

## **BAB II STUDI PUSTAKA**

### **2.1 TINJAUAN UMUM**

Suatu konstruksi bangunan sipil selalu berdiri di atas tanah dasar yang akan menerima dan menahan beban dari keseluruhan struktur di atasnya. Sedangkan tanah memiliki karakteristik dan sifat-sifat yang berbeda dari satu lokasi dengan lokasi lainnya. Sehingga diperlukan penanganan dan perlakuan khusus dalam mengatasi permasalahan yang mungkin terjadi dalam perencanaan suatu konstruksi bangunan sipil.

Kondisi geologis, topografi dan karakteristik tanah menjadi faktor utama dalam tinjauan keamanan suatu struktur bangunan yang terletak di atas lereng. Karena dengan kondisi tanah yang demikian, serta dengan mendapatkan beban dari struktur di atasnya maka kestabilan tanah dapat terganggu.

### **2.2 PROPERTIES TANAH**

Tanah merupakan dasar sebuah konstruksi yang berperan sebagai pendukung pondasi pada sebuah konstruksi bangunan. Dalam hal ini diperlukannya tanah dalam kondisi kuat menahan beban di atasnya dan menyebarkannya merata. Dengan fungsi utama tersebut diperlukan suatu rekayasa perkuatan terhadap kondisi tanah yang ada, sehingga dihasilkan suatu nilai lebih baik secara kekuatan maupun struktural untuk meninjau stabilitasnya terhadap pembebanan.

Adapun pengukuran parameter tanah dapat dilakukan pengujian laboratorium melalui pengukuran-pengukuran mekanika tanah. Hasil dari nilai propertis tanah itulah yang menjadi masukan untuk pengukuran dan analisa selanjutnya.

#### **1 Angka Pori**

Angka pori menunjukkan seberapa besar ruang kosong yang disebut pori-pori tanah terhadap ruang padat. Pori-pori inilah yang nanti akan terisi air atau butiran tanah yang lebih kecil. Nilai ini merupakan perbandingan antara volume pori ( $V_v$ ) dan volume butiran padat ( $V_s$ ) yang disebut angka pori ( $e$ ).

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

## 2 Porositas

Porositas didefinisikan sebagai perbandingan volume pori dan volume tanah total. Porositas ( $n$ ) ini menunjukkan seberapa besar volume pori yang ada yang dapat diukur dalam prosentase.

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

## 3 Kadar Air

Kadar air atau water content ( $w$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki. Pemeriksaan kadar air dapat dilakukan dengan pengujian soil test di laboratorium, begitu juga untuk mengukur angka pori, porositas, derajat kejenuhan dan berat jenis tanah.

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

## 4 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan ( $S$ ) adalah perbandingan antara perbandingan volume air dengan volume pori atau dapat dirumuskan,

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

## 5 Berat Jenis Tanah Basah

Berat jenis tanah basah adalah nilai dari perbandingan berat tanah per satuan volume. Atau dapat dinyatakan dalam berat butiran padat, kadar air, dan volume total.

$$\gamma_w = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} \quad \text{atau} \quad \gamma_w = \frac{W_s(1+w)}{V}$$

## 6 Berat Jenis Tanah Kering

Berat jenis tanah kering merupakan perbandingan berat kering per satuan volume tanah. Besaran yang didapat dari soil test ini diukur dalam keadaan kering, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}, \text{ atau } \gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+w}$$

yang dapat digunakan sebagai hubungan antara berat volume, berat volume kering dan kadar air.

## 2.3 KLASIFIKASI TANAH

Pengelompokan jenis tanah dapat dilakukan melalui pengukuran-pengukuran di laboratorium maupun di lapangan juga standar klasifikasi yang ada. Suatu pekerjaan tanah untuk suatu pembangunan sebuah bangunan konstruksi memerlukan nilai atau besaran pada tanah berupa gradasi butiran, plastisitas, permeabilitas, dan kekuatan geser tanah. Besaran tersebut dilakukan dengan pengujian-pengujian sebagai berikut :

### 1 Analisa Saringan

Tanah terdiri dari campuran berbagai butiran. Suatu tanah disebut bergradasi seragam (*uniformly graded*) apabila tersusun atas butir-butir yang seluruhnya ukurannya hampir sama. Tanah bergradasi baik/tidak seragam (*well graded*) apabila terdiri dari bermacam-macam butir. Analisa ini dapat digunakan melalui uji saringan yang dapat dihasilkan suatu bentuk *grain size distribution curve* untuk memberikan informasi gradasi tanah yang akan digunakan. Menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) butiran dibedakan 3 fraksi :

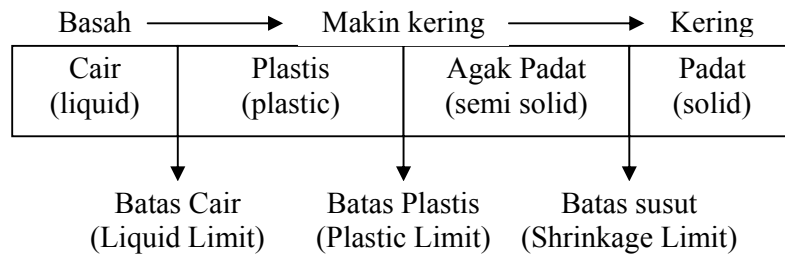
- a. Pasir (sand) : (4,75 – 0,074) mm
- b. Lanau (silt) : (0,074 – 0,01) mm
- c. Lempung (clay) : < 0,01 mm

Tanah digolongkan berbutir halus apabila lebih dari 50% dari berat sample lolos ayakan no. 200, dan sebaliknya jika lebih dari 50% tertahan saringan no. 200 maka digolongkan tanah berbutir kasar.

- Untuk butiran kasar (> 0,074 mm) digunakan analisa saringan (*sieve analysis*)
- Untuk butiran halus (< 0,074 mm) digunakan analisa sedimentasi (*hydrometer analysis*)

### 2 Indeks Plastisitas Tanah

Sifat-sifat fisik tanah kohesif berbutir halus (lempung atau lanau) sangat dipengaruhi oleh kadar air tertentu yang disebut konsistensi, dalam hal ini tanah dapat berwujud cair, plastis, semi padat atau padat yang digambarkan pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2. 1 Wujud Fisik Tanah pada Konsistensi Tertentu**

Batas antara fase-fase tanah seperti di atas disebut Batas-batas Konsistensi / Batas-batas Atterberg. Batas-batas kadar air tersebut adalah :

- a. Batas cair ( Liquid Limit) = LL adalah kadar air pada perbatasan dari fase tanah antara keadaan plastis – cair.
- b. Batas Plastis (Plastic Limit) = PL merupakan kadar air minimum dimana tanah masih dalam keadaan plastis.
- c. Batas Susut (Shrinkage Limit) = SL adalah batas kadar air dimana tanah tidak kenyang air lagi.

Indeks Plastisitas = Plastisitas Index = PI adalah interval kadar air dimana tanah dalam keadaan plastis.

$$PI = LL - PL$$

Nilai ini menunjukkan bahwa dengan PI tinggi berarti tanah mengandung banyak butiran lempung, sedangkan untuk PI yang rendah (misal pada lanau) maka penurunan sedikit kadar air berakibat tanah menjadi kering. Berikut klasifikasi tanah dengan nilai plastisitas masing-masing jenis tanah pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2. 1 Nilai Plastisitas pada Jenis Tanah**

PI	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non plastis	Non kohesif
<7	Lanau	Rendah	Kohesif sedang
7-17	Lempung berlanau	Sedang	Kohesif
> 17	Lempung murni	Tinggi	Kohesif

Indeks kekentalan menyatakan perbandingan antara selisih batas cair dan kadar air tanah asli terhadap indeks plastisitas.

$$I_c = \frac{LL - w}{PI}$$

**Tabel 2. 2 Nilai konsistensi dalam Range Plastis**

Klasifikasi	Liquid Indeks LI	Indeks Kekentalan Ic
Sangat Lunak	0,50 – 1,00	0,00 – 0,50
Linak	0,25 – 0,50	0,50 – 0,75
Kaku / Kenyal	0,00 – 0,25	0,75 – 1,00

Konsep tingkat keaktifan dikembangkan oleh Skempton (1953) yang menunjukkan bahwa suatu jenis lempung tertentu PI bergantung pada partikel yang lebih halus dari 0,002 mm (c) dan angka  $\frac{PI}{c}$  adalah konstan. Tingkat keaktifan (A)

didefinisikan :  $A_c = \frac{PI}{c}$  dimana c adalah kadar lempung (persen butiran < 0,002 mm)

Angka yang berbeda diperoleh untuk jenis lempung yang berbeda tetapi angkanya bisa dianggap konstan untuk masing-masing jenis lempung.

**Tabel 2. 3 Tingkat Keaktifan Lempung**

Klasifikasi	Tingkat Keaktifan (Ac)
Lempung tidak aktif	<0,75
Lempung normal	0,75 – 1,25
Lempung aktif	1,25 – 2,00
Lempung sangat aktif	> 2,00

### 3 Permeabilitas Tanah

Kemampuan fluida untuk mengalir melalui medium yang berpori disebut permeabilitas. Penentuan koefisien permeabilitas dapat diperoleh dari laboratorium dengan menggunakan pengujian permeabilitas tinggi-konstan (*constant-head*) ataupun tinggi-jatuh (*falling-head*). Beberapa nilai orde k untuk bebrbagai jenis tanah oleh Darcy dirumuskan sebagai berikut :

**Tabel 2. 4 Orde nilai-nilai permeabilitas k yang didasarkan pada deskripsi tanah**

	$10^0$	$10^{-2}$	$10^{-5}$	$10^{-9}$	$10^{-11}$
	Kerikil bersih GW, GP	Campuran kerikil bersih dan pasir GW, GP, SW, SP, GM	Campuran pasir berlanau SM, SL, SC	Lempung	

Sumber : Bowles, *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1*, 1997 hal 49.

#### 4 Kekuatan Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. 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 juga didapatkan dari pengukuran properties tanah berupa *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*.

#### 5 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* atau *Unconfined Compression Test*. Berikut ini adalah berbagai harga-harga dari *Modulus Young (Modulus Elastisitas)* untuk berbagai tipe tanah yang berbeda.

**Tabel 2. 5 Nilai-nilai *Modulus Young* untuk deskripsi tanah**

Jenis Tanah	Modulus Young	
	psi	KN/m <sup>2</sup>
Lempung Lembek	250-500	1380-3450
Lempung Keras	850-2000	5865-13.800
Pasir Lepas	1500-4000	10.350-27.600
Pasir Padat	5000-10000	34.500-69000

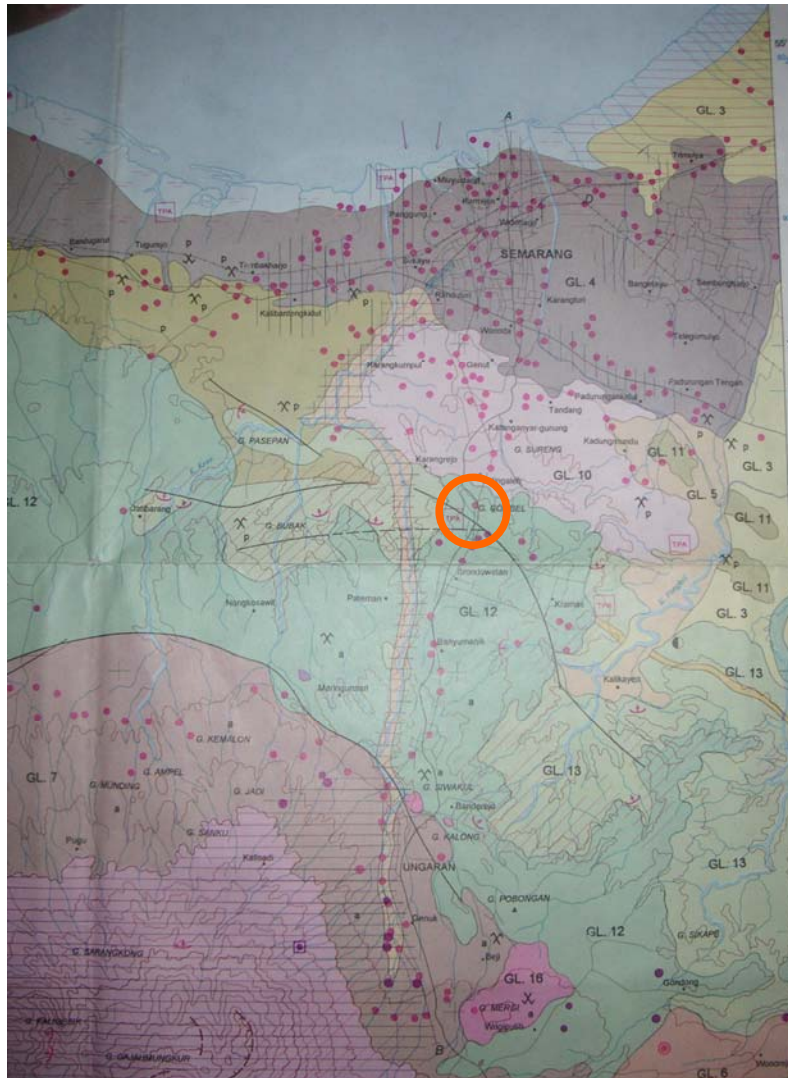
Sumber : Braja M. Das, *Mekanika Tanah Jilid 1*, 1998 hal 218.

#### 2. 4 ASPEK TANAH DAN TANAH DASAR

Tanah dan tanah dasar erat kaitannya dengan konstruksi bangunan sipil, karena setiap bangunan sipil pasti berdiri di atas tanah dasar yang akan menerima dan menahan beban dari keseluruhan struktur di atasnya. Permasalahan pada tanah dan tanah dasar sering kali dijumpai pada suatu konstruksi bangunan sipil. Sedangkan tanah memiliki karakteristik dan sifat-sifat yang berbeda dari satu lokasi dengan lokasi lainnya. Sehingga diperlukan penanganan dan perlakuan khusus dalam mengatasi permasalahan yang mungkin terjadi dalam perencanaan suatu konstruksi bangunan sipil.

### 2. 4. 1 ASPEK GEOLOGI

Lapisan tanah Semarang dapat dilihat pada **Gambar 2.2** dari sumber Peta Geologi Tata Lingkungan Indonesia, Jawa pada lembar Magelang Semarang yang disusun oleh M. Wahid Tahun 1993 dengan skala 1 : 100.000. Peta diperoleh dari Direktorat Geologi Tata Lingkungan.



**Gambar 2. 2** Peta Geologi Tata Lingkungan Lembar Semarang

UNIT	MORFOLOGI MORPHOLOGY	LITOLOGI LITHOLOGY
GL 1	Dataran pantai* (lereng < 3%) <i>Coastal plains</i> (slope < 3%)	Lempung dan lempung pasir <i>Clay and sandy clay</i>
GL 2	Tepi danau (lereng < 8%) <i>Lake sides</i> (slope < 8%)	Lempung organik dan lanau lempungan <i>Organic clay and clayey silt</i>
GL 3	Dataran limbah banjir (lereng < 5%) <i>Flood plains</i> (slope < 5%)	Lempung lanauan dan lempung pasir <i>Silty clay and sandy clay</i>
GL 4	Dataran aluvial (lereng 3%-5%) <i>Alluvial plains</i> (slope 3%-5%)	Lempung pasir dan pasir lempungan <i>Sandy clay and clayey sand</i>
GL 5	Teras sungai dan dataran banjir (lereng < 10%) <i>River terraces and flood plains</i> (slope < 10%)	Pasir, kerikil dan bongkah batuan <i>Sand, gravel and boulders</i>
GL 6	Kaki gunungapi (lereng 5-15%) <i>Volcanic foot slopes</i> (slope 5-15%)	Lava andesit, basal dan bahan rombakan vulkanik, lahar <i>Andesitic-basaltic lava and eroded volcanic materials lahar</i>
GL 7	Tubuh gunungapi (lereng < 15-30%) <i>Middle volcanic slopes</i> (slope < 15-30%)	Lava andesit-basal dan bongkah vulkanik, lahar <i>Andesitic-basaltic lava and volcanic boulders lahar</i>
GL 8	Kerucut gunung api (lereng > 30%) <i>Volcanic cones</i> (slope > 30%)	Lava andesit-basal <i>Andesitic-basaltic lava</i>
GL 9	Dataran lahar dan pebukitan terisolir (lereng 10-15%) <i>Lahar plains and isolated hills</i> (slope 10-15%)	Lahar, breksi <i>Lahar deposits, breccia</i>
GL 10	Pebukitan tinggi berlereng curam (lereng 30-70%) <i>High range of hills with steep slopes</i> (slope 30-70%)	Tufa dan lapilli <i>Tuff and lapilli</i>
GL 11	Pebukitan bergelombang (lereng 3-10%) <i>Undulating hills</i> (slope 3-10%)	Batupasir, breksi, tufa, batulempung dan aliran lava <i>Sandstone, breccia tuff, claystone and lava flows</i>
GL 12	Plato (lereng < 15%) <i>Plateaus</i> (slope < 15%)	Breksi vulkanik, aliran lava, tufa <i>Volcanic breccia lava flows, tuff</i>
GL 13	Daerah pebukitan berelief sedang (lereng 15-30%) <i>Hilly area of moderate relief</i> (slope 15-30%)	Selang seling lempung, napal, batupasir <i>Interbedded claystone, marl, sandstone</i>
GL 14	Daerah pebukitan berelief kasar (lereng 30-70%) <i>Hilly area of rough relief</i> (slope 30-70%)	Batupasir, breksi, dan tufa <i>Sandstone, breccia and tuff</i>
GL 15	Daerah pebukitan berelief sedang-kasar (lereng 15-70%) <i>Hilly area of moderate-rough relief</i> (slope 15-70%)	Batugamping <i>Limestone</i>
GL 16	Kerucut pebukitan tinggi (lereng > 30%) <i>Conical high range of hills</i> (slope > 30%)	Batuan basal, andesit <i>Basalt, andesite</i>

Gambar 2. 3 Morfologi dan Litologi Batuan



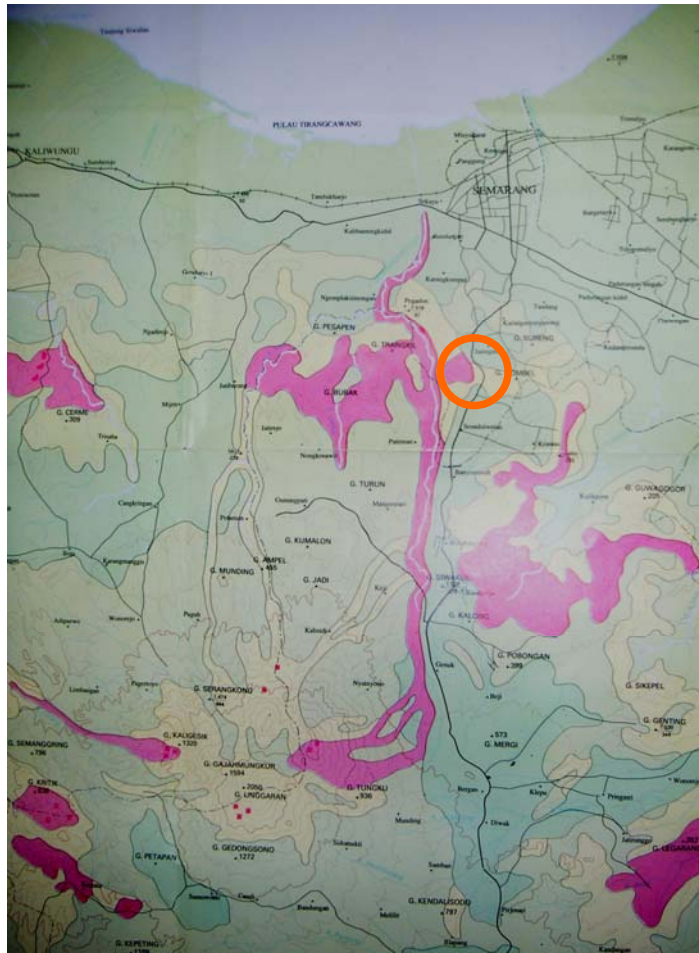
Geologi Kota Semarang berdasarkan Peta Geologi Lembar Magelang - Semarang (RE. Thaden, dkk; 1996), susunan stratigrafinya adalah sebagai berikut:

1. Aluvium (Qa) adalah merupakan endapan aluvium pantai, sungai dan danau. Endapan pantai litologinya terdiri dari lempung, lanau dan pasir dan campuran diantaranya mencapai ketebalan 50 m atau lebih. Endapan sungai dan danau terdiri dari kerikil, kerakal, pasir dan lanau dengan tebal 1 - 3 m. Bongkah tersusun andesit, batu lempung dan sedikit batu pasir.
2. Batuan Gunung api Gajahmungkur (Qhg) adalah batuan berupa lava andesit, berwarna abu-abu kehitaman, berbutir halus, holokristalin, komposisi terdiri dari felspar, hornblende dan augit, bersifat keras dan kompak, setempat memperlihatkan struktur kekar berlembar (sheeting joint).
3. Batuan Gunungapi Kaligesik (Qpk) adalah batuan berupa lava basalt, berwarna abu-abu kehitaman, halus, komposisi mineral terdiri dari felspar, olivin dan augit, sangat keras.
4. Formasi Jongkong (Qpj) adalah breksi andesit hornblende augit dan aliran lava, sebelumnya disebut batuan gunung api Ungaran Lama. Breksi andesit berwarna coklat kehitaman, komponen berukuran 1 - 50 cm, menyudut - membundar tanggung dengan masa dasar tufaan, porositas sedang, kompak dan keras. Aliran lava berwarna abu-abu tua, berbutir halus, setempat memperlihatkan struktur vesikuler (berongga).
5. Formasi Damar (QTd) adalah batuan terdiri dari batupasir tufaan, konglomerat, dan breksi vulkanik. Batu pasir tufaan berwarna kuning kecoklatan berbutir halus - kasar, komposisi terdiri dari mineral mafik, felspar, dan kuarsa dengan masa dasar tufaan, porositas sedang, keras. Konglomerat berwarna kuning kecoklatan hingga kehitaman, komponen terdiri dari andesit, basalt, batu apung, berukuran 0,5 - 5 cm, membundar tanggung hingga membundar baik, agak rapuh. Breksi vulkanik mungkin diendapkan sebagai lahar, berwarna abu-abu kehitaman, komponen terdiri dari andesit dan basalt, berukuran 1 - 20 cm, menyudut - membundar tanggung, agak keras.
6. Formasi Kaligetas (Qpkg) adalah batuan terdiri dari breksi dan lahar dengan sisipan lava dan tuf halus sampai kasar, setempat di bagian bawahnya ditemukan batu lempung mengandung moluska dan batu pasir tufaan. Breksi dan lahar berwarna coklat kehitaman, dengan komponen berupa andesit, basalt, batu apung dengan masa

dasar tufa, komponen umumnya menyudut - menyudut tanggung, porositas sedang hingga tinggi, breksi bersifat keras dan kompak, sedangkan lahar agak rapuh. Lava berwarna hitam kelabu, keras dan kompak. Tufa berwarna kuning keputihan, halus - kasar, porositas tinggi, getas. Batu lempung, berwarna hijau, porositas rendah, agak keras dalam keadaan kering dan mudah hancur dalam keadaan basah. Batu pasir tufaan, coklat kekuningan, halus - sedang, porositas sedang, agak keras.

7. Formasi Kalibeng (Tmkl) adalah batuanannya terdiri dari napal, batu pasir tufaan dan batu gamping. Napal berwarna abu-abu kehijauan hingga kehitaman, komposisi terdiri dari mineral lempung dan semen karbonat, porositas rendah hingga kedap air, agak keras dalam keadaan kering dan mudah hancur dalam keadaan basah. Pada napal ini setempat mengandung karbon (bahan organik). Batu pasir tufaan kuning kehitaman, halus/kasar, porositas sedang, agak keras, Batu gamping merupakan lensa dalam napal, berwarna putih kelabu, keras dan kompak.
8. Formasi Kerek (Tmk) adalah perselingan batu lempung, napal, batu pasir tufaan, konglomerat, breksi vulkanik dan batu gamping. Batu lempung kelabu muda - tua, gampingan, sebagian bersisipan dengan batu lanau atau batu pasir, mengandung fosil foram, moluska dan koral-koral koloni. Lapisan tipis konglomerat terdapat dalam batu lempung di K. Kripik dan di dalam batupasir. Batu gamping umumnya berlapis, kristalin dan pasiran, mempunyai ketebalan total lebih dari 400 m.

Berdasarkan analisis di atas maka daerah Kota Semarang dapat dibagi menjadi 4 zona kerentanan gerakan tanah, yaitu Zona Kerentanan Gerakan Tanah sangat Rendah, Rendah, Menengah dan Tinggi. Hal ini dapat dilihat pada peta kerentanan gerakan tanah lembar Semarang tahun 1991 berikut ini.



**Gambar 2. 4 Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Lembar Semarang**

### 1. Zona Kerentanan Gerakan Tanah Sangat Rendah

Daerah ini mempunyai tingkat kerentanan sangat rendah untuk terjadi gerakan tanah. Pada zona ini sangat jarang atau tidak pernah terjadi gerakan tanah, baik gerakan tanah lama maupun gerakan tanah baru, terkecuali pada daerah tidak luas di sekitar tebing sungai. Merupakan daerah datar sampai landai dengan kemiringan lereng alam kurang dari 15 % dan lereng tidak dibentuk oleh endapan gerakan tanah, bahan timbunan atau lempung yang bersifat mengembang. Lereng umumnya dibentuk oleh endapan aluvium (Qa), batu pasir tufaan (QTd), breksi vulkanik (Qpkg), dan lava andesit (Qhg).

Daerah yang termasuk zona kerentanan gerakan tanah sangat rendah sebagian besar meliputi bagian utara Kodya Semarang, mulai dari Mangkang, kota semarang,

Gayamsari, Pedurungan, Plamongan, Gendang, Kedungwinong, Pengkol, Kaliget, Banyumanik, Tembalang, Kondri dan Pesantren, dengan luas sekitar 222,8 Km<sup>2</sup> (57,15%) dari seluruh kota Semarang.

## 2. Zona Kerentanan Gerakan Tanah Rendah

Daerah yang mempunyai tingkat kerentanan rendah untuk terjadi gerakan tanah. Umumnya pada zona ini jarang terjadi gerakan tanah jika tidak mengalami gangguan pada lereng dan jika terdapat gerakan tanah lama, lereng telah mantap kembali. Gerakan tanah berdimensi kecil mungkin dapat terjadi, terutama pada tebing lembah (alur) sungai. Kisaran kemiringan lereng mulai dari landai (5 - 5%) sampai sangat terjal (50 - 70%). Tergantung pada kondisi sifat fisik dan keteknikan batuan dan tanah pembentuk lereng. Pada lereng terjal umumnya dibentuk oleh tanah pelapukan yang cukup tipis dan vegetasi penutup baik cukup tipis dan vegetasi penutup baik, umumnya berupa hutan atau perkebunan. Lereng pada umumnya dibentuk oleh breksi vulkanik (Qpkg), batu pasir tufaan (QTd), breksi andesit (Qpj) dan lava (Qhg).

Daerah yang termasuk zona ini antara lain Jludang, Salamkerep, Wonosari, Ngaliyan, Karangjangkang, Candisari, Ketileng, Dadapan, G. Gajahmungkur, Mangunsari, Prebalan, Ngrambe, dan Mijen dengan luas penyebaran 77,00 km<sup>2</sup> (19,88%) dari luas kota Semarang.

## 3. Zona Kerentanan Gerakan Tanah Menengah

Daerah yang mempunyai tingkat kerentanan menengah untuk terjadi gerakan tanah. Pada zona ini dapat terjadi gerakan tanah terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir tebing jalan atau jika lereng mengalami gangguan. Gerakan tanah lama dapat aktif kembali akibat curah hujan yang tinggi. Kisaran kemiringan lereng mulai dari landai (5 - 15%) sampai sangat terjal (50 - 70%). Tergantung pada kondisi sifat fisik dan keteknikan batuan dan tanah sebagai material pembentuk lereng. Umumnya lereng mempunyai vegetasi penutup kurang. Lereng pada umumnya dibentuk oleh batuan napal (Tmk), perselingan batu lempung dan napal (Tmkl), batu pasir tufaan (QTd), breksi vulkanik (Qpkg), lava (Qhg) dan lahar (Qpk).

Penyebaran zona ini meliputi daerah sekitar Tambakaji, Bringin, Duwet, Kedungbatu, G. Makandowo, Banteng, Sambiroto, G. Tugel, Deli, Damplak, Kemalon, Sadeng, Kalialang, Ngemplak dan Srindingan dengan luas sekitar 64,8 Km<sup>2</sup> (16,76%) dari seluruh kota Semarang.

#### 4. Zona Kerentanan Gerakan Tanah Tinggi

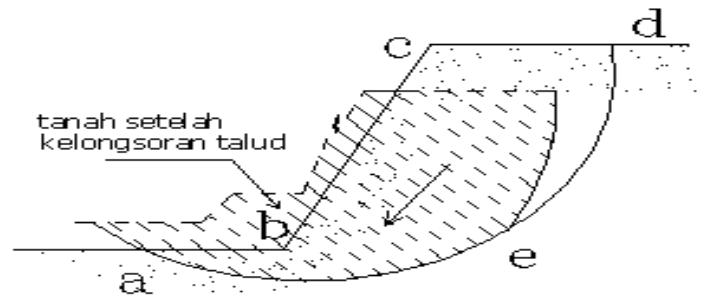
Daerah yang mempunyai tingkat kerentanan tinggi untuk terjadi gerakan tanah. Pada zona ini sering terjadi gerakan tanah, sedangkan gerakan tanah lama dan gerakan tanah baru masih aktif bergerak akibat curah hujan tinggi dan erosi yang kuat.

Kisaran kemiringan lereng mulai landai (5 - 15%) sampai curam (>70%). Tergantung pada kondisi sifat fisik dan keteknikan batuan dan tanah. Vegetasi penutup lereng umumnya sangat kurang. Lereng pada umumnya dibentuk oleh batuan napal (Tmkl), perselingan batu lempung dan napal (Tmk), batu pasir tufaan (QTd) dan breksi vulkanik (Qpkg).

Daerah yang termasuk zona ini antara lain: Pucung, Jokoprono, Talunkacang, Mambankerep, G. Krincing, Kuwasen, G. Bubak, Banaran, Asinan, Tebing Kali Garang dan Kali Kripik bagian tengah dan selatan, Tegalklampis, **G. Gombel**, Metaseh, Salakan dan Sidoro dengan luas penyebaran sekitar 23,6km<sup>2</sup> (6,21%) dari seluruh kota Semarang.

#### 2. 4. 2 STABILITAS LERENG (SLOPE STABILITY)

Permukaan tanah yang tidak datar, yaitu memiliki kemiringan tertentu terhadap bidang horisontal dapat menyebabkan komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan bergerak ke arah bawah. Bila komponen berat tanah tersebut cukup besar kelongsoran tanah dapat terjadi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**, yaitu tanah dalam zona a, b, c, d, e dapat tergelincir. Dengan kata lain, gaya dorong (*driving force*) melampaui gaya yang berlawanan dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor. (*Braja M. Das, Mekanika Tanah* )



**Gambar 2.5 Kelongsoran talud**

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

Faktor-faktor penyebab kelongsoran secara garis besar dibagi menjadi dua, yaitu akibat pengaruh luar (*external effect*) dan akibat pengaruh dalam (*internal effect*). Penjelasan mengenai dua hal tersebut dipaparkan sebagai berikut :

- a. Gangguan luar, yang meliputi :
  1. Getaran yang ditimbulkan gempa bumi, peledakan, kereta api, dan lain-lain.
  2. Pembebanan tambahan, terutama disebabkan aktifitas manusia misalnya adanya bangunan atau timbunan di atas tebing.
  3. Hilangnya penahan lateral, yang dapat disebabkan oleh pengikisan (erosi sungai, pantai) atau penggalian.
  4. Hilangnya tumbuhan penutup yang dapat menimbulkan alur pada beberapa daerah tertentu yang akan mengakibatkan erosi dan akhirnya akan terjadi longsor.
  5. Iklim, beberapa jenis tanah mengembang pada saat musim hujan dan menyusut pada musim kemarau. Pada musim hujan, kuat geser tanah ini menjadi sangat rendah dibandingkan dengan pada saat musim kemarau. Oleh karena itu kuat geser yang dipakai dalam analisis stabilitas lereng harus didasarkan pada kuat geser tanah dimusim hujan atau kuat geser tanah pada saat tanah jenuh.

6. Penataan lahan yang kurang tepat seperti pembukaan areal pemukiman tanpa memperhitungkan kondisi struktur tanah dan kurang memperhatikan lingkungan. Hal ini berlangsung dalam kurun waktu yang lama dapat menyebabkan terjadinya gerakan tanah terutama pada daerah yang mempunyai kemiringan tinggi.
- b. Gangguan dalam, yang meliputi :
1. Naiknya berat massa tanah batuan, masuknya air ke dalam tanah menyebabkan terisinya rongga antar butir sehingga massa tanah bertambah.
  2. Larutnya bahan pengikat butir yang membentuk batuan oleh air, misalnya perekat dalam batu pasir yang dilarutkan air sehingga ikatannya hilang.
  3. Naiknya muka air tanah, muka air dapat naik karena rembesan yang masuk pada pori antar butir tanah yang menyebabkan tekanan air pori naik sehingga kekuatan gesernya turun.
  4. Pengembangan tanah, rembesan air dapat menyebabkan tanah mengembang terutama untuk tanah lempung.
  5. Pengaruh Geologi  
Proses geologi dalam pembentukan lapisan-lapisan kulit bumi dengan cara pengendapan sedimen ternyata memungkinkan terbentuknya suatu lapisan yang potensial mengalami kelongsoran.
  6. Pengaruh Morfologi  
Variasi bentuk permukaan bumi yang meliputi daerah pegunungan dan lembah dengan sudut kemiringan permukaannya yang cenderung besar, maupun daerah dataran rendah yang permukaannya cenderung datar, ternyata memiliki peranan penting dalam menentukan kestabilan daerah tersebut sehubungan dengan kasus kelongsoran. Secara logis daerah dengan kemiringan besar lebih potensial mengalami kelongsoran dibanding daerah datar, sehingga kasus kelongsoran seringkali ditemui di daerah gunung atau perbukitan, dan pada pekerjaan galian atau timbunan yang memiliki sudut kemiringan besar. Kestabilan lereng terganggu akibat lereng yang terlalu terjal, perlemahan pada kaki lereng dan tekanan beban yang berlebihan di kepala lereng. Hal tersebut bisa terjadi karena erosi pada kaki lereng dan kegiatan penimbunan atau pemotongan lereng yang dilakukan manusia.

## 7. Pengaruh Proses Fisika

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 lambat laun tereduksi kekuatannya terutama nilai kohesi( $c$ ) dan sudut geser dalamnya( $\theta$ ).

## 8. Pengaruh Air Dalam Tanah

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

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

Aliran air juga dapat menyebabkan erosi yaitu pengikisan lapisan oleh aliran air sehingga keseimbangan lereng menjadi terganggu. Secara lebih umum, faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

### 1. Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan.

Meliputi naiknya berat unit tanah karena pembasahan, adanya tambahan beban eksternal misalnya bangunan, bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami atau karena penggalian, dan bekerjanya beban guncangan.

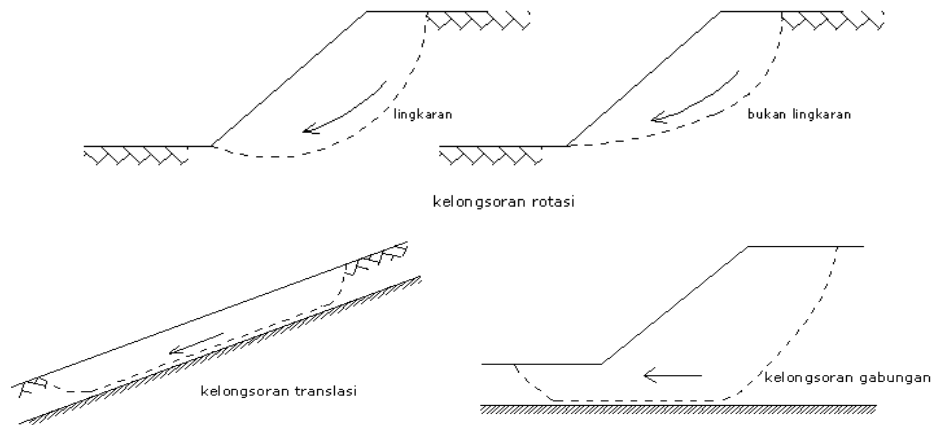
### 2. Faktor-faktor yang menyebabkan turunnya kekuatan.

Penurunan atau kehilangan kekuatan dapat terjadi karena adanya absorpsi air, kenaikan tekanan pori, beban guncangan atau beban berulang, pengaruh pembekuan dan pencairan, hilangnya sementasi material, proses pelapukan, hilangnya kekuatan karena regangan berlebihan pada lempung sensitif. (*I.S Dunn, L.R Anderson, dan F.W Kiefer, Dasar-dasar Analisis Geoteknik*)

Tipe keruntuhan lereng yang paling penting ditunjukkan pada **Gambar 2.6**. Dalam kelongsoran rotasi (*rotational slip*) bentuk permukaan runtuh pada potongannya dapat berupa busur lingkaran atau kurva bukan lingkaran. Pada umumnya, kelongsoran lingkaran berhubungan dengan kondisi tanah yang homogen dan longsor bukan lingkaran berhubungan dengan kondisi tidak homogen. Kelongsoran translasi



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



**Gambar 2.6 Tipe-tipe keruntuhan lereng**

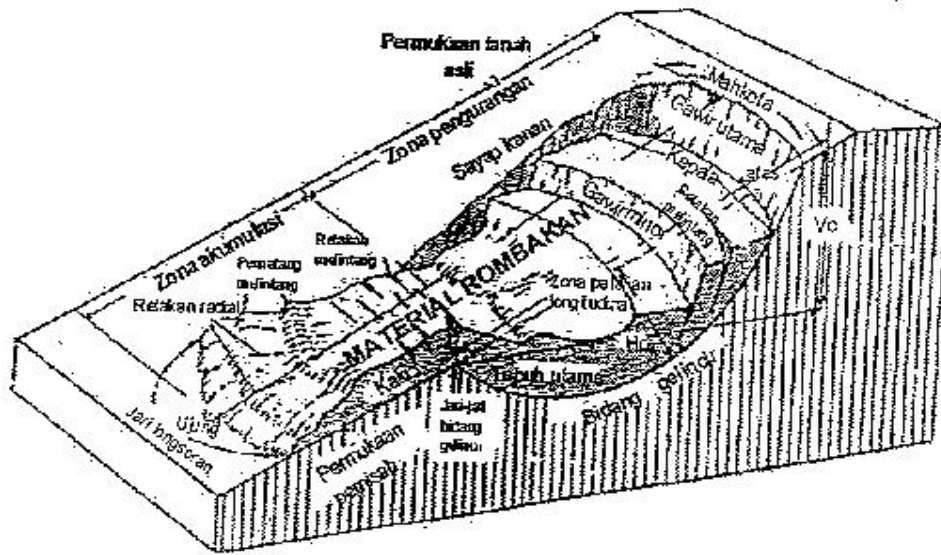
Bagian-bagian longsoran menurut *Varnes*, 1978 dalam *Karnawati*, 2001 ditunjukkan sebagai berikut :

**Tabel 2. 6 Bagian-bagian longsoran**

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

No.	Nama	Definisi
5.	Tebing minor ( <i>minor scrap</i> )	Permukaan yang curam pada material yang bergerak / pindah ( <i>displaced material</i> ) dengan tebing utama longsoran ( <i>main scrap</i> ).
6.	Tubuh utama ( <i>main scrap</i> )	Bagian longsoran pada material yang bergerak / pindah ( <i>displaced material</i> ) yang merupakan bidang kontak antara bidang gelincir ( <i>surface of rupture</i> ), tebing utama longsoran dan jari permukaan / bidang gelincir.
7.	Kaki longsoran ( <i>foot</i> )	Bagian dari longsoran yang bergerak mulai dari jari bidang gelincir dan bersentuhan dengan permukaan tanah asli.
8.	Ujung longsoran ( <i>tip</i> )	Titik pada jari kaki longsoran yang letaknya paling jauh dari puncak longsoran ( <i>top</i> ).
9.	Jari kaki longsoran ( <i>toe</i> )	Bagian paling bawah longsoran yang biasanya berbentuk lengkung (kurva) yang berasal dari material longsoran yang bergerak / berpindah ( <i>displaced material</i> ) letaknya paling jauh dari tebing
10.	Permukaan / bidang gelincir ( <i>surface of rupture</i> )	Permukaan yang dibentuk oleh batas bawah material yang bergerak / pindah di bawah permukaan tanah asli.
11.	Jari dari permukaan / bidang gelincir ( <i>toe of surface of rupture</i> )	Bidang kontak antara bagian bawah dari permukaan / bidang gelincir longsoran dengan tanah asli.
12.	Permukaan pemisah ( <i>surface of separation</i> )	Bagian dari permukaan tanah asli yang bersentuhan dengan kaki longsoran.
13.	Material yang bergerak / pindah ( <i>displaced material</i> )	Material yang bergerak dari posisi asli yang digerakkan oleh longsoran yang dibentuk oleh massa yang tertekan ( <i>depleted mass</i> ) dan akumulasi massa ( <i>accumulation</i> ).

No.	Nama	Definisi
14.	Daerah yang tertekan ( <i>zone of depletion</i> )	Daerah longsoran yang terdapat di dalam material yang bergerak / pindah ( <i>displaced material</i> ) dan terletak di bawah permukaan tanah asli ( <i>original ground surface</i> )
15.	Daerah akumulasi ( <i>zone of accumulation</i> )	Daerah longsoran yang terdapat terdapat di dalam material yang bergerak / pindah ( <i>displaced material</i> ) dan terletak di bawah permukaan tanah asli ( <i>original ground surface</i> ).
16.	Penekanan ( <i>depletion</i> )	Volume yang terbentuk oleh tebing utama longsoran ( <i>main scrap</i> ), massa yang tertekan ( <i>depleted mass</i> ) dan permukaan tanah asli.
17.	Massa yang tertekan ( <i>depleted mass</i> )	Volume dari material yang bergerak / pindah ( <i>displaced material</i> ) yang bersentuhan dengan permukaan / bidang gelincir tetapi berada di bawah permukaan tanah asli.
18.	Akumulasi ( <i>accumulation</i> )	Volume dari material yang bergerak / pindah ( <i>displaced material</i> ) yang terletak di atas permukaan tanah asli.
19.	Sayap ( <i>flange</i> )	Material yang tidak mengalami pergerakan yang berdekatan dengan sisi samping permukaan / bidang gelincir.
20.	Permukaan tanah asli ( <i>original ground surface</i> )	Permukaan lereng sebelum terjadi longsoran.



**Gambar 2.7 Bagian-bagian longsoran**  
 Sumber : Varnes, 1978 dalam Karnawati, 2001

Kemantapan Lereng (Slope Stability) sangat dipengaruhi oleh kekuatan geser tanah untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanah mengalami keruntuhan. Dalam prakteknya, analisa stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Adapun maksud analisa stabilitas lereng 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 lereng dan daya dukung tanah menggunakan teori Irisan (*Method of Slice*), metode Bishop's (*Bishop's Method*) dan metode *Fellinius*.

Dalam menganalisa stabilitas lereng digunakan beberapa anggapan yaitu :

- Kelongsoran terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
- Masa tanah yang longsor dianggap sebagai benda masif.
- Tahanan geser pada setiap titik sepanjang bidang lonsor tidak tergantung pada orientasi permukaan longsor dengan kata lain kuat geser tanah dianggap isotropis.
- Faktor keamanan didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser sepanjang permukaan longsoran. Jadi kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik-titik tertentu pada bidang longsornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar dari 1.
- Hukum Coloumb 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,  $\sigma = \sigma' + \mu$

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

$$\eta = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Penggerak}} = \frac{Rc.L_{AC}}{W.y}$$

dimana :

$\eta$  = Faktor Keamanan

$W$  = Berat tanah yang akan longsor (kN)

$L_{AC}$  = Panjang Lengkungan (m)

$c$  = Kohesi (kN/m<sup>2</sup>)

$R$  = Jari-jari bidang longsor yang ditinjau

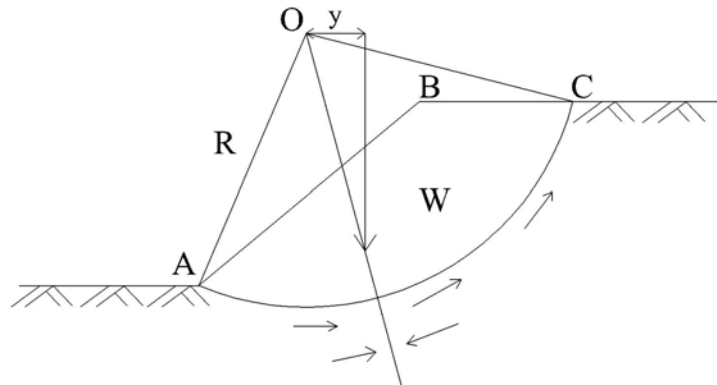
$Y$  = Jarak pusat berat  $W$  terhadap  $O$  (m)

Jika :  $\eta < 1$  maka lereng tidak stabil

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

$\eta > 1$  maka lereng stabil

Untuk memperoleh angka keamanan suatu lereng, maka perlu dilakukan ‘trial and errors’ terhadap beberapa bidang longsor yang umumnya berupa busur lingkaran dan kemudian diambil nilai  $\eta$  minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Analisa stabilitas lereng dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.

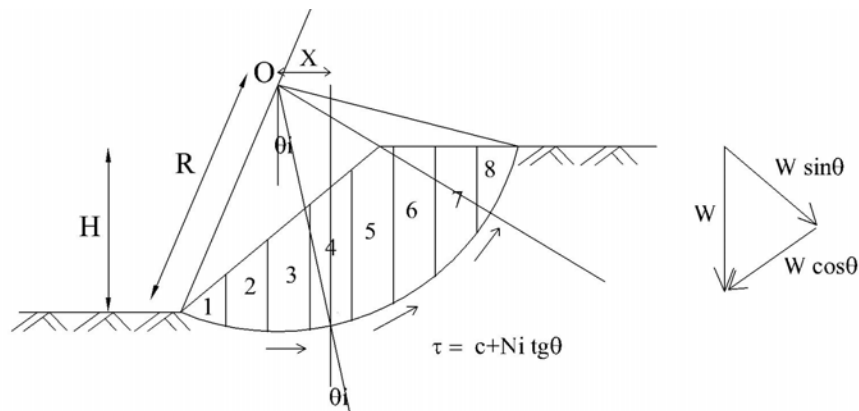


**Gambar 2.8 Analisa Stabilitas Lereng**

## 1. Metode Irisan (Method of Slice)

Metode irisan adalah cara-cara stabilitas lereng yang telah dibahas sebelumnya hanya dapat berlaku apabila tanah homogen. Apabila tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanahnya memberikan bentuk aliran dan berat volume tanah tidak mementu, maka metode ini tidak cocok digunakan.

Gaya normal bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi 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 lapisan diperhatikan. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser ( $X_r$  dan  $X_i$ ) dan gaya normal efektif ( $E_r$  dan  $E_i$ ) disepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya geser efektif ( $T_i$ ) dan resultan gaya normal efektif ( $N_i$ ) yang bekerja di sepanjang dasar irisannya. Pada irisannya, tekanan air pori  $U_i$  dan  $U_r$  bekerja di kedua sisinya, tekanan air pori  $U_i$  bekerja pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui, seperti pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2.9 Gaya yang Bekerja pada Irisan Bidang Longsor**

## 2. Metode Bishop's (Bishop's Method)

Metode Bishop's ini merupakan dasar teori bagi 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 :

$\sigma$  = 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 longsornya dapat dinyatakan dengan :

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

Dimana :

$F$  = Faktor keamanan

$C'$  = Kohesi tanah efektif

$\phi'$  = Sudut geser dalam tanah efektif

$b_i$  = Lebar irisan ke - i

$W_i$  = berat irisan tanah ke - i

$\theta_i$  = Sudut yang diasumsikan dalam **Gambar 2.9**

$U_i$  = tekanan air pori pada irisan ke - i

Nilai banding tekana 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

$\gamma$  = Berat volume tanah

$h$  = tinggi irisan rata-rata

Adapun bentuk persamaan faktor keamanan untuk analisa stabilitas lereng cara Bishop's adalah

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

Persamaan faktor aman Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode lainnya seperti Fellinius karena membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), karena nilai faktor aman F nampak di kedua sisi persamaannya. Akan tetapi, cara ini terbukti memberikan nilai faktor aman yang mendekati nilai faktor aman dari perhitungan yang lain yang lebih teliti. Untuk mempermudah perhitungan dapat digunakan untuk menentukan nilai fungsi  $M_i$  dengan rumus.

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

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

Dalam praktek, diperlukan untuk melakukan cara coba-coba dalam menemukan bidang longsor dengan nilai faktor aman terkecil. Jika bidang longsor dianggap lingkaran, maka lebih baik bila dibuat kotak-kotak dimana tiap titik potong garis-garisnya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longsornya. Pada titik-titik potongan garis yang merupakan pusat lingkaran longsornyadituliskan nilai faktor aman terkecil pada titik tersebut. Kemudian setelah faktor keamanan terkecil diperoleh, digambarkan garis kontur yang menunjukkan tempat kedudukannya dari titik-titik pusat lingkaran yang mempunyai faktor aman yang sama. Dari faktor aman di setiap kontur tentukan letak kira-kira dari pusat lingkaran yang menghasilkan faktor keamanan terkecil.

### 3. Metode Fellinius

Analisa stabilitas lereng dengan cara Fellinius (1927) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsornya. Metode Fellinius ini yang menjadi dasar yang digunakan dalam program Plaxis. Faktor keamanan didefinisikan sebagai :



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

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

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- $i$

$\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan pada gambar di atas

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

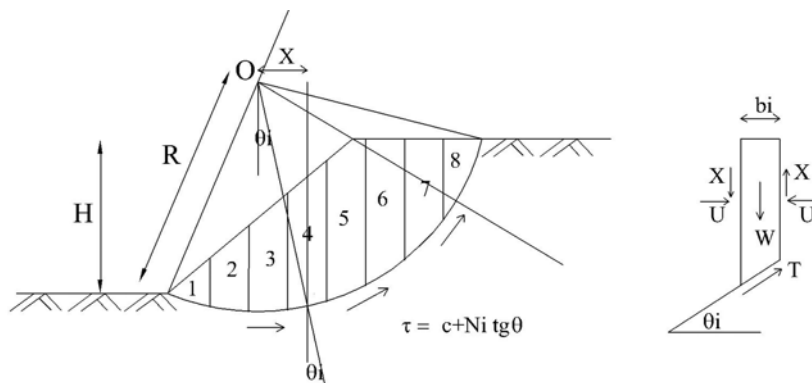
$$\sum Mr = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + Nitg\theta)$$

Karena itu, faktor keamanannya menjadi :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + Nitg\theta)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Gaya-gaya dan asumsi bidang pada tiap pias bidang longsor seperti terdapat pada

**Gambar 2.10.**



**Gambar 2.10 Gaya Bidang Longsor Pada Tiap Pias Bidang Longsor**

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

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

Dimana :

F = Faktor keamanan

c = Kohesi tanah

$\emptyset$  = Sudut geser dalam tanah

$a_i$  = panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i

$W_i$  = Berat irisan tanah ke-i

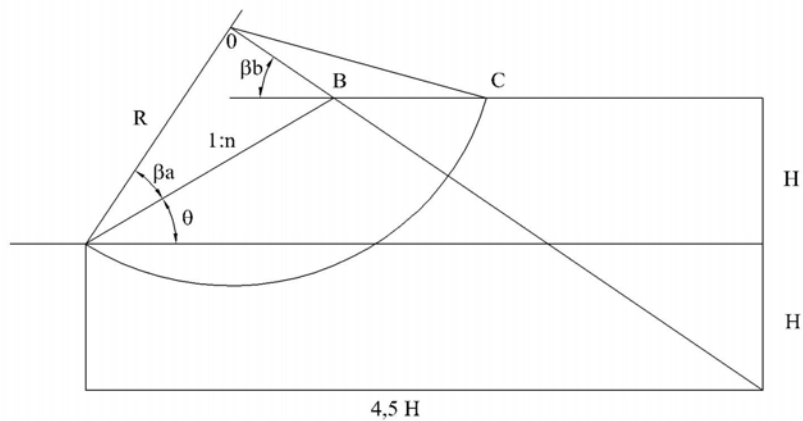
$U_i$  = Tekanan air pori pada irisan ke-i

$\theta_i$  = Sudut yang didefinisikan pada gambar

Jika terdapat gaya-gaya selain berat lereng sendiri, seperti beban bangunan di atas lereng, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai Md. Metode Fellenius memberikan faktor aman yang lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai kira-kira 5%-40% tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besar tekanan air pori, walaupun analisis ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahan masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkarannya (*Whitman dan Baily, 1967*). Cara ini telah banyak digunakan prakteknya karena cara hitungan yang sederhana dan kesalahan yang terjadi pada sisi yang aman.

- **Menentukan Lokasi Titik Pusat Bidang Longsor**

Untuk memudahkan cara *trial and error* terhadap stabilitas lereng maka titik-titik pusat bidang longsor yang berupa busur lingkaran harus ditentukan dahulu melalui suatu pendekatan seperti **Gambar 2.11**. Fellenius memberikan petunjuk untuk menentukan lokasi titik pusat busur longsor kritis yang melalui tumit suatu lereng pada tanah kohesif (c-soil) seperti pada **Tabel 2.7**.



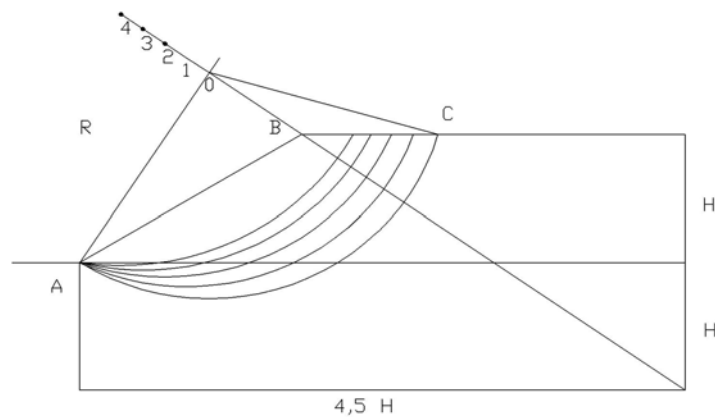
**Gambar 2.11 Lokasi Pusat Busur Longsor Kritis pada Tanah Kohesif**

**Tabel 2.7 Sudut-sudut petunjuk menurut *Fellinius***

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

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

Grafik *Fellinius* menunjukkan bahwa dengan meningkatnya nilai sudut geser ( $\emptyset$ ) maka titik pusat longsor akan bergerak naik dari  $O_0$  yang merupakan titik pusat busur longsor tanah  $c$  ( $\emptyset = 0$ ) 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 pusat bidang longsor. Dan dari busur longsor tersebut dianalisa masing-masing angka keamanannya untuk memperoleh nilai  $n$  yang paling minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis, untuk lebih jelasnya lihat **Gambar 2.12**.



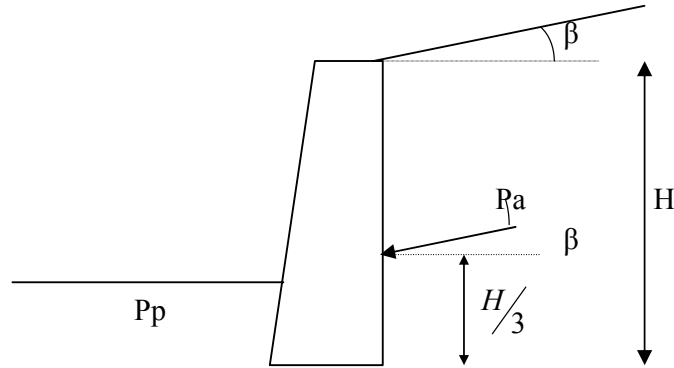
**Gambar 2. 12 Posisi Titik Pusat Busur Longsor pada Garis Oo – K**

### 2. 4. 3 TEKINAN TANAH LATERAL

Suatu struktur seperti dinding penahan tanah pasti menerima tekanan lateral yang dapat dikelompokkan kedalam 3 keadaan yaitu keadaan aktif, keadaan diam dan keadaan pasif. Tekanan tanah diam adalah tekanan lateral yang ada dalam deposit tanah yang tidak disebabkan oleh adanya dorongan lateral. Tekanan lateral dalam keadaan pasif dan aktif adalah kondisi-kondisi yang terbatas dan merupakan keadaan keseimbangan plastis. Sebagian keseimbangan plastis terjadi apabila semua bagian dari massa tanah ada pada ambang keruntuhan. Keadaan tegangan aktif terjadi apabila deposit tanah bergerak sedemikian sehingga tanah cenderung meregang horizontal sebagai contoh, sebuah dinding penahan bergerak menjauhi tanah belakangnya. Keadaan tegangan tanah pasif terjadi apabila gerakan adalah sedemikian sehingga tanah cenderung memampat. Gerakan yang diperlukan untuk terjadinya keadaan pasif jauh lebih besar daripada untuk keadaan aktif.

Besar dan distribusi tekanan lateral merupakan fungsi dari berbagai variabel kondisi-kondisi batas, termasuk gerakan struktur, jenis dan sifat-sifat bahan tanah belakang, gesekan pada peralihan tanah dan struktur, adanya air tanah, metode penimbunan material tanah belakang dan kondisi pondasi bagi struktur.

*Rankine* (1857) meninjau tanah dalam keadaan keseimbangan plastis (*Plastic Equilibrium*), dengan dasar asumsi seperti pada **Gambar 2.13**.



**Gambar 2.13 Tekanan Lateral Tanah**

Gaya-gaya yang ditinjau dianggap melalui bidang vertikal dan sudut tanah isian dengan horizontal sama dengan sudut tekanan aktif dengan normalnya. Berdasarkan gambar didapatkan persamaan untuk tekanan tanah aktif dan pasif sebagai berikut :

$$K_a = \cos \beta \times \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

$$K_p = \cos \beta \times \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}$$

Apabila nilai  $\beta = 0$ , sehingga didapat  $\cos \beta = 1$ , maka :

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_p$$

Keterangan :

$P_a$  = tekanan tanah aktif

$P_p$  = tekanan tanah pasif

$K_a$  = koefisien tekanan tanah aktif

$K_p$  = koefisien tekanan tanah pasif

$H$  = tinggi dinding penahan

$\gamma$  = berat isi tanah

$\phi$  = sudut geser dalam tanah

#### 2. 4. 4 METODE ELEMEN HINGGA

Untuk menganalisa perilaku deformasi tanah digunakan bantuan *software* program geoteknik **Plaxis 8** yang menggunakan analisis elemen hingga (*finite element analysis*), dimana tahap-tahapan pergerakan tanah dapat mungkin diketahui. Diskretisasi dilakukan untuk membagi suatu sistem massa menjadi konfigurasi elemen-elemen kecil terhingga yang akan menghasilkan suatu harga pendekatan terhadap keadaan sesungguhnya. Titik potong sisi-sisi elemen disebut titik-titik, dan pertemuan antara elemen-elemen disebut garis titik.

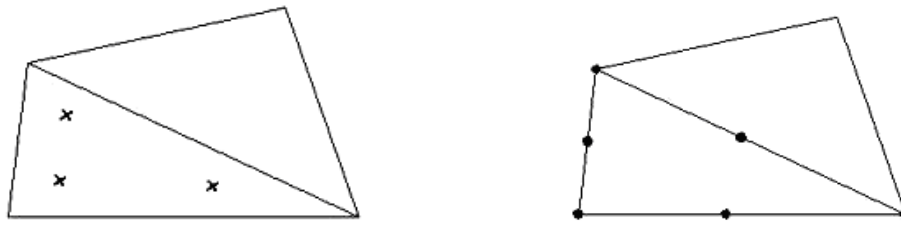
Proses deskritisasi menyangkut prinsip-prinsip :

- Pembagian
- Kesenambungan
- Kompatibilitas
- Konvergensi
- Kesalahan

Proses deskritisasi tidak lain hanyalah suatu pendekatan. Konsekuensinya, hasil yang kita peroleh bukanlah suatu solusi eksak. Harga penyimpangan disebut suatu kesalahan, dan kesalahan ini menjadi semakin kecil bila elemen yang dipergunakan banyak dan makin kecil. (*Ir. Winarni Hadiprayitno dan Ir. Paulus P. Raharjo MSCE, Pengenalan Metode Elemen Hingga pada Teknik Sipil* )

Model *plain strain* digunakan pada struktur dengan potongan melintang yang seragam dan menghubungkan skema tegangan dan pembebanan pada sekitar daerah potongan melintang. Elemen tanah dimodelkan dengan elemen segi tiga yang mempunyai 6 titik sebagai elemen untuk analisis 2 dimensi.

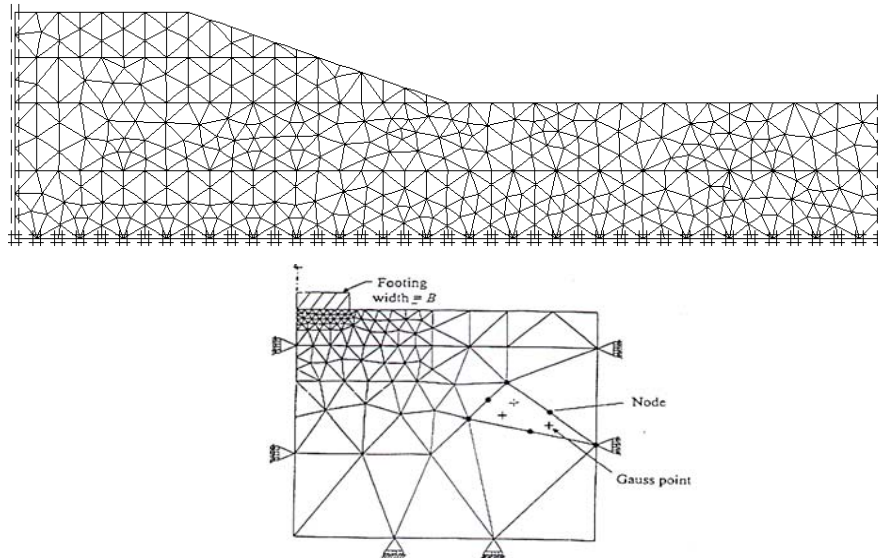
Jaring (*mesh*) terdiri dari elemen-elemen yang dihubungkan oleh *node*. *Node* merupakan titik-titik pada jaring di mana nilai dari variabel primernya dihitung. Misal untuk analisa *displacement*, nilai variabel primernya adalah nilai dari *displacement*. Nilai-nilai *nodal displacement* diinterpolasikan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



**Gambar 2.14 Posisi nodes (titik-titik) dan titik tegangan pada elemen tanah**

Model *Mohr – Coulomb* dipilih sebagai pendekatan perilaku tanah secara umum. Model ini memasukkan 5 parameter yaitu modulus *Young* ( $E$ ), angka *Poisson* ( $\nu$ ), kohesi tanah ( $c$ ), sudut geser tanah ( $\theta$ ) dan sudut dilatasi ( $\psi$ ).

(Haydar Arslan, *Finite Element Study of Soil Structure Interface Problem*, <http://www.ejge.com>)



**Gambar 2.15 Contoh meshing elemen tanah**

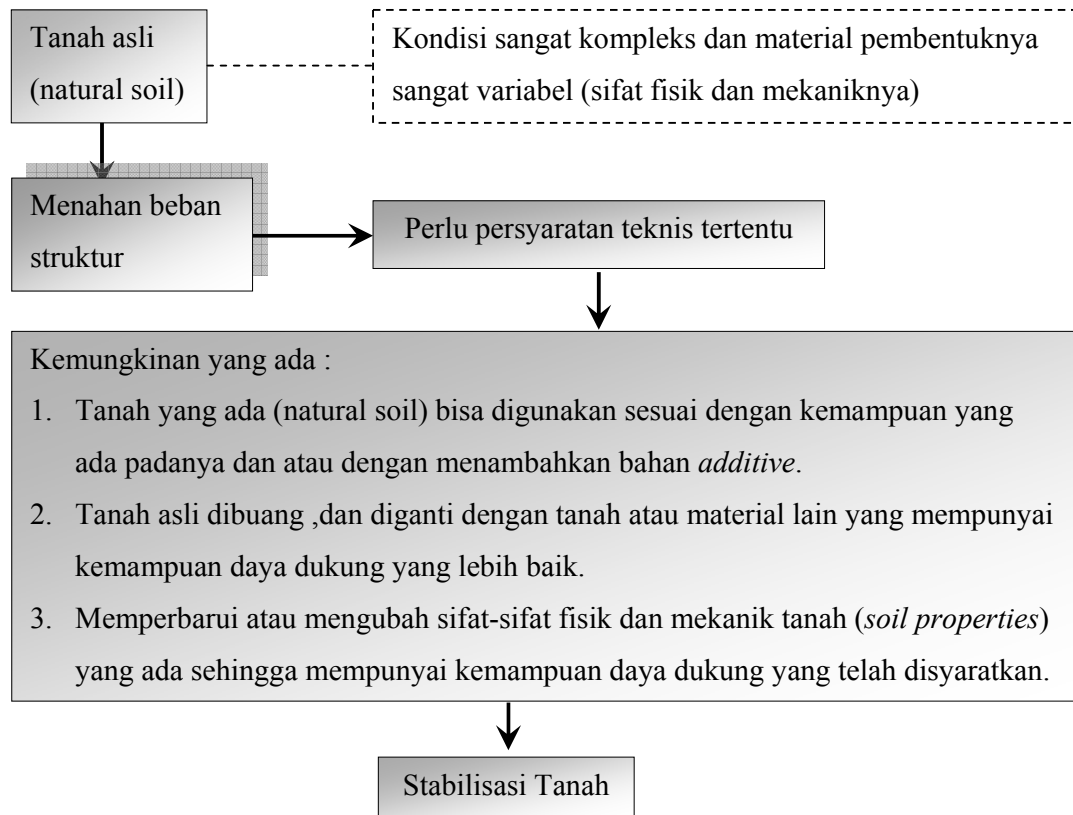
#### 2. 4. 5 PERBAIKAN TANAH

Dalam konstruksi sipil biasanya ditentukan syarat tertentu terhadap tanah yang digunakan. Sering kali dijumpai keadaan tanah di lapangan tidak sesuai dengan syarat yang ditentukan. Keadaan ini mengharuskan dilakukan perbaikan tanah sampai memenuhi syarat.

##### 1. Stabilisasi Tanah (*Soil Stabilization*)

Stabilisasi tanah adalah suatu cara yang ditempuh untuk memperbaiki mutu tanah yang tidak baik atau dapat juga untuk meningkatkan mutu tanah yang sebenarnya sudah

tergolong baik. Tujuan dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah.



**Gambar 2.16 Diagram alir stabilisasi tanah**

Dalam merencanakan suatu konstruksi bangunan perlu diperhatikan sifat-sifat fisik dan mekanik tanah. Adapun sifat-sifat fisik dan mekanik tanah yang berkaitan dengan konstruksi adalah sebagai berikut :

1. Kestabilan volume (*volume stability*)

Kestabilan volume tanah berkaitan dengan kembang susut tanah, jika terjadi kembang susut akan terjadi *volume instability* yang berakibat pada :

- Deformasi  
Deformasi pada tanah akan mempengaruhi struktur yang berada di atasnya.
- Retak (*crack*)  
Retak (*crack*) disebabkan oleh beban yang melebihi kapasitas struktur.



## 2. Tegangan (*strength*)

Tegangan yang dimiliki tanah dipengaruhi oleh kekuatan geser sebagai akibat dari adanya kohesi antar partikel-partikel tanah. Dengan adanya kekuatan geser maka tanah dapat menahan gaya yang arahnya berlawanan dengan kekuatan gesernya. Namun apabila gaya yang bekerja melebihi kekuatan gesernya maka terjadilah keruntuhan lereng.

## 3. Permeabilitas (*permeability*)

Permeabilitas merupakan kemampuan tanah untuk meloloskan air. Apabila permeabilitas semakin besar maka akan berakibat pada *piping failure*. Dimana butiran-butiran tanah akan ikut terbawa air.

## 4. Durabilitas (*durability*)

Merupakan ketahanan tanah terhadap proses pelapukan sebagai akibat adanya pergantian iklim, erosi, kelelahan akibat pembebanan berulang-ulang.

Dalam stabilisasi tanah dikenal beberapa metode. Menurut jenis material yang digunakan, metode stabilisasi tanah dapat dibedakan menjadi :

### 1. Stabilisasi mekanis (*mechanical stabilization*)

Merupakan penambahan kekuatan dan daya dukung terhadap tanah yang ada dengan mengatur gradasi dari butir tanah yang bersangkutan dan meningkatkan kepadatannya.

### 2. Stabilisasi kimia (*chemical stabilization*)

Diberikan bila dengan stabilisasi mekanis dirasakan belum cukup, adanya persyaratan misal : peningkatan tegangan atau ketahanan terhadap pengaruh air dan juga bergantung pada jenis tanah yang akan distabilisasi sehingga stabilisasi dapat efektif dan efisien.

- Stabilisasi dengan semen (*cement stabilization*)
- Stabilisasi dengan kapur (*lime stabilization*)
- Stabilisasi dengan bitumen (*bituminous stabilization*)
- Stabilisasi dengan *polymeric-organic* (*polymeric-organic stabilization*)

### 3. Penggantian Material

Mengganti material yang jelek dengan material yang baik, misal : tanah dengan gradasi sama diganti dengan tanah bergradasi beragam, tanah bergradasi kecil diganti dengan tanah bergradasi besar dan lain sebagainya. Dari segi ekonomis penggantian material merupakan cara perbaikan tanah yang paling mahal.

#### 4. Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Tujuan pemadatan adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah. Beberapa keuntungan yang didapat dari pemadatan adalah :

- Berkurangnya penurunan permukaan tanah (*subsidence*), yaitu gerakan vertikal di dalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori.
- Bertambahnya kekuatan tanah.
- Berkurangnya penyusutan, berkurangnya volume akibat berkurangnya kadar air dari nilai patokan pada saat pengeringan.

Kerugian utamanya adalah pemuain (bertambahnya kadar air dari nilai patokannya) dan kemungkinan pembekuan tanah akan membesar. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian pemadatan agar diperoleh sifat-sifat teknis yang diinginkan dari suatu massa tanah. Uji *Proctor* (dikembangkan oleh *R.R Proctor*) dilakukan sebagai kontrol terhadap pemadatan tanah. (*Joseph E. Bowles, Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*)

#### 5. Pra Pembebanan (*Pre Loading*)

Perbaiki tanah dengan cara memberikan pembebanan sementara sebelum beban yang sebenarnya diberikan. Pra pembebanan dimaksudkan untuk mengurangi terjadinya penurunan (*settlement*) dan menambah kekuatan geser tanah.

#### 6. Pengaliran (*Drainase*)

Dilakukan dengan memanfaatkan pengaliran horizontal radial yang menyebabkan disipasi air yang cepat dan gaya kapilaritas air sehingga mempercepat laju konsolidasi di bawah pra pembebanan dan menambah kekuatan geser tanah.

Prinsip kerjanya adalah mempercepat aliran air, jika tanpa drainase maka aliran air akan bergerak ke arah vertikal saja, tetapi dengan adanya drainase maka aliran air akan bergerak ke arah vertikal dan horizontal. Dengan adanya drainase akan terjadi laju konsolidasi tiga dimensi, yaitu arah x, y, dan z.

Pada drainase pengaliran horizontal radial sangat dominan. Dari hasil penelitian diperoleh rasio koefisien konsolidasi arah horizontal (*Ch*) dengan arah vertikal (*Cv*) adalah 1–4. Semakin tinggi nilai rasio ini pemasangan drainase semakin efektif.

## 7. Penyuntikan (*Grouting*)

Adalah dengan menyuntikan adonan semen atau sejenis bahan stabilisasi lainnya ke dalam tanah yang sebelumnya telah di bor dan kemudian dibersihkan terlebih dahulu. *Grouting* bertujuan untuk meningkatkan ketahanan tanah terhadap air, meningkatkan kekuatan tanah, dan mencegah penurunan (*settlement*) yang berlebihan. Sehingga diperoleh tanah yang sesuai dengan persyaratan. Macam-macam *grouting* berdasarkan kegunaannya, adalah sebagai berikut :

### 1. *Grouting* tirai

Dimaksudkan untuk membuat tirai kedap air agar rembesan dapat memenuhi kriteria desain.

### 2. *Grouting* konsolidasi

Dimaksudkan untuk memperbesar daya dukung tanah atau batuan pondasi.

### 3. *Grouting* kontak

Dimaksudkan untuk memperkuat hubungan antara beton dengan tanah atau batuan sekitarnya.

### 4. *Filling grouting*

Untuk mengisi ruang yang kosong antara dinding beton dengan dinding galian, biasanya dilakukan pada pembuatan terowongan.

### 5. *Blanket grouting*

Untuk membuat lapisan tanah kedap air sehingga dapat berfungsi sebagai lantai kedap air.

## 8. Penggunaan *Geotextile*

Adalah perkuatan dengan menggunakan bahan *flexible* yang bertujuan untuk meningkatkan nilai kohesi dan sudut geser tanah. Fungsi *geotextile* disini adalah sebagai :

### a. Pemisah (*separation*)

### b. Drainase, mempunyai kemampuan mengalirkan air yang tinggi.

### c. Perkuatan (*reinforcement*)

- Sebagai jangkar pengikat dinding muka dan menahan tekanan tanah aktif ( $P_a$ ).
- Interaksi dengan tanah melalui gesekan antara tanah dengan *geotextile*.

### d. *Moisture barrier*, yaitu mengekang kondisi alami dari kadar air (*water content*) yang ada.

## 2.5 PEMBEBANAN LALU LINTAS

Pada program PLAXIS pembebanan diberikan berdasarkan pada beban lalu lintas. Beban tersebut berupa berat sendiri tanah setinggi 0,5 meter untuk standar Amerika dan 0,6 meter untuk standar Inggris (Pasal 1.4 PPPJIR SKBI 1.3.28.1987), sehingga beban *traffic* yang diberikan adalah :

a. Standar Amerika

$$\text{Beban lalu lintas} = 0,5 \times \gamma_{\text{timb}}$$

b. Standar Inggris

$$\text{Beban lalu lintas} = 0,6 \times \gamma_{\text{timb}}$$

## 2.6 ASPEK STRUKTUR PERKUATAN TANAH

### 2.6.1 DINDING PENAHAN TANAH

Stabilitas suatu dinding penahan tanah diakibatkan oleh berat sendiri dinding tersebut dan mungkin dibantu tekanan tanah pasif yang terbentuk di depan dinding tersebut dinding jenis ini tidak ekonomis karena bahan dindingnya (pasangan batu atau beton) hanya dimanfaatkan untuk membentuk berat matinya. Tekanan tanah pasif didepan dinding tidak perlu ditinjau kecuali pada hal – hal tertentu dimana tanah dianggap keras dan tak terganggu, suatu asumsi yang jarang dilakukan. Jenis jenis DPT adalah :

a. Dinding Penahan Tanah Gravitasi

- Stabilitas tergantung pada berat sendiri (konstruksi)
- Umumnya tidak memerlukan pembersihan
- Bahannya dari pasangan batu kali atau beton tumbuk

b. Dinding Penahan Tanah Semi Gravitasi

- Strukturnya lebih langsing dari tembok gravitasi
- Memerlukan pembersihan vertikal pada sisi dalam
- Bahannya dari beton tumbuk ( beton 40%, batu besar 60%)

c. Dinding Penahan Tanah Kantilever

- Strukturnya lebih langsing dari tembok gravitasi
- Memerlukan pembersihan pada semua penampung untuk menahan momen dan gaya geser
- Bahannya dari beton bertulang

Dinding penahan tanah secara keseluruhan harus mempunyai dua kondisi dasar :

1. Tekanan di dasar pada ujung kaki tidak boleh lebih besar pada daya dukung yang diijinkan pada tanah.
2. Faktor keamanan terhadap gelinciran antara dasar dan lapisan tanah dibawahnya harus memadai, ditentukan sebesar 1,5.

### **2. 6. 2 TURAP**

Konstruksi dinding turap merupakan konstruksi dinding penahan lentur. Berdasarkan material yang digunakan dikenal beberapa jenis dinding turap, seperti turap kayu, turap beton, atau turap baja. Penentuan jenis material dinding turap tergantung dari penggunaannya.

Stabilitas dinding turap ini seluruhnya diakibatkan oleh tahanan pasif yang timbul dibawah permukaan tanah yang lebih rendah. Dinding turap dapat dilengkapi penyangga tambahan berupa satu baris kabel pengikat (tie-back) atau penyangga (prop) yang terbuat dari kabel-kabel atau batang baja mutu tinggi yang diangkurkan ke dalam tanah beberapa meter di belakang dinding yang diletakkan di dekat puncak dinding. Dinding jenis ini digunakan secara luas pada konstruksi penahan air dan sebagai penyangga pada galian-galian yang dalam.

### **2. 6. 3 TIANG PANCANG**

Pondasi Tiang terdiri dari berbagai macam konstruksi, sering digunakan sebagai salah satu metode dinding penahan tanah sementara atau permanen yang efisien. *Bore Pile* dengan diameter yang kecil maupun yang besar dapat digunakan sebagai dinding penahan tanah yang ekonomis. Sedangkan pemakaian tiang pancang untuk konstruksi yang sama, lebih mahal bila dibandingkan dengan *Bore Pile*, akan tetapi kontrol terhadap kekuatan strukturnya lebih baik. Konstruksi ini sangat cocok dan memenuhi syarat untuk digunakan pada basement yang dalam, struktur bawah tanah serta pada konstruksi jalan pada lereng perbukitan. Pondasi tiang ini dapat membantu untuk mencegah kelongsoran dan membantu pergerakan tanah pada lereng akibat adanya tekanan lateral tanah serta penambahan beban lalu lintas yang terjadi.

Beban ultimate yang dapat ditanggung oleh sebuah tiang pancang sama dengan jumlah tahanan dasar dan tahanan cerobong (shaft resistance). Tahanan dasar merupakan

hasil kali luas dasar ( $Ab$ ) dan daya dukung ultimate ( $qf$ ) pada elevasi dasar lorong. Tahanan cerobong adalah hasil kali luas keliling cerobong ( $As$ ) dan nilai rata-rata tahanan geser ultimate tiap satuan luas ( $fs$ ) yang lazim disebut 'friksi kulit' (skin friction) antara tiang pancang dan tanah. Berat tanah yang dipindahkan atau disingkirkan biasanya diasumsikan sama dengan berat tiang pancang.

Tiang pancang dapat dibagi dalam dua kategori utama menurut metode pemasangannya Kategori pertama berupa tiang pancang yang terbuat dari baja atau beton pracetak dan tiang pancang yang dibentuk dengan memancangkan tabung atau kulit (shell) yang dipasangi sepatu pancang (driving shoe) dimana tabung atau kulit tersebut lalu diisi dengan adukan beton setelah dipancang Pemancangan semua tipe tiang pancang menyebabkan gangguan dan perpindahan pada tanah disekitarnya. Pilihan dari masing-masing tipe tersebut diatas tergantung dari jenis tanah (granular atau kohesif, lunak atau keras), profil muka air tanah, tinggi tanah maksimum yang ditahan, waktu konstruksi yang tersedia, biaya dan umur rencana.