

## **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. Stabilitas tanah, untuk menganalisa stabilitas tanah 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 diuji 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 beban yang bekerja pada tanah
  - c. Besar dan perbedaan penurunan
3. Kadar air tanah

### **2.3. PENYELIDIKAN LAPANGAN AWAL**

Tujuan utama dari penyelidikan awal adalah untuk mengidentifikasi jenis tanah yang dihadapi dan mendapatkan informasi akan luasnya areal endapan tanah lunak, sehingga penyelidikan detail dapat dirancang atau direncanakan dengan biaya lebih ekonomis. Penyondiran dan pemboran dengan interval yang lebar dan pengambilan contoh tanah seperlunya harus dilakukan untuk mendapatkan informasi-informasi penting yang meliputi:

- luasan areal dari tanah lunak,
- kedalaman atau ketebalan lapisan lunak,
- konsistensi tanah lunak,
- jenis tanah lunak,
- profil tanah.

Informasi-informasi ini diperlukan untuk membagi areal menjadi zona-zona tanah yang memiliki sifat-sifat yang relatif sama, mengetahui konsistensi serta kedalaman dari tanah lunak, sehingga rencana detail pemboran dan pengambilan contoh tanah dapat direncanakan dengan baik sebelum penyelidikan lapangan utama dilaksanakan.

Sebuah penyelidikan awal biasanya meliputi:

- uji sondir dengan interval 500m,
- satu titik pemboran pada lokasi penyeberangan sungai.

Hasil dari penyelidikan awal ini harus dilaporkan dalam sebuah Laporan Faktual. Sebuah laporan interpretasi juga harus dibuat yang pada laporan tersebut dilakukan penyesuaian dan pembaruan dari Sistem Zona yang telah dibuat sebelumnya.

## **2.4. PENYELIDIKAN UTAMA**

Untuk daerah dari rute jalan yang dari hasil studi literatur atau penyelidikan awal mengindikasikan bahwa lokasi tersebut merupakan atau dijumpai endapan tanah lunak, maka penyelidikan di daerah tersebut harus dilakukan menurut petunjuk yang diberikan dalam Panduan Geoteknik ini. Tujuan dari penyelidikan utama ini harus dirumuskan dan mengikuti Tujuan Proyek yang dibuat oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk. Umumnya, tujuan dari penyelidikan utama ini adalah untuk mendapatkan informasi yang akurat untuk menghasilkan suatu desain timbunan jalan dengan metode pelaksanaan yang ekonomis dan aman.

### **2.4.1. Kuantitas dan Kualitas Penyelidikan Lapangan**

Metode-metode yang umumnya digunakan dalam penyelidikan lapangan di Indonesia adalah:

- pendugaan,
- sumur uji,
- pemboran,
- uji lapangan langsung.

Uraian lengkap dari metode-metode ini dan keuntungan serta kelemahannya masing-masing jika diterapkan pada tanah lunak.

Pemilihan terhadap metode yang akan digunakan bergantung pada kelas jalan dan keadaan tanah lunak. Tabel 2.1 berikut mengidentifikasi tingkatan penyelidikan yang diperlukan berdasarkan kelas jalan yang ada. Seorang Ahli Geoteknik yang ditunjuk bebas untuk memilih tingkatan penyelidikan yang berbeda dengan yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini, asalkan alasan melakukan hal tersebut dilaporkan dalam Laporan Desain.

Tabel 2.1 Tingkatan Penyelidikan Lapangan yang Diusulkan untuk Berbagai Kelas Jalan

<b>Tingkatan Penyelidikan</b>	<b>Tipe/Metode dari Penyelidikan</b>	<b>Kelas Jalan</b>
Tingkat A	Lapangan: Pemboran Piezocone Pengambilan Contoh Tanah dengan Piston Uji Baling-baling	Arteri Utama  Kolektor Utama
	Laboratorium: Triaksial Sel Rowe Pengujian Indeks	
Tingkat B	Lapangan: Pemboran Sondir Tabung Shelby Uji Baling-baling	Arteri Sekunder  Kolektor Sekunder
	Laboratorium: Uji Baling-baling Uji UCS Pengujian Indeks Konsolidasi Oedometer	
Tingkat C	Lapangan: Bor Tangan Sondir	Lokal Sekunder
	Laboratorium: Pengujian Indeks	

(Sumber : Panduan Geoteknik 4, 2001)

### **2.4.2. Lokasi dari Titik Penyelidikan**

Titik penyelidikan meliputi setiap lokasi dimana informasi detail akan kondisi tanah bawah permukaan dibutuhkan pada kedalaman yang disyaratkan. Pada umumnya terdiri dari lubang bor, titik sondir, sumur uji, atau pengujian langsung lainnya di lapangan. Titik penyelidikan harus dilakukan sedemikian rupa sehingga gambaran geologi umum dari lokasi secara keseluruhan dan detail sifat teknik dari tanah bawah permukaan dapat diperoleh secukupnya.

Timbunan di dekat jembatan, atau pada lokasi dengan tingkat kesulitan atau kondisi bawah permukaan cukup rumit juga perlu diselidiki. Lokasi titik-titik penyelidikan harus ditetapkan dengan mengacu pada garis sumbu dari jalan raya yang direncanakan, sehingga variasi lateral dari tanah dapat ditampakkan.

### **2.4.3. Jarak Titik Penyelidikan**

Penyondiran dengan jarak antara sebesar 50 m dapat dilakukan kecuali Ahli Geoteknik yang Ditunjuk mempunyai alasan tersendiri yang dapat diterima dengan memilih jarak antara yang lebih rapat atau lebih panjang. Pada daerah transisi antara tanah lunak dan tanah keras, maka jarak antara titik sondir dapat diperkecil menjadi 25m sehingga daerah perbatasannya dapat ditentukan lebih akurat.

### **2.4.4. Kedalaman Titik Penyelidikan**

Untuk timbunan, kedalaman titik penyelidikan ditentukan berdasarkan kedalaman bidang runtuh yang mungkin, untuk menilai besarnya penurunan yang akan terjadi sebagai akibat adanya lapisan yang kompresibel. Kedalaman minimum harus mencapai 5m di bawah dasar lapisan tanah lunak atau hingga mencapai batas kemampuan alat sondir jika kurang. Jika pemancangan merupakan salah satu pilihan yang dipertimbangkan, maka kedalaman dari titik penyelidikan harus mencapai 5m di bawah kedalaman dari perkiraan kedalaman ujung tiang yang dipancang. Jika tak ada perkiraan mengenai hal tersebut, maka titik bor harus mencapai 20m masuk ke dalam lapisan yang terletak di bawah lapisan tanah lunak.

Jika kedalaman penyelidikan kemudian diketahui ternyata kurang dari 5m di bawah elevasi ujung tiang yang didesain dan bukan pada lapisan batuan keras (*bedrock*), maka penyelidikan tambahan harus dilaksanakan pada kedalaman tersebut.

### **2.4.5. Lokasi Pengambilan Contoh Tanah**

Tipe dan lokasi dari pengambilan contoh tanah harus ditentukan sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi persyaratan dari pengujian laboratorium.

### **2.4.6 Metode Pengambilan Contoh Tanah**

Tujuan dari penyelidikan tanah yang lengkap pada tanah lunak adalah untuk mendapatkan informasi kegeoteknikan untuk keperluan analisis dan perencanaan dari timbunan jalan termasuk juga solusinya, sehingga lokasi dan kedalaman dari pengambilan contoh tanah harus ditentukan berdasarkan keperluan analisis masalah kegeoteknikan, seperti stabilitas dan penurunan. Contoh tanah tak terganggu harus diambil dari lapisan yang kritis menurut analisis dan perencanaan timbunan. Jumlah contoh tanah yang diambil harus cukup untuk mewakili unit tanah yang diselidiki atau harus konsisten dengan akurasi yang diinginkan dalam desain dan besarnya bangunan yang direncanakan. Kedalaman pengambilan contoh tanah harus ditentukan sedemikian rupa, sehingga akan didapat contoh tanah yang mewakili lapisan tanah atau unit tanah yang diselidiki.

Untuk tujuan penghematan dan efisiensi, program pengambilan contoh tanah harus dibuat setelah penyondiran atau uji langsung di lapangan, bila hal ini lebih praktis untuk dilaksanakan. Program pengambilan contoh tanah harus mensyaratkan paling tidak pengambilan contoh tanah dilakukan setiap tiga meter sebagai tambahan terhadap jarak pengambilan contoh tanah yang ditentukan berdasarkan pertimbangan di atas, kecuali Ahli Geoteknik yang Ditunjuk dapan merumuskan alasan dilakukannya pengambilan contoh tanah dengan jarak yang lebih jarang.

Jika Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tidak dapat menyiapkan sebuah program pengambilan contoh tanah berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas, maka contoh tanah harus diambil setiap satu meter. Desain rencana pengambilan contoh tanah yang tepat dapat dibuat dengan menyiapkan jadwal awal dari pengujian laboratorium untuk setiap titik pemboran.

### 2.5. SIFAT-SIFAT TANAH

Sifat penting untuk sebuah proyek tergantung pada jenis / fungsi proyek. Sesuai dengan sifat-sifatnya, penting diketahui tipe proyek yang dilaksanakan.

Adapun sifat-sifatnya antara lain :

1. Permeabilitas (*Permeability*)

Sifat ini untuk mengukur/menentukan kemampuan tanah dilewati air melalui pori-porinya. Sifat ini penting dalam konstruksi bendung tanah urugan (earth dam) dan persolan drainase.

2. Konsolidasi (*Consolidation*)

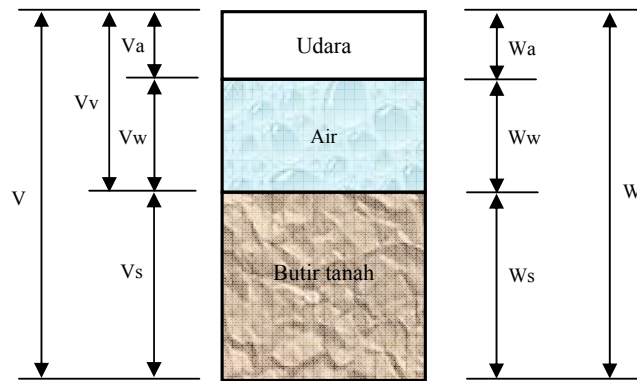
Pada konsolidasi dihitung dari perubahan isi pori tanah akibat beban. Sifat ini dipergunakan untuk mengetahui keruntuhan. sifat ini diperhitungkan untuk menentukan penurunan (*settlement*).

3. Tegangan geser (*Shear Strength*)

Untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanpa mengalami keruntuhan. Sifat ini dibutuhkan dalam perhitungan stabilitas pondasi/dasar yang dibebani, stabilitas tanah isian/timbunan di belakang bangunan penahan tanah dan stabilitas timbunan tanah.

4. Sifat-sifat fisik lainnya

Tanah terdiri dari dua bagian, yaitu bagian padat dan bagian rongga. Bagian padat terdiri dari partikel-partikel padat, sedangkan bagian berongga terisi air atau udara sepenuhnya bila tanah tersebut jenuh atau kering. Apabila gumpalan tanah tidak sepenuhnya dalam keadaan basah (jenuh), maka rongga tanah akan terisi oleh air dan udara. Keseluruhan bagian tersebut dapat terlihat dalam diagram fase sebagai berikut :



Gambar 2.1 Tiga Fase Elemen Tanah

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

Keterangan :

- V : volume total =  $V_a + V_w + V_s$
- $V_a$  : volume udara (dalam bagian berongga)
- $V_w$  : volume air (dalam bagian berongga)
- $V_s$  : volume butir tanah
- $V_v$  : volume rongga =  $V_a + V_w$
- W : berat total =  $W_s + W_w$
- $W_s$  : berat butiran padat
- $W_w$  : berat air
- $W_a$  : berat udara = 0

Hubungan yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah :

1. Angka pori (*void ratio*)

Didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga dengan volume butir tanah (bagian padat).

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$



2. Porositas ( $n$ )

Menyatakan perbandingan antara volume pori dengan volume tanah total yang dinyatakan persen.

$$n = \frac{V_v}{V}$$

3. Derajat kejenuhan ( $S$ )

Menyatakan perbandingan antara volume air dengan volume rongga.

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

4. Kadar air ( $W$ )

Disebut juga sebagai *water content* yang didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat air butiran padat dari volume tanah yang diselidiki.

$$W = \frac{W_w}{W_s}$$

5. Berat jenis tanah ( $G$ )

Menyatakan perbandingan antara berat isi butir tanah ( $\gamma_s$ ) dan berat isi air ( $\gamma_w$ ).

$$G = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

6. Berat isi air ( $\gamma_w$ )

Menyatakan perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan volume air ( $V_w$ )

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$$

7. Berat isi butir ( $\gamma_s$ )

Menyatakan perbandingan antara berat butiran tanah ( $W_s$ ) dengan volume butir tanah ( $V_s$ )

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

8. Berat isi tanah ( $\gamma$ )

Menunjukkan perbandingan antar berat tanah dengan isi tanah.

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Rumus tersebut berlaku untuk berat volume basah

9. Berat volume kering (*dry unit weight*)

Berat volume kering ( $\gamma_d$ ) adalah berat kering persatuan volume, atau

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

Hubungan antara berat volume, berat volume kering, kadar air adalah sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + W}$$

10. Berat isi celup tanah ( $\gamma_{sub}$ )

Menyatakan suatu harga dari berat isi jenuh dikurangi berat isi air.

$$\gamma_{sub} = \frac{\gamma_w (G - 1)}{(1 + e)}$$

11. Batas-batas konsistensi (*Atterberg Limits*)

Batas-batas atterberg tergantung pada air yang terkandung dalam massa tanah, ini dapat menunjukkan beberapa kondisi tanah, seperti : cair – kental – plastis – semi plastis – padat, perubahan dari keadaan yang satu ke keadaan lainnya sangat penting diperhatikan sifat fisiknya. Batas kadar air tanah dari keadaan satu menuju keadaan

berikutnya dikenal sebagai batas-batas kekentalan / konsistensi. Menurut Hary Christady Hardiyatmo ( 2002 ) batas – batas Atterberg adalah sebagai berikut :

- a. Batas cair (*Liquid Limit*) = LL

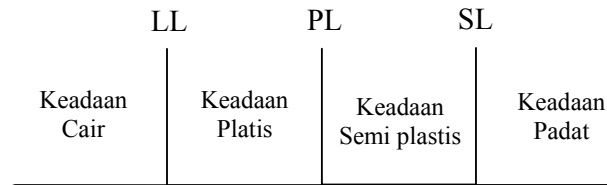
Menyatakan kadar air minimum dimana tanah masih dapat mengalir dibawah beratnya atau kadar air tanah pada batas antara keadaan cair ke keadaan plastis.

- b. Batas plastis (*Plastis Limit*) = PL

Menyatakan kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm atau (1/8 inci).

- c. Batas susut (*Shrinkage Limit*) = SL

Menyatakan batas dimana sesudah kehilangan kadar air, selanjutnya tidak menyebabkan penyusutan volume tanah lagi. Batas-batas Atterberg tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Batas – batas Atterberg

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

Disamping itu hal penting lainnya antara lain :

- d. Indeks plastis (*Plasticity Index*) = PI

Menunjukkan sejumlah kadar air pada saat kondisi tanah dalam kondisi plastis, dimana harga ini adalah selisih antara batas cair dan batas plastis.

$$PI = LL - PL$$

Sedangkan hubungan Antara Indeks Plastis (*Plasticity Index*) Dengan Tingkat Plastisitas dan Jenis Tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut

Tabel 2.2. Hubungan Antara Indeks Plastis Dengan Tingkat Plastisitas dan Jenis Tanah Menurut Atterberg

PI	TINGKAT PLASTISITAS	JENIS TANAH
0	Tidak plastis / Non PI	Pasir
$0 < PI < 7$	Plastisitas rendah	Lantau ( <i>Silt</i> )
7 – 17	Plastisitas sedang	<i>Silty – Clay</i>
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung ( <i>Clay</i> )

( Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2002 )

e. Indeks cair (*Liquidity Index*) = LI

Menyatakan perbandingan dalam prosentase antara kadar air tanah dikurangi batas plastis dengan indeks plastis.

$$LI = \frac{W - PL}{PI}$$

f. Konsistensi relatif (*Relative Consistency*) = RC

Menunjukkan perbandingan antara batas cair dikurangi kadar air tanah dengan indeks plastis

$$RC = \frac{LL - W}{PI}$$

g. Indeks pengaliran (*Flow Index*) =  $I_f$

Indeks pengaliran adalah kemiringan lengkung aliran.

$$I_f = \frac{W_1 - W_2}{\log N_1 - \log N_2}$$

h. Indeks kekasaran (*Toughness Index*) =  $I_t$

Adalah nilai perbandingan antara indeks plastis dan indeks pengaliran.

$$I_t = \frac{PI}{I_f}$$

i. Nilai susut (*Shrinkage Ratio*) = SR

Adalah perbandingan antara selisih isi (dinyatakan dalam prosentase isi kering) dengan kadar air yang bersangkutan

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

## 2.6. PARAMETER TANAH

### 2.6.1. Klasifikasi Tanah dari Data Sondir

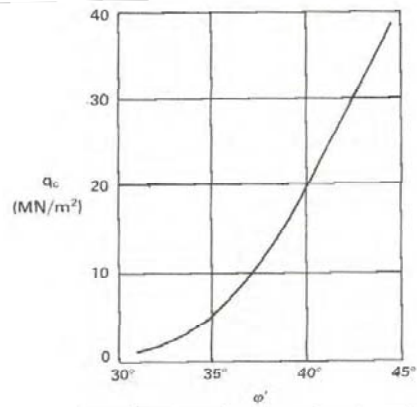
Data tekanan *conus* (  $q_c$  ) dan hambatan pelekat (  $f_s$  ) yang didapatkan dari hasil pengujian sondir dapat digunakan untuk menentukan jenis tanah seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3. 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)

Korelasi empiris yang menyatakan hubungan antara tahanan ujung dengan sudut geser tanah yang dikembangkan oleh Mayerhoff (1976) melalui gambar 2.3.



Gambar 2.3 Perkiraan koreksi antara penetrasi konus dengan kuat geser  $\phi'$  (dari G. G. Mayerhoff (1976) Proceeding ASCE, Vol. 102, No. GT3, dengan izin American Society of Civil Engineering)

Hubungan antara konsistensi terhadap tekanan *conus* dan *undrained cohesion* adalah sebanding dimana semakin tinggi nilai *c* dan *qc* maka semakin keras tanah tersebut. Seperti yang terlihat dalam Tabel 2.4 :

Tabel 2.4. Hubungan Antara Konsistensi Dengan Tekanan *Conus* Pada Tanah Lempung

Konsistensi tanah	Tekanan Konus $q_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	Undrained Cohesion ( $\text{T/m}^2$ )
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, qc dan  $\phi$  adalah sebanding. Hal ini dapat dilihat dalam pada Tabel 2.5

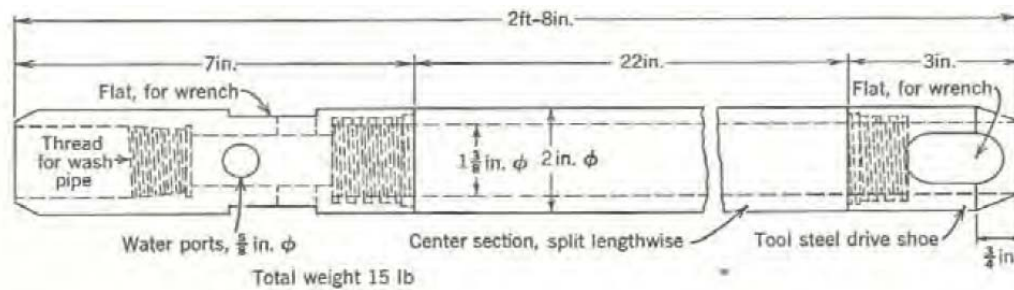
Tabel 2.5. Hubungan Antara Kepadatan, *Relative Density*, Nilai N SPT, qc dan  $\phi$  Pada Tanah Pasir

Kepadatan	Relatif Density ( $\gamma_d$ )	Nilai N SPT	Tekanan Konus qc ( $\text{kg/cm}^2$ )	Sudut Geser ( $\phi$ )
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 )

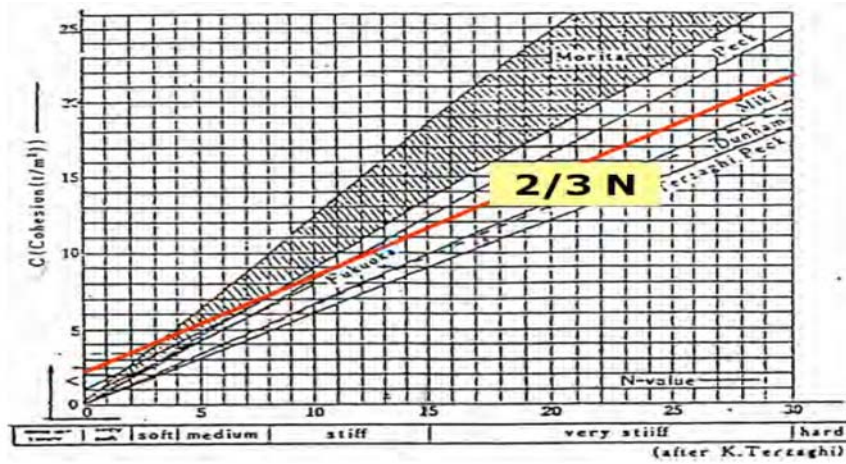
**2.6.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Standart Penetration Test* (N-SPT)**

Kekuatan tanah yang diuji dengan tes penetrasi dinyatakan dalam N-SPT. Tahanan penetrasi (N-SPT) yaitu banyaknya pukulan (30 cm terakhir) yang diperlukan untuk memasukkan *Split tube sampler* dengan menggunakan *hammer* seberat 63.5 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 75 cm. Alat uji penetrasi diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Alat uji *Standart Penetration Test* (tabung *split spoon sampler*) (Soil Mechanics, Lambe & Whitman, Internasional Edition, 1969)

Untuk menentukan korelasi nilai N-SPT dengan nilai kohesi untuk tanah kohesif dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Hubungan antara kohesi (c) dan nilai N-SPT untuk tanah kohesif (Rekayasa Pondasi, Mahsyur Irsyam)

Untuk menentukan korelasi empiris antara nilai N-SPT dengan *unconfined compressive strength* dan berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) untuk tanah kohesif, dapat dilihat pada tabel 2.6 di bawah ini.

Tabel 2.6 Korelasi empiris antara nilai N-SPT dengan *unconfined compressive strength* dan berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) untuk tanah kohesif.

N SPT (blows/ft)	Konsistensi	$q_u$ (Unconfined Compressive Strength) tons / ft <sup>2</sup>	$\gamma_{sat}$ kN/ m <sup>3</sup>
< 2	Very soft	< 0,25	16 – 19
2 – 4	Soft	0,25 – 0,50	16 – 19
4 – 8	Medium	0,50 – 1,00	17 – 20
8 – 15	Stiff	1,00 – 2,00	19 – 22
15 – 30	Very stiff	2,00 – 4,00	19 – 22
> 30	Hard	> 4,00	19 – 22

(Soil Mechanics, Lambe & Whitman, from Terzaghi and Peck 1948, Internasional Edition 1969).

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah ( $\gamma$ ) dan berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) pada tanah kohesif dan non kohesif dapat dilihat pada tabel 2.7, tabel 2.8 dan tabel 2.9.



Tabel 2.7 Korelasi Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ ) Untuk Tanah Non Kohesif dan Kohesif.

	Cohesionless Soil				
N	0-10	11-30	31-50	>50	
Unit Weight $\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	12-16	14-18	16-20	18-23	
Angle of Friction $\phi$	25-32	28-36	30-40	>35	
State	Loose	Medium	Dense	Very Dense	
	Cohesive				
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
Unit Weight $\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
$q_u$ , kPa	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

(Soil Mechanics, Whilliam T., Whitman ,Robert V., 1962)

Tabel 2.8 Korelasi Berat Jenis Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) Untuk Tanah Non Kohesif.

Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
NSPT					
Fine	1-2	3-6	7-15	16-30	
Medium	2-3	4-7	8-20	21-40	>40
Coarse	3-6	5-9	10-25	26-45	>45
$\Phi$					
Fine	26-28	28-30	30-34	33-38	
Medium	27-28	30-32	32-36	36-42	<50
Coarse	28-30	30-34	33-34	40-50	
$\gamma_{wet}$ (kN/m <sup>3</sup> )	11-16	14-18	17-20	17-22	20-23

(Soil Mechanics, Whilliam T., Whitman ,Robert V., 1962)

Tabel 2.9 Nilai Tipikal Berat Volume Tanah

Jenis Tanah	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )
kerikil	20-22	15-17
pasir	18-20	13-16
lanau	18-20	14-18
lempung	16-22	14-21

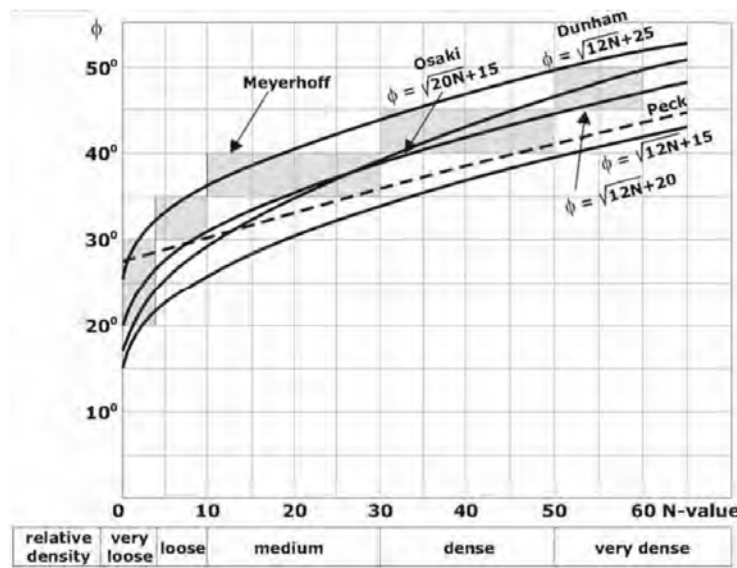
(Soil Mechanics and Foundation, John Wiley & Sons, 2000)

Korelasi nilai N-SPT dengan sudut geser pada tanah pasir dapat ditentukan dengan menggunakan gambar 2.6 untuk mengetahui nilai konsistensi tanah pasir dapat diketahui dengan mengacu pada tabel 2.10 dibawah ini.

Tabel 2.10 Korelasi Nilai N-Spt Dengan Relative Density Tanah Non Kohesif.

Penetration Ressistance N (blows/ft)	Relative Density
0-4	Very Loose
4-10	Loose
10-30	Medium
30-50	Dense
>50	Very Dense

(Soil Mechanics, Lambe & Whitman, from Terzaghi and Peck 1948, Internasional Edition 1969)



Gambar 2.6 Hubungan antara sudut geser ( $\phi$ ) dan nilai N-SPT untuk tanah pasir (Rekayasa Pondasi, Mahsyur Irsyam)

### 2.6.3. 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 2.11 dan Tabel 2.12 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 :

## BAB II STUDI PUSTAKA

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

$$E = 3 q_c \quad \text{kg/cm}^2 \quad (\text{ untuk pasir } )$$

$$E = 2 q_c - 8 q_c \quad \text{kg/cm}^2 \quad (\text{ untuk lempung } )$$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hardy Christady Hardiyatmo)

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

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

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

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hardy Christady Hardiyatmo)

Tabel 2.11 Hubungan Antara Es dengan  $q_c$

Jenis Tanah	CPT ( kg/cm <sup>2</sup> )
Pasir terkonsolidasi normal	$Es = ( 2 - 4 ) q_c$
Pasir over consolidation	$Es = ( 6 - 30 ) q_c$
Pasir berlempung	$Es = ( 3 - 6 ) q_c$
Pasir berlanau	$Es = ( 1 - 2 ) q_c$
Lempung lunak	$Es = ( 3 - 8 ) q_c$

(Sumber : Mekanika Tanah 2, Hardy Christady Hardiyatmo)

Nilai perkiraan modulus elastisitas tanah menurut Bowles dapat dilihat pada Tabel 2.12

Tabel 2.12. Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah

Jenis Tanah	Es (MPa )
Lempung	
Sangat lunak	2-15
Lunak	5-25
Sedang	15-40
Keras	50-100

Berpasir	25-250
Pasir	
Berlanau	5-20
Tidak padat	10-25
Padat	50-80
Pasir dan Kerikil	
Padat	100-200
Tidak padat	50-150
Lanau	2-20
Loses	15-60
Cadas	140-1400

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

#### 2.6.4. 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 2.13 di bawah ini.

Tabel 2.13 Hubungan Antara Jenis Tanah dan Poisson Ratio

Jenis Tanah	Poisson Ratio ( $\nu'$ )
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 2)

**2.6.5. 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 berupa *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 2.14 dan 2.15

Tabel 2.14 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis tanah	sudut geser dalam
Kerikil kepasiran	35-40
kerikil kerakal	35-40
pasir padat	35-40
pasir lepas	30
lempung kelanauan	25-30
lempung kelanauan	20-25

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

Tabel 2.15 Hubungan Antara Sudut Geser Dalam, Tingkat Plastisitas dan Jenis Tanah

menurut Bjerrum		
Jenis tanah	Tingkat plastisitas	$\phi$
lanau	rendah	35-37
lanau berlempung	sedang	31-35
lempung	tinggi	<31

(Bjerrum, 1960)

**2.6.6. 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 *Triaxial Test* dan *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 Teknik Sipil, Ir. V Sunggono kh)

Hubungan antara kohesi, N-SPT dan sudut geser dalam ditunjukkan pada Tabel 2.16

Tabel 2.16 Hubungan Antara Kohesi, N-SPT dan Sudut Geser pada Tanah Lempung

N-SPT	c	$\phi$
0--2	12,5	0
2--4	12,5-25	0
4--8	25-50	0
8--15	50-100	0
15--30	100-200	0
>30	>200	0

(Article Stream Stabilitation Project, 2007)

**2.7.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 menggunakan 2 (dua) analisa yaitu *Direct Shear Test* dan *Triaxial Test*. Kekuatan geser tanah terdiri dari dua parameter yaitu :

1. Bagian yang bersifat kohesi c yang tergantung dari macam
2. Bagian yang mempunyai sifat gesekan / *frictional* yang sebanding dengan tegangan efektif ( $\sigma$ ) yang bekerja pada bidang geser.

Kekuatan geser tanah dapat dihitung dengan rumus :

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

(Sumber : *Teknik Fondasi I, Hary Christady Hardiyatmo*)

Dimana :

- S = Kekuatan geser
- $\sigma$  = Tegangan total pada bidang geser
- u = Tegangan air pori
- c = Kohesi
- $\phi$  = Sudut geser

**2.8 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

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

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

Dimana :

- D = Kedalaman pondasi
- B = Lebar pondasi
- $\gamma$  = Berat isi tanah
- Nc, Nq, N $\gamma$  = Faktor daya dukung yang tergantung pada sudut Geser

**2.9. 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 gerak 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 terjadi biasanya pada penggalian batu, tebing pantai yang curam, tebing jalan.

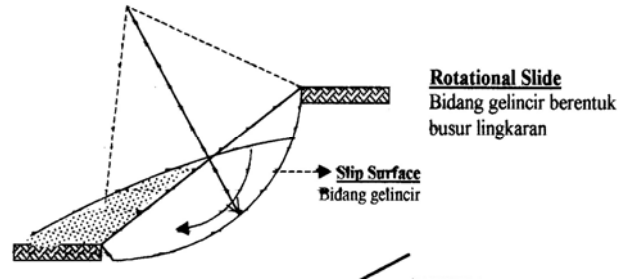
4. Longsoran (*sliding*)

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 2.7.



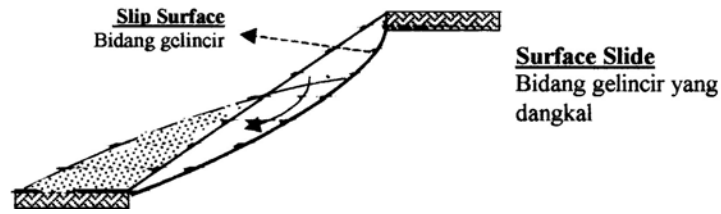
Gambar 2.7 *Rotational Slide*

- 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 2.8 dibawah ini



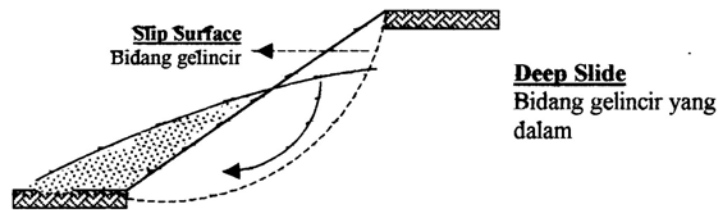
Gambar 2.8 *Translation Slide*

- c. *Surface slide*, terjadi jika bidang gelincirnya terletak dekat dengan permukaan tanah seperti terlihat pada Gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 *Surface Slide*

- d. *Deep slide*, terjadi jika bidang gelincirnya terletak jauh dibawah permukaan tanah seperti terlihat pada Gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 *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 adakah 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 (1950) 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.

Menurut interpretasi Dr. Ir. Dwikorita Karnawati dosen Teknik Geologi Universitas Gajahmada, material longsoran yang terdiri dari lumpur dan krikil dapat ditafsirkan sebagai aliran masa tanah yang bercampur dengan air dan krikil yang bergerak cepat (debit flow) dan dapat menerjang daerah sekitarnya. Air hujan yang meresap kedalam tanah melalui retakan – retakan pada batuan menyebabkan penurunan daya kohesi tanah pada lereng, sehingga memicu kelongsoran. Disamping itu beliau juga mengemukakan bahwa rayapan tanah umumnya terjadi pada daerah kaki bukit atau lembah yang terdapat di antara perbukitan, karena kondisi batuan yang tersusun oleh lapisan serpih atau lempung. Serpih dan lempung tersebut mengandung mineral montmorillonite (anallite dan illite) yang sangat sensitive mengalami kehilangan kekuatan geser dan daya dukung apabila dalam kondisi jenuh air. Daerah yang mengalami rayapan tanah sering merupakan daerah akumulasi air, karena letaknya berada di kaki bukit atau pada lembah diantara perbukitan. Proses penjenuhan oleh air terhadap lapisan lempung ini mengakibatkan lapisan lempung kehilangan kekuatan geser atau daya

dukung, sehingga lapisan tersebut bergerak. Upaya rekayasa pada daerah rayapan harus diawali dengan penyelidikan geologi teknik untuk mendeliniasi zona yang rentan bergerak merayap serta menyelidiki kondisi morfologi di sekitar lokasi rayapan, sehingga dapat dilakukan analisa untuk memperhitungkan pengaruh morfologi terhadap drainase (aliran air permukaan dan bawah permukaan) yang mengontrol gerak rayapan tersebut. Jadi analisis atau evaluasi terhadap kondisi hidrogeologi ini perlu dilakukan untuk mendesain system drainase yang dikombinasikan dengan sistem perkuatan dan penanaman vegetas (bio engineering system) di lokasi rayapan.

Pada prinsipnya rekayasa tersebut harus mampu mengurangi atau meminimalisir proses penjenahan oleh air pada serpih atau lempung. Apabila dipilih rekayasa perkuatan, maka konstruksi perkuatan harus dibuat menembus lapisan batuan yang kuat yang berada di bawah lapisan lempung atau serpihan. Namun dari berbagai kasus rayapan yang terjadi di Indonesia menunjukkan upaya pengendalian rayapan ini sangat sulit berhasil secara permanent. Kecuali apabila menerapkan teknologi dengan biaya yang tinggi, sehingga sering dirasa tidak ekonomis. Upaya rekayasa yang telah dilakukan di beberapa ruas jalan yang ambles atau bergerak, karena di bawah jalan tersebut terdapat lapisan tanah lunak (lempung atau serpih), dikhawatirkan sifatnya tidak dapat permanent, tidak tuntas mengatasi permasalahan. Ibaratnya hanya akan memencet atau mengobati jerawat pada wajah dengan pergi ke salon, bukan mengobati penyebab utama jerawat tadi.

### **2.10. FAKTOR – FAKTOR PENYEBAB KELONGSORAN**

#### **2.10.1. 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 melonggarkan 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 dan yang kedap air.

**2.10.2. 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.

### **2.10.3. 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 dalamnya  $\phi$ .

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.

### **2.10.4. 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.

#### 2.10.5. Pengaruh Rangkak (*Creep*)

Terdapat didekat permukaan tanah yang miring, tanah dipengaruhi siklus kembang susut. Siklus ini dapat terjadi akibat perubahan temperatur, perubahan dari musim penghujan dan di daerah 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 ke arah bawah.

Kedalaman zona rangkak bervariasi dari beberapa sentimeter sampai beberapa meter tergantung pada sifat tanah dan kondisi iklim. Menurut Taylor (1962), 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

#### 2.11. 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 atau 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, dsb

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, sumuran, tiang pancang, dsb.
2. Penambatan batuan dengan tumpuan beton, batu 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.

## 2.12. 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 kedudukannya 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 bendungan urugan.

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.

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 (Bishop's Method) dan Metode Fellinius.

Dalam menganalisis stabilitas lereng digunakan beberapa anggapan yaitu:

- Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
- Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif.
- Tahanan geser tanah pada setiap titik sepanjang bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor atau dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
- Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata – rata sepanjang bidang longsor potensial dan kuat geser tanah sepanjang permukaan longsor. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik – titik tertentu pada bidang longornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar dari 1.

- Hukum Coulomb berlaku untuk kondisi runtuh  $\tau_r' = C_r' + \sigma_r' \tan \phi_r'$
- Bentuk tegangan adalah lurus
- Semua gaya yang bekerja telah diketahui
- Berlaku hukum tegangan total dan tegangan efektif  $\sigma' = \sigma + u$

Bentuk umum untuk perhitungan stabilitas lereng adalah mencari angka keamanan ( $\eta$ ) dengan membandingkan momen-momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja.

$$Fk = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Penggerak}} = \frac{W \cdot x}{C \cdot L \cdot R}$$

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

Fk = Faktor keamanan

W = Berat tanah yang akan longsor (kN)

$L_{AC}$  = Panjang Lengkungan

C = Kohesi (kN/m<sup>2</sup>)

R = Jari – jari lingkaran bidang longsor yang ditinjau (m)

Y = Jarak pusat berat W terhadap O (m)

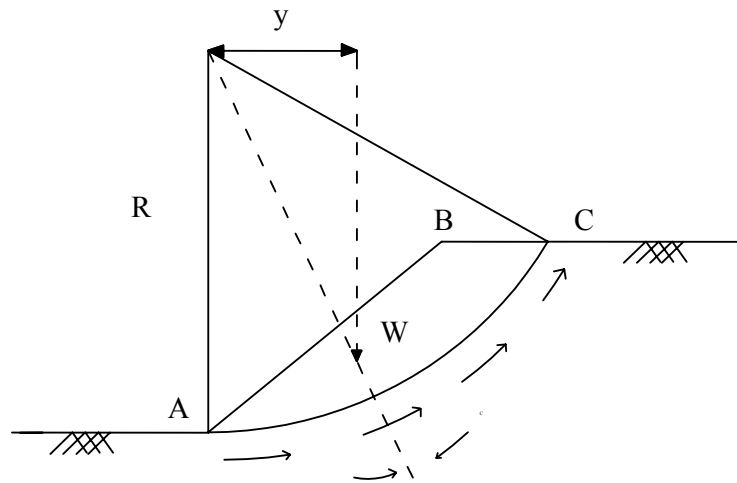
Jika:

$Fk < 1$  , lereng tidak stabil

$Fk = 1$  , lereng dalam keadaan kritis artinya dengan sedikit gangguan atau tambahan momen penggerak maka lereng menjadi tidak stabil.

$Fk > 1$  , lereng tidak stabil

Untuk memperoleh nilai angka keamanan (Fk) suatu lereng, maka perlu dilakukan ‘trial and errors’ terhadap beberapa bidang longsor yang umumnya berupa busur lingkaran dan kemudian diambil nilai Fk minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Analisis stabilitas lereng dapat dilihat pada gambar 2.11.



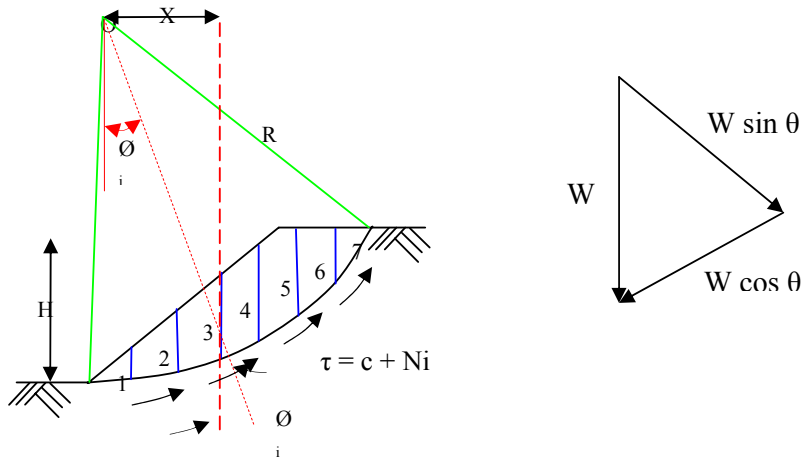
Gambar 2.11 Analisa Stabilitas Lereng

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

### 2.12.1. 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  $U_l$  bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui sebelumnya.



Gambar 2.12. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan bidang longsor  
(Sumber : Buku Mekanika Tanah, Braja M. Das Jilid 2)

### 2.12.2. Metode Bishop (*Bishop's Method*)

Metode bishop ini merupakan dasar metode bagi aplikasi program Mira Slope dan merupakan penyederhanaan dari metode irisan Sliding Metode Bishop 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 :

$\sigma$  = 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:

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

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

Dimana :

- F<sub>k</sub> = Faktor Keamanan
- C' = Kohesi tanah efektif
- Ø' = Sudut geser dalam tanah efektif
- b<sub>i</sub> = Lebar irisan ke – i
- W<sub>i</sub> = Berat irisan tanah ke – i
- θ<sub>i</sub> = Sudut yang diasumsikan (didefinisikan) dalam
- U<sub>i</sub> = Tekanan air pori pada irisan ke – i

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

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

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

Dimana :

- r<sub>u</sub> = 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

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

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

Persamaan faktor aman Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode lainya seperti metode Fellinius. Lagi pula membutuhkan cara coba-coba (*trial and errors*), 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 longsonya. Pada titik-titik potongan garis yang merupakan pusat lingkaran longsonya 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.

2.12.3. 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 longsornya. 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

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

Dimana :

R = Jari-jari bidang longsor

N = Jumlah irisan

Wi = Berat massa tanah irisan ke-i

$\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan pada gambar diatas

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

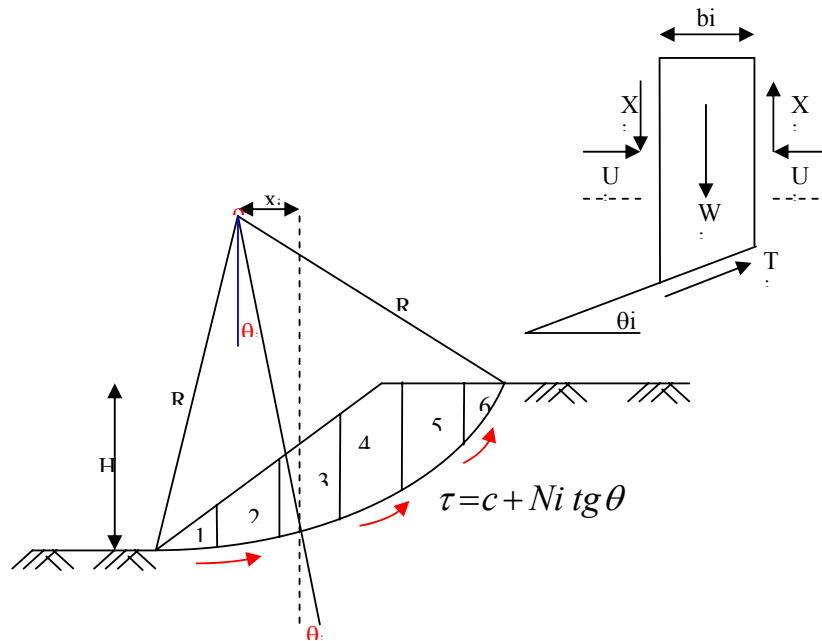
$$\sum Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \text{tg } \phi)$$

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

karena itu, faktor keamanannya menjadi :

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

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



Gambar 2.13. 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.

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

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

Dimana :

- Fk = faktor kemanan
- C = kohesi tanah
- $\phi$  = 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



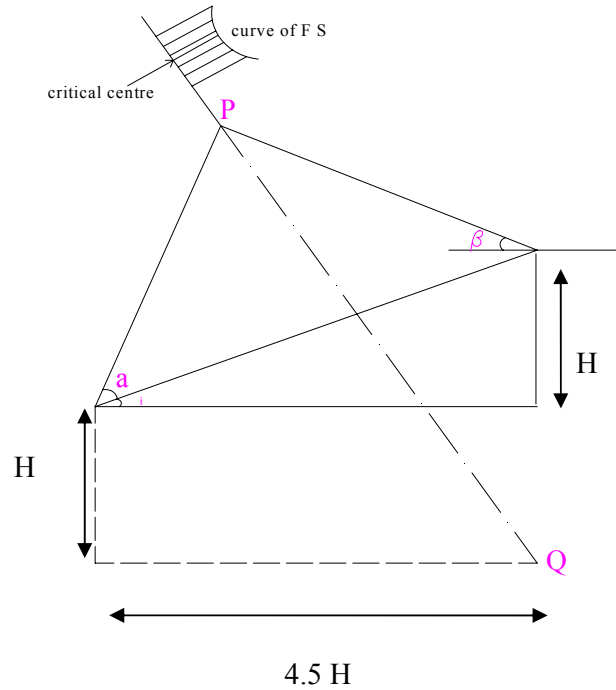
$\theta_I$  = sudut yang didefinisikan dalam gambar.

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 metode elemen hingga. Batas-batas nilai kesalahan tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Karena cara hitungannya yang sederhana sehingga kesalahan yang terjadi masih pada batas aman.

#### □ Menentukan Lokasi Titik Pusat Bidang Longsor

Dengan tujuan mengurangi jumlah *trial and error* untuk menentukan pusat busur longsor kritis terhadap stabilitas lereng. Fellenius memberikan petunjuk-petunjuk untuk menentukan lokasi titik pusat busur longsor kritis. Pada tanah homogen pusat busur longsor terletak pada garis P Q, dimana titik Q diperoleh dari menarik garis sepanjang H kebawah dari tumit lereng dan  $4.5H$  jarak mendatar, seperti ditunjukkan gambar 2.14. Titik P ditentukan dengan bantuan arah dari besaran  $\alpha$  dan  $\beta$ . seperti tertera pada tabel 2.17



Gambar 2.14 Posisi titik pusat busur longsor kritis metode fenilius  
(Sumber : Buku Soil Mechanics and Foundations, Dr. B. C. Punmia)

Tabel 2.17. Sudut-sudut petunjuk menurut *Fellenius*

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

( Sumber : Soil Mechanics and Foundations, Dr. B. C. Punmia)

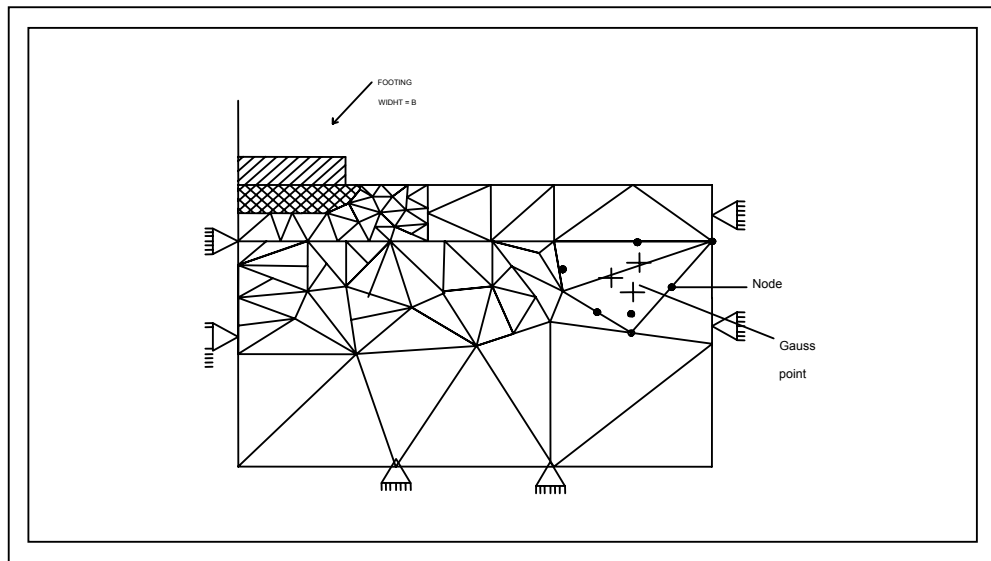
Ketika garis P Q sudah didapatkan, titik-titik untuk percobaan perhitungan terletak pada bidang di atas titik P, dan faktor keamanan dari masing-masing titik di peroleh dari perhitungan :

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

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

### 2.13. 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.



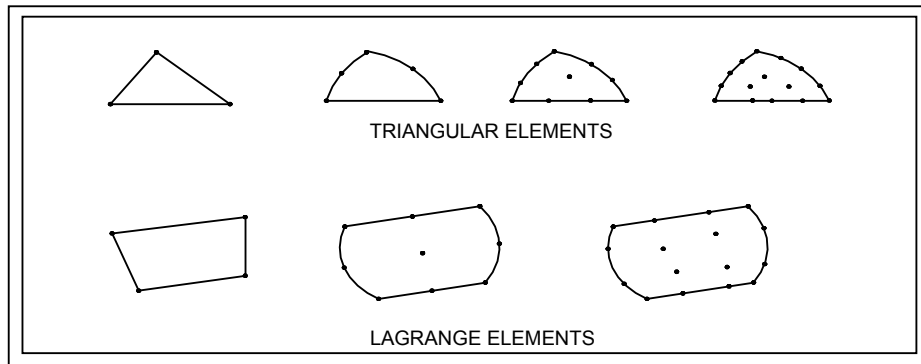
Gambar 2.15. Contoh jaring – jaring dari Elemen Hingga

Jaring (*mesh*) terdiri dari elemen – elemen yang dihubungkan oleh node. Node merupakan titik – titik pada jaring 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.

### 2.13.1. Elemen Untuk Analisa Dua Dimensi

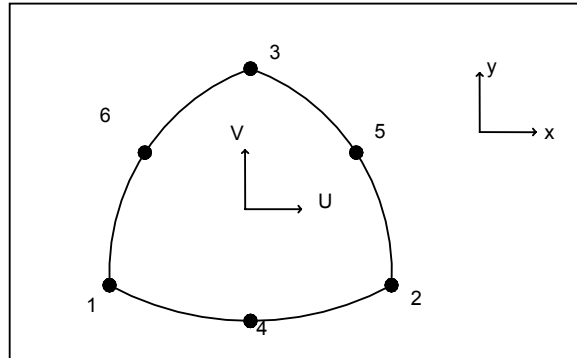
Analisa dua dimensi pada umumnya merupakan analisa yang menggunakan elemen *triangular* atau *quadrilateral* (gambar 2.16). Bentuk umum dari elemen – elemen tersebut berdasarkan pada pendekatan *Iso-Parametric* dimana fungsi interpolasi *polynomial* dipakai untuk menunjukkan *displacement* pada elemen.



Gambar 2.16. Elemen – elemen *Triangular* dan *Lagrange*

### 2.13.2. 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. 17. Elemen dan Six – nodeded Triangular

Anggap sebuah elemen seperti gambar 2.17. 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.