

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 :

1. 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
q_c	f_s	
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 Korus 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:

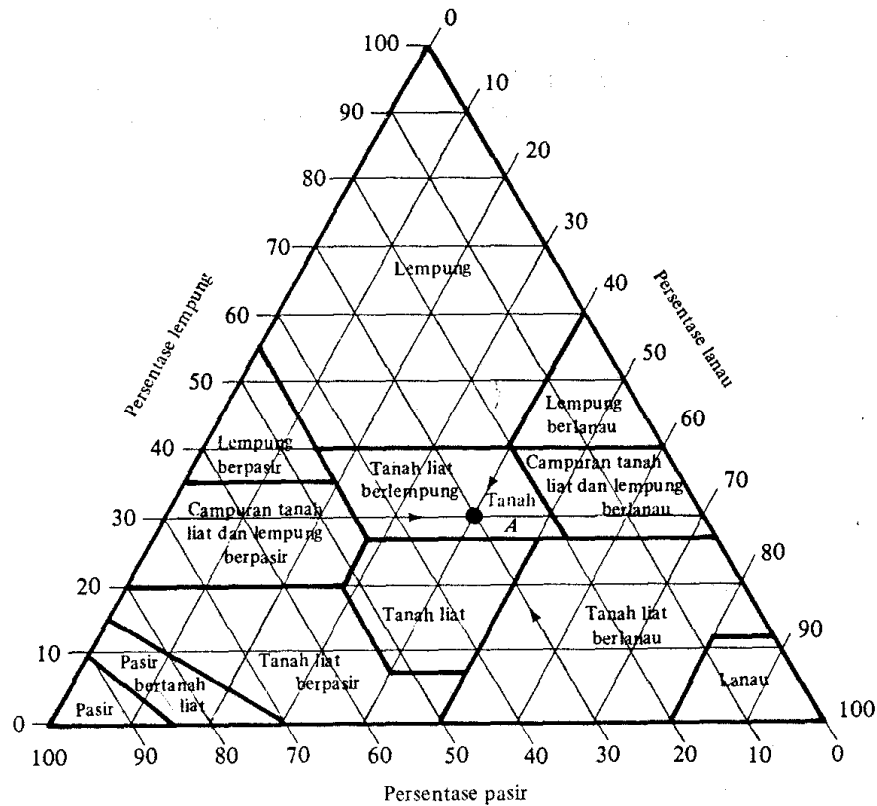
- ✚ Klasifikasi Tanah Berdasar Tekstur.
- ✚ Klasifikasi Tanah Berdasarkan Pemakaian.
 - Sistem Klasifikasi AASHTO
 - Sistem Klasifikasi UNIFIED

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*). Departemen 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.



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

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	Maks 35	Maks35	Maks35	Maks35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40			II.1.1.1				
Batas Cair (LL)			NP	Maks 40	Min 41	Maks 40	Min 41
Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6			Maks 10	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 : *Mekanika Tanah 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 dari 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 dari 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 (banyak 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
		Pasir dengan butiran halus	SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung 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 : Mekanika Tanah 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 (ϕ)
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:

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

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 Kalibodri – Kendal 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 dapat dihitung berdasarkan teori Terzaghi :

- Daya dukung tanah untuk pondasi lajur

$$q_{ult} = c \times Nc + \gamma \times D \times Nq + \frac{1}{2} \times \gamma \times B \times N\gamma \dots\dots\dots 2.2$$

- Daya dukung tanah untuk pondasi bujur sangkar

$$q_{ult} = 1.3 \times c \times Nc + \gamma \times D \times Nq \dots\dots\dots 2.3$$

- Daya dukung untuk tanah jenuh

Apabila permukaan tanah terletak pada jarak D di atas dasar Pondasi.

- $q_{ult} = \gamma (D_f - D) + \gamma' D \dots\dots\dots 2.4$

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

Dimana :

$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w =$ Berat volume efektif dari tanah

D = Kedalaman pondasi

B = Lebar pondasi

γ = Berat isi tanah

$Nc, Nq, N\gamma =$ Faktor daya dukung yang tergantung pada sudut Geser

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.

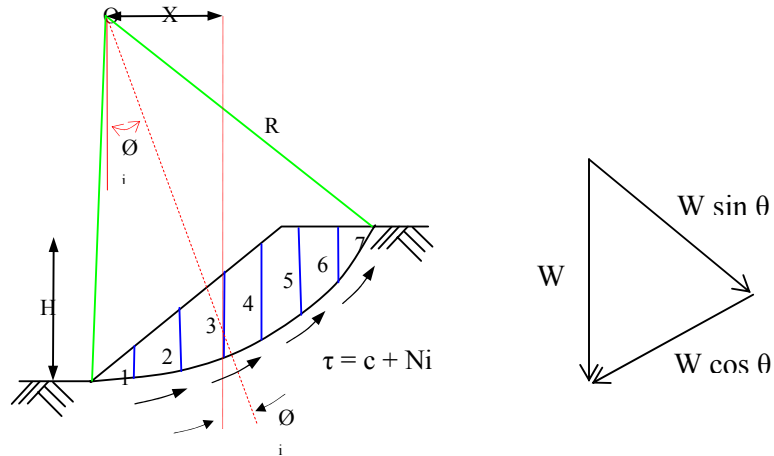
Adapun maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Dalam laporan tugas akhir ini, dasar – dasar teori yang dipakai untuk menyelesaikan masalah tentang stabilitas longsor dan daya dukung tanah menggunakan teori metode irisan (Method of Slice), metode Bishop (Bishop's Method) dan Metode Fellinius.

2.6.1 Metode 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_l) dan gaya normal efektif (E_r dan E_l) disepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya geser efektif (T_l) dan resultan gaya normal efektif (N_l) yang bekerja disepanjang dasar irisannya. Pada irisannya, tekanan air pori U_l dan U_r

bekerja di kedua sisinya, dan tekanan air pori U_i bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui sebelumnya.



Gambar 2.2. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan bidang longsor

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

2.6.2 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 oleh:

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

Dimana :

- Fk = Faktor Keamanan
- C' = Kohesi tanah efektif
- θ' = Sudut geser dalam tanah efektif
- b_i = Lebar irisan ke – i
- W_i = Berat irisan tanah ke – i
- θ_i = Sudut yang diasumsikan (didefinisikan) dalam
- 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

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

Persamaan faktor amana Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode lainya seperti metode Fellinius. Lagi pula membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), karena nilai faktor aman F 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 (1955), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode Fellinius lebih mudah, metode Bishop (1995) 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 longornya 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 kedudukanya 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.

2.6.3 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 longornya. Faktor keamanan didefinisikan sebagai :

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

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

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

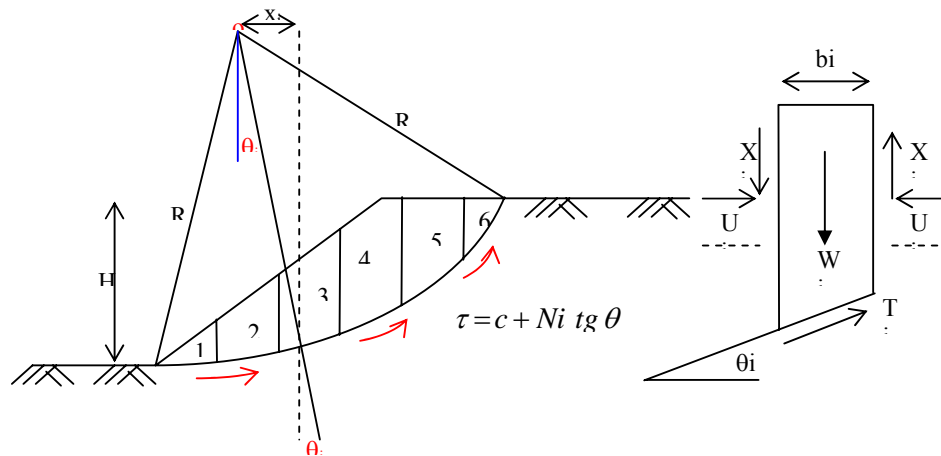
θ_i = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas

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 :

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



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

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

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.

$$Fk = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + (Wi \cos \theta_i - u_i a_i) \text{tg } \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} Wi \sin \theta_i}$$

Dimana :

- Fk = faktor kemanan
- 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.

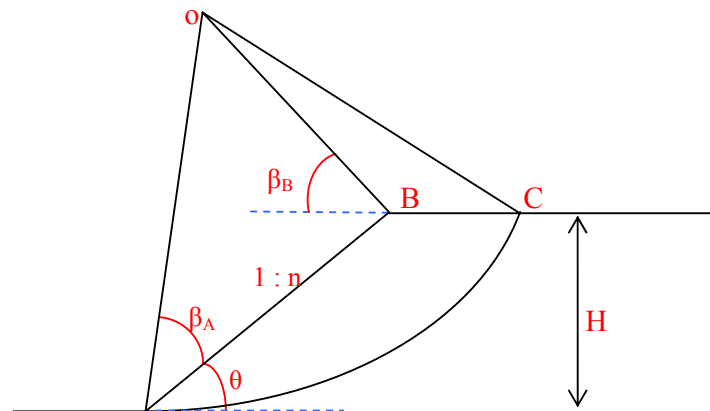
Jika terdapat gaya-gaya selain berat lereng tanahnya sendiri, seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d .

Metode Fellenius memberikan faktor aman yang relatif lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas-batas nilai kesalah;ahan 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.

□ 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.



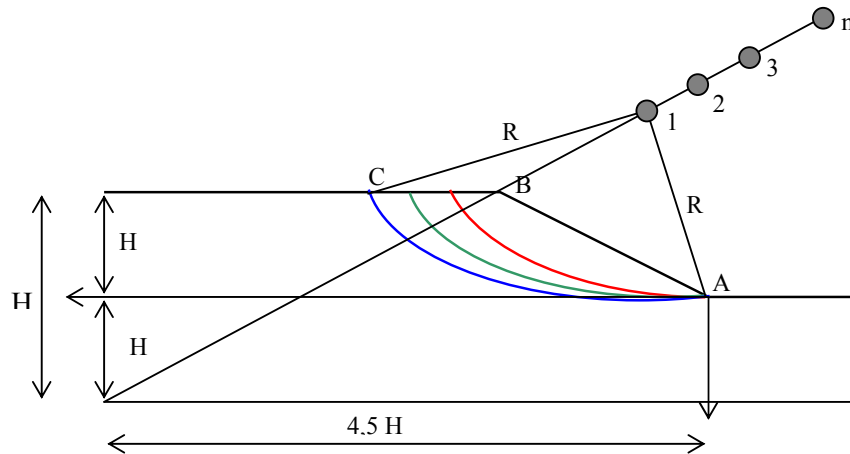
Gambar 2.4 Lokasi pusat busur longsor kritis pada tanah kohesif (*c-soil*)

Tabel 2.12. Sudut-sudut petunjuk menurut *Fellenius*

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

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 ($\phi = 0$)

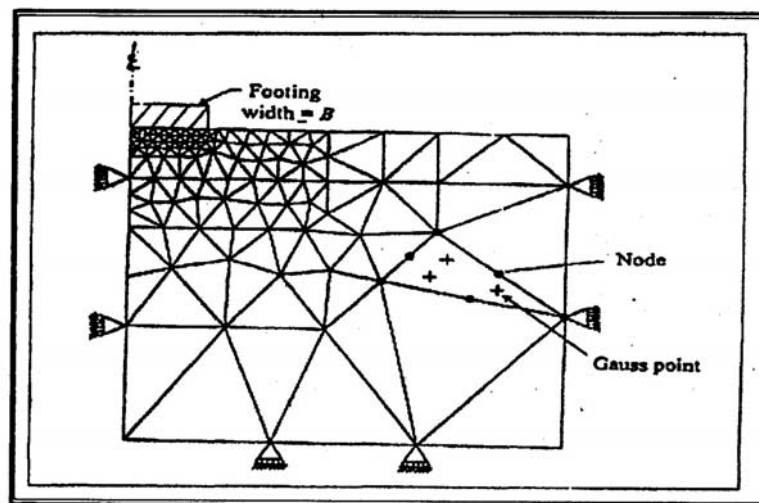
Grafik Fellenius menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai sudut geser (ϕ) maka titik pusat busur longsor akan bergerak naik dari O_0 yang merupakan titik pusat busur longsor tanah c ($\phi = 0$) sepanjang garis $O_0 - K$ yaitu $O_1, O_2, O_3, \dots, O_n$. Titik K merupakan koordinat pendekatan dimana $X = 4,5H$ 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

2.6.4 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

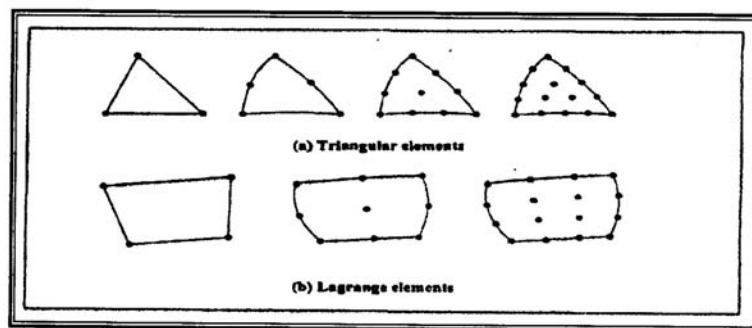


Gambar 2.6. Contoh jaring – jaring dari Elemen Hingga

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 jarring – jarring yang terbentuk.

2.6.4.1. Elemen Untuk Analisa Dua Dimensi

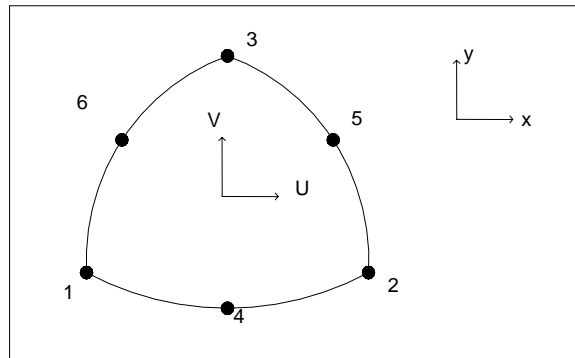
Analisa dua dimensi pada umumnya merupakan analisa yang menggunakan elemen *triangular* atau *quadrilateral* (gambar 2.10). Bentuk umum dari elemen – elemen tersebut berdasarkan pada pendekatan *Iso-Parametric* dimana fungsi interpolasi *polynomial* dipakai untuk menunjukkan *displacement* pada elemen.



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

2.6.4.2. 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.

2.6.5 METODE ANALISIS

Plaxis adalah sebuah paket program yang disusun berdasarkan metode elemen hingga yang telah dikembangkan secara khusus untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas dalam bidang rekayasa geoteknik. Prosedur pembuatan model secara grafis yang mudah memungkinkan pembuatan suatu model elemen hingga yang rumit dapat dilakukan dengan cepat, sedangkan berbagai fasilitas yang tersedia dapat digunakan untuk menampilkan hasil komputansi secara mendetil. Proses perhitungannya sendiri

sepenuhnya berjalan secara otomatis dan didasarkan pada prosedur numerik yang handal.

Dalam penelitian ini data yang dibutuhkan mengenai nilai-nilai parameter pada tanah lempung yang didapat dari hasil penyelidikan tanah dan dalam hal ini tanah yang akan dianalisa adalah tanah di Kali Bodri yang digunakan sebagai input, adapun prosedur dari program PLAXIS V. 8.2 antara lain sebagai berikut:

1. Menentukan title (judul), model dan elemen pada kotak serta menuliskan perintah/ tujuan yang akan dipakai.
2. Menentukan dimensi tanah dari kasus yang akan dipelajari yaitu panjang kekiri ke kanan, keatas dan kebawah.
3. Merangkai bentuk dimensi dari tanah tadi kemudian diberi beban.
4. Menentukan nilai parameter tanah dengan menekan tombol material sets antara lain γ_{dry} , γ_{wet} , *cohesi*, *poisson rasio* dan sebagainya.

Prosedur selanjutnya dapat dipahami lebih lanjut dan jelas lagi pada literatur yang kami dapat dari program PLAXIS V. 8.2 itu sendiri.

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 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.
Seperti retakan batuan, adanya patahan, perlapisan miring batuan atau pada batas lapisan batuan yang lolos air an yang kedap 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 tambahn
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 kekuatan gesernya, terutama nilai kohesi c dan sudut geser dalamnya 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 kekuatan gesernya 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 kekuatan gesernya berkurang.
- ❖ Aliran air dapat menyebabkan erosi yaitu pengikisan lapisan oleh aliran air, sehingga keseimbangan lereng menjadi terganggu.