

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kuat Geser Tanah

Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi bukan disebabkan karena hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya getak relatif antara butir-butir tanah tersebut (Budi Santosa, dkk., 1998: 45)

Menurut teori 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 sebagai berikut:

$$\tau = f(\sigma) \quad (2.1.)$$

di mana:

τ = Kuat geser tanah pada saat terjadinya keruntuhan (*failure*)

σ = Tegangan normal pada saat kondisi tersebut

Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ seperti pada persamaan sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (2.2.)$$

dengan:

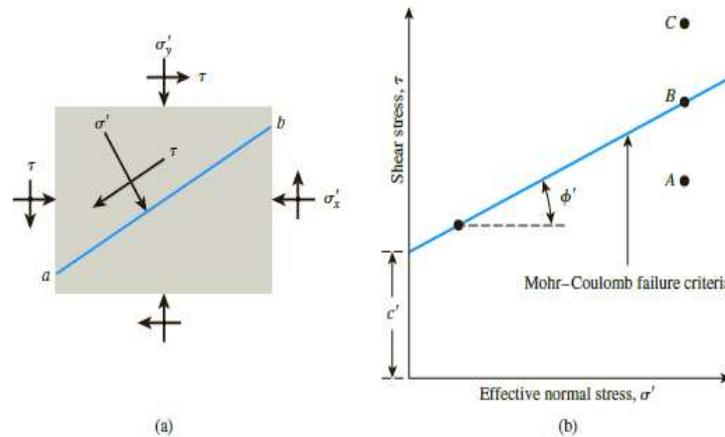
τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

C = Kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ = Sudut geser dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

Garis keruntuhan (*failure envelope*) menurut Coulomb (1776) berbentuk garis lengkung dimana untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan kekuatan geser (Das, 1995).



Gambar 2.1. Garis Keruntuhan menurut Mohr-Coulomb

Sumber: Principles of Geotechnical Engineering Ninth Edition, Braja M Das, 2014

Tegangan–tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori. Terzaghi (1925) mengubah persamaan Coulomb seperti pada persamaan 3 dan persamaan 4 dalam bentuk tegangan efektif sebagai berikut:

$$\tau = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi' \quad (2.3.)$$

$$\tau = c + \sigma' \operatorname{tg} \phi' \quad (2.4.)$$

dengan:

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

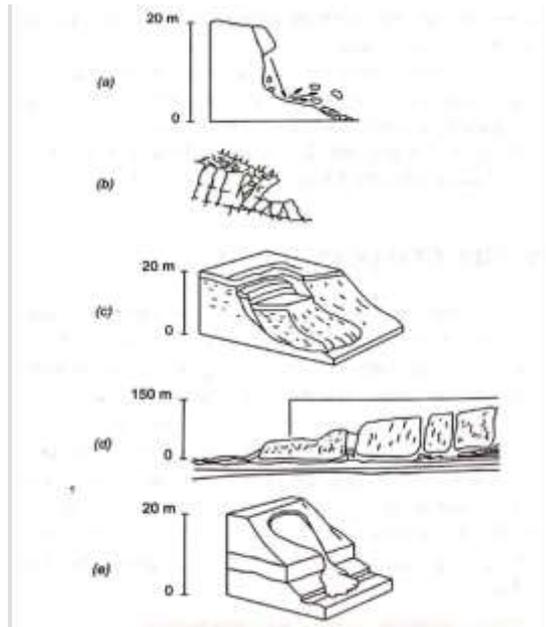
σ' = tegangan normal efektif (kN/m^2)

u = tekanan air pori (kN/m^2)

ϕ' = sudut geser dalam tanah efektif (derajat)

2.2. Longsor

Longsor (*slide*) adalah gerakan material pembentuk lereng yang diakibatkan oleh terjadinya keruntuhan geser di sepanjang satu atau lebih bidang longsor (**Gambar 2.2.c**) Massa tanah yang bergerak bisa menyatu atau terpecah-pecah.



Gambar 2.2. Tipe-tipe gerakan longsor
Sumber: Tanah Longsor dan Erosi (2012)

Tabel 2.1. Klasifikasi kedalaman longsor (Broms, 1975)

Tipe	Kedalaman
Longsor Permukaan (<i>Surface slides</i>)	< 1,5 m
Longsor dangkal (<i>shallow slides</i>)	1,5 – 5,0 m
Longsor dalam (<i>deep slides</i>)	5,0 – 20,0 m
Longsor sangat dalam (<i>very deep slides</i>)	> 20 m

Sumber: Broms (1975)

2.2.1. Penyebab Longsor

Banyak faktor, seperti kondisi-kondisi geologi dan hidrologi, topografi, iklim dan perubahan cuaca mempengaruhi stabilitas lereng yang mengakibatkan terjadinya longsor. Sebab-sebab alami yang mengganggu kestabilan lereng, contohnya pelapukan, hujan lebat atau hujan tidak begitu lebat tapi berkepanjangan, adanya lapisan lunak dan lain-lain. Sebab-sebab yang terkait dengan aktifitas manusia, contohnya penggalian di kaki lereng, pembangunan di permukaan lereng dan lain-lain.

Sebab – sebab longsor ialah:

1. Penambahan beban pada lereng. Tambahan beban lereng dapat berupa bangunan baru, tambahan beban oleh air yang masuk ke pori-pori tanah maupun yang menggenang di permukaan tanah dan lain-lain
2. Penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng yang menyebabkan tinggi lereng bertambah
3. Penggalian yang mempertajam kemiringan lereng
4. Perubahan posisi muka air secara tepat (*rapid drawdown*) (pada bendungan, sungai dan lain-lain)
5. Kenaikan tekanan lateral oleh air (air yang mengisi retakan mendorong tanah ke arah lateral)
6. Penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng oleh akibat kenaikan kadar air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah kembang susut dan lain-lain
7. Getaran atau gempa bumi

2.2.2. Jenis – Jenis Longsor

1. *Surface slide* adalah longsor yang terjadi pada sepanjang bidang gelincir yang terletak dalam permukaan lereng
2. *Deep slide* adalah longsor yang letak bidang gelincirnya terletak jauh di bawah permukaan
3. *Rotational slide* adalah longsor yang letak bidang gelincirnya berbentuk seperti busur derajat dan lengkung yang tidak teratur
4. *Translation slide* adalah permukaan longsor yang runtuh dipengaruhi adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan

2.2.3. Lereng

Lereng merupakan sebuah bidang yang menghubungkan permukaan yang lebih tinggi dan rendah (Pangemanan, 2014).

Pada **Tabel 2.2.** berisi pengklasifikasian kemiringan lereng sebagai berikut

Tabel 2.2. Klasifikasi kemiringan lereng

Kelas	Kemiringan (%)	Klasifikasi
I	0 – 8	Datar
II	8 – 15	Landai
III	15 – 25	Agak Curam
IV	25 – 45	Curam
V	> 45	Sangat Curam

Sumber: *Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah, 1986*

Lereng berdasarkan terbentuknya dibagi menjadi dua yaitu terbentuk alami dan terbentuk karena manusia

Di keilmuan Teknik Sipil terdapat tiga macam lereng yaitu (Pangemanan, 2014):

- a. Lereng alam adalah lereng yang proses pembentukannya berdasarkan proses alam contohnya lereng pada suatu bukit
- b. Lereng tanah asli contohnya tanah yang dipotong pada proses pembuatan jalan
- c. Lereng yang proses pembuatannya dari tanah yang telah dipadatkan contohnya bendungan tanah

2.3. Teori Analisis Stabilitas Lereng

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

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang 2 dimensi
2. Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif
3. Tahanan geser dari massa tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis
4. Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang

permukaan longsoran. Jadi, kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar

Aspek penting dari stabilitas lereng alam yaitu:

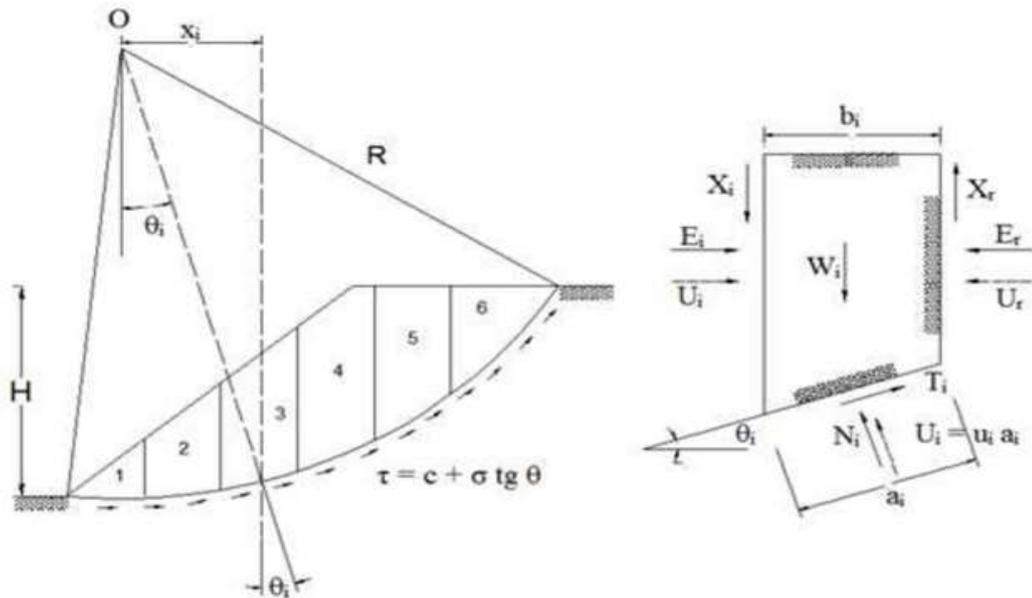
1. Kondisi geologi
2. Kondisi topografi
3. Kemiringan lereng
4. Jenis lapisan tanah
5. Kuat geser
6. Aliran air bawah permukaan
7. Kecepatan pelapukan
8. Gangguan lalu lintas

2.4. Analisis dengan Metode Manual

Analisis kestabilan lereng dilakukan sebagai upaya guna mengetahui nilai keamanan dari lereng agar dapat memudahkan pengerjaan konstruksi dari perkuatan lereng. hal ini agar memastikan bila lereng yang telah selesai diketahui keamanannya memiliki tingkat risiko kelongsoran yang tinggi atau rendah Berikut beberapa metode yang digunakan untuk menganalisis faktor keamanan

2.4.1. Metode *Fellenius*

Metode *Fellenius* menganggap jika keruntuhan yang terjadi pada permukaan longsor melalui rotasi dari blok tanah dan permukaan longsor tersebut berbentuk lingkaran dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Dengan pusat rotasi yang berada pada titik O sehingga gaya normal P bekerja di antara tengah-tengah potongan serta resultan gaya antar irisan sama dengan nol (Violetta, 2014).



Gambar 2.3. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan

Sumber: Tanah Longsor dan Erosi (2012)

Analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1927) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertical dan gaya-gaya yang bekerja dengan memerhatikan tekanan air pori adalah:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \quad (2.5)$$

Atau

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i \quad (2.6)$$

$$= W_i \cos \theta_i - u_i a_i \quad (2.7)$$

Persamaan faktor aman yaitu :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + N_i \operatorname{tg} \phi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (2.8)$$

Bila terdapat air pada lereng, tekanan air pori pada bidang longsor tidak menambah momen akibat tanah yang akan longsor (Md), karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi Persamaan (2.7.) ke Persamaan (2.8) diperoleh:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \operatorname{tg} \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (2.9)$$

Dengan:

F = Angka keamanan

c = nilai kohesi (kN/m^2)

ϕ = sudut gesek dalam (derajat)

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)

θ_i = sudut yang di definisikan dalam **Gambar 2.7.** (derajat)

2.4.2. Metoda Bishop Disederhanakan (Simplified Bishop Method)

Metoda ini menggambarkan gaya yang bekerja pada setiap sisi irisan memiliki nilai resultan sebesar nol dengan arah sumbu vertikal

Gaya terhadap pergeseran perlawanan dapat dinyatakan pada persamaan:

$$T_r = N_r (\tan \phi_d + c_d \Delta L_n) \quad (2.10.)$$

$$= N_r \left(\frac{\tan \phi}{F_s} \right) + \frac{c \Delta L_n}{F_s} \quad (2.11.)$$

Dengan

$$m_{\alpha(n)} = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \times \sin \alpha_n}{F_s} \quad (2.12.)$$

Dengan premis $\Delta T=0$ kedua persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi :

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c b_n W_n \tan \phi \frac{1}{m_{\alpha(n)}})}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n} \quad (2.13.)$$

2.5. Analisis dengan Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode Elemen Hingga (*Finite-Element Method*) merupakan persamaan matematis dengan berbagai pendekatan dan rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan nilai-nilai pada titik-titik diskrit pada bagian yang dievaluasi. Pada metode elemen hingga, daerah yang dianalisis dibagi kedalam beberapa elemen.

Terdapat pendekatan yang umum digunakan dalam menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan metode elemen hingga ini, yaitu metode pengurangan kekuatan geser (*strength reduction method*). Metode ini memiliki prinsip dengan

mereduksi/mengurangi kekuatan geser material secara bertahap sampai membentuk suatu mekanisme pada lereng. Adapun nilai parameter kohesi (c) dan sudut geser (ϕ) yang akan direduksi, yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$c_f = \frac{c}{SRF} \quad (2.14.)$$

$$\phi_f = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{SRF} \right) \quad (2.15.)$$

di mana:

SRF = faktor reduksi kekuatan geser

Faktor keamanan (SF) besarnya sama dengan nilai SRF pada saat tepat terjadi keruntuhan.

2.6. Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan (*safety factor*) merupakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan gerakan terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah. Nilai faktor keamanan diperlukan sebagai batas faktor keamanan terendah yang masih aman sehingga lereng dapat dinyatakan stabil atau tidak.

Terdapat nilai faktor keamanan minimum sesuai prosedur Joseph E. Bowles (2000) dengan ketentuan:

Tabel 2.3. Nilai Faktor Keamanan

Nilai SF	Kondisi Lereng
SF > 1,25	Aman
SF < 1,07	Tidak aman
1,25 < SF < 1,07	Kritis

Sumber: Joseph E. Bowles (2000)

Berdasarkan SNI 8460-2017 dalam Persyaratan Perancangan Geoteknik, syarat kestabilan lereng yaitu memiliki nilai FK $\geq 1,5$ yaitu pada kondisi normal dan $\geq 1,1$ pada kondisi gempa.

2.6.1. Beban lalu lintas

Beban lalu lintas ditambahkan pada seluruh lebar permukaan jalan dan besarnya ditentukan berdasarkan kelas jalan yang diberikan pada **Tabel 2.4.**

Tabel 2.4. Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas

Kelas Jalan	Beban lalu lintas (kPa)	Beban di luar jalan (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Sumber: Dinas Pekerjaan Umum (2001)

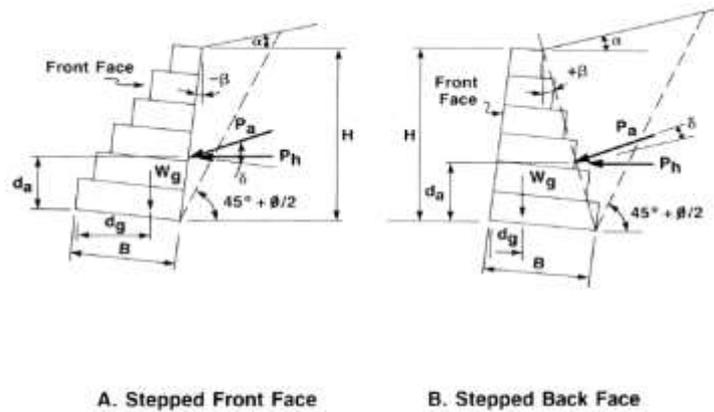
2.6.2. Curah Hujan

Curah hujan adalah total dari air yang jatuh selang periode waktu tertentu di permukaan horizontal yang diukur dalam satuan mm.

Tingginya intensitas hujan menjadi salah satu penyebab dapat terjadinya kelongsoran pada suatu lereng. Besar nilai curah hujan dapat mengakibatkan berkurangnya kestabilan lereng secara tidak disadari dimana air pori yang berada di dalam material pembentuk lereng. beberapa parameter curah hujan yang biasanya diselidiki dalam kaitannya dengan kelongsoran ialah curah hujan maksimum, durasi curah hujan serta intensitas curah hujan.

2.7. Gabion sebagai Perkuatan Lereng

Bronjong dapat juga disebut dengan *Gabion*. kawat kasa dapat dimodelkan dengan *geogrid* pada konstruksi bronjong yang selanjutnya diisi batu-batu. konstruksi *gabion* telah banyak digunakan sebagai konstruksi penahan tanah. *Gabion* dapat diterapkan pada daerah dengan kondisi orientasi pier jembatan yang buruk terhadap air, pada tanah yang memiliki partikel berbutir halus yang rentan bergerak dengan kecepatan yang sangat kecil, pada daerah yang memiliki peningkatan aliran air yang tidak dapat diprediksi (selama musim hujan). diperlihatkan pada **Gambar 2.4.**



Gravity Wall Design
Gambar 2.4. Gravity Wall Design
Sumber: Modular Gabion Systems

Kelebihan Gabion :

1. Meningkatkan struktur pada tanah di antara tebing supaya tidak mengalami longsor
2. Tumpukan batu serta struktur yang berpori memungkinkan air untuk mengalir di sela-sela sehingga tekanan pada tanah akan berkurang
3. Material yang gampang diperoleh
4. Harga yang terjangkau apabila dibandingkan konstruksi perkuatan lainnya
5. Bentuk sederhana sehingga proses konstruksi dapat dijalankan tanpa mesin. Dapat dilakukan dengan tenaga manusia serta alat bobot kawat ringan
6. Kawat mudah dibentuk dalam bentuk apa saja serta mudah dalam perbaikan
7. Fleksibel dalam penggunaannya bisa diaplikasikan di hampir semua permukaan proyek
8. Mudah dalam pelaksanaannya dan tidak terganggu dengan hujan lebat

Kelemahan *Gabion* :

Jenis galvanis tidak cocok dipakai pada area dengan kadar garam tinggi misalnya pada tepi laut dikarenakan sifat asam dari garam dapat mempengaruhi kekuatan dari kawat sehingga mengurangi kekuatan tarik kawat.

2.7.1. Gaya yang bekerja pada dinding Gabion

Gaya utama yang bekerja pada dinding *gabion* adalah gaya vertical dari berat *gabion* dan tekanan tanah lateral yang bekerja dibelakang dinding. Apabila ada

beban kendaraan atau beban gempa maka beban-beban tersebut harus dimasukkan juga dalam analisis

Tekanan tanah aktif P_a , menurut Coulomb adalah:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a W_s H^2 \quad (2.16.)$$

Apabila terdapat beban merata dipermukaan urugan, maka persamaan diatas dimodifikasi menjadi:

$$P_a = K_a \left(\frac{W_s H^2}{2} + q H \right) \quad (2.17.)$$

Dengan:

H = tinggi dinding *gabion*

Q = beban terbagi merata

W_s = berat volume tanah

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

K_a adalah koefisien tekanan tanah aktif, dimana menurut Coulomb harganya adalah (*Modular Gabion Systems*):

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2 \beta \cos(\delta + \beta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \delta)}{\cos(\delta + \beta) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (2.18.)$$

Dengan:

α = sudut kemiringan pada permukaan urugan dibelakang dinding *gabion*

β = sudut kemiringan bagian belakang dinding *gabion*

δ = sudut geser antara tanah dan dinding *gabion*

ϕ = sudut geser tanah

Nilai P_a cenderung membentuk sudut δ terhadap bidang yang tegak lurus pada bagian belakang dinding *gabion*. Namun karena pengaruh gesekan dinding kecil, maka δ dianggap nol.

Komponen horizontal dari P_a dapat ditulis seperti persamaan di bawah:

$$P_h = P_a \cos \beta \quad (2.19.)$$

Komponen vertical, P_s biasanya diabaikan dalam desain karena mengurangi momen guling dan meningkatkan ketahanan geser.

2.7.2. Stabilitas Gabion

1. Stabilitas terhadap Guling

Stabilitas terhadap guling dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$M_r = SF_o M_o \quad (2.20.)$$

Dengan:

M_r = momen perlawanan

M_o = momen guling

SF_o = faktor keamanan (1,5)

Menggunakan prinsip-prinsip dasar statika, perhitungan momen perlawanan dilakukan terhadap titik guling. Sedangkan untuk perhitungan momen guling dilakukan dengan persamaan di bawah ini:

$$M_o = d_a P_h \quad (2.21.)$$

$$d_a = \frac{H(H+3q/W_s)}{3(H+2q/W_s)} + B \sin \beta \quad (2.22.)$$

Dengan:

d_a = jarak vertical pada H/3

H = tinggi dinding gabion

q = beban tambahan (*surchage*)

W_s = berat volume tanah

B = sudut kemiringan bagian belakang dinding *gabion*

2. Stabilitas terhadap Geser

Stabilitas terhadap geser dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu W_g = SF_s P_h \quad (2.23.)$$

Dengan:

μ = koefisien gesekan ($\tan \phi$)

W_g = berat sendiri *gabion*

SF_s = faktor keamanan (1,5)

3. Stabilitas terhadap Daya Dukung

Nilai eksentrisitas dapat ditentukan sebagai berikut:

$$Se = \frac{B}{2} - \frac{(M_r - M_o)}{w_g} \quad (2.24.)$$

untuk resultan gaya yang terletak pada H/3 adalah:

$$-\frac{B}{6} \leq e \leq \frac{B}{6} \quad (2.25.)$$

Tekanan maksimum dibawah dasar, P adalah:

$$P = \left(\frac{w_g}{B}\right) \left(\frac{1+6e}{B}\right) \quad (2.26.)$$

Tekanan maksimum tidak boleh melebihi daya dukung tanah (*soil bearing capacity*) yang diijinkan, yaitu:

$$P \leq SF_b P_b \quad (2.27.)$$

Dengan:

- e = eksentrisitas
- B = lebar alas *gabion*
- M_r = momen tahanan
- M_o = momen guling
- w_g = berat sendiri *gabion*

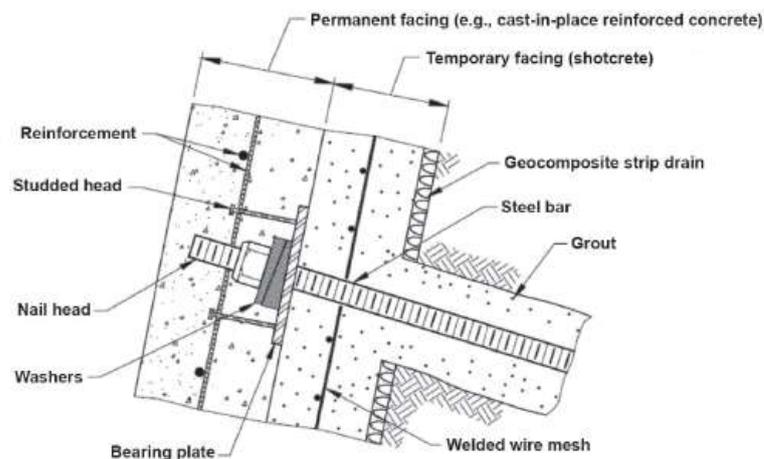
2.8. Soil Nailing sebagai Perkuatan Lereng

Perkuatan kedua yang menjadi Alternatif dalam penentuan desain perkuatan ialah menggunakan *soil nailing*. *Soil nailing* merupakan metode perkuatan tanah yang mencampurkan beberapa batang baja *nails* yang nantinya dilakukan *grout* dengan jarak interval 1,5 – 20 meter. *soil nailing* dilakukan dengan melakukan pemboran dan memasukan tulangan pada lereng. *soil nailing* sering dipilih sebagai perkuatan lereng yang efektif karena proses konstruksinya lebih cepat dan hemat dari biaya. *Soil nailing* sebagai alternatif perkuatan lereng memiliki berbagai keuntungan dibanding perkuatan lainnya. Kelebihan *soil nailing* antara lain sebagai berikut:

1. Pekerjaan konstruksi fleksibel dapat menyesuaikan dengan kondisi lapangan baik dari kemiringan dan dapat mengetahui jenis tanah pada setiap titik penulangan
2. Tahan gempa
3. Dapat digunakan sebagai konstruksi sementara maupun permanen
4. Luas area yang diperlukan dalam pekerjaan tidak terlalu besar, sehingga dapat digunakan pada pekerjaan yang memiliki area pekerjaan kecil
5. Dapat digunakan sebagai konstruksi sementara maupun permanen
6. Penggunaan peralatan relatif kecil

7. Pekerjaan konstruksi *soil nailing* tidak mengganggu daerah sekitar karena minimnya getaran serta suara pekerjaan yang kecil
8. Penggunaan metode *soil nailing* lebih hemat, dikarenakan penggunaan material baja yang dinilai lebih efektif dibandingkan perkuatan lainnya. Pengerjaan *soil nailing* yang lebih cepat menjadi faktor yang dapat lebih menghemat biaya dalam pekerjaan perkuatan lereng

2.8.1. Komponen *Soil nailing*



Gambar 2.5. Komponen soil nailing

Sumber: Principles and Practice of Ground Improvement-Wiley, Jie Han, 2015

Dalam pelaksanaan konstruksi *soil nailing* dibutuhkan komponen-komponen antara lain sebagai berikut.

1. Batang baja (*Nail bars*)
Batang baja memiliki besaran nilai terhadap kuat tarik yang bermacam-macam yaitu diantara 420 hingga 520 Mpa serta diameter yang variasinya sesuai kebutuhan dengan yaitu 19 mm - 43 mm.
2. *Hex nut*, *washer*, dan *bearing plate*
Hex nut adalah mur yang berbentuk segienam dan *washer* adalah logam ataupun karet yang berbentuk cincin sedangkan *Bearing Plate* berbentuk persegi yang memiliki tebal 19 mm
3. *Grout* (Cor beton)
Berbentuk campuran semen dan pasir
4. *Nail Head*

Merupakan ujung dari bagian baja

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 untuk menghubungkan dua bagian batang baja serta proteksi terhadap bahaya erosi. *Wall facing* dibuat menggunakan beton yang disemprotkan ke bagian permukaan lereng

7. *Centralizers* (Penengah)

Merupakan alat yang terbuat dari PVC yang diletakkan di sepanjang seluruh bagian batangan baja. Jarak pemasangan *centralizers* berkisar 0,5 sampai dengan 2,5 m

8. *Drainage System* (Sistem Drainase)

digunakan agar menahan jadinya peningkatan tekanan pada air yang berada di bagian belakang dinding

2.8.2. Analisis Stabilitas Lereng eksternal

1. Faktor aman terhadap keruntuhan global (*global stability failure*)

$$SF = \frac{c \times L_f + W \cos \alpha \times \tan \phi + (\sum T_i \sin (\alpha + i) - \sum V_i \cos (\alpha + i)) \tan \phi}{W \sin \alpha - \sum T_i \cos (\alpha + i) - \sum V_i \cos (\alpha + i)} \quad (2.28.)$$

Dengan:

SF = faktor aman

c = kohesi tanah

ϕ = sudut geser dalam tanah ($^{\circ}$)

α = sudut kemiringan bidang longsor garis horizontal

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 ($^{\circ}$)

I = kemiringan pemasangan sudut *nail* ($^{\circ}$)

$\sum T_i$ = jumlah daya dukung terhadap gaya Tarik (kN/m)

$\sum V_i$ = jumlah daya dukung gaya geser (kN/m)

2. Faktor aman terhadap gaya geser

Gaya geser dan gaya tarik dari sebuah *nail bar* untuk menghitung stabilitas lereng terhadap perkuatan secara global yang dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini:

Faktor aman terhadap penggulingan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$FS = \frac{c_b \times BL + (W + Q + Pa \sin \phi) \tan \phi}{Pa \times \cos \phi} \quad (2.29.)$$

Dengan:

FS = faktor aman

Cb = kohesi tanah (kN/m²)

BL = lebar struktur

W = berat irisan tanah (kN/m)

Q = beban mati diatas lereng (kN/m)

ϕ = sudut gesek dalam tanah

H = tinggi dinding tanah (m)

γ = berat isi tanah (kN/m)

δ = sudut gesek antara tanah fondasi dan dasar struktur

2.8.3. Analisis Stabilitas Lereng Internal

1. Faktor aman terhadap putus tulangan

Faktor aman (SF) terhadap putus tulangan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Fr = \frac{\left(\frac{0,25 \times \pi \times d^2 \times fy}{1000} \right)}{\sigma_h \times Sv \times Sh} \quad (2.30.)$$

Dengan:

Sv = jarak tulangan arah vertical (m)

Sh = jarak tulangan arah horizontal (m)

Fy = daya dukung tulangan (Mpa)

d = diameter tulangan (mm)

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

γ = berat isi tanah (kN/m³)

z = kedalaman yang ditinjau (m)
 K_a = koefisien tekanan aktif lateral

2. Faktor aman terhadap cabut tulangan

Faktor aman (SF) terhadap cabut tulangan menggunakan persamaan berikut ini:

$$F_p = \frac{\pi \times q_u \times D_{dh} \times L_p}{\sigma_h \times S_v \times S_h} \quad (2.31.)$$

Dengan:

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)
 D_{dh} = diameter lubang bor (m)
 L_p = panjang tulangan yang berada di zona pasif (m)

2.9. Studi Terdahulu Terkait Evaluasi Perkuatan

Evaluasi perkuatan lereng merupakan suatu langkah yang digunakan untuk mengevaluasi perkuatan yang tepat untuk diterapkan pada lereng yang mengalami kelongsoran dengan memperhatikan berbagai aspek tinjauan. Berikut ini terdapat beberapa studi kasus terdahulu terkait perkuatan lereng.

2.9.1. Studi Kasus Alternatif Perbaikan Perkuatan Lahat – Tebing Tinggi

Studi kasus terdahulu yang berhubungan dengan penelitian saat ini adalah “Alternatif Perbaikan Perkuatan Lereng Longsor Jalan Lintas Sumatera Ruas Jalan Lahat – Tebing tinggi Km 237 + 511” (Jody Setiawan, Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, Msc, PhD dan Musta’in Arif, ST., MT).

Tujuan dari penelitian ini adalah merencanakan perbaikan lereng yang diakibatkan oleh tingginya intensitas hujan.

Adapun tahapan analisis ketsabilan dengan program *xstbl* menggunakan parameter yang telah diolah sebelumnya. Alternatif perbaikan perkuatan lereng yang dianalisis terdiri dari dua jenis yaitu perkuatan dengan gabion dan minipile (alternatif I) dan perkuatan dengan *geotextile* (alternatif II). Dari alternatif yang

telah direncanakan ditentukan jenis perkuatan yang digunakan berdasarkan tinjauan gampang dalam proses pelaksanaan dan material yang tidak sulit diperoleh

Dari hasil analisis diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk Alternatif I, perbaikan perkuatan lereng longsor dengan menggunakan perkuatan *gabion* dan *minipile* menggunakan sf terkritis = 0,547 dibutuhkan material untuk panjang 1m tegak lurus bidang gambar sebanyak 21 m³ batu dan 5 unit *minipile*
2. Untuk Alternatif II, perbaikan perkuatan lereng kongsor dengan menggunakan *geotextile* menggunakan sf terkritis = 0,547 dibutuhkan material untuk panjang 1m tegak lurus bidang gambar sebanyak 99,3 m³ *geotextile*. Untuk perbaikan perkuatan lereng longsor dengan menggunakan sf = 1,00 dibutuhkan material untuk panjang 1m tegak lurus bidang gambar sebanyak 131,3 m³ *geotextile*
3. Perbandingan kekurangan dan kelebihan alternatif perbaikan perkuatan lereng longsor menggunakan perkuatan *gabion* dan *minipile* (Alternatif I), dengan alternatif perbaikan perkuatan lereng longsor menggunakan *geotextile* (alternative II) adalah sebagai berikut:
 - Ditinjau dari segi kemudahan dalam pelaksanaan, alternatif I lebih sulit dari pada alternatif II karena pelaksanaan nya alternative I menggunakan *minipile* sedangkan alternatif II tidak menggunakan *minipile*
 - Ditinjau dari segi kemudahan mendapatkan material, alternatif I lebih sulit dalam memperoleh material dari pada alternatif II, karena alternatif II menggunakan hasil tanah galian dari lereng yang ada di lapangan
 - Ditinjau dari segi kelancaran akses lalu lintas, alternatif I lebih baik dari pada alternatif II, karena panjang nya galian lereng di bawah badan jalan pada alternatif II lebih panjang dari alternatif I