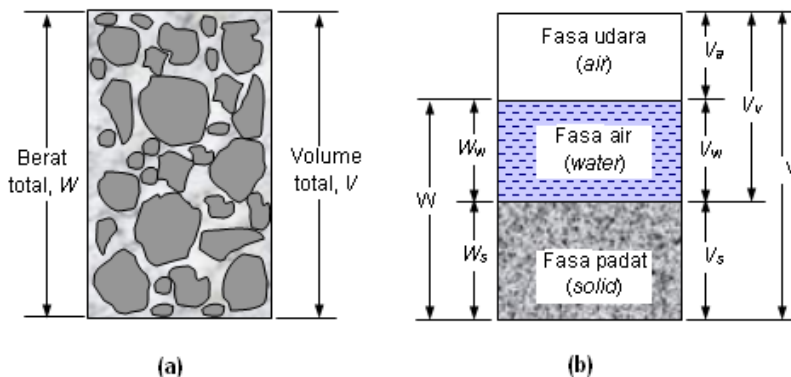


# 2 STRUKTUR DAN KOMPOSISI TANAH

## 2.1 Pendahuluan

Tanah tersusun dari butiran tanah atau partikel lainnya dan rongga-rongga atau pori di antara partikel butiran tanah. Rongga-rongga terisi sebagian atau seluruhnya dengan air atau zat cair lainnya. Rongga-rongga tanah yang tidak terisi oleh air atau zat cair akan terisi oleh udara atau bentuk lain dari gas. Volume yang ditempati oleh bagian besar tanah pada umumnya termasuk bahan penyusun lainnya yaitu bagian padat, cair, dan gas (udara) yang selanjutnya dikenal sebagai sistem tiga fase tanah (*three-phase systems*).

Sifat-sifat mekanis penting tanah, seperti kekuatan (*strength*) dan pemampatan (*compressibility*), secara langsung berhubungan dengan atau paling tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor dasar seperti rapat masa (*density*), berat volume (*unit weight*), angka pori (*void ratio*), dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*).



**Gambar 2.1 (a) Elemen tanah di alam, (b) Tiga fase penyusun tanah.**

## 2.2 Hubungan Berat Volume

Pada gambar 2.1a ditunjukkan suatu elemen tanah yang dinyatakan dalam volume,  $V$ , dan berat,  $W$ , sebagaimana yang terdapat dalam keadaan di alam. Untuk mengembangkan hubungan berat volume, elemen tanah tersebut dapat dibagi dalam tiga fase (yaitu tanah padat, air dan udara) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1b. Dengan demikian volume total tanah dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a \quad (2.1)$$

Dimana,  $V_s$  = Volume tanah padat,

$V_v$  = Volume pori,

$V_w$  = Volume air yang mengisi pori,

$V_a$  = Volume udara pada pori.

Dengan mengabaikan berat udara maka berat total tanah adalah :

$$W = W_s + W_w \quad (2.2)$$

dimana,  $W_s$  = berat butiran tanah,

$W_w$  = berat air.

Hubungan volume biasanya digunakan untuk menyatakan ketiga fase elemen tanah, yaitu angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*) dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*). Angka pori ( $e$ ) didefinisikan sebagai perbandingan volume pori dengan volume butiran tanah, dengan demikian.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2.3)$$

Porositas ( $n$ ) merupakan perbandingan antara volume pori dengan volume total tanah yang dapat dinyatakan :

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (2.4)$$

Derajat kejenuhan ( $S$ ) didefinisikan sebagai perbandingan volume air dan volume pori yang umumnya dinyatakan dalam prosentase (%).

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad (2.5)$$

Hubungan antara angka pori dan porositas dapat diturunkan dari persamaan 2.1, 2.3, dan 2.4 sebagai berikut :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\left(\frac{V_v}{V}\right)}{1 - \left(\frac{V_v}{V}\right)} = \frac{n}{1 - n} \quad (2.6)$$

Dari persamaan 2.6,

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad (2.7)$$

Pada umumnya yang digunakan untuk menunjukkan hubungan berat yaitu kadar air dan berat volume tanah. Kadar air ( $w$ ) atau jumlah kandungan air dalam tanah didefinisikan sebagai perbandingan berat air dengan berat butiran tanah untuk suatu volume tanah, yaitu :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad (2.8)$$

Berat volume tanah ( $\gamma$ ) adalah berat total tanah per satuan volume total, yaitu :

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (2.9)$$

Berat volume tanah dapat juga dinyatakan dalam berat butiran tanah, kadar air, dan volume total, dari persamaan (2.2), (2.8) dan (2.9).

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s \left[1 + (W_w/W_s)\right]}{V} = \frac{W_s (1 + w)}{V} \quad (2.10)$$

Berat volume yang diberikan dalam persamaan 2.9 dapat pula diartikan lain sebagai berat volume basah (*moist unit weight*).

Seringkali, dalam pekerjaan geoteknik perlu juga untuk mengetahui berat per satuan volume, tidak termasuk air yang dikandung dalam tanah. Berat volume ini diartikan sebagai berat volume kering (*dry unit weight*,  $\gamma_d$ ).

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (2.11)$$

Dari persamaan 2.10 dan 2.11, hubungan berat volume, berat volume kering, dan kadar air dapat diberikan sebagai berikut :

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (2.12)$$

Dalam satuan Sistem Internasional atau SI (Système International), satuan yang digunakan untuk menyatakan berat volume adalah kilo Newton per meter kubik (kN/m<sup>3</sup>). Dikarenakan satuan Newton (N) adalah satuan turunan, dapat pula menyatakan berat volume tanah dalam rapat masa tanah (*soil mass density*,  $\rho$ ). Satuan SI untuk rapat masa adalah kilogram per meter kubik (kg/m<sup>3</sup>). Persamaan massa jenis dapat ditulis serupa dengan persamaan 2.9 dan 2.11, yaitu :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2.13)$$

dan,

$$\rho_d = \frac{M_s}{V} \quad (2.14)$$

dimana,  $\rho$  = rapat masa tanah (kg/m<sup>3</sup>),

$\rho_d$  = masa jenis kering (kg/m<sup>3</sup>),

$M$  = massa total sample tanah (kg),

$M_s$  = massa butiran tanah (kg).

Satuan dari volume total ( $V$ ) adalah m<sup>3</sup>.

Berat volume tanah yang dinyatakan dalam kN/m<sup>3</sup> dihasilkan dari rapat massa yang dinyatakan dalam kg/m<sup>3</sup> yaitu :

$$\gamma \left( \text{kN/m}^3 \right) = \frac{\rho \cdot g \left( \text{kg/m}^3 \right)}{1000}$$

dimana,  $g$  = percepatan gravitasi = 9.81 m/sec<sup>2</sup>. Sebagai catatan bahwa berat volume air ( $\gamma_w$ ) adalah 9.81 kN/m<sup>3</sup> atau 62426/ft<sup>3</sup> atau 1000 kgf/m<sup>3</sup>.

## 2.3 Hubungan Antara Berat Volume, Angka Pori, Kadar Air dan Berat Jenis

Untuk memperoleh hubungan antara berat volume (atau rapat masa), angka pori, dan kadar air, dapat diasumsikan dimana volume butiran tanah adalah satu ( $V_s = 1$ ) sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.2. Jika volume butiran tanah adalah satu, maka volume rongga secara numerik akan sama angka pori ( $e$ ) dalam persamaan 2.3. Hubungan berat butiran tanah dan air dapat dituliskan dalam :

$$W_s = G_s \cdot \gamma_w$$

$$W_w = w \cdot W_s = w \cdot G_s \cdot \gamma_w$$

Dimana,  $G_s$  = berat jenis butiran tanah (*specific gravity*),

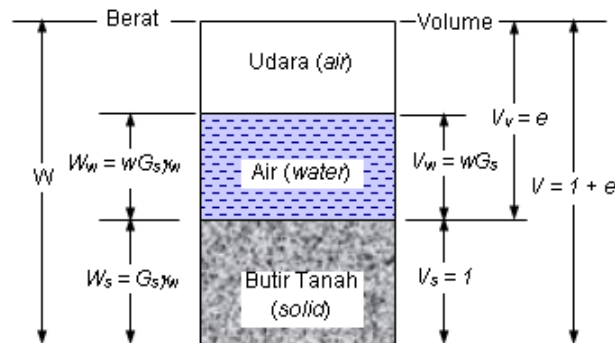
$w$  = kadar air,

$\gamma_w$  = berat volume air.

Berat jenis didefinisikan secara umum sebagai perbandingan antara berat volume butiran tanah ( $\gamma_s$ ) dan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur 4°C, yang dapat dinyatakan :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

dengan,  $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$ , dan  $\gamma_w = 1 \text{ g/cm}^3 = 9,81 \text{ kN/m}^3$  (pada temperatur 4°C).



**Gambar 2.2** Tiga fase elemen tanah dengan volume tanah padat  $V_s = 1$

Berat jenis merupakan nilai yang tidak bersatuan (*non-dimensional values*). Nilai berat jenis suatu tanah akan sangat bervariasi tergantung pada mineral penyusunnya, namun secara umum tanah mempunyai berat jenis antara 2,6 dan 2,8. Berdasarkan pengalaman pada permasalahan geoteknik, berat jenis tanah yang biasa diambil sebesar 2,7. Beberapa nilai berat jenis untuk tipikal tanah diberikan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Nilai berat jenis untuk tipikal tanah**

Jenis Tanah	Berat Jenis, $G_s$
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau	2,66 – 2,7
Lempung	2,68 – 2,8
Gambut	1,25 – 1,80

Dengan menggunakan definisi berat volume dan berat volume kering (persamaan 2.9 dan 2.11), dapat dituliskan :

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \gamma_w + w G_s \gamma_w}{1 + e} = \frac{(1 + w) G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (2.15)$$

dan,

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (2.16)$$

atau,

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \quad (2.17)$$

Karena berat air dalam elemen tanah adalah  $w G_s \gamma_w$ , volume yang terisi oleh air adalah :

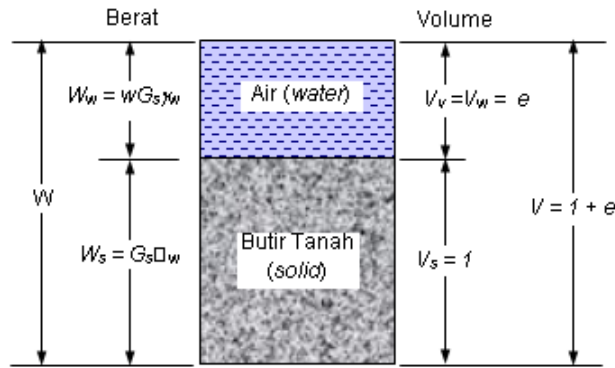
$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{w G_s \gamma_w}{\gamma_w} = w G_s$$

Kemudian, berdasarkan definisi dari derajat kejenuhan [persamaan (2.5)],

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w G_s}{e}$$

$$\text{atau, } Se = w G_s \quad (2.18)$$

Persamaan ini sangat bermanfaat digunakan untuk memberikan hubungan antara ketiga fase elemen tanah.



**Gambar 2.3 Elemen tanah pada kondisi jenuh air dengan volume bagian padat padat  $V_s = 1$**

Jika sample tanah dalam keadaan jenuh air, yaitu ruang-ruang pori terisi penuh oleh air (Gambar 2.3), maka hubungan berat jenis jenuh (*saturated unit weight,  $\gamma_{sat}$* ) dapat dinyatakan :

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \gamma_w + e \gamma_w}{1 + e} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e} \quad (2.19)$$

Dan juga, dari persamaan 2.18, untuk  $S = 1$  :

$$e = w G_s \quad (2.20)$$

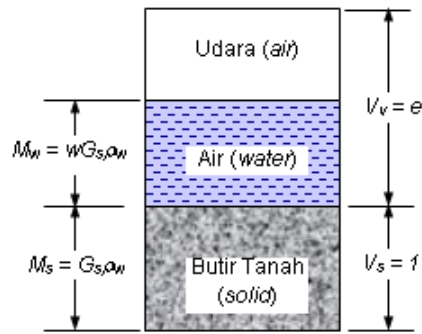
Bila dinyatakan dalam rapat masa, dalam satuan  $SI$ , dengan mengacu pada hubungan berat volume seperti dalam persamaan 2.15, 2.16, dan 2.19 maka dapat ditulis :

$$\text{Rapat masa} = \rho = \frac{(1 + w) G_s \rho_w}{1 + e} \quad (2.21)$$

$$\text{Rapat masa kering} = \rho_d = \frac{G_s \rho_w}{1 + e} \quad (2.22)$$

$$\text{Rapat masa jenuh} = \rho_{sat} = \frac{(G_s + e) \rho_w}{1 + e} \quad (2.23)$$

Dimana,  $\rho_w$  = rapat masa air =  $1000 \text{ kg/cm}^3$ .



**Gambar 2.4 Tiga fase elemen tanah yang menunjukkan hubungan massa – volume.**

Persamaan 2.21 dapat diturunkan dengan mengacu pada pada elemen tanah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4, yang mana volume butiran tanah adalah sama dengan  $1$  dan volume pori sama dengan  $e$ . Dan, massa butiran tanah,  $M_s$ , sama dengan  $G_s\rho_w$ . Kadar air sebagaimana diberikan pada persamaan (2.8), yaitu :

$$w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{(\text{masa air}) \cdot g}{(\text{masa bagian padat}) \cdot g} = \frac{M_w}{M_s}$$

Dimana,  $M_w$  = massa air.

Karena masa tanah dakan elemen tanah adalah  $G_s\rho_w$ , massa air :

$$M_w = w \cdot M_s = w \cdot G_s \cdot \rho_w$$

Dari persamaan 2.13, rapat massa :

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M_s + M_w}{V_s + V_v} = \frac{G_s\rho_w + wG_s\rho_w}{1 + e} = \frac{(1 + w)G_s\rho_w}{1 + e}$$

Selanjutnya, persamaan 2.22 dan 2.23 dapat diturunkan dengan cara yang sama.

## 2.4 Hubungan Antara Berat Volume, Porositas dan Kadar Air

Hubungan antara berat volume, porositas, dan kadar air dapat dikembangkan dengan cara yang sama seperti telah ditunjukkan sebelumnya. Dengan