

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 TANAH

Istilah “Tanah” dalam bidang Mekanika Tanah dimaksudkan adalah mencakup semua bahan seperti lempung, pasir, kerikil dan batu-batuan yang besar (L.D. Wesley, 1977).

Secara umum tanah terdiri dari tiga bahan, yaitu butiran tanahnya sendiri (*solid*), air (*water*), dan pori (*void*) yaitu udara yang terdapat dalam ruangan antara butir-butir tersebut (L.D. Wesley, 1977).

Pembentukan tanah dari bahan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil dapat terjadi akibat adanya pengaruh erosi, air, angin, es, manusia atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Sedangkan pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbon dioksida, air yang mengandung asam atau alkali dan proses kimia yang lain. (H.C. Hardiyatmo, 1992).

Untuk membedakan serta menunjukkan dengan tepat masing-masing sifat bahan-bahan ini, dipakai metode sistematis sehingga untuk tanah tertentu dapat diberikan nama yang tepat dan istilah tentang sifatnya dapat ditentukan dengan tepat pula. Metode sistematis ini disebut sistem klasifikasi tanah.

3.2 SISTEM KLASIFIKASI TANAH

Sistem klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitasnya.

Sistem Klasifikasi tanah bertujuan membagi tanah dalam beberapa golongan tanah dengan kondisi dan sifat yang mirip diberi simbol nama yang sama. Ada tiga (3) sistem klasifikasi yang umum dan banyak dipakai, yaitu :

1. Sistem USCS (*the Unified Soil Classification System*).
2. Sistem AASTHO (*the American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*).

3.2.1 Sistem Klasifikasi USCS

Menurut sistem ini tanah dibagi dalam tiga kelompok yaitu kelompok tanah berbutir kasar, kelompok tanah berbutir halus dan kelompok tanah organik tinggi. Kemudian diuraikan lebih spesifik lagi dengan memberi simbol pada setiap jenisnya. Bagan klasifikasi tanah sistem USCS dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.



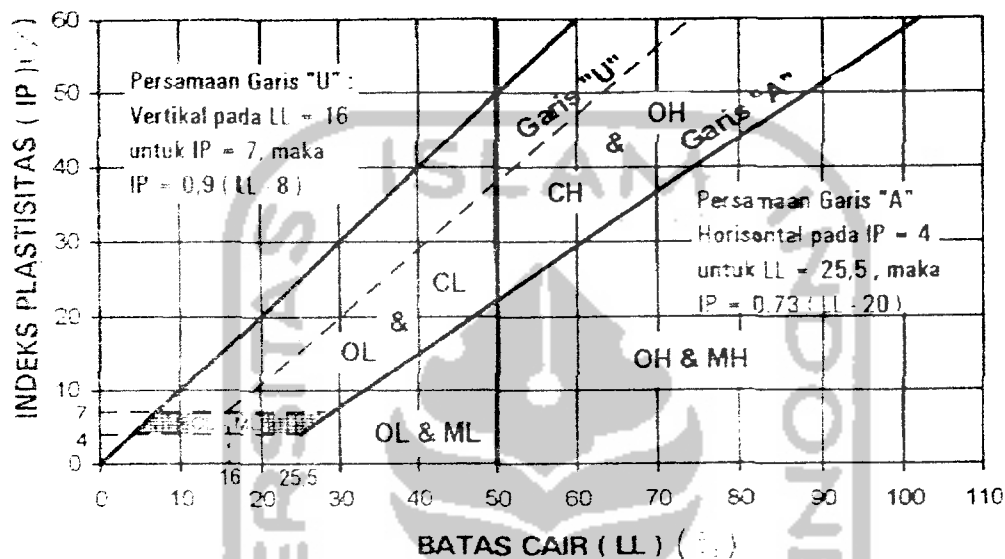
Tabel 3.1 Sistem klasifikasi USCS

Kriteria untuk Menetapkan Simbol Kelompok dan Nama Kelompok berdasarkan hasil Pengujian Laboratorium ⁴		Klasifikasi Tanah	
		Simbol Kelompok	Nama Kelompok ^a
KERIKIL, fraksi kasar yang tertahan pada ayakan No. 4 > 50% TANAH BERBUTIR KASAR lebih dari 50% tertahan pada ayakan No. 200	Kerikil berhiuk, dengan material halus < 5% ^c	GW	Kerikil bergradasi baik ^e
	Kerikil, dengan material halus > 12% ^c	GP	Kerikil bergradasi buruk ^e
	Kelompok halus seperti ML atau OH	GM	Kerikil lanauan ^{f,g,h}
	Kelompok halus seperti CL atau CH	GC	Kerikil lempungan ^{f,g,h}
	Pasir berhiuk, dengan material halus < 5% ^d	SW	Pasir bergradasi baik ⁱ
	Pasir, dengan material halus > 12% ^d	SP	Pasir bergradasi buruk ⁱ
LANAU dan LEMPUNGG, Batas Cair (LL) < 50% TANAH BERBUTIR HALUS 50% atau lebih lolos dari ayakan No. 200	Kelompok halus seperti ML atau OH	SM	Pasir lanauan ^{g,h,i}
	Kelompok halus seperti CL atau CH	SC	Pasir lempungan ^{g,h,i}
	PI > 7 pada di atas garis "A" ¹	CL	Lempung kurus ^{k,l,m}
	PI < 4 di bawah garis "A" ¹	ML	LANAU ^{k,l,m}
	Batas Cair - kering oven < 0,75	OL	Lempung Organik ^{k,l,m,n}
	Batas Cair - tak dikeringkan PI pada di atas garis "A" ²	CH	LANAU Organik ^{k,l,m,o}
LANAU dan LEMPUNGG, Batas Cair (LL) ≥ 50%	PI di bawah garis "A" ¹	MH	Lempung gemuk ^{k,l,m}
	Batas Cair - kering oven < 0,75	OH	LANAU elastis ^{k,l,m}
	Batas Cair - tak dikeringkan		Lempung organik ^{k,l,m,o}
			LANAU organik ^{k,l,m,o}

Lanjutan Tabel 3.1

TANAH ORGANIK TINGGI	Terutama bahan organik, berwarna gelap dan berbau menyengat	PT	Tanah humus
<p>a Didasarkan pada material yang lolos ayakan 3-inchi (75 mm).</p>	<p>f</p> $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$	<p>M</p>	<p>Jika tanah terdiri dari $\geq 30\%$ yang lolos ayakan No. 200, dengan kerikil yang lebih mendominasi, tambahkan "kerikil" pada nama kelompoknya.</p>
<p>b Jika contoh lapangan terdiri dari kerakal atau bongkahan, atau kedua-duanya, tambahkan "dengan kerakal atau bongkah atau keduanya" pada nama kelompoknya.</p>	<p>g</p>	<p>N</p>	<p>IP ≥ 4 di plotkan di atas garis "A"</p>
<p>c Kerikil dengan 5 - 12% material halus, diperlihatkan simbol ganda :</p>	<p>h</p>	<p>O</p>	<p>IP < 4 di plotkan di bawah garis "A"</p>
<p>GW - GM, kerikil bergradasi baik dengan lanau</p>	<p>i</p>	<p>P</p>	<p>IP di plotkan di atas garis "A"</p>
<p>GW - GC, kerikil bergradasi baik dengan lempung</p>	<p>j</p>	<p>Q</p>	<p>IP di plotkan di bawah garis "A"</p>
<p>GP - GM, kerikil bergradasi buruk dengan lanau</p>	<p>k</p>	<p>R</p>	<p></p>
<p>GP - GC, kerikil bergradasi buruk dengan lempung</p>	<p>l</p>	<p>S</p>	<p></p>
<p>Pasir dengan 5 - 12% material halus, diperlihatkan simbol ganda :</p>	<p>m</p>	<p>T</p>	<p></p>
<p>SW - SM, pasir bergradasi baik dengan lanau</p>	<p>n</p>	<p>U</p>	<p></p>
<p>SW - SC, pasir bergradasi baik dengan lempung</p>	<p>o</p>	<p>V</p>	<p></p>
<p>SP - SM, pasir bergradasi buruk dengan lanau</p>	<p>p</p>	<p>W</p>	<p></p>
<p>SP - SC, pasir bergradasi buruk dengan lempung</p>	<p>q</p>	<p>X</p>	<p></p>

Untuk dapat mengklasifikasikan tanah berbutir halus yang lebih spesifik lagi, maka grafik plastisitas yang menunjukkan Batas cair (LL) versus Indeks plastisitas (IP) pada Gambar 3.1 dibawah ini dapat dipakai.



Gambar 3.1 Grafik plastisitas

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2003

3.2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Karena sistem ini ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut, penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus dipertimbangkan terhadap maksud aslinya.

Sistem Klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris.

Pada sistem ini tanah dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu :

- Bahan granular, jika yang lolos ayakan # 200 < 35% (kelompok A-1 sampai A-3).
- Bahan lanau lempung, jika lolos ayakan # 200 > 35%.

Indeks kelompok (*group index*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dapat dihitung dengan persamaan :

$$GI = (F - 35)[0.2 + 0.005 (LL - 40)] + 0.01 (F - 15)(PI - 10) \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan :

GI : indeks kelompok (*group index*).

LL : batas cair (%).

PI : indeks plastisitas (%).

F : persen material lolos saringan No.200 (0,0075 mm).

Indeks kelompok yang diperoleh, nilainya dibulatkan ke angka utuh terdekat. Jika negatif dianggap nol. Khusus kelompok A-2-6 dan A-2-7 nilai indeks kelompok dihitung dari rumus diatas dari bagian PI saja. Makin rendah indeks kelompok bahan tersebut makin baik untuk *subgrade*.

Sistem klasifikasi AASHTO, dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Sistem klasifikasi tanah AASHTO

Klasifikasi Lumpur	Tanah-tanah lempung				
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Am. basis setiap unit (1000)	30 maks	35 maks	40 maks	45 maks	50 maks
2,00 mm (75)	10 maks	15 maks	20 maks	25 maks	30 maks
0,425 mm (100)	5 maks	7 maks	10 maks	15 maks	20 maks
0,075 mm (200)	1 maks	2 maks	3 maks	5 maks	7 maks
Sifat traksi berdasarkan no. 40	40 maks	40 maks	40 maks	40 maks	40 maks
Baras cair (LL)	40 maks	40 maks	40 maks	40 maks	40 maks
Indeks plastisitas (PI)	10 maks	11 maks	11 maks	11 maks	11 maks
Indeks kelompok (U)	1 maks	1 maks	1 maks	1 maks	1 maks
Upe. matrik (maks. perbandingan pada umurisasi)	1 maks	1 maks	1 maks	1 maks	1 maks
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Landan bertamir	Landan bertamir	Landan bertamir	Landan bertamir	Tanah berketegung

Catatan:
 Kelompok A-7 dibagi atas A-7.5 dan A-7.6 bergantung pada batas plastisitas (PI).
 Untuk PI > 30, klasifikasinya A-7.5.
 Untuk PI < 30, klasifikasinya A-7.6
 Np = nonplastis

Bila nilai indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka semakin berkurang ketepatan dalam penggunaan tanahnya. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam klasifikasi A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupakan tanah granuler yang bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih yang bergradasi buruk. Tanah A-2 termasuk tanah granuler (kurang dari 35% lolos saringan No. 200), tetapi masih mengandung lanau dan lempung. Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung lanau. Perbedaan keduanya didasarkan pada batas-batas Atterberg.

Garis A dari Casagrande dan garis U digambarkan bersama-sama. Tanah organik tinggi seperti tanah gambut (*peat*) diletakkan dalam kelompok A-8.

Gambar 3.2 adalah gambar yang dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk kelompok A-4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok dalam A-2.



Gambar 3.2 Batas-batas Atterberg untuk subkelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7

Sumber : Mekanika Tanah I, H. C. Hardiyatmo, 2002

3.3 ANALISIS UKURAN BUTIRAN

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya.

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan prosentase berat butiran pada suatu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu.

3.3.1 Tanah Berbutir Kasar

Distribusi ukuran butir dari tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaringnya. Tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar untuk pengujian tanah. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang selanjutnya dihitung prosentase terhadap berat komulatif pada tiap-tiap saringan.

3.3.2 Tanah Berbutir Halus

Distribusi ukuran butir tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi/pengendapan. Bila suatu contoh tanah dilarutkan didalam air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes (H.C. Hardiyatmo, 2002), yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi. Menurut Stokes, kecepatan mengendap butiran dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} D^2 \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan :

v = kecepatan, sama dengan jarak/waktu (L/t).

γ = berat volume air (g/cm^3).

γ_s = berat volume butiran padat (g/cm^3).

μ = kekentalan air absolut ($g.det/cm^2$).

D = diameter butiran tanah (mm).

Dengan menganggap $\gamma_w = 1 \text{ gr/cm}^3$,

$$D(\text{mm}) = K \sqrt{\frac{L(\text{cm})}{t(\text{detik})}} \dots\dots\dots(3.3)$$

Sedangkan

$$K = \sqrt{\frac{30\mu}{G_s - 1}} \dots\dots\dots(3.4)$$

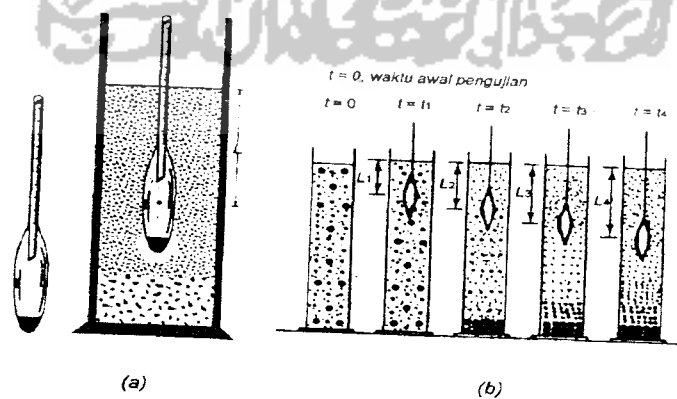
Keterangan :

K = konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur ($t^\circ\text{C}$) suspensi dan berat jenis butir tanah (G_s).

L = kedalaman efektif, yang nilainya ditentukan oleh jenis hidrometer yang dipakai dan pembacaan hidrometer pada suspensi yang dipakai.

t = waktu pembacaan.

Pada uji Hidrometer, tanah benda uji sebelumnya harus dibebaskan dari zat organik, kemudian tanah dilarutkan ke dalam air destilasi yang telah dicampuri dengan bahan pendeflokulasi (*defloculating agent*) yang dapat berupa *Sodium Hexametaphosphate* agar partikel-partikel larutan menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lain. Gambar 3.3 adalah gambar alat uji hidrometer.

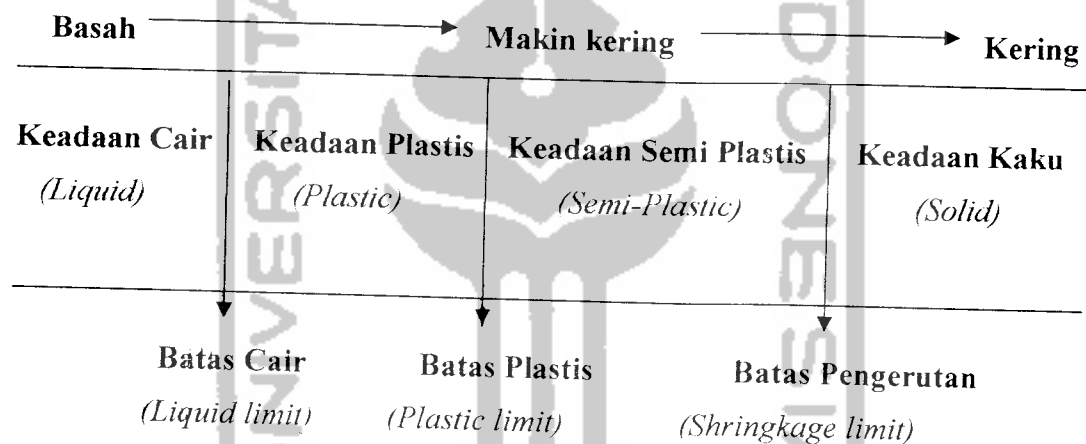


Gambar 3.3 Alat uji hidrometer

3.4 BATAS-BATAS KONSISTENSI (*ATTERBERG LIMITS*)

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 3.4 dibawah ini.



Gambar 3.4 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.

$$PL = \left(\frac{W_p - W_k}{W_k} \right) \times 100 \% \dots \dots \dots (3.5)$$

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 dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya.

Batas susut dinyatakan dalam persamaan :

$$SL = \left(\frac{V_o}{W_o} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100 \% \dots \dots \dots (3.6)$$

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 (PI) 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.

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (3.7)$$

Dengan :

PI = indek plastis.

LL = batas cair.

Pl = batas plastis.

Tabel 3.3 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

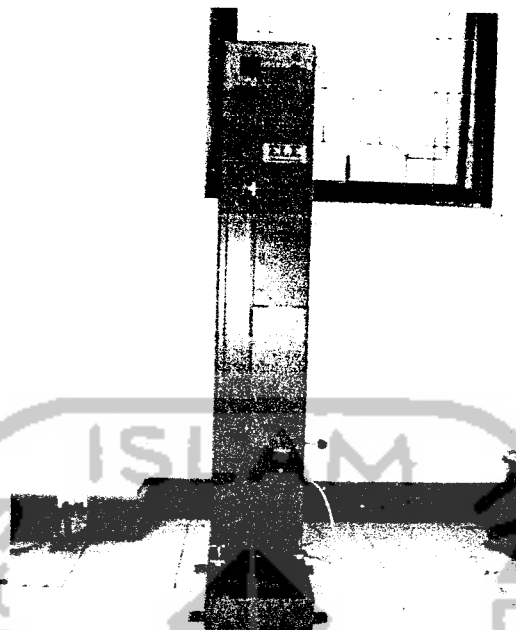
PI	Sifat	Macam tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non plastis
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

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

3.5 PEMADATAN TANAH

Pemadatan (*Compaction*) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara, tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah ini.

Derajat kepadatan tanah diukur berdasarkan satuan berat volume kering (*dry density*), yaitu masa partikel padat per satuan volume tanah. Umumnya makin tinggi derajat pemadatan, maka makin tinggi kekuatan geser dan makin rendah kompresibilitas tanah. Kerapatan kering setelah pemadatan tergantung pada kadar air dan besarnya energi yang diberikan alat pemadat. Gambar alat uji proctor standar dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Alat uji proctor standar

Hubungan berat volume tanah kering (γ_d) dengan berat volume tanah (γ_b) dan kadar air (w) dinyatakan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots\dots\dots(3.8)$$

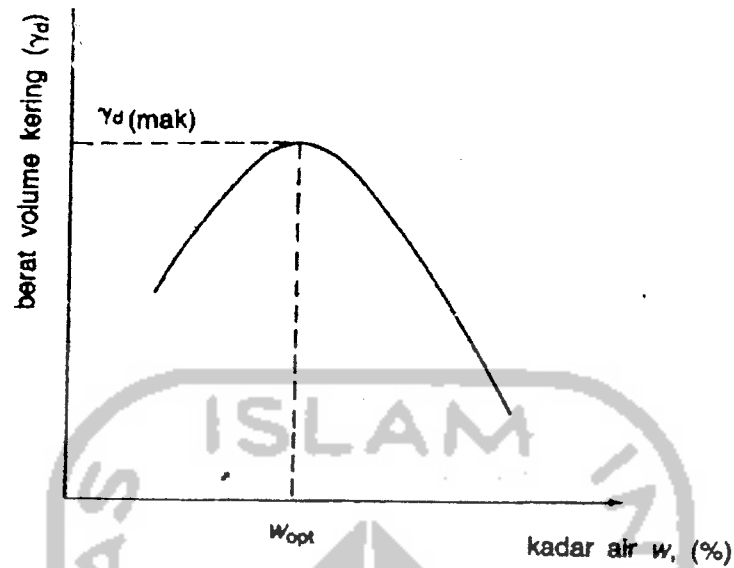
Dengan :

γ_d = berat volume tanah kering (gram/cm³).

γ_b = berat volume tanah (gram/cm³).

w = kadar air (%).

Setelah dilakukan pemadatan kerapatan butiran, kadar air dan kerapatan keringnya ditentukan. Proses ini diulangi sedikitnya lima kali dengan kadar air yang berbeda untuk jenis tanah yang sama. Dengan menggambarkan hubungan antara berat volume kering dengan kadar air, akan diperoleh kurva seperti Gambar 3.6 berikut ini.



Gambar 3.6 Hubungan berat volume kering dan kadar air

Sumber : H. C Hardiyatmo, 2002

Kurva tersebut diatas menunjukkan bahwa untuk suatu metode tertentu akan diperoleh suatu nilai tertentu, yaitu dikenal sebagai kadar air optimum (w_{opt}) yang akan menghasilkan nilai berat volume kering maksimum. Pada nilai kadar air yang rendah, sebagian tanah cenderung menjadi kaku dan sukar untuk dipadatkan. Dengan menambah kadar air tanah menjadi lebih mudah dibentuk dan dipadatkan sehingga akan menghasilkan berat volume tanah kering yang lebih tinggi. Akan tetapi pada kadar air yang tinggi berat volume kering menjadi berkurang sejalan dengan bertambahnya kadar air, yang mana air tersebut akan mengisi dan volume tanah bertambah secara proporsional.

3.6 KONSOLIDASI DAN PENURUNAN

3.6.1 Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan, proses tersebut dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah. (H. C. Hardiyatmo, 2002).

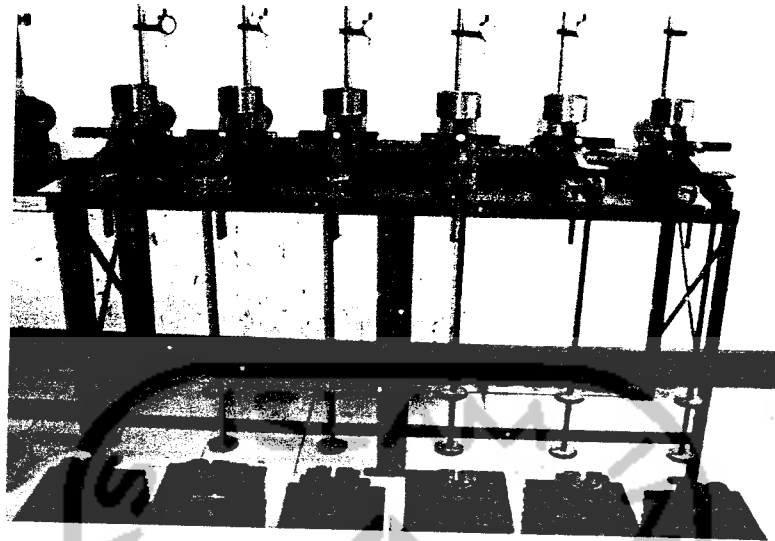
Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab-sebab yang lain.

Menurut Das 1988, Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu :

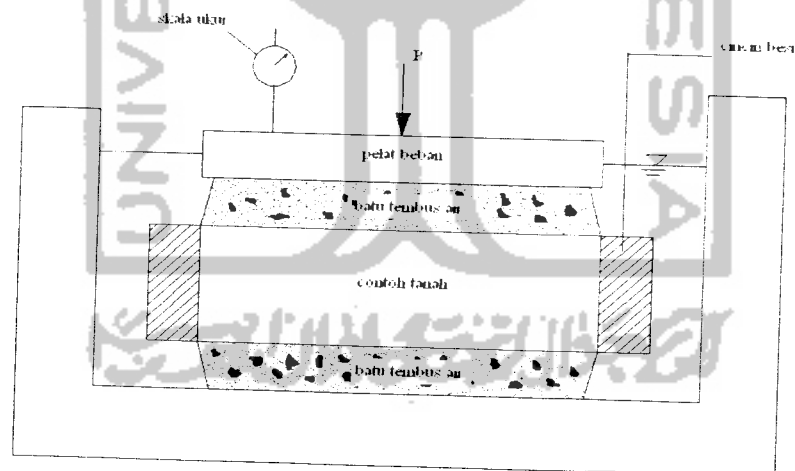
1. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
2. Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.

3.6.2 Uji Konsolidasi

Uji konsolidasi dilakukan di laboratorium dengan alat oedometer atau konsolidometer. Gambar skematis alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.7. Beban P diterapkan di atas benda uji, dan penurunan diukur dengan arloji pembacaan (*dial gauge*). Beban diterapkan dalam periode 24 jam, dengan benda uji selalu terendam air didalam sel tempat benda uji. Ilustrasi sel tempat benda uji konsolidasi dapat kita lihat pada Gambar 3.8 berikut ini.



Gambar 3.7 Alat uji konsolidasi

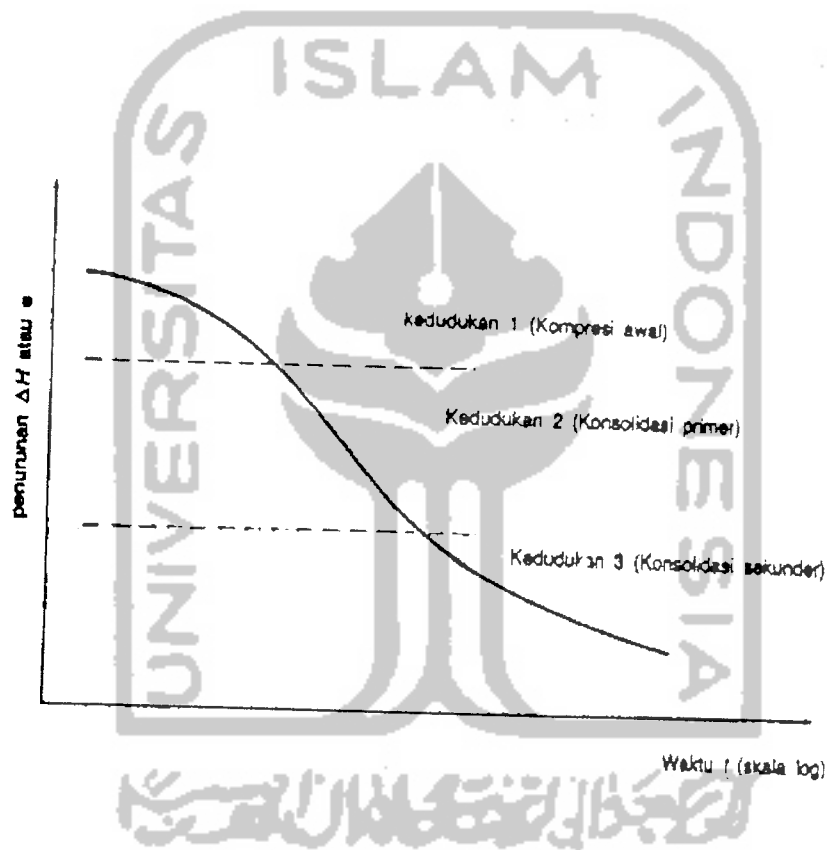


Gambar 3.8 Ilustrasi sel tempat benda uji konsolidasi

Penelitian Leonard (1962) menunjukkan bahwa hasil terbaik diperoleh jika penambahan beban adalah dua kali beban sebelumnya, dengan urutan besar beban : 0,25; 0,50; 1; 2; 4; 8; 16 kg/cm².

Untuk tiap penambahan beban, deformasi dan waktu dicatat, kemudian diplot pada grafik semi logaritmis. Gambar 3.9 dibawah memperlihatkan sifat khusus dari grafik hubungan antara penurunan (ΔH) dan logaritma waktu ($\log t$).

Kurva bagian atas (kedudukan 1), merupakan bagian dari kompresi awal yang disebabkan oleh pembebanan awal dari benda uji. Bagian garis lurus (kedudukan 2), menunjukkan proses konsolidasi primer. Bagian garis lurus terendah (kedudukan 3), menunjukkan proses konsolidasi sekunder.



Gambar 3.9 Sifat khusus grafik hubungan ΔH atau e terhadap $\log t$

Sumber: H. C. Hardiyatmo, 2003

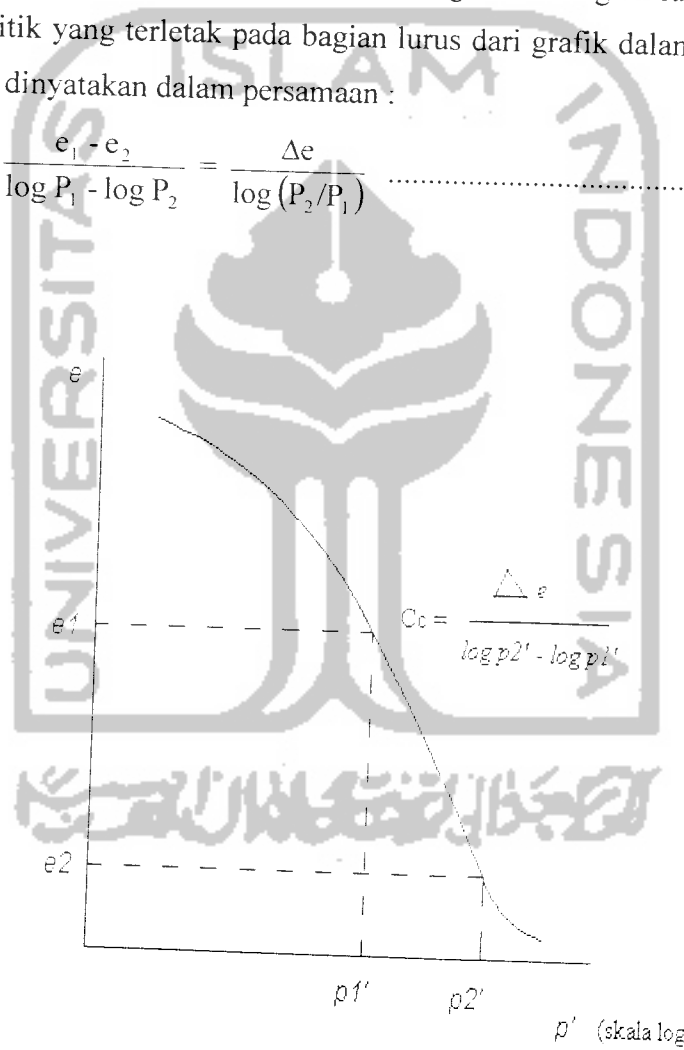
Dari gambar diatas dapat dilihat penurunan konsolidasi terbagi dari tiga kedudukan atau tiga fase yaitu :

1. Fase awal, yaitu fase dimana penurunan terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Penurunan disini terjadi akibat proses penekanan udara keluar dari dalam pori tanahnya.

2. Fase konsolidasi primer atau konsolidasi hidrodinamis, yaitu penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang meninggalkan tanahnya akibat adanya penekanan.
3. Fase konsolidasi sekunder, merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer dimana prosesnya berjalan sangat lambat. Penurunan ini jarang diperhitungkan karena pengaruhnya biasanya sangat kecil.

Indeks pemampatan (C_c) adalah kemiringan dari bagian lurus grafik e -log P untuk dua titik yang terletak pada bagian lurus dari grafik dalam Gambar 3.10, nilai C_c dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log P_1 - \log P_2} = \frac{\Delta e}{\log(P_2/P_1)} \dots\dots\dots(3.9)$$



Gambar 3.10 Indeks pemampatan (C_c)

Sumber: H. C. Hardiyatmo, 1994

Analisis konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

Tinggi efektif (tebal bagian padat) :

$$H_t = \frac{W_k}{A \cdot G_s} \dots\dots\dots(3.10)$$

Angka pori awal (e_0):

$$e_0 = \frac{H_0 - H_1}{H_1} = \frac{\Delta H}{H_t} \dots\dots\dots(3.11)$$

Angka pori pada saat pembebanan:

$$e_1 = \frac{H_1 - H_t}{H_t} \text{ atau } e_1 = e_0 - \Delta e \dots\dots\dots(3.12)$$

Derajat kejenuhan sebelum dan sesudah pengujian :

$$S_r = \frac{W_s \cdot G_s}{e} \times 100\% \dots\dots\dots(3.13)$$

Koefisien konsolidasi:

$$C_v = \frac{0,848 (d/2)^2}{t_{90}} \dots\dots\dots(3.14)$$

Tebal rata-rata :

$$d = \frac{1}{2} (H_1 - H_2) \dots\dots\dots(3.15)$$

Keterangan :

W_k = berat kering.

G = berat jenis.

H_0 = tebal sampel mula-mula.

H_1 = tebal sampel pada awal setiap beban.

H_2 = tebal sampel pada akhir pembebanan.

3.7 PERKUATAN TANAH (*SOIL 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 menahan geser (karena gesekan tanah), maka geotekstil dapat digunakan sebagai perkuatan pada tanah.

3.8 PERKUATAN TANAH DENGAN GEOSINTETIK

Pengertian geosintetik menurut ICI Fibers (1986) adalah "*a synthetic material used in soil (geo) environment*". Jadi semua bahan-bahan sintetik yang digunakan dalam pekerjaan teknik bangunan dan bahan tersebut berada dalam lingkungan tanah dapat disebut sebagai geosintetik. Selain dari sintetik (tiruan/buatan) saja. Hal ini untuk membedakan dengan bahan-bahan lain yang bukan dari bahan sintetik yang sebelumnya juga telah banyak dibuat orang untuk maksud-maksud yang hampir sama dengan salah satu fungsi geosintetik. Misalnya sebagai geotekstil, sering digunakan anyaman bambu dan rerumputan sebagai lapisan penguat dibawah timbunan tanah atau badan jalan. Meskipun dapat dianggap sebagai geotekstil, anyaman bambu dan rerumputan tersebut tidak dapat digolongkan sebagai geosintetik.

Teknik perkuatan tanah dengan Geosintetik merupakan paduan antara seni dan sains dalam penerapannya mempertimbangkan teknis dan prinsip-prinsip mekanika tanah, yaitu penerapan dalam dalam hal memilih tipe, merancang dan, membangun suatu bangunan di bawah pondasi suatu struktur, dinding penahan tanah bangunan badan jalan, dan lain sebagainya. Macam-macam Geosintetik antara lain: Geotekstil, Geogrid, Geomembran, Geokomposit, dan lain sebagainya. Dalam penelitian ini digunakan Geotekstil.

Geotekstil, yaitu bahan geosintetik yang bentuknya menyerupai bahan tekstil pada umumnya, tetapi terdiri dari serat-serat sintetis sehingga selain lentur, juga 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*).

1. Geotekstil dianyam (*woven geotextile*)

Adalah geotekstil yang cara pembuatannya menggunakan mesin penenun geotekstil. Pembuatannya merupakan gabungan dua set benang-benang paralel yang dijalin secara sistematis untuk dapat membentuk suatu struktur sebidang. Geotekstil yang ditenun dibuat dengan prinsip yang sederhana dari benang-benang hasil pintalan dalam proses persiapan (seperti : monofilamen, multifilamen, dan lain-lain), menjadi benang lungsin (*warp/sejajar* arah pembuatan geotekstil) dan benang pakan (*weft/disisipkan tegak lurus warp*) yang digabungkan secara sistematis memanjang dan melintang untuk dapat membentuk struktur sebidang. 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.

2. Geotekstil tidak dianyam (*non woven geotextile*)

Adalah geotekstil yang cara pembuatannya dengan cara penjaruman atau merekatkan serat-serat pembentuknya. Ada beberapa cara produksi dari geotekstil jenis non woven, antara lain :

a. Proses penjaruman (*Needle Punch Process*)

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 pada 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. Proses ikatan leleh (*Melt Heat Bonded*)

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.

3.8.1 Penggunaan Geosintetik di Lapangan

Geosintetik digunakan secara luas di lapangan. Pada pelaksanaannya geosintetik hampir selalu digunakan lebih dari satu fungsi kecuali geolinier yang hanya berfungsi untuk perkuatan saja. Berdasarkan bentuk dan fungsinya, penggunaan geosintetik dapat diringkas seperti pada Tabel 3.4 dibawah ini.

Tabel 3.4 Hubungan antara bentuk dan fungsi Geosintetik (Exxon, 1990)

Bentuk	Fungsi
Geotextile	Perkuatan Tanah (<i>Reinforcement</i>)
	Lapisan Pemisah (<i>Separator</i>)
	Penyaringan (<i>Filtration</i>)
	Pengendalian Erosi (<i>Erosion Control</i>)
	Penyaluran Air (<i>Drainage</i>)
Geomembran	Lapisan Pemisah (<i>Separator</i>)
	Perkuatan Tanah (<i>Reinforcement</i>)
Geogrid	Perkuatan Tanah (<i>Reinforcement</i>)
	Pengendalian Erosi (<i>Erosion Control</i>)

Lanjutan **Tabel 3.4**

Geolinear Element	Perkuatan Tanah (Reinforcement)
Geocomposite	Penyaluran Air (Drainage)
	Pengendalian Erosi (Erosion Control)
	Penyaringan (Filtration)
	Perkuatan Tanah (Reinforcement)

3.8.2 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 TANAH

Kekuatan 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 :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \Phi \dots\dots\dots(3.16)$$

Dimana :

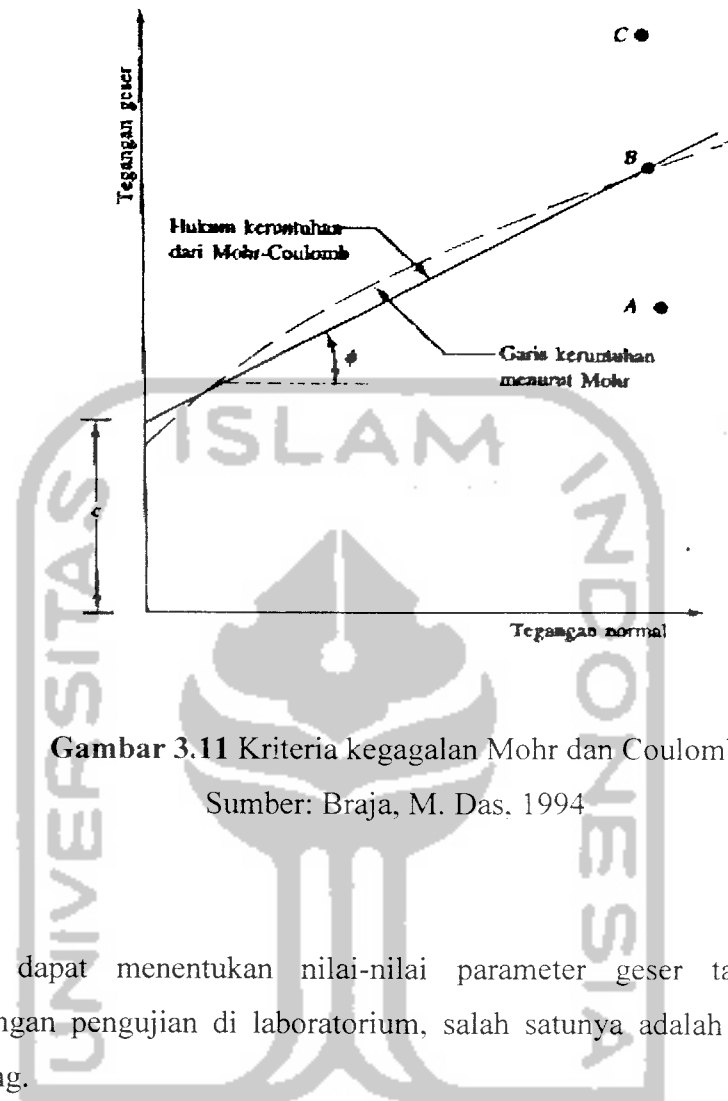
τ = kuat geser tanah

σ_n = tegangan normal pada bidang runtuh

c = kohesi tanah

Φ = 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 3.11 dibawah ini.



Gambar 3.11 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.

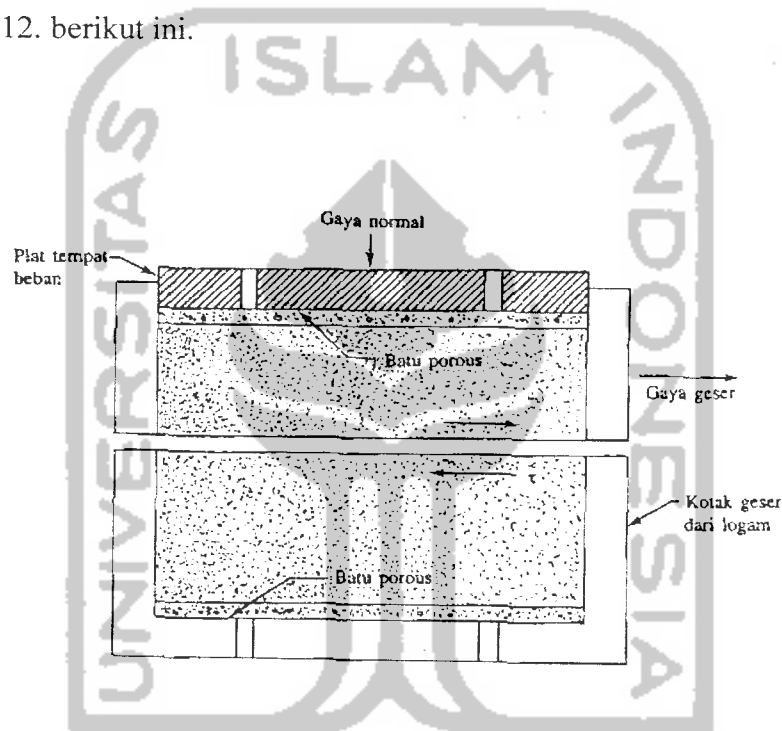
3.10 UJI GESER LANGSUNG (*DIRECT SHEAR TEST*)

Pengujian Geser langsung bertujuan untuk menentukan besar parameter geser tanah pada kondisi *consolidated undrained*. Parameter geser tanah terdiri atas sudut gesek dalam (Φ), dan cohesi (c). Kondisi *consolidated undrained* adalah dimana pada saat pelaksanaan penggeseran dilakukan pada tanah benda uji sesudah mengalami proses konsolidasi.

Alat uji geser langsung menggunakan kotak geser dari besi yang berfungsi sebagai tempat benda uji kuat geser, benda uji dapat berbentuk bujur sangkar atau lingkaran. Pengujian dilakukan dengan menempatkan contoh tanah kedalam kotak

geser dengan ukuran benda uji 6 x 6 cm, dengan tinggi 2 cm dan luas 36 cm². Kotak geser terdiri dari dua bagian sama sisi dengan arah horizontal. Gaya normal pada benda uji tanah didapat dengan menaruh suatu beban di atasnya, beban mati tadi menyebabkan tekanan pada benda uji 0,25 kg/cm², 0,5 kg/cm² dan 1 kg/cm². Gaya geser diberikan dengan mendorong sisi kotak sebelah atas sampai terjadi keruntuhan geser pada tanah.

Gambar skematis kotak tempat benda uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 3.12. berikut ini.



Gambar 3.12 Diagram susunan alat uji geser langsung

Sumber: Braja, M. Das, 1994

Uji geser langsung dilakukan beberapa kali pada sebuah benda uji tanah dengan beberapa macam tegangan normal. Harga tegangan normal dan harga tegangan yang didapat dengan melakukan pengujian dapat digambarkan dengan beberapa grafik untuk menentukan parameter kuat geser.

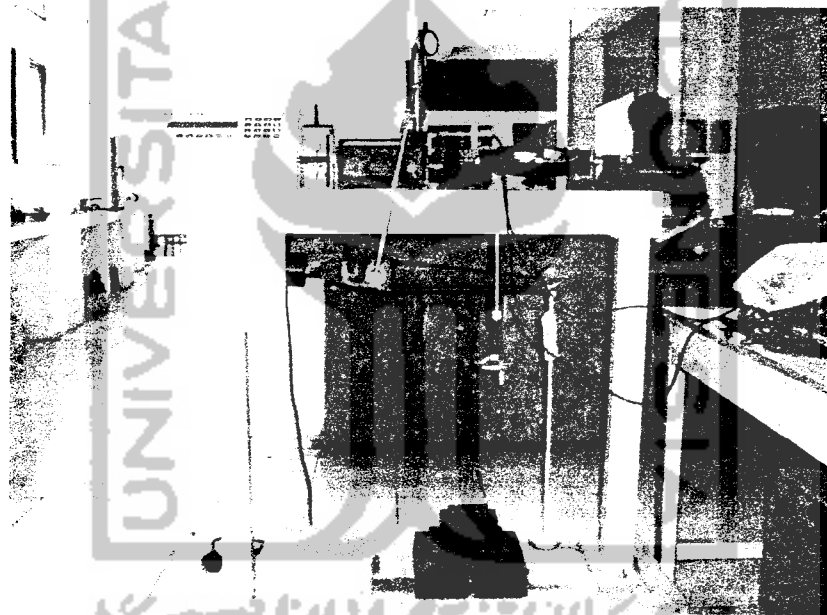
Tegangan normal dapat dihitung dengan persamaan 3.17 sebagai berikut :

$$\sigma = \text{Tegangan normal} = \frac{\text{Gaya normal yang bekerja}}{\text{Luas penampang lintang sampel tanah}} \dots\dots(3.17)$$

Tegangan geser yang melawan pergerakan geser dapat dihitung dengan persamaan 3.18 sebagai berikut :

$$\tau = \text{Tegangan geser} = \frac{\text{Gaya geser yang melawan pergerakan}}{\text{Luas penampang lintang sampel tanah}} \dots\dots\dots(3.18)$$

Gambar 3.13 berikut ini adalah gambar alat uji geser langsung laboratorium yang akan digunakan.



Gambar 3.13 Alat uji geser langsung

3.11 CBR (*CALIFORNIA BEARING RATIO*)

Pengujian CBR dimaksudkan untuk menentukan kekuatan tanah atau campuran agregat yang dipadatkan pada kadar air tertentu. Uji ini dikembangkan oleh California State Highway Departement, Amerika Serikat, 1930. CBR (*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan (dapat berupa tanah maupun material perkerasan jalan) dengan bahan

standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Biasanya pengujian CBR dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan material perkerasan jalan raya.

Prinsip pengujian CBR adalah dengan menembus sampel tanah dengan kepadatan tertentu dalam suatu tabung dengan menggunakan alat penekan standar. Alat penembus atau penetrasi yang digunakan adalah sebuah piston berpenampang bulat dengan luas 3 in² dan kecepatan konstan sebesar 0,05 in per menit dan diukur beban yang diperlukan.

$$\text{CBR} = \frac{\text{Beban hasil penetrasi}}{\text{Beban terhadap bahan standar}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.19)$$

Tabel 3.5 Hubungan antara nilai penetrasi dengan beban standar untuk pemeriksaan CBR

Penetrasi		Beban		Tekanan
(in)	(mm)	(KN)	(lbs)	(lbs/m ²)
0,1	2	11,5		
	2,5	13,24	3000	1000
	4	17,6		
0,2	5	19,96	4500	1500
		22,2		
		26,3		
		30,3		
		33,5		

Sumber : Praktikum mekanika tanah, 2004

Untuk mendapatkan design CBR, harus memperhitungkan dua faktor yaitu :

- Kadar air tanah serta berat isi kering pada waktu dipadatkan.
- Perubahan pada kadar air yang mungkin akan terjadi setelah pemadatan selesai.

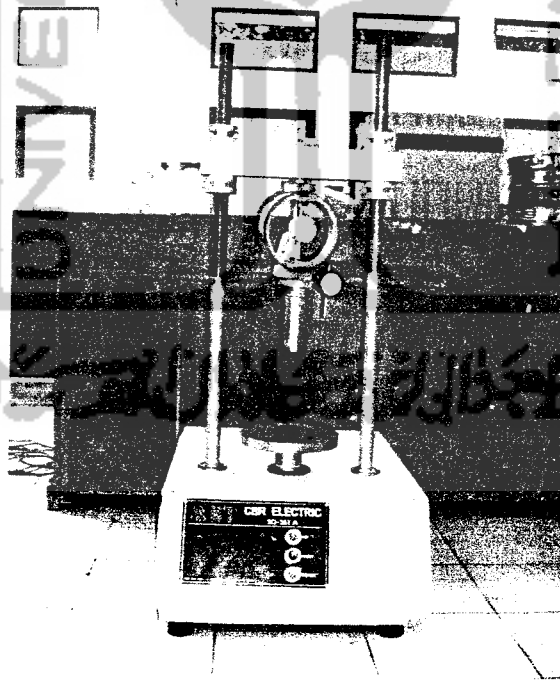
Salah satu cara untuk melakukan test CBR adalah dengan uji CBR laboratorium.

3.11.1 Percobaan CBR Laboratorium

CBR laboratorium biasanya digunakan antara lain untuk perencanaan pembangunan jalan baru dan lapangan terbang. Untuk menentukan nilai CBR laboratorium harus disesuaikan dengan peralatan dan data hasil pengujian *compaction standard/modified* dibuat mendekati \pm kadar air optimum.

Dengan menggunakan dongkrak mekanis sebuah piston penetrasi ditekan supaya masuk tanah dengan kecepatan 0,05 inci per menit. Luas piston tersebut adalah 3 inci persegi. Untuk menentukan beban yang bekerja pada piston ini dipakai sebuah “*proving ring*” yang di terpasang antara piston dan dongkrak.

Pada nilai-nilai tertentu, beban yang bekerja pada piston tercatat sehingga kemudian dapat dibuat grafik beban terhadap penetrasi. Gambar 3.14 dibawah ini merupakan gambar alat uji CBR laboratorium.



Gambar 3.14 Alat uji CBR laboratorium