

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Komposisi Tanah

Tanah merupakan campuran dari partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut ini. (Joseph E. Bowles, 1986)

1. Berangkal (*boulders*) – merupakan potongan batuan besar, biasanya diambil lebih besar dari 250 sampai 300 mm. Ukuran 150 mm sampai 250mm, fragmen batuan ini dapat disebut kerakal (*cobbles*) atau *pebbles*.
2. Kerikil (*gravel*) – partikel batuan berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) – partikel batuan berukuran 0,0074 mm sampai 5 mm berkisar dari kasar (5 sampai 3 mm) sampai halus ( $< 1$  mm).
4. Lanau (*silt*) – partikel mineral yang berukuran dari 0,002 mm sampai 0,074 mm.
5. Lempung (*clay*) – partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi di dalam tanah yang *kohesif*.
6. Koloid (*colloids*) – partikel mineral yang diam, berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Banyak deposit tanah yang mengandung berbagai persentasi dari partikel-partikel yang disebut diatas. Apabila suatu ukuran partikel merupakan deposit

terbanyak, maka deposit tersebut akan diberi nama partikel tadi, misalnya pasir, kerikil, kerikil berpasir, lempung dan sebagainya. Suatu perkecualian terdapat pada lempung dan lanau, dimana deposit lanau yang dominan dengan kandungan lempung dari 10 sampai 25 persen, akan disebut lempung.

Deposit-deposit pasir, kerikil atau campuran pasir – kerikil dapat berupa lepas (*loose*), sedang (*medium*) atau padat (*dense*), berdasarkan kepadatan partikel-partikelnya yang dapat ditentukan secara visual atau lewat suatu percobaan.

### **3.2 Tanah Granuler (Non Kohesif)**

Tanah granuler merupakan istilah untuk tanah berbutir seperti pasir, kerikil, batuan dan campurannya, mempunyai sifat-sifat yang sangat baik untuk mendukung bangunan dan jalan, karena mempunyai daya dukung yang tinggi dan penurunannya kecil asalkan tanahnya relatif padat. Penurunan segera terjadi setelah penerapan beban. Jika dipengaruhi oleh getaran pada frekuensi yang tinggi, penurunan yang besar dapat terjadi pada tanah yang tidak padat.

Tanah granuler ini juga baik untuk bahan timbunan, karena mempunyai kuat geser yang tinggi. Ditinjau dari permeabilitasnya tanah ini tak dapat digunakan sebagai material untuk tanggul, bendungan, kolam atau bangunan lain yang berhubungan langsung dengan air kecuali sebagai material drainasi. Hal ini dikarenakan permeabilitasnya sangat besar.

### 3.2.1 Pengaruh Kerapatan terhadap Tanah Pasir

Istilah kerapatan relatif (*relative density*) dipakai untuk menyatakan tingkat kerapatan dari tanah berbutir kasar, yaitu pasir dan kerikil. Untuk pasir dan kerikil, kerapatan relatif merupakan salah satu sifat yang sangat penting artinya. Kekuatan geser serta *compressibility* sangat tergantung pada kerapatan relatifnya.

Harga kerapatan relatif bervariasi dari harga terendah = 0 untuk tanah yang sangat lepas, sampai harga yang tertinggi = 1 untuk tanah yang sangat padat. Para ahli tanah secara kualitatif menjelaskan tentang tanah berbutir kasar atas kerapatan relatifnya seperti pada tabel 3.1 di bawah ini .

**Tabel 3.1** Penjelasan Secara Kualitatif Mengenai Tanah Berbutir  
(Braja M. Das,1985)

Kerapatan Relatif (Dr)	Penjelasan mengenai Deposit Tanah
0,00 – 0,15	Sangat lepas
0,15 – 0,50	Lepas
0,50 – 0,70	Menengah
0,70 – 0,85	Padat
0,85 – 1,00	Sangat padat

### 3.2.2 Sifat Rekayasa Tanah Pasir

#### 1. Distribusi Ukuran Butiran (Gradasi)

Sifat tanah sangat dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi

tanahnya. Oleh karena itu analisis butiran merupakan pengujian yang sangat sering dilakukan. Analisis ukuran butiran tanah merupakan penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran dan diameter tertentu.

Distribusi ukuran butiran tanah ditentukan dengan cara menyaringnya. Sampel tanah disaring lewat satu unit saringan, berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang dan persentase terhadap berat kumulatif pada tiap saringan dihitung.

Berdasarkan hasil dari analisis mekanik (analisis ayakan) selanjutnya digambarkan dalam bentuk grafik, yaitu merupakan grafik lengkung gradasi (*grading curve*) atau disebut juga grafik lengkung pembagian butir (*particle size distribution*). Pada umumnya suatu macam tanah tertentu terdiri dari butir-butir yang termasuk beberapa golongan, misalnya kerikil sering mengandung pasir dan pasir sering mengandung lanau atau lempung.

Kurva distribusi ukuran butiran dapat digunakan untuk membandingkan beberapa jenis tanah yang berbeda. Ada tiga parameter dasar yang dapat ditentukan dari kurva tersebut yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berbutir kasar. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut :

- a. ukuran efektif (*effective size*),
- b. koefisien keseragaman (*uniformity coefficient*),
- c. koefisien gradasi (*coefficient of gradation*).

Ukuran efektif dinotasikan dengan  $D_{10}$ , didefinisikan sebagai 10% dari berat butiran total yang mempunyai diameter butiran lebih kecil dari ukuran

butiran tertentu. Perbedaan antara tanah *uniform* dan bergradasi baik dapat ditentukan secara numerik dengan koefisien keseragaman dan koefisien gradasi yang diberikan dengan hubungan :

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} D_{10}} \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana :

- $C_u$  = koefisien keseragaman
- $D_{60}$  = diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butir.
- $C_c$  = koefisien gradasi
- $D_{30}$  = diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butir
- $D_{10}$  = diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butir.

Kurva distribusi ukuran butiran tidak hanya menunjukkan rentang (*range*) dari ukuran butir yang dikandung dalam tanah, tetapi juga menunjukkan tipe dari kurva distribusi ukuran butir tersebut. Berikut ini adalah penjelasan secara kualitatif mengenai kurva distribusi ukuran butiran.

**Tabel 3.2** Penjelasan secara kualitatif mengenai kurva distribusi ukuran butiran untuk tanah pasir (Dun, Anderson, Kiefer, 1980)

$C_u$	Penjelasan mengenai kurva distribusi ukuran butiran
< 4	Uniform graded
> 6	Well graded

**Tabel 3.3** Penjelasan secara kualitatif mengenai kurva distribusi ukuran butiran untuk tanah pasir (Dun, Anderson, Kiefer, 1980)

$C_c$	Penjelasan mengenai kurva distribusi ukuran butiran
$1 < C_c < 3$	Gradasi baik

Tanah yang ukuran butirnya berpersentasi rata antara yang kecil sampai yang besar dikatakan bergradasi *baik (well graded)*. Bilamana di dalam distribusi ukuran butiran terdapat loncatan ukuran butiran dinamakan tanah bergradasi buruk (*poorly graded soil*). Jika besar semua butiran hampir sama maka dipakai istilah tanah bergradasi seragam (*uniformly graded*). Pada Gambar 3.1 dibawah ini diperlihatkan berbagai macam tipe kurva distribusi ukuran butiran.

dimana :

$\tau$  = tegangan geser

$c'$  = kohesi tanah efektif

$\sigma'$  = tegangan normal efektif

$u$  = tekanan air pori

$\phi'$  = sudut gesek dalam tanah efektif

Tanah ini mempunyai tahanan geser yang berupa gesekan. Tahanan gesernya merupakan fungsi dari tegangan normal. Jika tegangan normal besar, tahanan geser juga membesar. Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja tegak lurus pada bidang gesernya. Jika tanah granuler kering dan tegangan normalnya nol, gaya gesernya juga nol. Jika tanahnya basah tanah ini dapat mempunyai kohesi yang lemah (sangat kecil).

### 3. Permeabilitas

Air di bawah bidang muka air maupun dalam zona kapiler dipengaruhi oleh gaya-gaya yang dapat menyebabkan terjadinya aliran. Dalam zona di bawah muka air, perubahan-perubahan tekanan dan elevasi adalah penyebab utama terjadinya aliran. Kemampuan aliran fluida untuk mengalir melalui medium yang *porous* adalah sifat teknis yang disebut permeabilitas (daya rembesan). Berikut adalah nilai-nilai tipikal dari permeabilitas

**Tabel 3.4** Nilai-nilai tipikal koefisien permeabilitas  
(Sumber : Dun, Anderson, Kiefer, 1980)

Jenis tanah	Koefisien permeabilitas (k) (mm/dt)
Kerikil	> 10
Pasir	$10^{-1} - 10^{-4}$
Lanau	$10^{-4} - 10^{-6}$
Lempung	$< 10^{-6}$

#### 4. Kerapatan Relatif (*Relative Density*)

Istilah kerapatan relatif ( $D_r$ ) umumnya digunakan untuk menunjukkan tingkat kerapatan tanah granuler (tanah berbutir kasar : seperti pasir, kerikil) di lapangan.

Kerapatan relatif tanah pasir dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$D_r = \frac{e_{maks} - e}{e_{maks} - e_{min}} \dots \dots \dots (3.5)$$

dimana :

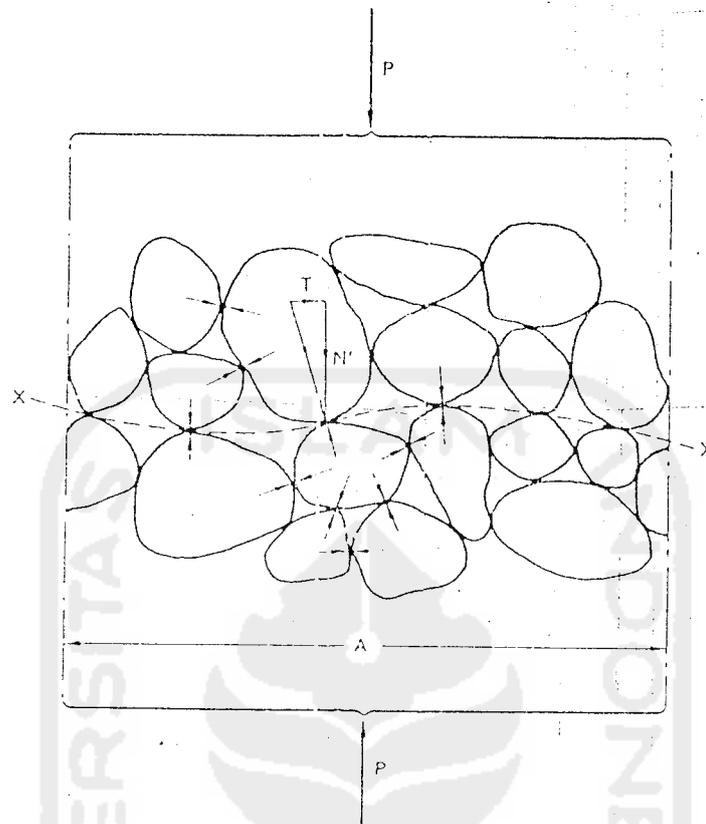
- $e_{maks}$  = angka pori maksimum.
- $e_{min}$  = angka pori minimum
- $e$  = angka pori pada keadaan asli.

Angka pori maksimum ditentukan dengan cara menuangkan pasir kering dengan hati-hati (tanpa getaran) ke dalam cetakan (*mould*) yang telah diketahui volumenya. Kemudian berat pasir di dalam cetakan ditimbang,  $e_{maks}$  dapat dihitung. Angka pori minimum ditentukan dengan menggetarkan pasir kering yang diketahui beratnya ke dalam cetakan yang telah diketahui volumenya, selanjutnya  $e_{min}$  dapat dihitung.

### 3.3 Tekanan Air Pori

Besarnya pengaruh gaya-gaya yang menjalar dari partikel ke partikel yang lainnya dalam kerangka tanah telah diketahui sejak tahun 1923 (Terzaghi), ketika Terzaghi mengemukakan prinsip tegangan efektif yang didasarkan pada data hasil percobaan. Prinsip tersebut hanya berlaku untuk tanah jenuh sempurna. Tegangan-tegangan yang berhubungan dengan prinsip tersebut adalah :

1. *Tegangan total* ( $\sigma$ ) pada bidang di dalam tanah, yaitu gaya persatuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang, dengan menganggap bahwa tanah adalah material padat saja (fase tunggal),
2. *Tekanan air pori* ( $u$ ), yaitu tekanan air pengisi pori-pori di antara partikel-partikel padat,
3. *Tegangan normal efektif* ( $\sigma'$ ) pada bidang, yang mewakili tegangan yang dijalarakan hanya melalui kerangka tanah saja.



Gambar 3.2. Interpretasi tegangan efektif (Bowles, 1986)

Hubungan ketiga tegangan di atas adalah :

$$\sigma = \sigma' + u \dots \dots \dots (3.6)$$

Prinsip tersebut dapat diwakili oleh model fisis sebagai berikut. Tinjaulah sebuah 'bidang' XX pada suatu tanah jenuh sempurna yang melewati titik-titik singgung antar partikel, seperti terlihat pada Gambar 3.2. Bidang XX yang bergelombang tersebut, dalam skala besar, sama dengan bentuk bidang yang sebenarnya karena ukuran partikel tanah relatif kecil. Sebuah gaya normal  $P$  yang

bekerja pada bidang  $A$  sebagian ditahan oleh gaya-gaya antar partikel dan sebagian oleh tekanan pada air pori. Gaya-gaya antar partikel pada seluruh tanah, baik besar maupun arahnya, sangat tidak beraturan (acak), tetapi pada tiap titik singgung dengan bidang yang bergelombang dapat diuraikan menjadi komponen-komponen gaya yang arahnya normal dan tangensial terhadap bidang  $XX$  yang sebenarnya. Komponen normal dinyatakan dengan  $N'$  dan komponen tangensial dengan  $T$ . Tegangan normal efektif diinterpretasikan sebagai jumlah seluruh komponen  $N'$  di dalam luas  $A$ , dibagi dengan luas  $A$ , yaitu :

$$\sigma' = \frac{\Sigma N'}{A} \dots\dots\dots (3.7)$$

Tegangan normal total adalah :

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.8)$$

Jika di antara partikel-partikel diasumsikan terdapat titik singgung, maka tekanan air pori akan bekerja pada bidang seluas  $A$ . Kemudian agar dapat tercapai keseimbangan pada arah normal terhadap  $XX$  :

$$P = \Sigma N' + uA \dots\dots\dots (3.9)$$

atau

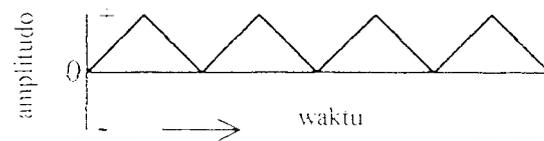
$$\frac{P}{A} = \frac{\Sigma N'}{A} + u \dots\dots\dots (3.10)$$

jadi

$$\sigma = \sigma' + u \dots\dots\dots (3.11)$$

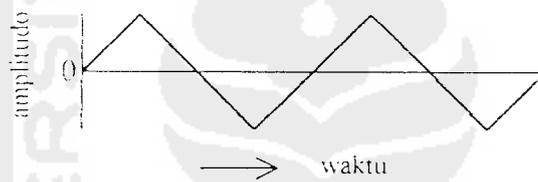
bolak-balik dengan kondisi tekan dan tarik bergantian dengan amplitudo dan frekuensi, seperti terlihat pada Gambar 3.4.

Beban dinamik pada bangunan maupun tanah dapat berupa : gempa, angin, mesin-mesin yang bekerja, traffic, gelombang air, dan sebagainya.



**Gambar 3.3** Amplitudo Vs waktu pada pembebanan Monotonik

(Soelarno, 1982)



**Gambar 3.4** Amplitudo Vs waktu pada pembebanan Siklik

(Soelarno, 1982)

### 3.5 Perilaku Tanah Pasir Jenuh Air Akibat Beban Siklik Dinamik

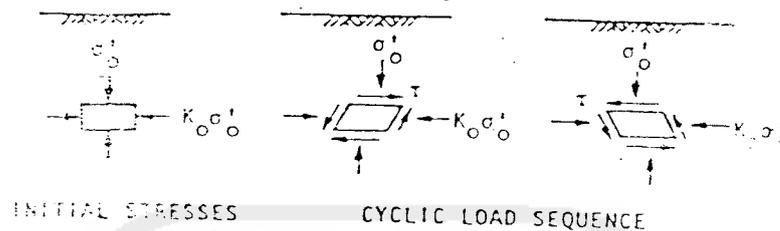
Peningkatan Tekanan Air Pori di lapangan yang disebabkan oleh gerakan bumi dapat dipahami melalui sebuah hasil aplikasi dari tegangan geser siklik. Tegangan-tegangan ini disebabkan oleh tegangan geser di dalam lapisan tanah selama ada gerakan-gerakan bumi berlangsung. Tegangan ini bentuknya masih random. Idealisasi pembebanan siklik di lapangan ditunjukkan pada Gambar 3.5

Besarnya tekanan air pori sama pada semua arah dan bekerja pada seluruh permukaan partikel tetapi volume partikel diasumsikan tidak berubah, tekanan air pori tidak menyebabkan partikel-partikel saling tertekan satu sama lainnya. Kesalahan dalam mengasumsikan titik singgung antar partikel dapat diabaikan, karena luas total bidang singgung antar partikel hanya berkisar sekitar 1 dan 3% dari luas penampang melintang  $A$ . Perlu dimengerti bahwa  $\sigma'$  tidak mewakili tegangan singgung yang sesungguhnya antara dua partikel, karena nilai  $N'a$ , dimana  $a$  adalah luas bidang singgung yang sesungguhnya antara dua partikel, jauh lebih besar dan sangat tidak beraturan. Jika pada tanah terdapat partikel mineral lempung, partikel tersebut tidak bersinggungan secara langsung di antara mereka karena dihalangi oleh air yang terserap pada tiap partikel, tetapi dalam hal ini berlaku asumsi bahwa gaya antar partikel dapat dijalarkan melalui air terserap yang sangat kental.

### 3.4 Pembebanan

Beban dapat dibagi dalam dua kelompok besar, pertama adalah beban Statis (*Static*) dan yang kedua adalah beban Dinamik (*Dinamic*). Beban Dinamik dibagi lagi menjadi dua bagian yaitu beban Monotonik (*Monotonic*) dan beban Siklik (*Cyclic*).

Beban Monotonik adalah suatu pembebanan dimana arah bebannya hanya satu, yaitu bila ditekan, tekan terus dan bila tarik, tarik terus, seperti terlihat pada Gambar 3.3. Contohnya tanah yang dibebani beban bangunan selama pelaksanaan pembangunan gedung. Beban siklik adalah beban yang mempunyai arah kerja



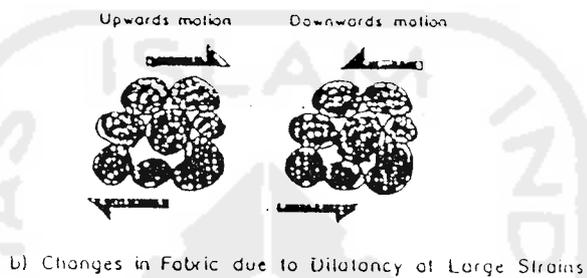
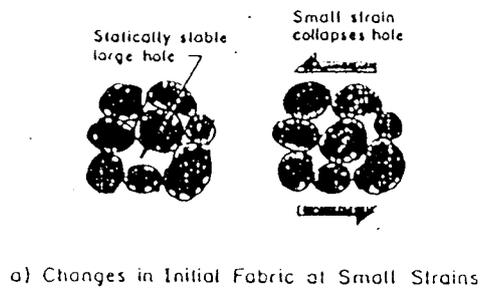
**Gambar 3.5** Idealisasi Elemen Tanah saat dibebani Siklik  
(Seed dan Idriss, 1982)

### 3.5.1 Perubahan Tekanan Air Pori

Pada saat tanah pasir jenuh air menerima beban Dinamik, maka butiran-butiran tanah akan cenderung memadat/merapat. Hal ini mengakibatkan tekanan air pori yang berada pada ruang/rongga antar butiran-butiran tanah akan sulit keluar, hal ini mengakibatkan tekanan air pori meningkat dan harganya mendekati harga tegangan total sehingga tegangan efektif menjadi nol.

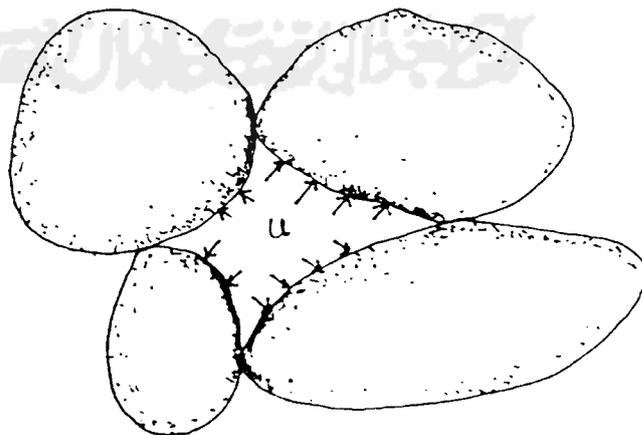
### 3.5.2 Perubahan Volume

Selama proses pembebanan sedang berlangsung, angka pori yang semula berharga relatif besar, harganya akan mengecil. seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Perubahan kedudukan partikel selama pembebanan siklik (Youd,1977)

Selama proses pembebanan ini pula, tekanan air pori akan mengalami peningkatan, tekanan air pori ini memiliki besar sama dan bekerja ke segala arah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Tekanan air pori bekerja ke segala arah dan memiliki besar yang sama

Namun setelah beban itu dilepaskan maka harga tekanan air pori akan mengalami disipasi dan selanjutnya menuju pada kedudukan yang relatif stabil. Tegangan sisa inilah yang mendesak kembali butiran-butiran tanah, sehingga ruang pori (angka pori) merenggang kembali.

Struktur tanah pasir yang demikian itu umumnya terjadi pada tanah pasir yang memiliki kerapatan relatif ( $D_r$ ) rendah.

