

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan, atau bahan konstruksi dari bangunan itu seperti tanggul atau waduk, atau terkadang sebagai penyebab gaya luar pada bangunan seperti tembok / dinding penahan tanah.

Tanah yang ada di permukaan bumi mempunyai karakteristik dan sifat yang berbeda. Hal ini merupakan suatu tantangan bagi tenaga-tenaga teknik sipil yang berkecimpung dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan untuk memahami perilaku tanah yang dihadapi dalam perencanaan konstruksi dengan jalan melakukan penyelidikan dan penelitian terhadap sifat-sifat yang dimiliki tanah, yang tentunya hasilnya tidak mutlak tepat dan benar akan tetapi paling tidak kita dapat melakukan pendekatan secara teknis.

Dalam pengertian teknik secara umum tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran-butiran mineral padat yang tidak tersegmentasi (terikat secara kimia) antara satu dengan yang lainnya dan merupakan partikel padat hasil penguraian bahan organik yang telah lapuk yang berangakai dengan zat cair dan gas sebagai pengisi ruang-ruang kosong antar partikel.

Untuk melakukan analisa stabilitas waduk, maka perlu dilakukan uji lapangan yaitu pengambilan contoh bahan timbunan waduk dan melakukan beberapa uji laboratorium untuk mengetahui parameter geoteknik yang akan menjadi data masukan dalam melaksanakan analisa stabilitas waduk Cacaban.

2.2. SISTEM KLASIFIKASI TANAH

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda – beda tetapi memiliki sifat yang serupa kedalam kelompok – kelompok dan subkelompok - subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa

didasarkan pada sifat – sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butir dan plastisitas.

Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tetapi tidak ada satupun dari sistem –sistem tersebut yang benar – benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat – sifat tanah yang bervariasi.

Klasifikasi tanah diperlukan antara lain untuk hal – hal berikut ini :

- Perkiraan hasil eksplorasi tanah (persiapan log-bor tanah dan peta tanah)
- Perkiraan standart kemiringan lereng dari penggalian tanah atau tebing
- Perkiraan pemilihan bahan
- Perkiraan persentasi muai dan susut
- Pemilihan jenis konstruksi dan peralatan untuk konstruksi (pemilihan cara penggalian dan rancangan penggalian)
- Perkiraan kemampuan peralatan untuk konstruksi
- Rencana pekerjaan / pembuatan lereng dan tembok penahan tanah.

Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain :

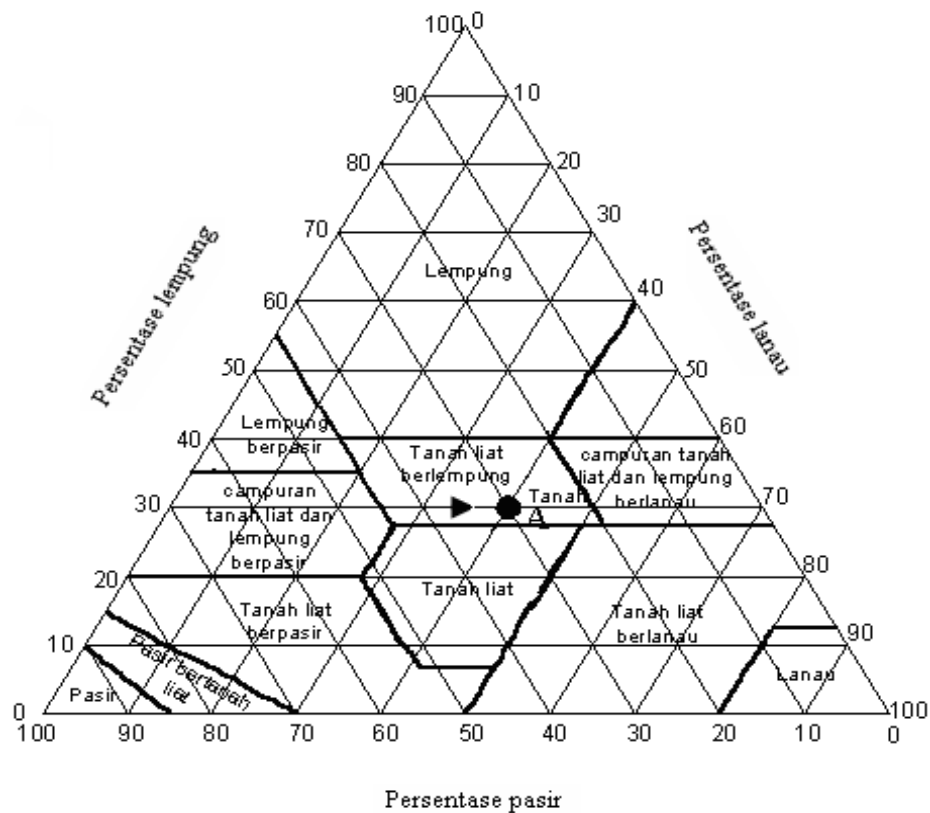
1. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur
2. Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO
3. Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

2.2.1 Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur

Tekstur tanah merupakan keadaan permukaan tanah yang bersangkutan. Pengaruh daripada tiap – tiap butir tanah yang ada didalam tanah tersebut merupakan pembentuk tekstur tanah. Ukuran butir merupakan suatu metode yang jelas untuk mengklasifikasikan tanah dan kebanyakan dari sistem – sistem klasifikasi terdahulu banyak menggunakan ukuran butir sebagai dasar pembuatan sistem klasifikasi.

Tanah dibagi dalam beberapa kelompok : kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*), atas dasar ukuran butir – butirnya. Dikarenakan

deposit tanah alam pada umumnya terdiri atas berbagai ukuran – ukuran partikel, maka perlu sekali untuk membuat suatu aturan berdasarkan distribusi ukuran butir yang kemudian menentukan prosentase tanah bagi setiap batasan ukuran. Departemen Pertanian Amerika Serikat telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butir yang menamakan tanah secara spesifik bergantung dari prosentase pasir, lanau dan lempung seperti terlihat pada Gambar 2.1 :



Gambar 2.1 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

2.2.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System* guna mengklasifikasikan tanah untuk pemakaian lapisan dasar jalan raya. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-7. Kelompok A-1 dianggap yang paling baik yang sesuai untuk lapisan dasar jalan

raya. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan, sistem ini dipakai oleh *The American Association of State Highway Officials* (AASHTO) dalam tahun 1945. Bagan pengklasifikasian seperti ini dapat dilihat seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa saringan (% lolos)							
No.10	Maks 50						
No.40	Maks 30	Maks 50	Maks 51				
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40							
Batas cair (LL)				Maks 40	Min 41	Maks 40	Maks 41
Indeks plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-4		A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6 ^N		
Analisa saringan (% lolos)							
No.10							
No.40							
No.200	Min 36		Min 36	Min 36	Min 36		
Sifat fraksi yang lolos No.4							
Batas cair (LL)	Maks 40		Min 41	Maks 40	Min 41		
Indeks plastisitas (IP)	Maks 10		Maks 10	Min 11	Min 11		
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Sumber : Bowles, 1991

* $PI \leq LL - 30$

^N $PI > LL - 30$

2.2.3 Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED

Sistem klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan Teknik Pondasi seperti untuk bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan.

Klasifikasi berdasarkan *Unified System* (Das. Braja. M, 1988), tanah dikelompokkan menjadi :

- 1 Tanah butir kasar (*coarse-grained-soil*) yaitu tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G atau S. G adalah untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan S adalah untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.
- 2 Tanah berbutir halus (*fine-grained-soil*) yaitu tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan no.200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal M untuk lanau (*silt*) anorganik, C untuk lempung (*clay*) anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*), *muck*, dan tanah-tanah lain dengan kadar organik yang tinggi.

Tanah berbutir kasar ditandai dengan simbol kelompok seperti : GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM dan SC. Untuk klasifikasi yang benar, perlu memperhatikan faktor-faktor berikut ini :

1. Prosentase butiran yang lolos ayakan no.200 (fraksi halus).
2. Prosentase fraksi kasar yang lolos ayakan no.40.
3. Koefisien keseragaman (*Uniformity coefficient*, C_u) dan koefisien gradasi (*gradation coefficient*, C_c) untuk tanah dimana 0-12% lolos ayakan no.200.
4. Batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) bagian tanah yang lolos ayakan no.40 (untuk tanah dimana 5% atau lebih lolos ayakan no.200).

Selanjutnya tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok seperti terlihat dalam Tabel 2.2 berikut ini :

Tabel 2.2 Simbol klasifikasi tanah berdasarkan *Unified System*

Jenis Tanah	Simbol	Sub kelompok	Simbol
Kerikil Pasir	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M	LL < 50% LL > 50%	L H
Lempung	C		
Organik	O		
Gambut	PT		

Sumber : Bowles, 1991

2.3 PENYELIDIKAN TANAH

2.3.1 Boring

Pengeboran merupakan cara yang paling awal dan mudah dalam penyelidikan tanah. Boring dilaksanakan untuk mendapatkan struktur lapisan tanah (*sample*) dengan cara mengebor dan memperhatikan jenis dan warna serta kedalaman masing – masing tanah yang dikeluarkan dari mata bor. Juga perlu dicatat kedalaman air tanah pada waktu pelaksanaan pengeboran.

Pada penyelidikan lapangan dilakukan beberapa boring untuk uji lapangan seperti :

1. SPT (*Soil Penetrometer Test*) yang dilaksanakan pada interval tertentu dalam lubang bor
2. Uji permeabilitas masa tanah maupun batuan
3. Pengambilan *undisturbed sample* dengan metode *thin wall core barrel* pada interval tertentu untuk uji laboratorium.

SPT digunakan untuk menentukan konsistensi atau density tanah di lapangan. Tes tersebut dilakukan dengan memancangkan alat *split spoon sampler*, yaitu berupa baja dengan ujung – ujung yang terbuka. *Split spoon* dipancangkan 45 cm ke dalam tanah pada kedalaman tertentu dalam tanah.

SPT dapat dikorelasikan dengan :

- Konsistensinya
- Kuat geser tanah
- Parameter konsolidasi
- *Relatif density*
- Daya dukung pondasi
- Penurunan

2.4 PARAMETER TANAH

2.4.1 Modulus Young

Dengan menggunakan data sondir, boring dan grafik triaksial dapat digunakan untuk mencari besarnya nilai elastisitas tanah. Nilai yang dibutuhkan adalah nilai q_c atau *cone resistance*. Yaitu dengan menggunakan rumus :

$$E = 2 \cdot q_c \quad \text{kg/cm}^2$$

$$E = 3 \cdot q_c \quad (\text{ untuk pasir })$$

$$E = 2 \cdot \text{sampai } 8 \cdot q_c \quad (\text{ untuk lempung })$$

Nilai yang dibutuhkan adalah nilai N . Modulus elastisitas didekati dengan menggunakan rumus :

$$E = 6 (N + 5) \quad \text{k/ft}^2 \quad (\text{ untuk pasir berlempung })$$

$$E = 10 (N + 15) \quad \text{k/ft}^2 \quad (\text{ untuk pasir })$$

Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah menurut Bowles dapat dilihat pada Tabel 2.3 :

Tabel 2.3. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowles, 1997)

Macam Tanah	E (Kg/cm ²)
LEMPUNG	
Sangat Lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Berpasir	300 – 425
PASIR	
Berlanau	50 – 200
Tidak Padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
PASIR DAN KERIKIL	
Padat	800 – 2000
Tidak Padat	500 – 1400
LANAU	20 – 200
LOSES	150 – 600
CADAS	1400 - 14000

2.4.2 *Poissons Ratio*

Poissons ratio sering dianggap sebesar 0,2 – 0,4 dalam pekerjaan – pekerjaan mekanika tanah. Nilai sebesar 0,5 biasanya dipakai untuk tanah jenuh dan nilai 0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan. Ini disebabkan nilai *Poissons ratio* sukar untuk diperoleh untuk tanah. Nilai perkiraan angka *Poisson* tanah menurut Bowles dapat lihat pada Tabel 2.4:

Tabel 2.4. Nilai Perkiraan Angka *Poissons* Tanah (Bowles,1997)

Macam Tanah	ν (angka poisson tanah)
Lempung Jenuh	0,40 – 0,50
Lempung Tak Jenuh	0,10 – 0,30
Lempung Berpasir	0,20 – 0,30

Lanau	0,30 – 0,35
Pasir Padat	0,20 – 0,40
Pasir Kasar	0,15
Pasir Halus	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loses	0,10 – 0,30

2.4.3 Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam dan kohesi merupakan faktor dari kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari sudut geser dalam didapat dari *engineering properties* tanah, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

2.4.4 Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser tanah, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari kohesi didapat dari *engineering properties*, yaitu dengan *triaxial test* dan *direct shear test*.

2.5 KEKUATAN GESER TANAH

Kekuatan geser tanah diperlukan untuk menghitung daya dukung tanah (*bearing capacity*), tegangan tanah terhadap dinding penahan (*earth pressure*) dan kestabilan lereng. Ada bermacam-macam pengujian yang dapat dilakukan untuk menentukan kekuatan geser tanah, diantaranya adalah uji geser langsung (*direct shear test*), uji triaxial (*triaxial test*), dan uji tekan bebas (*unconfined compression test*).

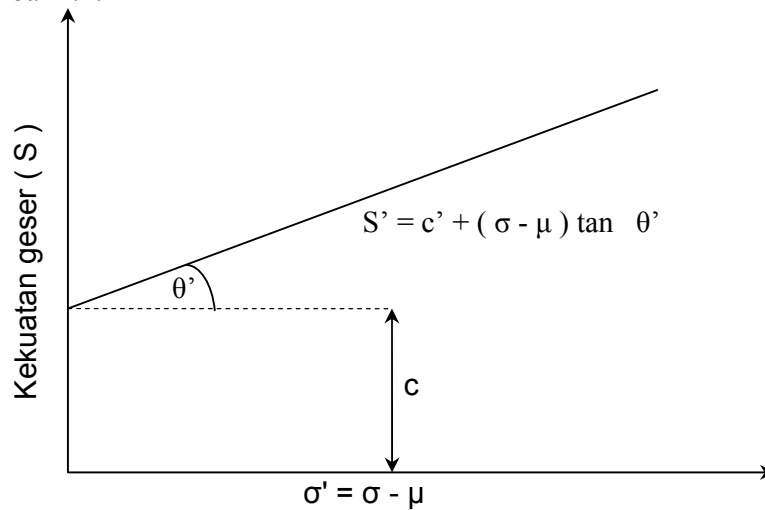
Kekuatan geser tanah terdiri dari dua parameter yaitu :

1. Bagian yang bersifat kohesi c yang tergantung dari jenis tanah.
2. Bagian yang mempunyai sifat gesekan / *frictional* yang sebanding dengan tegangan efektif (σ) yang bekerja pada bidang geser.

Menurut Wesley (1977), hubungan antar kekuatan geser tanah dengan kemantapan lereng dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$S = c' + (\sigma - \mu) \tan \theta'$$

Sedangkan hubungan persamaan ini dapat dibuat secara grafis seperti terlihat dalam Gambar 2.2:



Gambar 2.2 Gambar Hubungan Kuat Geser Tanah dengan Kemantapan Lereng

- Dimana :
- S' = kekuatan geser efektif
 - c = kohesi tanah efektif
 - σ' = tegangan normal efektif
 - σ = tegangan total pada bidang geser
 - μ = tegangan air pori = $\gamma_w \cdot h$
 - θ' = sudut geser dalam efektif

Nilai C_u (*Undrained shear strength /Kuat Geser Tanah Tak Terdrainase*) dapat dicari dengan menggunakan nilai q_c dari sondir.

$$C_u = \frac{q_c - \sigma_v}{Nk}$$

Dimana :

q_c = tekanan konus

σ_v = *total overburden pressure*

N_k = faktor konus

2.6 DAYA DUKUNG TANAH

Dalam perencanaan konstruksi bangunan sipil, daya dukung tanah mempunyai peranan yang sangat penting, daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban pondasi tanpa mengalami keruntuhan akibat geser yang juga ditentukan oleh kekuatan geser tanah. Tanah mempunyai sifat untuk meningkatkan kepadatan dan kekuatan gesernya apabila menerima tekanan. Apabila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, tegangan geser yang ditimbulkan dalam tanah pondasi melampaui kekuatan geser tanah maka akan mengakibatkan keruntuhan geser tanah tersebut. Perhitungan daya dukung tanah dapat dihitung berdasarkan teori Terzaghi :

- Daya dukung tanah untuk pondasi lajur

$$q_{ult} = c \times N_c + \gamma \times D \times N_q + \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N_\gamma$$

- Daya dukung tanah untuk pondasi bujur sangkar

$$q_{ult} = 1.3 \times c \times N_c + \gamma \times D \times N_q$$

Dimana : D = Kedalaman pondasi

B = Lebar pondasi

γ = Berat isi tanah

N_c, N_q, N_γ = Faktor daya dukung yang tergantung pada sudut geser

2.7 TEORI KELONGSORAN

Gerakan tanah merupakan proses perpindahan massa tanah atau batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring terhadap kedudukan semula karena pengaruh air, gravitasi, dan beban luar. Untuk mempermudah pengenalan tipe

gerakan tanah dan membantu dalam menentukan penyebab serta cara penanggulangannya maka perlu adanya pengklasifikasian tanah berdasar material yang bergerak, jenis gerakan dan mekanismenya. Adapun macam-macam gerakan tanah yaitu :

1. Aliran Cepat (*Rapid Flowage*)

Gerakan tanah jenis aliran pada umumnya material yang bergerak terlihat cepat dan dapat diikuti dengan kecepatan mata melihat. Umumnya terjadi pada material lunak yang jenuh air dan terdapat pada daerah berlereng. Jika ditinjau dari jenis material yang bergerak dapat dibedakan menjadi :

- a. Aliran tanah (*earth flow*), jika material yang bergerak berupa tanah.
- b. Aliran lumpur (*mud flow*), jika material yang bergerak berupa lumpur.

2. Amblesan (*subsidence*)

Merupakan jenis gerakan tanah yang berupa turunnya permukaan tanah secara bersama-sama secara cepat atau lambat tergantung kondisi geologi maupun topografi daerah tersebut. Umumnya terjadi pada daerah yang lunak serta terdapat beban di atasnya atau pada daerah yang dibawahnya terdapat goa atau akibat struktur geologi, mungkin juga terjadi akibat aktivitas manusia seperti penambangan bawah tanah, penyedotan air tanah yang berlebihan, proses pemadatan tanah, dan sebagainya.

3. Runtuhan

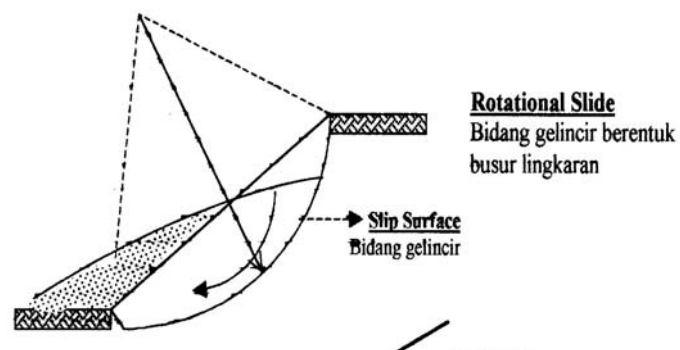
Gerakan tanah ini disebabkan oleh keruntuhan tarik yang diikuti dengan tipe gerakan jatuh bebas akibat gravitasi yang bergerak cepat. Material tanah atau batuan lepas dari tebing curam dengan sedikit pergeseran atau tanpa terjadi pergeseran kemudian meluncur sebagian besar diudara seperti jatuh bebas, loncat atau menggelundung. Runtuhan biasanya terjadi pada penggalian batu, tebing pantai yang curam, tebing jalan.

4. Longsoran (*sliding*)

Gerakan tanah ini terjadi akibat regangan geser dan perpindahan dari sepanjang bidang longsoran dimana massa berpindah dari tempat semula dan berpisah dari massa yang mantap, material yang bergerak kadang terlihat sangat cepat dan tiba – tiba atau dapat juga bergerak lambat.

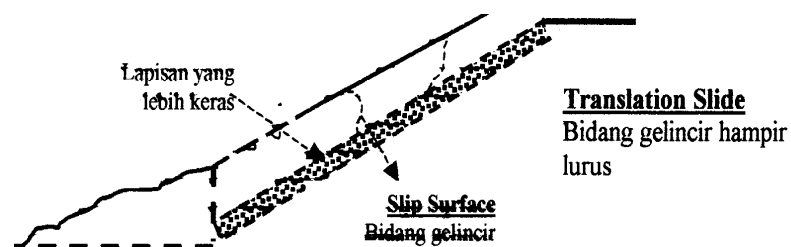
Jenis gerakan ini dapat dibedakan menjadi :

- a. *Rotational slide*, jika bidang longsoran mempunyai bentuk seperti busur derajat, *log spiral*, dan bentuk lengkung yang tidak teratur. Pada umumnya kelongsoran ini berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen seperti terlihat pada Gambar 2.3 dibawah ini.



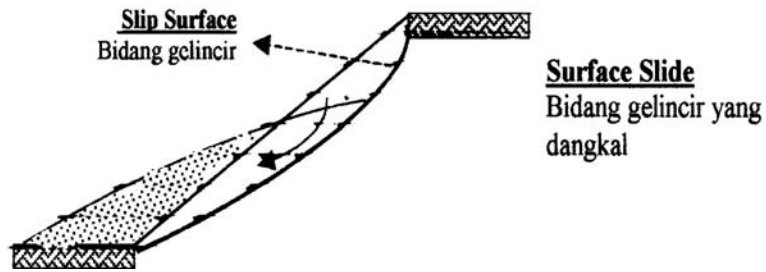
Gambar 2.3 *Rotational Slide*

- b. *Translation slide*, jika bidang longsor cenderung datar atau sedikit bergelombang. Kelongsoran ini terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan seperti terlihat pada Gambar 2.4 dibawah ini.



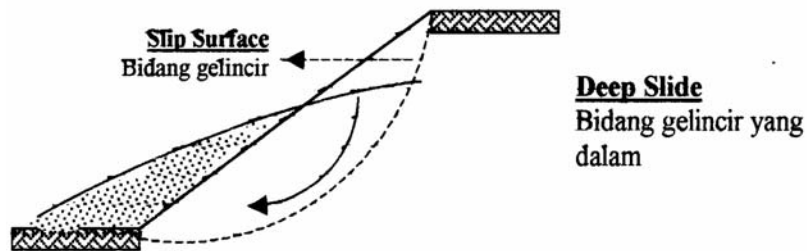
Gambar 2.4 *Translation Slide*

- c. *Surface slide*, terjadi jika bidang gelincirnya terletak dekat dengan permukaan tanah seperti terlihat pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 *Surface Slide*

- d. *Deep slide*, terjadi jika bidang gelincirnya terletak jauh dibawah permukaan tanah seperti terlihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 *Deep Slide*

Kelongsoran (*land slide*) khususnya untuk tanah merupakan perpindahan massa tanah dari kedudukan semula akibat pengaruh gravitasi sehingga terpisah dari massa yang mantap, dimana perpindahan ini bisa diakibatkan oleh likuefaksi sebagai pengaruh gempa bumi. Penyebab lain adalah sifat tanah yang mengandung mineral yang mampu kembang susut seperti lempung dan lanau yang sering kali dalam keadaan retak-retak atau bercelah, sehingga tekanan air pori dapat membahayakan stabilitasnya. Selain itu bisa diakibatkan oleh pengaruh tipe perlapisan khusus misalnya antara pasir dan lempung, tekanan beban berlebihan pada kepala lereng atau pemotongan kaki lereng, dan dalam beberapa kasus struktur tanah umumnya diperlemah oleh proses fisika dan kimia.

Pada permukaan tanah yang tidak horisontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi

sedemikian besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada lereng yang miring ini disebut analisis stabilitas lereng. Analisis ini sering digunakan dalam perancangan bangunan seperti, jalan raya, jembatan, urugan tanah, saluran dan lain-lain. Umumnya analisis ini sering digunakan dalam pengecekan keamanan dari lereng alam, lereng galian dan lereng urugan tanah.

Analisis stabilitas lereng tidaklah mudah karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi hasil hitungan. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah yang berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lain. Terzaghi (1987) membagi penyebab longsoran terdiri dari akibat pengaruh dari dalam (*internal effect*) dan pengaruh luar (*external effect*). Pengaruh luar yaitu pengaruh yang menyebabkan bertambahnya gaya geser dengan tanpa adanya perubahan kuat geser tanah. Contohnya, akibat perbuatan manusia mempertajam kemiringan tebing atau memperdalam galian tanah dan erosi sungai. Pengaruh dalam, yaitu longsoran yang terjadi dengan tanpa adanya perubahan kondisi luar atau gempa bumi. Contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori di dalam lereng.

2.8 FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB KELONGSORAN

2.8.1 Faktor penyebab dari dalam

Faktor penyebab terjadi longsoran yang berasal dari dalam adalah pengaruh dari karakteristik tanah itu sendiri yang dapat menyebabkan terjadinya longsoran. Faktor – faktor itu antara lain adalah:

1. Penambahan kadar air dalam tanah.

Pada saat musim penghujan maka kadar air didalam tanah akan bertambah sehingga bobot massa tanah juga akan meningkat akibat terisinya rongga antar butir dalam tanah. Hal ini akan memicu gerak tanah terutama pada lokasi rawan longsor.

2. Pelarutan bahan perekat.

Air yang masuk ke dalam tanah (air hujan, rembesan bendung, bocoran saluran pada lereng, dsb) akan dapat melarutkan bahan perekat pada

batuan sedimen. Hal ini mampu melongsorkan material terutama pada daerah rawan gerak tanah.

3. Kondisi batuan.

Kondisi fisik batuan seperti tingginya tingkat kelulusan air / porositas akan semakin mempercepat terjadinya longsor, demikian juga dengan kondisi plastisitas tanah karena semakin tinggi tingkat plastisitas maka tanah akan cepat mengembang sehingga mampu memicu gerak tanah.

4. Kondisi struktur geologi.

Kondisi geologi seperti retakan batuan, adanya patahan, perlapisan miring batuan atau pada batas lapisan batuan yang lolos air (tidak kedap air).

2.8.2 Faktor Penyebab dari luar

Faktor penyebab terjadinya longsor yang berasal dari luar adalah faktor – faktor yang berasal dari luar struktur tanah tersebut namun secara langsung dapat mempengaruhi stabilitas tanah sehingga dapat menimbulkan terjadinya longsor.

1. Adanya getaran

Sumber getaran dapat berasal dari gempa bumi, kendaraan berat, mesin-mesin yang bekerja, ledakan dinamit, dsb yang mampu menyebabkan terjadinya gerakan tanah. Hal ini dapat terjadi pada daerah berlereng atau daerah yang labil.

2. Curah hujan

Curah hujan yang meliputi intensitas dan lamanya hujan. Hujan dengan intensitas kecil tetapi berlangsung dalam kurun waktu yang lama mampu memicu gerakan tanah.

3. Adanya pembebanan tambahan

Aktivitas manusia seperti pembuatan bangunan pada sekitar tebing dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah.

4. Hilangnya penguat lereng

Kejadian ini terjadi seperti lereng-lereng yang menjadi curam akibat pengikisan sungai, penambahan material tanah / batuan, dll.

5. Hilangnya tumbuhan penutup

Akibat penebangan dan kebakaran hutan, tumbuhan penutup akan berkurang sehingga akan terbentuk alur-alur air dipermukaan tanah. Hal ini mampu memicu terjadinya gerakan tanah.

6. Penataan lahan yang kurang tepat

Penataan lahan yang kurang tepat seperti pembukaan areal pemukiman tanpa memperhitungkan kondisi struktur tanah dan kurang memperhatikan lingkungan. Hal ini jika berlangsung dalam kurun waktu yang lama dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah terutama pada daerah yang mempunyai kemiringan tinggi.

2.8.3 Pengaruh Iklim

Di dekat permukaan tanah, kuat geser tanah berubah dari waktu ke waktu bergantung pada iklim. Beberapa jenis tanah mengembang pada saat musim hujan dan menyusut pada musim kemarau. Pada musim hujan kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah dibandingkan dengan pada musim kemarau. Oleh karena itu kuat geser yang dipakai dalam analisis stabilitas lereng harus didasarkan pada kuat geser tanah dimusim hujan atau kuat geser tanah pada saat tanah jenuh air.

2.8.4 Pengaruh Air

Pengaruh aliran atau rembesan air menjadi faktor sangat penting dalam stabilitas lereng, namun pengaruh ini sulit diidentifikasi dengan baik. Telah dipelajari bahwa rembesan air yang terjadi di dalam tanah menyebabkan gaya rembesan yang sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng.

Erosi permukaan lereng dapat menyebabkan terkikisnya tanah permukaan yang mengurangi tinggi lereng, sehingga menambah stabilitas lereng. Sebaliknya, erosi yang mengikis kaki lereng dapat menambah tinggi lereng sehingga mengurangi stabilitas lereng.

Sebagian besar terjadinya keruntuhan bangunan bendungan tipe urugan diakibatkan oleh rembesan air melalui pondasi maupun tubuh bendungan. Rembesan merupakan hal yang biasa terjadi pada bendungan tanah dan pada umumnya tidak masalah. Akan tetapi, rembesan yang tidak terkontrol dapat

menyebabkan erosi pada timbunan atau pada pondasi yang dapat menimbulkan sufosi, yang merupakan erosi yang berkembang pada bendungan. Diawali dari titik pusat rembesan yang mempunyai beda tinggi tekanan yang cukup besar sehingga mampu menimbulkan kecepatan pengaliran yang menimbulkan erosi. Apabila gaya – gaya yang menahan rembesan seperti kohesi, gaya pengaruh yang saling mengunci, berat partikel tanah, pengaruh filter di hilir dan gaya lainnya, lebih kecil daripada gaya erosi, maka partikel tanah dapat hanyut dan menimbulkan aliran sufosi.

2.8.5 Pengaruh rangkak (*Creep*)

Terdapat didekat permukaan tanah yang miring, tanah dipengaruhi siklus kembang susut. Siklus ini dapat terjadi akibat perubahan temperatur, perubahan dari musim kemarau ke musim penghujan dan didaerah dingin dapat dipengaruhi oleh pengaruh pembekuan air. Saat tanah mengembang, tanah naik sehingga melawan gaya-gaya gravitasi. Saat tanah menyusut, tanah turun dibantu oleh gravitasi. Hasil dari gerakan keduanya adalah gerakan perlahan lereng turun kearah bawah.

Kedalaman zona rangkak bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter tergantung pada sifat tanah dan kondisi iklim. Menurut Taylor (1948), rangkak dapat menyebabkan:

1. Blok batuan bergerak
2. Pohon-pohon melengkung ke atas
3. Bagian lereng melengkung dan menarik batuan
4. Bangunan yang menjulang keatas menjadi miring
5. Dinding penahan tanah dan pondasi bergerak dan retak
6. Jalan raya dan jalan rel keluar dari alurnya
7. Batu-batu besar menggelinding dan sebagainya

2.9 PEKERJAAN PENANGGULANGAN KELONGSORAN

Pekerjaan penanggulangan longsor meliputi pekerjaan pengendalian (*control works*) dan pekerjaan penambatan (*restraint works*). Adapun pekerjaan pengendalian ini dimaksudkan untuk mengurangi resiko terjadinya longsor

dengan cara mengubah kondisi alam , topografi , atau keadaan air di bawah permukaan, seperti :

1. Pengendalian air permukaan (*surface water drainage*) dengan cara perencanaan tata saluran permukaan, penanaman vegetasi, perbaikan permukaan lereng dan menutup rekahan.
2. Pengendalian air rembesan (*ground water drainage*) dengan saluran terbuka, pengalir tegak (*vertical drain*), pengalir datar (*horizontal drain*), pengalir parit pencegat (*interceptor drain*).
3. Pekerjaan peningkatan *counter weight* .

Sedangkan pekerjaan penambatan dilaksanakan dengan membangun konstruksi yang mampu menjaga kestabilan massa tanah/batuan, seperti :

1. Penambatan tanah dengan membangun dinding penahan tanah (*retaining wall*), bronjong (*gabion*), sumuran, tiang pancang, dsb.
2. Penambatan batuan dengan tumpuan beton, baut batuan (*rock bolt*), pengikat beton, jangkar kabel (*rock anchor*) jala kawat dan beton semprot (*shotcrete*).

Jika kondisi penanggulangan diatas tidak efektif dan efisien untuk dilaksanakan maka dapat diambil alternatif lainya yang lebih baik seperti penggunaan bahan ringan, penggantian material, maupun relokasi.

2.10 STABILITAS LERENG

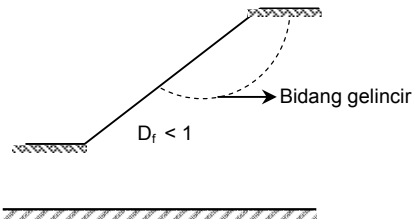
Pada tempat dimana terdapat dua permukaan tanah yang berbeda ketinggiannya, maka akan ada gaya-gaya yang bekerja mendorong sehingga tanah yang lebih tinggi kedudukanya cenderung bergerak kebawah. Disamping gaya yang mendorong kebawah terdapat pula gaya-gaya dalam tanah yang bekerja melawan sehingga kedudukan tanah tetap stabil. Gaya pendorong berupa gaya berat, gaya tiris/muatan dan gaya-gaya inilah penyebab terjadinya kelongsoran. Gaya penahan berupa gaya gesekan/geseran, lekatan (dari kohesi), kekuatan geser tanah. Antara permukaan dari tanah yang lebih tinggi ke permukaan yang lebih rendah dihubungkan suatu permukaan yang disebut lereng. Dalam bidang teknik sipil, kita mengenal 3 jenis lereng yang perlu diperhatikan :

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk oleh proses alamiah seperti lereng perbukitan.
2. Lereng yang dibuat dalam tanah asli, misalnya pengeprasan tanah untuk keperluan pembuatan jalan maupun saluran untuk irigasi.
3. Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan misalnya pembuatan tanggul untuk jalan atau waduk urugan.

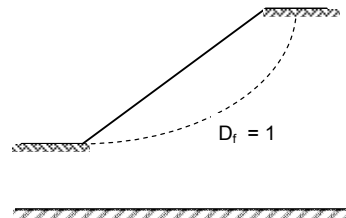
Kelongsoran pada lereng umumnya terjadi dalam suatu bidang lengkung. Dalam perhitungan stabilitas, lengkungan yang riil ini dianggap sebagai lingkaran spiral logaritmis. Bidang ini disebut bidang gelincir.

Ada tiga jenis dasar kelongsoran yang terjadi pada lereng semacam ini yaitu :

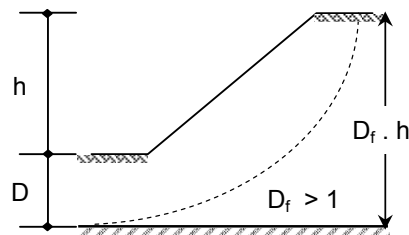
- a. Kelongsoran muka, bila kelongsoran terjadi sepanjang bidang gelincir yang masih terletak dalam batas lereng



- b. Kelongsoran dasar, bila bidang gelincir longSORAN melewati ujung bawah lereng



- c. Kelongsoran ujung kaki, bila bidang gelincir longSORAN terletak pada ujung bawah lereng



Kemantapan lereng (*slope stability*) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanpa mengalami keruntuhan.

Dalam praktek, analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam laporan tugas akhir ini, dasar-dasar teori yang dipakai untuk menyelesaikan masalah tentang stabilitas longsor dan daya dukung tanah menggunakan teori metode irisan (*Method of Slice*), metode Bishop's (*Bishop's Method*) dan metode *Fellenius*.

Dalam menganalisis stabilitas lereng digunakan beberapa anggapan yaitu:

1. Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
2. Masa tanah yang longsor dianggap sebagai benda massif
3. Tahanan geser 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 sepanjang permukaan longsoran. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar dari 1.
5. Hukum Coulomb berlaku untuk kondisi runtuh $\tau_r' = C_r' + \sigma_r' \tan \phi_r'$
6. Bentuk tegangan adalah lurus
7. Semua gaya yang bekerja telah diketahui
8. Berlaku hukum tegangan total dan tegangan efektif $\sigma = \sigma' + u$,

Dimana: σ = Tegangan total

σ' = Tegangan efektif

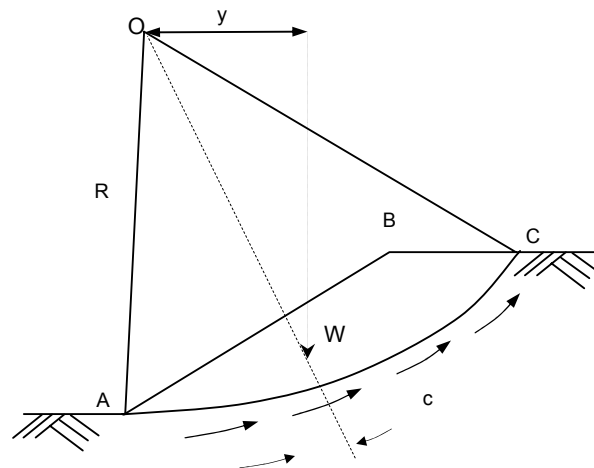
u = Tekanan air pori

Bentuk umum untuk perhitungan stabilitas lereng adalah mencari angka keamanan (FK) dengan membandingkan momen-momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja (lihat Gambar 2.7).

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} = \frac{Rc \cdot L_{AC}}{W \cdot y}$$

- Dimana :
- FK = Faktor keamanan
 - W = Berat tanah yang akan longsor (kN)
 - L_{AC} = Panjang lengkungan (m)
 - C = Kohesi (kN/m^2)
 - R = Jari-jari lingkaran bidang longsor yang ditinjau (m)
 - y = Jarak pusat berat W terhadap O (m)

Untuk memperoleh nilai angka keamanan (FK) suatu lereng, maka perlu dilakukan 'trial and error' terhadap beberapa bidang longsor yang umumnya berupa busur lingkaran dan kemudian diambil nilai η minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada Gambar 2.7.



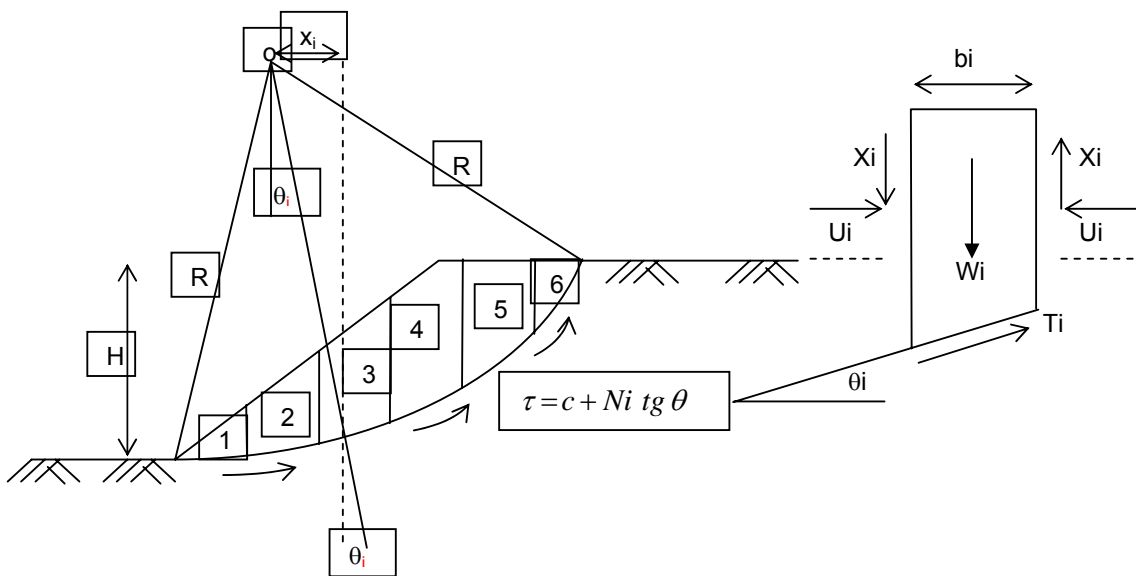
Gambar 2.7 Analisis Stabilitas Lereng

2.10.1 Metode Irisan (*Method of Slice*)

Metode irisan merupakan cara-cara analisa stabilitas yang telah dibahas sebelumnya hanya dapat digunakan bila tanah homogen. Bila tanah tidak

homogen dan aliran rembesan terjadi didalam tanahnya memberikan bentuk aliran dan berat volume tanah yang tidak menentu, cara yang lebih cocok adalah dengan metode irisan (*method of slice*)

Gaya normal yang bekerja pada suatu titik dilingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Dalam metode irisan ini, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan (pias) vertikal. Kemudian, keseimbangan dari tiap-tiap irisan diperhatikan. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser (X_r dan X_i) dan gaya normal efektif (E_r dan E_i) disepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya geser efektif (T_1) dan resultan gaya normal efektif (N_1) yang bekerja disepanjang dasar irisannya. Pada irisannya, tekanan air pori U_i dan U_r bekerja di kedua sisinya, dan tekanan air pori U_i bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui sebelumnya. Seperti yang terdapat pada Gambar 2.8:



Gambar 2.8 Gaya-gaya yang Bekerja Pada Irisan Bidang Longsor

2.10.2 Metode Bishop's (*Bishop's Method*)

Metode Bishop's ini merupakan dasar metode bagi aplikasi program Mira Slope dan merupakan penyederhanaan dari metode irisan Sliding Metode Bishop's menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal.

Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan, sehingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor keamanan.

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{tg \phi'}{P}$$

Dimana : σ = Tegangan normal total pada bidang longsor

u = Tekanan air pori

Untuk irisan (pias) yang ke- i , nilai $T_i = \tau a_i$, yaitu nilai geser yang berkembang pada bidang longsor untuk keseimbangan batas, karena itu :

$$T_i = \frac{c' a_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{tg \phi'}{F}$$

Kondisi keseimbangan momen terhadap pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total pada dasar bidang longsohnya dapat dinyatakan dengan :

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

Dimana :

F = Faktor Keamanan

C' = Kohesi efektif tanah

θ' = Sudut geser dalam efektif tanah

b_i = Lebar irisan ke - i

W_i = Berat irisan tanah ke - i

θ_i = Sudut yang diasumsikan (didefinisikan) dalam Gambar 2.9

U_i = Tekanan air pori pada irisan ke - i

Nilai banding tekanan pori (*pore pressure ratio*) didefinisikan sebagai :

$$r_u = \frac{ub}{W} = \frac{u}{\gamma h}$$

Dimana : r_u = Nilai banding tekanan pori

u = Tekanan air pori

b = Lebar irisan

γ = Berat volume tanah

h = Tinggi irisan rata-rata

Adapun bentuk persamaan Faktor Keamanan untuk analisis stabilitas lereng cara Bishop, adalah

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

Persamaan faktor aman Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode lainya seperti metode *Fellenius*. Lagi pula membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), karena nilai faktor aman (FK) nampak di kedua sisi persamaanya. Akan tetapi, cara ini telah terbukti memberikan nilai faktor aman yang mendekati nilai faktor aman dari perhitungan yang dilakukan dengan cara lain yang mendekati (lebih teliti). Untuk mempermudah perhitungan dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi M_i , dengan rumus :

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

Lokasi lingkaran sliding (longsor) kritis pada metode *Bishop's* (1955), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode *Fellenius* lebih mudah, metode *Bishop's* lebih disukai karena menghasilkan penyelesaian yang lebih teliti.

Dalam praktek, diperlukan untuk melakukan cara coba-coba dalam menemukan bidang longsor dengan nilai faktor aman yang terkecil. Jika bidang longsor dianggap lingkaran, maka lebih baik kalau dibuat kotak-kotak dimana tiap titik potong garis-garisnya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longornya. Pada titik-titik potongan garis yang merupakan pusat lingkaran

longsornya dituliskan nilai faktor aman terkecil pada titik tersebut. Kemudian, setelah faktor aman terkecil pada tiap-tiap titik pada kotaknya diperoleh, digambarkan garis kontur yang menunjukkan tempat kedudukannya dari titik-titik pusat lingkaran yang mempunyai faktor aman yang sama. Dari faktor aman pada setiap kontur tentukan letak kira-kira dari pusat lingkaran yang menghasilkan faktor aman yang paling kecil.

2.10.3 Metode *Fellenius*

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 longsornya. Faktor keamanan didefinisikan sebagai :

$$F = \frac{\text{Jumlah Momen dari Tahanan Geser Sepanjang Bidang Longsor}}{\text{Jumlah Momen dari Berat Massa Tanah yang Longsor}}$$

$$F = \frac{\sum Mr}{\sum Md}$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka :

$$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i$$

Dimana :

R = Jari-jari bidang longsor

n = Jumlah irisan

W_i = Berat massa tanah irisan ke-i

θ_i = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas

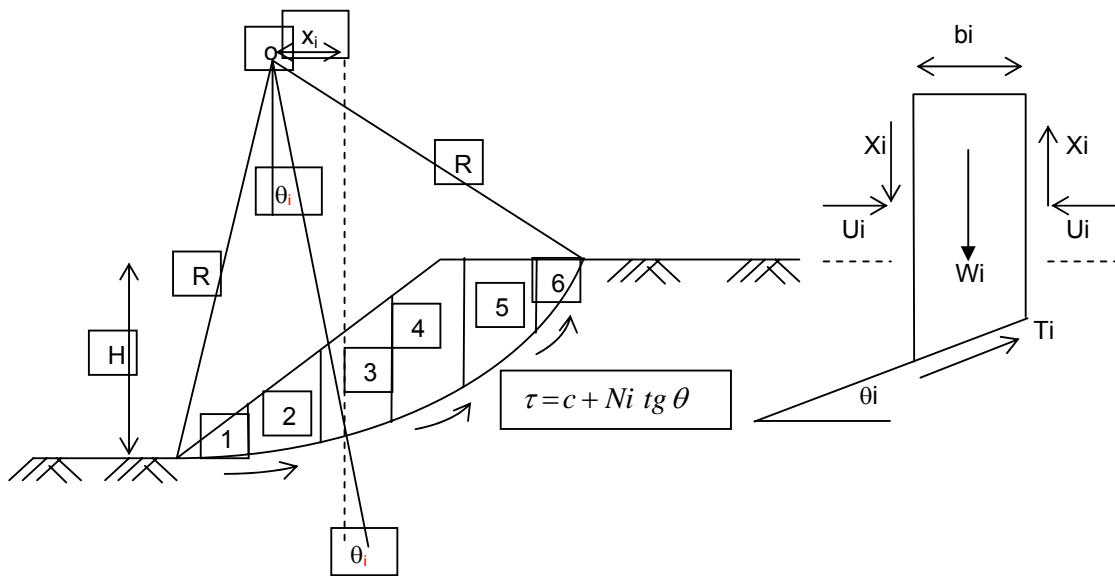
Dengan cara yang sama, momen yang menahan tanah yang akan longsor, adalah :

$$\sum Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (c a_i + N_i \operatorname{tg} \phi)$$

karena itu, faktor keamanannya menjadi :

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

Gaya-gaya dan asumsi bidang pada tiap pias bidang longsor seperti terdapat pada Gambar 2.9 berikut :



Gambar 2.9 Gaya-gaya dan Asumsi Bidang Pada Tiap Pias Bidang Longsor

Bila terdapat air pada lerengnya, tekanan air pori pada bidang longsor tidak berpengaruh pada M_d , karena resultante gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi antara persamaan yang sudah ada.

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

Dimana : F = Faktor keamanan

C = Kohesi tanah

- ϕ = sudut geser dalam tanah
- a_i = panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i
- W_i = berat irisan tanah ke-i
- u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i
- θ_i = sudut yang didefinisikan dalam gambar.

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

Metode *Fellenius* memberikan faktor aman yang relatif lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai kira-kira 5 sampai 40% tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori, walaupun analisisnya ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahannya masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkarannya. Cara ini telah banyak digunakan prakteknya. Karena cara hitungannya yang sederhana dan kesalahan yang terjadi pada sisi yang aman.

■ **Menentukan Lokasi Titik Pusat Bidang Longsor**

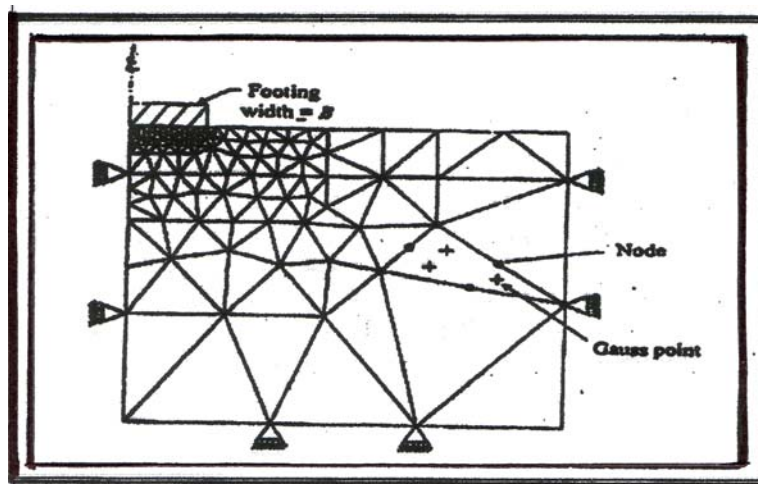
Untuk mengurangi banyaknya percobaan dalam menemukan pusat busur longsor kritis, *Fellenius* memberi suatu metoda penempatan di atas pusat yang diijinkan. Untuk tanah homogen, pusat busur longsor kritis berada sejajar PQ. Di mana titik Q mempunyai koordinat H vertikal dan $4.5 H$ horisontal (Gambar 2.10). Titik P terletak pada sudut geser α dan β seperti pada Tabel 2.5

2.11 METODE ELEMEN HINGGA

2.11.1 Uraian Umum

Metode elemen hingga adalah prosedur perhitungan yang dipakai untuk mendapatkan pendekatan dari permasalahan matematis yang sering muncul pada rekayasa teknik inti dari metode tersebut adalah membuat persamaan matematis dengan berbagai pendekatan dan rangkaian persamaan aljabar yang melibatkan nilai – nilai pada titik – titik diskrit pada bagian yang dievaluasi. Persamaan metode elemen hingga dibuat dan dicari solusinya dengan sebaik mungkin untuk menghindarkan kesalahan pada hasil akhirnya.

Jaring (*mesh*) terdiri dari elemen – elemen yang dihubungkan oleh node (Gambar 2.11). *Node* merupakan titik- titik pada jaring di mana nilai dari variabel primernya dihitung. Misalkan untuk analisa *displacement*, nilai variabel primernya adalah nilai dari displacement. Nilai – nilai node displacement diinterpolasikan pada elemen agar didapatkan persamaan aljabar untuk displacement, dan regangan, melalui jaring – jaring yang terbentuk.

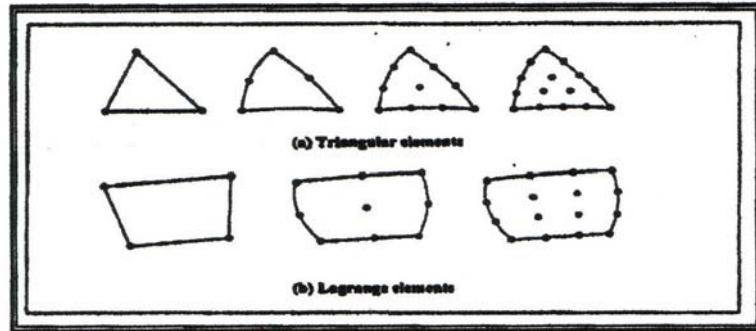


Gambar 2.11 Contoh jaring – jaring dari elemen hingga

2.11.2 Elemen Untuk Analisa Dua Dimensi

Analisa dua dimensi pada umumnya merupakan analisa yang menggunakan elemen triangular atau *quadrilateral* (Gambar 2.12). Bentuk umum

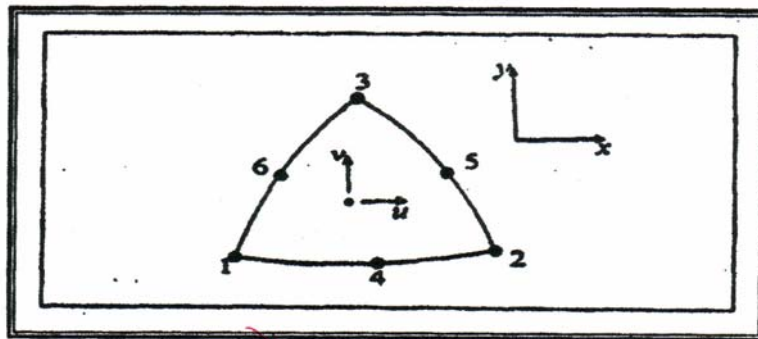
dari elemen – elemen tersebut berdasarkan pada pendekatan Iso – *Parametric* dimana fungsi interpolasi *polynomial* dipakai untuk menunjukkan displacement pada elemen.



Gambar 2.12 Elemen – elemen Triangular dan Lagrange

2.11.3 Interpolasi *Displacement*

Nilai – nilai *node displacement* pada solusi elemen hingga dianggap sebagai *primary unknown*. Nilai ini merupakan nilai displacement pada nodes. Untuk mendapatkan nilai – nilai tersebut harus menginterpolasikan fungsi – fungsi yang biasanya merupakan *polynomial*.



Gambar 2.13 Elemen dan *Six – Nodded Triangular*

Anggap sebuah elemen seperti pada Gambar 2.13, U dan V adalah *displacement* pada titik di elemen pada arah x dan y. *Displacement* ini didapatkan dengan menginterpolasikan displacement pada nodes dengan menggunakan persamaan *polynomial* :

$$U(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y^2 + a_3x^3 + a_4xy + a_5y$$

$$U(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y^2 + b_3x^3 + b_4xy + b_5y$$

Konstanta a_1, a_2, \dots, a_5 dan b_1, b_2, \dots, b_5 tergantung pada nilai node displacement. Jika jumlah nodes yang menjabarkan elemen bertambah maka fungsi interpolasi untuk *polynomial* yang juga akan bertambah.

2.11.4 Regangan

Regangan pada elemen dapat diturunkan dengan memakai definisi standar. Sebagai contoh untuk *Six- node triangle* :

$$\varepsilon_{xx} = \partial u / \partial x = a_1 + a_3 + a_4y$$

$$\varepsilon_{yy} = \partial v / \partial y = b_2 + 2b_4x + 2b_5y$$

$$\varepsilon_{xy} = (\partial u / \partial y) + (\partial v / \partial x) = (b_1 + a_2) + (a_4 + 2b_3)x + (2a_5x + b_4)y$$

Persamaan yang menghubungkan regangan dengan *node displacement* ditulis dalam bentuk persamaan matrix :

$$\varepsilon = \mathbf{B} \cdot U^e$$

Vektor regangan ε dan vector *node displacement* masing – masing dihubungkan dengan U^e :

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{xy} \end{bmatrix} U^e = \begin{bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ \dots \\ \dots \\ U_6 \\ V_6 \end{bmatrix}$$

2.11.5 Hukum Konstitutif (*Constitutive Law*)

Constitutive law diformulasikan untuk membuat matrik hubungan antara tegangan (vektor σ) dengan regangan (vektor ε) :

$$\sigma = \mathbf{D} \cdot \varepsilon$$

Di mana : \mathbf{D} = Matrik kekakuan material

Untuk kasus elastisitas *isotropic* regangan bidang linear, matrixnya :

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

Di mana : E = Modulus Young

ν = Poissons ratio

2.11.6 Matrix kekakuan Elemen

Gaya pada tanah yang diaplikasikan pada elemen dianggap sebagai gaya yang bekerja pada nodes. *Vektor nodal forces* P^e Ditulis :

$$P^e = \begin{bmatrix} P_{1,x} \\ P_{1,y} \\ P_{2,x} \\ P_{2,y} \\ \dots \\ \dots \\ P_{6,x} \\ P_{6,y} \end{bmatrix}$$

Nodal forces yang bekerja pada titik I di arah x dan y adalah P_{ix} dan P_{iy} , dan dihubungkan dengan nodal *displacement* dengan matrik :

$$K^e U^e = P^e$$

Sedangkan K^e Merupakan Matrik kekakuan Elemen yang ditulis :

$$K^e = B^t . D . B . dv$$

Dimana : D = Matrik kekakuan material

B = Matrik penghubung *nodal displacement* dengan regangan

dv = Elemen dari volume

2.11.7 Matrik Kekakuan Global

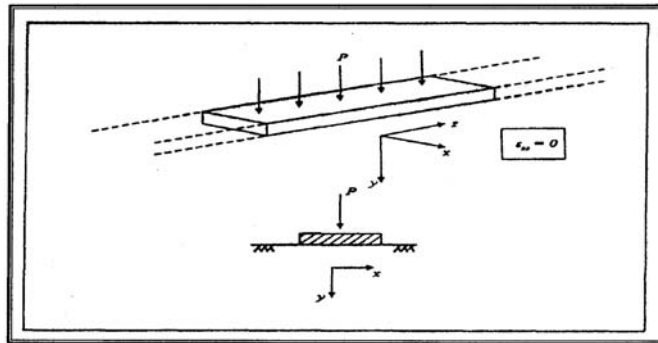
Matriks kekakuan K untuk jaring (*mesh*) elemen hingga dihitung dengan menggabungkan matrik – matrik kekakuan elemen di atas.

$$K.U = P$$

Dimana U merupakan vector yang mempunyai unsur *displacement* pada semua titik pada jaring elemen hingga.

2.11.8 Analisa Elastis Dua Dimensi

Dalam mencari solusi numerik dua dimensi kondisi model yang dianalisa tersebut harus seperti pada kondisi tiga dimensi. Pendekatan yang digunakan adalah tegangan bidang atau *plane strain* (Gambar 2.14). Pendekatan yang sering digunakan dalam analisa tanah adalah kondisi tegangan bidang.



Gambar 2.14 Analisa tegangan bidang

Pada analisa tegangan bidang, nilai tegangan yang terletak di luar bidang (*out – of plane*), dalam hal ini bidang z , adalah nol.