

## **BAB II STUDI PUSTAKA**

### ***2. 1. TINJAUAN UMUM***

Dalam konstruksi bangunan sipil masing-masing struktur bangunan saling mendukung sehingga tercapai keseimbangan gaya. Jika salah satu struktur bangunan sudah tidak mampu mengimbangi gaya luar yang terjadi maka akan mengakibatkan kerusakan keseluruhan konstruksi bangunan. Disamping itu juga sering kali dijumpai permasalahan pada tanah dasarnya. Dimana 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.

### ***2. 2. ASPEK TANAH DAN TANAH DASAR***

Tanah dan tanah dasar erat kaitannya dengan konstruksi bangunan sipil, karena setiap bangunan sipil pasti berdiri di atas suatu permukaan tanah. Sering kali dijumpai permasalahan pada tanah dan tanah dasar suatu konstruksi bangunan sipil. Dimana 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.

#### ***2. 2. 1. LEMPUNG DAN MINERALNYA***

Mineral-mineral lempung terutama terdiri dari silikat aluminium dan/atau besi magnesium. Beberapa diantaranya juga mengandung alkali dan/atau tanah alkalin sebagai komponen dasarnya. Sebagian besar mineral lempung mempunyai struktur berlapis. Beberapa diantaranya berbentuk silinder memanjang atau struktur yang berserat. Mineral lempung berukuran sangat kecil (kurang dari 2  $\mu\text{m}$ ) dan merupakan partikel yang aktif secara elektrokimiawi yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron.

Sumber utama dari mineral lempung adalah pelapukan kimiawi dari batuan yang mengandung :

- ◆ Felspar ortoklas
- ◆ Felspar plagioklas
- ◆ Mika (*muskovit*)

yang semuanya dapat disebut silikat aluminium kompleks. Menurut *Grimm*, 1968 mineral lempung dapat terbentuk dari hampir setiap batuan selama terdapat cukup banyak alkali dan tanah alkalin untuk dapat membuat terjadinya reaksi kimia. Kalionit, Illit, dan monmorilonit merupakan beberapa contoh mineral lempung. Di antara ketiganya, kaolinit merupakan mineral lempung paling tidak aktif yang pernah diamati.

Mineral lempung memiliki karakteristik yang sama. Beberapa sifat umum mineral lempung antara lain :

#### 1. Hidrasi

Partikel lempung hampir selalu terhidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut “air teradsorpsi” (*adsorbed water*). Lapisan ini umumnya mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi (*diffuse layer*), lapisan difusi ganda atau lapisan ganda. Difusi “kation teradsorpsi” dari mineral lempung meluas keluar dari permukaan lempung sampai ke lapisan air.

Lapisan air ini dapat hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60 sampai 100 °C dan akan mengurangi plastisitas alamiah dari tanah. Sebagian air ini juga dapat hilang cukup dengan pengeringan udara saja. Apabila lapisan ganda mengalami dehidrasi pada temperatur rendah, sifat plastisitasnya dapat dikembalikan lagi dengan mencampurnya dengan air yang cukup dan dikeringkan selama 24 sampai 48 jam. Apabila dehidrasi terjadi pada temperatur yang lebih tinggi, sifat plastisitasnya akan turun atau berkurang untuk selamanya.

#### 2. Aktivitas

Aktivitas lempung dapat didefinisikan sebagai :

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{Indeks plastisitas } I_p}{\text{Persentase lempung}}$$

dimana persentase lempung diambil sebagai fraksi tanah yang  $< 2 \mu\text{m}$ .

Nilai-nilai khas aktivitas dari persamaan diatas adalah sebagai berikut :

Kaolinit	0,4 – 0,5
Illit	0,5 – 1,0
Montmorilonit	1,0 – 1,7

Indikator aktivitas yang praktis lebih baik adalah batas susut yaitu batas kadar air sebelum terjadi perubahan volume. Aktivitas dalam kaitannya dengan perubahan volume merupakan pertimbangan utama dalam mengevaluasi tanah yang akan dipakai dalam pekerjaan tanah dan pondasi. Kapasitas penggantian beberapa mineral lempung adalah sebagai berikut :

**Tabel 2. 1. Kapasitas penggantian mineral lempung**

Lempung	Kapasitas penggantian (meq/100 g)
Kaolinit	3 - 15
Haloisit (4H <sub>2</sub> O)	10 - 40
Illit	10 - 40
Vermikulit	100 - 150
Montmorilonit	80 - 150

meq = milliekivalen

Sumber : *Joseph E. Bowles*, 1984

Dalam pemakaian praktis, aktivitas lempung dapat ditentukan dalam karakteristik plastisitasnya yang berubah oleh substitusi ion-ion logam dari tingkat yang lebih tinggi, seperti terlihat pada skala substitusi berikut :



Sesuai dengan skala ini, Ca akan lebih mudah menggantikan Na atau Mg daripada Mg atau Na menggantikan Ca. Selain itu, dari sudut pandang praktis, makin tinggi kapasitas penggantian, makin banyak kation (dalam bentuk pencampuran) yang dibutuhkan untuk dapat mengubah suatu aktivitas.

### 3. Flokulasi dan Dispersi

Mineral lempung hampir selalu menghasilkan larutan tanah – air yang bersifat alkalin ( $Ph > 7$ ) sebagai akibat dari muatan negatif netto pada satuan mineral. Akibat adanya muatan ini, ion-ion H<sup>+</sup> didalam air, gaya *Van der Waals*, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan itu.

Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk “flok” (*floc*) yang berorientasi secara acak atau struktur yang berukuran lebih besar yang akan mengendap didalam larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sedimen yang sangat lepas. Di dalam laboratorium, contoh lempung seberat 50 atau 60 g akan mengendap di dalam larutan 1000 ml dalam waktu 30 menit, kecuali apabila formasi flok dapat dikontrol. Untuk menghindari flokulasi suatu larutan tanah – air yang terdispersi dapat dinetralisasikan dengan menambahkan ion- ion  $H^+$  yang dapat diperoleh dari bahan-bahan yang mengandung asam, misal sodium heksametafosfat.

Lempung yang baru saja terflokulasi dapat dengan mudah didispersikan kembali ke dalam larutan dengan menggoncangnya, yang menandakan bahwa tarikan antar partikel ternyata jauh lebih kecil dari gaya guncangan. Tetapi apabila lempung tersebut telah didiamkan selama beberapa waktu dispersi tidak dapat tercapai dengan mudah, yang menunjukkan adanya gejala tiksotropik, di mana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu. Sebagai contoh, tiang pancang yang dipancang ke dalam lempung lunak yang jenuh akan membentuk kembali struktur tanah di dalam suatu zona di sekitar tiang tersebut. Kapasitas beban awal biasanya sangat rendah, tetapi sesudah 30 hari atau lebih, beban desain akan dapat terbentuk akibat adanya adhesi antara lempung dan tiang (*R.F.Craig, Mekanika Tanah* ).

### **2. 2. 2. KARAKTERISTIK TANAH EKSPANSIF**

Tanah dengan karakteristik ekspansif adalah suatu jenis tanah yang memiliki derajat pengembangan volume yang tinggi sampai sangat tinggi, biasanya ditemukan pada jenis tanah lempung yang sifat fisiknya sangat terpengaruh oleh air. Tanah ekspansif merupakan tanah yang mudah mengembang jika kadar airnya tinggi demikian juga jika kadar airnya rendah atau kering, penyusutannya sangat besar. Dengan kata lain fluktuasi volume dan berat jenis antara keadaan basah dan kering sangat besar ( $I_p \geq 20$ ).

Jika tanah ekspansif terletak pada lapis pondasi akan berakibat deformasi vertikal dan horisontal sehingga dapat menyebabkan perubahan gaya-gaya dalam (*internal force*) yang secara langsung akan mempengaruhi struktur yang berada di atasnya. Dan jika perubahan gaya-gaya dalam ini melebihi kapasitas struktur keseluruhan maka akan beresiko pada kegagalan struktur secara keseluruhan.

Ciri yang mudah diamati secara visual tentang jenis tanah ini adalah permukaan tanah yang tampak kaku atau tegang. Potensi pengembangan dan penyusutan tanah

ekspansif dipengaruhi berdasarkan *soil properties* dari tanah tersebut. Beberapa ahli telah mengidentifikasi pengaruh *soil properties* terhadap potensi pengembangan dan penyusutan tanah ekspansif tersebut. *Holtz dan Kovacs*, 1981 menunjukkan bahwa *plasticity index* dan *liquid limit* berguna dalam penentuan karakteristik pemuaian tanah lempung.

### 2. 2. 3. SIFAT-SIFAT FISIK TANAH EKSPANSIF

#### ➤ Kadar Air (*Moisture Content*)

Jika kadar air (*moisture content*) dari suatu tanah ekspansif tidak berubah, berarti tidak ada perubahan volume dan struktur yang ada di atas lempung tidak akan mengalami pergerakan yang diakibatkan oleh pengangkatan (*heaving*). Tetapi jika terjadi penambahan kadar air, maka terjadi pengembangan volume (*expansion*) dengan arah vertikal dan horizontal. Menurut *Fu Hua Chen*, 1975 mengemukakan tanah lempung dengan kadar air alami dibawah 15 % biasanya menunjukkan indikasi berbahaya. Lempung akan mudah menyerap air sampai kadar air 35 % dan mengakibatkan kerusakan struktur akibat pemuaian tanah. Sebaliknya apabila tanah lempung tersebut mempunyai kadar air diatas 30 %, itu berarti bahwa pemuaian tanah telah terjadi dan pemuaian lebih lanjut akan kecil sekali.

#### ➤ Berat Jenis Kering (*Dry Density*)

Berat jenis kering lempung merupakan indikasi lain dari ekspansi tanah. Tanah dengan berat jenis kering lebih dari 110 pcf ( $1,762 \text{ gr/cm}^3$ ) menunjukkan potensi pengembangan yang tinggi. Apabila dalam penggalian tanah dijumpai kesulitan yang menyangkut kondisi tanah yang keras seperti batu, hal itu merupakan indikasi bahwa tanah tersebut mempunyai sifat tanah ekspansif. Berat jenis kering lempung juga dapat dilihat dari hasil *test standard penetration resistance*-nya. Lempung dengan *penetration resistance* lebih dari 15 biasanya menunjukkan adanya potensi *swelling*.

#### ➤ Kelelahan Pengembangan (*Fatigue of Swelling*)

Gejala kelelahan pemuaian (*fatigue of swelling*) telah diselidiki dengan cara penelitian siklus / pengulangan pembasahan dan pengeringan yang berulang. Hasil penelitian menunjukkan pemuaian tanah pada siklus pertama lebih besar daripada siklus berikutnya. Kelelahan pemuaian tanah diindikasikan

sebagai jawaban yang melengkapi hasil penelitian tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa suatu *pavement* yang ditempatkan pada tanah ekspansif yang mengalami siklus iklim yang menyebabkan terjadinya pengeringan dan pembasahan secara berulang, mempunyai tendensi untuk mencapai suatu stabilitas setelah beberapa tahun atau beberapa kali siklus basah – kering.

## **2. 2. 4. IDENTIFIKASI TANAH EKSPANSIF**

Menurut *Chen*, 1975 cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu :

### 1. Identifikasi Mineralogi

Analisa mineralogi dapat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut suatu tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara :

- ◆ Difraksi Sinar X (*X - Ray Diffraction*)
- ◆ Penyerapan Terbilas (*Dye Absorption*)
- ◆ Penurunan Panas (*Differential Thermal Analysis*)
- ◆ Analisa Kimia (*Chemical Analysis*)
- ◆ *Electron Microscope Resolution*

### 2. Cara Tidak Langsung (*Single Index Method*)

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah : batas-batas *Atterberg*, uji susut linier (*linear shrinkage test*), uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid.

#### ◆ *Atterberg Limit*

*Holtz* dan *Gibbs*, 1956 sebagaimana yang dikutip *Chen*, 1975 secara empiris menunjukkan hubungan nilai potensial mengembang dengan indeks plastisitas dari hasil uji *Atterberg*. Besaran indeks plastis dapat digunakan sebagai indikasi awal bahwa *swelling* pada tanah lempung yang telah dipadatkan pada kadar air optimum metode AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), setelah contoh direndam dengan 1 psi.

*Seed et al.*, 1964 membuktikan bahwa hanya dengan *plasticity index* saja sudah cukup untuk indikasi tentang pemuaian tanah lempung. Oleh *Seed et al.*, dirumuskan suatu persamaan untuk menunjukkan hubungan

antara potensi pengembangan (*swell potential*) dengan *plasticity index* sebagai berikut :

$$S = 60 k (PI)^{2,44}$$

dimana :

$$S = \text{Swell Potential}$$

$$k = 3,6 \times 10^{-5}$$

$$PI = \text{Plasticity Index}$$

Hubungan antara *swell potential* dengan *plasticity index* ditunjukkan dalam **Tabel 2. 2** dibawah ini :

**Tabel 2. 2. Hubungan *swell potential* dengan *plasticity index***

<i>Swell Potential</i>	<i>Plasticity Index</i>
<i>Low</i>	0 - 15
<i>Medium</i>	10 - 35
<i>High</i>	20 - 55
<i>Very High</i>	> 35

Sumber : *Chen, 1975*

◆ *Linear Shrinkage*

*Altmeyer, 1955* sebagaimana dikutip *Chen, 1975* membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai persentase susut linier (*linear shrinkage*) dan persentase batas susut *Atterberg*, seperti tercantum dalam **Tabel 2. 3** berikut :

**Tabel 2. 3. Tingkat ekspansif tanah berdasarkan batas susut**

<i>Linear Shrinkage</i>	<i>Shrinkage Index</i>	<i>Probable Swell (%)</i>	<i>Degree Of Expansion</i>
> 5	> 12	< 0,5	<i>Non critical</i>
5 - 8	10 - 12	0,5 - 1,5	<i>Marginal</i>
< 8	< 10	> 1,5	<i>Critical</i>

Sumber : *Altmeyer, 1955*

◆ *Free Swell*

Uji *Free Swell* diperkenalkan oleh *Holtz, 1956* sebagaimana dikutip oleh *Chen, 1975* yaitu dengan cara memasukkan tanah lempung kering yang telah diketahui volumenya kemudian dimasukkan ke dalam gelas ukur yang

diisi air tanpa pembebanan. Pengamatan dilakukan setelah lempung mengendap.

Perbedaan tinggi air atau volume awal pengamatan dengan akhir pengamatan menunjukkan perubahan volume material tanah. Persentase *Free Swell* adalah perbandingan perubahan volume tanah dengan volume tanah awal pengamatan.

◆ *Colloid Content*

*Colloid Content* merupakan salah satu indikator mengembang tanah lempung ekspansif. *Seed et. al.*, 1962 melakukan serangkaian eksperimen dari sejumlah jenis tanah lempung, diperoleh hubungan potensial mengembang dengan kandungan koloid yang ada pada mineral lempung.

Oleh *Seed et. al.*, dirumuskan suatu persamaan untuk menunjukkan hubungan antara potensi pengembangan (*swell potential*) dengan persentase kandungan koloid sebagai berikut :

$$S = k \cdot C^x$$

dimana :

$S$  = potensi mengembang

$C$  = persentase butiran lempung (< 0,002 mm)

$x$  = eksponensial yang tergantung dari jenis lempung

$k$  = konstanta atau koefisien yang menunjukkan jenis lempung

◆ Metode Klasifikasi (Metode USBR)

*Holtz dan Gibbs*, 1956 sebagaimana yang dikutip *Chen*, 1975 mengembangkan metode USBR berdasarkan penelitian terhadap sejumlah nilai indeks tanah secara simultan.

**Tabel 2. 4. Data estimasi kemungkinan perubahan volume tanah-tanah ekspansif**

<i>Data from index tests</i>			<i>Probable Expansion, Percent Total Volume Change</i>	<i>Degree of Expansion</i>
<i>Colloid Content Percent minus 0,001 mm</i>	<i>Plasticity Index</i>	<i>Shrinkage Index</i>		
> 28	> 35	< 11	> 30	<i>Very High</i>
20 - 13	25 - 41	7 - 12	20 - 30	<i>High</i>
13 - 23	15 - 28	10 - 16	10 - 30	<i>Medium</i>
< 15	< 18	< 10	< 10	<i>Low</i>

Sumber : *Holtz dan Gibbs*, 1956



◆ Activity Method

*Skemton*, 1953 mendefinisikan sebuah parameter yang disebut aktivitas dalam rumus sebagai berikut :

$$Activity (A) = \frac{PI}{C - 10}$$

dimana :

$PI = Plasticity Index$

$C =$  persentase lempung lolos saringan 0,002 mm

Dari rumus tersebut *Skemton* membuat kategori tanah dalam tiga golongan, yaitu :

$A < 0,75$  : tidak aktif

$0,75 < A < 1,25$  : normal

$A > 1,25$  : aktif

*Seed et. al.*, 2003 mengelompokkan besaran aktivitas berdasarkan jenis mineral seperti **Tabel 2. 5.** berikut :

**Tabel 2. 5. Hubungan aktivitas dengan mineral**

Mineral	Aktivitas
Kaolinite	0,33 - 0,46
Illite	0,99
Montmorillonite (Ca)	1,5
Montmorillonite (Na)	7,2

Sumber : *Seed et. al.*, 2003

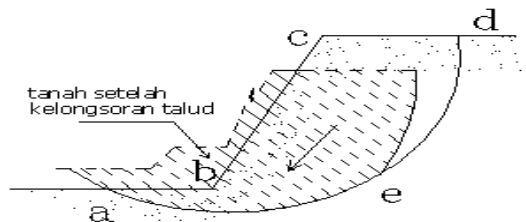
### 3. Cara Langsung

Metode pengukuran terbaik adalah dengan pengukuran langsung, yaitu suatu cara untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan Oedometer *Terzaghi*. Contoh tanah yang berbentuk silinder tipis diletakkan dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan bawahnya yang selanjutnya diberi beban sesuai dengan beban yang diinginkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah tanah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan adalah pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah. Adapun cara pengukuran tekanan pengembangan ada dua, yaitu :

- ◆ Cara Pertama  
Pengukuran dengan beban tetap sehingga mencapai persentase mengembang tertinggi kemudian contoh tanah diberi tekanan untuk kembali ke tebal semula.
- ◆ Cara Kedua  
Contoh tanah direndam dalam air dengan mempertahankan volume atau mencegah terjadinya pengembangan dengan cara menambah beban di atasnya setiap saat. Metode ini sering disebut juga *Constan Volume Method*.

### 2. 2. 5. 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 2.1**, 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 2*)



**Gambar 2. 1. 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 analisis 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 longsoran.
- 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 ( $\phi$ ).

(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 dapat menyebabkan erosi yaitu pengikisan lapisan oleh aliran air sehingga keseimbangan lereng menjadi terganggu.

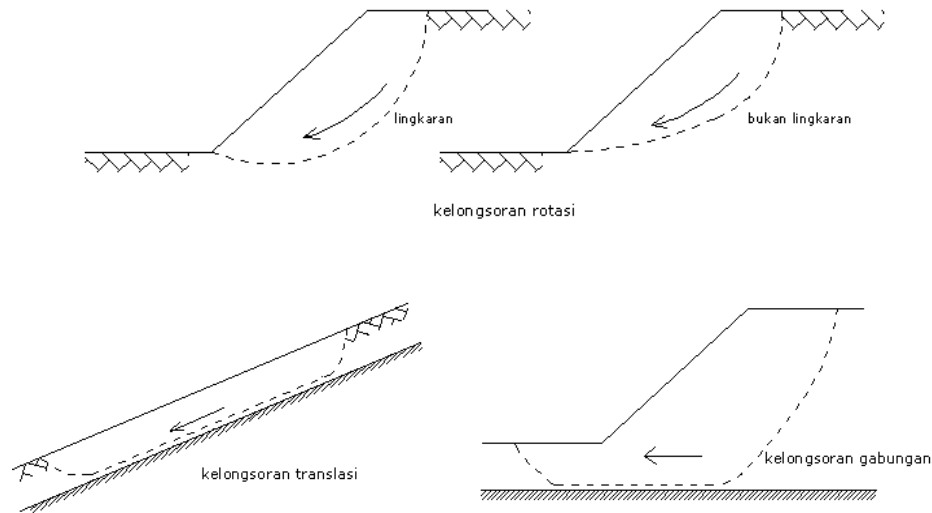
Secara lebih umum, faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan lereng dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

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*)

Stabilitas lereng dapat ditingkatkan dari kemungkinan gerakan tanah dengan cara (*Dwiyanto, 2002*) :

- a. Memperkecil gaya atau momen penggerak dengan jalan merubah bentuk lereng. Yaitu dengan membuat jadi lebih landai atau mengurangi sudut kemiringan lereng atau memperkecil ketinggian lereng.
- b. Memperbesar gaya atau momen penahan dengan perkuatan tanah, misalnya dengan cara:
  - Membuat DPT untuk menahan tekanan tanah aktif yang menyebabkan longsor.
  - Geotekstil, yaitu lembaran disusun berlapis untuk menahan tekanan tanah pada lereng.

Tipe keruntuhan lereng yang paling penting ditunjukkan pada **Gambar 2.2**. 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 longsoran 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. 2. Tipe-tipe keruntuhan lereng**

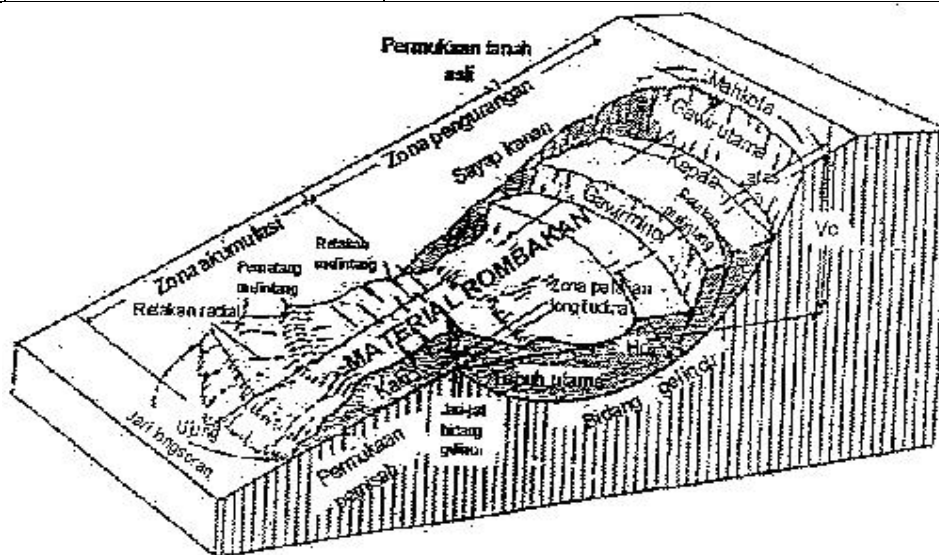
Bagian-bagian longsoran menurut *Varnes*, 1978 dalam *Karnawati*, 2001 ditunjukkan sebagai berikut :

**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> ).
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> ).

No.	Nama	Definisi
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 ( <i>kurva</i> ) 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> ).
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> )

No.	Nama	Definisi
15.	Daerah akumulasi ( <i>zone of accumulation</i> )	Daerah longoran 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 longoran ( <i>main scarp</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 longoran.



**Gambar 2. 3. Bagian-bagian longoran**

Sumber : Varnes, 1978 dalam Karnawati, 2001



Tegangan-tegangan yang diderita oleh tanah akibat berat tanah di atasnya atau oleh beban-beban struktural akan dapat menyebabkan perkuatan tanah atau keruntuhan, tergantung pada cara aplikasi beban itu dan distribusi dari tegangan-tegangan. Tekanan tanah atau disebut juga tegangan efektif ( $\sigma'$ ) adalah tegangan yang terjadi antar butiran tanah atau tegangan yang dijalkan hanya melalui kerangka tanah saja. Tekanan air pori ( $\mu$ ) yaitu tekanan air pengisi pori-pori diantara partikel-partikel padat. Sedang tegangan total ( $\sigma$ ) adalah gaya per satuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang, dengan menganggap bahwa tanah adalah material padat saja.

Hubungan ketiga tegangan diatas adalah :

$$\sigma = \sigma' + \mu$$

## 2. 2. 6. REMBESAN

Aliran permukaan (*surface run off*) dapat terjadi bila air hujan (*presipitasi*) turun. Aliran permukaan mempunyai kecepatan tertentu, bila aliran permukaan melewati suatu permukaan yang tertutup vegetasi maka kecepatannya dapat berkurang karena tertahan dengan adanya vegetasi. Bahkan dengan adanya vegetasi dapat mempercepat proses infiltrasi air hujan sehingga aliran permukaan tidak akan berlangsung lama.

Sebaliknya bila tidak ada vegetasi maka aliran permukaan dapat berlangsung dalam waktu lama sebelum mengalir ke daerah hilir dan akhirnya mengalami proses evaporasi secara bertahap.

Keberadaan aliran permukaan dengan kecepatan tertentu yang melintasi suatu lintasan permukaan tanpa vegetasi di atasnya dapat menyebabkan terbawanya butiran tanah. Lambat laun akan terjadi gerusan yang dinamakan erosi.

Erosi jika terjadi pada dasar lereng dapat menyebabkan ketidakstabilan lereng yang akhirnya akan mengakibatkan kelongsoran lereng.

Keberadaan air dalam tanah dapat dikatakan sebagai faktor dominan sebagai penyebab terjadinya ketidakstabilan karena sebagian besar kasus ketidakstabilan tanah melibatkan air di dalamnya. Dengan adanya air dalam lapisan tanah akan menyebabkan berkurangnya nilai kohesi dan sudut geser tanah sehingga kuat gesernya berkurang.

Unsur air, udara, atau es merupakan media perantara saja dari gerakan tanah tersebut yang sifatnya mengurangi nilai kekuatan (*strength*) dari material serta membuat tanah menjadi bersifat plastis dan seperti cairan.

Banyaknya dan distribusi air di dalam tanah mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap sifat – sifat fisis dari tanah. Kemampuan tanah mendukung beban dapat berbeda sampai beberapa ratus persen, tergantung pada besarnya kadar air dan jenis tanah.

Salah satu faktor yang ikut berperan dalam distribusi air dalam tanah adalah rembesan. Dalam menganalisa rembesan didasarkan pada suatu perkiraan. Keadaan ini dapat diantisipasi dengan menganggap rembesan ditinjau pada aliran yang berada dalam keadaan tunak (*steady state*). Aliran keadaan tunak dapat diperoleh apabila tanah jenuh penuh, gradien tekanan konstan, massa tanah konstan, dan tingkat aliran juga konstan. Jika aliran dalam keadaan tunak (*steady state*), maka berlaku rumus *Darcy* :

$$v = -k \frac{h_L}{L} = -ki$$

$$q = v_n \cdot A_n = v \cdot A$$

dimana :  $q$  = volume air per satuan waktu atau debit aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  = luas seluruh penampang tanah yang dilewati air ( $\text{m}^2$ )

$A_n$  = luas pori pada tampang tanah ( $\text{m}^2$ )

$k$  = koefisien permeabilitas (m/s)

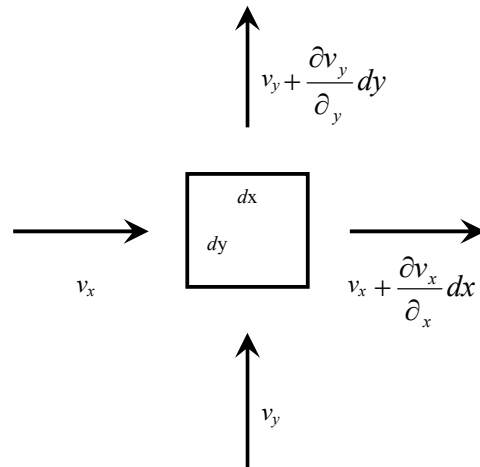
$i$  = gradien hidrolis =  $\left(\frac{h_L}{L}\right)$

$v$  = kecepatan Darcy (kecepatan semu) (m/s)

$v_n$  = kecepatan sebenarnya (m/s).

Asumsi tanah homogen dan isotropik dengan koefisien permeabilitas  $k$ , rembesan ditinjau dalam aliran dua dimensi.

Penjabaran persamaan *LaPlace* untuk sebuah elemen tanah di dalam medan aliran lengkung dua dimensional.



**Gambar 2. 4. Penjabaran persamaan *LaPlace* pada sebuah elemen tanah**

Sebuah elemen tanah di dalam medan aliran lengkung dua dimensional, berlaku Hukum Kekekalan Massa

$$v_x \cdot dy \cdot dz - \left( v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \right) dy \cdot dz + v_y \cdot dx \cdot dz - \left( v_y + \frac{\partial v_y}{\partial y} dy \right) dx \cdot dz = 0$$

dimana :  $dz$  adalah ukuran elemen tegak lurus pada bidang aliran dimensional.

Dari persamaan sebelumnya,

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$$

(*I.S Dunn, L.R Anderson, dan F.W Kiefer, Dasar-dasar Analisis Geoteknik*)

Pada saat air memasuki dan meninggalkan elemen, volume elemen tidak berubah dan kalau air diasumsikan tak dapat tertekan (*incompressible*), maka selisih volume air yang masuk ke elemen per satuan waktu dengan volume air yang meninggalkan elemen per satuan waktu adalah nol. Sehingga persamaan di atas disebut juga persamaan kontinuitas untuk rembesan dua dimensi. Tetapi kalau volume elemen ternyata berubah, persamaan kontinuitas tersebut menjadi :

$$\left( \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) dx dy dz = \frac{dV}{dt}$$

dimana :  $\frac{dV}{dt}$  adalah perubahan volume per satuan waktu.

Sekarang karena,

$$v_x = -k_x \cdot i_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} \text{ dan } v_y = -k_y \cdot i_y = k_y \frac{\partial h}{\partial y}$$

Maka

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

Untuk keadaan dengan koefisien permeabilitas pada kedua arah sama besarnya (isotropis),  $k$  dapat dihilangkan dan persamaan menjadi persamaan *LaPlace*

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

Persamaan ini kadang – kadang ditulis

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$$

dimana :  $\phi = k \cdot h$  dan disebut potensial kecepatan.

Dengan mengintegrasikan persamaan

$$v_x = -k_x \cdot i_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} \text{ dan } v_y = -k_y \cdot i_y = k_y \frac{\partial h}{\partial y}$$

Didapat

$$\phi(x, y) = -kh(x, y) + C$$

dimana :  $C$  adalah konstanta.

Jadi fungsi  $\phi(x, y)$  menghasilkan nilai yang konstan, misalnya  $\phi_1$ , maka akan didapat suatu kurva dengan nilai tinggi energi total ( $h_1$ ) yang konstan pula. Jika fungsi  $\phi(x, y)$  merupakan serangkaian nilai  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$ , dan seterusnya yang konstan, maka akan didapat kumpulan kurva – kurva yang masing – masing menghasilkan tinggi energi total yang konstan (tetapi setiap kurva memiliki nilai yang berbeda-beda). Kumpulan kurva – kurva ini disebut garis eksponensial.

Fungsi kedua  $\psi(x, y)$ , yang disebut fungsi aliran, dimana :

$$-\frac{\partial \psi}{\partial x} = v_y = -k \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = v_x = -k \frac{\partial h}{\partial x}$$

Dapat dilihat bahwa fungsi ini juga memenuhi persamaan *LaPlace*.

Diferensial total dari fungsi  $\psi(x, y)$  ini adalah :

$$\begin{aligned} d\psi &= \frac{\partial\psi}{\partial x} dx + \frac{\partial\psi}{\partial y} dy \\ &= -v_y dx + v_x dy \end{aligned}$$

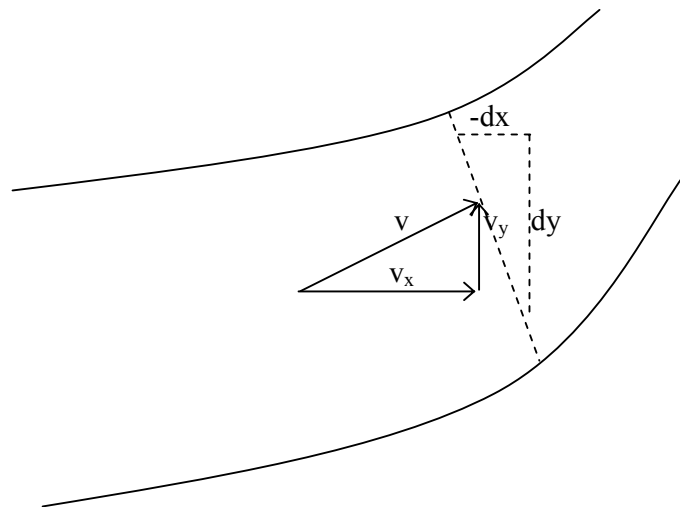
Jika fungsi  $\psi(x, y)$  ini menghasilkan suatu nilai yang konstan  $\psi_1$ , maka  $d\psi = 0$  dan :

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v_y}{v_x}$$

Jadi besarnya tangen pada titik sembarang pada kurva adalah :

$$\psi(x, y) = \psi_1$$

yang menunjukkan arah resultan kecepatan aliran pada titik tersebut, sehingga kurva tersebut merupakan alur aliran (*flow path*). Jika fungsi  $\psi(x, y)$  menghasilkan sederetan nilai  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  dan seterusnya yang konstan, maka akan diperoleh kumpulan kurva-kurva, dimana setiap kurva merupakan alur aliran. Kumpulan kurva-kurva ini disebut garis aliran (*flow lines*).



**Gambar 2. 5. Rembesan antara dua garis aliran**

Dari **Gambar 2. 5** besarnya aliran per satuan waktu antara dua garis aliran dengan nilai masing – masing fungsi aliran adalah  $\psi_1$  dan  $\psi_2$ , adalah :

$$\Delta q = \int_{\psi_1}^{\psi_2} (-v_y dx + v_x dy)$$

$$= \int_{\psi_1}^{\psi_2} \left( \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial y} dy \right) = \psi_2 - \psi_1$$

Jadi aliran pada alur antara kedua garis aliran tersebut adalah konstan.

Diferensiasi total dari fungsi  $\phi(x, y)$  adalah :

$$\begin{aligned} d\phi &= \frac{\partial \phi}{\partial x} dx + \frac{\partial \phi}{\partial y} dy \\ &= v_x dx + v_y dy \end{aligned}$$

Jika fungsi  $\phi(x, y)$  konstan, maka  $d\phi = 0$  dan :

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{v_x}{v_y}$$

Dengan membandingkan persamaan  $\frac{dy}{dx} = \frac{v_y}{v_x}$  dan persamaan  $\frac{dy}{dx} = -\frac{v_x}{v_y}$ , jelaslah bahwa

garis aliran dan garis eksponensial saling berpotongan tegak lurus. Sehingga :

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = \frac{\partial \phi}{\partial s}$$

atau :

$$\frac{\Delta \psi}{\Delta n} = \frac{\Delta \phi}{\Delta s}$$

dimana :  $\Delta n$  adalah jarak antara dua garis aliran

$\Delta s$  adalah jarak antara dua garis eksponensial.

Pada prinsipnya, sebagai solusi dari masalah rembesan, fungsi  $\phi(x, y)$  dan  $\psi(x, y)$  harus dapat diselesaikan untuk kondisi batas yang relevan. Solusi tersebut digambarkan oleh sekumpulan garis aliran dan sekumpulan garis eksponensial, yang dikenal dengan nama jaringan aliran (*flow nets*). Untuk menyelesaikannya digunakan teknik-teknik variabel kompleks, metode selisih hingga, analogi listrik, dan penggunaan model hidrolis. Walaupun demikian, metode yang biasa digunakan adalah penggambaran jaringan aliran dengan cara coba-coba (*trial and error*), dengan memperhatikan kondisi-kondisi batasnya.

Kondisi batas yang harus dipenuhi pada jaringan aliran adalah sudut yang terbentuk pada setiap perpotongan antara garis aliran dan garis eksponensial harus membentuk sudut siku-siku. Selain itu diusahakan agar menggunakan  $\Delta \psi$  sama besar untuk dua garis aliran yang berdekatan demikian pula hal yang sama diusahakan untuk  $\Delta \phi$  pada garis

eksponensial. Diusahakan juga agar  $\Delta n = \Delta s$  pada persamaan  $\frac{\Delta \psi}{\Delta n} = \frac{\Delta \phi}{\Delta s}$ , yaitu garis aliran dan garis eksponensial membentuk bujursangkar pada seluruh jaringan aliran. Kemudian untuk setiap bujursangkar berlaku :

$$\Delta \psi = \Delta \phi$$

Sekarang,  $\Delta \psi = \Delta q$  dan  $\Delta \phi = k \Delta h$ , maka:

$$\Delta q = k \Delta h$$

Sedangkan gradien hidrolik ditentukan sebesar :

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta s}$$

Dimana untuk keseluruhan jaringan aliran :  $h$  = perbedaan tinggi energi total antara garis eksponensial pertama dan terakhir,  $N_d$  = jumlah penurunan eksponensial, masing-masing dengan kehilangan tinggi energi total  $\Delta h$  yang sama, dan  $N_f$  jumlah alur aliran (*flow channel*), masing-masing dengan kapasitas aliran  $\Delta q$  yang sama. Maka,

$$\Delta h = \frac{h}{N_d}$$

dan

$$q = N_f \Delta q$$

Sehingga, dari persamaan  $\Delta h = \frac{h}{N_d}$  :

$$q = kh \frac{N_f}{N_d}$$

Persamaan di atas menyatakan volume total aliran air per satuan waktu (per satuan dimensi dalam arah  $z$ ) dan merupakan fungsi dari perbandingan  $\frac{N_f}{N_d}$ . (*R.F. Craig, Mekanika Tanah*)

## 2. 2. 7. METODE ELEMEN HINGGA

Untuk menganalisa perilaku deformasi tanah digunakan bantuan *software* program geoteknik *Plaxis* 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 sehingga yang akan menghasilkan suatu harga pendekatan terhadap keadaan sesungguhnya. Titik

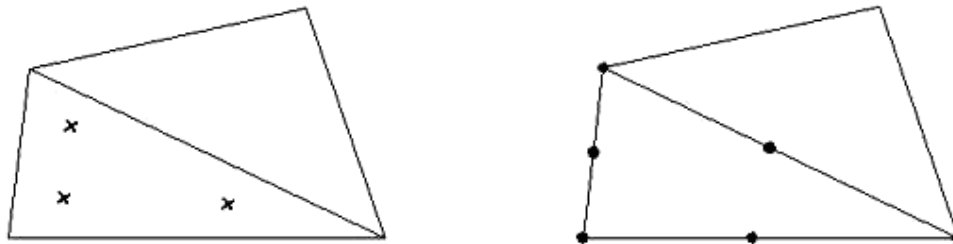
potong sisi-sisi elemen disebut titik-titik, dan pertemuan antara elemen-elemen disebut garis titik.

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.

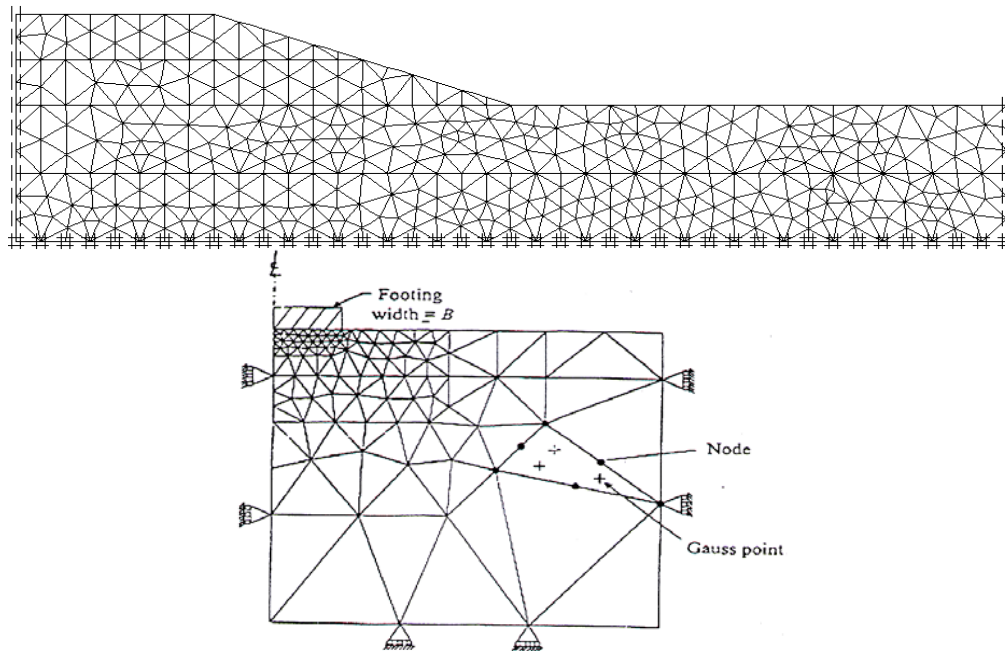


**Gambar 2. 6. Posisi *nodes* (titik-titik) dan titik tegangan pada elemen tanah**

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 ( $\phi$ ) dan sudut dilatasi ( $\psi$ ).

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





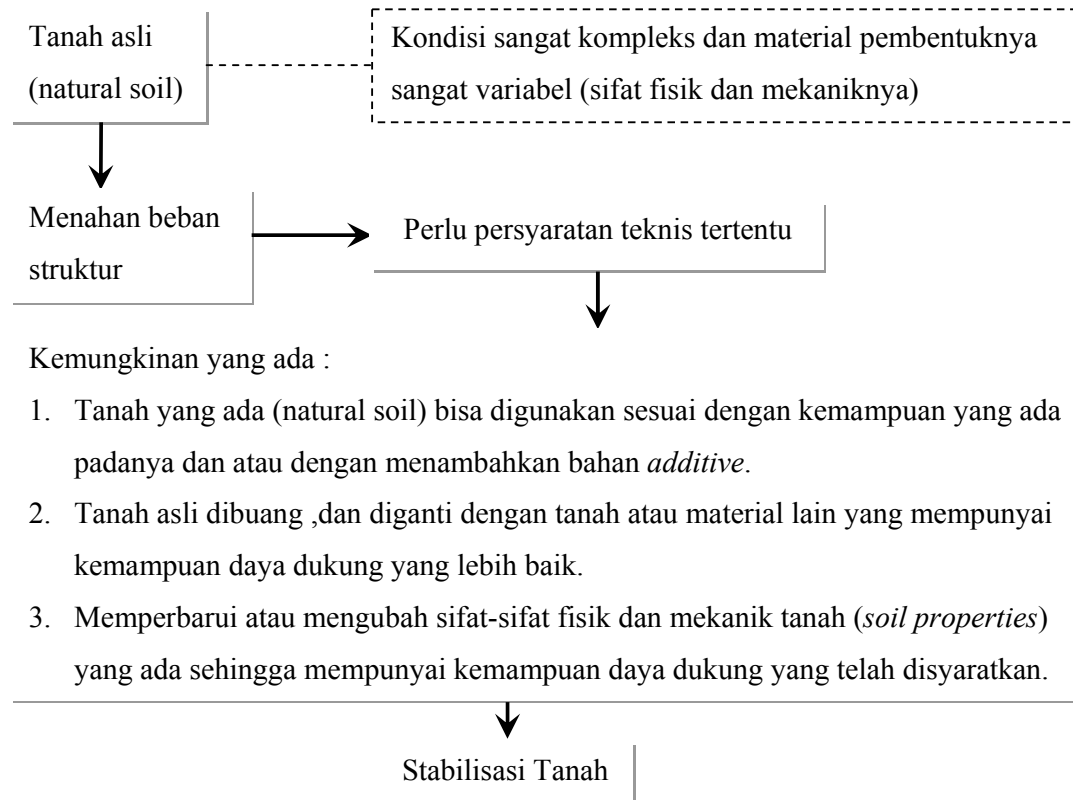
**Gambar 2. 7.** Contoh *meshing* elemen tanah

### 2. 2. 8. 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. 8. 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 kekuatannya.

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 *pipng 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*)

### 2. 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.

### 3. 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 :

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

Kerugian utamanya adalah pemuaiian (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*)

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

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

#### 5. 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 ( $C_h$ ) dengan arah vertikal ( $C_v$ ) adalah 1 – 4. Semakin tinggi nilai rasio ini pemasangan drainase semakin efektif.

#### 6. 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.

7. 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. 2. 9. PENINGKATAN STABILITAS LERENG**

Jika efek dari pergeseran tumpuan/pondasi terhadap besarnya perubahan gaya dalam (*internal force*) pada struktur rumah tinggal cukup besar dan dapat mengakibatkan struktur menjadi kolaps, maka diperlukan upaya penanganan untuk mencegah terjadinya pergeseran pondasi yang disebabkan oleh pergerakan tanah lereng.

Stabilitas lereng dapat ditingkatkan dari kemungkinan gerakan tanah dengan cara (Dwiyanto, 2002) :

- a. Memperkecil gaya atau momen penggerak dengan jalan merubah bentuk lereng. Yaitu dengan membuat jadi lebih landai atau mengurangi sudut kemiringan lereng atau memperkecil ketinggian lereng.
- b. Memperbesar gaya atau momen penahan dengan perkuatan tanah, misalnya dengan cara:
  - ◆ Membuat DPT untuk menahan tekanan tanah aktif yang menyebabkan longsor.
  - ◆ Geotekstil, yaitu lembaran disusun berlapis untuk menahan tekanan tanah pada lereng.
  - ◆ Dengan *grouting*, menyuntikkan semen ke dalam lubang bor pada sepanjang lereng labil untuk meningkatkan kuat geser tanah dan kohesi antar butiran tanah.
  - ◆ Menanam *bore pile* pada permukaan lereng yang labil.

### **2. 3. ASPEK STRUKTUR PERKERASAN JALAN**

Struktur perkerasan jalan adalah bagian konstruksi jalan raya yang terdiri dari beberapa lapisan bahan konstruksi tertentu masing-masing lapisan memiliki ketebalan, kekuatan, kekakuan, dan kestabilan tertentu pula kemudian diperkeras sehingga menjadi satu kesatuan yang utuh dalam menerima beban.

Fungsi perkerasan jalan adalah :

- ◆ Menyebarkan beban lalu lintas sehingga beban dapat direduksi sebelum sampai pada tanah dasar akibat adanya lapisan perkerasan jalan.
- ◆ Membuang air hujan dengan cara mengalirkan ke samping sehingga tanah dasar dapat terlindung.
- ◆ Mendapatkan permukaan yang rata sehingga memberikan kenyamanan dalam perjalanan.

Unsur-unsur yang terdapat dalam perencanaan tebal perkerasan diantaranya sebagai berikut :

1. Unsur utama
  - ◆ Unsur beban lalu lintas (beban akibat gandar, volume lalu lintas harian)
  - ◆ Unsur lapis perkerasan (ketebalan, karakteristik, kualitas)
  - ◆ Unsur tanah dasar
2. Unsur tambahan
  - ◆ Drainase dan curah hujan
  - ◆ Klimatologi
  - ◆ Kondisi geometri
  - ◆ Faktor permukaan
  - ◆ Faktor pelaksanaan

Dalam penyaluran beban dari beban kendaraan ke tanah dasar melalui beberapa lapis perkerasan sehingga besarnya tidak lagi sebesar semula akibat direduksi oleh lapis perkerasan dengan penyebaran budang kontak yang merata pada tiap-tiap lapis perkerasan.

### ***2. 3. 1. PELAPISAN TAMBAHAN (OVERLAY)***

Pelapisan tambahan diberikan pada jalan yang telah atau menjelang habis pelayanannya dalam hal ini index permukaan akhir rencana (*IP*) yang diharapkan telah tercapai.

Maksud dan tujuan *overlay* adalah :

- ◆ Mengembalikan (meningkatkan) kemampuan atau kekuatan struktural.
- ◆ Kualitas permukaan, antara lain : kemampuan menahan gesekan roda (*skid resistance*), tingkat kedekatan terhadap air, tingkat kecepatan mengalirkan air, tingkat keamanan dan kenyamanan.