

## **BAB III**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **3.1 Tanah**

##### **3.1.1 Umum**

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, atau pun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat erosi, angin, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca.

##### **3.1.2 Komposisi Tanah dan Klasifikasi**

Dari berbagai campuran partikel tanah yang ada dipermukaan bumi, terdapat beberapa jenis tanah yang kita ketahui :

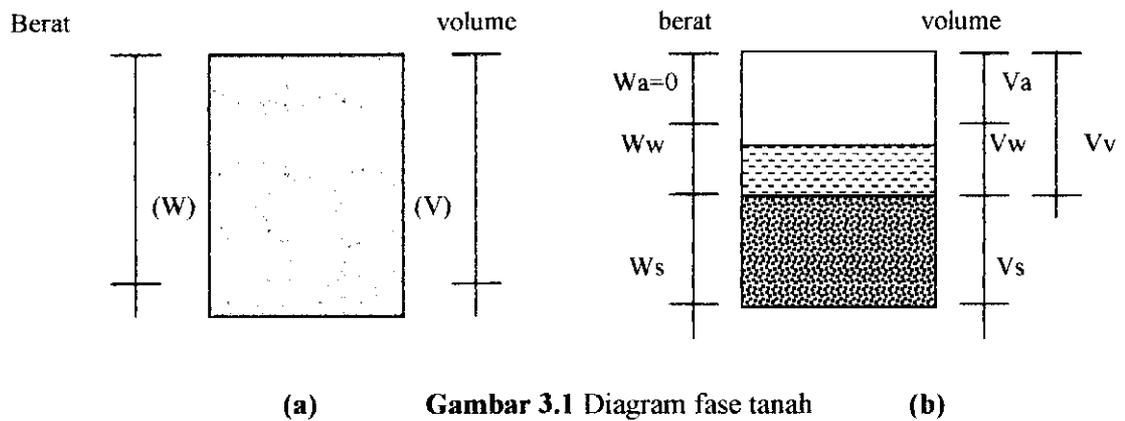
1. Berangkal (*boulders*), yaitu potongan batuan yang lebih besar dari 250 sampai 300 mm. Untuk kisaran 150 sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*) atau *pebbles*.

2. Kerikil (*gravel*), yaitu partikel batuan yang berukuran 5 sampai 159 mm.
3. Pasir (*Sand*), yaitu partikel batuan yang berukuran 0,074 sampai 5 mm. Dengan gradasi kasar 3 sampai 5 mm, hingga gradasi halus yang berukuran kurang dari 1 mm.
4. Lanau (*Silt*), yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 sampai 0,074. Deposit loose terjadi bila angin mengangkut partikel lanau kesuatu lokasi. Angkutan oleh angin ini dapat membatasi ukuran partikel yang dibawanya sehingga dihasilkan deposit lanau yang homogen.
5. Lempung (*Clay*) yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesi.
6. Koloid (*colloids*), yaitu partikel tanah yang diam dalam arti merupakan partikel tanah yang dianggap paling kecil, berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Apabila dalam suatu deposit diberi nama sesuai dengan jumlah partikel terbanyak, maka deposit diberi nama sesuai dengan jumlah partikel terbanyak yang dikandungnya.

### 3.1.3 Hubungan Antara Fase Tanah

Pada segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdapat dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat atau butiran, pori-pori udara dan air pori. Bagian-bagian dari tanah itu sendiri dapat kita gambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti yang ditunjukkan gambar 3.1 berikut ini :



(a) **Gambar 3.1** Diagram fase tanah (b)

**Gambar 3.1.a.** memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume  $V$  dan berat total  $W$ , sedangkan **Gambar 3.1.b.** memperlihatkan hubungan berat dan volumenya.

Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan berikut :

$$W = W_s + W_w$$

dan  $V = V_s + V_w + V_a$

$$V_v = V_w + V_a$$

Dengan:

$W_s$  = berat butiran padat

$W_w$  = berat air

$V_s$  = volume butiran padat

$V_w$  = Volume air

$V_a$  = Volume udara.

Berat udara dianggap sama dengan nol. Hubungan-hubungan volume yang biasa digunakan dalam mekanika tanah adalah angka pori, porositas, dan derajat kejenuhan. Adapun hubungan-hubungannya adalah sebagai berikut:

Kadar air ( $w$ ), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran ( $W_s$ ) dalam tanah tersebut, dinyatakan dalam persen.

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Porositas ( $n$ ), didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga ( $V_v$ ) dengan volume total ( $V$ ). Dalam hal ini dapat digunakan dalam bentuk persen maupun desimal.

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (3.2)$$

Angka pori ( $e$ ), didefinisikan sebagai perbandingan volume rongga ( $V_v$ ) dengan volume butiran ( $V_s$ ). Biasanya dinyatakan dalam desimal.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (3.3)$$

Berat volume tanah basah ( $\gamma_b$ ), adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara ( $W$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ).

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.4)$$

Dengan  $W = W_w + W_s + W_v$  ( $W_v =$  berat udara = 0). Bila ruang udara terisi oleh air seluruhnya ( $V_u = 0$ ), maka tanah menjadi jenuh.

Berat volume tanah kering ( $\gamma_d$ ), adalah perbandingan antara berat butiran ( $W_s$ ) dengan volume total ( $V$ ) tanah.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.5)$$

Berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat butiran padat ( $W_s$ ) dengan volume butiran padat ( $V_s$ ).

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (3.6)$$

Berat jenis (*specific gravity*) tanah ( $G_s$ ) didefinisikan sebagai perbandingan berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur 4° C.

### 3.1.4 Tanah Kohesif dan Tidak Kohesif

Apabila karakteristik fisis yang selalu terdapat pada massa butir-butir tanah bersatu sesamanya sehingga sesuatu gaya akan diperlukan untuk memisahkannya dalam keadaan kering tersebut, maka tanah tersebut disebut *kohesif*. Apabila butir-butir tanah terpisah-pisah sesudah dikeringkan dan hanya bersatu apabila berada dalam keadaan basah karena gaya tarik permukaan didalam air, maka tanah ini disebut tidak *kohesif*.

### 3.1.5 Batas Konsistensi Tanah

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisnya, dimana plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Batas-batas konsistensi tanah yang dikemukakan oleh *A. Atterberg*, 1911 didasarkan kepada kadar air, yaitu:

#### 1. Batas Cair/*Liquid Limit (LL)*

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis, dimana untuk nilai-nilai di atasnya tanah akan bersifat sebagai cairan kental (campuran tanah tanpa-air tanpa kuat geser yang dapat diukur).

## 2. Batas Plastis/*Plastic Limit (PI)*

Batas Plastis (*PI*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

## 3. Batas Susut / *Shrinkage Limit (SL)*

Batas susut (*SL*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya.

Batas Susut dinyatakan dalam persamaan:

$$SL = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \cdot \frac{(V_1 - V_2)}{m_2} \gamma_w \times 100\% \quad (3.7)$$

Dengan:

$m_1$  = berat tanah basah dalam cawan percobaan (gr)

$m_2$  = berat tanah kering dalam oven (gr)

$V_1$  = Volume tanah basah dalam cawan ( $\text{cm}^3$ )

$V_2$  = Volume tanah kering oven ( $\text{cm}^3$ )

$\gamma_w$  = berat isi air

## 4. Indeks Plastisitas (*IP*)

Indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang kecil, maka keadaan ini

disebut dengan tanah kurus. Kebalikannya, jika tanah mempunyai interval kadar air daerah plastis yang besar disebut tanah gemuk.

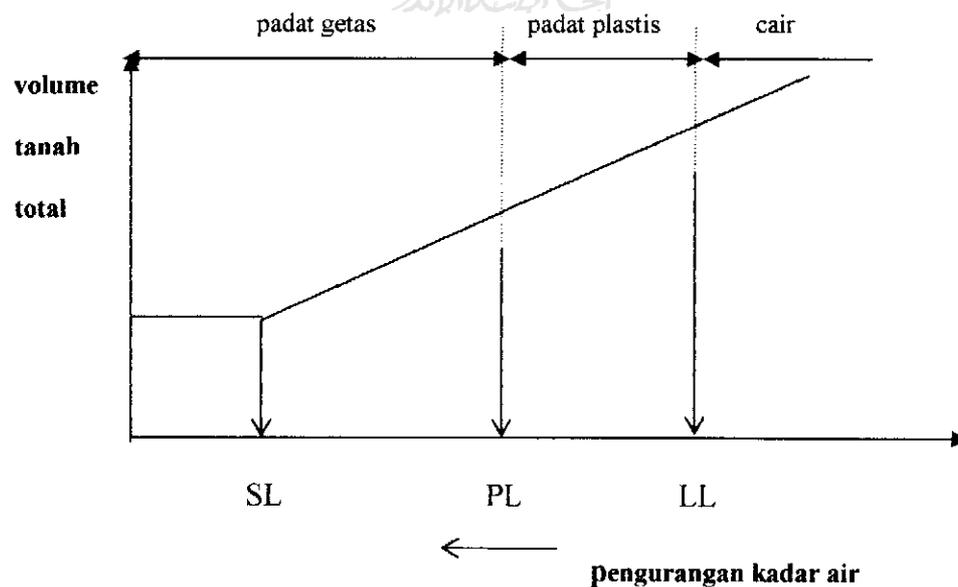
Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah, dan kohesinya diberikan oleh Atterberg terdapat dalam Tabel 3.1 berikut ini :

**Tabel 3.1** Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

INDEK PLASTISITAS	SIFAT	MACAM TANAH	KOHESI
0	Nonplastis	Pasir	Nonkohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 sampai 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber : Mekanika Tanah I, Hary Christady, 1992

Sedangkan hubungan volume tanah total dengan kadar air tanah ditunjukkan oleh gambar 3.2 berikut ini.



**Gambar 3.2** Variasi volume dan kadar air pada kedudukan batas cair, batas plastis dan batas susutnya

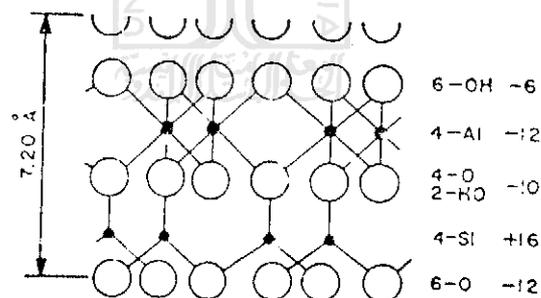
## 3.2 Tanah Lempung

### 3.2.1 Karakteristik Tanah Lempung

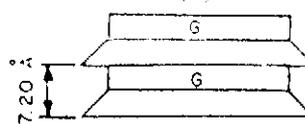
Tanah lempung atau dapat juga dikatakan sebagai tanah halus mengandung partikel-partikel yang berupa mineral lempung. Mineral lempung terdiri dari aluminium silikat, magnesium dan zat besi. Ada dua kristalin dasar yang membentuk mineral lempung yaitu : tetrahedron silikon-oksigen dan oktahedron aluminium. Sifat dari partikel-partikel lempung dapat diilustrasikan dengan menggambarkan tiga subkelompok umum dari mineral lempung yaitu:

#### a. Kaolinit

Mineral lempung kaolinit adalah suatu unit dasar dua lapis terbentuk dengan bertumpuknya lempeng gipsit pada lempeng silika seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3a dan secara simbolis terlihat dalam gambar 3.3b berikut ini.



(a)

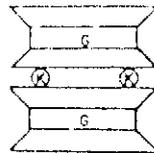


(b)

**Gambar 3.3** Struktur dari kaolinit. (a) Struktur atom. (b) Struktur simbolis.  
(Lambe dan Whitman, 1969)

b. Iilit

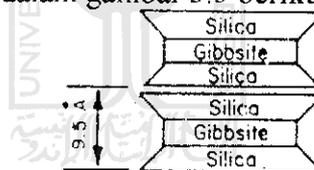
Iilit adalah suatu unit tiga lapis yang sangat stabil yang terdiri dari unit-unit dasar monmorilonit yang terikat oleh gaya bervalensi sekunder dan ion-ion potasium seperti ditunjukkan secara simbolis pada gambar 3.4 berikut ini.



**Gambar 3.4** Struktur simbolis dari illit (I.S.Dunn dkk, 1992)

c. Monmorilonit

Monmorilonit adalah suatu unit dasar tiga lapis terbentuk dengan menempatkan sebuah lempeng silika diatas dan sebuah di bawah dari lempeng gipsit seperti ditunjukkan secara simbolis dalam gambar 3.5 berikut ini.



**Gambar 3.5** Struktur simbolis dari monmorilonit (I.S. Dunn dkk, 1992)

### 3.2.2 Jenis tanah lempung

Perilaku tanah lempung sangat dipengaruhi oleh sifat partikel-partikel lempung secara individual dan air pori. Tipikal tanah lempung secara alami jika dilihat dari porositas, angka pori dan berat unit dapat dilihat pada tabel 3.2. Porositas ( $n$ ) adalah perbandingan antara volume pori dan volume total dalam hal ini dapat digunakan dalam bentuk persen maupun desimal. Angka pori ( $e$ ) didefinisikan sebagai rasio antara volume pori dengan volume bahan padat yang selalu dinyatakan dalam suatu desimal. Berat unit (berat unit tiap unit volume) adalah berat tanah dibagi

dengan berat volumenya, dimana berat unit dari suatu massa tanah dapat dinyatakan dalam pengertian berat unit total ( $\gamma$ ), berat unit kering ( $\gamma_d$ ) dan berat unit basah ( $\gamma_b$ ).

**Tabel 3.2** Porositas, angka pori dan berat unit air dari tanah-tanah tipikal dalam keadaan alami (Peck dkk, 1974)

No	Deskripsi	Porositas	Angka pori	Kadar air	Berat Unit			
					kN/m <sup>3</sup>		lb/cu ft	
					$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$	$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$
1	Pasir uniform, lepas	0.46	0.85	32	14.10	18.50	90	118
2	Pasir uniform, padat	0.34	0.51	19	17.10	20.40	109	130
3	Pasir berbutir campuran, lepas	0.40	0.67	25	15.60	19.50	99	124
4	Pasir berbutir campuran, padat	0.30	0.43	16	18.20	21.20	116	135
5	Lanau bawaan angin (lus)	0.50	0.99	21	13.40	18.20	85	116
6	Tanah glasial, berbutir sangat campuran	0.20	0.25	9	20.70	22.80	132	145
7	lempung glasial lunak	0.55	1.20	45	11.90	17.30	76	110
8	Lempung glasial kaku	0.37	0.60	22	16.70	20.30	106	129
9	Lempung agak organik lunak	0.66	1.90	70	9.10	15.40	58	98
10	Lempung sangat organik lunak	0.75	3.00	110	6.80	14.00	43	89
11	lempung monmorilinit lunak (caesium beritomite)	0.84	5.20	194	4.20	12.60	27	80

$A_w$  = kadar air apabila jenuh, dalam persen terhadap berat jenis

Berat jenis adalah rasio antara berat unit suatu bahan dengan berat unit air ( $\gamma_w$ ) pada temperature 4 °C. Dalam mekanika tanah, pada umumnya yang dimaksud dengan berat jenis adalah berat jenis zat padat dari partikel-partikel (G), dan didefinisikan sebagai rasio antara berat unit zat padat partikel dengan berat unit air  $W_s / (V_s \gamma_w)$ . Nilai berat jenis dapat ditentukan dari pengujian laboratorium (ASTM D-854). Nilai-nilai berat jenis tipikal bagi beberapa unsur pokok tanah yang sangat penting dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3.3** Berat jenis beberapa unsur tanah (Peck dkk, 1974)

No	Unsur Tanah	Berat jenis	No	Unsur Tanah	Berat jenis
1	Gips	2.32	11	Dolomit	2.87
2	Monmorilonit	2.65-2.80	12	Aragonit	2.94
3	Orthoklas	2.56	13	Biotit	3.0-3.10
4	Kaolinit	2.60	14	Augit	3.2-3.4
5	Illit	2.80	15	hornblende	3.2-3.5
6	Chlorit	2.6-3.0	16	Limonit	3.80
7	Quartz	2.66	17	Hematit, hydrous	4.30
8	Talk	2.70	18	Magnetit	5.17
9	Calsit	2.72	19	Hematit	5.20
10	Muskovit	2.8-2.9			

Nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) untuk beberapa jenis tanah lempung dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

**Tabel 3.4.** Nilai Kuat Tekan Bebas ( $q_u$ ) untuk jenis-jenis tanah lempung

No	Kondisi Tanah Lempung	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Lempung Keras	>4.00
2	lempung sangat kaku	2.00-4.00
3	Laempung kaku	1.00-2.00
4	Lempung sedang	0.500-1.00
5	Lempung lunak	0.25-0.50
6	lempung sangat lunak	<0.25

### 3.3 Stabilisasi Tanah

Tanah merupakan bahan bangunan pada berbagai pekerjaan teknik sipil, sehingga memerlukan standar persyaratan tertentu. Ada tiga kemungkinan kondisi tanah dijumpai dilokasi, yaitu :

- a. Kondisi tanah dilokasi cukup baik sehingga dapat dipakai secara langsung,
- b. Kondisi tanah dilokasi bangunan kualitasnya jelek, sehingga perlu diganti dengan tanah dari jenis lain yang lebih baik, dan
- c. Kondisi tanah dilokasi bangunan kualitasnya jelek, namun tidak perlu diganti tetapi tanah tersebut diperbaiki sifat-sifatnya sehingga persyaratannya terpenuhi.

Usaha untuk memperbaiki atau merubah sifat-sifat yang disebut dengan stabilisasi tanah dapat berupa penambahan atau penggantian material baru, pemadatan, penambahan bahan kimia, pemanasan, pendinginan, mengalirkan arus listrik dan lain-lain. Secara garis besar stabilisasi tanah dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu: stabilisasi mekanik, stabilisasi fisik, dan stabilisasi kimia (Ingels dan Metcalf, 1977).

### **3.3.1 Stabilisasi Mekanik**

Stabilisasi mekanik adalah suatu metoda untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan merubah struktur atau menambahkan jenis tanah lain yang tidak mempengaruhi sifat-sifat tanah itu sendiri. Cara ini dapat juga berupa pemadatan, penambahan atau penggantian dengan tanah lain, peledakan dengan alat peledak (*explosive*) dan tekanan statis. Alat-alat yang biasa digunakan pada stabilisasi mekanik khususnya untuk pemadatan adalah alat tumbuk, mesin gilas drum halus, pelat getar, mesin gilas ban angin dan mesin kaki domba.

### **3.3.2 Stabilisasi Fisik**

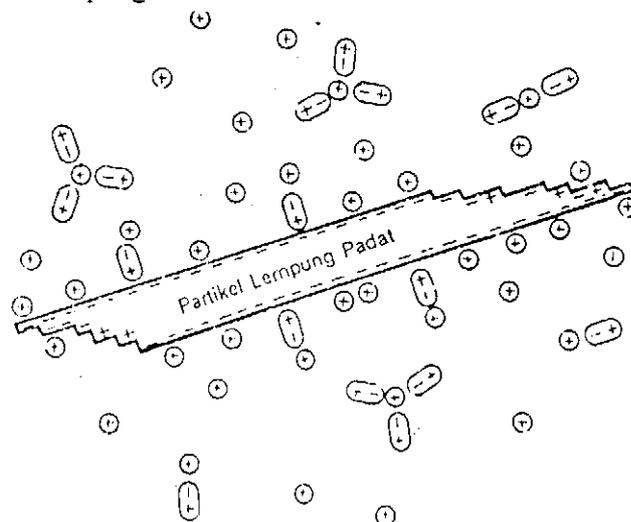
Stabilisasi fisik adalah perubahan sifat-sifat tanah dengan cara pemanasan (*heating*), pendinginan (*cooling*) dan menggunakan arus listrik (*electricity*). Salah satu jenis stabilisasi yang sering dipakai adalah pemanasan.

### **3.3.3 Stabilisasi Kimia**

Stabilisasi kimia adalah stabilisasi dengan cara penambahan bahan kimia padat atau cair pada tanah sehingga mengakibatkan perubahan sifat-sifat dari tanah tersebut, misalnya mencampur tanah lempung dengan kapur, semen dan lain-lain. Hal ini dapat terjadi karena partikel lempung memiliki muatan negatif pada tepi

permukaannya dan muatan positif pada ujung-ujungnya yang menyebabkan partikel tanah lempung akan menyebar bila diberi air dan akan menggumpal bila air yang dikandung hilang atau berkurang (lihat gambar 3.6). Menurut ahli geoteknik, peristiwa menyebarnya tanah lempung tersebut dapat diatasi dengan menambahkan material yang mengandung unsur  $Mg^{++}$ ,  $Al^{++}$ ,  $Na^{++}$ ,  $Ka^{++}$  yang dapat mengikat partikel-partikel lempung tersebut. Stabilisasi ini memanfaatkan reaksi kimia dengan tanah sehingga menjadi keras, caranya :

- Pertukaran ion, yaitu menukar reaksi ion butiran tanah.
- Pengendapan, yaitu dengan mencampur dua macam campuran (solusi) sehingga membentuk zat baru yang dapat menimbulkan pemadatan tanah atau stabilisasi tanah.
- Polimerisasi, yaitu pada kondisi-kondisi tertentu pencampuran beberapa zat sederhana, sehingga akan membentuk zat baru yang memiliki molekul lebih besar dan menimbulkan pengaruh stabilisasi.



- ⊕ Kation bermuatan positif
- ⊖ Molekul air polar
- Muatan negatif netto pada permukaan partikel

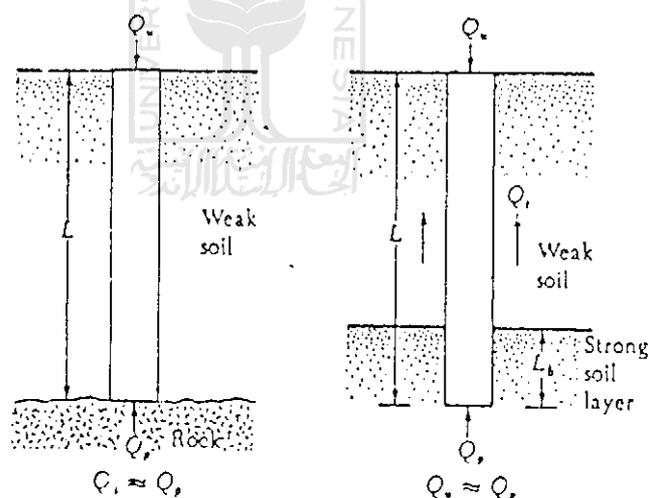
**Gambar 3.6** Partikel lempung (I.S. Dunn dkk, 1992)

### 3.4 Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

#### 1. Tiang dukung ujung (*end bearing pile*)

Tiang dukung ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada di atas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang.



Gambar 3.7 Point Bearing (End Bearing) Piles

Tahanan tiang ultimate dinyatakan dalam :

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana :  $Q_u$  = tahanan ultimate

$Q_p$  = tahanan ujung tiang

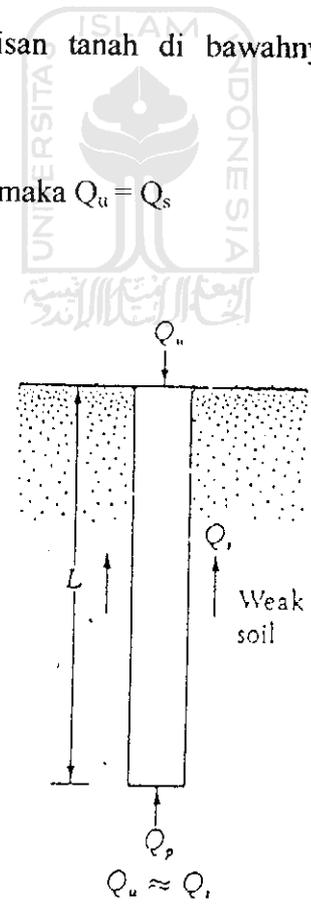
$Q_s$  = tahanan gesek selimut karena gesekan dengan tanah

Jika  $Q_s \approx 0$ , maka  $Q_u = Q_p$

2. Tiang gesek (*friction pile*)

Tiang gesek adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah di bawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.

Jika  $Q_p \approx 0$ , maka  $Q_u = Q_s$



Gambar 3.8 *Friction Piles*

### 3.5 Mekanisme Transfer Beban

Tahanan ujung (gesekan permukaan) termobilisasi penuh jika telah terjadi *displacement* sebesar :

- 10-25 % dari lebar atau diameter tiang.....*B.M. Das*
- 10-20 % dari lebar atau diameter tiang.....*Tomlinson*

Tahanan friksi (gesekan permukaan) termobilisasi penuh jika telah terjadi *displacement* sebesar :

- 5-10 mm (0,2-0,3 in) .....*B.M.Das*
- 0,3-1 % dari lebar atau diameter tiang.....*Tomlinson*

### 3.6 Daya Dukung Tiang

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 terbuat dari baja atau beton pracetak dan tiang pancang yang dibentuk dengan memancarkan tabung atau kulit (*shell*) yang dipasang sepatu pancang (*driving shoe*) dimana tabung atau kulit tersebut lalu diisi dengan adukan beton setelah dipancang. Kategori kedua terdiri dari tiang pancang yang dipasang tanpa terjadi perpindahan tanah. Tanah disingkirkan dengan membor atau menggali untuk membentuk suatu cerobong (*shaft*), kemudian adukan beton dicor kedalam cerobong tersebut untuk membentuk tiang pancang. Cerobong tersebut dapat dilapisi selubung (*cased*) atau tanpa selubung (*uncased*) tergantung pada tipe tanah. Pada lempung, cerobong tadi akan membesar pada dasarnya oleh suatu proses yang dikenal dengan pergerakan dasar lubang (*under-reaming*).

### 3.6.1 Tiang Pancang Pada Tanah Lempung

Dalam hal tiang pancang yang dipancang pada lempung disekitar tiang pancang tersebut dipindahkan baik kearah lateral maupun vertikal. Perpindahan lempung ke atas menghasilkan pengangkatan (*heaving*) pada permukaan tanah disekitar tiang pancang dan dapat menyebabkan suatu reduksi daya dukung tiang pancang yang telah dipasang disekitarnya. Lempung di zona terganggu disekeliling tiang pancang mengalami pembentukan kembali (*remoulding*) selama proses pemancangan. Tekanan air pori berlebihan yang terbentuk akibat tegangan-tegangan pemancangan akan hilang dalam beberapa bulan karena zona terganggu relatif sempit. Umumnya kehilangan tersebut terlihat telah selesai sebelum beban struktural yang penting dikerjakan pada tiang pancang. Kehilangan disertai dengan kenaikan kekuatan geser pada lempung yang terbentuk kembali dan juga kenaikan friksi kulit yang bersesuaian. Jadi friksi kulit pada akhir kehilangan lazimnya cukup memadai dalam desain.

### 3.6.2 Kelompok Tiang

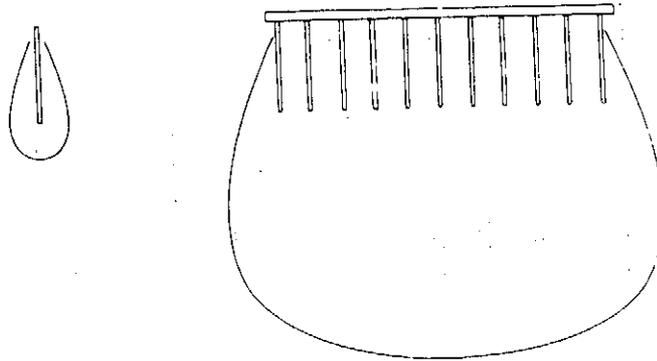
Pembahasan diatas hanya berlaku untuk tiang pancang tunggal. Dalam keadaan sebenarnya tidak pernah dijumpai penggunaan tiang secara tunggal, tetapi merupakan kombinasi sebagai kelompok-kelompok atau grup. Selalu terjadi perubahan kondisi tegangan akibat perubahan konsistensi dan kerapatan karena pengaruh pemancangan tiang sebelumnya. Hal ini juga akan menimbulkan pengaruh terhadap perilaku tiang tidak hanya selama perancangan tetapi juga selama tiang tersebut mendukung beban yang akan diberikan. Perilaku kelompok tiang secara

langsung tidak dapat dianggap sama dengan perilaku tiang tunggal meski menahan beban yang sama tiap tiang dan dalam lokasi yang sama.

Hal penting adalah kontribusi dukungan dari gesekan kulit dan ujung tiang yang mencapai lapisan tanah keras. Jika tiang tunggal dibebani misal dalam pengujian pembebanan sebagian besar daya dukungnya berasal dari tanah sepanjang tiang melalui gesekan kulit, meski tanah cukup lunak dan kompresibel. Jika beberapa tiang saling berdekatan sehingga tanah sekeliling akan mendukung tiang, tegangan diberikan pada seluruh blok tanah dimana kelompok tiang tersebut dipancang, perlahan-lahan akan cenderung menekan tanah, dan tiang akan turun sedikit, saat sebagian besar beban dipindahkan secara langsung oleh tiang ke lapisan tanah keras. Pada kelompok tiang yang besar, sebagian besar beban cepat atau lambat akan didukung oleh dukungan ujung tiang, dengan mengabaikan gesekan kulit yang terjadi pada pengujian pembebanan tunggal. Pada kondisi tanah yang berbeda, akan timbul perbedaan lain mengenai perilaku tiang tunggal dan kelompok tiang.

Pada lempung, tiang-tiang di sekeliling pusat akan memikul beban yang lebih besar dari tiang di pusat kelompok. Umumnya dapat diasumsikan bahwa semua tiang dalam satu kelompok akan turun dengan nilai yang sama, akibat kekakuan kepala tiang. Penurunan sekelompok tiang selalu lebih besar dari penurunan sebuah tiang yang bersesuaian, sebagai akibat dari tumpang tindihnya zona-zona pengaruh masing-masing tiang dalam kelompok tersebut. Bidang runtuh sebuah tiang tunggal dan sekelompok tiang (dengan panjang yang sama dengan tiang tunggal) dapat dilihat pada gambar 3.9. Tegangan-tegangan yang sangat berarti yang terbentuk pada sekelompok tiang jauh lebih luas daripada tiang tunggal yang bersesuaian. Rasio

penurunan sebuah kelompok tiang didefinisikan sebagai rasio penurunan kelompok tersebut terhadap penurunan tunggal pada saat keduanya memikul beban ultimit yang sama.

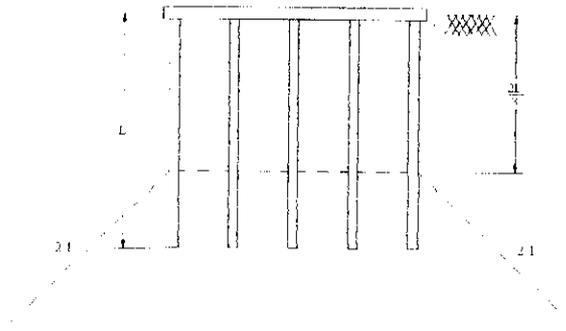


**Gambar 3.9.** Bidang runtuh untuk sebuah tiang pancang dan sekelompok tiang pancang (Craig RF, 1989)

Penurunan sebuah kelompok tiang pada lempung dapat dihitung dengan mengasumsikan bahwa beban total dipikul oleh sebuah “rakit ekivalen” (*equivalent raft*) yang ditempatkan pada kedalaman  $2/3 L$ , dimana  $L$  adalah panjang tiang. Dapat diasumsikan, seperti terlihat pada gambar 3.10. Bahwa beban disebarakan dari keliling kelompok tiang dengan kemiringan horizontal 1 terhadap vertikal 4 untuk membiarkan sebagian beban disalurkan ke tanah oleh friksi kulit. Kenaikan tegangan vertikal pada sembarang kedalaman di bawah rakit ekivalen dapat dihitung dengan kembali mengasumsikan bahwa beban total disebarakan pada tanah-tanah yang melapisi di bawahnya dengan kemiringan horisontal 1 terhadap vertikal 2.

Penghitungan penurunan untuk beberapa macam tiang mengambil titik acuan yang berbeda-beda yaitu :

- Tiang friksi, penurunannya dihitung mulai kedalaman  $2/3 L$ .
- Tiang tahanan ujung, penurunannya dihitung mulai kedalaman  $L$ .
- Tiang gabungan, penurunannya dihitung mulai kedalaman  $2/3 L-L$ .



**Gambar 3.10.** Konsep rakit ekivalen (Craig R.F, 1989)

Keuntungan kelompok tiang :

1. Dapat menahan beban yang besar
2. Mengatasi eksentrisitas tiang tunggal yang mungkin terjadi
3. Kegagalan sebuah tiang dapat diminimalisasi
4. Kapasitas kelompok dapat lebih tinggi dari jumlah tiang tunggal

*Settlement* (penurunan) pada suatu tanah lempung dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta s = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

$\Delta s$  = *settlement* yang terjadi

$C_c$  = *compression index*, didapat dari uji konsolidasi

$e_0$  = *initial void ratio* (angka pori awal)

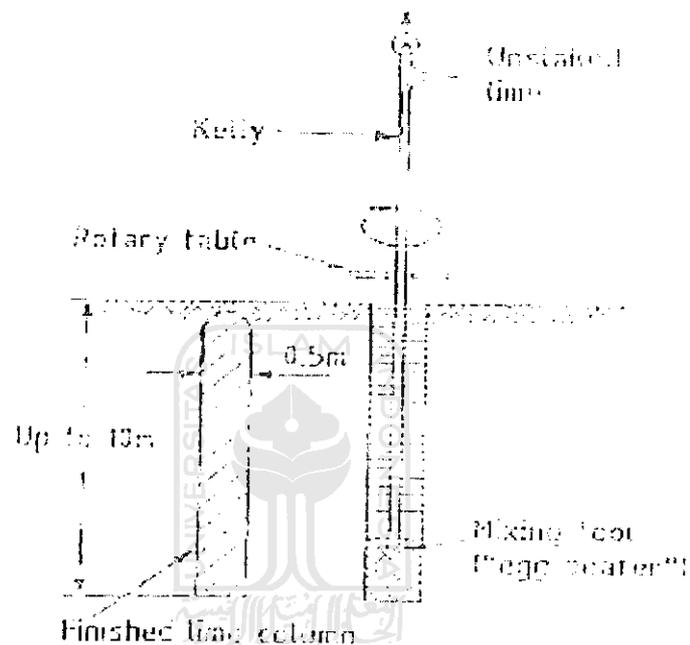
$H$  = tinggi lapisan lempung

$\Delta P$  = tegangan yang terjadi ditengah lapisan lempung

$P_o$  = tegangan vertikal efektif ditengah lapisan lempung

### 3.7 Kolom Kapur

Istilah “kolom kapur” mengacu pada sebuah bentuk kolom vertikal dalam material stabilisasi tanah. Prinsip umum teknik ini adalah untuk menciptakan, in situ, kolom dari campuran tanah lempung dan kapur. Kolom dibangun menggunakan alat “egg-beater” raksasa, seperti ditunjukkan oleh gambar 3.11 berikut ini.



**Gambar 3.11.** Prosedur untuk konstruksi kolom kapur

Kapur yang biasa digunakan adalah kapur hidrat (*kalsium hidroksida*) dan kapur api (*quick lime*), walaupun kapur api biasanya lebih disukai dalam kaitannya dengan efek hidrasi.

Reaksi lempung dan kapur berlangsung menghasilkan kolom dengan kekuatan lebih besar dan meningkatnya permeabilitas dibandingkan tanah yang tidak mendapatkan perlakuan serupa. Didalam desain, penekanannya adalah pada proses stabilisasi fisik dan propertis tanah lempung yang diperlukan untuk menghasilkan stabilisasi yang efektif.

Broms dan Boman (1975) memberi suatu pengenalan kepada penggunaan dan konstruksi kolom kapur, suatu studi tentang aplikasi dan metode desain yang lengkap diterbitkan oleh Broms pada tahun 1983.

Aplikasi telah didasarkan pada peningkatan daya dukung, kekuatan geser dan permeabilitas. Ini meliputi, sangat utama, pondasi, dengan metode-metode desain yang telah dibentuk dengan pertimbangan kekuatan kolom dan interaksi kolom dengan tanah.

Broms (1985) mengenalkan informasi pada penggunaan kolom kapur dalam stabilisasi lereng. Ini telah dicatat bahwa tekanan air pori yang tinggi yang diproduksi oleh teknik tiang pancang tradisional telah dikurangi pada kasus kolom kapur dalam kaitan dengan afinitas *quicklime* untuk air. Perancangan pemasangan tiang pancang telah dikembangkan dengan mempertimbangkan kekuatan geser rata-rata ( $c_{av}$ ) sepanjang suatu kegagalan rencana potensial

$$c_{av} = c_u (1 - a) + s_{col} a$$

$c_u$  adalah kuat geser awal kekuatan tanah (ditemukan pada test baling-baling geser),  $s_{col}$  adalah kuat geser tanah rata-rata kekuatan tanah lempung yang di stabilisasi di dalam kolom dan dalam area kolom yang relatif, perbandingan total area kolom dan area tanah yang distabilisasi tersebut.

Walaupun telah dipelopori di Skandinavia, kolom kapur telah juga digunakan di beberapa negara lain seperti Perancis di mana teknik ini telah diadopsi khususnya untuk stabilisasi tanggul jalan kereta api. Jepang juga telah mengembangkan "metode campuran dalam" untuk menggunakan kapur (Terasai et

Al, 1979). Aplikasinya dilaporkan meliputi stabilitas lereng, tetapi tidak ada detail yang diberikan.

Aplikasi kolom kapur pada tanah Inggris telah diselidiki oleh Corbet (1988), Corbet mencoba mengaplikasikannya untuk digunakan di Inggris. Kolom kapur telah ditaksir sebagai alat stabilisasi tanah lunak dasar di bawah tanggul, format stabilisasi lain dipertimbangkan mencakup drainase, penggantian *vibro*, kolom batu, geofabrik dan tiang pancang konvensional.

Kolom kapur telah dilihat sebagai suatu alternatif untuk kolom batu tetapi telah diakui tak cocok untuk aplikasi yang diperlukan dalam kaitan dengan inkonsistensi kekuatan yang diperoleh dan lebih rendah dari permeabilitas diharapkan didapat dari percobaan laboratorium. Hal yang penting pada kesuksesan mereka adalah pertimbangan kesatuan dan efektivitas dalam pencampuran, kadar air tanah lempung untuk diatur dalam hubungan dengan kebutuhan air ( volume ditambahkan yang relatif besar) dari kapur, dan sebagai konsekuensi apakah kapur hidrat dan kapur api bisa dipergunakan. Keputusan seperti itu akan dengan jelas tergantung pada aplikasi yang dipertimbangkan dan kondisi awal tanah tersebut.

### **3.8 Macam-macam kapur**

#### **3.8.1 Kapur Api (*quick lime*)**

Kapur api (*quick lime*) secara kimia disebut kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) didapat dari pemanasan batu kapur ( $\text{CaCO}_3$ ) untuk mengeluarkan karbon dioksida. Kapur api sangat murah jika dibandingkan dengan hidrat kapur (*hydrated lime*).

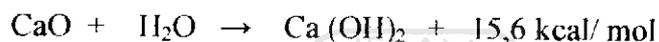
### 3.8.2 Kapur Hidrat (*hydrated lime*)

Kapur hidrat (*hydrated lime*) secara kimia disebut  $\text{Ca(OH)}_2$  merupakan hasil reaksi kimia dari kalsium oksida dengan air ( $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$ ) yang merupakan serbuk yang baik.

## 3.9 Reaksi Tanah-Kapur

### 3.9.1 Absorpsi air, reaksi eksotermis dan reaksi ekspansif

Bila kapur dicampurkan pada tanah, maka pada tanah yang ada kandungan airnya, akan terjadi reaksi sebagai berikut :



Melalui reaksi kimia ini 0,121 kg air bereaksi dengan 1.0 kg kapur dan menimbulkan panas sebesar 278 kcal. Pada saat bersamaan, volume kapur menjadi kira-kira 2 kali lebih besar dari volume asal sehingga berakibat : turunnya kandungan air didalam tanah tersebut.

### 3.9.2 Reaksi pertukaran ion

Butiran lempung dalam kandungan tanah berbentuk halus dan bermuatan negatif. Ion positif, seperti ion Hidrogen ( $\text{H}^+$ ), ion Sodium ( $\text{Na}^+$ ), ion Kalsium ( $\text{K}^+$ ) serta air yang berpolarisasi, semuanya melekat pada permukaan butiran-butiran lempung tadi. Jika kapur ditambahkan pada tanah dengan kondisi seperti diatas, maka pertukaran ion segera terjadi, dan ion sodium yang berasal dari larutan kapur diserap oleh permukaan butiran lempung. Jadi, permukaan butiran lempung tadi kehilangan kekuatan tolaknya (*repulsion force*), dan terjadilah kohesi daripada butiran itu sehingga berakibat kenaikan kekuatan konsistensi tanah tersebut.

### 3.9.3 Reaksi pozzolanik

Perubahan kekuatan tanah akibat *curing time* disebabkan oleh reaksi *pozzolanic*. Reaksi *pozzolanic* adalah peningkatan kekuatan tanah dan *lime column* akibat bertambahnya umur sampel benda uji. Dengan bertambahnya waktu, maka Silika ( $\text{SiO}_2$ ) dan Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang terkandung didalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif, akan bereaksi dengan kapur dan akan membentuk Kalsium silikat hidrat seperti : tobermorite, kalsium aluminat hidrat seperti :  $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, 12\text{H}_2\text{O}$  dan Gehlenite hidrat  $2\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2, 6\text{H}_2\text{O}$ . Pembentukan senyawa – senyawa kimia ini terus-menerus berlangsung untuk waktu yang lama, dan menyebabkan tanah menjadi lebih keras, kuat dan awet., karena senyawa-senyawa tersebut berfungsi sebagai *binder* (pengikat).

Urutan – urutan reaksi yang terjadi pada campuran tanah lempung dengan kapur :



Tergantung daripada jenis mineral lempung, sifat reaktif dari tanah berbeda-beda. Tanah dengan kadar lempung yang rendah, tanah dengan kandungan mineral lempung dengan kadar reaktif rendah tidak sesuai dengan stabilisasi dengan kapur. Stabilisasi dengan kapur tidak dapat menghasilkan kekuatan yang diharapkan pada masa-masa awal.