BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*)

Klasifikasi tanah pertama dirancang seseorang bernama E.C.J. Mohr pada tahun 1910 didasarkan pada prinsip genesis. Pada klasifikasi USCS, yang dilansir oleh Casagrande ketika tahun 1942 kemudian pada tahun 1952 melakukan kolaborasi dengan *United States Bureau of Reclamation*. Sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* dikelompokkan kedalam 2 bagian besar yaitu:

a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained-soil*), seperti tanah kerikil dan pasir < 50% berat total lolos ayakan No. 200. Simbol yang digunakan untuk kerikil dan pasir adalah huruf G atau S.G.
b. Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*), seperti tanah lanau dan lempung >50% berat total tanah lolos ayakan No. 200. Simbol yang digunakan dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau-organik dan lempung-organik. Simbol PT untuk tanah gambut (*peat*).

Pada klasifikasi USCS digunakan simbol-simbol lainnya sebagai berikut:

W = tanah bergradasi baik atau *well graded*
P = tanah bergradasi buruk atau *poorly graded*
L = tanah berplastisitas rendah yaitu nilai LL< 50 atau *low plasticity*
H = tanah berplastisitas tinggi yaitu nilai LL > 50 atau *high pasticity*

Tanah yang berbutir kasar terlihat lambang seperti: GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, dan SC. Faktor tersebut digunakan dalam pengklasifikasian:

1. Persentasi butiran lolos ayakan No. 200 (ini adalah fraksi halus)
2. Persentasi fraksi kasar yang lolos ayakan No. 40
3. Koefisien keseragaman (*Uniformity coefficient*, CU) dan koefisien gradasi (*Graduation coefisien,* Cc) dan indeks plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos saringan No. 40 (untuk tanah 5% atau lebih lolos saringan No. 200).

Bila presentasi butiran lolos saringan No. 200 diantaranya 5-12%, simbol rangkap yaitu seperti GW-GM, GP-GM, GW-GC, GP-GC, SW-SM, SW-SC, SP-SM, dan SP-SC dibutuhkan.

Klasifikasi tanah yang berbutir halus menggunakan lambang ML, CL, OL, MH, CH dan OH dapat digambarkan pada indeks plastisitas dan batas cair (Casagrande, 1948).

Analisis saringan (perhatikan tabel 2.1).

Tabel 2.1. Persentase lolos saringan

Nomor Saringan	% Butiran Lolos
4 (4,75 mm)	100,0
10 (2,0 mm)	93,2
40 (0,42 mm)	81,0
200 (0,075 mm)	61,5

Sumber: Hardiyatmo, 2012

Menurut USCS ditinjau dari koefisien permeabilitas (k), kerikil dan pasir dikategorikan sebagai material *drained* sedangkan lempung dapat dikategorikan sebagai material *undrained*. Pada tanah lanau disebut material *intermediate* yaitu material yang bisa dikatakan *undrained undrained* ataupun *drained* sesuai dengan *judgement*. Jika nilai k lebih besar dari 10^{-2} cm/det bersifat *drained*, sedangkan k lebih kecil dari 10^{-4} bersifat *undrained*.

2.2. Analisis *Undrained* dan *Drained*

Undrained merupakan keadaan ketika air tidak bisa meresap kedalam tanah pada jangka waktu yang ditentukan dan terjadi perubahan isi (load) pada tanah yang mengakibatkan berubahnya tegangan air pada void karena air tidak bisa meresap kedalam tanah secara luas ketika volume void mengalami perubahan. *Undrained* biasanya dikatakan situasi jangka pendek. Analisis pada kondisi *undrained* dilakukannya dalam bentuk analisis tegangan total menggunakan parameter tanah *undrained*. Tekanan air pori pada bidang keruntuhan tidak dibutuhkan pada analisa tegangan total dengan menyederhanakannya dengan $\emptyset = 0$. Pada tegangan total tidak dapat diamati dan dianalisis besarnya konsolidasi selama berlangsungnya konsolidasi sehingga tidak dapat diamati perubahan air pori yang terjadi.

Menurut Craig R.F, parameter efektif yaitu c' dan $\emptyset'$ digunakan untuk menentukan nilai kuat geser pada kondisi kekuatan geser pada kondisi *undrained*. Pada kondisi

ini tegangan air pori harus diketahui. Pada kondisi *undrained* memiliki hubungan pada stabilitas jangka pendek khususnya pada tanah yang mempunyai permeabilitas kecil yaitu tanah lempung. Sedangkan pada tanah berbutir kasar dengan permeabilitas besar dan diberi tegangan kodisi pendek dan kondisi panjang bisa dikatakan sama karena tegangan air pori yang cepat.

Drained merupakan keadaan ketika air bisa meresap kedalam tanah pada jangka waktu yang ditentukan dan terjadi perubahan isi (*load*) pada tanah yang tidak mengakibatkan berubahnya tegangan air pada void karena air bisa meresap kedalam tanah secara luas disaat terjadinya perubahan void besar atau kecil dalam menanggapi perubahan isi tanah. *Drained* biasanya dikatakan situasi jangka panjang. Analisis kondisi *drained* dapat digunakan pada tanah berbutir kasar yaitu *sa ndy soil* dan *gravel soil*. Analisis tersebut dapat digunakan juga pada jangka panjang yaitu *clayey soil*. Kondisi ini memiliki asumsi bahwa terkanan air pori terdisipasi keseluruhan ($u_e = 0$) dengan volume tanah yang berbeda beda.

2.3. Parameter Kelas Situs

Klasifikasi *site class,* ditentukan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser rata-rata dari permukaan sampai 30 m yang digunakan sebagai standar internasional yang disahkan oleh *National Earthquake Hazard Reduction Program* (NEHRP). *Site class* berdasarkan N-SPT dapat diperoleh melalui empiris

$$\overline{v_s} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} d_i / v_{si}} \tag{2.1}$$

Keterangan:

$\sum_{i=1}^{n} d_i$: total jarak sampai kedalaman tanah 30 m

d_i : tanah dengan ketebalan tanah ke-i (m)

n : nilai lapisan tanah sampai 30 m

v_{si} : nilai kecepatan gelombang geser yang melewati lapisan tanah ke-i (m/s)

i : lapisan tanah n sampai 1

N_i : Nilai penetrasi standar dari lapangan

$$\overline{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} d_i / N_i} \tag{2.2}$$

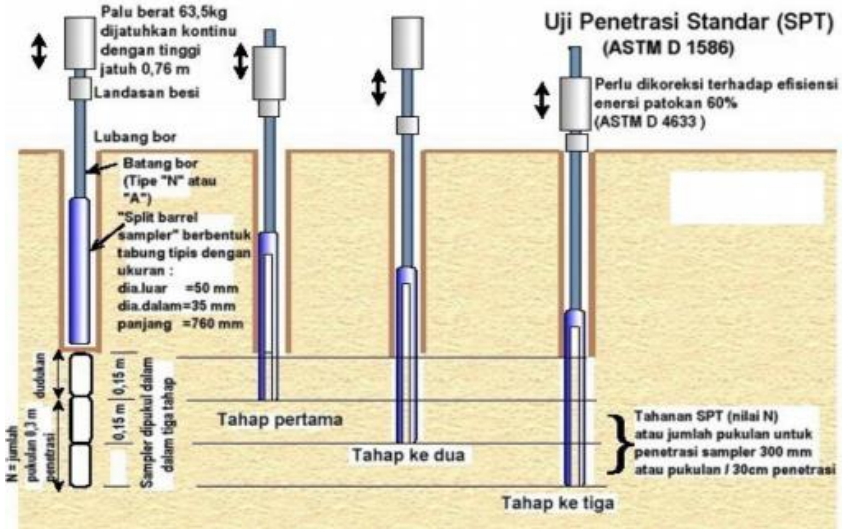
Berikut ialah tabel pentuan kelas situs berdasarkan nilai cepat rambat gelombang geser, nilai SPT dan nilai kuat geser perkiraan lapisan tanah.

Tabel 2.2. Jenis Kelas situs tanah

Jenis Kelas Situs	$\overline{v_s}$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (Batuan keras)	$\overline{v_s} > 1500$	N/A	N/A
SB (Batuan)	$750 < \overline{v_s} \leq 1500$	N/A	N/A
SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	$350 < \overline{v_s} \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 100$
SD (Tanah sedang)	$175 < \overline{v_s} \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{s}_u \leq 100$
SE (Tanah lunak)	$\overline{v_s} < 350$	$\bar{N} < 50$	$\bar{s}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, PI > 20 2. Kadar air (w) ≥ 40%, dan 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u$ < 25 kPa		
SF (Tanah khusus, yang membutuhkan investigas geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik situs)	Profil lapisan tanah yang memunyai lebih dari satu karakteristik seperti: - Rentan dan cenderung gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan / atau gambut (dengan ketebalan > 3 m) - Plastisitas tinggi (ketebalan H>7,5 m dengan PI > 75) - Lapisan lempung lunak/ medium kaku dengan ketebalan H> 35m		

Sumber: BSN, 2012

Standart Penetration Test merupakan cara pengujian dengan pengeboran yang dilakukan bersamaan guna mengambil contoh tanah terganggu dengan cara penumbukan berdasarkan SNI 4153: 2008 (BSN, 2008). Berikut merupakan aturan urutan uji penetrasi standar (perhatikan gambar 2.1)



Gambar 2.1. Skema urutan SPT
Sumber: BSN, 2008

Modulus geser merupakan parameter geoteknik yang digunakan sebagai acuan rekayasa gempa. Parameter yang diperkirakan melalui kecepatan gelombang geser (Vs) yang diukur secara insitu. Ada berbagai hambatan dalam pengukuran secara langsung, maka peneliti merumuskan hubungan antara kecepatan gelombang geser (Vs) dan data uji lapangan statis hasil uji penetrasi standar (SPT) (Luzi et al., 2011). Terzaghi dan Peck (1967), Peck, dkk. (1974), Hunt (1984), Matasovic dan Kavazanjian (1998) menyatakan hubungan SPT, cepat rambat gelombang geser dan rasio Posson sebagai berikut. (perhatikan tabel berikut dibawah ini).

Tabel 2.3. Perbandingan NSPT dengan kecepatan gelombang geser (Vs) dan Poisson's Ratio

Jenis Tanah	Nilai SPT	Vs (m/s)	*Poisson's Ratio*
Tanah Butiran Longgar (*Loose Granular Soil*)	0 sampai 20	130 sampai 280	0,2 sampai 0,4
Tanah Granular Padat (*Dense Granular Soil*)	20 sampai 50	200 sampai 410	0,3 sampai 0,45
Tanah Liat Lunak (*Soft Clay*)	0 sampai 60	40 sampai 90	0,15 sampai 0,25
Tanah Liat Kaku (*Stiff Clay*)	6 sampai 30	65 sampai 140	0,2 sampai 0,5

Sumber: Terzaghi dan Peck (1967), Peck, dkk. (1974), Hunt (1984), Matasovic dan Kavazanjian (1998)

Persamaan hubungan nilai Vs dan N-SPT sesuai dengan penelitian Kumar dkk. (2016) diperoleh hubungan empiris;

Tanah Butiran Longgar (*Loose Granular Soil*),

$$Vs = 130 + 7{,}5\ N \tag{2.3}$$

Tanah Granular Padat (*Dense Granular Soil*)

$$Vs = 60 + 7{,}5\ N \tag{2.4}$$

Tanah Liat Lunak (*Soft Clay*)

$$Vs = 40 + 8{,}333\ N \tag{2.5}$$

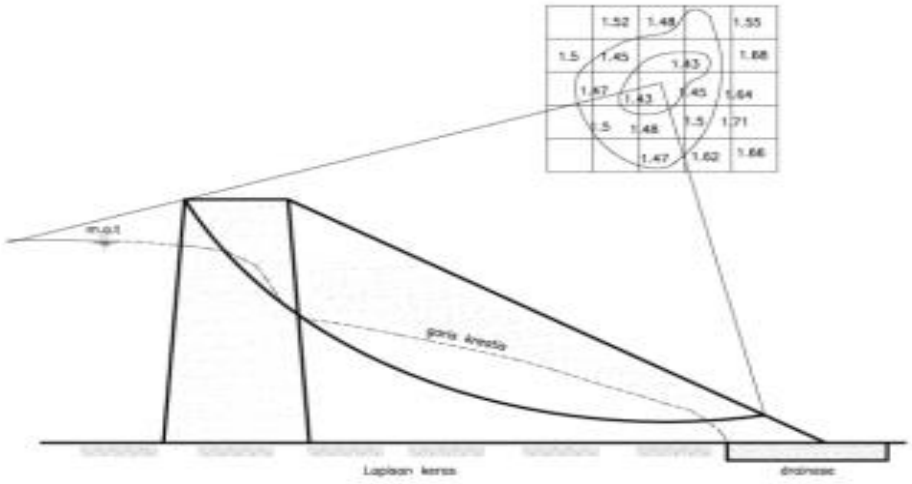
Tanah Liat Kaku (*Stiff Clay*)

$$Vs = 46{,}25 + 3{,}125\ N \tag{2.6}$$

2.4. Metode Bishop

Metode Bishop menggunakan cara berupa potongan, potongan tersebut memiliki gaya yang bergerak disekitarnya. Hal ini di perkenalkan oleh seorang A.W Bishop. Metode ini dianalisis pada suatu permukaan gelincir (*slip surface*) yang berupa lingkaran. Metode Bishop berpendapat bahwasanya pada arah vertikal terdapat

irisan yang didalamnya terdapat gaya-gaya yang bekerja memiliki resultan sama dengan nol (Bishop, 1955). Kontur faktor keamanan (perhatikan gambar 2.2).



Gambar 2.2. Kontur faktor keamanan
Sumber: Janbu dkk, 1956

Pada metode Bishop meniadakan gaya gesek antara potongan dan beranggapan bahwasanya gaya normal sama dengan gaya antar potongan. Gaya normal setiap potongan ditunjukkan dengan penjumlahan dari total gaya yang bekerja dalam arah vertikal. Rumus dalam menentukan faktor keamanan menurut Bishop sebagai berikut:

$$FS=\frac{\sum_{n=1}^{n=p}(c'b_n+W_n \tan\tan \emptyset')\times \frac{1}{m_{\alpha(n)}})}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin\sin \alpha_n} \quad (2.7)$$

$$m_{a(n)}=\cos\cos \alpha_n+\frac{\tan\tan \emptyset' \sin\alpha_n}{Fs} \quad (2.8)$$

Keterangan:

FS : faktor keamanan metode Bishop

c’ : nilai kohesi efektif $\left({}^{kN}/_{m^2}\right)$

b_n : lebar potongan ke-n (m)

W_n : berat potongan ke-n (kN)

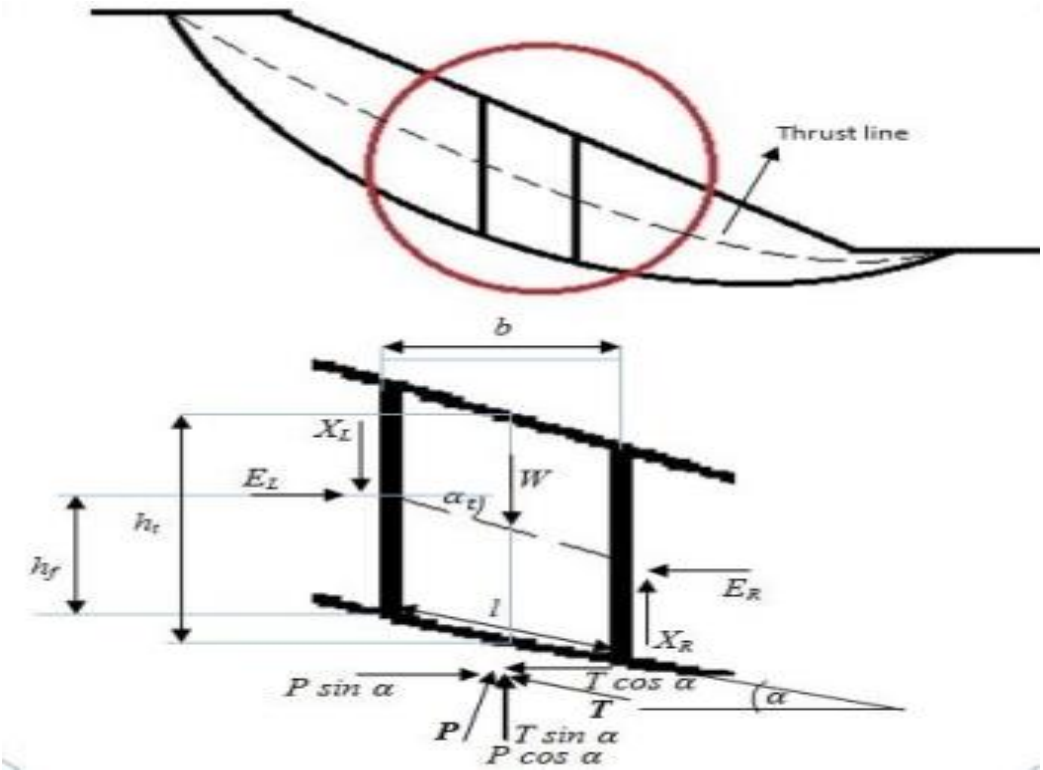
$\emptyset'$: sudut geser (°)

Menentukan nilai FS pada metode bishop dengan cara uji coba atau *trial and error*, sehingga menghasilkan perhitungan yang akurat. Posisi lingkar kelongsoran kritis

metode Bishop, umumnya mengarah pada nilai lapangan. Pada kontur faktor keamanan perhatikan gambar 2.1.

2.5. Metode Janbu

Metode yang telah disederhanakan (Janbu 1954, 1973) berpendapat bahwa metode gaya geser antara potongan menghasilkan nilai nol. Metode Janbu yang telah disederhanakan berdasarkan pada kesetimbangan gaya tepat untuk kondisi tanah berlapis (Aryal, 2016). Metode Janbu mengumpamakan bidang longsor *circular* dan *non-circular* pisah menjadi beberapa potongan. (perhatikan gambar dibawah ini).



Gambar 2.3. Gaya yang bekerja pada Metode Janbu
Sumber: Hardiyatmo, 2012

Pada metode Bishop untuk menentukan nilai FS menggunakan persamaan, yakni:

$$FS = \frac{fo \sum [\,(c+bl+Wi \tan \varphi)\cos^2\alpha(\frac{1+ \tan \tan \varphi' \tan \tan \alpha}{Fos})]}{\Sigma W \tan \alpha} \quad (2.9)$$

Keterangan:

Fs : faktor keamanan

Fos : faktor keamanan lereng Janbu sementara

Fo : niali faktor koreksi

c’ : nilai kohesi ($^{kN}/_{m^2}$)

bi : lebar potongan ke-i (m)

Wi : berat potongan pada tanah ke-i (kN)

u : tekanan air pori

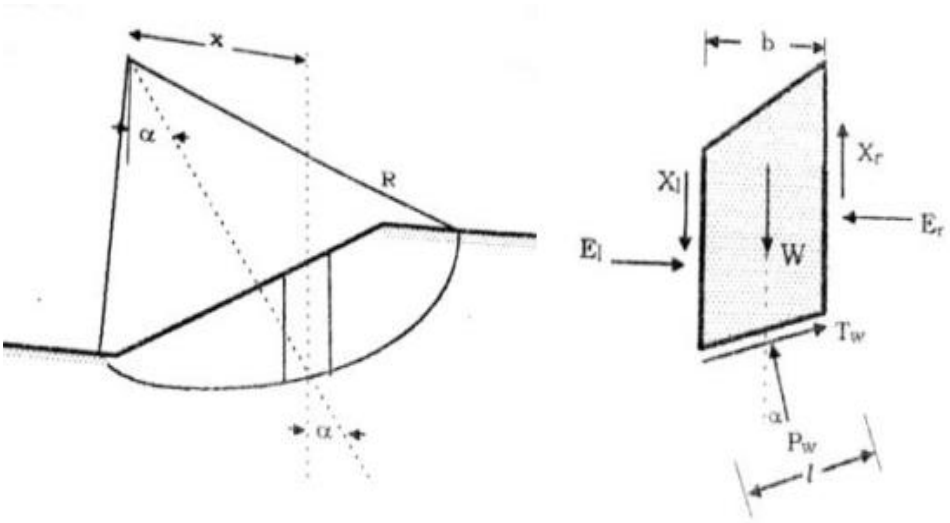
φ' : sudut geser efektif (°)

Pada metode Janbu dilakukan pengalian dengan nilai faktor koreksi:

F : fo x Fs

2.6. Metode Fellenius

Keseimbangan momen digunakan untuk menghitung gaya yang mempunyai sudut kemiringan sejajar yang didasari oleh potongan pada faktor keamanan (Fellenius, 1927,1936). Fellenius mengatakan teknik dengan asumsi bahwasanya terjadinya keruntuhan melewati perputaran dari batasan tanah pada permukaan longsor yang berwujud ingkaran (sirkuler) pada titik 0 merupakan titik pusat perputara. Teknik tersebut berpendapat bahwasanya gaya yang bekerja di tengah *slice* berupa gaya normal P. Asumsi bahwa jumlah gaya antar irisan dihiraukan (perhatikan gambar 2.4 dibawah ini).



Gambar 2.4. Gaya yang terjadi pada setiap potongan
Sumber: Hardiyatmo, 2010

Faktor keamanan lereng tanpa mukar air menurut Fellenius pada persamaan berikut:

$$FS = \frac{cl + \tan \emptyset \, \Sigma(W\cos\alpha)}{\Sigma(W\sin\alpha)} \quad (2.10)$$

Keterangan:

c : nilai kohesi tanah $\left({}^{kN}/_{m^2}\right)$

∅ : sudut geser tanah (°)

α : sudut bidang gelincir setiap irisan (°)

μ : nilai tekanan air pori tanah $\left({}^{kN}/_{m^2}\right)$

I : panjang bidang gelincir tiap potongan (m)

L : total panjang bidang gelincir

μI : nilai tekanan pori tiap potongan $\left({}^{kN}/_{m}\right)$

W : luas setiap bidang potongan (m^2) x berat isi tahan $\left({}^{kN}/_{m^2}, \gamma\right)$

2.7. Faktor Keamanan (*Factor of Safety*)

Menurut peneliti Bowles (1989) nilai faktor keamanan diklasifikasikan menjadi 3 bagian berdasarkan intensitas kelongsoran (perhatikan tabel 2.4 dibawah ini)

Table 2.4. Nilai FS terhadap intensitas longsor

Nilai FS	Intensitas kelongsoran
FS>1,5	Longsor biasa atau sering terjadi (lereng labil)
<1,25FS<1,5	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
1<FS<1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber: Bowles, 1989

Mohr (1980) berpendapat bahwasanya keruntuhan terjadi karena gabungan yang tepat antara tegangan normal dan geser serta tidak tegangan normal maksimum dan tegangan geser maksimum aja.

Nilai FS ditentukan dari nilai rasio antara gaya penahan terhadap gaya yang mendorong.

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (2.11)$$

keterangan:

τ_f : kekuatan rata rata geser tanah

τ_d : tegangan rata rata geser akibat retakan

FS : faktor keamanan

Berdasarkan teori Mohr-Coulomb, tahanan geser maksimum (τ) bisa digerakkan oleh tanah pada bidang longsor, yakni:

$$\tau = c + \sigma \text{ tg } \varphi \quad (2.12)$$

Keterangan:

c : nilai kohesi tanah

σ : tegangan normal tanah

φ : sudut gesek tanah

c dan φ merupakan nilai parameter kuat geser tanah di sepanjang bidang longsor. Sama halnya rumus tegangan geser (τ_d) yang dikarenakan adanya pembebanan dari tanah dan lainnya pada bidang longsornya adalah sebagai berikut:

$$\tau_d = c_d + \sigma tg\varphi_d \quad (2.13)$$

Keterangan:

c_d : kohesi pada bidang kelongsoran

φ_d : sudut gesek pada bidang kelongsoran

Substitusi persamaan 2.7 dan 2.8 diperoleh persamaan faktor aman.

$$F = \frac{c + \sigma tg\varphi}{c_d + \sigma tg\varphi_d} \quad (2.14)$$

Faktor keamanan pada setiap nilai kuat geser, terlihat pada rumus tersebut, yakni:

$$F_c = \frac{c}{c_d} \quad (2.15)$$

$$F_\varphi = \frac{tg\varphi}{tg\varphi d} \quad (2.16)$$

Keterangan:

F_c : faktor keamanan pada bagian kohesi

F_φ : faktor keamanan pada bagian gesekan

2.8. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Menurut Direktorat Geologi Tata Lingkungan penyebab terjadinya longsong yang disebabkan oleh beberapa faktor yakni:

a. Topografi atau lereng

   Menurut Karnawati (2001), lereng merupakan bagian dalam proses terjadinya longsor. Terdapat 3 jenis terjadinya longsor pada lereng:

   1. Lereng yang terbentuk dari timbunan tanah gembur yang dilapisi oleh tanah yang stabil ataupun batuan.
   2. Lereng yang terbentuk berdasarkan batuan yang miring searah lereng
   3. Lereng yang terbentuk oleh kelompok batuan

Lereng dikatakan aman ketika gaya penahan lebih kuat dari gaya pendorong lereng (Das, 1993: Notosiswojo dan Projosumarto, 1984 dalam Mustafril, 2003).

b. Keadaan tanah/batuan

   Keadaan tanah terlihat dari erosi ketika nilai sensitivitas erosi tanah (K) meyakinkan bahwa terjadi erosi atau tidak, semakin rendah nilai K maka semakin non kritis respon tanah terhadap erosi (Sitorus, 2006).

   Kedalaman tanah lebih besar dari 90 cm, permukaan gembur, dan penutupan lahan rapat, kebanyakan air hujan yang terserap kedalam tanah dan sisa sedikit yang menjadi air limpasan dipermukaan. Tanah yang dangkal dengan struktur padat dan kurang rapatnya penutupan lahan, volume air hujan yang kecil terserap dan lainnya menjadi aliran permukaan (Litbang Departemen Pertanian, 2006).

c. Curah hujan atau keairan

   Ketika musim hujan sering terjadi jenuh air dikarenakan lebih mudah meresap kedalam tanah melalui cela cela tanah. Kecepatan aliran memicu terjadinya kelongsoran atau pergerakan tanah (Wahyunto, 2007). Menurut Karnawati (2003) ketika terjadi hujan, air yang meresap kedalam tanah mampu ditahan batu batuan karena stabil dan tahan terhadap air. Hujan yang deras menyebabkan air yang meresap kedalam tanah tertahan sehingga terjadi peningkatan debit dan volumenya sehingga air yang terdapat dilereng semakin menghimpit lapisan tanah serta terdesak dan terjadilah longsor. Hujan mampu mendorong terjadinya tanah longsor melewati peningkatan beban dan

menurunkan kuat geser tanah. Kemudian, menurut Suryolelono (2005), aktivitas manusia atau pemamfaatan alam dapat mempengaruhi terjadinya hujan pada bagian-bagian lereng yang terbuka serta berkurangnya perhatian terhadap peraturan yang sudah ditetapkan oleh pemerintah.

d. Gempa/gempa bumi

   Zona patahan berdampak terhadap kekuatan batuan sehigga menyebabkan banyak cela cela sehingga air lebih cepat meresap kedalam tanah. (Surono, 2003).

e. Tata guna lahan atau vegetasi

   Karwati (2003) berpendapat bahwasanya fungsi lahan mampu meningkatkan pergerakan tanah dan faktor pengontrol pergerakan tanah. Pohon yang memiliki akar yang luas dan kuat mampu mengikat tanah jika ditanam didaerah lereng yang curam tetapi tidak terlalu tinggi. (Surono, 2003)

   Akibat pengaruh faktor kestabilan lereng terjadi tegangan disekitar massa tanah.

2.9. Sudut Kemiringan Lereng

Lokasi puncak termasuk daerah rawan terhadap erosi dibandingkan daerah lainnya. Pada posisi lereng ditengah terkadang memiliki cekung dan cembung yang terjadi gerusan pada aliran permukaan dengan nilai lebih besar daripada puncaknya. Pada bawah lereng terdapat lokasi endapan (Salim, 1998) (Sahara, 2014). Lereng diklasifikasikan terhadap kemiringannya. Menurut Van Zuidam (1985), lereng diklasifikasikan sesuai dengan ciri ciri dan kondisi lapangan yang terjadi (perhatikan tabel dibawah ini).

Tabel 2.5. Kemiringan Lereng terhadap kelas lereng

% lereng	Jenis Lereng	Warna
0%-2 %	Lereng datar (*flat)* atau hampir datar	Hijau gelap
2%-7%	Lereng sedikit miring (*gently slope*)	Hijau cerah
7%-15%	Lereng miring (*sloping*)	Kuning cerah
15%-30%	Lereng yang agak curam (*moderately steep*	Kuning oranye
30%-70%	Lereng curam (*steep*)	Merah cerah
70 % - 140 %	Lereng sangat curam (*very steep*)	Merah gelap
> 140%	Lereng curam ekstrem (*extremely steep*)	Ungu gelap

Sumber: Van Zuidam, 1985

Menurut Tondobala (2011) dan Sadisun (2006), kemiringan lereng ialah suatu tolak ukur terjadinya pergerakan tanah, diakibatkan semakin curam lereng maka lebih mudah tergelincir material yang ada di permukaan lereng akibat gaya gravitasi. Kelongsoran terjadi tergantung pada lapisan geologi yang mengatur lereng tersebut, bisa karena kemiringan lereng > 20% atau kurang lebih 40%, (Suranto, 2006)

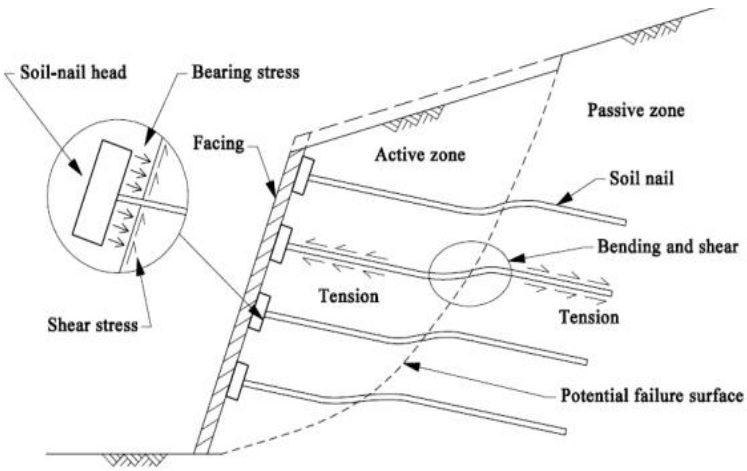
2.10. Perkuatan pada Lereng

a. *Soil Nailing*

Soil nailing diterapkan perdana di negara Perancis sebagai dinding penahan tanah pada tahun 1961 yang diperkenalkan oleh Rabcewicz (1964, 1965). Perkuatan *soil nailing* adalah teknik yang lebih tepat dalam perkuatan tanah lereng untuk menopang kegiatan - kegiatan proyek (Fogler 1999, Brownell *et al*. 1959). Kondisi tanah yang berbeda beda bisa menyebabkan teknik *soil nailing* menjadi lebih efektif dan efisien terhadap faktor biaya dariapda metode lainnya (Lazarte, 2003).

Faktor keterbatasan pada cara kesetimbangan batas dapat dijangkau dengan memakai *software* utuk memudahkan analisis gaya dan tegangan geser total pada permukaan yang longsor seingga bisa mendapatkan nilai faktor keamanan (Krahn, 2003).

Perkuatan tersebut perhatikan gambar 2.5.



Gambar 2.5. *Two-zone Model of a Soil-nailed System*
Sumber: Ochiai, 2001

Material yang dipakai oleh *soil nailing*, yakni:

1. Batang baja (*Nail Bars*)

Menurut *Federal administration* (FHWA) adalah nilai sebesar 420 MPa – 520 MPa memiliki diameter berbeda beda yaitu 19 mm, 22 mm, 25 mm, 29 mm, 32 mm, 36 mm, dan 43 mm, menyesuaikan sesuai keperluan (Lazarte, 2003).

Pada *soil* nailing, standar ASTM A615 baja yang biasanya dipakai yaitu baja ulir dengan daya dukung tarik 520 Mpa atau 420 Mpa dengan diameter tersedia 19, 22, 25, 29, 32, 36 dan 43 mm. Properti baja ulir (ASTM A615, Fy = 420 dan 525 Mpa) (perhatikan tabel 2.6).

Tabel 2.6. Properti baja ulir pada ASTM A615 dengan Fy = 420 dan 525 Mpa

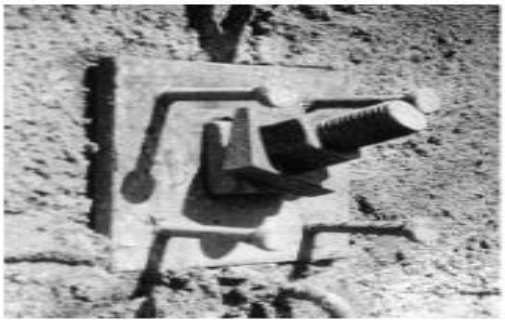
Diameter		Luas Penampang		Berat Jenis		Kuat Leleh		Kapasitas Beban Aksial	
Inggris	Mm	$Inch^2$	mm^2	lbs/ft	Kg/m	ksi	Mpa	Kips	kN
#6	19	0,44	284	0,86	21,8	60	414	26,4	118
						75	517	33,0	147
#7	22	0,60	387	0,99	25,1	60	414	36,0	160
						75	517	45,0	200
#8	25	0,79	510	1,12	28,4	60	414	47,4	211
						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

Sumber: Byrne et al, 1998

Pada metode *soil nailing* yang dipakai dalam tugas akhir ini yaitu baja ulir yang memiliki kekuatan daya dukung tarik sebesar 420 Mpa dengan diameter 25 mm.

2. *Nail Head*

   Bearing plate (pelat penahan), *hex nut* (mur persegi enam), *washer* (cincin yang terbuat dari karet atau logam), dan *headed stud* yaitu bagian dari *nail head.* Bentuknya yang persegi memiliki panjang sisi 200-250 mm, tebal 19 m, dan kuat leleh 250 Mpa (ASTM A36), *nut* dan *washer* yang dipakai mempunyai kuat leleh setara batang baja sendiri (perhatikan gambar 2.6).



Gambar 2.6. *Nail Head*
Sumber: Portertfield et al, 1994

3. *Grouting*

   Grouting untuk *soil nailing* seperti campuran semen dengan pasir. Semen tipe I biasanya dipakai pada keadaan yang tidak mementingkan perlakuan yang unik. Semen tipe II dimanfaatkan untuk memerlukan panas hidrasi yang kecil dan memiliki kekuatan terhadap korosi terhadap sulfat dari pada semen tipe I. Semen tipe III digunakan bila dibutuhkan pengerasan terhadap waktu yang lebih cepat (perhatikan gambar dibawah ini).

Gambar 2.7. Pengecoran (*Grouting*) menggunakan pipa tremi
Sumber: Porterfielf et. Al (1994)

4. Penengah (*Centralizers*)

   Centralizers adalah perlengkapan yang diletakkan ssekitaran batang baja dengan batas yang ditentukan sekitar 0,5 sampai 2,5 m yang berguna untuk membuktikan ketebalan selimut beton sesuai yang direncanakan. Alat tersebut terbentuk dari material PVC sintetik.

5. Penghubung (*Reinforcement Connector*)
6. Tampilan Dinding (*Wall Facing*)

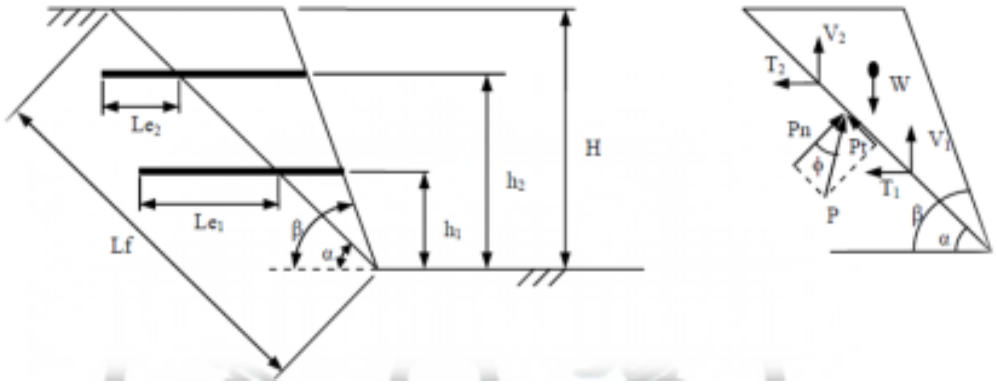
   Pembuatan tampilan dinding terdapat pada 2 tahap. Tahap pertama yaitu pembuatan *shotcrete* atau tampak sementara sebagai penghubung *nail bars*, pelindung permukaan paad galian tanah terhadap erosi. Tahap kedua yaitu pembuatan tampak permanen yaitu beton pracetak yang memiliki fungsi yang sama dengan sebelumnya.
7. Sistem Drainase

   Pemasangan lembaran vertikal geokomposit pada dinding sementara dan permukaan galian yang bertujuan untuk pencegahan peningkatan tekanan air pada lereng di belakang muka dinding perkuatan. Pada bawah lereng terdapat saluran pembuangan (*weephole*) untuk pengumpulan air oleh geokomposit.

Dinding penahan tanah harus memiliki kestabilan terhadap pengaruh gaya dalam (*internal stability*) dan gaya luar (*external stability*).

1. Analisis stabilitas eksternal
   a) Faktor keamanan untuk menentukan kelongsoran lereng secara global

      Pada metode baji terdapat gaya gaya yang bekerja (perhatikan gambar 2.8).



Gambar 2.8. Gaya yang Terjadi Pada Metode Baji
Sumber: wedge method

Metode baji pada bidang longsor planar dengan melakukan perhitungan manual yaitu:

$$\sum T_i\text{-}Pn \sin\alpha + Pt \cos\alpha = 0 \quad (2.17)$$

$$W\text{-}Pn \cos\cos\alpha\text{-}Pt\sin\alpha\text{-}\Sigma Vi=0 \quad (2.18)$$

variabel P, ditinjau terhadap keseimbangan gaya, maka:

$$Pt = \frac{Pn}{Fos} \quad (2.19)$$

Karena tanah mempunyai nilai kohesi makan perlu kuat geser dengan rumus, yakni:

$$FS = \frac{c \times Lf + W \cos \alpha n \,.\, \tan \tan \emptyset + (\sum T_i \sin \sin (\alpha+i) - \sum V_i \cos \cos (\alpha+i)) \tan \emptyset}{W \sin \alpha n - \sum T_i \cos \cos (\alpha+i) - \sum V_i \sin (\alpha+i)} \quad (2.20)$$

Faktor keamanan terhadap gaya horizontal yang disebabkan oleh gempa:

$$FS = \frac{c \times Lf + (W \cos \alpha n - Fh. \sin \sin \alpha) \,.\tan \emptyset + (\Sigma T_i \sin \sin (\alpha+i) - \Sigma V_i \cos \cos (\alpha+i))}{(W \sin \alpha n - \Sigma T_i \cos \cos (\alpha+i) - \Sigma V_i si(\alpha+i)) \times Fh. \cos \cos \alpha} \quad (2.21)$$

Gaya horizontal yang disebabkan oleh gempa:

$$Fh = W \times kh \quad (2.22)$$

Keterangan:

FS : Faktor keamanan

Fh : gaya horizontal yang dsebabkan oleh gempa

kh : koefisien arah horizontal akibat gempa

c : nilai kohesi tanah $\left({}^{kN}/_{m^2}\right)$

$\emptyset$: sudut geser dalam tanah (°)

α : sudut kemiringan longsor terhadap garis horizontal

W : berat potongan tanah ke-n $({}^{kN}/_{m})$

Q : beban mati di atas lereng $({}^{kN}/_{m})$

Lf : panjang lengkung lingkaran pada potongan ke-n (m)

Le : panjang *nail bar* di belakang bidang longsor (m)

i : kemiringan nail (°)

ΣT_i : total nilai daya dukung terhadap gaya tarik $({}^{kN}/_{m})$

ΣV_i : total nilai daya dukung gaya geser $({}^{kN}/_{m})$

- Gaya geser dan gaya tarik ijin secara global

  Pada perhitungan diperlu gaya geser dan gaya tarik ijin dengan persamaan sebagai berikut.

$$V = \frac{Rn}{2\sqrt{1+4\tan^2(90-(\alpha+i))}} \quad (2.23)$$

$$T=4\times V\times\tan\left(90\ (\beta+i)\right) \tag{2.24}$$

Keterangan:

V : gaya geser ijin pada *nail bar*

T : gaya tarik ijin pada *nail bar*

Rn : daya dukung tarik pada *nail bar*

Pada perhitungan gaya geser ijin dengan rumus, yakni:

$$V=P_{max}\ x\ \frac{D}{2}L_o \tag{2.25}$$

Keterangan:

V : gaya geser ijin pasif pada tanah

D : diameter *nail bar + grouting*

Lo : $\sqrt[4]{\frac{4EI}{K_sD}}$ = panjang penyaluran

EI : kekakuan *nail bar*, dengan diameter *nail bar* tanpa *grouting*

Ks : modulus reaksi lateral tanah

Pmax: Pu/2 = tegangan pasif yang terbatas menjadi setengah dari tegangan pasif ultimit.

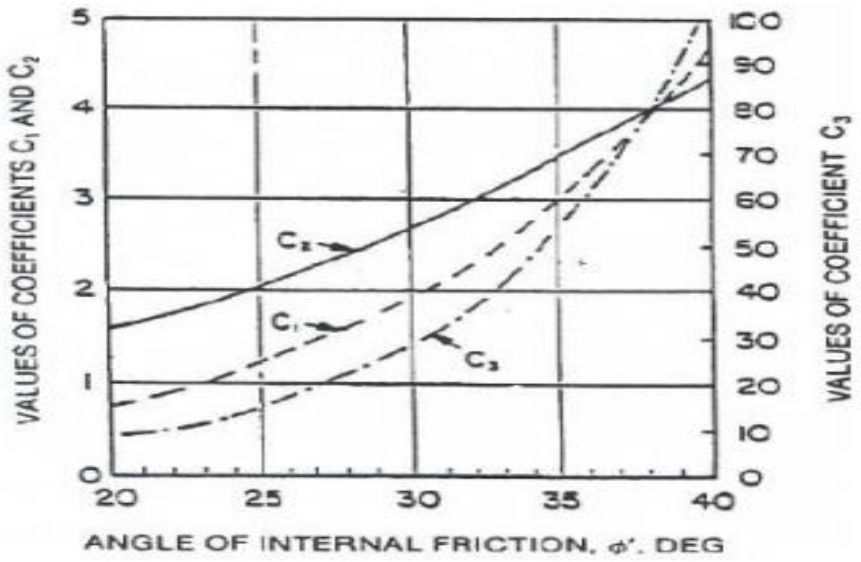
Perhitungan Pu dari persamaan berikut dengan menggunakan nilai terkecil

$$P_u=(c_1Z+c_2D)\ \gamma'Z \tag{2.26}$$

$$P_u=C_3\ D\ \gamma'z \tag{2.27}$$

$$z=2/3\ H \tag{2.28}$$

untuk nilai koefisien c_1, $c_2$dan c_3 (perhatikan gambar dibawah ini).



Gambar 2.9. Grafik Korelasi Pada Tanah Berpasir
Sumber: API, 1987

Nilai prediksi modulus reaksi lateral tanah (ks) (perhatikan tabel dibawah ini)

Tabel 2.7. Nilai prediksi modulus reaksi lateral tanah (ks)

Jenis Tanah	ks, kcf	Kd, kN/m^3
Pasir lepas	300 sampai 100	4800 sampai 16000
Pasir padat sedang	60 sampai 500	9600 sampai 80000
Pasir padat	400 sampai 800	64000 sampai 128000
Pasir padat berlempung	200 sampai 500	32000 sampai 80000
Pasir padat sedang berlanau	150 sampai 300	24000 sampai 48000
Tanah berlempung		
qu ≤ 200 kPa (4 ksf)	75 sampai 150	12000 sampai 24000
200 < qu ≤ 400 kPa	150 sampai 300	24000 sampai 48000
qu > 800 kPa	> 300	> 48000

Sumber: Bowles, Foundation Analysis and Design

Jika gaya geser ijin rendah antara *nail bar* dengan tanah, maka gaya tarik ijin pada *nail bar* harus didefinisikan dengan persamaan berikut

$$\frac{Vmax^2}{Rc^2}+\frac{Tmax^2}{Rn^2}=1 \qquad (2.29)$$

Keterangan:

V_{max} : gaya geser ijin global

T_{max} : gaya tarik ijin global

Rc : $^{Rn}/_{2}$: daya dukung geser *nail bar*

- Gaya tarik ijin dari perkuatan *soil nailing*

  Jika gaya ijin global dan gaya ijin tarik masing masing *nail* lebih besar maka digunakan gaya ijin global sehingga untuk gaya ijin tarik juga dengan persamaan berikut:

$$T1=\frac{\pi D L_e f_{max}}{FS} \quad (2.30)$$

  Keterangan:

  Fmax : daya dukung geser antar ikatan tanah terhadap permukaan seoanjang *nail bar*

  Pada nilai Fmax untuk beberapa jenis tanah pasir (perhatikan tabel 2.8).

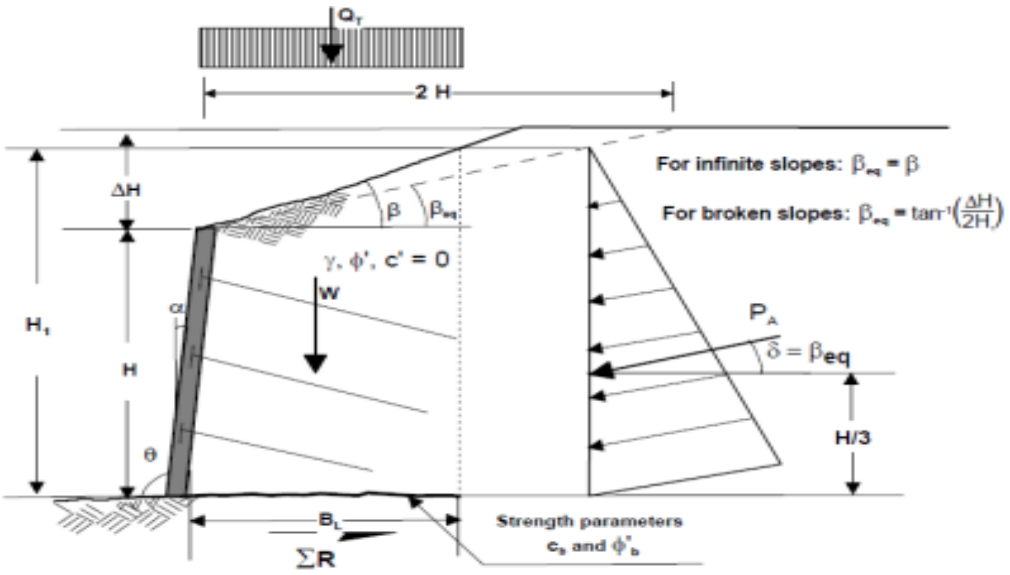
Tabel 2.8. Daya dukung geser *soil nailing* pada tanah pasir

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

Sumber: Ellias and Juran, 1991

b) FS terhadap penggeseran (*sliding stability failure*)

Terdapat gaya gaya yang bekerja pada pergeseran (perhatikan gambar dibawah ini) stabilitas terhadap penggulingan menggunakan *soil nailing* berikut:



Gambar 2.10. Stabilitas penggulingan pada *soil nailing*
Sumber: "Soil Nail Walls", Report FHWA-IF-03-017

Faktor keamanan terhadap guling pada persamaan:

$$FS=\frac{cb\ Bl+(W+Q+PA\sin\delta)\tan\emptyset}{PA\cos\cos\delta} \quad (2.31)$$

Tekanan aktif lateral menggunakan rumus, yakni:

$$PA=\frac{cH_1{}^2\ Ka}{2} \quad (2.32)$$

$$Ka=tg^2\left(45^\circ-\emptyset\frac{1}{2}\right) \quad (2.33)$$

Keterangan:

FS : faktor keamanan

W : berat irian tanah $\left(kN/m\right)$

Q : beban mati di atas lereng $\left(kN/m\right)$

Ø : sudut geser dalam tanah (°)

H : tinggi dinding tanah (m)

γ : berat isi tanah $\left(kN/m^3\right)$

cb : kohesi tanah $\left(kN/m^2\right)$

B1 : lebar struktur (m)

δ : sudut gesek antara tanah pondasi dan dasar struktur (pondasi dianggap sangat kasar terbuat dari beton tgδ=tgφ)

c) Faktor aman terhadap daya dukung tanah (*bearing failure*)

$$FS=\frac{cNc+0,5\gamma BeN\gamma}{Heq\ \gamma} \quad (2.34)$$

Keterangan:

γ : berat volume tanah pondasi (kN/m^3)

q : tekanan *overburden* pada dasar pondasi (kN/m^2)

c : nilai kohesi tanah $\left({}^{kN}/_{m^2}\right)$

Heq : tinggi dinding tanah (m)

Be : lebar excavation (m)

Nc,Nγ : koefisien kuat dukung

Berikut faktor kapasitas daya dukung Terzaghi (perhatikan tabel dibawah ini).

Tabel 2.9. Faktor Kapasitas Daya Dukung Terzaghi

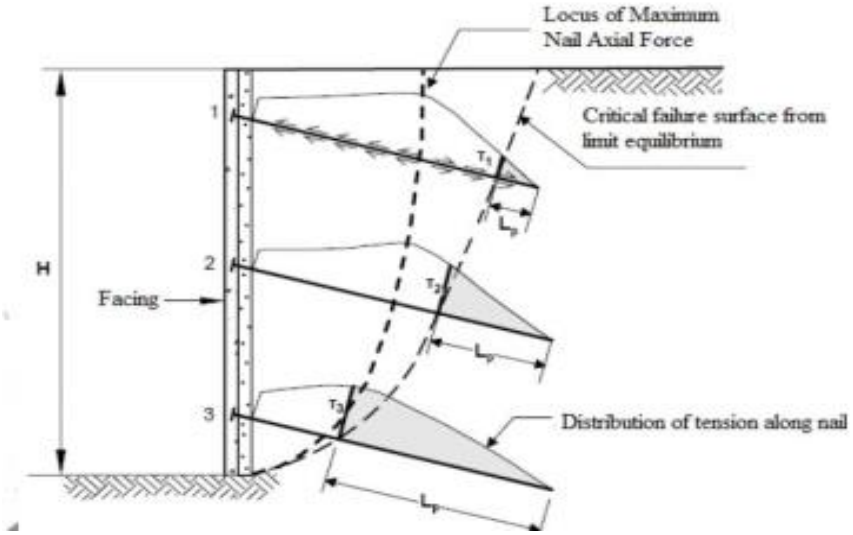
ø	Nc	Nq	Nγ	ø	Nc	Nq	Nγ
0	5,70	1,00	0	26	27,09	14,21	9,84
1	6,00	1,10	0,01	27	29,24	15,90	11,60
2	6,30	1,22	0,04	28	31,61	17,81	13,70
3	6,62	1,35	0,06	29	34,24	19,98	16,18
4	6,97	1,49	0,10	30	37,16	22,46	19,13
5	7,34	1,64	0,14	31	40,41	25,28	22,65
6	7,73	1,81	0,20	32	44,04	28,52	26,87
7	8,15	2,00	0,27	33	48,09	32,23	31,94
8	8,60	2,21	0,35	34	52,64	36,50	38,04
9	9,09	2,44	0,44	35	57,75	41,44	45,41
10	9,61	2,69	0,56	36	63,53	47,26	54,36
11	10,16	2,98	0,69	37	70,01	53,80	65,27
12	10,76	3,29	0,85	38	77,50	61,55	78,61
13	11,41	3,63	1,04	39	85,97	70,61	95,03
14	12,11	4,02	1,26	40	95,66	81,27	115,31
15	12,86	4,45	1,52	41	106,81	93,85	140,51
16	13,68	4,92	1,82	42	119,67	108,75	171,99
17	14,60	5,45	2,18	43	134,58	126,50	211,56
18	15,12	6,04	2,59	44	151,95	147,74	261,60
19	16,56	6,70	3,07	45	172,28	173,28	325,34
20	17,69	7,44	3,64	46	196,22	204,19	407,11
21	18,92	8,26	4,31	47	224,55	241,80	512,84
22	20,27	9,19	5,09	48	258,28	287,85	650,67
23	21,75	10,23	6,00	49	298,71	344,63	831,99
24	23,36	11,40	7,08	50	347,50	415,14	1072,80
25	25,13	12,72	8,34				

Sumber: Terzhagi, 1967

2. Analisis stabilitas internal

   a) FS terhadap putus tulangan

      Putus terhadap tulangan (perhatikan gambar 2.11).



Gambar 2.11. Putus Terhadap Tulangan
Sumber: Soil Bail for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks

Faktor keamanan terhadap putus tulangan, pada persamaan berikut:

$$Fr = \frac{\frac{0{,}25 \times \pi \times d^2 \times fy}{1000}}{\sigma_{H_1} \times S_v \times S_H} \quad (2.35)$$

$$\sigma_1 = K_a \gamma z \quad (2.36)$$

Keterangan:

Sv : jarak tulangan pada arah vertikal (m)

Sh : jarak tulangan arah horizontal

γ : berat isi tanah $\left({}^{kN}/_{m^3}\right)$

z : kedalam yang ditinjau (m)

Ka : nilai koefisien tekanan aktif lateral

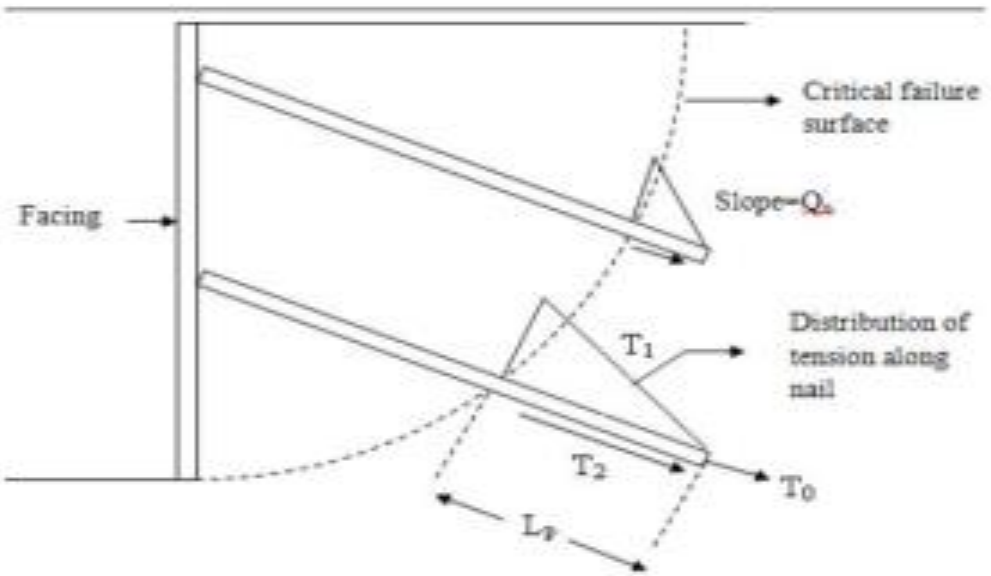
Fy : daya dukung Tarik baja (Mpa)

d : diameter tulangan (mm)

σh : tekanan horizontal tanah sesuai kedalaman tertentu $\left({}^{kN}/_{m^2}\right)$

b) Faktor keamanan terhadap cabut tulangan

Keruntuhan cabut tulangan (perhatikan gambar 2.12).



Gambar 2.12. Keruntuhan cabut tulangan
Sumber: Soil for Stabilization of Steep Slopes Near Railway Tracks", Report RDSO Lucknow

Faktor keamanan terhadap cabut tulangan pada persamaan:

$$Fp = \frac{\pi \times qu \times D_{dh} \times L_p}{\sigma_{H_1} \times S_v \times S_H} \quad (2.37)$$

Keterangan:

Sv : jarak tulangan arah vertikal (m)

Lp : panjang tulangan yang berada di zona pasif (m)

φ : sudut gesek internal tanah (^{0})

D_{DH} : diameter lubang bor (m)

qu : ultimate bond strength $\left(kN/m^2\right)$

σ_h : tekanan horizontal tanah sesuai kedalaman tertentu $\left(kN/m^2\right)$

b. *Gabion*

Gabion sama halnya dengan sebutan bronjong. Pada dinding penahan tanah untuk konstruksi mampu menggunakan metode *gabion* (Mochtar 1990). Gaya utama yang mampu dikerjakan oleh dinding *gabion* adalah gaya vertikal dari berat *gabion* dan

tekanan lateral yang bekerja dibelakang dinding. Jika adanya beban gempa maka beban-tersebut harus dimasukkan dalam analisis.

Tekanan tanah aktif Pa, menurut Coulomb adalah:

$$Pa = \frac{1}{2} KaW_s H^2 \tag{2.38}$$

Jika adanya beban merata di permukaan urugan, maka persamaan dimodifikasi menjadi sebagai berikut:

$$Pa = (Ka \frac{WsH^2}{2} + qH) \tag{2.39}$$

Tekanan tanah aktif akibat pengaruh dari gempa:

$$Pae = \left(\frac{\gamma H^2}{2}\right) Kae \tag{2.40}$$

Keterangan:

Ws : berat volume tanah

H : tinggi dinding *gabion*

q : beban terbagi merata

Kae : koefisien tekanan tanah aktif akibat gempa

Pa : tekanan tanah aktif

Pae : tekanan tanah aktif akibat gempa

Ka merupakan koefisien tekanan tanah aktif menurut *Coulomb* dengan rumus adalah (*Modular Gabion Systems*) sebagai berikut:

$$Ka = \frac{\cos^2(\emptyset - \beta)}{\cos^2 \beta \cos^2 \cos(\delta+\beta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin \sin (\emptyset+\delta) \sin(\emptyset-\alpha)}{\cos \cos (\delta+\beta) \cos(\alpha-\beta)}}\right]^2} \tag{2.41}$$

Koefisien tekanan tanah aktif akibat gaya gempa:

$$Kae = \frac{\cos^2(\emptyset+\beta-\theta)}{\cos\theta \cos^2\beta \cos \cos (\delta+\beta+\theta) \left[\sqrt{\frac{\sin \sin (\delta+\emptyset) \sin(\emptyset+i-\theta)}{\cos \cos (\delta+\beta+\theta) \cos(i-\beta)}}\right]^2} \tag{2.42}$$

Inersia akibat gempa:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{kh}{1-kv}\right) \tag{2.43}$$

Keterangan:

α : sudut kemiringan pada permukaan urugan belakang dinding *gabion*

β : sudut kemiringan bagian belakang dinding *gabion*

Ø : sudut geser tanah

θ : sudut inersia akibat beban gempa

kh : koefisien horizontal gempa

kv : koefisien vertikal gempa

Adapun nilai Ø untuk jenis tanah terdapat dalam tabel. Nilai Ka untuk berbagai kombinasi β, α, δ.

Nilai Pa memakai sudut δ terhadap bidang tegak lurus pada bagian belakang dinding *gabion.* Akibat pengaruh gesekan dinding kecil, maka δ dianggap sama dengan nol.

Komponen horizontal dari Pa dengan rumus, yakni:

$$Ph = Pa \cos \beta \quad (2.44)$$

Tekanan tanah aktif pada arah horizontal akibat beban gempa:

$$Phe = Pae \cos \cos \beta \quad (2.45)$$

Pada bagian vertikal Pa dihiraukan dalam mendesai karena dapat memperkecil momen guling serta memperbesar ketahanan geser (perhatikan tabel dibawah ini).

Tabel 2.10. Nilai Ø untuk berbagai jenis tanah

Soil Type	*Soil Condition*	*Ø (deg)*	*γ(lb/ft³)*
Course sand, sand, gravel	*Compact soil*	40	140
	Loose	35	90
Medium sand	*Compact soil*	40	130
	Loose	30	90
Fine silty sand, sandy silt	*Compact soil*	30	130
	Loose	25	85
Uniform silt	*Compact soil*	30	135
	Loose	25	85
Clay-silt	*Soft/medium*	20	90/120
Silty-clay	*Soft/medium*	15	90/120
Clay	*Soft/medium*	0/10	90/120

Sumber: Merrit, 1983

Terdapat beberapa stabilitas gabion yaitu:

1. Stabilitas terhadap guling

   Stabilitas terhadap guling digunakan rumus, yakni:

   $$Mr > SF_0 M_0 \quad (2.46)$$

   Keterangan:

Mr : momen akibat perlawanan

M_0 : momen akibat guling

SF_0 : faktor keamanan

Pada momen perlawanan dilakukan perhitungan terhadap titik guling, sedangkan perhitungan momen guling dilakukan dengan menggunakan rumus berikut.

$$M_0 = z_0 P_h \tag{2.47}$$

$$z_0 = \frac{[Pa\left(\frac{1}{3}H\right) + (Pa(0{,}6H)]}{Pa_{tot}} \tag{2.48}$$

Keterangan:

z_0 : jarak vertikal pada H/3

H : tinggi dinding *gabion*

2. Stabilitas terhadap geser

Stabilitas terhadap geser dengan rumus, yakni:

$$\mu W_g \geq SF_s \, P_h \tag{2.49}$$

Keterangan:

μ : koefisien gesekan ($\tan \emptyset$)

W_g : berat sendiri *gabion*

SF_s : faktor keamanan

3. Stabilitas terhadap daya dukung

Nilai eksentrisitas menggunakan rumus, yakni:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{(Mr\text{-}Mo)}{Wg} \tag{2.50}$$

Resultan gaya yang terletak pada H/13, yakni:

$$-\frac{B}{6} \leq e \leq \frac{B}{6} \tag{2.51}$$

Tekanan maksimum di bawah dasar, P sebagai berikut

$$P = \left(\frac{Wg}{B}\right)\left(\frac{1+6e}{B}\right) \tag{2.52}$$

Tekanan maksimum tidak dapat melebihi daya dukung tanah (*soil bearing capacity*) yang diijinkan.

$$P \leq SF_b P_b \tag{2.53}$$

Keterangan:

E : eksentrisitas

Wg : berat sendiri *gabion*

B : lebar alas *gabion*

Mr : momen tahanan

M_0 : momen guling

Faktor kapasitas daya dukung Terzaghi (1943) (perhatikan tabel 2.17).

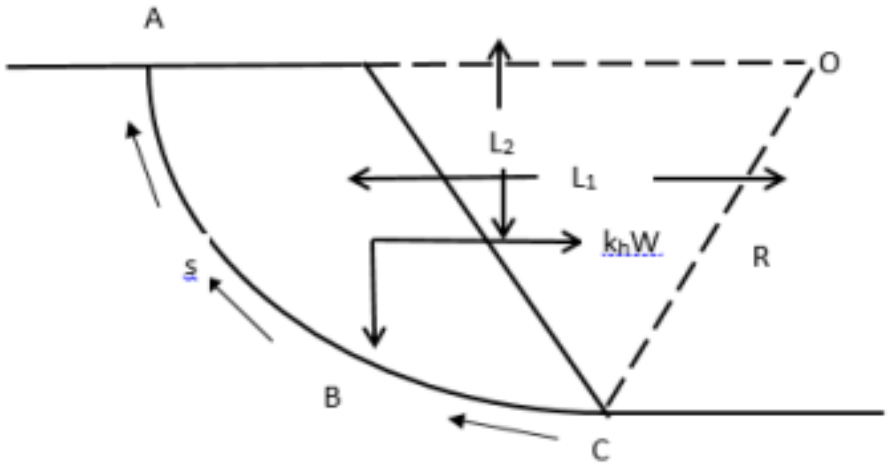
$$qu = cN_c + D_f\gamma N_q + 0.5B\gamma N_\gamma \quad (2.54)$$

Stabilitas dengan persamaan sebagai berikut:

$$FS = \frac{qu}{P} \quad (2.55)$$

2.11. Gempa

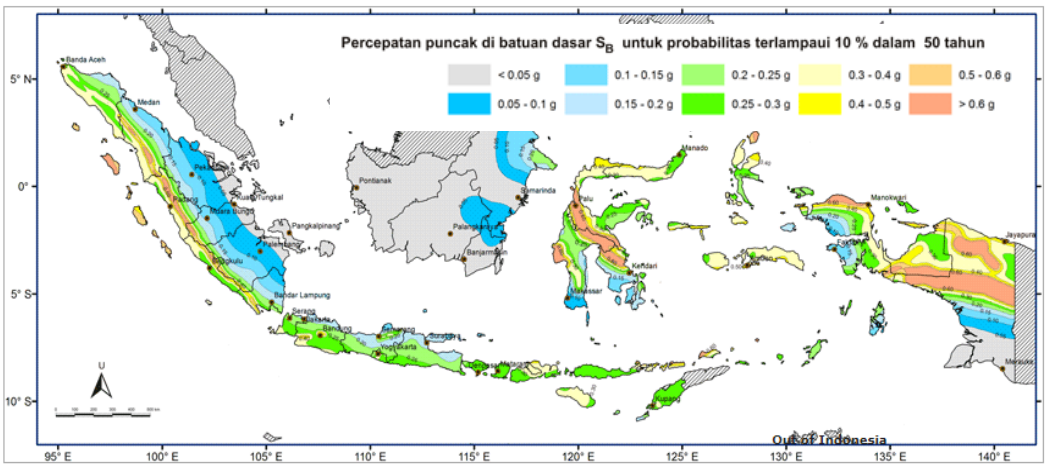
Faktor Geologi mempunyai pengaruh terhadap gerakan tanah berupa struktur geologi, usia geologi, jenis batuan dan gempa (Tejakusuma, 2007). Material pembentuk lereng juga sangat berpengaruh terhadap stabilitasnya. Pentingnya dilakukan prediksi yang akurat terhadap stabilitas lereng. Prediksi stabilitas lereng dengan akurat, urutan bidang lemah dan kuat, permukaan runtuh sebelumnya serta zona patanah (Hardiyatmo, 2006). Perpindahan tanah selama terjadinya gempa bumi membuat peningkatan besar tehadap momen inersia pada lereng. Pada saat terjadi gempa, diasumsikan bahwasanya tanah mengalami penurunan yang sedikit pada kekuatan lereng karena beban siklis. Ditunjukkan pada gambar dibawah ini, lingkaran dengan pusat pada titik O (perhatikan gambar 2.13).



Gambar 2.13. Gaya yang bekerja terhadap pengaruh gempa
Sumber: Raifah, Sjachrul, Lanny, 2017

Melakukan pendekatan Mononobe-Okabe pada tanah non kohesif akibat gaya gempa arah lateral karena tekanan tanah. Nilai tekanan tanah yang dipegaruhi oleh gempa diketahui berdasarkan koefisien gempa horizontal (K_h) dan faktor keutamaan (I)

Indonesia memiliki 6 wilayah gempa yaitu wilayah pertama adalah daerah kegempaan yang paling rendah dan wilayah gempa ke enam adalah daerah kegempaan paling tinggi. Hal ini berdasarkan percepatan puncak batuan dasar karena pengaruh gempa yang direncanakan dengan kala ulang ulang 500 tahun sesuai asumsi usia bangunan 50 tahun. Pembagian wilayah gempa Indonesia (perhatikan gambar dibawah ini).



Gambar 2.14. Peta zona pembagian gempa di Indonesia
Sumber: pusair-go.id, 2017

a. Teori analisis stabilitas lereng tanpa gempa

   Analisis stabilitas lereng yang dimaksud untuk memastikan faktor aman dari bidang longsor. Penggunaan rumus sama dengan teori stabilitas analisis lereng

b. Teori analisis stabilitas lereng menggunakan gempa (Metode Irisan Konvensional)

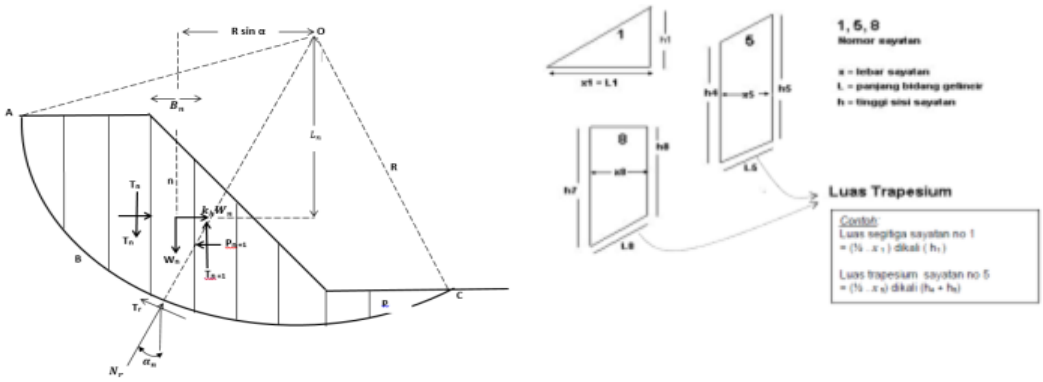
   Sebagai uji coba permukaaan gambar 2.5, pada kemiringan untuk menjelaskan metode irisan konvensional. Pada titik ABC merupakan busur dari lingkaran dengan titik pusat O diatas permukaan yang terbagi menjadi beberapa irisan. Berat dan kekakuan inersia yaitu W_n dan k_n. W_n P_n dan P_{n+1} merupakan gaya normal yang bekerja pada sisi potongan T_n dan T_{n+1}, namun gaya P_n dan P_{n+1},

T_n dan T_{n+1} sulit untuk ditentukan. Jadi resisting gaya tangensial T_r dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\tau_r = \frac{1}{FS}(cB_n \text{ sec sec } \alpha + N_r \text{ tan tan } \emptyset \quad (2.56)$$

$$\tau_r = \frac{1}{FS}(cB_n \text{ sec sec } \alpha + W_n \emptyset \ ) \quad (2.57)$$

Ambil momen O untuk semua irisan (Lihat gambar dibawah ini).



Gambar 2.15. Metode irisan konvensional
Sumber: Raifah, Sjachrul, Lanny, 2017

$$\sum_{n=1}^{p} = (W_n R \sin \sin \alpha_n + k_h W_n L_n) \quad (2.58)$$

$$\sum_{n=1}^{p} = (\frac{R}{F_s}(cB_n \text{ sec sec } \alpha + \ W_n) \quad (2.59)$$

atau

$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{p} (CB_n + \text{sec sec } \propto + W_n \cos \cos \alpha_n \text{ tan tan } \emptyset)}{\sum_{n=1}^{p} [W_n \sin \sin \alpha_n + k_h \ W_n(\frac{L_n}{R})]} \quad (2.60)$$

Keterangan:

Kh : koefisien gaya gempa horizontal

W : luas setia

C : nilai kohesi

H : tinggi rata-rata

B : lebar potongan

X : jarak horizontal dari pusat massa potongan sampai pusat momen

R : jari-jari longsor

$\propto$: sudut kemiringan

2.12. *Rocscience Slide*

Program aplikasi merupakan program yang diciptakan untuk menjadikan suatu fungsi yang memiliki nilai guna bagi pengguna ataupun aplikasi lainnya. *Rocscience Slide* merupakan suatu program pada geoteknik yang memiliki kekhususan sebagai aplikasi untuk menghitung kestabilan lereng secara cepat. Cara dalam melakukan analisis pada kestabilan lereng yaitu pemodelan, identifikasi penentuan bidang gelincir, teknik dan parameter perhitungan, identifikasi material, serta perhitungan dan interpretasi nilai Fos menggunakan *software* komplemen *slide* yaitu *slide interpret*.

Menganalisis stabilitas lereng mempunyai kesulitan karena memiliki banyak variabel dan parameter sehingga mempengaruhi keakuratan

2.13. Rencana Anggaran Biaya

Menurut Sugeng Djojowirono (1984) mengatakan bahwa RAB merupakan ilmu yang memprediksi suatu biaya yang dibutuhkan dalam melakukan kegiatan konstruksi dengan mendapatkan nilai total biaya untuk menyelesaikan suatu pekerja pekerjan tersebut.

Metode Standar Nasional Indonesia (SNI) diperbaharui dengan mengikuti teknologi konstruksi yang mengalami perkembangan. Pusat Penelitian dan Pengembagnan Permukiman (Puslitbnag Permukiman) melakukan riset tahun 1998 untuk mendapatkan metode SNI dan menjadi dasar penyusunan SNI pertama yang diterbitkan tahun 1994 kemudian diperbaharui terus.

Spesifikasi bahan dan upah kerja sangat diperlukan dalam menghitung anggaran biaya bangunan. Jenis jenis pekerjaan dilakukan perhitungan volumenya terlebih dahulu, kemudian dihitung jumlah harga total bahan upah dan jenis pekerjaan yang bersangkutan untuk mempermudah perhitungan (Zainal, 2005).

2.14. Waktu Pelaksanaan

Produktivitas adalah tolak ukur terhadap pemanfaatan tenaga terhadap kelompok kerja yang dinyatakan dengan rasio keluaran yang dicapai terhadap sumber daya yang digunakan (Malaysia, 2002).

Produktivitas adalah jumlah kegiatan atau perkerjaan yang dilakukan per jam tenaga kerja dan secara umum dinyatakan rasio antara *output* dan *input*

Persamaan produktivitas, yakni:

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \tag{2.61}$$

(*Sumber*: Sedarmayanti, 2001)

Pada produktivitas tenaga kerja menggunakan rumus, yakni:

$$P = \frac{V}{T \times n} \tag{2.62}$$

Keterangan:

P : produktivitas tenaga kerja yang diselesaikan setiap hari

V : kuantitas pekerjaan

n : jumlah tenaga kerja

T : waktu pekerjaan

(*Sumber*: Cornelia, 2005)

Menurut Iman Soeharto, rencana terhadap waktu pelaksanaan dan jumlah tenaga kerja dapat menggunakan persamaan berikut:

$$N = \frac{k \times V}{T} \tag{2.63}$$

Menghitung waktu pelaksanaan dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = \frac{k \times V}{N} \tag{2.64}$$

Keterangan:

N : jumlah tenaga kerja

V : kuantitas pekerjaan

T : lama pekerjaan

k : koefisien tenaga kerja