995)

3.4.2 Longsoran

Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau

keluar lereng. Proses terjadinya tanah longsor diawali dengan adanya air yang meresap ke dalam tanah yang akan menambah bobot tanah, jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah tersebut menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng.

Menurut Arsyad (dalam Ahmad Denil Efendi, 1989:27) mengemukakan bahwa lapisan yang terdiri dari tanah liat atau mengandung kadar tanah liat tinggi setelah jenuh air akan bertindak sebagai peluncur. Longsoran akan terjadi jika terpenuhi tiga keadaan sebagai berikut.

1. Adanya lereng yang cukup curam sehingga massa tanah dapat bergerak atau meluncur ke bawah.
2. Adanya lapisan di bawah permukaan massa tanah yang agak kedap air dan lunak, yang akan menjadi bidang hancur, dan
3. Adanya cukup air dalam tanah sehingga lapisan massa tanah yang tepat di atas lapisan kedap air tersebut menjadi jenuh.

3.5 Stabilitas Lereng

3.5.1 Teori Analisis Stabilitas Lereng

Menurut Hardiyatmo (2006), tujuan dilakukannya analisis stabilitas lereng yaitu.

1. Memahami perkembangan dan bentuk dari lereng alam, dan proses-proses yang menyebabkan perubahan karakteristiknya.
2. Menilai stabilitas lereng saat kondisi waktu jangka pendek (saat pembangunan) dan waktu jangka panjang.
3. Menilai kemungkinan terjadinya kelongsoran lereng alam maupun lereng buatan.
4. Menganalisis dan memahami mekanisme keruntuhan dan pengaruh lingkungan.
5. Melakukan perancangan ulang lereng yang telah longsor dan melakukan tindakan-tindakan pencegahan maupun perbaikan bila diperlukan.
6. Mempelajari pengaruh beban gempa pada lereng alam dan timbunan.

Analisis stabilitas lereng pada umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Maksud dari dilakukannya analisis stabilitas

lereng yaitu untuk menentukan factor keamanan dari bidang longsor yang potensial. Faktor aman didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan, yang dapat dilihat pada persamaan 3.8 berikut ini.

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \quad (3.8)$$

dengan:

- τ = tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah (kN/m²),
- τ_d = tegangan geser akibat gaya berat tanah yang akan longsor (kN/m²),
- F = factor keamanan.

Pada umumnya nilai faktor keamanan stabilitas lereng atau faktor keamanan terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2 – 1,5. Nilai angka keamanan terhadap intensitas longsornya dapat dilihat pada Tabel 3.7 hubungan nilai faktor keamanan dengan intensitas longsor berikut ini.

Tabel 3.7 Hubungan Nilai Faktor Keamanan dengan Intensitas Longsor

Nilai Faktor Keamanan	Kemungkinan Longsor
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng stabil)

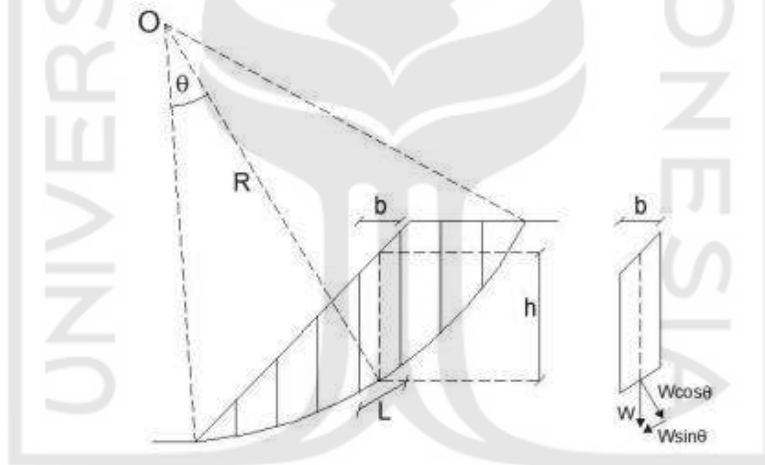
(Sumber: Bowles, 1984)

3.5.2 Metode Irisan Biasa (*Fellenius*)

Metode Fellenius (*ordinary method of slice*) diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius, yang menyatakan gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. Analisis stabilitas

lereng dengan menggunakan metode Fellenius menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa gaya normal P bekerja di tengah-tengah irisan. Diasumsikan pula bahwa resultan gaya-gaya antar irisan pada tiap irisan adalah sama dengan nol atau dengan kata lain bahwa resultan gaya-gaya antar irisan diabaikan. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan dengan menggunakan metode Fellenius dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Gaya-gaya yang Bekerja Pada Irisan Fellenius

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

dimana:

X_l, X_r = gaya geser efektif di sepanjang sisi irisan,

E_l, E_r = gaya normal efektif di sepanjang sisi irisan,

T_i = gesultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan,

N_i = gesultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan,

U_l, U_r = tekanan air pori yang bekerja di kedua sisi irisan, dan

U_i = tekanan air pori di dasar irisan.

Berdasarkan anggapan di atas maka keseimbangan arah vertical dari gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori dapat dilihat pada Persamaan 3.9 berikut.

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

atau,

$$\begin{aligned} N_i &= W_i \cos \theta_i - U_i \\ &= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \end{aligned} \quad (3.9)$$

Faktor aman (SF) didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor (ΣM_R) dengan jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor (ΣM_D) yang dapat dilihat pada Persamaan 3.10 berikut.

$$\begin{aligned} F &= \frac{\text{Jumlah momen dari tahanan geser sepanjang bidang longsor}}{\text{Jumlah momen dari berat massa tanah yang longsor}} \\ &= \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_D} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, sehingga dapat dijadikan seperti Persamaan 3.11 berikut.

$$\Sigma M_d = R \sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \quad (3.11)$$

dengan:

- R = jari-jari lingkaran bidang longsor (m),
- n = jumlah irisan,
- W_i = berat massa tanah irisan ke- I (kN), dan
- θ_i = sudut yang didefinisikan ($^\circ$).

Melalui cara yang sama, untuk momen yang menahan tanah yang akan longsor dapat dilihat pada persamaan 3.12 berikut.

$$\sum M_r = R \sum_{n=1}^{i=n} (c_{ai} + N_i \operatorname{tg} \varphi) \quad (3.12)$$

Sehingga untuk nilai faktor aman menjadi seperti Persamaan 3.13 berikut.

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} (c_{ai} + N_i \operatorname{tg} \varphi)}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.13)$$

Bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (M_d), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi persamaan (3.11) ke persamaan (3.13), maka diperoleh Persamaan 3.14 berikut.

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{i=n} c_{ai} + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \varphi}{\sum_{n=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.14)$$

dengan:

- F = faktor aman,
- C = kohesi tanah (kN/m^2),
- φ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$),
- a_i = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke- I (m),
- W_i = berat irisan tanah ke- I (kN),
- u_i = tekanan air pori pada irisan ke- I (kN/m^2), dan
- θ_i = sudut yang didefinisikan ($^\circ$).

pada proses perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan irisan *Fellenius*, berat setiap irisan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.15 untuk irisan yang hanya dibebani berat tanah serta Persamaan 3.16 untuk irisan yang juga terdapat beban seperti beban bangunan di atas lereng.

$$W_i = \gamma \times A_i \quad (3.15)$$

$$W_i = (\gamma \times A_i) + (q \times L) \quad (3.16)$$

dimana:

W_i = berat irisan tanah (kN),

γ = berat volume tanah (kN/m³),

A_i = luas irisan tanah (m²),

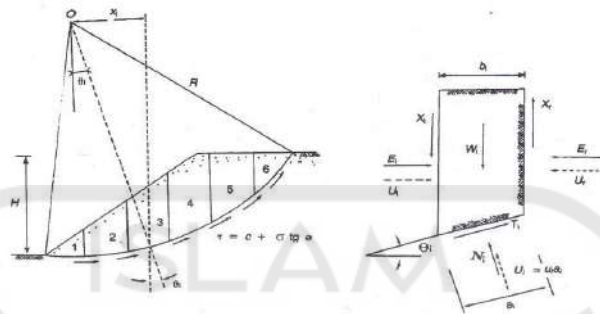
q = beban di atas lereng (kN/m²), dan

L = lebar irisan yang terkena beban (m).

Jika terdapat gaya-gaya selain berat tanahnya sendiri, seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d .

3.5.3 Metode Bishop yang Disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Metode Bishop adalah metode yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng. Metode bishop merupakan metode sederhana dan memiliki tingkat ketelitian yang cukup tinggi. Analisis dilakukan dengan membagi lereng per pias bagian. Metode Bishop yang disederhanakan (Bishop, 1955 dalam Hardiyatmo, 2003: 364) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan sama dengan nol pada arah vertical. Berikut adalah gaya-gaya yang bekerja pada irisan metode bishop seperti pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Gaya-gaya yang Bekerja pada Metode Bishop

(Sumber: Hardiyatmo 2008)

Factor aman untuk metode Bishop dapat dilihat pada Persamaan 3.17 dan 3.18 berikut.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + W_i (1 - r_u) \operatorname{tg} \phi' \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F)} \right)]}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (3.17)$$

$$M_i = \cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F) \quad (3.18)$$

dimana:

SF = *safety factor*,

c = kohesi tanah (kN/m²),

ϕ = sudut geser dalam tanah (°),

α = sudut irisan dengan bidang longsor (°),

W = berat irisan tanah (kN), dan

F = factor aman rencana.

pada proses perhitungan analisis stabilitas lereng menggunakan irisan Bishop, berat setiap irisan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.19 untuk irisan yang hanya dibebani berat tanah serta Persamaan 3.20 untuk irisan yang juga terdapat beban seperti beban bangunan di atas lereng.

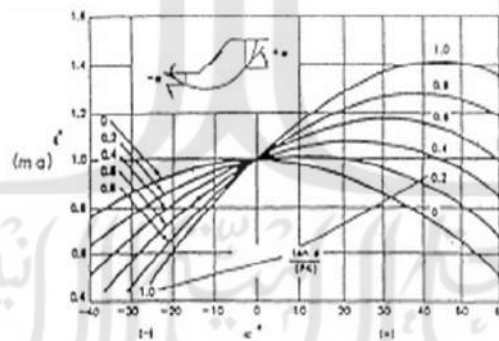
$$W_i = \gamma \times h \quad (3.19)$$

$$W_i = (\gamma \times h) + (q \times L) \quad (3.20)$$

dimana:

- W_i = berat irisan tanah (kN),
 γ = berat volume tanah (kN/m³),
 h = tinggi pias (m),
 q = beban di atas lereng (kN/m²), dan
 L = lebar irisan yang terkena beban (m).

Persamaan factor aman Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode Fellinius. Lagi pula, membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), karena nilai factor aman F nampak di kedua sisi persamaanya. Akan tetapi, cara ini telah terbukti menghasilkan nilai factor aman yang mendekati hasil hitungan dengan cara lain yang lebih teliti. Untuk mempermudah hitungan secara manual, digunakan diagram untuk menentukan nilai M_i seperti pada Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6 Diagram Untuk Menentukan M_i , (Janbu Dkk, 1956)

(Sumber: Hardiyatmo, 2003)

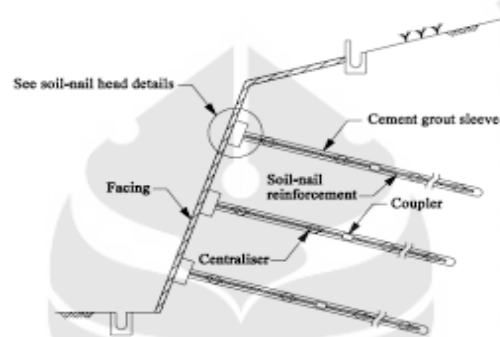
3.6 Soil Nailing

Soil Nailing merupakan salah satu jenis perkuatan lereng dengan memasang potongan-potongan baja (*nails*) ke dalam tanah. Proses ini menghasilkan sebuah bagian

perkuatan yang stabil dan bisa menahan tanah di belakangnya (Lazarte, 2003). Perkuatan yang bekerja bersifat pasif dan kinerja perkuatannya berkembang melalui interaksi antara tanah dan *nails* dalam deformasi tanah selama proses instruksinya.

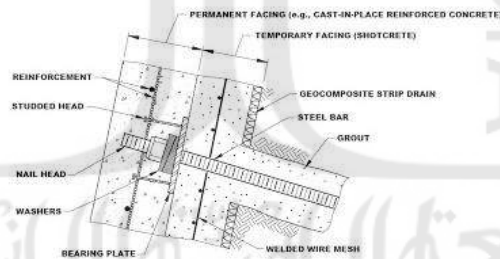
3.6.1 Perancangan Elemen Dasar Dinding *Soil Nailing*

Secara umum elemen-elemen yang dibutuhkan dalam perkuatan dengan *soil nailing* adalah seperti pada Gambar 3.7 dan 3.8 berikut.



Gambar 3.7 Potongan Melintang Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

(Sumber: Kumalasari, 2012)



Gambar 3.8 Potongan Melintang Lereng Dengan Perkuatan *Soil Nailing*

(Sumber: Kumalasari, 2012)

3.6.2 Komponen Material *Soil Nailing*

Beberapa komponen material yang terdapat pada *soil nailing* adalah sebagai berikut:

1. Batang Baja (*Nail Bars*)

Baja *nail* merupakan komponen utama pada perkuatan *soil nailing*. Baja *nail* berfungsi sebagai penahan gaya tekanan tanah lateral dengan memanfaatkan kuat tariknya. Besarnya nilai kuat tarik yang dianjurkan oleh FHWA adalah sebesar 420 MPa – 520 MPa dengan diameter bervariasi yaitu 19 mm, 22 mm, 25 mm, 29 mm, 32 mm, 36 mm dan 43 mm, tergantung kebutuhan (Lazarte, 2003).

Menurut standar ASTM A615 baja yang umum digunakan pada *soil nailing* adalah baja ulir dengan daya dukung tarik 420 MPa (60 ksi atau *Grade 60*) atau 520 MPa (75 ksi atau *Grade 75*). Ukuran diameternya yang tersedia adalah 19, 22, 25, 29, 32, 36 dan 43 mm, serta ukuran panjang mencapai 18 m. Properti baja ulir dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut.

Tabel 3.8 Properti Baja Ulir (ASTM A615, $F_y = 420$ dan 525 MPa (60, 75 ksi))

Diameter		Luas Penampang		Berat Jenis		Kuat Leleh		Kapasitas Beban Aksial	
Inggris	mm	Inch ²	mm 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	118
#7	22	0,66	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

Mengacu pada standar ASTM baja yang umum digunakan pada *soil nailing* adalah baja ulir dengan daya dukung tarik 420 MPa, pada penelitian kali ini dipakai baja ulir diameter 43 mm, dengan f_y 420 MPa dan kapasitas beban aksial 610,15032 kN.

2. *Nail Head*

Nail Head adalah bagian ujung dari baja yang menonjol keluar dari *wall facing* (tampilan dinding).

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

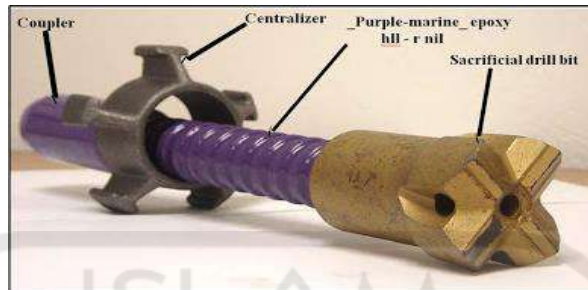
Hex nut (mur persegi enam) dan *washer* (cincin yang terbuat dari karet atau logam) yang digunakan harus memiliki kuat leleh yang sama dengan batangan bajanya. *Bearing plate* (pelat penahan) umumnya berbentuk persegi dengan panjang sisi 200-250 mm, tebal 19 mm dan kuat leleh 250 MPa (ASTM A36).

4. *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.

5. *Centralizer*

Centralizer adalah alat yang dipasang pada sepanjang batangan baja dengan jarak tertentu (0,5-2,5) untuk memastikan tebal selimut beton sesuai dengan rencana sehingga terhindar dari karat yang diakibatkan oleh oksidasi dalam tanah dapat dihindari. Alat ini terbuat dari PVC atau material sintetis lainnya. *Centralizer* dapat dilihat pada Gambar 3.9 berikut.

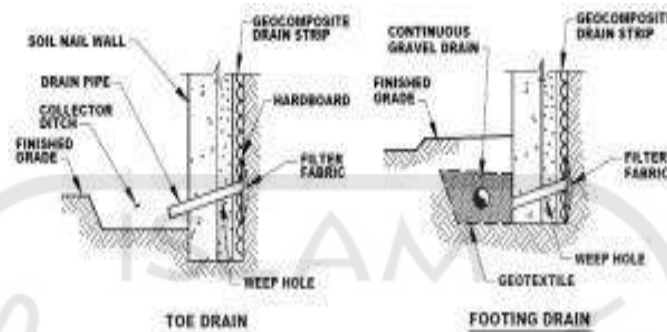


Gambar 3.9 Centralizer

(Sumber: Kumalasari, 2012)

6. *Reinforcement Connector (Coupler)*/Penghubung
Coupler/penghubung digunakan untuk menyambung potongan-potongan baja apabila terjadi penyambungan baja karena kebutuhan baja terlalu panjang.
7. *Wall Facing* (Muka/Tampilan Dinding)
 Pembuatan muka/tampilan dinding terbagi menjadi dua tahap. 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 berikutnya adalah pembuatan muka/tampilan permanen (*permanent facing*). Muka permanen dapat berupa panel beton pracetak terbuat dari *shotcrete*. Muka permanen memiliki fungsi yang sama dengan muka sementara, tetapi dengan fungsi proteksi terhadap erosi yang lebih baik, dan sebagai penambah keindahan (fungsi estetika).
8. *Drainage System* (Sistem Drainase)
 Untuk mencegah meningkatnya tekanan air pada lereng di belakang muka dinding, biasanya dipasangkan lembaran vertical geokomposit di antara muka dinding sementara dan permukaan galian pada kaki lereng harus disediakan saluran pembuangan (*weep hole*) untuk air yang telah dikumpulkan oleh lembaran geokomposit.

Detail konstruksi pada *soil nailing* dapat dilihat pada gambar 3.10 berikut.

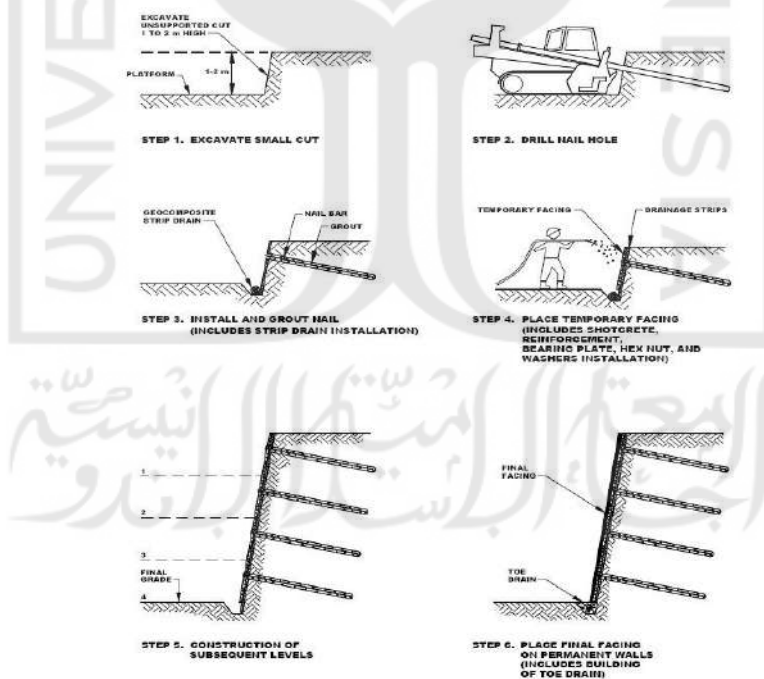


Gambar 3.10 Detail Soil Nailing

(Sumber: Kumalasari, 2012)

3.6.3 Konstruksi Soil Nailing

Tahapan-tahapan pekerjaan sebuah konstruksi dinding *soil nailing* secara umum digambarkan secara skematis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Tahapan Konstruksi Dinding Soil Nailing Secara Umum

(Sumber: Kumalasari, 2012)

Keterangan:

1. Penggalian Galian Tanah

Galian tanah dilakukan secara bertahap dengan kedalaman galian tertentu (umumnya 1-2 m / 3 and 6 ft) hingga mencapai kedalaman galian rencana. Kedalaman galian tiap tahap harus disesuaikan dengan kemampuan tanah, sehingga muka galian dapat berdiri tanpa perkuatan, dalam periode waktu yang singkat (umumnya 24-48 jam). Pekerjaan galian tanah *soil nailing* dapat dilihat pada gambar 3.12 berikut.



Gambar 3.12 Pekerjaan Galian Tanah *Soil Nailing*

(Sumber: Kumalasari, 2012)

2. Pengeboran Lubang *Nail*

Dalam pekerjaan *soil nailing*, pengeboran dilakukan dengan alat *auger* dengan lubang terbuka (tanpa *casing*/selubung) digunakan karena pekerjaannya menjadi relative lebih cepat dan biaya yang lebih rendah. Namun, untuk tanah yang kurang stabil, pengeboran berdiameter besar harus berhati-hati dan dianjurkan pengeboran dengan *drill casing*/selubung untuk menghindari keruntuhan tanah pada lubang bor. Pekerjaan pengeboran lubang *soil nailing* dapat dilihat pada gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Pengeboran Lubang Nail

(Sumber: Kumalasari, 2012)

3. Pemasangan *Nail Bar* dan *Grouting*

Batangan baja yang sudah terpasang dengan *centralizer*, dimasukkan ke dalam lubang bor, dan kemudian dicor dengan beton. Secara umum, pengecoran dengan menuangkan adukan beton, menghasilkan ikatan yang cukup baik antara tanah dengan hasil pengecoran. Namun, untuk kasus tertentu pada tanah yang lemah memerlukan daya ikatan yang lebih tinggi, ini dapat dihasilkan dengan melakukan pengecoran dengan tekanan tinggi (*jet grouting*).

Adanya tekanan juga dapat menghasilkan beton yang lebih padat dan diameter efektif pengecoran mengembang menjadi lebih besar, dengan demikian kemampuan menahan gaya cabut juga menjadi lebih baik. Aliran air ke dalam dinding galian harus dicegah. Oleh karena itu, metode konvensional dalam pengendalian air permukaan dan drainase, diperlukan selama masa konstruksi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penambahan lembaran geokomposit vertical, dapat mencegah peningkatan tekanan air tanah pada muka lereng. Pekerjaan pemasangan *nail bar* dan *grouting soil nailing* dapat dilihat pada gambar 3.14 berikut.



Gambar 3.14 Grouting Dengan Menggunakan Pipa Tremi

(Sumber: Kumalasari, 2012)

4. Pembuatan Muka Sementara (*Temporary Wall Facing*)

Muka sementara dari sebuah dinding *soil nailing* umumnya terbuat dari *shotcrete*, dengan ketebalan antara 75 sampai 100 mm. Lapisan *shotcrete* akan menjadi perkuatan sementara dan melindungi permukaan galian dari erosi, serta sebagai pengisi rongga-rongga yang terbentuk akibat keretakan tanah. Pekerjaan pembuatan muka sementara *soil nailing* dapat dilihat pada gambar 3.15 berikut.



Gambar 3.15 Muka/Tampilan Sementara

(Sumber: Kumalasari, 2012)

5. Pembangunan Tingkat Selanjutnya (*Construction of Subsequent Levels*)

Pengulangan langkah dan tahap 1 hingga 4, pada tiap-tiap level selanjutnya. Disetiap level penggalian gulungan dibuka hingga sampailah ke penggalian paling

bawah. Di galian paling bawah kemudian geokomposit diikat pada *collecting toe drain*.

6. Pembuatan Muka Permanen (*Permanent Wall Facing*)

Metode yang umum dilakukan dalam pembuatan muka permanen adalah dengan *shotcrete* dan beton pracetak. Di samping 2 metode ini, masih banyak metode yang dapat dilakukan dan masih terus dikembangkan. Pembuatan muka permanen dari *shotcrete* sama dengan yang dilakukan dalam pembuatan muka sementara. Ketebalan muka permanen dari *shotcrete* umumnya berkisar antara 150 dan 300 mm, belum termasuk ketebalan dari dinding sementara. Pengecoran dilakukan secara berlapis dengan ketebalan tiap lapisan antara 50 hingga 100 mm. Pekerjaan pembuatan muka/tampilan permanen *soil nailing* dapat dilihat pada gambar 3.16 berikut.



Gambar 3.16 Muka/Tampilan Permanen

(Sumber: Kumalasari, 2012)

3.6.4 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 adapula kelemahan dalam perkuatan *soil nailing*.

Berikut adalah beberapa kelebihan *soil nailing* dibandingkan dengan metode lain adalah:

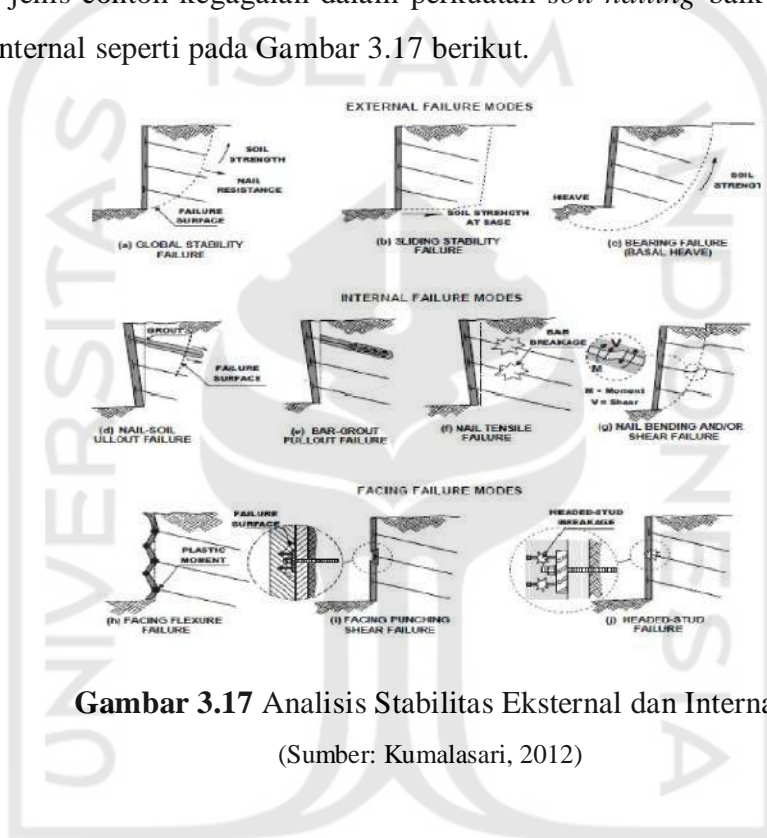
1. Dapat menghemat biaya karena volume baja untuk *nail* bar dalam *soil nailing* lebih sedikit dibandingkan dengan *ground anchors*, karena umumnya batangan baja dalam *soil nailing* lebih pendek. Material yang dibutuhkan juga relative lebih sedikit, waktu pengerjaan lebih cepat dan dapat memakai peralatan pengeboran kecil dibandingkan dengan *ground anchors*.
2. Luas area yang dibutuhkan dalam masa konstruksi lebih kecil dibandingkan dengan teknik lain, sehingga cocok untuk pekerjaan yang memiliki areal konstruksi terbatas.
3. Dinding dengan *soil nailing* relative lebih fleksibel terhadap penurunan, karena dinding untuk *soil nailing* lebih tipis jika dibandingkan dengan dinding gravitasi.
4. Dapat dipakai untuk struktur permanen maupun struktur sementara.
5. Dapat menyelesaikan dengan kondisi lapangan terhadap kemiringan permukaan dan tulangan, bentuk struktur, *density*, dan dimensi perkuatan dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan dan karakteristik tanah diketahui pada tiap level kedalaman selama proses penggalian.
6. Mempunyai tahanan terhadap gempa.
7. Metode konstruksinya tidak mengganggu lingkungan sekitarnya karena memakai peralatan yang relative kecil, tingkat kebisingan rendah, bebas dari getaran.

Disamping kelebihan-kelebihannya, berikut kekurangan dari metode dari metode *soil nailing*:

1. Metode *soil nailing* tidak cocok untuk daerah dengan muka air tanah tinggi.
2. *Soil nailing* tidak cocok diaplikasikan untuk struktur yang membutuhkan control ketat terhadap deformasi. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan *post tension nail*, namun langkah ini akan meningkatkan biaya konstruksi.
3. Pelaksanaan konstruksi *soil nailing* relative lebih sulit, sehingga membutuhkan kontraktor yang ahli dan berpengalaman.

3.6.5 Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Soil Nailing*

Suatu perkuatan dinding penahan tanah harus dirancang agar aman/stabil terhadap pengaruh-pengaruh gaya dalam dan luar. Analisis terbagi menjadi dua yaitu stabilitas eksternal (*external stability*) dan stabilitas internal (*internal stability*). Beberapa jenis contoh kegagalan dalam perkuatan *soil nailing* baik secara eksternal maupun internal seperti pada Gambar 3.17 berikut.



Gambar 3.17 Analisis Stabilitas Eksternal dan Internal

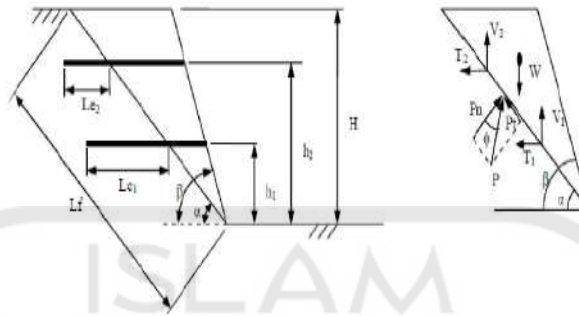
(Sumber: Kumalasari, 2012)

1. Analisis Stabilitas Eksternal

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

a. Faktor aman terhadap keruntuhan 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 3.18 di bawah ini.



Gambar 3.18 Gaya-Gaya Bekerja Dalam Metode Baji (Wedge Method)

(Sumber: Kumalasari, 2012)

Berdasarkan Gambar 3.19, maka untuk analisis dengan menggunakan metode baji (*wedge*) dapat dilakukan dengan Persamaan 3.21 dan Persamaan 3.22 berikut.

$$\sum T_i - P_n \sin \alpha + P_t \cos \alpha = 0 \quad (3.21)$$

$$W - P_n \cos \alpha - P_t \sin \alpha - \sum v_i = 0 \quad (3.22)$$

Faktor keamanan geser dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang telah disederhanakan seperti pada Persamaan 3.23 berikut.

$$FS = \frac{c \cdot L_f + W \cos \alpha \times \tan \alpha + (\sum T_i \sin (\alpha + i) - \sum V_i \cos \alpha (\alpha + i) \tan \varphi}{W \sin \alpha - \sum T_i \cos (\alpha + i) - \sum V_i \cos (\alpha + i)} \quad (3.23)$$

Dimana:

FS = faktor aman,

c = kohesi tanah (kN/m²),

φ = sudut gesek dalam tanah (°),

α = sudut kemiringan bidang longsor terhadap garis horizontal,

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

Q = beban mati di atas lereng (kN/m),

- L_r = panjang lengkung lingkaran pada irisan ke-n (m),
 L_e = panjang *nail bar* di belakang bidang longsor (m),
 β = kemiringan lereng ($^\circ$),
 i = kemiringan pemasangan sudut *nail* ($^\circ$),
 $\sum T_i$ = jumlah daya dukung terhadap gaya tarik (kN/m), dan
 $\sum V_i$ = 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 3.24 dan 3.25.

$$V = \frac{R_n}{2\sqrt{1+4 \tan^2 (90^\circ - \alpha)}} \quad (3.24)$$

$$T = 4 V \tan (90^\circ - \alpha) \quad (3.25)$$

dimana:

V = gaya geser ijin *nail bar*,

T = gaya tarik ijin *nail bar*, dan

R_n = daya dukung tarik *nail bar*

Untuk menghitung gaya geser ijin dari tanah dapat dihitung dengan persamaan 3.26 sebagai berikut ini.

$$V = P_{\max} = \frac{D}{2} L_o \quad (3.26)$$

dimana:

V = gaya geser ijin pasif tanah,

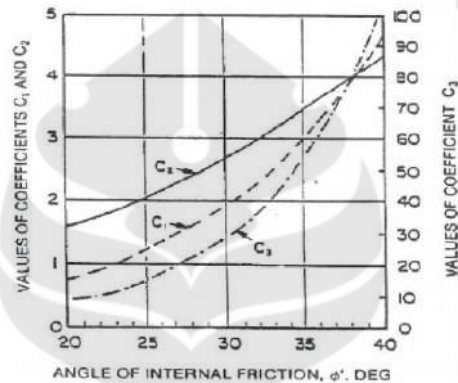
D = diameter *nail bar* + *grouting*,

$L_o = \sqrt[4]{\frac{4E_i}{K_s D}}$ = panjang penyaluran,

E_i = kekakuan *nail bar*, dengan diameter *nail bar* tanpa *grouting*, dan

K_s = modulus reaksi lateral tanah, ditentukan dari Tabel 3.2

Analisis gaya geser ijin tanah global didapatkan dengan menggunakan nilai koefisien tanah pasir berdasarkan dari Gambar 3.19 berikut.



Gambar 3.19 Koefisien C_1 , C_2 , dan C_3

(Sumber: Kumalasari, 2012)

Adapun untuk menentukan nilai perkiraan modulus reaksi lateral menurut Bowles (1996) dapat dilihat pada Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3.9 Harga Perkiraan Modulus Reaksi Lateral Tanah (K_s)

Jenis Tanah	k_s , kcf	k_s , kN/m ³
Pasir lepas	300 - 100	4800 - 16000
Pasir padat sedang	60 - 500	9600 - 80000
Pasir padat	400 - 800	64000 - 80000
Pasir padat berlempung	200 - 500	32000 - 80000
Pasir padat sedang berlanau	150 - 300	24000 - 48000

Lanjutan Tabel 3.9 Harga Perkiraan Modulus Reaksi Lateral Tanah (Ks)

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, 1996)

Setelah mendapatkan gaya geser ijin terkecil antara *nail bar* dan tanah, maka gaya tarik ijin pada *nail bar* perlu dibatasi, yang ditentukan dari Persamaan 3.27 berikut:

$$\frac{V_{\max}^2}{RC^2} + \frac{T_{\max}^2}{RC^2} = 1 \quad (3.27)$$

dimana:

 V_{\max} = gaya geser ijin global, T_{\max} = gaya tarik ijin global, dan R_c = $R_n/2$ = daya dukung geser *nail bar*2) 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 3.28 berikut.

$$T_i = \frac{\pi D L_e f_{\max}}{F_{os}} \quad (3.28)$$

F_{\max} adalah daya dukung geser pada ikatan antara tanah dengan permukaan sepanjang *nail bar*, sebaiknya dilakukan pengujian di lapangan untuk

mendapatkan nilai ini. Berdasarkan jurnal *Ellias and Juran* 1991, nilai f_{max} pada beberapa jenis tanah pasir dapat dilihat pada tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.10 Daya Dukung Geser *Soil Nailing* Pada Tanah Pasir

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)

b. 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 3.29 berikut.

$$FS = \frac{cb \times BL + (W + Q + PA \times \sin \delta) \tan \varphi}{PA \cos \delta} \quad (3.29)$$

Tekanan aktif lateral dihitung menggunakan Persamaan 3.30 dan 3.31 berikut.

$$PA = \frac{c H^2}{2} \cdot K_a \quad (3.30)$$

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \varphi/2) \quad (3.31)$$

Dimana:

F_s = factor aman

C_b = kohesi tanah (kN/m)

B_L = lebar struktur (m)

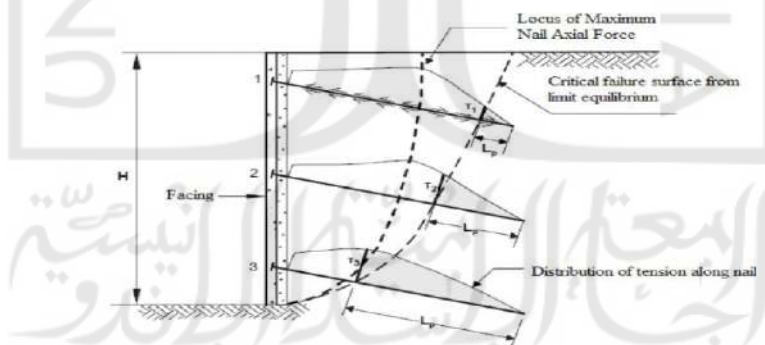
- W = berat irisan tanah (kN/m)
 Q = beban mati di atas lereng (kN/m)
 φ = sudut gesek dalam tanah ($^{\circ}$)
 H = tinggi dinding tanah (m)
 γ = berat isi tanah (kN/m)
 δ = sudut gesek antara tanah fondasi dan dasar struktur
 (fondasi dianggap sangat kasar terbuat dari beton $\delta = \text{tg } \varphi$)

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.

a. 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 3.20 di bawah ini dan dianalisis dengan Persamaan 3.32 dan 3.33 berikut.



Gambar 3.20 Keruntuhan Putus Tulangan

(Sumber: Kumalasari, 2012)

$$F_r = \frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times f_y}{1000 \times \sigma_h \times S_v \times S_h} \quad (3.32)$$

$$\sigma_h = K_a \gamma z \quad (3.33)$$

dimana:

S_v = jarak tulangan arah vertical (m),

S_h = jarak tulangan arah horizontal (m),

f_y = daya dukung tarik baja (MPa),

d = diameter tulangan (mm),

σ_h = tekanan horizontal tanah pada kedalaman yang ditinjau (kN/m^2),

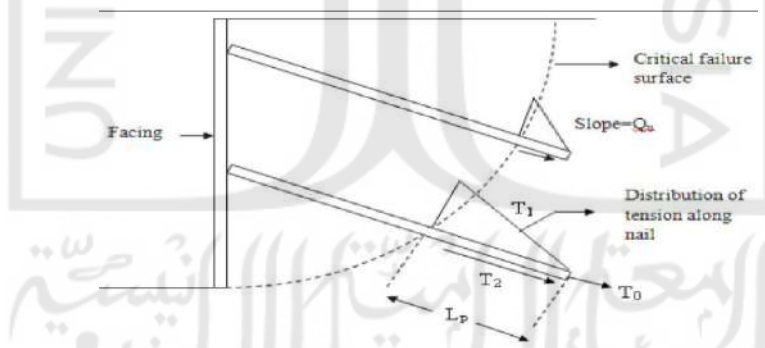
γ = berat isi tanah (kN/m),

z = kedalaman yang ditinjau (m), dan

K_a = koefisien tekanan aktif lateral pada rumus 3.31.

b. Analisis terhadap cabut tulangan

Analisis ini digunakan untuk mengetahui kekuatan tulangan struktur perkuatan lereng dari gaya cabut. Analisis ini dilakukan agar tidak terjadi kegagalan struktur akibat kesalahan pendesainan seperti terlalu pendek tulangan. Analisis terhadap cabut tulangan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.34 dengan gaya yang bekerja ditunjukkan pada Gambar 3.21 berikut.



Gambar 3.21 Keruntuhan Cabut Tulangan

(Sumber: Kumalasari, 2012)

Faktor aman (SF) terhadap cabut tulangan:

$$F_p = \frac{\pi q_u D d h L_p}{\sigma_h S_v S_h} \quad (3.34)$$

dimana:

S_v = jarak tulangan arah vertical (m),

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

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

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

ϕ = sudut gesek internal tanah (°), dan

D_{dh} = diameter lubang bor (m).

3.7 Metode Analisis Aplikasi *Geoslope*

Geostudio Office merupakan sebuah paket aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan ge0-lingkungan. *Software* ini melingkupi *slope/w*, *seep/w*, *sigma/w*, *quake/w*, *temp/w* dan *ctran/w* yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke dalam produk yang lain.

Slope/w merupakan produk perangkat lunak yang berfungsi untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan serta dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode keseimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan air pori, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. *Slope/w* juga dapat menggunakan elemen tekanan pori air yang terbatas, tegangan statis, atau tekanan dinamik pada analisis kestabilan lereng dan dapat melakukan analisis probabilistik.

Pada proses analisisnya, *slope/w* merupakan program yang menggunakan teori keseimbangan batas untuk menghitung nilai angka keamanan lereng. Teori-teori keseimbangan batas yang ada pada program *slope/w* diantaranya yaitu metode *ordinary* atau yang dapat disebut metode *Fellenius*, *Bishop* yang disederhanakan, *Janbu* yang disederhanakan, *Spencer*, *Morgenstern-Price*, *Corps of Engineers*, *Lowe-Karafiath*, dan *Generalized Equilibrium*. Metode yang digunakan dapat dipilih sesuai dengan keinginan dan kebutuhan.

Slope/w define adalah program yang digunakan untuk pemodelan permasalahan lereng dalam bentuk penggambaran pada layar komputer. Perhitungan dilakukan

dengan *input* data material *properties* tanah dan pengaturan analisis sesuai kebutuhan, setelah memasukan data-data yang dibutuhkan dalam analisis, maka tahap selanjutnya yaitu data yang telah dimodelkan dianalisis dengan menggunakan *slope/w solve*. Hasil analisis kemudian menampilkan grafis seluruh bidang longsor yang berbentuk lingkaran. Nilai angka keamanan (SF) ditampilkan bersamaan dengan seluruh bidang longsor potensial sehingga yang paling kritis.

