

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Sifat Umum Tanah

##### 3.1.1 Komposisi dan klasifikasi tanah

Dari berbagai partikel tanah yang ada di permukaan bumi, dibedakan beberapa jenis partikel tanah yaitu ( Joseph E Bowles, 1984) :

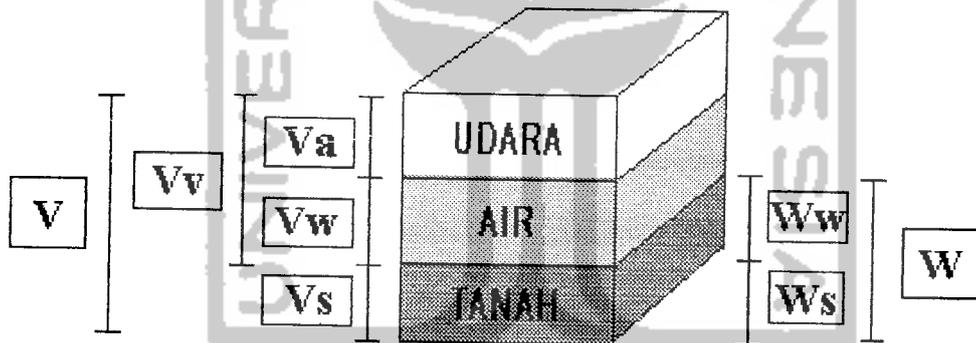
1. Berangkal (*boulder*) yaitu potongan batu yang besar biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm.
2. Kerikil (*gravel*) yaitu partikel batuan yang berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) yaitu partikel batuan yang berukuran 0,074 mm sampai 5 mm.
4. Lanau (*silt*) yaitu partikel batuan yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm.
5. Lempung (*clay*) yaitu partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel ini mengandung unsur silikat dan aluminat merupakan sumber utama dari kohesi.
6. Koloid (*colloids*) yaitu partikel tanah yang diam dalam arti merupakan partikel tanah yang paling kecil, berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

##### 3.1.2 Hubungan antar fase tanah.

Pada umumnya dalam ilmu mekanika tanah, untuk mendefinisikan parameter-parameter didalam tanah dinyatakan hubungan dengan rumus-rumus matematis. Jika diamati contoh tanah yang berbentuk kubus dengan dimensi-

dimensi satuan (misal 1x1x1cm). Pemeriksaan visual akan memperlihatkan bahwa blok tanah itu akan terdiri dari :

1. Pori atau ruang kosong (*voids*), yang merupakan ruang-ruang terbuka antara butir-butir tanah, dengan berbagai ukuran.
2. Butir-butir tanah yang mungkin *makroskopis* atau *mikroskopis* dalam ukurannya.
3. Kelembaban tanah, yang akan menyebabkan tanah basah, lembab ataupun kering. Air didalam pori mungkin ada dalam kuantitas yang cukup untuk memenuhi ruang kosong itu, atau mungkin hanya mengisi ruang kosong itu sebagian saja.



Gambar 3.1. Diagram Fase Tanah

Dari gambar tersebut didapat persamaan-persamaan matematis:

$$W = W_w + W_s \quad (3.1)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \quad (3.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \quad (3.3)$$

Dengan :  $W_s$  = berat butiran padat

$W_w$  = berat air

$V_a$  = volume udara

$V_w$  = volume air

$V_s$  = volume butiran padat

Dari gambar 3.1 dapat didefinisikan dan beberapa istilah yang berhubungan dengan tanah:

1. Angka pori (*void ratio*),  $e$ , didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume partikel padat,  $e = V_v / V_s$ . (3.4)
2. Porositas (*porosity*),  $n$ , didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dengan volume total tanah,  $n = V_v / V_t$ . (3.5)
3. Kadar air tanah (*water content*),  $w$ , didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dengan berat butiran padat dalam tanah,  $w = W_w / W_s$ . (3.6)
4. Derajat kejenuhan (*degree of saturation*),  $S$ , didefinisikan sebagai perbandingan antara volume total air dengan volume total pori,  
 $S = (V_w / V_v) \times 100\%$ . (3.7)
5. Berat jenis (*specific gravity*),  $G_s$ , didefinisikan sebagai berat jenis butiran tanah yang dihitung sebagai,  
 $G_s \text{ (pada } 27,5^\circ\text{C)} = \gamma_s \text{ (Bj air } t^\circ / \text{Bj air } 27,5^\circ)$  (3.8)
6. Kerapatan butiran (*bulk density*),  $\rho$ , didefinisikan sebagai perbandingan antara massa total tanah dengan volume total tanah,  $\rho = M / V$ . (3.9)

### 3.1.3 Tanah berkohesi dan tanah tidak berkohesi

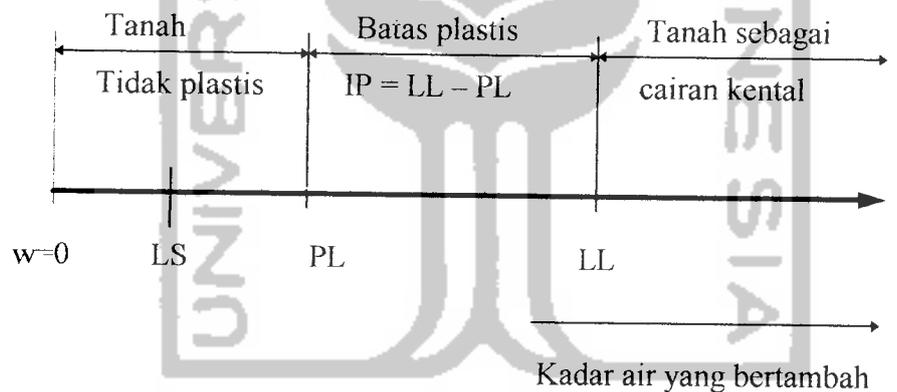
Tanah dikatakan berkohesi apabila untuk memisahkan butiran-butiran tanahnya dalam keadaan kering diperlukan suatu gaya. Sedangkan untuk tanah tidak berkohesi yaitu apabila butiran-butiran tanah terpisah pisah sesudah dikeringkan dan melekat hanya apabila tanah dalam keadaan basah akibat adanya gaya tarik permukaan didalam air.

### 3.1.4 Batas konsistensi tanah

Batas-batas konsistensi tanah ini didasarkan kepada kadar air yang dibagi lima keadaan konsistensi tanah, yaitu:

1. Batas cair (*liquid limit*), *LL*, yaitu kadar air untuk nilai-nilai di atasnya, tanah akan bersifat sebagai cairan kental. Dalam mekanika tanah batas cair ini didefinisikan secara kasar sebagai kadar air dengan 25 kali pukulan oleh alat batas cair akan menutup celah (*groove*) standar yang dibuat pada lempeng tanah untuk sepanjang 12,7 mm, atau pada cara penetrasi jarum masuk sedalam 20 mm pada sampel tanah.
2. Batas plastis (*plastic limit*), *PL*, yaitu kadar air untuk nilai-nilai dibawahnya tanah tidak lagi bersifat sebagai bahan yang plastis. Tanah akan bersifat sebagai bahan yang plastis untuk kadar air yang berkisar antara *LL* dan *PL*. Kisaran ini disebut indek plastis,  $PI = LL - PL$ .

3. Batas limit (*shrinkage limit*),  $SL$ , yaitu kadar air yang didefinisikan untuk derajat kejenuhan = 100%, untuk nilai di bawah 100% tidak akan terdapat perubahan volume tanah apabila dikeringkan.
4. Batas lengket (*sticky limit*), yaitu kadar air suatu tanah kehilangan sifat adhesinya dan tidak dapat lagi lengket pada objek-objek lainnya seperti jari atau permukaan yang halus dari logam.
5. Batas kohesi (*cohesion limit*), yaitu kadar air butir-butir tanah yang tidak dapat bersatu lagi dan pengambilan tanah tidak dapat menghasilkan lempengan-lempengan yang bersatu.



Gambar 3.2 Batas-batas plastis dan cair suatu tanah

sumber : Joseph E Bowles, Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, 1984 hal 43

### 3.2 Sifat-sifat Tanah Berbutir Halus

Pada tanah berbutir halus khususnya lempung, hampir selalu terhidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut air teradsorpsi. Lapisan air ini dapat hilang pada temperatur antara  $60^{\circ}$  -  $100^{\circ}$  dan akan mengurangi plastisitas alamiah (sekitar 6% - 10%) dari tanah. Sebagian air ini

dapat hilang cukup dengan pengeringan udara saja. Sifat plastisnya dapat dikembalikan dengan mencampur air dalam jumlah yang cukup, namun apabila dehidrasi terjadi pada suhu yang lebih tinggi sifat plastisnya akan turun dan berkurang selamanya.

Oleh karena itu pada tanah berbutir halus atau lempung, daya dukungnya menjadi kurang baik. Maka sangat diperlukan perbaikan atau lebih dikenal dengan istilah stabilisasi tanah, agar tanah jenis ini dapat dijadikan sebagai bahan tanah urugan yang mampu menahan beban di atasnya.

### 3.3 Sifat Bahan *Clean Set Cement* (CS-60)

*Clean set cement* adalah suatu jenis bahan kimia yang diproduksi oleh pabrik. Berfungsi untuk memperbaiki dan menstabilkan tanah lunak dan endapan lumpur. Adapun komposisi bahan penyusun dari *clean set cement* terdapat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi kimia *Clean Set Cement* (PT. Indo Clean Set Cement)

Komponen	% berat
SiO <sub>2</sub>	15,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,26
CaO	65,90
MgO	1,77
SO <sub>3</sub>	1,52

Sumber: PT Indo Clean Set Cement, Pedoman Clean Set Cement, 1993.

Apabila dicampur dengan tanah, maka *clean set cement* akan menurunkan kadar air tanah, kohesi meningkat, indek plastisitas mengecil sehingga tanah dapat diolah dengan baik hal ini disebabkan karena *clean set cement* mampu

mengikat molekul air hingga dapat meningkatkan atau menambah kekuatan daya dukung tanah ( PT. Indo Clean Set Cement, 1993).

### 3.4 Sifat Bahan *Fly Ash*

*Fly ash* adalah bagian hasil pembakaran batu bara pada tungku Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang berbentuk partikel halus serta bersifat pozzolan. Adapun komponen kimia dari *fly ash* terdapat pada tabel berikut ini:

Tabel 3.2 Komposisi *Fly Ash*

Komponen	% berat
SiO <sub>2</sub>	53,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,97
TiO <sub>2</sub>	2,19
CaO	0,54
MgO	0,58
K <sub>2</sub> O	0,22
Na <sub>2</sub> O	1,16
SO <sub>3</sub>	3,20

Sumber: Laboratorium BKT UII, Kumpulan Penelitian Abu Terbang

### 3.5 Stabilisasi Tanah Berbutiran Halus dengan *Clean Set Cement*

Stabilisasi atau perbaikan tanah dengan menggunakan *clean set cement* akan menambah nilai kohesi dari tanah tersebut dan menaikkan nilai sudut geser tanah.

Cara-cara pencampuran bahan *clean set cement* adalah sebagai berikut ini.

1. Pencampuran dalam keadaan kering (*dry mixing*)

Untuk memperbaiki permukaan lapisan tanah, pencampuran dalam keadaan kering sangat umum digunakan, karena cara tersebut lebih mudah untuk memperoleh kekuatan yang diinginkan.

2. Pencampuran secara pembuburan (*slurry*).

Cara ini umumnya digunakan untuk menstabilkan atau mengeraskan lumpur, gambut dan lainnya. Sedangkan metode pencampuran bahan *clean set cement* dan *fly ash* untuk keperluan stabilisasi tanah adalah sebagai berikut ini:

a. Setempat (*In-place*)

Pada metode ini, bahan stabilisasi langsung dicampurkan dengan tanah yang akan distabilisasikan, pemadatannya akan dilakukan setelah selesai pencampuran. Metode ini banyak digunakan karena mudah dalam pelaksanaan, ekonomis dan efisien tetapi dalam pencampuran tidak begitu baik.

b. Lokasi pencampuran khusus (*special mixing*)

Bahan stabilisasi dicampur di suatu lokasi tersendiri yang letaknya bersebelahan dengan area yang akan distabilisasi. Dari lokasi tersebut, tanah yang sudah dicampur dengan bahan stabilisasi, diangkut ke lokasi pekerjaan konstruksi kemudian dipadatkan.

c. *Plant-mixing*

Dalam metode ini tanah dicampur dalam tempat tersendiri. Tahapannya hampir sama dengan metode *special mixing*. Secara umum, metode ini menyajikan kemudahan pencampuran dan kontrol yang sempurna terhadap

mutu campuran. Metode ini membutuhkan tambahan biaya khusus untuk pengadaan lokasi pencampuran, maka metode ini biasanya diterapkan untuk proyek-proyek berskala besar.

### 3.6 Pemadatan Tanah

Pemadatan (*compaction*) adalah proses naik kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antara partikel sehingga terjadi reduksi volume udara dengan menggunakan energi mekanis. Umumnya makin tinggi derajat pemadatan, makin rendah kemampuan tanah tersebut untuk terus memadat. Derajat kepadatan tanah diukur berdasarkan kerapatan kering (*dry density*), yaitu massa partikel padat persatuan tanah.

Adapun tujuan dari pemadatan tanah adalah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah. Beberapa keuntungan yang didapatkan dari usaha pemadatan ini antara lain:

1. penurunan permukaan tanah (*subsidence*) berkurang, yaitu gerakan vertikal dalam massa tanah akibat angka pori mengecil,
2. kekuatan tanah bertambah,
3. pengurangan penyusutan atau pengurangan volume, akibat kadar air semakin berkurang dari nilai patokan pada saat dilakukan pengeringan.

Dalam pemadatan ini akan dihasilkan grafik atau kurva hubungan antara berat isi kering ( $\gamma_d$ ) dengan kadar air yang diberikan secara teratur pada waktu dilakukan pemadatan tanah berikutnya. Setelah terbentuk grafik tersebut dapat

dilihat berapa kadar air optimum yang dimiliki oleh tanah yang telah dipadatkan.

Pada keadaan ini telah mencapai kepadatan tanah yang maksimum.

Adapun hal-hal yang berhubungan dengan pemadatan tanah adalah sebagai berikut ini:

1. Kadar air ( $w$ ), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran tanah ( $W_s$ ) dalam tanah tersebut, yang dinyatakan dalam persen. (persamaan 3.6)

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

$$\gamma_b = W / V \quad (3.10)$$

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

$$\gamma_d = W_s / V \quad (3.11)$$

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

$$\gamma_s = W_s / V_s \quad (3.12)$$

5. Berat jenis tanah (*Specific Gravity*),  $G_s$ , didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur 4°C. (persamaan 3.8)

### 3.7 Daya Dukung Tanah

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk memikul beban yang bekerja di atasnya tanpa terjadi kelongsoran atau kerusakan struktur di atasnya.

Jika beban yang berada di atas pondasi tersebut ditambah sedikit demi sedikit, maka setelah beban mencapai nilai tertentu, penurunan yang terjadi akan meningkat dengan cepat dan terus berlangsung.

Untuk menghitung besar daya dukung tanah (*bearing capacity*) diperlukan nilai kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser tanah (*shear failure*) didalam tanah adalah akibat gerak relatif antara butir tanah, bukan karena butiran itu sendiri yang hancur. Oleh karena itu kekuatan tanah tergantung pada gaya-gaya yang bekerja antara butiran tanah. Dengan pemahaman di atas kekuatan geser tanah dapat disimpulkan terdiri dari dua bagian, yaitu:

1. bagian yang bersifat kohesi, yang tergantung pada macam jenis tanah dan kepadatan tanah,
2. bagian yang mempunyai sifat gesekan (*frictional*) yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.

### 3.8 Daya Dukung Tanah Terzaghi

Teori daya dukung tanah Terzaghi dimaksudkan untuk pondasi dangkal. Teori ini didasarkan pada anggapan bahwa kekuatan geser dinyatakan dengan rumus-rumus berikut ini:

1. Untuk bentuk pondasi menerus:

$$q_{ult} = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.13)$$

2. Untuk bentuk pondasi bujur sangkar:

$$q_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,4 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.14)$$

3. Untuk bentuk pondasi lingkaran :

$$q_{ult} = 1,3 \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,3 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.15)$$

dengan:

$\gamma_b$  = berat isi tanah

B = lebar pondasi

$D_f$  = kedalaman pondasi

c = kohesi

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  adalah faktor daya dukung yang nilainya tergantung dari besar sudut geser dalam tanah. Seperti yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.3 Koefisien Daya Dukung Terzaghi

$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N_c'$	$N_q'$	$N_\gamma'$
0°	5,71	1,00	0	3,81	1,00	0
5°	7,32	1,64	0	4,48	1,39	0
10°	9,64	2,70	1,2	5,34	1,94	0
15°	12,80	4,44	2,4	6,46	2,73	1,2
20°	17,70	7,43	4,6	7,90	3,88	2,0
25°	25,10	12,70	9,2	9,98	5,50	3,3
30°	37,20	22,50	20,0	12,70	8,32	5,4
35°	57,80	41,40	44,0	16,80	12,80	9,6
40°	95,60	81,20	114,0	23,20	20,50	19,1
45°	172,00	173,00	320,0	34,10	35,10	27,0

Sumber: Suyono Sosrodarsono, Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, 1990 hal 32