

BAB II

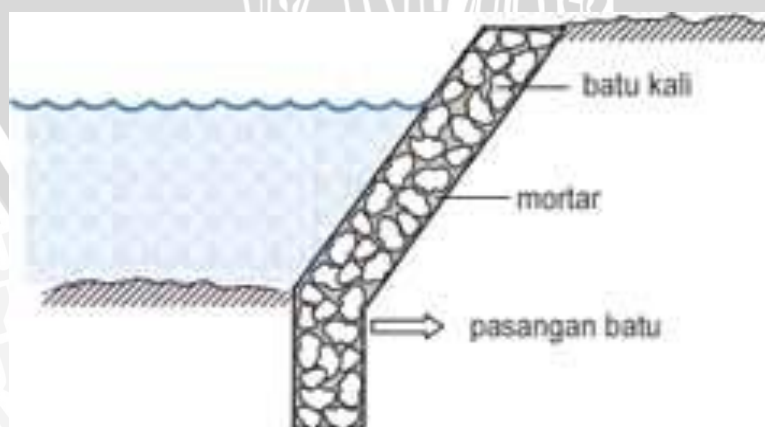
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dinding Penahan Tanah

Menurut Hardiyatmo (2010:440), Bangunan dinding penahan tanah digunakan untuk menahan tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug atau tanah asli yang berpotensi terjadinya longsor. Bangunan ini banyak digunakan pada proyek-proyek seperti irigasi, jalan raya, pelabuhan, tebing dan lain-lainnya. Elemen-elemen fondasi, seperti bangunan ruang bawah tanah (*basement*), pangkal jembatan (*abutment*) dan lain sebagainya, selain berfungsi sebagai bagian bawah dari struktur juga sebagai penahan tanah di sekitarnya. Kestabilan dinding penahan tanah diperoleh terutama dari berat sendiri struktur penahan tanah tersebut dan berat tanah yang berada di atas pelat fondasi. Besar dan distribusi tekanan tanah pada dinding penahan sangat bergantung pada besarnya gerakan ke arah lateral tanah terhadap dinding.

2.2 Konstruksi Pasangan Batu

Pasangan batu adalah susunan dari batu-batu pecah yang berukuran kurang lebih 30 cm dimana diantara batu batu tersebut diisi dengan mortar: campuran 1 semen dan 3 pasir dengan air secukupnya. Campuran semen pasir setelah lama akan mengeras yang dapat mengikat satu batu dengan yang lain dalam wujud suatu bangunan. Pada **Gambar 2.1** ditunjukkan bentuk pasangan batu yang biasa digunakan sebagai facing atau dinding penahan untuk lereng.



Gambar 2.1 Pasangan Batu Kali

(Sumber: Suparman, M.E. dkk. 2008. SABO, Untuk Penanggulangan Bencana Akibat Aliran Sedimentasi)

2.3 Stabilitas Lereng

Pada tempat di mana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukannya cenderung bergerak ke arah bawah (Sunggono, 1984:251). Indrawahjuni (2011:93) menambahkan apabila komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikembangkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran. Dengan kata lain, suatu lereng akan longsor apabila keseimbangan gaya yang bekerja terganggu yaitu gaya pendorong melampaui gaya penahan (Indrawahjuni, 2011:93).

Indrawahjuni (2011:93) mendefinisikan longsor adalah suatu proses perpindahan massa tanah / batuan dengan arah miring dari kedudukan semula, sehingga terpisah dari massa yang mantap karena pengaruh gravitasi. Indrawahjuni (2011:93) mengungkapkan bahwa gaya pendorong merupakan komponen berat tanah yang akan longsor dan Sunggono (1984:251) menambahkan bahwa gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan / geseran, lekatan (dari kohesi), kekuatan geser tanah. Antara permukaan dari tanah yang lebih tinggi ke permukaan yang lebih rendah dihubungkan suatu permukaan yang disebut lereng (Sunggono, 1984:251).

2.4 Keruntuhan Lereng

Menurut Terzaghi dan Peck (1967:338), Setiap massa tanah yang terletak di bawah permukaan tanah yang miring atau di bawah sisi miring dari suatu galian terbuka memiliki kecenderungan bergerak ke arah bawah dan ke arah luar karena pengaruh gravitasi. Seandainya kecenderungan ini ditiadakan oleh tahanan geser tanah, maka lereng berada dalam keadaan stabil. Pada kondisi yang sebaliknya penggelinciranlah yang terjadi. Tanah yang terlibat dalam suatu peristiwa penggelinciran bisa terdiri atas tanah yang diendapkan secara alami, timbunan tanah hasil pekerjaan manusia atau kombinasi dari kedua macam tanah tersebut.

Penggelinciran pada tanah alami mungkin disebabkan oleh gangguan-gangguan eksternal seperti penggalian kaki dari suatu lereng atau membuat galian tanpa memberikan penyangga. Di lain hal, penggelinciran mungkin juga terjadi tanpa adanya provokasi eksternal pada lereng yang mulanya telah berada dalam keadaan stabil selama bertahun-tahun. Keruntuhan semacam ini disebabkan oleh naiknya tekanan air pori secara temporer atau oleh kemunduran yang progresif dari kekuatan tanah.

Menurut Terzaghi dan Peck (1967:340), Metode-metode untuk menangani lereng-lereng yang tak stabil terutama bergantung kepada sifat tanah yang dijumpai. Dengan demikian, untuk keperluan-keperluan praktis pengelompokan macam-macam gelinciran menurut jenis tanahnya merupakan hal yang paling sesuai. Jenis tanah dan jenis formasi tanah yang berbahaya di atas merupakan lapisan-lapisan yang tersusun atas *schist* yang lapuk atau lempung lunak yang berupa serpihan, lempung kaku yang retak, lempung yang mengandung pasir atau lanau, dan massa tanah kohesif yang mengandung lapisan-lapisan atau kantung-kantung lanau atau pasir yang berair.

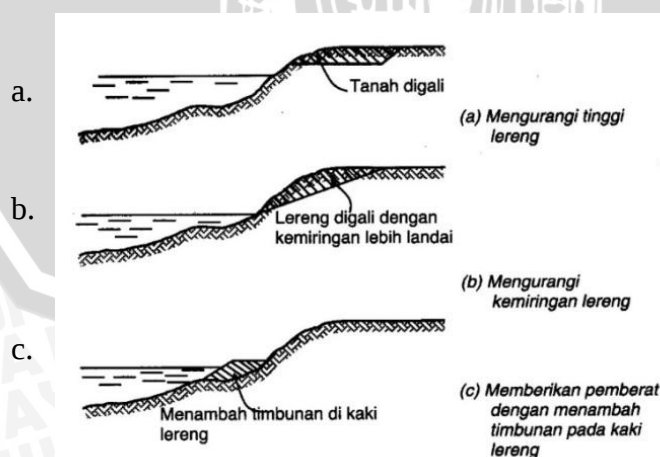
2.5 Perbaikan Lereng

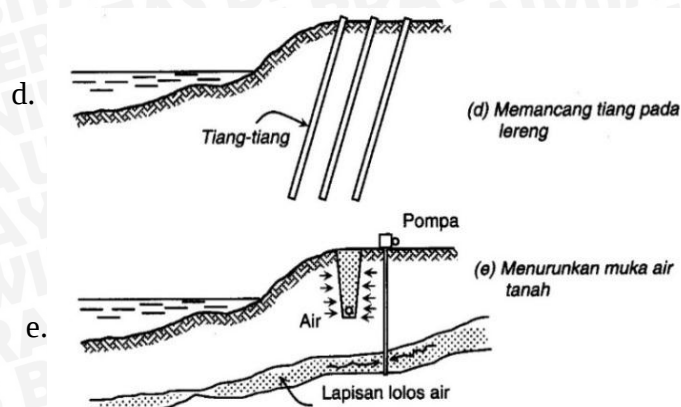
Banyak cara dapat dilakukan untuk menambah stabilitas lereng, antara lain: pemotongan lereng, pembuatan berm, menurunkan muka air tanah, pemasangan tiang-tiang dan lain-lainnya (Hardiyatmo, 2010:479).

Menurut Hardiyatmo (2010:479), metode perbaikan stabilitas lereng dibagi dalam tiga kelompok, yaitu:

1. Metode geometri yaitu perbaikan lereng dengan cara mengubah geometri lereng.
2. Metode hidrologi yaitu dengan cara menurunkan muka air tanah atau menurunkan kadar air tanah pada lereng.
3. Metode-metode kimia dan mekanis yaitu dengan cara *grouting* semen untuk menambah kuat geser tanah atau memasang bahan tertentu (tiang) di dalam tanah.

Pada **Gambar 2.2** ditunjukkan mengenai metode-metode perbaikan lereng yang bisa digunakan.





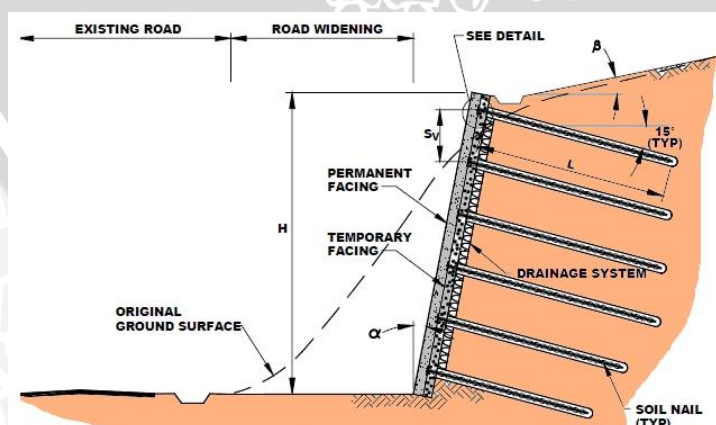
Gambar 2.2 Perbaikan Stabilitas Lereng di S. Gota-Swedra (Broms, 1969)

a. Mengurangi tinggi lereng; b. Mengurangi sudut kemiringan lereng; c. Memberikan pemberat dengan menambah timbunan pada kaki lereng; d. Memancang tiang pada lereng; e. Menurunkan muka air tanah

(Sumber: Hardiyatmo, HC. 2010. Mekanika Tanah II Edisi Kelima)

2.6 Soil Nailing

Soil nailing adalah teknik konstruksi yang dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk memperkuat kondisi lereng tanah yang tidak stabil atau sebagai teknik konstruksi yang digunakan untuk menambah keamanan bagi lereng eksisting yang telah stabil. Soil nailing pertama kali diaplikasikan sebagai perkuatan untuk sebuah dinding penahan tanah di perancis (1961). Kemudian dikembangkan oleh Rebcewicz (1964, 1965), untuk digunakan dalam galian terowongan yang dikenal dengan “*The New Austrian Tunneling Method*” (NATM). Pada **Gambar 2.3** ditunjukkan bagaimana sistem soil nailing yang digunakan sebagai perkuatan lereng.



Gambar 2.3 Perkuatan Lereng dengan Metode *Soil Nailing*

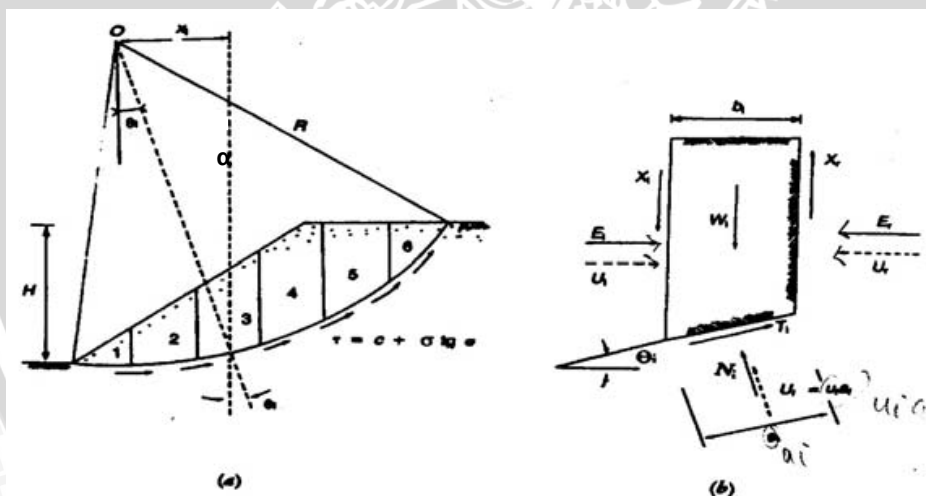
(Sumber: Porterfield et al. 1994)

Secara umum elemen-elemen yang diperhatikan dalam penggunaan metode perkuatan dengan *soil nailing* adalah:

1. *Nail Bars*
2. *Nail Head*
3. *Grrouting* (Cor beton)
4. *Centralizers*

2.7 Metode Irisan (*Method of Slice*)

Apabila tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanah tidak menentu, cara yang lebih cocok digunakan adalah dengan metode irisan (Hardiyatmo, 2010:443). Menurut Hardiyatmo (2010:444), gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian, keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan. Pada **Gambar 2.4** ditunjukkan mengenai gaya-gaya yang bekerja pada metode irisan.



Gambar 2.4 Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Metode Irisan
(Sumber: Hardiyatmo, HC. 2010. Mekanika Tanah II Edisi Kelima)

Gambar 2.4 memperlihatkan satu irisan dengan gaya-gaya yang bekerja, gaya tersebut adalah:

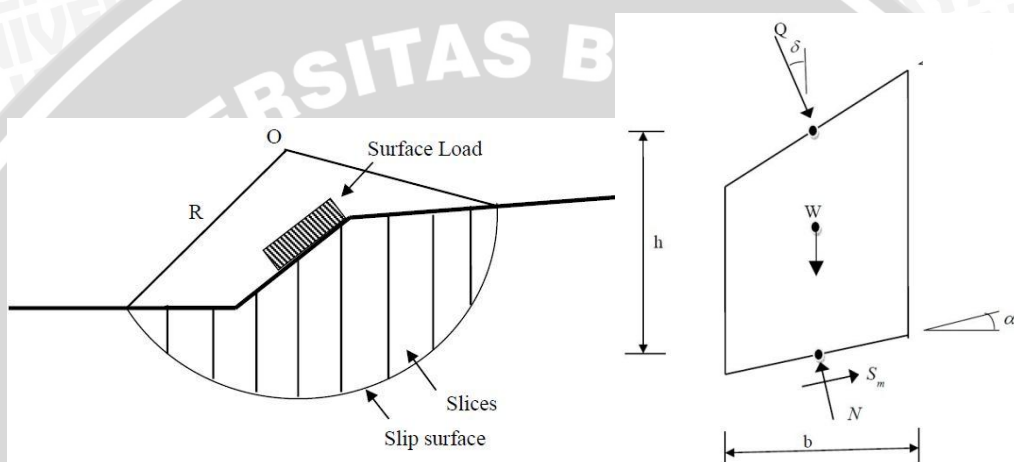
- X_1 dan X_2 = gaya geser efektif disepanjang sisi irisan
- E_1 dan E_2 = gaya normal efektif disepanjang sisi irisan
- T_i = resultan gaya geser efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan
- N_i = resultan gaya normal efektif yang bekerja sepanjang dasar irisan

U_l, U_r = tekanan air pori yang bekerja dikedua sisi irisan

U_i = tekanan air pori didasar irisan

2.7.1 Analisa stabilitas lereng sebelum diperkuat (metode Bishop)

Metode ini dibuat oleh Bishop (1955) yang menggunakan bidang runtuh berbentuk busur lingkaran dan membuat potongan-potongan vertikal diatas bidang runtuh (Herlien, 2011:125). Menurut Herlien (2011:125) perhitungan hanya didasarkan pada keseimbangan momen terhadap titik pusat lingkaran longsor dan keseimbangan gaya vertikal yang bekerja pada potongan. Pada **Gambar 2.5** ditunjukkan mengenai analisa stabilitas lereng pada metode Bishop sebelum lereng diperkuat.



Gambar 2.5 Metode Bishop

(Sumber: Amit Prashant et al. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*)

keterangan gambar:

α = Sudut kemiringan dasar irisan

δ = Sudut tegak lurus beban permukaan lereng terhadap garis lurus vertikal

b = Lebar irisan

h = Tinggi rata-rata dari irisan

S_m = Kekuatan geser tanah

Q = Beban luar

N = Gaya normal

W = Beban tanah

Maka *safety factor* yang diberikan untuk gaya-gaya pada irisan metode bishop ialah :

$$FS_b = \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gaya pendorong}} \dots \dots \dots (1)$$

$$FS_b = \frac{\sum [c' \cdot b_i + W_i (1 - ru) \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \alpha_i (1 + \tan \alpha_i \tan \phi' / FS_b)} \right)}{\sum [W \sin \alpha_i]} \dots \dots \dots (2)$$

dengan:

FS = Faktor aman lereng Bishop

FS_b' = Faktor aman lereng Bishop untuk cara coba-coba

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)

φ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

b' = Lebar irisan ke-i (m)

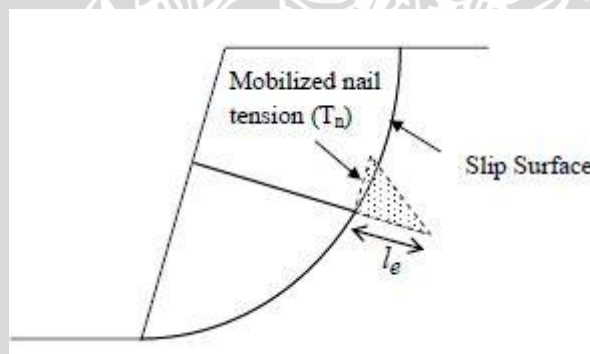
W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)

α_i = Sudut yang didefinisikan dalam **Gambar 2.5** (derajat)

u_i = Tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m²)

ru = Rasio tekanan air pori (kN/m²)

2.7.2 Analisa stabilitas lereng setelah diperkuat soil nailing (metode Bishop)



Gambar 2.6 Perilaku Kuat Tarik Dari Soil Nailing

(Sumber: Amit Prashant et al. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*)

Pada **Gambar 2.6** ditunjukkan mengenai sistem *soil nailing* yang bekerja pada lereng yang diperkuat.

$$T_n = q_u \cdot \pi \cdot d \cdot l_e / FS_T \dots \dots \dots (3)$$

dengan:

T_n = Tahanan cabut dari *nailing* (kN)

l_e = Panjang *nailing* dibelakang pola kelongsoran (m)

q_u = Bond strength dari *soil nailing* terhadap tanah (kN/m²), lihat **Tabel 2.3**

FS_T = *Safety factor* dari kuat tarik *nailing* = 1,8, Lihat **Tabel 2.2**

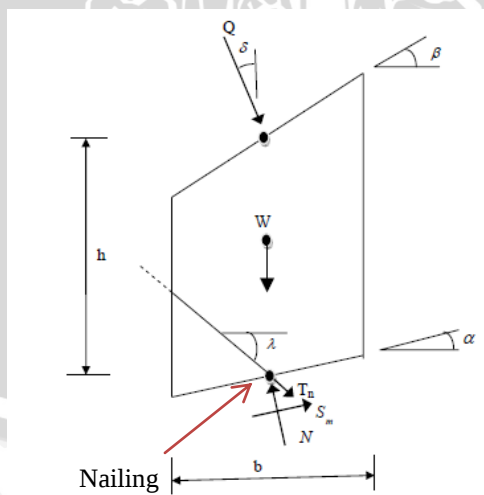
Maka *safety factor* yang terjadi setelah diperkuat *soil nailing* dengan metode Bishop ialah:

$$FS_{bT} = \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gaya pendorong} - \text{aksi soil nailing}} \dots \dots \dots (5)$$

$$FS_{bT} = \frac{\sum [c' \cdot b_i + W_i (1 - ru) \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \alpha_i (1 + \tan \alpha_i \tan \phi' / FS_{bT})} \right)}{\sum [W \sin \alpha_i - T_n \cos(\alpha_i + \lambda)]} \dots \dots \dots (6)$$

dengan:

- FS_{bT} = Faktor aman lereng Bishop
- $FS_{b'}$ = Faktor aman lereng Bishop untuk cara coba-coba
- c' = Kohesi tanah efektif (kN/m²)
- ϕ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)
- b' = Lebar irisan ke-i (m)
- W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)
- α_i = Sudut yang didefinisikan dalam **Gambar 2.7** (derajat)
- T_n = Tahanan cabut dari *nailing* (kN)
- λ = Sudut pemasangan *nailing* (derajat)



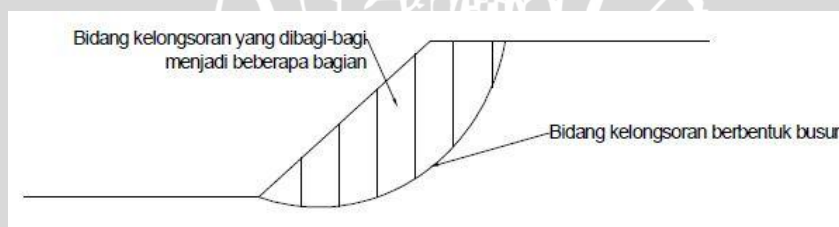
Gambar 2.7 Metode Bishop Setelah Diperkuat *Soil Nailing*
 (Sumber: Amit Prashant. et al. 2010. *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*)

Pada **Gambar 2.7** dijelaskan bagaimana gaya-gaya yang bekerja dalam satu bidang *slice* lereng yang telah diperkuat soil nailing dengan analisa menggunakan metode bishop.

2.8 Geostudio (SLOPE/W)

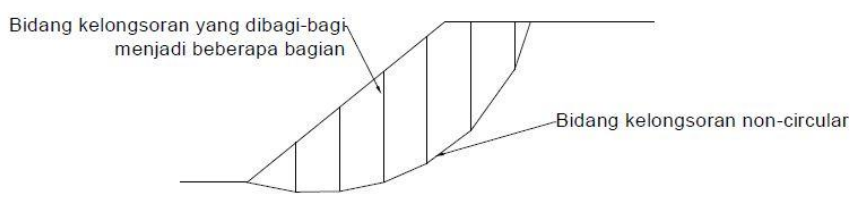
Geostudio merupakan perangkat lunak di bidang geoteknik yang dikembangkan dari Kanada. Dalam penelitian ini program ini dipakai untuk menganalisa stabilitas lereng. Dalam menganalisa stabilitas lereng pada perangkat lunak tersebut kita menggunakan menu SLOPE/W, adapun metode yang digunakan di dalam program ini adalah Metode *Limit Equilibrium*.

Metode *Limit Equilibrium* adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya, metode ini juga dikenal dengan metode irisan karena bidang kelongsoran dari lereng tersebut dibagi menjadi beberapa bagian. Dalam Metode *Limit Equilibrium* terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu bidang kelongsorannya yang diasumsikan berbentuk *circular* seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.8** dan bidang kelongsoran yang diasumsikan berbentuk *non-circular* seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.9**. Pada metode kesetimbangan batas dengan asumsi bidang kelongsoran berbentuk *circular*.



Gambar 2.8 Metode *Limit Equilibrium Circular*

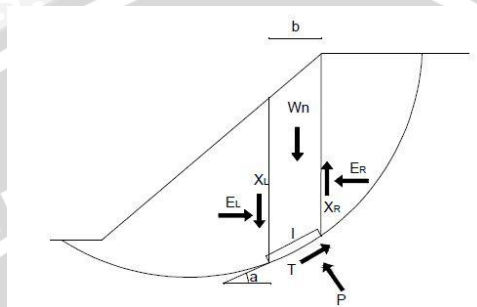
(Sumber: Dave Juven George Herman. et al. 2012. Analisa Stabilitas Lereng dengan *Limit Equilibrium* dan *Finite Element method*)



Gambar 2.9 Metode *Limit Equilibrium Non-Circular*

(Sumber: Dave Juven George Herman. et al. 2012. Analisa Stabilitas Lereng dengan *Limit Equilibrium* dan *Finite Element method*)

Berbagai solusi yang berbeda untuk metode irisan telah dikembangkan selama bertahun-tahun. Pada dasarnya, semua sangat mirip dan sama. Perbedaan antara metode yang tergantung pada persamaan kesetimbangan batas dan asumsi gaya kekuatan interslice disertakan dan hubungan yang diasumsikan antara geser interslice dan kekuatan normal seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.1**. Pada **Gambar 2.10** menggambarkan massa geser yang bekerja pada irisan dan gaya yang bekerja. Gaya normal dan geser bertindak atas dasar irisan dan di sisi irisan.



Gambar 2.10 Gaya yang bekerja pada bidang irisan

(Sumber: Dave Juven George Herman. et al. 2012. Analisa Stabilitas Lereng dengan *Limit Equilibrium* dan *Finite Element method*)

Tabel 2.1 Kondisi kesetimbangan yang diperhitungkan oleh berbagai batas metode

Method	Force Equilibrium		Momen
	Vertical Direction	Horizontal Direction	Equilibrium
Ordinary or Fellenius	Yes	No	Yes
Bishop's Simplified	Yes	No	Yes
Janbu's Simplified	Yes	Yes	No
Spencer	Yes	Yes	Yes
Morgenstern-Price	Yes	Yes	Yes**
Corps of Engineers	Yes	Yes	No
Lowe-Karafiath	Yes	Yes	No
Janbu Generalized	Yes	Yes	No
Sarma	Yes	Yes	Yes
** Moment equilibrium on individual slice is used to calculate interslice shear forces			

(Sumber: *Stability modeling with SLOPE/W 2007 version*)

Bishop (1955) memasukan gaya yang bekerja di sekitar bidang irisan diperhitungkan, tetapi hanya melakukan perhitungan dengan kesetimbangan momen.

Yang terpenting dari metode ini adalah kenyataan bahwa dengan memasukkan pasukan *interslice* normal, faktor keamanan menjadi persamaan nonlinier dan sebuah prosedur iteratif diperlukan untuk menghitung faktor keamanan. Metode Janbu yang disederhanakan mirip dengan metode Bishop yang disederhanakan dalam hal itu termasuk gaya *interslice* normal dan mengabaikan kekuatan geser *interslice*. Perbedaan antara Bishop yang disederhana dan metode Janbu yang sederhana adalah bahwa metode Janbu yang sederhana memenuhi kesetimbangan gaya hanya terhadap arah horisontal.

2.8.1 SLOPE/W sebelum diperkuat soil nailing (metode bishop disederhanakan)

Pada metode Bishop yang disederhanakan, software SLOPE/W terlebih dahulu menggunakan rumus Ordinary atau metode Fellinius.

$$FS_f = \frac{\sum [c'.bi + N \tan \phi']}{\sum [W \sin \alpha_i]} \dots\dots\dots (7)$$

dengan:

FS_f = Faktor aman lereng Fellinius

c' = Kohesi tanah efektif (kN/m^2)

ϕ' = Sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

b' = Lebar irisan ke-i (m)

W_i = Berat irisan tanah ke-i (kN)

α_i = Sudut yang didefinisikan dalam **Gambar 2.7** (derajat)

Metode ini bertujuan untuk mencari atau membantu menemukan pendekatan nilai FS_b' pada Bishop sehingga mempermudah proses coba-coba (*trial error*). Nilai FS_f pada Fellinius akan dipakai untuk nilai pendekatan awal pada nilai FS_b' di metode Bishop sehingga akan didapat nilai yang konvergen antara FS_b dan FS_b' .

Berikut ini adalah langkah-langkah analisa stabilitas lereng dengan menggunakan perangkat lunak SLOPE/W.

1. Buka GeoStudio SLOPE/W untuk analisa stabilitas lereng.
2. Memilih *Toolbars* yang tersedia untuk digunakan.
3. Mengatur area gambar.
4. Mengatur ukuran halaman area gambar.
5. Mengatur skala.
6. Atur jarak pada *Grid*.
7. Mengatur dan menampilkan *Grid*.

8. Menyimpan data ke *File*.
9. Menentukan *Axes* untuk mempermudah pembacaan jarak dan lebar dan tinggi.
10. Penggambaran geometri lereng.
11. Menentukan metode analisis.
12. Menentukan opsi yang digunakan dalam analisis.
13. Menentukan sifat-sifat material tanah.
14. Gambarlah *Piezometric Line* untuk menentukan garis pada muka air tanah.
15. Menggambar lokasi *Entry and Exit* untuk menentukan batasan dari garis.
16. Simpan analisa.
17. Melihat hasil analisa.

2.8.2 SLOPE/W setelah diperkuat *soil nailing* (metode bishop disederhanakan)

Pada metode bishop yang disederhanakan yang telah diperkuat *soil nailing*, perangkat lunak SLOPE/W memerlukan parameter-parameter yang akan digunakan untuk menginput data pada perkuatan *soil nailing* yang akan ditampilkan pada Gambar 2.12

Reinf.	Type	Outside Pt X	Outside Pt Y	Inside Pt X	Inside Pt Y
1	Nail	18.5211	17.9062	10.6765	16.3373
2	Nail	18.9228	15.9865	11.078156	14.417562
3	Nail	19.3244	14.0557	11.479756	12.486762
4	Nail	19.7095	11.9449	11.864856	10.375962

1 | Nail | 18.5211 m | 17.9062 m | 10.6765 m | 16.3373 m

F of S Dependent: No | Load Distribution: Conc. in 1 slice

Bond Diameter: 0.31631 m | Bar Capacity: 300 kN

Bond Safety Factor: 1.5 | Bar Safety Factor: 1.5

Bond Skin Friction (F/Area): 100 kPa | Shear Capacity: 0 kN

Nail Spacing: 2 m | Shear Safety: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Applied Load: 0 - 100 kN | Bond Resistance: 33.333 kPa

Gambar 2.11 Tampilan *Input* data perkuatan dengan *Nailing*
(Sumber: *Reinforcement with Nail*, 2007. SLOPE/W)

- *Bond safety factor/pullout strength safety factor* dan *bar safety factor/nail-tensile strength safety factor* ialah nilai angka keamanan yang diatur dalam riset Amit Prashant et al. mengenai *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2.2 Angka minimum dari *safety factor* perencanaan soil nailing

Failure mode	Resisting Component	Symbol	Factor of Safety		
			Static		Seismic (Temporary and permanent structures)
			Temporary structures	Permanent structures	
External Stability	Global stability	FSG	1,35	1,5	1,1
	Sliding Stability	FSSL	1,3	1,5	1,1
	Bearing capacity	FSH	2,5	3	2,3
Internal Stability	Pullout strength	FSP	2	2	1,5
	Nail-Tensile strength	FST	1,8	1,8	1,35
Facing Strength	Facing failure	FSFF	1,35	1,5	1,1
	Punching failure	FSPF	1,35	1,5	1,1
	Headed-Stud failure	FSPP	1,5-1,8	1,7-2,0	1,3-1,5

(Sumber: *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*)

- *Bond diameter* ialah besaran nilai diameter dari baja tulangan ulir yang digunakan untuk perkuatan, Amit Prashant et al. dalam risetnya mengenai *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* menggunakan baja tulangan ulir dengan diameter 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 28, dan 32 mm.
- *Bar capacity* merupakan nilai dari kapasitas kuat tarik *nailing*

$$R_T = \frac{\pi d^2 f_y}{4} \dots \dots \dots (8)$$

dengan:

d = Diameter dari *nailing*

f_y = Tegangan leleh ijin dari *nailing* (415 Mpa atau 520 Mpa)

- *Bond skin friction/pullout resistance*

Menurut Amit Prashant et al. dalam risetnya mengenai *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks* nilai q_u (bond strength) telah dihitung atau diestimasi dalam **Tabel 2.3**.

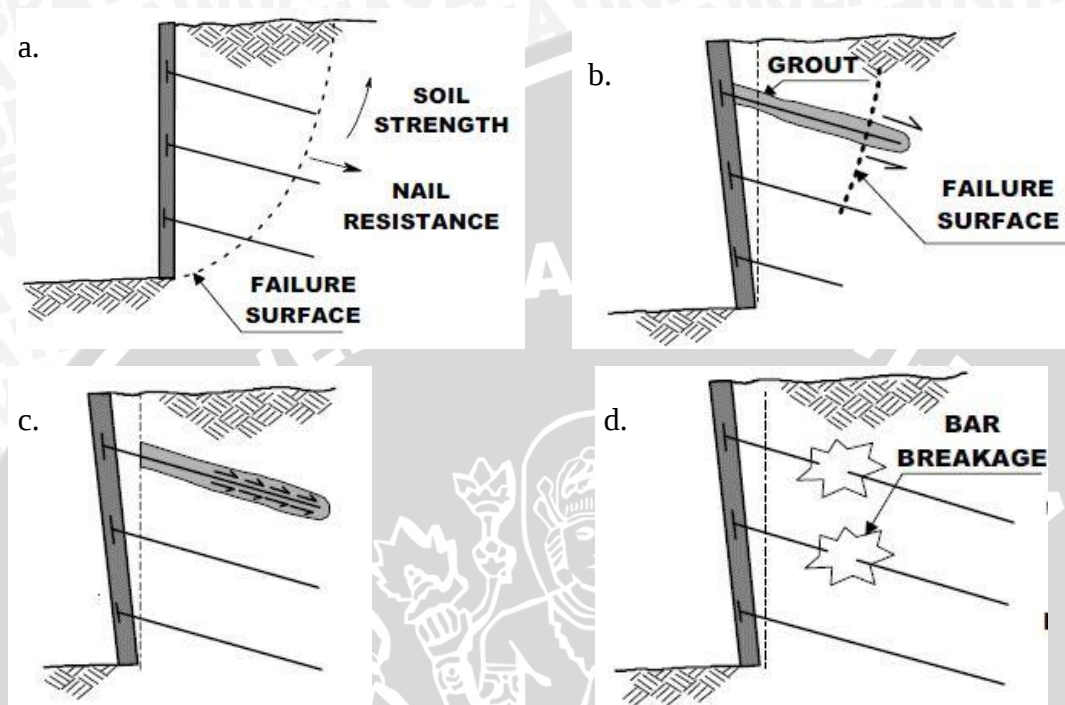
Tabel 2.3 Estimasi nilai q_u (kPa) dari *soil nailing*

Material	Construction method	Soil/Rock type	Ultimate bond
			strength q_u (kPa)
Rock	Rotary Drilled	Marl/Limestone	300-400
		Phyllite	100-300
		Chalk	500-600
		Soft dolomite	400-600
		Fissured dolomite	600-1000
		Weathered sandstone	200-300
		Weathered shale	100-150
		Weathered schist	100-175
		Basalt	500-600
		Slate/hard shale	300-400
Cohesionless soils	Driven casing	Sand/gravel	100-180
		Silty Sand	100-150
		Silt	60-75
		Piedmont residual	40-120
		Fine colluviums	75-150
		Low overburden	190-240
		High overburden	280-430
		Dense moraine	380-480
		Colluvium	100-180
	Augered	Silty sand fill	20-40
		Silty fine sand	55-90
		Silty clayey sand	60-140
	Jet grouted	Sand	380
		Sand/gravel	700
Fine-grained soils	Rotary drilled	Silty clay	35-50
	Driven casing	Clayey silt	90-140
	Augered	Loess	25-75
		Soft clay	20-30
		Stiff clay	40-60
		Stiff clayey silt	40-100
		Calcareous sandy clay	90-140

(Sumber: *Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks*)

2.9 Model Kegagalan dari Perkuatan Soil Nailing

Dalam perencanaan perkuatan lereng dengan *soil nailing*, perlu diketahui bahwa terdapat beberapa model kegagalan yang harus diperhatikan agar perencanaan *soil nailing* tepat dan efektif. Pada **Gambar 2.12** ditunjukkan berbagai model kegagalan yang terjadi pada sistem perkuatan *soil nailing*.



Gambar 2.12 Beberapa jenis kegagalan yang terdapat pada sistem *soil nailing* :
a. Kegagalan stabilitas lereng; b. Kegagalan *Nail-Soil Pullout Failure*; c. *Bar-Grout Pullout Failure*; d. Kegagalan *Nail Tensile Failure*
(Sumber: FHWA0-IF-03-017)

2.9.1 Model kegagalan eksternal

Model kegagalan eksternal berkaitan dengan kemampuan massa tanah yang telah diperkuat untuk menahan tekanan tanah aktif yang bekerja disekitar lereng dan tambahan beban luar atau *surcharge*. Salah satu model kegagalan eksternal yang harus diperhitungkan ialah stabilitas lereng, merupakan analisa yang diperlukan dalam menentukan faktor aman dari bidang longsor dari suatu sistem lereng yang telah direncanakan. Ada beberapa metode analisa stabilitas lereng yang dapat digunakan diantara lain; metode Fellinius, Bishop, Janbu dan Morgenstern-Price

2.9.2 Model kegagalan internal

Model kegagalan internal berkaitan dengan kegagalan sistem nailing dalam mekanisme beban yang dipikul antara tanah, nailing, dan grouting. Ada beberapa macam model kegagalan internal yang dapat terjadi diantaranya ialah:

1. *Nail-Soil Pullout Failure*, adalah kegagalan disepanjang permukaan tanah *grouting* terhadap tanah karena ikatan antara *grouting* terhadap tanah kurang berfungsi dengan baik dan juga dikarenakan panjang yang kurang dari *nailing*, oleh sebab itu maka diperlukan mutu *grouting* yang tinggi agar mampu mengikat dengan baik yaitu minimal mutu yang digunakan 25 MPa dalam mix desain dari sistem *grouting*.
2. *Bar-Grout Pullout Failure*, adalah jenis kegagalan yang terjadi antara batang baja terhadap *grouting*. Kegagalan ini terjadi karena *grouting* tidak mampu mengikat dengan baik permukaan dari batang baja. Penggunaan baja dengan permukaan ulir dapat mengatasi permasalahan dari kegagalan ini.
3. *Nail Tensile Failure*, adalah jenis kegagalan dikarenakan mutu baja yang kurang baik untuk menahan beban penggerak tanah sehingga baja yang digunakan tidak efektif dan dapat berakibat putus atau patah dalam sistem *soil nailing* yang direncanakan.

2.10 Rencana Anggaran Biaya

Menurut Ervianto (2002:129), Kegiatan estimasi adalah salah satu proses utama dalam proyek konstruksi. Sebagai dasar untuk membuat sistem pembiayaan dalam sebuah perusahaan, kegiatan estimasi juga digunakan untuk merencanakan jadwal pelaksanaan konstruksi. Estimasi dapat diartikan peramalan kejadian pada masa datang. Dalam proyek konstruksi, khususnya pada tahap pelaksanaan, kontraktor hanya dapat memperkirakan urutan kegiatan, aspek pembiayaan, aspek kualitas dan aspek waktu dan kemudian memberi nilai pada masing-masing kejadian tersebut.

Kegiatan estimasi pada umumnya dilakukan dengan terlebih dahulu mempelajari gambar rencana dan spesifikasi. Berdasarkan gambar rencana, dapat diketahui kebutuhan material yang nantinya akan digunakan, sedangkan berdasarkan spesifikasi dapat diketahui kualitas bangunannya. Penghitungan kebutuhan material dilakukan secara teliti dan konsisten kemudian ditentukan harganya. Dalam melakukan kegiatan estimasi, seorang estimator harus memahami proses konstruksi secara menyeluruh, termasuk jenis dan kebutuhan alat, karena faktor tersebut dapat memengaruhi biaya konstruksi.