

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Sifat Fisik Teknik Dan Klasifikasi tanah**

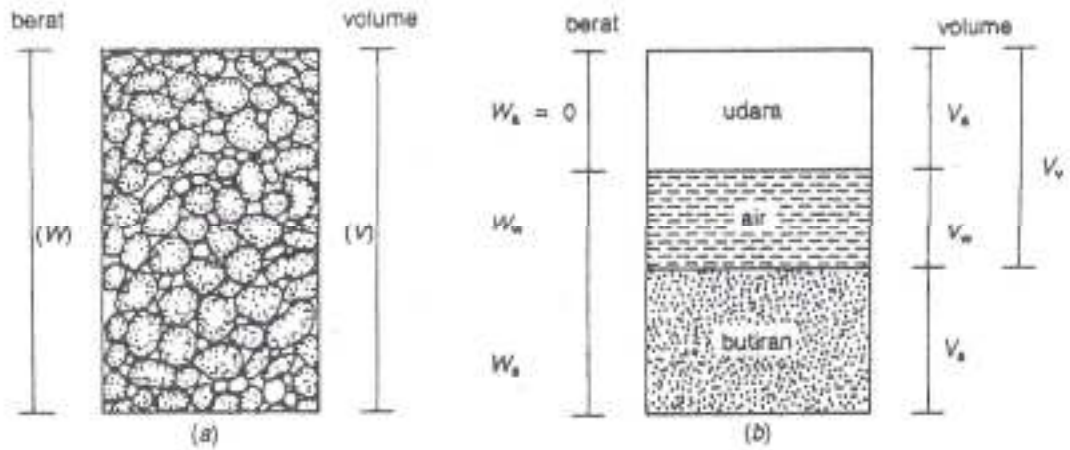
Tanah dapat diklasifikasikan secara umum sebagai tanah kohesif dan tanah non kohesif. Tanah disebut tanah kohesif apabila massa butiran tanah bersatu dalam kondisi kering, sehingga diperlukan gaya memisahkannya, sedangkan sebut non kohesif apabila dalam kondisi kering, butirannya lepas dan dalam dalam kondisi basah butirannya saling melekat akibat adanya daya tarik permukaan didalam air (Bowles).

Menurut Imam Alwan dan Indarto, 2009 variasi kadar air dalam tanah terus menerus terjadi sepanjang tahun seiring dengan pergantian musim. Dalam perspektif mekanika tanah akibat adanya variasi kadar air tersebut, telah mengakibatkan adanya variasi parameter tanah serta kelakuan tegangan dari tanah. Variasi parameter dan tegangan tanah tersebut tentunya akan memberikan pengaruh pada struktur pondasi atau struktur lain yang memiliki interaksi langsung dengan tanah atau hal-hal yang berkaitan dengan struktur geoteknik

Tanah kohesif umumnya memiliki partikel-partikel yang berukuran halus dan dalam jumlah besar tingkat kohesivitas tanah lempung sangat menentukan besar kecilnya kuat geser dari tanah ini, sedangkan tingkat plastisitasnya dipengaruhi oleh kadar air tanah. Tingkat konsistensi tanah menurut Bowles (1991) adalah sebagai berikut :

#### **2.2 Sifat Teknis Tanah**

Tanah terdiri dari tiga fase tanah yaitu butiran tanah, air dan udara. Hubungan –hubungan dasar dari berat dan volume ada partikel butir tanah, air udara merupakan bentuk paling mendasar dalam menganalisis sifat-sifat teknis tanah. Diagram fase tanah dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1**Diagram fase tanah (Hardiyatmo, 2002)

Dari **Gambar 2.1** dapat dibentuk hubungan

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots(2.1)$$

$$V = V_s + V_v \dots\dots\dots(2.2)$$

$$V_v = V_w + V_a \dots\dots\dots(2.3)$$

Hubungan tersebut berguna untuk memberikan analisa lebih lanjut mengenai sifat-sifat dan kekuatan tanah. Beberapa hubungan yang dapat dibentuk diantaranya:

**2.2.1 Kadar air**

Kadar air tanah (*w*) merupakan perbandingan antara berat air ( $W_w$ ) dengan berat butiran padat ( $W_s$ ) yang terkandung dalam tanah yang dinyatakan dalam (%). Besarnya kadar air dapat dinyatakan dalam **Hubungan 2.4** sebagai berikut:

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots(2.4)$$

**2.2.2. Gravitasi khusus atau *specific gravity***

Gravitasi khusus ( $G_s$ ) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat ( $\gamma_s$ ) dengan berat volume air ( $\gamma_w$ ) pada temperatur 4°C. Besarnya gravitasi khusus dinyatakan dalam **Hubungan 2.5**.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2.5)$$

Hardiyatmo (2002) menyebutkan gravitasi khusus berbagai jenis tanah seperti pada **Tabel 2.1** Gravitasi khusus (Hardiyatmo, 2002)

<i>Macam Tanah</i>	<i>Gravitasi khusus (<math>G_s</math>)</i>
Kerikil	2.65-2.68
Pasir	2.65-2.68
<b>Lanau anorganik</b>	<b>2.62-2.68</b>
Lempung organik	2.58-2.65
Lempung anorganik	2.68-2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25-1.80

### 2.2.3 Berat volume tanah

Berat volume tanah ( ) adalah perbandingan antara berat tanah seluruhnya ( $W$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ). Berat volume tanah basah (  $b$  ) dan berat volume kering (  $d$  ) dirumuskan pada **Hubungan 2.6** dan **2.7**.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{(1+w)} \dots\dots\dots(2.7)$$

### 2.2.4 Angka pori dan porositas

Angka pori ( $e$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume rongga ( $V_v$ ) dengan volume butiran ( $V_s$ ) biasanya dinyatakan dalam desimal. Besarnya angka pori dirumuskan pada **Hubungan2.8**.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots(2.8)$$

Porositas ( $n$ ) adalah perbandingan antara volume rongga ( $V_v$ ) dengan volume total tanah ( $V$ ). Besarnya porositas suatu tanah dirumuskan pada **Hubungan2.9**.

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots(2.9)$$

**2.2.5. Derajat kejenuhan ( $S$ )**

Derajat kejenuhan ( $S$ ) adalah perbandingan volume air ( $V_w$ ) dengan volume total rongga pori tanah ( $V_v$ ). Derajat kejenuhan juga dapat didefinisikan presentase rongga yang terisi air dan dilambangkan dengan  $S$  (Fredlund dan Rahardjo,1993). Biasanya  $S$  dinyatakan dalam persen (%) dan dapat dirumuskan seperti **Hubungan 2.10**.

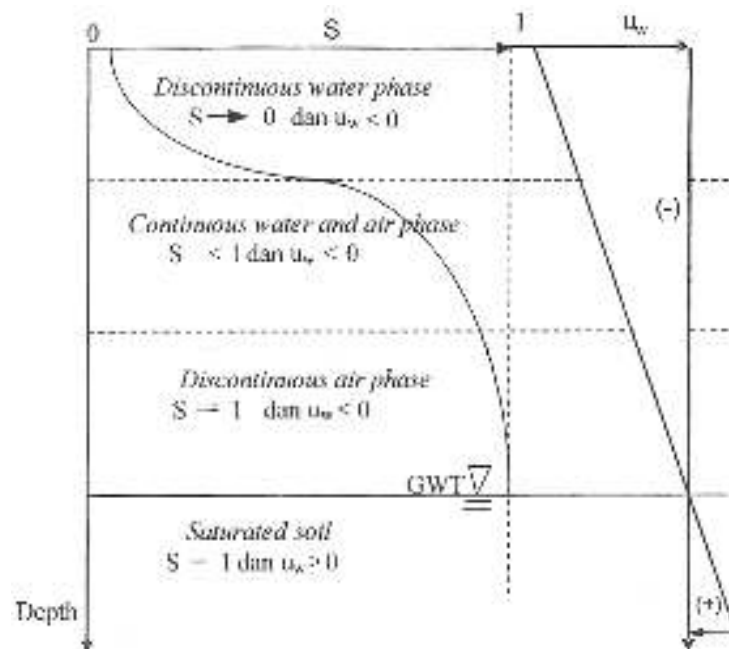
$$S(\%) = \frac{V_w}{V_v} x 100 \dots\dots\dots(2.10)$$

Derajat kejenuhan dibagi menjadi tiga kelompok tanah (Fredlund dan Rahardjo, 1993) yaitu:

- 1) tanah kering ( $S = 0\%$ ), tanah kering terdiri hanya partikel tanah dan udara,
- 2) tanah jenuh ( $S = 100\%$ ), tanah jenuh terdiri dari partikel tanah dan air karena semua rongga/pori terisi air,
- 3) tanah jenuh sebagian ( $0\% < S < 100\%$ ), tanah yang berisi partikel tanah, udara dan air yang selanjutnya dibagi lagi menjadi tiga bagian yaitu:
  - a. *continuous air phase* yaitu derajat kejenuhan kurang dari 80% ( $S < 80\%$ ),
  - b. *occluded air bubble* yaitu derajat kejenuhan lebih dari 90% ( $S > 90\%$ ),
  - c. *transition zone* yaitu derajat kejenuhan antara *continuous air phase* dan *occluded air bubble* sekitar 80-90% ( $80\% < S < 90\%$ ).

Worth dan Houlsby (1985) dalam Rifa'i (2002) membagi tipe tanah jenuh sebagian ( $0\% < S < 100\%$ ) menjadi tiga golongan seperti pada **Gambar 2.2**, yaitu pada kondisi:

- 1) fase air diskontinu dan udara kontinu (*discontinuous water phase*),  
Kondisi ini terdapat di lapisan atas atau permukaan tanah dengan nilai derajat kejenuhan ( $S$ ) rendah atau nilai derajat kejenuhan ( $S$ ) mendekati nol,
- 2) fase air dan udara kontinu (*continuous water and air phase*),  
Pada kondisi ini tanah mempunyai nilai derajat kejenuhan ( $S$ ) sedang. Nilai derajat kejenuhan ( $S$ ) kurang dari satu,
- 3) fase air kontinu dan udara diskontinu (*discontinuous air phase*).  
Kondisi ini terdapat di atas muka air tanah dengan nilai derajat kejenuhan ( $S$ ) yang tinggi. Nilai derajat kejenuhan mendekati satu.



**Gambar 2.2** Korelasi  $S$  dan  $u_w$  di lapangan (Rifa'i, 2002)

Hubungan derajat kejenuhan ( $S$ ), kadar air ( $w$ ), berat volume kering ( $\gamma_d$ ), berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dapat dilihat pada **Hubungan 2.11**, **2.12**, dan **2.13**.

$$\gamma_b = \frac{G_s(1+w)\gamma_w}{1+e} \text{ maka } e = \frac{G_s\gamma_w(1+w) - \gamma_b}{\gamma_b} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$S = \frac{G_s w}{e} = \frac{G_s w \gamma_b}{[G_s \gamma_w (1+w)] - \gamma_b} \text{ dengan } \gamma_b = (1+w)\gamma_d \dots\dots\dots(2.12)$$

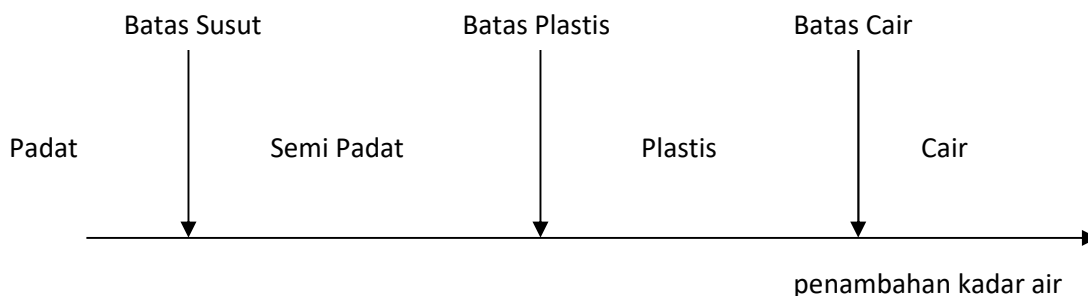
$$S = \frac{G_s w (1+w) \gamma_d}{[G_s \gamma_w (1+w)] - (1+w)\gamma_d} = \frac{G_s w \gamma_d}{G_s \gamma_w - \gamma_d} \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan:

- $\gamma_b$  = berat volume basah (kN/m<sup>3</sup>),
- $\gamma_d$  = berat volume kering (kN/m<sup>3</sup>),

**2.3.1 Batas-Batas konsistensi (atterberg limits)**

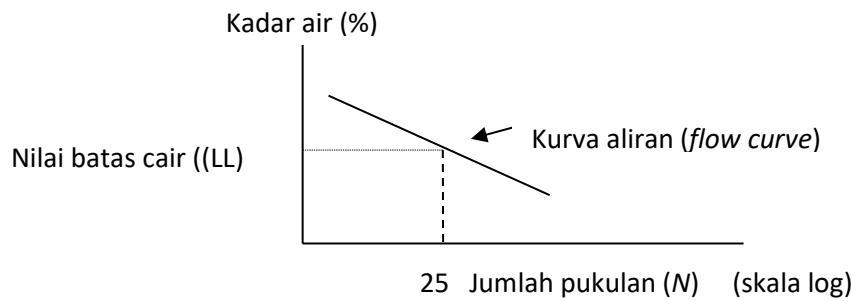
Tanah berbutir halus atau biasa disebut lempung yang berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat tergantung dari kadar airnya. Kedudukan fisik tanah pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Kedudukan kadar air transisi bervariasi pada berbagai jenis tanah. Hal ini tergantung pada jenis gaya tarik antar partikel mineral tanah lempung yang ditentukan kedudukan fisik tanah berbutir halus dengan kadar air tertentu atau biasa disebut dengan konsistensi. Oleh karena itu, (Atterberg, 1991 dalam Hardiyatmo, 2002) memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi tanah. Batas-batas konsistensi tanah yang didasarkan kadar air terlihat pada **Gambar 2.3**



**Gambar 2.3** Batas-batas konsistensi (Hardiyatmo, 2002)

**2.3.2 Batas cair (*liquid limit, L<sub>L</sub>*)**

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan plastis. Batas cair dapat ditentukan dengan pengujian casagrande (1948). Kemiringan dari garis dalam kurva (**Gambar 2.4**) didefinisikan sebagai aliran (*flow index*) dan dinyatakan dalam **Hubungan 2.14**.



**Gambar 2.3** Kurva pada penentuan batas cair

$$I_F = \frac{w_1 - w_2}{\log(N_2 / N_1)} \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan:

- $I_F$  = indeks aliran
- $w_1$  = kadar air (%) pada  $N_1$  pukulan
- $w_2$  = kadar air (%) pada  $N_2$  pukulan

Perhatikan bahwa nilai  $w_1$  dan  $w_2$  dapat ditukarkan untuk memperoleh nilai positifnya, walaupun kemiringan kurva sebenarnya negatif.

### 2.3.3 Batas plastis (*plastic limit, P<sub>L</sub>*)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antar daerah plastis dan semi padat, yaitu presentase kadar air dimana tanah dengan diameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

### 2.3.4 Batas susut (*shrinkage limit, S<sub>L</sub>*)

Batas susut merupakan kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak dapat mengakibatkan perubahan volume tanah. Dengan hilangnya kadar air secara terus-menerus, maka tanah akan mencapai suatu titik keseimbangan, yaitu penambahan atau kehilangan air tidak akan menyebabkan perubahan volume. Kadar air tersebut dinyatakan dalam persen, dimana perubahan volume pada suatu saat berhenti. Batas susut dapat dinyatakan dalam **Hubungan 2.15**.

$$S_L = \left\{ \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right\} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

dengan:

- $m_1$  = massa tanah basah dalam cawan percobaan (g)
- $m_2$  = massa tanah kering oven (g)
- $v_1$  = volume tanah basah dalam cawan (cm<sup>3</sup>)
- $v_2$  = volume tanah kering oven (cm<sup>3</sup>)
- $\gamma_w$  = berat volume air (g/cm<sup>3</sup>)

Potensi perubahan volume akibat pertambahan dan berkurangnya kadar air dapat diketahui berdasarkan percobaan di laboratorium. **Tabel 2.1** dapat digunakan sebagai patokan untuk memperkirakan besarnya potensi perubahan volume tersebut.



**Tabel 2.2** Potensi perubahan volume tanah lunak ekspansif (Holtz dan Gibb, 1959)

<i>Potensi perubahan volume</i>	<i>PI (%)</i>	<i>Batas susut (%)</i>	<b>Batas cair (%)</b>
Rendah	< 18	> 15	20-35
Sedang	15-18	10-15	35-50
Tinggi	25-41	7-12	50-70
<b>Sangat tinggi</b>	>35	<11	> 70

### 2.3.5. Indeks plastisitas (*plasticity index, P<sub>I</sub>*)

Indeks plastisitas (*P<sub>I</sub>*) merupakan selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah masih menunjukkan keplastisan. Indeks plastisitas dapat diketahui dengan menggunakan **Hubungan 2.16**.

$$P_I = L_L - P_L \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan :

*P<sub>I</sub>* = indeks plastisitas (%)

*L<sub>L</sub>* = batas cair (%)

*P<sub>L</sub>* = batas plastis (%)

**Tabel 2.3** Nilai plastisitas berbagai macam tanah (Atterberg, 1911 dalam Hardiyatmo, 2002)

<i>P<sub>I</sub> (%)</i>	<i>Sifat tanah</i>	<i>Macam tanah</i>	<b>Kohesi</b>
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Menurut Atterberg (1911) dalam Hardiyatmo (2002), tingkat plastisitas tanah dibagi menjadi 4 tingkatan berdasarkan nilai indeks plastisitasnya. Hubungan antara indeks plastisitas dan sifat tanah dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

### 2.3 Pengaruh Perubahan Kadar Air pada Tanah lanau Kelempungan

Tanah lempung merupakan tanah kohesif yang mempunyai kemampuan untuk mengikat air secara elektrik, Menurut Bowels (1991), struktur tanah kohesif dapat didefinisikan sebagai kumpulan partikel mineral, yang mempunyai indeks plastisitas sesuai dengan batas Atterberg, waktu mengering membentuk suatu massa yang bersatu sedemikian rupa sehingga diperlukan gaya untuk memisahkan setiap butiran mikroskopisnya, besarnya kohesi tergantung pada ukuran relatif dan jumlah berbagai butiran tanah yang ada.

### 2.4. Parameter Kuat Geser Tanah

Teori dasar dalam mekanika tanah menganggap bahwa keruntuhan pada tanah akibat adanya keruntuhan geser dalam (*shear failure*) yaitu adanya gerak relatif antara partikel butiran tanah.

Kekuatan geser tanah dapat dianggap terdiri dari dua bagian, yaitu :

- a. Kohesi ( $c$ ), yaitu gaya tarik antar butir tanah yang tergantung pada macam tanah dan kepadatan butirnya.
- b. Bagian yang bersifat gesekan, yang tergantung pada tegangan efektif pada bidang geser, yaitu sudut geser dalam ( $\phi'$ )

Secara umum dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$S = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (2.5)$$

dengan :

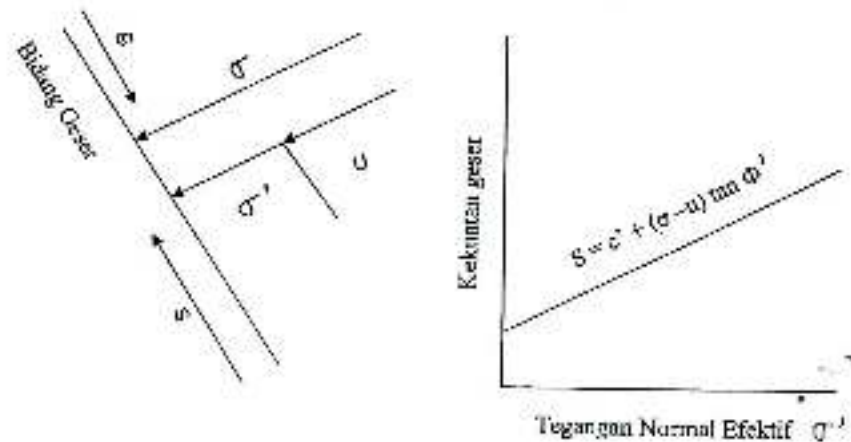
$S$  : kekuatan geser tanah

$c'$  : kohesi (efektif)

$\sigma$  : tegangan total

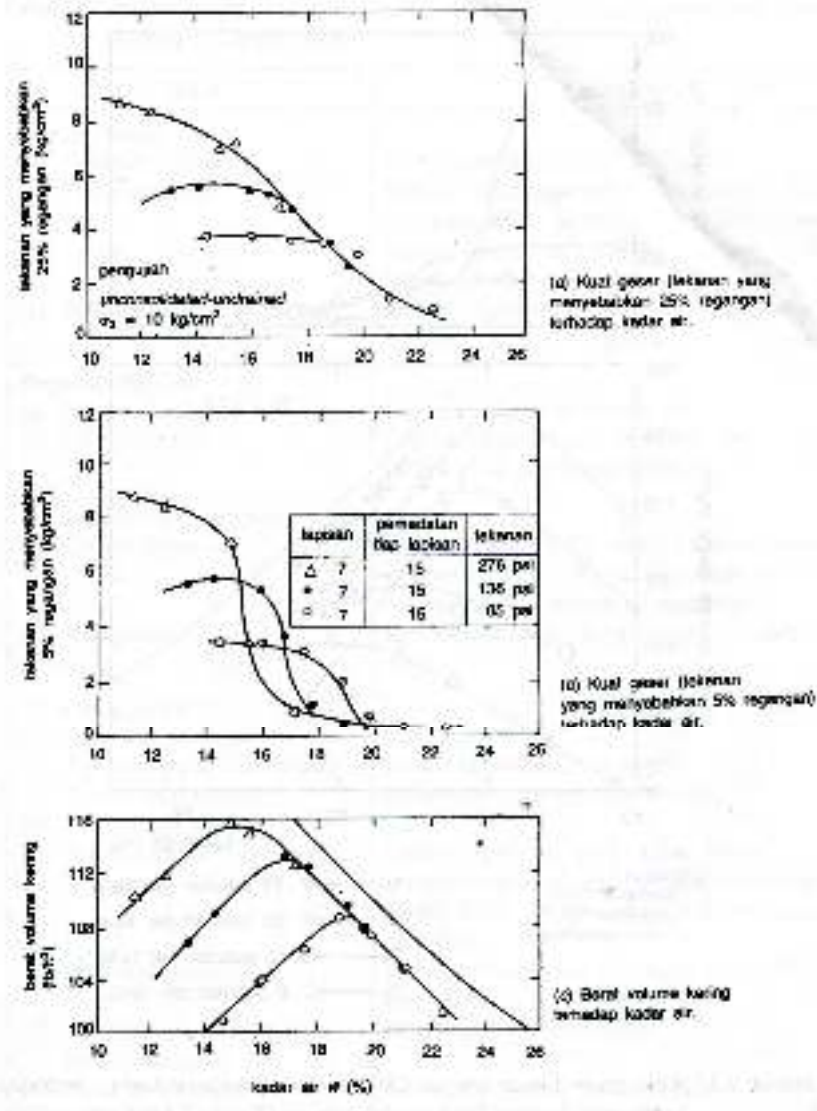
$u$  : tegangan air pori

$\phi'$  : sudut geser dalam (efektif)

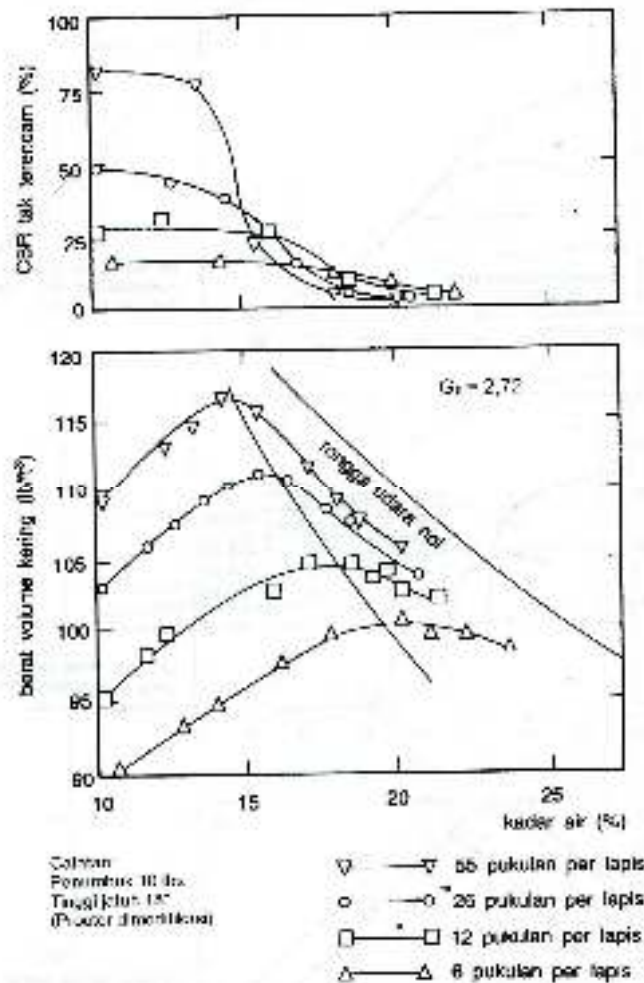


**Gambar 2.4.**Kekuatan Geser Tanah.

Pada tinjauan kuat geser tanah lempung, tanah yang dipadatkan pada kering optimum mempunyai kekuatan yang lebih tinggi daripada tanah yang dipadatkan pada basah optimum. Kuat geser tanah lempung pada basah optimum agak tergantung pada tipe pemadatan, karena perbedaan yang terjadi pada susunan tanahnya. Kurva kekuatan tanah lempung berlanau yang dipadatkan dengan cara remasan (*kneading*) untuk usaha pemadatan yang berbeda diperlihatkan pada gambar 5 yang menunjukkan tekanan yang dibutuhkan untuk memberikan 25% dan 5% regangan untuk tiga usaha pemadatan. Kekuatan tanah kira-kira sama pada kondisi basah optimum dan bertambah dengan usaha pemadatannya bila dipadatkan sisi kering optimum. Pada kadar air basah optimum yang diberikan, ternyata tekanan pada regangan 5% kurang pada energi pemadatan yang lebih tinggi (Gambar 6). Pada gambar ini juga diperlihatkan bahwa kekuatan didasarkan pada pengujian CBR (*California Bearing Ratio*).



Gambar 2.5. Kuat geser sebagai fungsi pemadatan dan kadar air (Seed dan Chan, 1959)



**Gambar 2.6** Kuat geser diukur dengan CBR dan berat volume kering, terhadap kadar air pada pemadatan di laboratorium (Turnbull dan Foster, 1956)

## 2.5. Kuat dukung Tanah dan *California Bearing Ratio* (CBR)

*California Bearing Ratio* adalah uji penetrasi untuk evaluasi kekuatan mekanik dari jalan *subgrade* dan *basecourse*. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur tekanan yang dibutuhkan untuk menembus tanah sampel.

Tekanan diukur kemudian dibagi dengan tekanan yang dibutuhkan untuk mencapai penetrasi yang sama pada bahan batu standart hancur. Uji CBR dijelaskan

dalam ASTM 1883-05 dan D4429 (untuk tanah dilapangan), Uji CBR sepenuhnya dijelaskan dalam BS 1377, tanah untuk keperluan teknik sipil.

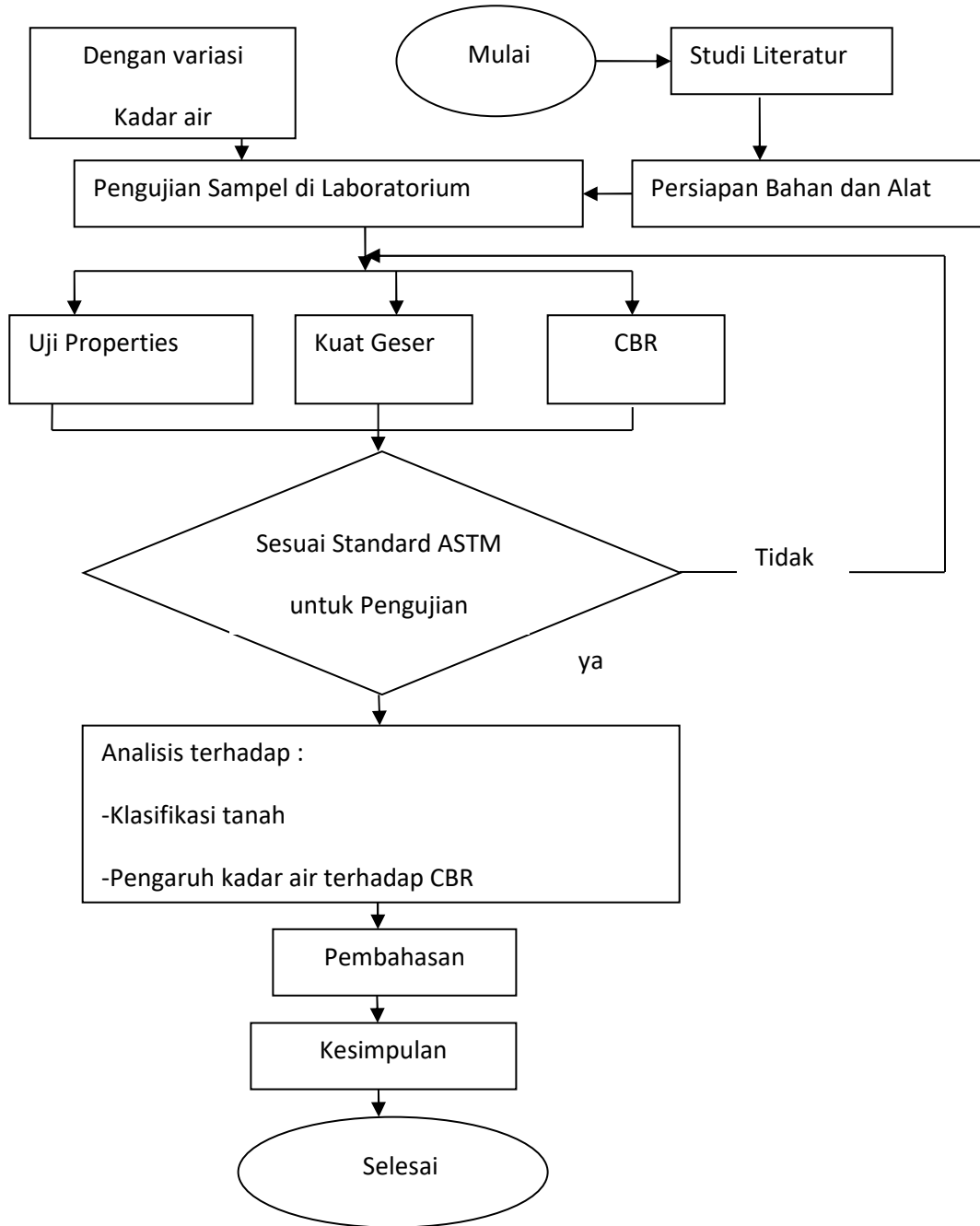
Peringkat CBR dikembangkan untuk mengukur beban-beban kapasitas tanah yang digunakan untuk membangun jalan. CBR juga dapat digunakan untuk mengukur kapasitas beban dukung landasan dan tidak baik untuk tanah dibawah landasan beraspal. Semakin tinggi peringkat CBR maka permukaan semakin keras.

CBR merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (test load) dengan beban standar (standart load) yang dinyatakan dalam persentase. Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai CBR sebesar 100% dalam memikul beban.

Pengujian CBR dipakai untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang akan dipakai untuk pembuatan perkerasan jalan raya. Nilai CBR selanjutnya dipakai untuk penentuan tebal perkerasan yang akan dibuat diatas tanah dasar. Semakin besar nilai CBR-nya, maka tebal perkerasannya akan semakin tipis (Wesley, 1977).

Dalam pengujian CBR, piston dengan luas penampang 3 in<sup>2</sup> dipenetrasikan ke dalam contoh tanah yang dipadatkan. Tahanan penetrasi tanah tersebut dibandingkan dengan tahanan penetrasi dari contoh standar pemadatan kerikil yang dipecah.

### 3.4 Diagram Alir



**Gambar 3.4** Diagram Alir Penelitian