

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Tanah

##### 3.1.1 Umum

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan material, bahan organik, dan endapan-endapan yang relative lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bed rock*). Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses fisik dapat terjadi akibat adanya pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca, sedangkan proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali).

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja. Akan tetapi dapat tercampur dengan butir-butir ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik.

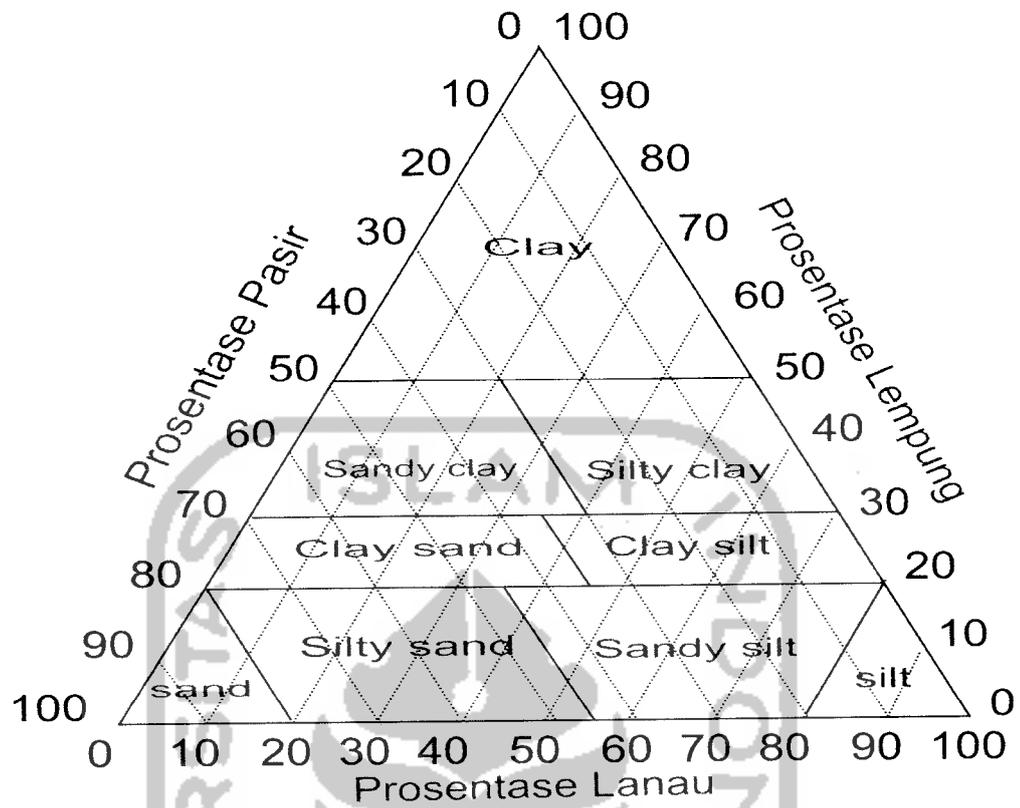
#### 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah

##### 3.2.1. Klasifikasi tanah berdasarkan USCS

Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir yang ada dalam tanah. Pada umumnya tanah asli merupakan campuran dari butir-butir yang mempunyai ukuran yang berbeda-beda. Dalam klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, tanah diberi nama atas dasar komponen utama yang dikandungnya, misal lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*) dan seterusnya.

Gambar 3.1 menunjukkan system klasifikasi tanah berdasarkan tekstur, system ini didasarkan pada ukuran batas dari ukuran tanah, yaitu:

1. Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai 0,05 mm
2. Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai 0,002 mm
3. Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



Gambar 3.1 Klasifikasi Tanah USCS

Tabel 3.1 Sistem klasifikasi USCS

Klasifikasi Tanah	
Simbol Kelompok	Nama Kelompok <sup>a</sup>
<b>GW</b>	Kerikil bergradasi baik <sup>f</sup>
<b>GP</b>	Kerikil bergradasi buruk <sup>f</sup>
<b>GM</b>	Kerikil lamauar <sup>f,GM</sup>
<b>GC</b>	Kerikil lempungan <sup>f,GM</sup>
<b>SW</b>	Pasir bergradasi baik <sup>f</sup>
<b>SP</b>	Pasir bergradasi buruk <sup>f</sup>
<b>SM</b>	Pasir lamauar <sup>f,SM</sup>
<b>SC</b>	Pasir lempungan <sup>f,SM</sup>
<b>CL</b>	Lempung kurus <sup>f,CL</sup>
<b>ML</b>	Lanau <sup>f,ML</sup>
<b>OL</b>	Lempung Organik <sup>f,OL</sup>
	Lanau Organik <sup>f,OL</sup>
<b>CH</b>	Lempung gumpul <sup>f,CH</sup>
<b>MH</b>	Lanau elastis <sup>f,ML</sup>
<b>OH</b>	Lempung organik <sup>f,OH</sup>
	Lanau organik <sup>f,OH</sup>

Kriteria untuk Menetapkan Simbol Kelompok dan Nama Kelompok berdasarkan hasil Pengujian Laboratorium <sup>a</sup>	Simbol Kelompok	Nama Kelompok <sup>a</sup>
<b>KERIKIL</b> Kerikil bergradasi dengan material halus < 5% <sup>f</sup> fraksi kasar yang tertahan pada ayakan No. 4 > 50% Kelompok halus seperti ML atau OH Kelompok halus seperti CL atau CH	GW GP GM GC	Kerikil bergradasi baik <sup>f</sup> Kerikil bergradasi buruk <sup>f</sup> Kerikil lamauar <sup>f,GM</sup> Kerikil lempungan <sup>f,GM</sup>
<b>PASIR</b> Pasir bergradasi dengan material halus < 5% <sup>f</sup> fraksi kasar yang lolos ayakan No. 4 > 50% Kelompok halus seperti ML atau OH Kelompok halus seperti CL atau CH	SW SP SM SC	Pasir bergradasi baik <sup>f</sup> Pasir bergradasi buruk <sup>f</sup> Pasir lamauar <sup>f,SM</sup> Pasir lempungan <sup>f,SM</sup>
<b>LANAU dan LEMPUNGG</b> Atau gumpul Lempung kurus < 7% <sup>f</sup> Lanau < 4% <sup>f</sup> dan gumpul < 4% <sup>f</sup> Batas Cair (CL) > 50% Organik	CL ML OL	Lempung kurus <sup>f,CL</sup> Lanau <sup>f,ML</sup> Lempung Organik <sup>f,OL</sup> Lanau Organik <sup>f,OL</sup>
<b>TANAH BERBUTIR HALUS</b> Atau gumpul Lempung gumpul > 7% <sup>f</sup> Lanau elastis > 4% <sup>f</sup> Organik	CH MH OH	Lempung gumpul <sup>f,CH</sup> Lanau elastis <sup>f,ML</sup> Lempung organik <sup>f,OH</sup> Lanau organik <sup>f,OH</sup>

lanjutan Tabel 3.1

TANAH ORGANIK TINGGI	Terutama bahan organik, berwarna gelap dan berbau menyengat	PT	Tanah humus
<p>4. Didasarkan pada material yang lolos ayakan 3-inchi (75 mm)</p>	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$	M	<p>M Jika tanah terdiri dari <math>\geq 30\%</math> yang lolos ayakan No. 200, dengan kerikil yang lebih mendominasi, tambahkan "kerikil" pada nama kelompoknya.</p>
<p>5. Jika contoh lapangan terdiri dari kerikil atau bongkahan, atau kedua-duanya, tambahkan "dengan kerikil" atau "bongkahan atau keduanya" pada nama kelompoknya</p>	<p>f. Jika contoh tanah terdiri dari <math>\geq 15\%</math> pasir, tambahkan "dengan pasir" pada nama kelompoknya.</p> <p>g. Jika kelompok halus seperti CI, MI, gunakan simbol ganda GC (M atau SC SM)</p>	N O P	<p>N IP <math>\geq 4</math> di plotkan di atas garis "A" O IP <math>&lt; 4</math> di plotkan di bawah garis "A" P IP di plotkan di atas garis "A" Q IP di plotkan di bawah garis "A"</p>
<p>6. Kerikil dengan 5-12% material halus, dipisahkan simbol ganda</p>	<p>M Jika kelompok halus adalah tanah organik, tambahkan "dengan organik halus" pada nama kelompoknya</p>		
<p>GW - GM, kerikil bergradasi baik dengan lanau GW - GC, kerikil bergradasi baik dengan lempung</p>	<p>J. Jika contoh tanah terdiri dari <math>\geq 15\%</math> kerikil, tambahkan "dengan kerikil" pada nama kelompoknya</p>		
<p>GP - GM, kerikil bergradasi buruk dengan lanau GP - GC, kerikil bergradasi buruk dengan lempung</p>	<p>K. Jika Batas Atterberg diplokan pada daerah garis sejajar, tanah adalah U.I. MI, <i>lempung lanau</i></p>		
<p>7. Pasir dengan 5-12% material halus, dipisahkan simbol ganda SW - SM pasir bergradasi baik dengan lanau SW - SC, pasir bergradasi baik dengan lempung SP - SM pasir bergradasi buruk dengan lanau SP - SC pasir bergradasi buruk dengan lempung</p>	<p>L. Jika tanah mengandung 15-29% lebih lolos ayakan No. 200 tambahkan "dengan pasir" atau "dengan kerikil", yang mana saja yang lebih dominan</p> <p>M. Jika tanah terdiri dari <math>\geq 30\%</math> lebih lolos ayakan No. 200 dengan pasir yang lebih mendominasi, maka tambahkan "pasiran" pada nama kelompoknya</p>		

### 3.2.2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem Klasifikasi AASHTO yang diperlihatkan dalam Tabel 3.2 dikembangkan pada tahun 1929 dan mengalami beberapa kali revisi hingga tahun 1945 yang dipergunakan hingga sekarang. Sistem ini didasarkan pada kriteria berikut ini.

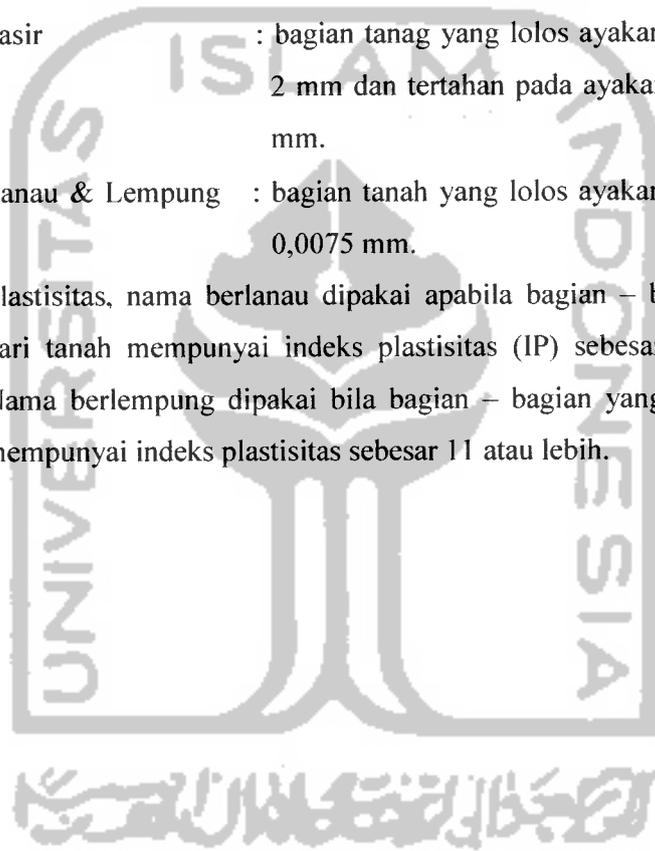
a. Ukuran butir, dibagi menjadi kerikil, pasir, lanau, dan lempung.

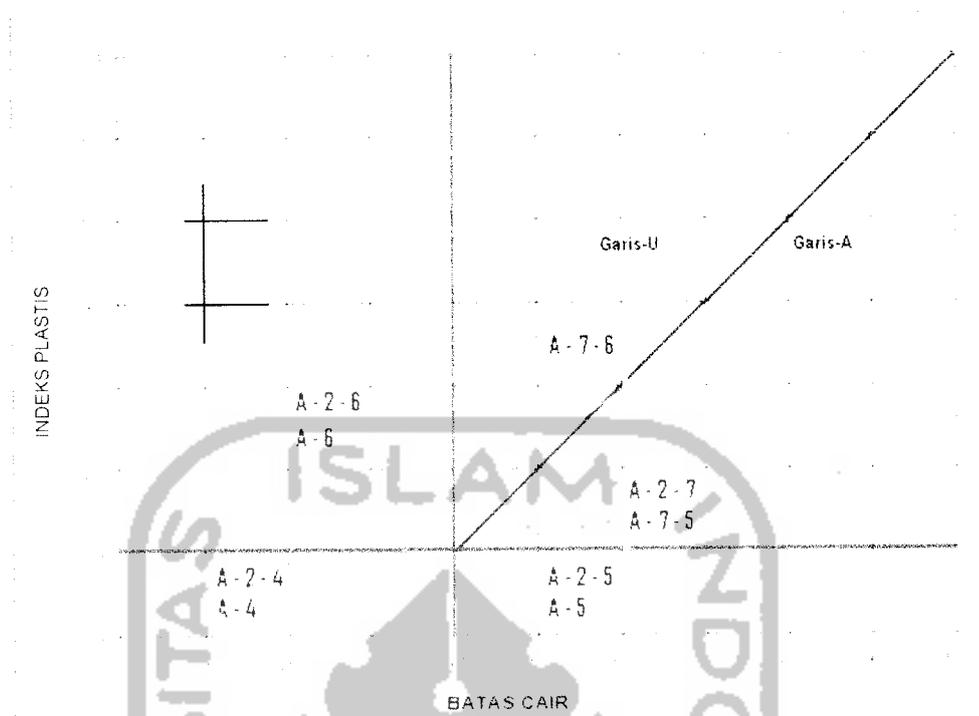
Kerikil : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada ayakan diameter 2 mm.

Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada ayakan diameter 0,075 mm.

Lanau & Lempung : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 0,075 mm.

b. Plastisitas, nama berlanau dipakai apabila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.





(Sumber: Mekanika Tanah 1, Hary Christady 1992)

**Gambar 3.2** Nilai – nilai batas Atterberg untuk subkelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7

- c. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan – batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentasi dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Tabel 3.2 Sistem klasifikasi tanah AASHTO

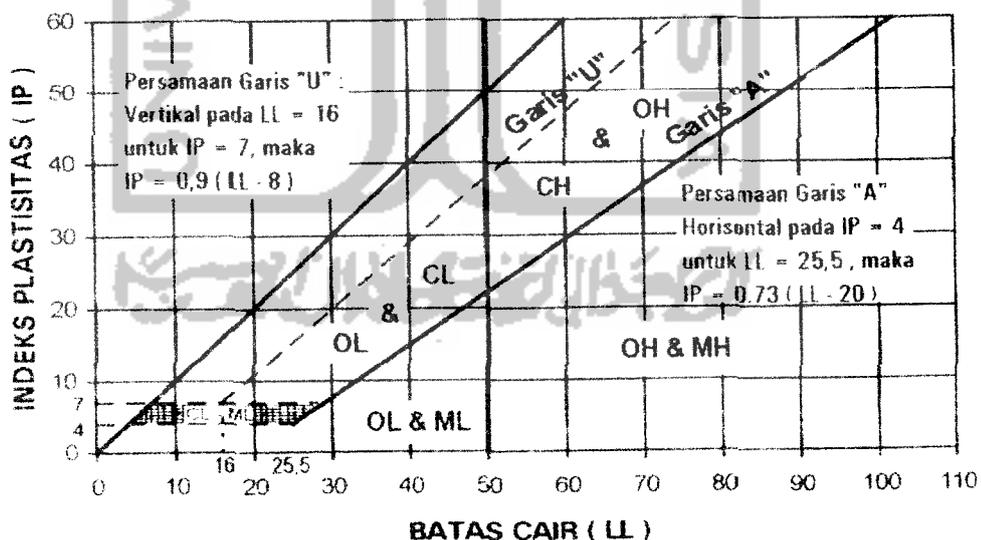
Klasifikasi Umum	Material granuler (<35% lolos saringan no. 200)						Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no. 200)			
	A-1 A-1-a A-1-b	A-3	A-2-4 A-2-5	A-2 A-2-6 A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7		
Klasifikasi kelompok										
Analisis saringan (% lolos) 2.00 mm (no. 10) 0.425 mm (no. 40) 0.075 mm (no. 200)	50 maks 30 maks 50 maks 15 maks 25 maks	51 min 10 maks	35 maks 35 maks	35 maks 35 maks	36 min 36 min	36 min	36 min	- - 36 min	- - 36 min	
Sifat fraksi lolos saringan no. 40 Batas cair (LL) Indeks plastis (PI)	6 maks	Np	40 maks 41 min 10 maks 10 maks	40 maks 41 min 11 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	41 maks 11 min	
Indeks kelompok (G)	0	0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks		
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir	Pasir halus	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir		Tanah berlanau	Tanah berlanau	Tanah berlempung			
Pemilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik						Sedang sampai buruk			

Catatan.  
 Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisnya (PL)  
 Untuk PL > 30, Klasifikasinya A-7-5.  
 Untuk PL < 30, klasifikasinya A-7-6.  
 Np = nonplastis

### 3.2.3. Sistem Klasifikasi *Unified*

Sistem ini diperkenalkan oleh Cassagrande pada tahun 1942, kemudian disempurnakan lagi tahun 1952 atas kerjasama *Unified States Bureau of Reclamation*. Saat ini sistem *USCS* banyak dipakai oleh para ahli Rekayasa Teknik Sipil. Sistem *Unified* membagi tanah dalam 2 kelompok, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus.

- Tanah berbutir kasar (coarse grained – soil), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200. Simbol kelompok ini adalah G (untuk tanah berkerikil) dan S (untuk tanah berpasir). Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W (untuk tanah bergradasi baik) dan P (untuk tanah bergradasi buruk).
- Tanah berbutir halus (fine – grained – soil), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200, simbol kelompok ini adalah C (untuk lempung anorganik, clay) dan O (untuk lanau organik), Plastisitas dinyatakan dalam L (plastisitas rendah) dan H (plastisitas tinggi).



(Sumber: Mekanika Tanah, Braja M. Das 1988)

**Gambar 3.3.** Grafik plastisitas, Sistem unified.

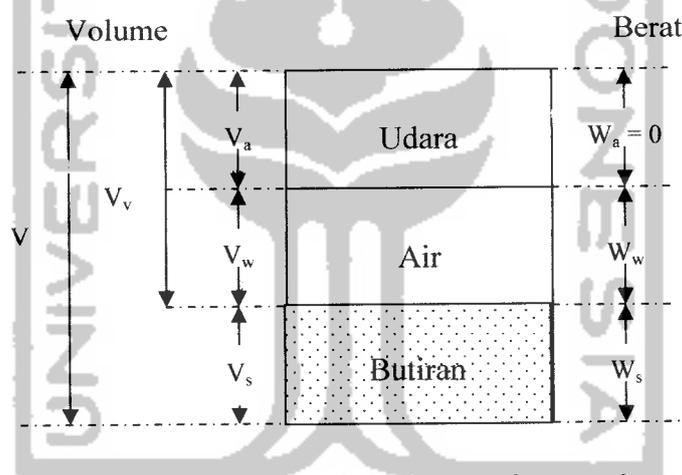
## Sifat-sifat Umum Tanah

### 3.3.1 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan, dan bersifat plastis dalam selang kadar air sedang sampai luas. Dalam keadaan kering sangat keras, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Permeabilitas lempung sangat rendah ( Terzaghi dan Peck, 1987 ).

### 3.3.2 Hubungan Antar Partikel

Secara sederhana tanah disusun atas tiga bagian yang terdiri dari butiran tanah, rongga tanah (pori-pori), dan air dalam pori.



**Gambar 3.4** Diagram fase tanah

Sumber : Hardiyatmo, H.C. 2002, Teknik Pondasi 1

Dalam hal ini:

$V$  = Isi (*volume*) ( $\text{cm}^3$ )

$V_w$  = Isi air (*volume of water*) ( $\text{cm}^3$ )

$V_v$  = Isi pori/rongga (*volume of void*) ( $\text{cm}^3$ )

$V_s$  = Isi butir-butir padat (*volume of solid*) ( $\text{cm}^3$ )

$W$  = Berat Tanah (*weight*) (gr)

- $W_a$  = Berat udara (*weight of air*)  $\approx 0$   
 $W_w$  = Berat air (*weight of water*) (gr)  
 $W_s$  = Berat butir-butir padat (*weight of solid*) (gr)

Dari gambar tersebut dapat diperoleh rumus-rumus sebagai berikut :

1. Kadar air (*Moisture content/water content*)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat partikel padat dalam tanah, yaitu :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.2)$$

2. Angka pori (*Void ratio*)

Angka pori adalah perbandingan volume pori dan volume partikel padat, yaitu

$$e = \frac{V_v}{V_s} \times 100\% \dots\dots\dots(3.3)$$

3. Porositas (*Porosity*)

Porositas adalah perbandingan antara volume pori dengan volume keseluruhannya.

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \dots\dots\dots(3.4)$$

$$n = \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots(3.5)$$

4. Derajat kejenuhan (*Degree of saturation*)

$$S_r = \frac{V_w}{V_r} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.6)$$

6. Berat volume kering (*Dry density*)

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} (\text{gr/cm}^3) \dots\dots\dots(3.7)$$

7. Berat volume jenuh (*Saturated density*)

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{W_w + W_s}{V} (\text{gr/cm}^3) \dots\dots\dots(3.8)$$

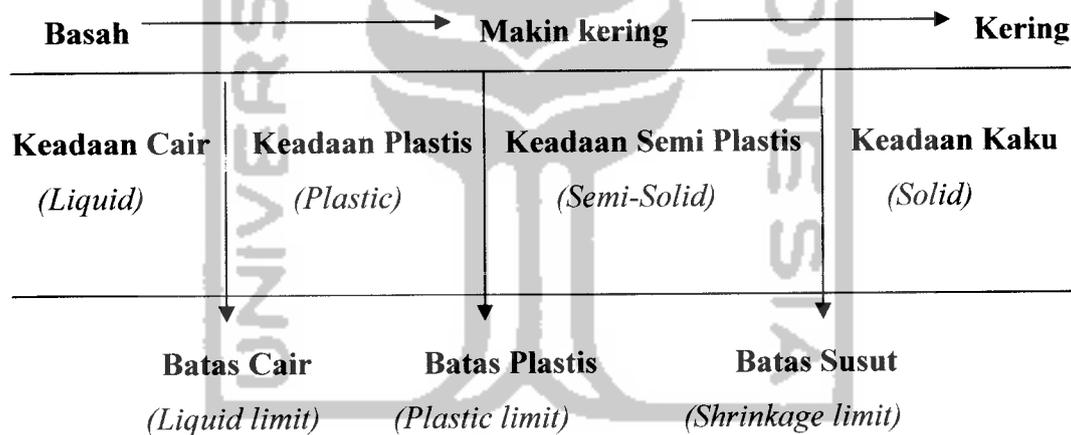
8. Berat volume basah (*Submerged / wet density*)

$$\gamma_b = \frac{W_w + W_s}{V} (\text{gr/cm}^3) \dots \dots \dots (3.9)$$

### 3.3.3 Batas-batas Atterberg

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas digambarkan sebagai kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk. Tergantung pada kadar airnya, tanah mungkin berbentuk cair, plastis, semi padat, atau padat.

Keadaan-keadaan tersebut, dengan istilah yang dipakai sebagai pembatas dapat dilihat pada gambar 3.5 dibawah ini.



**Gambar 3.5** Batas-batas Atterberg tanah (H.C. Hardiyatmo, 2002)

Kedudukan kadar air transisi bervariasi pada berbagai jenis tanah. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada air tertentu disebut konsistensi.

Atterberg (1991), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan airnya.

Batas-batas tersebut adalah sebagai berikut :

1. Batas cair (*Liquid limit*)

Batas cair (LL) didefinisikan sebagai kadar air pada batas antara keadaan cair dan keadaan 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*)

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air dimana tanah dengan diameter 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

$$PL = \left( \frac{W_p - W_k}{W_k} \right) \times 100 \% \dots \dots \dots (3.10)$$

PL = batas plastis tanah.

$W_p$  = berat tanah basah kondisi plastis.

$W_k$  = berat tanah kering.

3. Batas susut (*Shrinkage limit*)

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:

$$SL = \left( \frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100 \% \dots \dots \dots (3.11)$$

SL = batas susut tanah.

$V_o$  = volume benda uji kering.

$W_o$  = berat benda uji kering.

$G_s$  = berat jenis tanah.

4. Indeks plastisitas (*Plasticity index*)

Indeks Plastisitas (IP) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas akan merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastis menunjukkan sifat keplastisan tanahnya. Jika tanah mempunyai interval kadar air didaerah plastis yang kecil, maka keadaan ini

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

$$IP = LL - PL \dots \dots \dots (3.12)$$

Dengan :

IP = indek plastisitas.

LL = batas cair.

Pl = batas plastis.

**Tabel 3.3** Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

Sumber: mekanika tanah, H.C. Hardiyatmo, 2002

PI	Sifat	Macam tanah	kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non plastis
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

### Analisis Granuler

Ukuran butir ditentukan dengan menyaring sejumlah tanah melalui sekelompok saringan yang dimulai dengan lubang yang berada paling atas, dan semakin lama semakin kebawah. Jumlah tanah yang tertahan pada saringan tertentu disebut sebagai salah satu dari ukuran butir contoh tanah.

Ukuran saringan diukur dari ukuran lubang 4,76 mm sampai 0,074 mm, kemudian saringan disebut dengan nomor-nomor 4, 10, 20, 40, 60, 100 dan 200.

Mempergunakan saringan dengan nomor yang lebih besar dari nomor 200 adalah sangat tidak praktis, oleh karena sangat sukar untuk menyaring tanah tersebut melalui saringan itu. Saringan ini cukup halus sehingga air mulai tertahan melalui saringan

terebut, apalagi tanah yang akan lebih mudah tertahan. Untuk memperkirakan diameter-diameter partikel yang lebih kecil dari 0,07 mm, digunakan hidrometer untuk mengukur berat jenis tanah dan air, dan disebut analisa hidrometer. ( Bowles, 1986 )

### 3.5 Batas Konsistensi Tanah

Konsistensi dari lempung dan tanah-tanah kohesif lainnya sangat dipengaruhi oleh kadar air tanah. Pada kadar air yang sangat tinggi, tanah berperilaku sebagai cairan encer yang mengalir dan tidak dapat mempertahankan bentuk tertentu. Kadar air paling rendah di mana tanah dalam keadaan cair disebut batas cair (LL). Batas cair ditetapkan sebagai kadar air apabila alur bertaut selebar 12,7 cm (0,5 in) pada 25 pukulan.

Tanah dianggap dalam keadaan plastis apabila dapat dibentuk atau diolah menjadi bentuk baru tanpa retak-retak. Kadar air terendah di mana tanah dianggap dalam keadaan plastis disebut batas plastis (PL) dari tanah itu. Batas plastis ditentukan dengan menggulung segumpal tanah menjadi sebuah batangan. Apabila batangan tersebut mulai retak-retak pada diameter 3,18 mm (1/8 in), kadar airnya adalah batas plastis.

Pada suatu kadar air tertentu tanah ada pada volume yang konstan meskipun apabila kadar airnya dikurangi. Kadar air ini ditetapkan sebagai batas susut (SL), dan suatu prosedur pengujian standar digunakan untuk menentukan nilainya. Selisih antara batas cair dan batas plastis adalah indeks plastisitas (PI) dan merupakan rentang kadar air dimana tanah berperilaku dalam keadaan plastis. ( Dunn dkk, 1980 ).

### 3.6 Konsep Perkuatan

Tanah yang dikenai gaya luar maka bagian dalam tanah kan mengalami deformasi gaya geser (*shear deformation*). Deformasi ini terjadi sebelum ketidakstabilan disepanjang bidang geser timbul. Deformasi gaya geser akan menyebabkan

meningkatkan kemampuan dan regangan tarik. Adanya gesekan partikel, bentuk partikel dan tegangan pemampatan menimbulkan tahanan geser yang akan menstabilkan tanah. Tahanan geser ini harus mampu menahan gaya yang menyebabkan lonsoran, apabila terjadi peningkatan tegangan pada bidang gelincir. Untuk mengimbangi deformasi pada bidang geser, perkuatan ditempatkan pada arah bidang tarik yang akan menghasilkan gaya tarik pada perkuatan.

### 3.7 Jenis-jenis Perkuatan

Pada umumnya ada dua jenis perkuatan :

1. Perkuatan dengan menggunakan material rigid, seperti jangkar, paku tanah (*soil nailing*) dan tiang crucuk. Dimana material yang rigid ini mempunyai kemampuan tarik, geser, lentur bahkan punter.
2. Perkuatan dengan menggunakan material yang fleksibel seperti metal strip dan bahan geotekstil. Material ini mempunyai kemampuan tarik dan geser, tidak mempunyai kemampuan lentur dan tekan.

Pada umumnya tanah tidak mampu menahan tegangan tarik. Jika dijumpai kondisi tersebut diatas, maka akan dibuat suatu konstruksi geoteknik yang biasanya cukup mahal. Sebagai contoh adalah pembuatan lereng yang curam, jika lereng tersebut terbuat alami dengan nilai kohesi yang tinggi, mungkin masih aman. Tetapi jika dibuat dari tanah urugan, maka biasanya diperkuat dengan tembok penahan tanah (*retaining wall*). Tembok penahan tanah dari pasangan batu akan membutuhkan dimensi yang relatif besar sehingga membutuhkan areal yang cukup luas, jika dibuat dari beton bertulang, membutuhkan waktu yang lama, biaya yang mahal serta kecermatan penulangan. Dengan kemampuan geotekstil yang mampu menahan tarikan dan menahan geser ( karena gesekan tanah ), maka geotekstil dapat digunakan sebagai perkuatan ( penulangan ) pada tanah.

### 3.8 Geotekstil

Merupakan bahan geosintetik yang paling banyak digunakan manusia. Bentuknya seperti tekstil pada umumnya tetapi terdiri dari serat-serat sintesis yang lentur dan tidak ada masalah penyusutan. seperti pada material dari serat alam seperti : wol, katun, ataupun sutera. Dalam hal ini geotekstil berfungsi sebagai lapisan pemisah (*separation*), lapisan penyaring (*filtration*), penyalur air (*drainage*), perkuatan tanah (*reinforcement*), dan lapis pelindung (*moisture barrier*) bila terselimuti oleh bitumen. Berdasarkan cara pembuatannya, geotekstil digolongkan menjadi beberapa jenis, yaitu jenis geotekstil yang dianyam (*woven geotextiles*) dan geotekstil yang tidak dianyam (*non woven geotextiles*) (Menurut J. P. Giroud).

Geotekstil dibentuk oleh unsur-unsur buatan manusia yang kemudian diproses seperti seperti pada pembuatan tekstil. Bahan dari komponen dasar geotekstil berupa polymer sintetis yaitu : *polypropylene, polyester, polyethylene, polyamide, dan nylon*. Bahan-bahan buatan manusia ini sangat tahan terhadap pengaruh lingkungan biologis dan degradasi kimia yang biasanya terjadi di dalam alam.

Berdasarkan pembuatannya, geotekstil dapat digolongkan menjadi beberapa jenis:

a) Geotekstil yang ditenun (*woven*)

Geotekstil yang pembuatannya merupakan gabungan dari dua set benang-benang paralel yang dijalin secara sistematis untuk dapat membentuk suatu struktur bidang. Jenis benang yang dapat digunakan seperti *monoflamen, multiflamen*, dll. Geotekstil tipe woven mempunyai kuat tarik yang cukup tinggi sehingga pada aplikasinya di lapangan lebih banyak digunakan sebagai perkuatan dan sebagai lapisan pemisah. Sebagai perkuatan, geotekstil berfungsi sebagai tulangan tanah, sedangkan sebagai separator, geotekstil berfungsi memisahkan antara tanah lunak dan tanah keras. Fungsi utama dari geotekstil yang ditenun (*woven*) adalah sebagai perkuatan tanah.

b) Geotekstil yang tidak ditenun (*non woven*)

Geotekstil yang pembuatannya tidak dengan ditenun, tetapi jaringan atau serat-serat pembentukannya dilekatkan satu sama lain dengan cara diikat atau dengan bahan perekat. Cara produksinya antara lain :

a. *Needle Punch Process* (proses penjaruman)

Geotekstil yang dihasilkan dari proses penjaruman, dibuat dari serat web yang diletakkan dalam mesin yang dilengkapi jarum – jarum yang dirancang khusus. Saat serat web terletak diantara plat yang ditanam dan plat mesin pengupas, maka jarum akan menembus kembali arah serat sehingga terjadi ikatan mekanik pada serat – serat sehingga terjadi ikatan mekanik pada serat – serat tersebut.

b. *Melt (heat) Bonded* (proses ikatan leleh)

Geotekstil ini terdiri dari filamen – filamen menerus atau serat yang panjang dan terikat. Pengikatan dicapai dengan operasi kalendering temperatur tinggi dilakukan dengan melewati bahan tersebut diantara dua roller panas. Geotekstil tipe ini kuat tariknya lebih kecil dibanding dengan yang woven, tetapi geotekstil non woven mempunyai sifat permeabilitas yang baik. Sesuai dengan karakteristik fisiknya, maka geotekstil non woven lebih banyak digunakan sebagai penyaring (*filtration*) dan sebagai pengalir (*drainage*). Sebagai alat untuk memperlancar proses mengalirnya air, maka fungsi geotekstil jenis non woven akan berfungsi sebagai pengalir sekaligus penyaring, yaitu menyaring butiran tanah agar tidak ikut terbawa aliran air.

Fungsi utama dari geotekstil yang tidak ditenun (*non woven*) adalah sebagai separasi.

### 3.8.1 Fungsi Geotekstil

Pada suatu konstruksi penggunaan geotekstil umumnya dirancang berdasarkan fungsinya yang berhubungan dengan sifat-sifat tertentu dari geotekstil tersebut, yaitu :

- a. Lapisan pemisah ( *separation* ) dibutuhkan pada saat geotekstil diletakan diantara dua jenis material yang berbeda. Kegunaannya untuk menghindarkan terjadinya kontaminasi dan pencampuran yang mungkin terjadi diantara kedua material tersebut. Contohnya pada penggunaan geotekstil didalam konstruksi jalan untuk memisahkan agregat dengan lapisan tanah dasar yang mempunyai daya dukung lemah. Sifat geotekstil yang perlu diperhatikan pada kondisi tersebut adalah : kekuatan terhadap pukulan ( *puncture strength* ), kekuatan terhadap sobek ( *breaking strength* ), tahan pecah ( *burst resistance* ), dan tembus air ( *water permeability* ).
- b. Lapisan penyaring ( *filtration* ) adalah kemampuan geotekstil untuk meloloskan air, tetapi menahan partikel tanah yang ikut terbawa aliran dari satu sisi permukaan kesisi lainnya. Dalam beberapa kasus geotekstil juga dibutuhkan untuk meloloskan air tanpa rintangan, seperti dalam keadaan dimana tekanan air pori yang berlebihan tidak diijinkan.
- c. Penyaluran air ( *drainage* ), pada saluran drainasi umumnya terdapat butiran kasar dan halus yang mempunyai fungsi ganda, yaitu sebagai saringan berarti akan menghalangi aliran air. Dua fungsi tersebut sulit dipadukan, dimana untuk fungsi saringan berarti akan banyak Lumpur atau bahan lain yang tersaring sehingga akan menghalangi aliran air. Biasanya masuknya tanah sekitar kedalam saluran drainasi karena terbawa oleh aliran air tanah yang menuju saluran tersebut. Dengan kemampuan geotekstil yang tembus air dan mempunyai kemampuan menyaring maka bahan ini sangat tepat untuk berfungsi sebagai filter, yaitu menahan butiran tanah yang terbawa aliran tanah agar tidak masuk kedalam saluran drainasi.

- d. Perkuatan tanah (*reinforcement*). Pada umumnya tanah tidak mampu menahan tegangan tarik. Jika dijumpai kondisi tersebut diatas, maka akan dibuat suatu konstruksi geoteknik yang biasanya cukup mahal. Sebagai contoh adalah pembuatan lereng yang curam, jika lereng tersebut terbuat alami dengan nilai kohesi yang tinggi, mungkin masih aman. Tetapi jika dibuat dari tanah urugan, maka biasanya diperkuat dengan tembok penahan tanah (*retaining wall*). Tembok penahan tanah dari pasangan batu akan membutuhkan dimensi yang relatif besar sehingga membutuhkan areal yang cukup luas, jika dibuat dari beton bertulang, membutuhkan waktu yang lama, biaya yang mahal serta kecermatan penulangan. Dengan kemampuan geotekstil yang mampu menahan tarikan dan mampu menahan geser ( karena gesekan tanah ), maka geotekstil dapat digunakan sebagai perkuatan ( penulangan ) pada tanah.

### 3.8.2 Karakteristik Geotekstil

Sebagai acuan dalam perencanaan perlu diketahui bagaimana cara memilih bahan geotekstil. Berbagai karakteristik tersebut antara lain ( Koerner, 1988 ):

#### 1. Karakteristik Fisik

- a. Tebal (*thickness*), yaitu jarak antara permukaan sampai bagian bawah geosintetik yang diukur dengan tekanan tertentu. Geotekstil umumnya mempunyai ketebalan berkisar antara 10 mil sampai 300 mil (1mil = 0,001")
- b. Bahan baku (*raw material*), yaitu polimer utama yang digunakan dalam pembuatan geotekstil. Bahan baku yang biasa digunakan dalam geotekstil ini adalah *polypropylene*.
- c. Warna (*colour*), berwarna hitam.

## 2. Karakteristik Mekanik

- a. Kuat tarik (*tensile strength*), merupakan suatu sifat yang sangat penting pada geotekstil. Tegangan (*stress*) biasanya diukur dalam satuan gaya per unit lebar (lb/m, t/m, kg/m, dsb), sedangkan regangan (*strain*) adalah nilai deformasi dibagi dengan lebar awal.

Karena aplikasi penggunaan geotekstil beraneka ragam di lapangan, bahan geotekstil disyaratkan dilengkapi dengan berbagai macam kekuatan tarik dari beberapa macam tes kekuatan tarik., diantaranya *Wide width tensile strength*, untuk memberikan kemampuan tarik bahan dengan deformasi lateral sekecil-kecilnya. Tes ini biasanya dilakukan pada lebar lembaran 200 mm sampai 1000 mm.

- b. Kuat pecah (*burst strength*), yaitu kekuatan bahan dalam menerima beban terpusat dalam arah tegak lurus lembaran geotekstil. Beban terpusat ini dapat berupa beban pecah (*bursting load*) atau beban coblos (*puncturing load*). Beban pecah terjadi bila geosintetik harus menerima beban terpusat pada luasan yang relatif sempit, arahnya tegak lurus lembaran geotekstil. Kemungkinan bursting dapat terjadi pada lekukan-lekukan diantara batuan atau lubang kecil. Beban coblos adalah beban tegak lurus pada lembaran geotekstil pada muatan yang bersudut runcing yang cenderung mencoblos lembaran. Kondisi ini dapat timbul akibat sudut-sudut yang runcing dari batuan/agregat dimana bahan geotekstil itu berfungsi sebagai *separator*, *filter* atau *reinforce*.

Kekuatan pecah dapat dicari dengan beberapa cara antara lain *Mullen bursting test*, dilakukan dengan memaksa bola tertentu menekan permukaan geotekstil sampai bahan geotekstil pecah (*burst*).

- c. Kuat robek (*tear strength*), adalah ketahanan bahan terhadap menjalarnya robekan dalam kondisi menahan tarik. Kuat robek juga diperlukan pada saat bahan geotekstil menerima beban coblos. Kekuatan

robek dapat dicari dengan beberapa cara, antara lain *Trape zoidal test*, dilakukan dengan menarik bahan geosintetik yang sudah robek pada pola tertentu. Kekuatan robek merupakan gaya dimana robekan mulai menjalar ke seluruh lembaran.

### 3. Karakteristik Hidrolis

- a. *Apparent Opening Size (AOS)*, yaitu sebuah ukuran yang menunjukkan diameter tertentu pada lubang-lubang geotekstil yang berfungsi sebagai filter dan struktur drainasi, umumnya berbentuk seperti penyaring dimana permukaan geotekstil tersebut mempunyai lubang-lubang dengan diameter yang kecil. Lubang tersebut besarnya bervariasi mengingat pembuatannya dilakukan dengan mesin sehingga perlu dilakukan tes khusus untuk dapat mengetahui variasi dari diameter lubang pada permukaan geotekstil tersebut. AOS dinyatakan dalam simbol  $O_n$ , maka untuk AOS pada  $O_{95}$  artinya diameter tersebut merupakan diameter lubang yang relatif terbesar sehingga 95% dari lubang-lubang filter yang lain mempunyai diameter yang relatif lebih kecil dari  $O_{95}$  tersebut (Koerner.1988)
- b. *Permeability*, yaitu koefisien rembesan air tanah arah normal bidang geosintetik (tegak lurus bidang geosintetik)
- c. *Permittivity*, yaitu harga koefisien permeability arah normal bidang untuk tiap satuan tebal geosintetik. Semakin tebal bahan geosintetik maka *permeability* semakin kecil.

**Tabel 3.4** Spesifikasi Teknik Geotekstil HRX 300 ( Koerner 1988)

Jenis Karakteristik	Test Method	Satuan	HRX 300
<b>Karakteristik Fisik</b>			
1. Tebal	ASTM D 5199	mm	0.76
2. Bahan Baku	-	-	Polypropylene
3. Warna	-	-	Hitam
<b>Karakteristik Mekanik</b>			
1. Kuat Tarik	ASTM D 4595	kN/m	55
2. Kuat Pecah	ASTM D 3786	kN/m <sup>2</sup>	6500
3. Kuat Robek	ASTM D 4533	N	880
<b>Karakteristik Hidrolis</b>			
Apparent Opening Size (AOS)	ASTM D 4751	mm	0.340
5 Permeability	ASTM D 4491	cm/sec	0.04
6 Permittivity	ASTM D 4491	sec <sup>-1</sup>	0.48

### 3.8.3 Tujuan Perkuatan Tanah Dengan Geotekstil

Teknik perkuatan tanah dengan geotekstil merupakan paduan antara seni dan sains dalam penerapan pertimbangan-pertimbangan teknis dan prinsip-prinsip mekanika tanah, yaitu penerapan dalam hal memilih tipe, merancang dan membangun suatu bangunan bagian bawah pondasi dari suatu struktur, dinding penahan tanah, bangunan badan jalan, dan lain sebagainya. Dengan memperhatikan karakteristik mekanik yang dimiliki baik oleh tanah itu sendiri maupun bahan geotekstil.

Secara umum, penggunaan bahan geotekstil untuk perkuatan tanah mempunyai tujuan utama untuk membuat suatu struktur yang *deformable* dengan memperbaiki karakteristik mekanik tanah dan membentuk struktur yang semi flexible. Sehingga kekuatan parameter geser tanah dan daya dukung tanah meningkat.

### 3.9 Kuat Geser

Kuat geser suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Untuk itu harus diketahui sifat-sifat ketahanan pergeseran tanah tersebut.

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butiran-butiran tanah terhadap desakan atau terhadap tarikan. (H.C Hardiyatmo, 2002). Dengan dasar pengertian ini, apabila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

1. Kohesi tanah yang bergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Keruntuhan suatu bahan dapat terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya.

Berdasarkan uraian tersebut diatas, Coulomb (1776) mendefinisikan kuat geser tanah adalah sebagai berikut :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \Phi \dots\dots\dots(3.18)$$

Dimana :

$\tau$  = kuat geser tanah

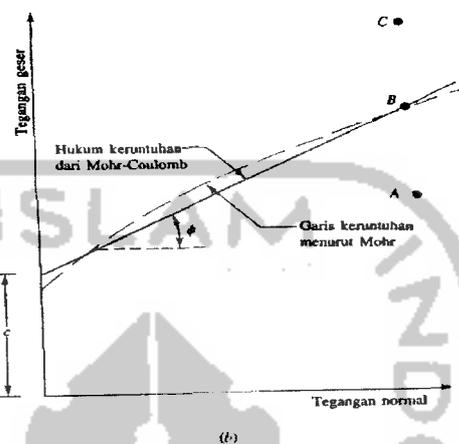
$\sigma_n$  = tegangan normal pada bidang runtuh

$c$  = kohesi tanah

$\Phi$  = sudut gasek dalam tanah

Persamaan diatas disebut Kriteria Keruntuhan atau Kegagalan Mohr Coulomb. Berdasarkan pengertian diatas, bila tegangan-tegangan baru mencapai titik A, keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan-tegangan mencapai titik B yang terletak pada garis selubung kegagalan (*failure envelope*). Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik C tidak akan pernah terjadi, karena sebelum tegangan yang terjadi mencapai titik C, bahan sudah

mengalami keruntuhan. Tegangan-tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori. Hal ini dapat dilihat seperti pada gambar 3.6 dibawah ini.



**Gambar 3.6** Kriteria kegagalan Mohr dan Coulomb

Sumber: Braja, M. Das, 1994

Untuk dapat menentukan nilai-nilai parameter geser tanah dapat ditentukan dengan pengujian di laboratorium, salah satunya adalah dengan uji Geser Langsung.

### 3.10 Uji Proktor Standar

Pemadatan adalah suatu proses memadatnya partikel tanah sehingga terjadi pengurangan volume udara dan volume air dengan memakai cara mekanis. Kepadatan tanah tergantung banyaknya kadar air, jika kadar air tanah sedikit maka tanah akan keras begitu pula sebaliknya bila kadar air banyak maka tanah akan menjadi lunak atau cair. Pemadatan yang dilakukan pada saat kadar air lebih tinggi daripada kadar air optimumnya akan memberikan pengaruh terhadap sifat tanah.

Tujuan pemadatan tanah adalah memadatkan tanah pada kadar air optimum dan memperbaiki karakteristik mekanisme tanah, yang akan memberikan keuntungan yaitu :

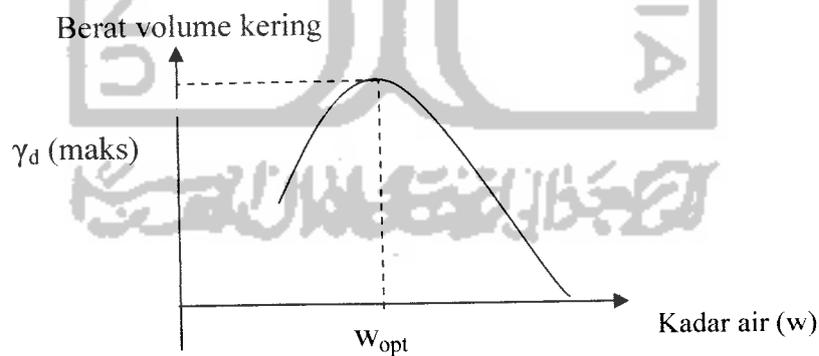
1. Memperkecil pengaruh air terhadap tanah.
2. Bertambahnya kekuatan tanah.
3. Memperkecilkan pemampatannya dan daya rembes airnya.
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air

(Hardiyatmo, H.C., 1992, hal 53).

Pemadatan tanah dapat dilaksanakan di lapangan maupun di laboratorium. Dilapangan biasanya tanah akan digilas dengan mesin penggilas yang didalamnya terdapat alat penggetar, getaran akan menggetarkan tanah sehingga terjadi pemadatan. Sedangkan dilaboratorium menggunakan pengujian standar yang disebut dengan uji proktor, dengan cara suatu palu dijatuhkan dari ketinggian tertentu beberapa lapisan tanah di dalam sebuah mold. Dengan dilakukannya pengujian pemadatan tanah ini, maka akan terdapat hubungan antara kadar air dengan berat volume. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya, hubungan berat volume kering ( $\gamma_d$ ), berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar air ( $w$ ) dinyatakan dengan persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots\dots\dots(3.10)$$



**Gambar 3.7** Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering.

### 3.11 Nilai CBR Tanah

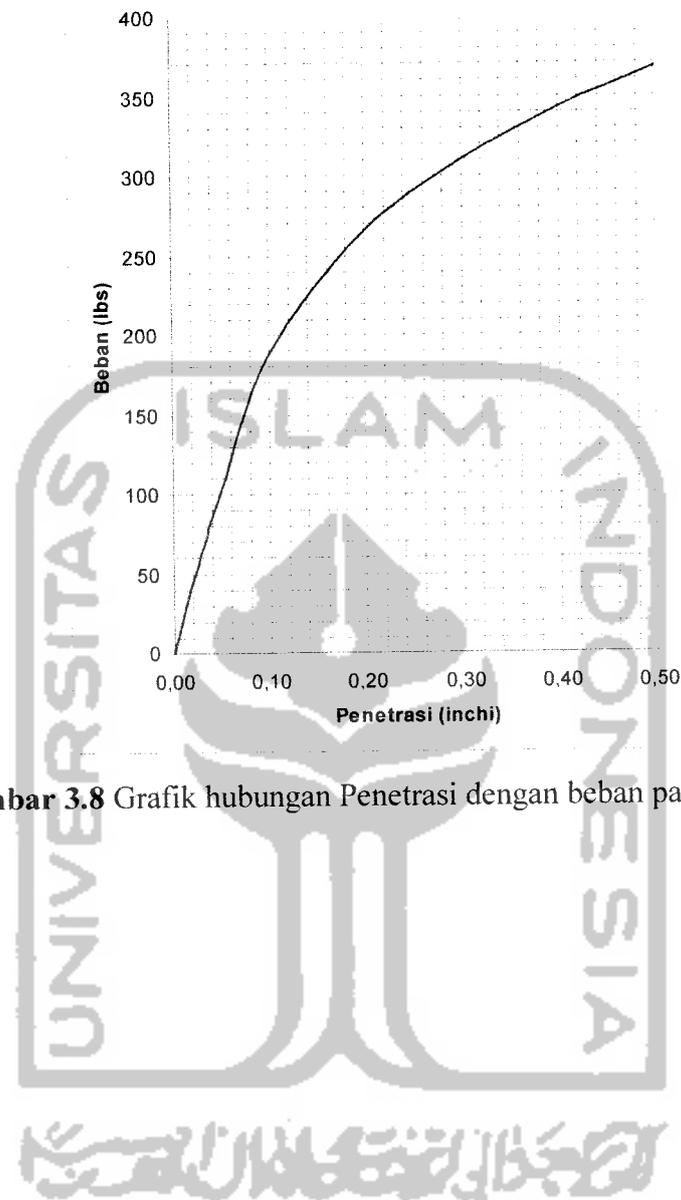
Pada pembuatan jalan baru, tanah dasar ( *subgrade* ) harus dipadatkan sebaik-baiknya, untuk menjadikan lebih kuat dan untuk menjamin supaya kekuatannya cukup seragam. Pemadatan tanah dasar ini harus dilakukan secara teratur, yaitu kadar airnya harus dipertahankan antara batas-batas tertentu (dekat pada optimum) dan kepadatan harus sedemikian sehingga berat isi keringnya tidak kurang dari suatu angka tertentu.

Kekuatan tanah dasar banyak tergantung pada kadar airnya. Makin tinggi kadar airnya semakin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut. Walaupun demikian, tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi, karena kadar air tidak tahan konstan pada nilai yang rendah itu. Untuk memperhitungkan pengaruh air terhadap kekuatan tanah, maka contoh untuk percobaan CBR sering direndam didalam air selama 4 hari sebelum dilakukan percobaan CBR. Selama masa perendaman ini contoh diberi beban berbentuk plat yang bulat pada permukaannya. Berat plat ini disesuaikan dengan tekanan yang akan bekerja pada tanah dasar dilapangan akibat berat perkerasan di atasnya.

Untuk perencanaan jalan baru, tebal perkerasan biasanya ditentukan dari nilai CBR dari tanah dasar yang dipadatkan. Nilai CBR yang digunakan untuk perencanaan ini disebut “ design CBR “.

Cara yang dipakai untuk mendapat “ design CBR “ ini ditentukan dengan perhitungan dua faktor, yaitu (Wesley, 1977):

1. Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu dipadatkan.
2. Perubahan pada kadar air yang mungkin akan terjadi setelah perkerasan selesai dibuat.



**Gambar 3.8** Grafik hubungan Penetrasi dengan beban pada uji CBR