

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Peneliti Terdahulu

1. (Setyanto, Zakaria, & Permana, 2016) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsoran Menggunakan Metode Elemen Hingga *Plaxis V.8.2* (Studi Kasus : Ruas Jalan Liwa – Simpang Gunung Kemala STA.263+650)” bahwa karakteristik, parameter dan kondisi muka air tanah sangat berpengaruh pada analisis stabilitas lereng dengan nilai faktor keamanan yang berbeda. Penggunaan *sheet pile* dan diberi perkuatan *ground anchor* dipilih untuk menangani stabilitas lereng. Dengan melakukan permodelan pada *Plaxis* Versi 8.2 dan mendapatkan hasil bahwa mampu meningkatkan nilai faktor keamanan setelah dilakukan perkuatan.
2. (Rekzyanti, Sjachrul, & Lanny, 2016) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa (Studi Kasus : Iain Manado)” melakukan analisis beban gempa pada lereng dengan permodelan dengan *Plaxis* Versi 8.2 dengan hasil bahwa lereng ketika diberi beban gempa mengalami penurunan faktor keamanan. Semakin besar beban gempa semakin kecil nilai faktor keamanan lereng.
3. (Riogilang & Christian, 2014) dalam penelitiannya yang berjudul “Soil Nailing Dan Anchor Sebagai Solusi Aplikatif Penahan Tanah Untuk Potensi Longsor Di Sta 7+250 Ruas Jalan Manado-Tomohon” menyimpulkan bahwa teknik kontruksi *soil nailing* dengan kombinasi *ground anchor* dapat

digunakan untuk menangani masalah ketidakstabilan lereng. Metode ini merupakan metode yang praktis dan ekonomis untuk diterapkan pada lereng.

4. (Setiawan, Gregorius, & Ali, 2018) Dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Stabilitas Lereng Batuan Dengan Metode Perkuatan *Ground Anchor & Soil Nailing* Di Labuan Bajo, NTT” melakukan penerapan perkuatan *ground anchor dan soil nailing* pada lereng menggunakan *Plaxis 2D* dan *Slope/W*. Dengan hasil *back analysis* nilai faktor keamanan statis lebih besar dibandingkan dengan dinamis.
5. (Hamdhan Indra Noer 2017) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran di Jalan Tol Cipularang Km. 91+200 dan Km. 92+600 Menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM)” Hasil dari analisis menggunakan program *plaxis 2D* menunjukkan bahwa lereng membutuhkan perkuatan dengan menggunakan dinding penahan tanah dan *boredpile*.

2.2 Stabilitas Lereng

Mengetahui kekuatan stabilitas lereng adalah hal yang terpenting untuk dipertimbangkan ketika akan membangun bangunan di sekitar lereng. Karena jika suatu lereng mengalami kegagalan atau longsor akan berakibat fatal terhadap bangunan yang ada di kawasan tersebut.(Murthy, 2001)

Adapun hal-hal yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah :

1. Adanya gaya gravitasi.
2. Naiknya permukaan air tanah
3. Erosi yang disebabkan karena air yang mengalir.
4. Penurunan pada tanah lereng.

5. Akibat adanya gempa.

Hal tersebut menyebabkan pergerakan tanah pada lereng sehingga tanah yang berada di titik tertinggi mengalami penurunan atau terganggu kestabilitasnya. Kekuatan geser tanah pada lereng juga begitu berpengaruh terhadap kestabilan lereng. Jika kekuatan geser tanah lebih besar daripada tegangan yang terjadi pada lereng, maka lereng akan tetap stabil. Suatu lereng dapat dikatakan stabil jika memiliki *safety factor* lebih besar dari 1 (satu).

2.2.1 Macam Bidang Longsor

Longsor pada bagian atas (longsor sebagian) kelongsoran ini dapat terjadi apabila lereng memiliki sudut sangat curam dan tanah dibagian bawah lebih kuat dari pada bagian atasnya. Longsor pada kaki (*slope failure through toe*) longsor jenis ini bisa terjadi karena timbunan dan tanah dasar berbahan homogen. Longsor dasar fondasi (*base failure*) kelongsoran ini terjadi jika sudut gesek sangat kecil yaitu jenis tanah lempung. *Translation slip* kelongsoran ini dapat terjadi jika lereng memiliki lapisan tanah yang berbeda kekuatannya. *Compound slip* kelongsoran yang sebagian berbentuk sebagian bidang lurus. (Surendro, 2014)

2.2.2 Kuat Geser Tanah (*Shear Strength*)

Tanah merupakan suatu partikel yang dapat mengalami pergerakan atau perpindahan, hal ini sangat berbahaya dalam dunia teknik sipil. Oleh karena itu, ilmu pengetahuan tentu diperlukan untuk menangani masalah stabilitas massa tanah. Suatu titik bidang yang mengandung massa tanah pasti memiliki tegangan geser yang sama dengan kekuatan gesernya yang mana hal ini dapat menimbulkan keruntuhan pada titik tersebut.

Menurut *Coloumb* kekuatan geser tanah di simbolkan dengan (τ_f).

$$\sigma'_f = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos 2\theta \dots\dots\dots(2.4)$$

Untuk θ merupakan sudut teoritis antara bidang utama besar dan bidang runtuh sehingga jelas,

$$\theta = 45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \dots\dots\dots(2.5)$$

Berdasarkan (M.Das, 2006) Di mana untuk mendapatkan nilai sudut friksi adalah

$$\sin \varphi' = \frac{\left(\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}\right)}{\left(\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}\right)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Jadi,

$$\sin \varphi' = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\sin \varphi' = \frac{\frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{c' \cot \varphi' + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Sehingga,

$$\sigma_1^1 = \sigma'_3 \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) + 2c' \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) \dots\dots\dots(2.9)$$

2.2.3 Kohesi

Secara umum tanah dapat digolongkan menjadi dua yaitu tanah kohesif (*cohesive soil*) dan tanah non kohesif (*cohesionless soil*). (M.Das, 2008). Tanah kohesif sendiri bearti tanah yang memiliki tingkat kadar air dan indeks plastisitas yang sesuai dengan batas batas atterberg yaitu ketika mengering akan menyatu dan untuk memisahkannya dibutuhkan gaya secara mikroskopis. Contoh tanah kohesif adalah lempung. Kohesi dapat ditentukan jika tanah, pada kadar air tertentu, dapat di bentuk menjadi suatu masa yang relatif keras. Dan untuk mendapatkan nilai kohesi sendiri perlu dilakukan pengujian kuat geser langsung (*direct shear*

strength) dan pengujian *triaxial*. Platisitas tanah dapat dilihat jika tanah dapat berubah-ubah bentuknya tanpa terjadi retakan maupun remahan yaitu ada kohesi didalam tanah tersebut.

Tanah non kohesif adalah tanah yang memiliki struktur butiran butiran yang tersusun secara tunggal namun tetap bersebutuhan satu dengan yang lainnya.

Contoh dari tanah non kohesif adalah pasir. Untuk menghitung *c kohesi* $c = \frac{qc}{20}$ dimana *qc* adalah hasil uji sondir.

2.2.4 Tekanan Tanah

Rankine (1857) Tanah mempertimbangkan tegangan pada masa tanah ketika kondisi keseimbangan plastisnya telah tercapai, yaitu saat mengalami keruntuhan gesernya pada suatu titik terjadi pada seluruh tanah. Teori ini dapat diterapkan pada permukaan tanah yang miring atau lereng. Dimana permukaan tanah membentuk sudut konstan sebesar β terhadap garis datar (*horizontal*). Asumsinya tekanan tanah yang aktif dan pasif bekerja dalam arah yang sejajar. (R.F.CRAIG, 1991).

2.3 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Angka keamanan (*Safety Factor*) adalah rasio kekuatan geser tanah dengan tegangan geser tanah.

$$F = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

$$F = \frac{\text{kekuatan geser rata-rata dari tanah}}{\text{tegangan geser rata-rata yang bekerja di bidang longsor}}$$

Dimana untuk kriteria FS dibagi menjadi beberapa yaitu :

FS > 1.5 yaitu lereng dapat dikatakan stabil.

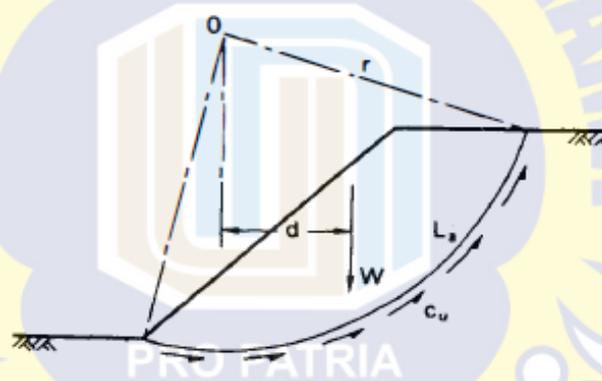
FS = 1.5 yaitu lereng dikatakan memiliki keseimbangan yang bagus. Namun,

dapat longsor jika ada sedikit gangguan.

$FS < 1.5$ yaitu lereng tidak memiliki kestabilan dan dapat mengalami kelongsoran.

2.4 Analisis kasus dengan $\phi_u = 0$

Analisa ini, dinyatakan dalam tegangan total, hanya mencakup lempung konsisi jenuh pada kondisi *Undrained* setelah dilaksanakan pembangunan. Di dalam menganalisis ini hanya di tinjau keseimbangan momen atau biasa di istilahkan metode *equilibrium*. Sehingga di tinjau dari permukaan gelincir mungkin bisa terjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.2. Dimana L_a adalah momen lengkung yang mempunyai titik pusat O dan berjari-jari r .



Gambar 2.2 Bidang Gelincir Keruntuhan Lereng (R.F.CRAIG, 1991)

Dimana Momen penggelincir tanah adalah W (berat tanah) dikali d (jarak). Sedangkan, yang berfungsi sebagai momen penahan adalah c_u (*cohesi*) dikali L_a dan dikalikan r (jari-jari)

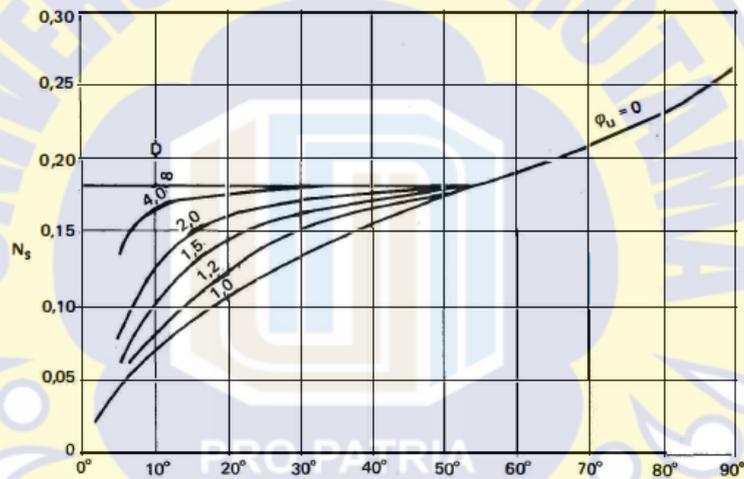
$$F = \frac{\text{momen penahan}}{\text{momen penggelincir}}$$

$$F = \frac{c_u L_a r}{W d}$$

Berdasarkan prinsip kesebangunan geometris Taylor (9.16) mempublikasikan koefisien stabilitas untuk analisa lereng homogen dalam tegangan total. Untuk lereng dengan ketinggian H, koefisien stabilitas (N_s) untuk permukaan runtuh minimum adalah :

$$N_s = \frac{c_u}{F\gamma H}$$

Untuk nilai N_s didapat dari grafik di Gambar 2.3 dan N_s bergantung pada sudut β kemiringan dan faktor kedalaman.

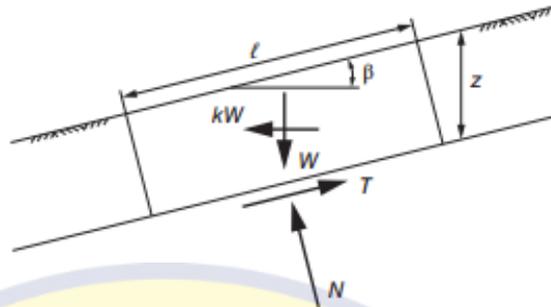


Gambar 2.3 Koefisien Stabilitas Taylor untuk $\phi_u = 0$ (R.F.CRAIG, 1991)

2.5 Analisis dengan Metode *Pseudostatik*

Analisa yang sering dipakai untuk analisa stabilitas lereng akibat pengaruh seismik adalah analisa pseudostatik. dalam analisis ini, di umpakan seperti suatu gaya statis yang disamakan dengan berat massa tanah dikalikan dengan koefisien seismik gempa, k atau ks. Pada pseudostatik gaya digunakan dalam kesetimbangan batas konvensional adalah kestabilan lereng. Pengaplikasian koefisien seismik gempa dan gaya pseudostatik pada metode limit equilibrium di asumsikan sebagai gaya yang telah diketahui dan masuk ke dalam berbagai permasalahan

equilibrium, pada Gambar 2.4 sebagai berikut :



Gambar 2.4 Infinite Dengan Beban Seismik (Duncan, Stephen, & Thomas, 2014)

Gaya – gaya yang tegak lurus dengan bidang :

$$N = \cos \beta - kW \sin \beta \dots\dots\dots(2.10)$$

Gaya – gaya yang sejajar bidang :

$$T = W \sin \beta + kW \cos \beta \dots\dots\dots(2.11)$$

Berat blok tanah :

$$W = \gamma lz \cos \beta \dots\dots\dots(2.12)$$

Substitusi persamaan (2.12) kedalam (2.10) dan (2.11) :

$$N = \gamma lz \cos^2 \beta - k \gamma lz \cos \beta \sin \beta \dots\dots\dots(2.13)$$

$$T = \gamma lz \cos \beta \sin \beta + k \gamma lz \cos^2 \beta \dots\dots\dots(2.14)$$

Tegangan yang bekerja :

$$\sigma = \frac{N}{l} = \gamma z \cos^2 \beta - k \gamma z \cos \beta \sin \beta \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\tau = \gamma z \cos \beta \sin \beta + k \gamma z \cos^2 \beta \dots\dots\dots(2.16)$$

Faktor keamanan :

$$F = \frac{s}{\tau} = \frac{c + \sigma \tan \varphi}{\tau} = \frac{c + (\gamma z \cos^2 \beta - k \gamma z \cos \beta \sin \beta) \tan \varphi}{\gamma z \cos \beta \sin \beta + k \gamma z \cos^2 \beta} \dots\dots\dots(2.17)$$

2.6 Analisa dengan Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang sering digunakan dalam analisa stabilitas lereng. Metode ini merupakan proses pemodelan sistem struktur menggunakan elemen-elemen yang dirakit disebut elemen hingga. Semakin banyak pembagian elemen maka hasil perhitungan numeriknya akan semakin mendekati kondisi asli. Metode elemen hingga pada rekayasa geoteknik memiliki sedikit perbedaan dengan metode elemen hingga pada rekayasa struktur.

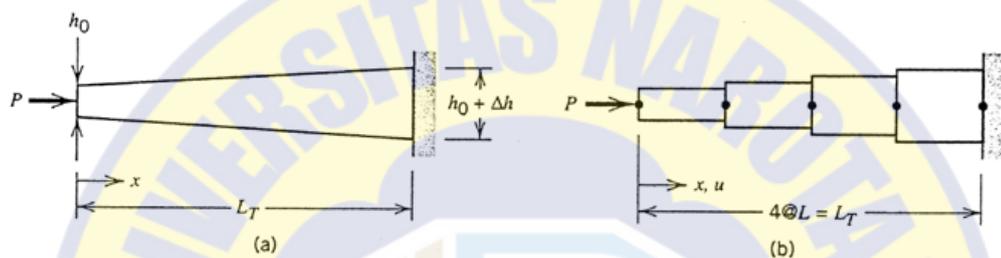
Adapun tahapan-tahapan dalam analisa ini adalah sebagai berikut :

2 . 5 . 1 Pemilihan Tipe Elemen

Sistem struktur dibagi dalam elemen-elemen hingga (atau diskretisasi jaring elemen). Elemen-elemen ini membentuk sistem melalui titik-titik nodal. Pemilihan tipe elemen, dan jumlah nodal elemen digunakan dalam berbagai variasi dan ukuran berdasarkan pertimbangan rekayasa (geoteknik) dalam analisis. Elemen yang dipakai harus cukup kecil supaya memberikan hasil yang akurat, walau komputasi yang dilakukan menjadi lebih banyak. Elemen besar dapat digunakan jika hasil yang diperoleh cukup untuk kondisi tertentu (misal, deformasi yang terjadi tidak signifikan). Pemilihan elemen yang digunakan dalam analisis elemen hingga bergantung dari kondisi fisik struktur akibat pembebanan dan sejauh mana pendekatan analisis yang dilakukan guna memperoleh perilaku sesungguhnya.

Penilaian mengenai idealisasi dimensional bidang/ruang maupun tunggal diperlukan. Elemen dasar yang paling sederhana disebut elemen linear yang mempunyai dua nodal pada setiap ujungnya. Elemen orde yang lebih tinggi dapat

mempunyai 3 nodal atau lebih. Bagi elemen dasar dimensional bidang atau elemen bidang, terjadi respon gaya-gaya di dalam bidang itu sendiri yang disebut kondisi tegangan atau regangan bidang. Bentuk elemen bidang segi-tiga atau segi-empat adalah elemen dimensional bidang yang paling sederhana dengan nodal-nodal pada ujung dan perhubungan linear pada syarat batas seperti pada Gambar 2.5.



Batang *tapered* dibebani dengan gaya aksial P Diskretisasi batang *tapered* menjadi 4 elemen 2 nodal sama panjang

Gambar 2.5 Diskretisasi jaring elemen. (A. Atkins Nowak, 2012)

2.5.2 Pemilihan Fungsi Perpindahan

Fungsi perpindahan atau yang lebih dikenal dengan *shape function* dan disimbolkan dengan N adalah fungsi yang menginterpolasikan perpindahan di titik nodal ke perpindahan di elemen dengan menggunakan persamaan Gauss.

Fungsi bentuk N terhadap jarak antar nodal s dan t pada koordinat lokal dapat dirumuskan sebagai persamaan berikut ini

$$N_i = \frac{1}{4}(1+s)(1+t) \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan notasi:

$$N_1 = \frac{(1-s)(1-t)}{4} \quad N_2 = \frac{(1+s)(1-t)}{4} \quad N_3 = \frac{(1+s)(1+t)}{4} \quad N_4 = \frac{(1-s)(1+t)}{4}$$

Sehingga persamaan matriks N seperti pada persamaan berikut ini:

$$[N] = [N_1 \ N_2 \ N_3 \ N_4] \dots \dots \dots (2.19)$$

Selanjutnya koordinat global x, y dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_4 \\ y_4 \end{Bmatrix} \dots \dots \dots (2.20)$$

dimana:

$$\begin{aligned} \{x\} &= [N] \{x_n\}, \quad \{x\}^T = [x \ y] \\ \{x_n\}^T &= [x_1 \ x_2 \ \dots \cdot] \end{aligned}$$

2.5.3 Defenisi Tegangan dan Regangan

Menurut (Kusumawardhani, 2017) Hubungan regangan atau perpindahan dan tegangan perpindahan diperlukan bagi penurunan persamaan setiap elemen hingga. Dalam material elastic tegangan dan regangan dapat di turunkan dari persamaan hukum hooke. Dimana untuk material isotropik linear ada 2 material yaitu *modulus young* (E) dan *poisson ratio* (ν). Dari pertimbangan volume elemen yang ada didapatkan hukum hooke sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E} & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G} \\ \varepsilon_y &= -\nu \frac{\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} - \nu \frac{\sigma_z}{E} & \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G} \\ \varepsilon_z &= -\nu \frac{\sigma_x}{E} - \nu \frac{\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E} & \gamma_{xz} &= \frac{\tau_{xz}}{G} \end{aligned}$$

Dimana modulus geser (G) adalah:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Dari hukum hooke tegangan dan regangan mempunyai hubungan :

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{(1-2\nu)}{E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

Dari persamaan diatas di dapat hubungan :

$$\sigma = D\varepsilon$$

Di mana D adalah simetrix 6 x 6 material matrix :

$$D = \frac{E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \begin{bmatrix} 1 - \nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1 - \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1 - \nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 - \nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 - \nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 - \nu \end{bmatrix}$$

D = Matriks kekakuan material

E = Modulus Young (kN/ m²)

ν = Poisson Ratio

Setelah matriks kekakuan untuk setiap elemen diperoleh maka rubahlah koordinat lokal menjadi koordinat global untuk mengetahui gaya-gaya yang berkerja pada elemen yang dimodelkan.

2.5.4 Penurunan Fungsi Elemen

Penurunan persamaan dan matriks kekakuan elemen pada awalnya perkembangan metode elemen didasarkan pada konsep koefisien pengaruh kekakuan dengan mendefinisikan terlebih dahulu langkah analisa struktur.

Persamaan diferensial penentu dalam variabel perpindahan mengubah persamaan diferensial kesetimbangan melalui metode pemberat residu menjadi persamaan aljabar dalam parameter perpindahan dengan bentuk koefisiennya dalam integral. Bentuk umum menjadi seperti pada analisis dengan metode kerja persamaan:

$$[k]\{d\} = \{F\}$$

notasi:

$[k]$ = matriks kekakuan, $\{d\}$ = perpindahan, $\{F\}$ = gaya

Selanjutnya matriks kekakuan hasil penurunan dievaluasi terhadap koordinat natural (S, T) menjadi persamaan:

$$[k]_e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T * [C] * [B] * \det J dSdT$$

dimana:

$$[C] = \frac{E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2}-\nu \end{bmatrix}$$

notasi:

$[B]^T$ = transpose dari matriks regangan

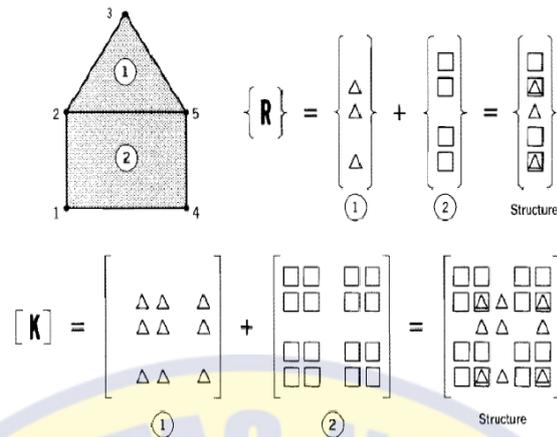
$[B]$ = matriks regangan

$[C]$ = matriks kekakuan

$|J|$ = determinan dari matriks Jacobian

2.5.5 Perakitan Elemen dan Penyusunan Persamaan Global

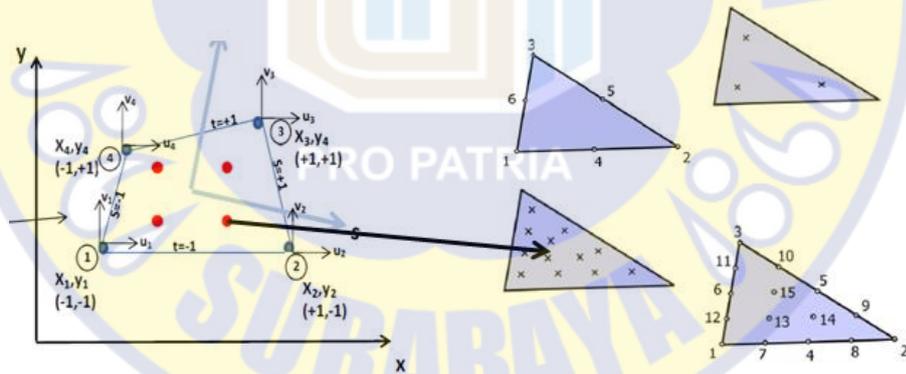
Perakitan persamaan matriks elemen dan penyusunan persamaan global atau struktur dengan syarat-syarat batasnya menggunakan metode superposisi yang merupakan keseimbangan gaya nodal untuk memperoleh persamaan global bagi sistem struktur seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Perakitan Elemen dan Penyusunan Persamaan Global (Smith, 1982).

2.5.6 Pemecahan Persamaan Primary Unknown

Penyelesaian persamaan linear derajat kebebasan (perpindahan titik-titik nodal) pada koordinat lokal dapat menggunakan interaksi gauss yang tergambar pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Perpindahan titik-titik Nodal pada Koordinat Lokal (Potts, 1999).

2.5.7 Pemecahan Besaran Kedua

Pada umumnya besaran kedua harus di hitung melalui besaran pertama (*primary unknown*). Dalam hal masalah peralihan tegangan, besaran pertamanya berupa peralihan (*displacement*) sedangkan besaran kedua berupa regangan, tegangan, momen atau gaya geser. Perhitungan besaran kedua dihasilkan dari diferensiasi dari perpindahan titik titik nodal yang terjadi.

2.5.8 Interpretasi Hasil

Tujuan akhir dari analisis adalah melakukan analisis akhir serta interpretasinya dengan memetakan lokasi pada struktur terjadinya deformasi dan tegangan yang besar pada struktur/masalah geoteknik merupakan hal yang penting dalam membuat keputusan analisis maupun desain.

2.6 Gempa

Dalam menganalisa lereng dengan beban gempa umumnya dimodelkan sebagai vertikal dan horisontal beban pada pusat tegangan geser, serta nilai-nilai di dapat dari faktor percepatan gempa $\frac{k_v}{k_h}$ (*vertikal dan horisontal*)(Cheng & Lau, 2014).

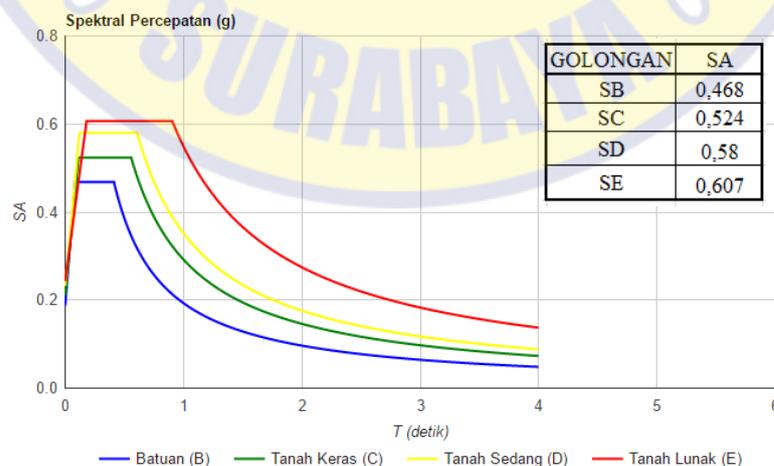
Gempa mampu merusak kestabilan lereng dengan dua cara. Pertama, akibat percepatan gempa yang dihasilkan oleh gerakan tanah selama gempa dengan kekuatan yang bervariasi secara siklik. Kedua, strain siklik di induksi oleh beban gempa yang menyebabkan penurunan kuat geser tanah. Sehingga, kekuatan geser dapat berkurang 15%.

Analisis material tanah juga perlu dilakukan untuk mengetahui kelas tanah yaitu (S_B , S_C , S_D dan S_E) untuk mengetahui kecepatan gelombang geser tanah yang telah dijelaskan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Properties Dinamik Tanah menurut UBC 1997 (Kramer, S.L, 1996)

Golongan	Jenis tanah	Vs (m/s)	N(SPT)	Cu (kPa)
SA	Batuan keras	>1500		
SB	Batuan	760-1500		
SC	Tanah sangat Padat / batuan lunak	360-760	>50	>100
SD	Lempung kaku	180-360	15-50	50-100
SE	lempung lunak	<180		<50
SF	Mensyaratkan evaluasi khusus	Tanah liquefiable, sangat sensitif,gambut,lempung plastisitas sangat tinggi (PI>75),lempung lunak – medium yang sangat tebal (>36 \ m)		

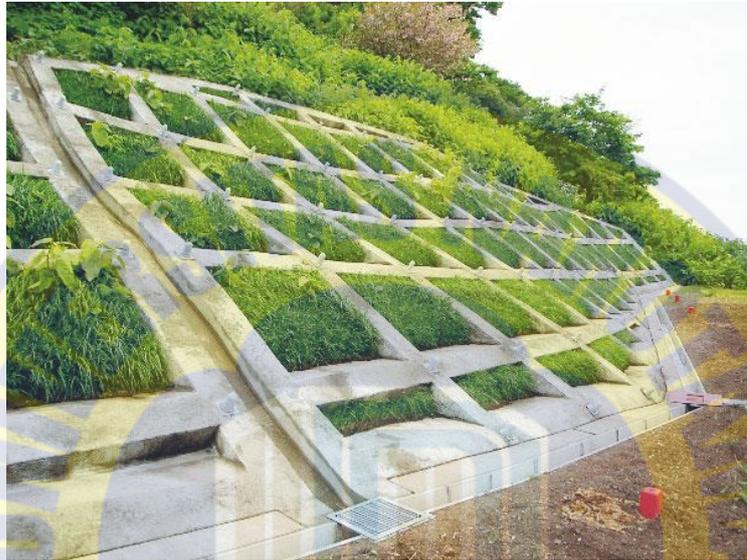
Selain itu respon spektrum respons gempa juga harus di cari untuk digunakan dalam analisis spektrum gempa di lokasi tersebut. Grafik spektrum gempa Gambar 2.8 diperoleh dari puskim.go.id yang mana telah mengacu pada (PusGen, 2017). Gempa maksimum yang dipertimbangkan pada lokasi dengan probabilitas keruntuhan bangunan 1% dalam 50 Tahun (periode ulang gempa 2500 Tahun). Percepatan gempa menggunakan percepatan batuan SB dengan periode pendek (S_s) sebesar 0.70 g dan periode panjang (S_1) sebesar 0.29 g.



Gambar 2.8 Grafik Respon Spektrum Gempa di Taman Dayu (*Puskim.go.id*)

2.7 *Bio Engineering*

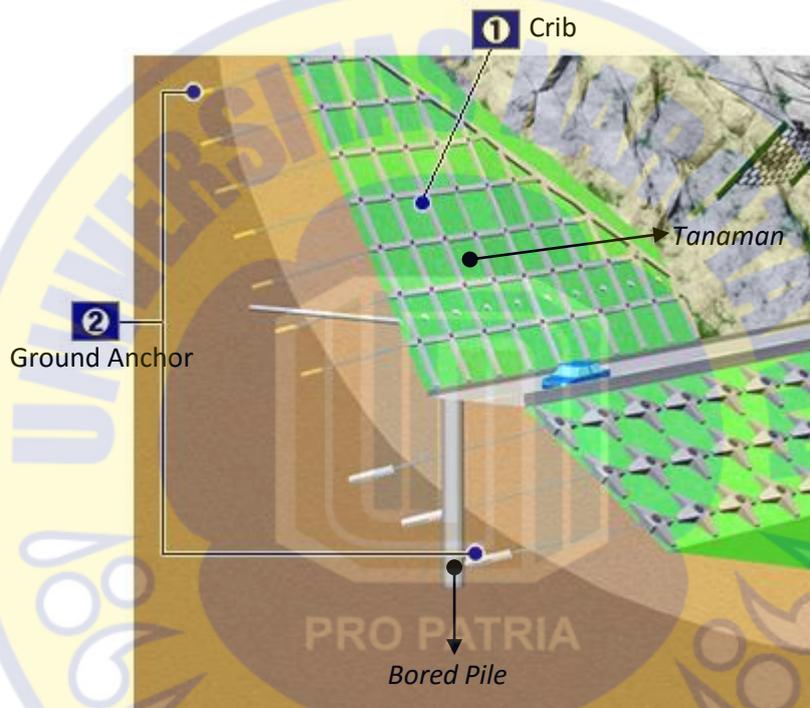
Metode *Bio Engineering* merupakan metode konstruksi yang menggunakan vegetasi alami dan konstruksi struktur. Metode ini dipilih guna untuk memberi kestabilan pada lereng terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Contoh Penerapan *Bio Engineering*.
(<https://okuyama.co.jp/en/business-region.html>)

Bio engineering merupakan cara tradisional yang di gambarkan dengan gabungan antara vegetasi dan struktur dasar untuk menjadi bahan perkuatan. Hal ini pasti tidak luput dari struktur berbahan dasar beton dan vegetasi yang digunakan berasal dari tanaman yang memiliki akar serabut dan terutama tumbuhan stek yang mampu mempunyai kekuatan lebih untuk menahan gerakan lereng. Adapaun struktur dinding penahan yang digunakan untuk menahan pergerakan lereng atau pencegah kelongsoran yaitu dengan *Bored pile* pada posisi bawah lereng untuk mencegah terjadi gerusan dan beton *shotcrete* pada bagian lereng ditambah dengan perkuatan *Ground Anchor*. Struktur ini dipilih karena diharapkan mampu memberi angka keamanan yang di inginkan untuk menjaga kestabilan lereng.

Selain itu, vegetasi dipilih untuk menjaga kelestarian alam serta mampu memberi perkuatan dalam tanah serta mencegah terjadinya erosi yang di karenakan air hujan dan gerakan tanah dangkal. (Goldsmith Wendi, 2014). Dalam pengaplikasian Gambar 2.10 metode *bio engineering* dibutuhkan waktu 1 hingga 2 tahun paling cepat untuk kelihatan hasil dari penggunaan metode tersebut.



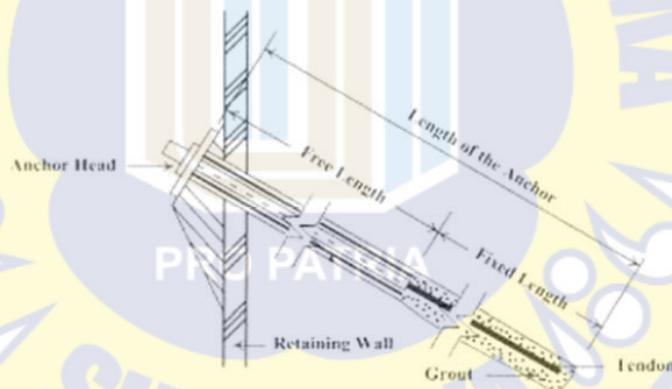
Gambar 2.10 Ilustrasi Penggunaan kaidah *bio engineering*.
(<https://www.chemicalgrout.co.jp/en/fields/slope.html>).

2.8 Ground Anchor

Jangkar tanah (*ground anchor*) adalah suatu sistem perkuatan tanah yang menggunakan sistem pengankuran untuk menyalurkan gaya tarik yang bekerja ke lapisan tanah/batuan pendukung. Sistem ini dalam pengaplikasiaannya terdiri atas panjang jangkar bebas, jangkar tetap dan kepala jangkar. Jenis dari Jangkar tanah (*ground anchor*) dibedakan menjadi dua jenis yaitu angkur/jangkar

sementara dengan umur layan ≤ 2 tahun dan angkur/jangkar permanen dengan umur layan > 2 tahun. (SNI-8460, 2017)

Jangkar tanah (*ground anchor*) terbuat dari semen *grouting* dengan kekuatan tekan $\geq 30 \text{ N/mm}^2$ untuk kubus dan $\geq 25 \text{ N/mm}^2$ untuk silinder. Tendon yang digunakan juga harus memenuhi persyaratan yaitu dapat terbuat dari baja batangan (*steel bar*), kawat (*wire*), dan *strand*. Ketiga material tersebut yang paling banyak digunakan adalah *strand* dengan $\varnothing 1,27 \text{ cm}$ (0,5 *inchi*). Untuk kepala angkur menggunakan *bearing plate* yang berfungsi untuk memegang tendon yang ditarik hingga mencapai 80% sesuai karakteristik tendon itu. Contoh angkur tanah (*ground anchor*) seperti terlihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Contoh *Ground Anchor*. (SNI-8460 2017)

2.8.1 Persyaratan pemasangan *Ground Anchor*

Sebelum dilakukan pemasangan *ground anchor* perlu dilakukan beberapa persyaratan sebagai berikut ini :

1. *Fixed length* posisi diharuskan terbenam minimal 5 m dari permukaan tanah;
2. *Fixed length* harus berada di luar bidang gelincir kritis ketika meninjau stabilitas keseluruhan;

3. Jarak horizontal minimal 1,5 m untuk angkur dengan diameter $\leq 0,2\text{m}$ agar tidak perlu di hitung efek grupnya;
4. Agar efektif dalam menahan gaya yang bekerja, maka sudut kemiringan angkur terhadap arah bekerjanya gaya umumnya berkisar antara $30^\circ - 45^\circ$;
5. Posisi *fixed length* harus berada di luar area tanah yang di *cutting*.

2.8.2 Penentuan kapasitas tarik *Ground Anchor*

Kapasitas tarik angkur pada fase perancangan ditentukan dengan menggunakan data tanah dan formula berikut (Canadian Foundation Engineering Manual):

Fixed length terbenam pada tanah kohesif ditentukan dengan Persamaan dibawah ini :

$$R_{ult} = \alpha A_s L_s S_{u(ave)}$$

Dimana :

R_{ult} = kapasitas batas angkur tanah;

A_s = luas selimut *fixed length*;

L_s = panjang *fixed length*;

$S_{u(ave)}$ = kuat geser tak terdrainase tanah rata-rata sepanjang *fixed length*;

α = faktor adhesi tergantung pada kuat geser tak terdrainase tanah.

N_b = Faktor α ini pada umumnya lebih besar dari faktor α pada fondasi tiang karena digunakannya pompa *grouting* dan bahan tambah pada *grout* untuk menghilangkan penyusutan.

Fixed length terbenam pada tanah non kohesif ditentukan dengan Persamaan dibawah ini :

$$R_{ult} = \sigma v' A_s L_s K_s$$

Dimana :

R_{ult} = kapasitas batas angkur tanah;

A_s = luas selimut *fixed length*;

L_s = panjang *fixed length*;

K_s = koefisien angkur tergantung pada tipe dan kepadatan tanah (Tabel 2.2)

$\sigma v'$ = tegangan vertikal efektif pada tengah –tengan *fixed length*.

Tabel 2.2 Koefisien Angkur K_s (SNI-8460 2017)

TIPE TANAH	Kepadatan Tanah		
	Lepas (<i>loose</i>)	Kompak (<i>compact</i>)	Padat (<i>dense</i>)
Lanau non plastis	0,1	0,4	1
Pasir halus	0,2	0,6	1,5
Medium sand	0,5	1,2	2
Pasir kasar, kerikil	1	2	3