

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

Sesuai dengan tuntutan perkembangan jaman, maka pekerjaan konstruksi yang ada semakin kompleks. Adanya kompleksitas inilah maka tidak jarang ditemui berbagai masalah dalam suatu pekerjaan konstruksi. Tanah sebagai dasar berdirinya suatu pekerjaan konstruksi sering mengalami masalah pergerakan tanah, terutama terjadi pada tanah-tanah dengan kondisi lunak.

Masalah pergerakan tanah khususnya di Indonesia sering terjadi karena keadaan geografi di berbagai tempat yang memiliki curah hujan cukup tinggi dan daerah potensi gempa, disamping faktor lain yang masih perlu diperhatikan seperti topografi daerah setempat, struktur geologi, sifat rembesan tanah dan morfologi serta tahap perkembangannya. Hal ini masih diperparah lagi dengan minimnya kesadaran masyarakat akan bahaya gerakan tanah seperti melakukan tindakan yang memicu terjadinya kelongsoran atau pergerakan tanah.

2.2 PERSOALAN TANAH

Secara garis besar beberapa persoalan tanah diklasifikasikan sebagai berikut :Hal keseimbangan atau stabilitas, untuk itu perlu diketahui mengenai :

- a. Beban / muatan yang bekerja pada tanah
- b. Besar dan distribusi tekanan akibat muatan terhadap tanah
- c. Perlawanan dari tanah.
 - Muatan yang bekerja pada tanah tergantung dari tipe / macam struktur dan berat tanah.
 - Tanah dianggap material yang isotropis, tekanan dapat dihitung secara analisa matematik.
 - Perlu adanya pengambilan contoh tanah untuk penyelidikan di laboratorium untuk mengetahui karakteristik / sifat tanah.

2. Deformasi, dapat dalam keadaan plastis atau elastis, sehubungan dengan hal tersebut, perlu diketahui :
 - a. Muatan yang bekerja (beban bekerja)
 - b. Besar dan distribusi tekanan yang berpengaruh
 - c. Besar dan perbedaan penurunan
3. Drainase, menyangkut hal deformasi dan stabilitas

2.3. PARAMETER TANAH

2.3.1. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Data tekanan *conus* (q_c) dan hambatan pelekat (f_s) yang didapatkan dari hasil pengujian sondir dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1:

Tabel 2.1. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
Qc	fs	
6,0	0,15 - 0,40	Humus, lempung sangat lunak
6,0 - 10,0	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20 - 0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0 - 30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10 - 0,40	Pasir lepas
	0,40 - 0,80	Lempung atau lempung kelanauan
	0,80 - 2,00	Lempung agak kenyal
30 - 60	1,50	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0 - 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60 - 150	1,0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 - 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150 - 300	1,0 - 2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar pasir, pasir kelanauan sangat padat

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)

Hubungan antara konsistensi terhadap tekanan *conus* dan *undrained cohesion* adalah sebanding dimana semakin tinggi nilai c dan q_c maka semakin keras tanah tersebut. Seperti yang terlihat dalam Tabel 2.2:

Tabel 2.2. Hubungan Antara Konsistensi Dengan Tekanan *Conus*

Konsistensi Tanah	Tekanan Konus q_c (kg/cm^2)	Undrained Cohesion (T/m^2)
Very Soft	< 2,50	< 1,25
Soft	2,50 – 5,0	1,25 – 2,50
Medium Stiff	5,0– 10,0	2,50 – 5,0
Stiff	10,0– 20,0	5,0 – 10,0
Very Stiff	20,0– 40,0	10,0 – 20,0
Hard	> 40,0	> 20,0

(Sumber : Begeman, 1965)

Begitu pula hubungan antara kepadatan dengan *relative density*, nilai N SPT, q_c dan ϕ adalah sebanding. Hal ini dapat dilihat dalam pada Tabel 2.3:

Tabel 2.3. Hubungan Antara Kepadatan, *Relative Density*, Nilai N SPT, q_c dan ϕ

Kepadatan	Relatif Density (γ_d)	Nilai N SPT	Tekanan Konus q_c (kg/cm^2)	Sudut Geser (ϕ)
Very Loose (sangat lepas)	< 0,2	< 4	< 20	< 30
Loose (lepas)	0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
Medium Dense (agak kompak)	0,4 – 0,6	10 – 30	40,0 – 120	35 – 40
Dense (kompak)	0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
Very Dense (sangat kompak)	0,8 – 1,0	> 50	> 200	> 45

(Sumber : Mayerhof, 1965)

2.3.2 Sistem Klasifikasi Tanah

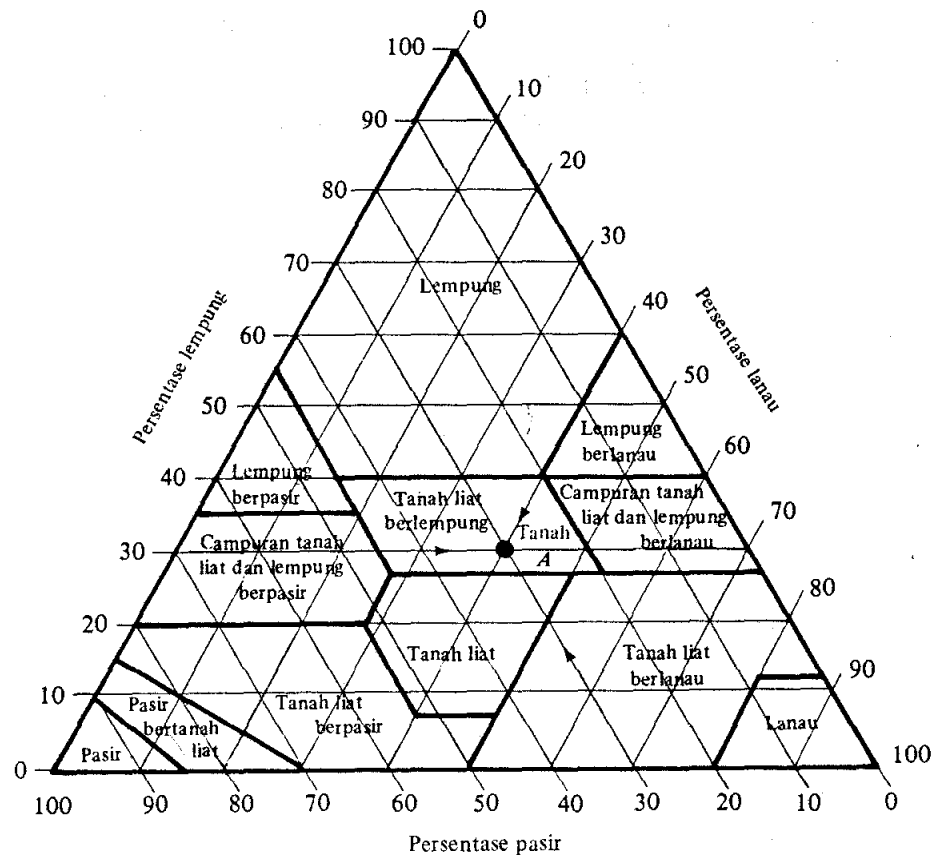
Sistem klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain:

- ✚ Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur.
- ✚ Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian.
 - Sistem Klasifikasi AASHTO
 - Sistem Klasifikasi UNIFIED

a. Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur

Pengaruh daripada ukuran tiap-tiap butir tanah yang ada didalam tanah tersebut merupakan pembentuk testur tanah. Tanah tersebut dibagi dalam beberapa kelompok berdasar ukuran butir-butirnya: pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*), kerikil (*gravel*). Departernen Pertanian AS telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi ukuran butir melalui prosentase pasir, lanau dan lempung yang digambar pada grafik segitiga Gambar 2.1.

Cara ini tidak memperhitungkan sifat plastisitas tanah yang disebabkan adanya kandungan (baik dalam segi jumlah dan jenis) mineral lempung yang terdapat pada tanah. Untuk dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah perlu memperhatikan jumlah dan jenis mineral lempung yang dikandungnya.



Gambar 2.1. Klasifikasi berdasar tekstur tanah oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA)

b. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan tekstur adalah relatif sederhana karena ia hanya didasarkan pada distribusi ukuran butiran tanah saja. Dalam kenyataannya, jumlah dan jenis dari mineral lempung yang dikandung oleh tanah sangat mempengaruhi sifat fisis tanah yang bersangkutan. Oleh karena itu, kiranya perlu memperhitungkan sifat plastisitas tanah, yang disebabkan adanya kandungan mineral lempung, agar dapat menafsirkan ciri-ciri suatu tanah.

- Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi tanah sistem AASHTO pada mulanya dikembangkan pada tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini mengklasifikasikan tanah kedalam delapan kelompok, A-1 sampai A-7. Setelah diadakan beberapa kali perbaikan, sistem ini dipakai oleh *The American*

Association of State Highway Officials (AASHTO) dalam tahun 1945. Bagan pengklasifikasian sistem ini dapat dilihat seperti pada Tabel 2.4. dan Tabel 2.5. di bawah ini.

Pengklasifikasian tanah dilakukan dengan cara memproses dari kiri ke kanan pada bagan tersebut sampai menemukan kelompok pertama yang data pengujian bagi tanah tersebut memenuhinya. Khusus untuk tanah-tanah yang mengandung bahan butir halus diidentifikasi lebih lanjut dengan indeks kelompoknya. Indeks kelompok didefinisikan dengan persamaan dibawah ini.

Tabel 2.4. 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 ayakan	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis Ayakan (% Lolos)							
No. 10	Maks 50						
No. 40	Maks 30	Maks 50	Min 51				
No.200	Maks 15	Maks 25	Maks 10	Maks35	Maks35	Maks35	Maks35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40			NP	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Batas Cair (LL)							
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6			Maks 10	Maks 10	Min 11	Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah kerikil pasir	Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau				
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

(Sumber : *MekanikaTanah Jilid 1, Braja M. Das*)

Tabel 2.5. Klasifikasi tanah sistem AASHTO

Klasifikasi Umum	Tanah Lanau-Lempung (lebih dari 35% au kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Analisis Ayakan (% Lolos) No. 10 No. 40 No.200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah Berlanau		Tanah Berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			

(Sumber : MekanikaTanah Jilid 1, Braja M. Das)

- **Klasifikasi Tanah Sistem UNIFIED**

Sistem ini pertama kali diperkenalkan oleh *Cassagrande* dalam tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan pembuatan lapangan ternagn yang dilaksanakan oleh *The Army Corps Engineers*. Sistem ini telah dipakai dengan sedikit modifikasi oleh *U.S. Bureau of Reclamation* dan *U.S Corps of Engineers* dalam tahun 1952. Dan pada tahun 1969 *American Society for Testing and Material* telah menjadikan sistem ini sebagai prosedur standar guna mengklasifikasikan tanah untuk tujuan rekayasa.

Sistem UNIFIED membagi tanah ke dalam dua kelompok utama:

- a. Tanah berbutir kasar → adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya tertahan pada ayakan No. 200. Tanah butir kasar terbagi atas kerikil dengan simbol G (*gravel*), dan pasir dengan simbol S (*sand*).
- b. Tanah butir halus → adalah tanah yang lebih dan 50% bahannya lewat pada saringan No. 200. Tanah butir halus terbagi atas lanau dengan simbol M (*silt*), lempung dengan simbol C (*clay*), serta lanau dan lempung organik dengan simbol O, bergantung pada tanah itu terletak pada grafik plastisitas. Tanda L untuk plastisitas rendah dan tanda H untuk plastisitas tinggi.

Adapun simbol-simbol lain yang digunakan dalam klasifikasi tanah ini adalah

:

W = *well graded* (tanah dengan gradasi baik)

P = *poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

L = *low plasticity* (plastisitas rendah) ($LL < 50$)

H = *high plasticity* (plastisitas tinggi) ($LL > 50$)

Untuk lebih jelasnya klasifikasi sistem UNIFIED dapat dilihat pada bagan Tabel 2.6. dan Tabel 2.7. dibawah ini.

Tabel 2.6. Klasifikasi tanah sistem UNIFIED

Divisi utama		Simbol kelompok	Nama umum			
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200 [†]	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan butiran halus	GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung		
			Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
					CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.				
	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)				
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi				
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi			

(Sumber : Mekanika Tanah Jilid 1, Braja M. Das)

Tabel 2.7. Klasifikasi tanah sistem UNIFIED

Kriteria klasifikasi		
Klasifikasi berdasarkan persentase Butir Halus Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200 Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_e = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3.	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$	
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_e = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$		

Bagan Plastisitas

Untuk klasifikasi tanah berbutir-halus dan fraksi halus dari tanah berbutir-kasar

Batas Atterberg yang digambarkan di bawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda

Persamaan garis A
 $PI = 0,73(LL - 20)$

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam
 ASTM Designation D-2488

(Sumber : MekanikaTanah Jilid 1, Braja M. Das)

2.3.3 Modulus Young

Nilai *modulus young* menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai Modulus Elastisitas (E_s) secara empiris

dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti terlihat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9 berikut :

Dengan menggunakan data sondir, booring 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 :

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

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

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

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

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

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

Tabel 2.8 Hubungan Antara E_s dengan q_c

Jenis Tanah	CPT (kg/cm ²)
Pasir terkonsolidasi normal	$E_s = (2 - 4) q_c$
Pasir over konsolidasi	$E_s = (6 - 30) q_c$
Pasir berlempung	$E_s = (3 - 6) q_c$
Pasir berlanau	$E_s = (1 - 2) q_c$
Lempung lunak	$E_s = (3 - 8) q_c$

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)

Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah menurut Bowles dapat dilihat pada Tabel 2.9 :

Tabel 2.9. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

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

(Sumber Bowles, 1997)

2.3.4 Poisson Ratio

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasar jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel 2.10 di bawah ini.

Tabel 2.10 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

Jenis Tanah	Poisson Ratio (μ)
Lempung jenuh	0,4 – 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 – 0,3
Lempung berpasir	0,2 – 0,3
Lanau	0,3 – 0,35
Pasir	0,1 – 1,0
Batuan	0,1 – 0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3 – 0,4

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)

2.3.5 Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah dengan *Direct Shear Test*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 2.11:

Tabel 2.11 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (θ)
Kerikil kepasiran	35° – 40°
Kerikil kerakal	35° – 40°
Pasir padat	35° – 40°
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	25° – 30°
Lempung	20° – 25°

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)

2.3.6 Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian *Direct Shear Test*. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (q_c) yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kohesi (c)} = q_c/20$$

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 1)

2.4. KEKUATAN GESER TANAH

Kekuatan geser tanah diperlukan untuk menghitung daya dukung tanah (*bearing capacity*), tegangan tanah terhadap dinding penahan (*earth pressure*) dan kestabilan lereng. Kekuatan geser tanah dalam tugas akhir ini pada ruas jalan Tol Semarang seksi A menggunakan 2 (dua) analisa yaitu *Direct Shear Test*. Kekuatan geser tanah terdiri dari dua parameter yaitu :

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

Kekuatan geser tanah tak jenuh dapat dihitung dengan rumus :

$$\tau_s = c + (\sigma - u) \tan \phi \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana :

- τ_s = Kekuatan geser
- σ = Tegangan total pada bidang geser
- u = Tegangan air pori
- c = Kohesi
- ϕ = Sudut geser

Kekuatan geser tanah jenuh dapat dihitung dengan rumus

$$\tau_s = \sigma' + u \dots\dots\dots 2.2$$

Pada tanah jenuh air, besarnya tegangan normal total pada sebuah titik adalah sama dengan jumlah tegangan efektif ditambah dengan tegangan air pori.

Dimana:

- τ_s = Kekuatan geser
- σ' = Tegangan efektif
- u = Tegangan air pori

2.5. 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 untuk pondasi dalam dapat dihitung berdasarkan beberapa teori yaitu:

Metode Mayerhoff

- Menentukan Daya Dukung Ujung Bawah Bored Pile

$$Q_e = A_p \cdot c \cdot N_c$$

dimana : Q_e = kapasitas daya dukung ujung bawah bored pile

A_p = luas penampang bored pile

c = kohesi

N_c = faktor daya dukung (didapat dari grafik bearing capacity factor)

(Sumber : Rekayasa Fundasi II, Gunadarma, Jakarta, 1997)

- **Menentukan Daya Dukung Akibat Gaya Adhesi**

$$Q_s = A_s \cdot X_m \cdot N$$

dimana :

Q_s = kapasitas daya dukung akibat gaya adhesi

A_s = luas selimut bored pile

X_m = koefisien Meyerhoff

N = nilai SPT rata – rata setelah dikoreksi

- $Q_{ult} = Q_e + Q_s$

Q_e = kapasitas daya dukung ujung bawah bored pile

Q_s = kapasitas daya dukung akibat gaya adhesi

Metode Schmertmen

- **Menentukan Tahanan Friksi (Q_f) :**

$$Q_f = (N_1 \cdot \Theta) \cdot \Sigma [(S_{fi} \cdot h_i)]$$

Dimana :

Q_f = tahanan friksi

N_1 = nilai N_{spt} dari grafik

Θ = diameter tiang

S_{fi} = nilai SF di dapat dari tabel menunjukkan nilai N dan SF

h_i = kedalaman tiang dari tabel

tabel yang menunjukkan *tipe-tipe lapisan tanah dengan besarnya nilai N dan SF* untuk masing-masing kedalaman. Secara lengkap dapat dilihat pada **tabel 2.12** di bawah ini.

kedalaman (m)	soil type	N	SF
0 - 1	Silty sand	10	$0,04N = 0,4$
1 - 3	Silty sand	13	$0,04N = 0,52$
3 - 4	Silty sand	50	$0,04N = 2,0$
4 - 6	Sand	41	$0,019N = 0,779$
6 - 7	Silty clay	4	$0,05N = 0,2$
7 - 9	Silty clay	20	$0,05N = 1,0$
9 - 10	Silty clay	23	$0,05N = 1,15$

- **Menentukan Tahanan Ujung (Qd) :**

$$Q_d = 0,05 \cdot N \cdot A_b$$

Dimana :

N = nilai N_{spt} setelah di rata-rata

A_b = diameter tiang

- **Menentukan Daya Dukung Ultimate (Q_{ult}) :**

$$Q_{ult} = Q_f + Q_d$$

Q_f = tahanan friksi

Q_d = tahanan ujung

Metode Japan Road Association

- **Menentukan Panjang Penetrasi :**

N₁ = N_{spt} ujung tiang

N₂ = N_{spt} rata-rata 4Θ ke atas

N rata-rata = N₁ + N₂

- **Menentukan Tahanan Ujung (Q_d) :**

$$q_D = 15 \cdot N$$

q_D = gaya tekan

N = nilai N_{spt} setelah di rata-rata

Q_d = q_D * Luas tiang

- **Menentukan Tahanan Friksi (Q_f) :**

$$Q_f = \pi \cdot D \cdot [(1 \cdot 1/5 \cdot N_1) + (1,5 \cdot 1/5 \cdot N_2) + (1,5 \cdot 1/5 \cdot N_3) + (1,5 \cdot 1/5 \cdot N_4) + (1,5 \cdot 1/5 \cdot N_5)]$$

Dimana :

Q_f = tahanan friksi

D = diameter tiang

N₁, N₂, N₃, N₄, N₅ = data N_{spt} dari grafik

- **Menentukan Daya Dukung Ultimate (Q_{ult}) :**

$$Q_{ult} = Q_d + Q_f$$

Dimana :

Q_d = tahanan ujung

Q_f = tahanan friksi

2.6. 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.

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

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

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 (Bishop's Method) dan Metode Fellinius.

2.6.1 Metode *Fellinius*

Analisis stabilitas lereng cara *Fellinius* (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 :

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

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

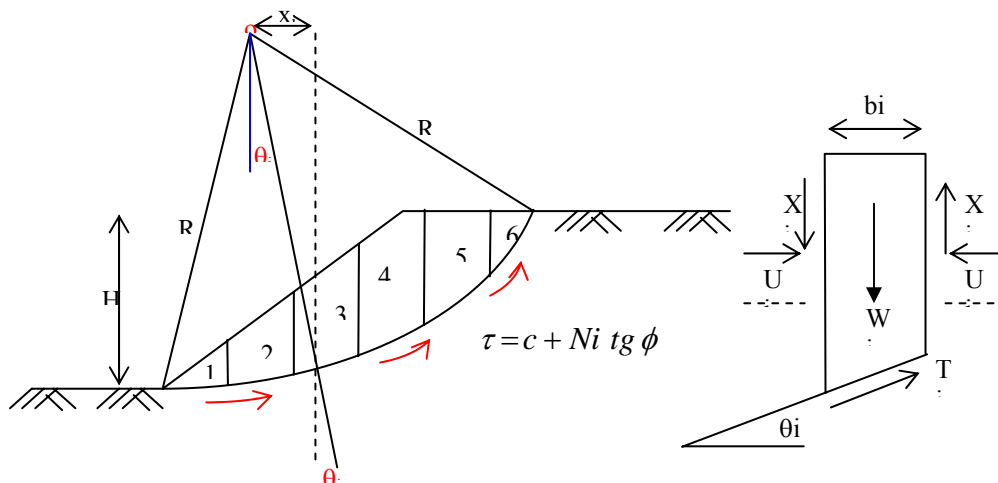
θ_i = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas

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

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

karena itu, faktor keamanannya menjadi :

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



Gambar 2.3. Gaya-gaya dan asumsi bidang pada tiap pias bidang longsor

(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 2)

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 factor 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 (Whitman dan Baily, 1967) cara ini telah banyak digunakan prakteknya. Karena cara hitungannya yang sederhana dan kesalahan yang terjadi pada sisi yang aman.

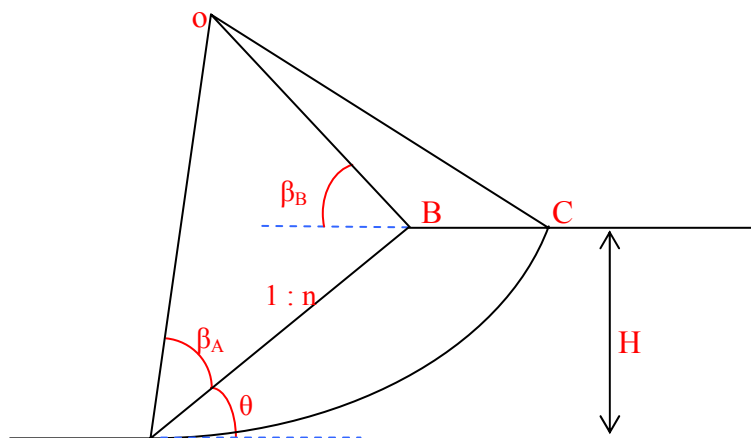
Tabel 2. 13 Hubungan Nilai Faktor Keamanan Lereng dan Intensitas Longsor

NO	NILAI FAKTOR KEAMANAN	KEJADIAN / INTENSITAS LONGSOR
1	F kurang dari 1,07	Longsor terjadi biasa/sering (lereng labil)
2	F antara 1,07 sampai 1,25	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
3	F diatas 1,25	Longsor jarang terjadi (lereng relatif stabil)

(Sumber : ZufaldiZakaria/GEOTEKNIK-D1F322)

□ **Menentukan Lokasi Titik Pusat Bidang Longsor**

Untuk memudahkan usaha *trial and error* terhadap stabilitas lereng maka titik-titik pusat bidang longsor yang berupa busur lingkaran harus ditentukan dahulu melalui suatu pendekatan. Fellenius memberikan petunjuk-petunjuk untuk menentukan lokasi titik pusat busur longsor kritis yang melalui tumit suatu lereng pada tanah kohesif (*c-soil*) seperti pada Tabel 2.13.



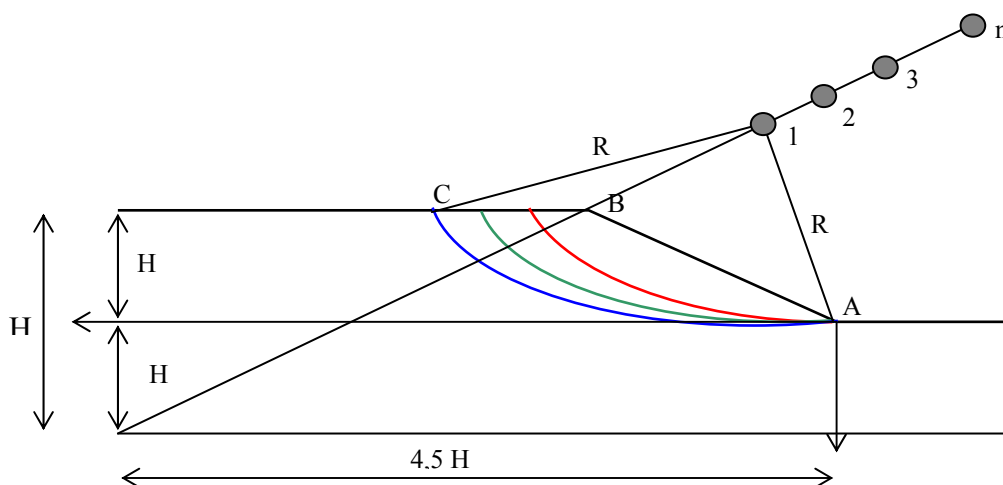
Gambar 2.4 Lokasi pusat busur longsor kritis pada tanah kohesif (*c-soil*)

Tabel 2.14. Sudut-sudut petunjuk menurut *Fellenius*

Lereng 1 : n	Sudut Lereng 'derajat'	Sudut – sudut petunjuk	
		β_a	β_a
$\sqrt{3} : 1$	60°	$\sim 29^\circ$	$\sim 40^\circ$
1 : 1	45°	$\sim 28^\circ$	$\sim 38^\circ$
1 : 1,5	$33^\circ 41'$	$\sim 26^\circ$	$\sim 35^\circ$
1 : 2	$25^\circ 34'$	$\sim 25^\circ$	$\sim 35^\circ$
1 : 3	$18^\circ 26'$	$\sim 25^\circ$	$\sim 35^\circ$
1 : 5	$11^\circ 19'$	$\sim 25^\circ$	$\sim 37^\circ$

Pada tanah $\phi - c$ untuk menentukan letak titik pusat busur lingkaran sebagai bidang longsor yang melalui tumit lereng dilakukan secara coba-coba dimulai dengan bantuan sudut-sudut petunjuk dari Fellenius untuk tanah kohesif ($\phi = 0$)

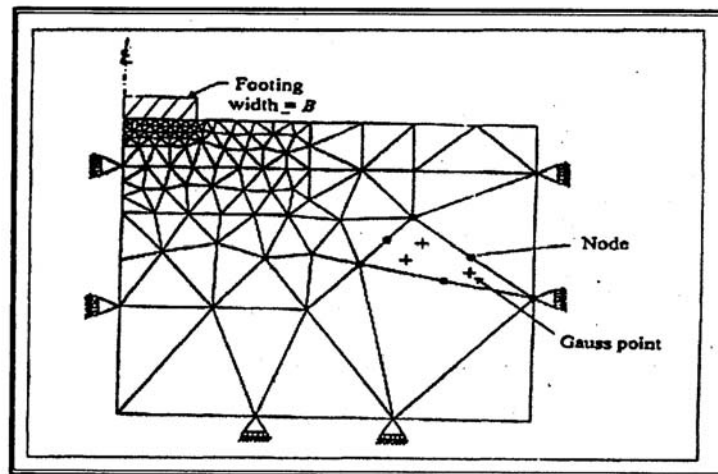
Grafik Fellenius menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai sudut geser (ϕ) maka titik pusat busur longsor akan bergerak naik dari O_0 yang merupakan titik pusat busur longsor tanah c ($\phi = 0$) sepanjang garis $O_0 - K$ yaitu $O_1, O_2, O_3, \dots, O_n$. Titik K merupakan koordinat pendekatan dimana $X = 4,5H$ dan $Z = 2H$, dan pada sepanjang garis $O_0 - K$ inilah diperkirakan terletak titik-titik pusat busur longsor. Dan dari busur-busur longsor tersebut dianalisa masing-masing angka keamanannya untuk memperoleh nilai n yang paling minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis.



Gambar 2.5 Posisi titik pusat busur longsor pada garis Oo-k

2.6.2 Metode Elemen Hingga

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 menghindari kesalahan pada hasil akhirnya

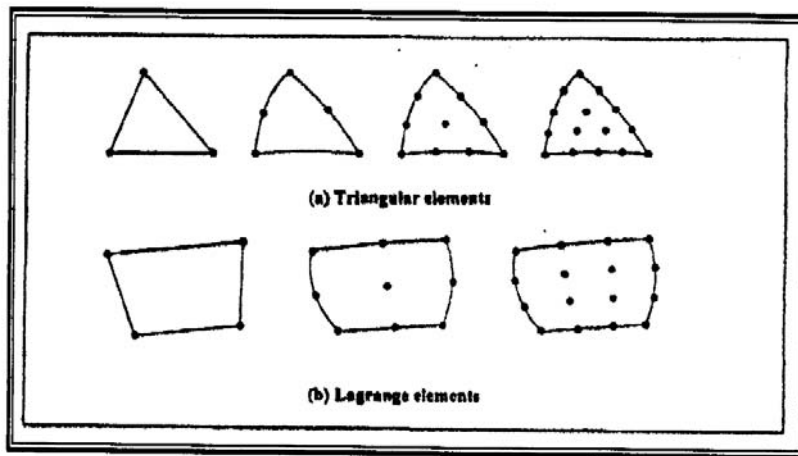


Gambar 2.6. Contoh jaring – jaring dari Elemen Hingga

Jaring (*mesh*) terdiri dari elemen – elemen yang dihubungkan oleh node. Node merupakan titik – titik pada jarring dimana nilai dari variable primernya dihitung. Misal untuk analisa *displacement*, nilai variable primernya adalah nilai dari *displacement*. Nilai – nilai nodal *displacement* diinterpolasikan pada elemen agar didapatkan persamaan aljabar untuk *displacement*, dan regangan, melalui jaring – jaring yang terbentuk.

2.6.2.1 Elemen Untuk Analisa Dua Dimensi

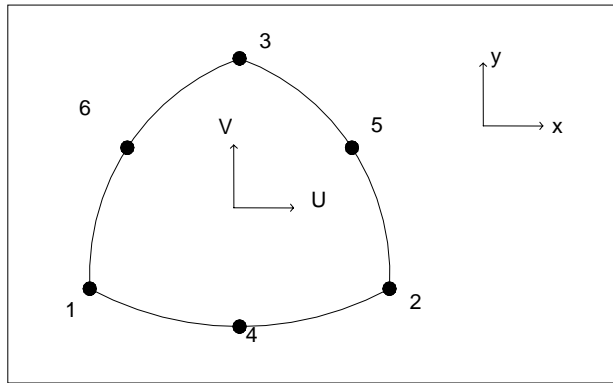
Analisa dua dimensi pada umumnya merupakan analisa yang menggunakan elemen *triangular* atau *quadrilateral* (gambar 2.10). Bentuk umum dari elemen – elemen tersebut berdasarkan pada pendekatan *Iso-Parametric* dimana fungsi interpolasi *polynomial* dipakai untuk menunjukkan *displacement* pada elemen.



Gambar 2.7. Elemen – elemen *Triangular* dan *Lagrange*

2.6.2.2. Interpolasi Displacement

Nilai – nilai nodal *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. 8. Elemen dan *Six – noded Triangular*

Anggap sebuah elemen seperti gambar 2.8. U dan V adalah *displacement* pada sebuah titik di elemen pada arah x dan y. Displacement ini didapatkan dengan menginterpolasikan displacement pada nodes dengan menggunakan persamaan polynominal:

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

$$V(x,y) = b_0 + b_1x + b_2y^2 + b_3y^2 + b_4xy + b_5y$$

Konstanta a_1, a_2, \dots, a_5 dan b_1, b_2, \dots, b_5 tergantung pada nilai nodal *displacement*.

Jika jumlah *nodes* yang menjabarkan elemen bertambah maka fungsi interpolasi untuk *polynomial* yang juga akan bertambah.

2.7. FAKTOR – FAKTOR PENYEBAB KELONGSORAN

2.7.1 Faktor Penyebab Dari Dalam

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 longsoran, 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.
Seperti retakan batuan, adanya patahan, perlapisan miring batuan atau pada batas lapisan batuan yang lolos aliran yang ke atas air.

2.7.2. Faktor Penyebab Dari Luar

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.
 - a. Adanya pembebanan tambahan
Aktivitas manusia seperti pembuatan bangunan pada sekitar tebing dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah.
 - b. Hilangnya penguat lereng
Kejadian ini terjadi seperti lereng-lereng yang menjadi curam akibat pengikisan sungai, penambangan material tanah/batuan, dll.
 - c. 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.

- d. Penataan lahan yang kurang tepat, seperti pembukaan areal pemukiman. Hal ini jika berlangsung dalam kurun waktu yang lama dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah terutama pada daerah yang mempunyai kemiringan tinggi.

2.7.3. Pengaruh Iklim

Perubahan temperatur, fluktuasi muka air tanah musiman, gaya gravitasi dan relaksasi tegangan sejajar permukaan ditambah dengan proses oksidasi dan dekomposisi akan mengakibatkan suatu lapisan tanah kohesif yang secara lambat laun tereduksi kekuatannya, terutama nilai kohesi c dan sudut geser dalam ϕ .

Pada tanah non kohesif misalnya lapisan pasir, bila terjadi getaran gempa, mesin atau sumber getaran lainnya akan mengakibatkan lapisan tanah tersebut ikut bergetar sehingga pori-pori lapisan akan terisi oleh air atau udara yang akan meningkatkan tekanan dalam pori. Tekanan pori yang meningkat dengan spontan dan sangat besar ini akan menyebabkan terjadinya likuifikasi atau pencairan lapisan pasir sehingga kekuatannya hilang.

2.7.4. Pengaruh Air

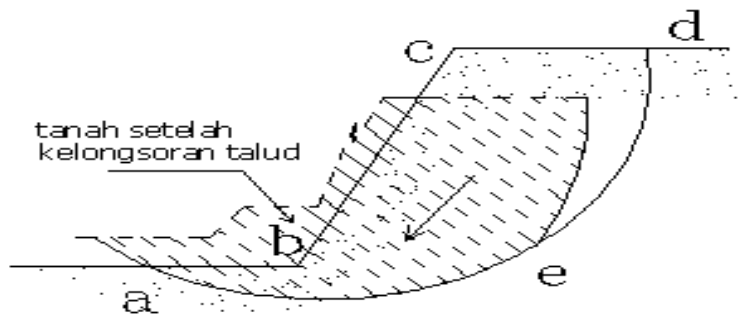
Keberadaan air dapat dikatakan sebagai faktor dominan penyebab terjadinya kelongsoran, karena hampir sebagian besar kasus kelongsoran melibatkan air di dalamnya.

- ❖ Tekanan air pori memiliki nilai besar sebagai tenaga pendorong terjadinya kelongsoran, semakin besar tekanan air semakin tenaga pendorong.
- ❖ Penyerapan maupun konsentrasi air dalam lapisan tanah kohesif dapat melunakkan lapisan tanah tersebut yang pada akhirnya mereduksi nilai kohesi dan sudut geser dalam sehingga kekuatannya berkurang.

- ❖ Aliran air dapat menyebabkan erosi yaitu pengikisan lapisan oleh aliran air, sehingga keseimbangan lereng menjadi terganggu.

2.8. STABILITAS LERENG (SLOPE STABILITY)

Permukaan tanah yang tidak datar, yaitu memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horisontal dapat menyebabkan komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan bergerak ke arah bawah. Bila komponen berat tanah tersebut cukup besar kelongsoran tanah dapat terjadi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.9**, yaitu tanah dalam zona a, b, c, d, e dapat tergelincir. Dengan kata lain, gaya dorong (*driving force*) melampaui gaya yang berlawanan dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor. (*Braja M. Das, Mekanika Tanah*)

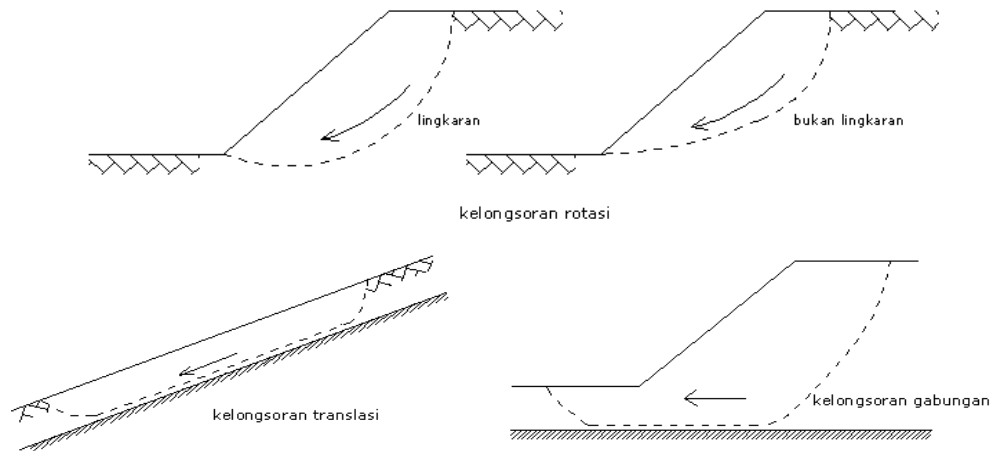


Gambar 2.9 Kelongsoran talud

Dalam setiap kasus, tanah yang tidak datar akan menghasilkan komponen gravitasi dari berat yang cenderung menggerakkan masa tanah dari elevasi yang lebih tinggi ke elevasi yang lebih rendah. Rembesan dapat merupakan pertimbangan yang penting dalam Bergeraknya tanah apabila terdapat air. Gaya – gaya gempa kadang – kadang juga penting dalam analisa stabilitas. Beberapa gaya ini menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja. (*Joseph E. Bowles, Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*)

Tipe keruntuhan lereng yang paling penting ditunjukkan pada **Gambar 2.10**. Dalam kelongsoran rotasi (*rotational slip*) bentuk permukaan runtuh pada potongannya dapat berupa busur lingkaran atau kurva bukan lingkaran. Pada umumnya, kelongsoran lingkaran berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen dan longsor bukan

lingkaran berhubungan dengan kondisi tidak homogen. Kelongsoran translasi (*translational slip*) dan kelongsoran gabungan (*compound slip*) terjadi bila bentuk permukaan runtuh dipengaruhi oleh adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan. (R.F.Craig, *Mekanika Tanah*)



Gambar 2.10 Tipe-tipe keruntuhan lereng

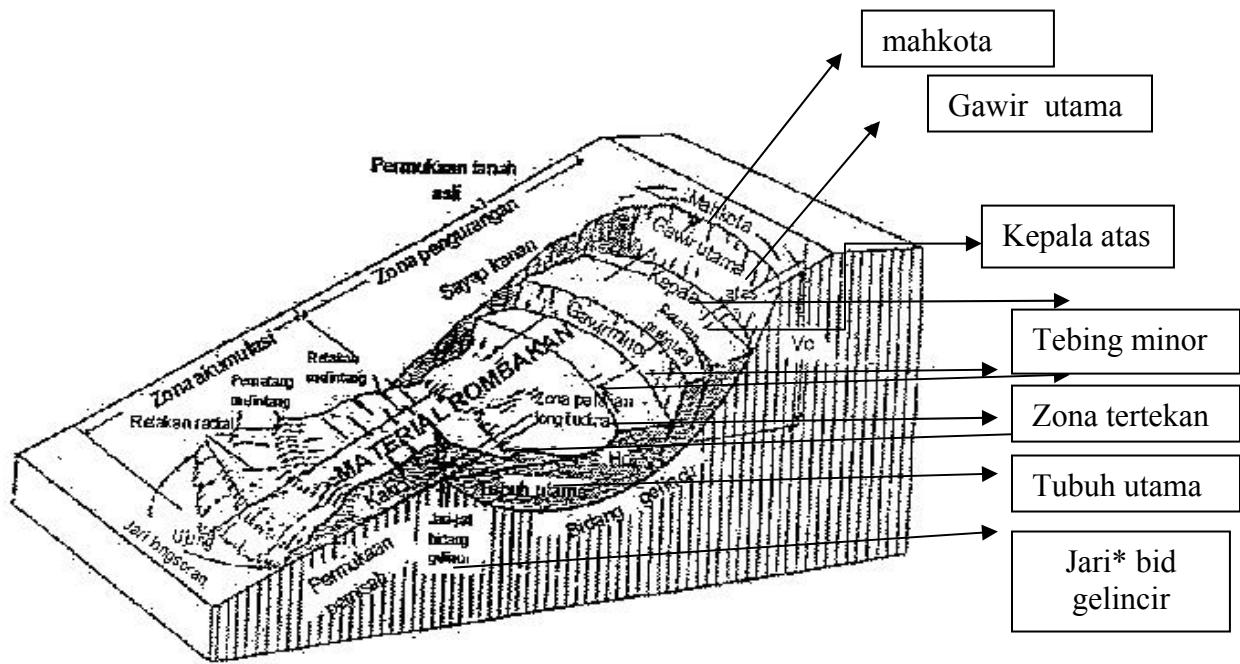
Bagian-bagian longsor menurut Varnes, 1978 dalam Karnawati, 2001 ditunjukkan sebagai berikut :

Tabel 2. 15 Bagian-bagian longsor

No.	Nama	Definisi
1.	Mahkota longsor	Daerah yang tidak bergerak dan berdekatan dengan bagian tertinggi dari tebing utama longsor (<i>main scrap</i>).
2.	Tebing utama longsor (<i>main scrap</i>)	Permukaan lereng yang curam pada tanah yang tidak terganggu dan terletak pada bagian atas dari longsor.
3.	Puncak longsor (<i>top</i>)	Titik tertinggi terletak di antara kontak material yang bergerak / pindah (<i>displaced material</i>) dengan tebing utama longsor (<i>main scrap</i>).

4.	Kepala longsor (<i>head</i>)	Bagian atas dari longsor sepanjang kontak antara material yang bergerak / pindah (<i>displaced material</i>) dengan tebing utama longsor (<i>main scarp</i>).
5.	Tebing minor (<i>minor scarp</i>)	Permukaan yang curam pada material yang bergerak / pindah (<i>displaced material</i>) dengan tebing utama longsor (<i>main scarp</i>).
6.	Tubuh utama (<i>main scarp</i>)	Bagian longsor pada material yang bergerak / pindah (<i>displaced material</i>) yang merupakan bidang kontak antara bidang gelincir (<i>surface of rupture</i>), tebing utama longsor dan jari permukaan / bidang gelincir.
7.	Kaki longsor (<i>foot</i>)	Bagian dari longsor yang bergerak mulai dari jari bidang gelincir dan bersentuhan dengan permukaan tanah asli.
8.	Ujung longsor (<i>tip</i>)	Titik pada jari kaki longsor yang letaknya paling jauh dari puncak longsor (<i>top</i>).
9.	Jari kaki longsor (<i>toe</i>)	Bagian paling bawah longsor yang biasanya berbentuk lengkung (kurva) yang berasal dari material longsor yang bergerak / berpindah (<i>displaced material</i>) letaknya paling jauh dari tebing
10.	Permukaan / bidang gelincir (<i>surface of rupture</i>)	Permukaan yang dibentuk oleh batas bawah material yang bergerak / pindah di bawah permukaan tanah asli.
11.	Jari dari permukaan / bidang gelincir (<i>toe of surface of rupture</i>)	Bidang kontak antara bagian bawah dari permukaan / bidang gelincir longsor dengan tanah asli.
12.	Permukaan pemisah (<i>surface of separation</i>) Material yang	Bagian dari permukaan tanah asli yang bersentuhan dengan kaki longsor. Material yang bergerak dari

	bergerak / pindah (<i>displaced material</i>)	posisi asli yang digerakkan oleh longsor yang dibentuk oleh massa yang tertekan (<i>depleted mass</i>) dan akumulasi massa (<i>accumulation</i>).
13.	Daerah yang tertekan (<i>zone of depletion</i>)	Daerah longsor yang terdapat di dalam material yang bergerak / pindah (<i>displaced material</i>) dan terletak di bawah permukaan tanah asli (<i>original ground surface</i>)
14.	Daerah akumulasi (<i>zone of accumulation</i>)	Daerah longsor yang terdapat terdapat di dalam material yang bergerak / pindah (<i>displaced material</i>) dan terletak di bawah permukaan tanah asli (<i>original ground surface</i>).
15.	Penekanan (<i>depletion</i>)	Volume yang terbentuk oleh tebing utama longsor (<i>main scrap</i>), massa yang tertekan (<i>depleted mass</i>) dan permukaan tanah asli.
16.	Massa yang tertekan (<i>depleted mass</i>)	Volume dari material yang bergerak / pindah (<i>displaced material</i>) yang bersentuhan dengan permukaan / bidang gelincir tetapi berada di bawah permukaan tanah asli.
17.	Akumulasi (<i>accumulation</i>)	Volume dari material yang bergerak / pindah (<i>displaced material</i>) yang terletak di atas permukaan tanah asli.
18.	Sayap (<i>flange</i>)	Material yang tidak mengalami pergerakan yang berdekatan dengan sisi samping permukaan / bidang gelincir.
19.	Permukaan tanah asli (<i>original ground surface</i>)	Permukaan lereng sebelum terjadi longsor.



Gambar 2.11 Bagian-bagian longsoran

Sumber : *Varnes, 1978 dalam Karnawati, 2001*