BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Definisi Tanah

Secara umum tanah merupakan suatu material yang terdiri dari campuran butiran–butiran mineral dengan kandungan organik yang berasal dari pelapukan batuan secara fisik maupun kimiawi, disertai zat cair yang mengisi ruang–ruang kosong diantara butiran–butiran padat.

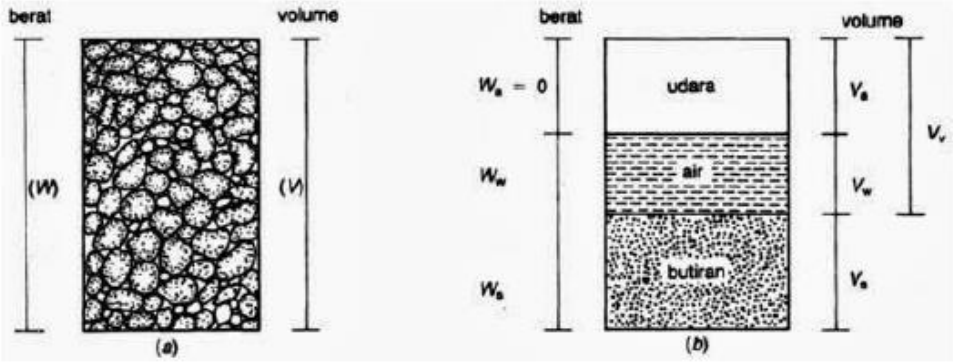
Tanah mempunyai peran penting dalam pekerjaan konstruksi karena tanah menahan seluruh beban dari konstruksi yang berada di atasnya, untuk mewujudkan konstruksi yang baik diperlukan tanah yang baik juga. Penyelidikan tanah sangat penting untuk mengetahui karakteristik tanah yang akan digunakan untuk menahan konstruksi, maka akan diketahui informasi untuk menentukan jenis perbaikan tanah yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kualitas tanah.

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan, tetapi istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat jenis tanah yang khusus. Lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedangkan pasir diGambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis (Hardiyatmo, 2006).

3.1.2 Komponen–Komponen Tanah

Komponen–komponen tanah terdiri dari tiga komponen yaitu: air, udara dan bahan padat (butiran). Udara dianggap tidak mempunyai pengaruh teknis atau dianggap sama dengan nol, sedangkan air sangat mempengaruhi sifat–sifat teknis tanah. Ruang diantara butiran–butiran dapat terisi sebagian atau seluruhnya dengan air maupun udara. Pada tanah yang kering, tanah hanya terdiri dari butiran dan udara, dalam tanah yang jenuh terdiri dari butiran dan air pori sedangkan dalam tanah tidak jenuh terdiri dari butiran, udara dan air.

Hubungan antara kadar air, angka pori porositas, berat volume dan lain-lain sangat diperlukan dalam praktik. Bagian–bagian tanah dapat digambarkan dalam diagram fase tanah yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Fase Tanah
(Sumber : Hardiyatmo, 2006)

Keterangan : V = Volume = Vv + Vs,
Vv = Volume pori = Va + Vw,
Va = Volume udara,
Vw = Volume air,
Vs = Volume butiran padat,
W = Berat tanah = Ws + Ww + Wa = Ws + Wa,
Wa = Berat udara,
Ww = Berat air,
W_s = Berat butiran padat.

3.1.3 Batas–Batas Konsistensi (*Atterberg Limit*)

Atterberg (1911), memberikan cara untuk menggambarkan batas–batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah yang bervariasi. Kadar air bervariasi pada berbagai jenis tanah. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Batas–batas tersebut dibedakan menjadi empat keadaan yaitu, padat, semi padat, plastis dan cair, kadar air yang digunakan dinyatakan dalam persen. Berikut adalah pengertian dari batas–batas konsistensi yang diberikan oleh Atterberg (1911).

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

   Batas cair (LL) merupakan keadaan kadari air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Pada keadaan ini, butiran–butiran akan tersebar dan didukung oleh air, jika kadar air berkurang akibat dari tanah yang dikeringkan, perubahan volume yang terjadi adalah karena berkurangnya air yang mengakibatkan pengurangan volume tanah.

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

   Batas plastis (PL) adalah keadaan kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semiplastis, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak retak rambut ketika digulung. Pada keadaan ini, tanah lempung berubah warnanya.

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 tanah.

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

   Indeks plastisitas (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika tanah mempunyai PI rendah, seperti tanah lanau, maka sedikit pengurangan kadar air akan mengakibatkan tanah menjadi kering, sebaliknya jika kadar air sedikit ditambahkan, maka tanah menjadi cair.

   Indeks plastisitas, sifat macam tanah dan kohesi diberikan oleh Atterberg (1911), pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

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

Sumber: Hardiyatmo (2006)

3.1.4 Klasifikasi Tanah

Pada umumnya, penentuan sifat–sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah–masalah tertentu yang ditemukan pada pekerjaan konstruksi. Klasifikasi tanah membantu perancang dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu, tetapi perancang harus berhati–hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979).

Kebanyakan klsifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi tanah. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis uji saringan, uji sedimentasi dan plastisitas.

Sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* (*USCS*) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (*AASHTO*). Sistem ini menggunakan sifat–sifat indeks tanah sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas.

Klasifikasi tanah dengan sistem *AASHTO* pertama kali diperkenalkan oleh Hoentogler dan Terzaghi, yang kemudian diambil oleh *Bureau of Public Roads*. Klasifikasi pada sistem ini berdasarkan kriteria ukuran butiran dan plastisitas. Maka dalam pengklasifikasian tanah membutuhkan pengujian analisis ukuran butiran, pengujian batas cair dan batas plastis. Sistem ini membedakan tanah dalam delapan kelompok yang diberi nama A-1 sampai A-8. Pada kelompok A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh *AASHTO* diabaikan.

Klasifikasi tanah dari sistem *USCS* mula pertama diusulkan oleh *Casagrande* (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari *USBR* (*United*

State Bureau of Reclamation). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

1. Sistem Klasifikasi *Unified*

   Pada sistem *Unified*, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau autau lempung) jika lebih dari 50% lolos dari saringan 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat dalam Tabel 3.2 simbol–simbol yang digunakan adalah sebagai berikut:

   G = kerikil (*Gravel*),

   S = pasir (*Sand*),

   C = lempung (*Clay*),

   M = lanau (*Silt*),

   O = lanau atau lempung organik (*Organic silt or clay*),

   Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*Peat and highly organic soil*),

   W = gradasi baik (*Well graded*),

   P = gradasi buruk (*Poorly graded*),

   H = plastisitas tinggi (*High-plasticity*), dan

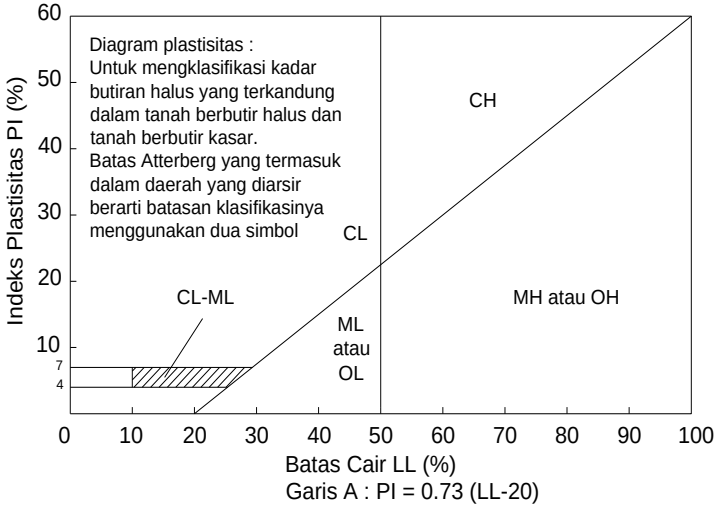
   L = plastisitas rendah (*Low-plasticity*).

`Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi *Unified*

Divisi Utama			Simbol Kelompok	Nama Jenis		Nama Jenis	
Tanah berbutir kasar 50% butiran tertahan saringan no. 200 (0,075mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir-kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus kurang dari 5% lolos saringan no.200: GW, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolosa saringan no. 200: GM, GC, SM, SC. 5% - 12% lolos saringan no. 200: batasan klasifikasi yang mempunyai simbol ganda	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
			GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir-kerikil, atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI<4	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas maka dipakai simbol ganda
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI>7	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar yang lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW	Pasir gradasi baik, psir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
			SP	Pasir gradasi buruk, pasir kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI<4	Bila batas Atterberg berada di daerah arsir dari diagram plastisitas maka dipakai dobel simbol
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		Batas-batas Atterberg di atas garis A atau PI>7	

Sumber : Hardiyatmo (2006)

Lanjutan Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi *Unified*

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Nama Jenis
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus ("*lean clays*")	
		OL	Lanau organik dan berlempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH	lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis	
		CH	lanau tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("*fat clays*")	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi	
Tanah dengan kadar organik tinggi		Pt	Gambut ("*peat*") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di *ASTM D*esignation D-2488

Sumber : Hardiyatmo (2006)

2. Sistem Klasifikasi *AASHTO*

Sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) digunakan untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud–maksud dalam lingkup tersebut. Sistem klasifikasi *AASHTO* membagi tanah kedalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub–sub kelompok. Pada tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus–rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian lolos saringan dan batas–batas *Atterberg*.

Indeks kelompok (*Group Index*) (GI) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah–tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$GI = (F - 35)[0{,}2 + 0{,}005\,(LL - 40)] + 0{,}01\,(F - 15)(PI - 10) \qquad (3.1)$$

dengan:

GI = Indeks kelompok (*Group Index*),

F = Persen butiran lolos saringan no. 200 (0,075 mm),

LL = Batas cair,

PI = Indeks plastisitas.

Bila indeks kelompok (GI) semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaan. Tanah granuler diklasifikasikan ke dalam A-1 sampai A-3. Tanah A-1 merupaka tanah granuler bergradasi baik, sedang A-3 adalah pasir bersih bergradasi buruk. Sistem klasifikasi *AASHTO* dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi *AASHTO*

Klasifikasi Umum	Material Granuler (<35% lolos saringan no.200)							Tanah-tanah lanau-lempung (>35% lolos saringan no.200)			
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5/A-7-6
Analisa saringan (% lolos)											
200 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks	50 maks	51 maks	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no.200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no.40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks Plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11min
Indeks Kelompok (G)	0		0	0		4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material pokok pada umunya	Pecahan batu, kerikil, dan pasir		Pasir halus	Kerikil berlanau ata berlempung dan berpasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

Sumber : Hardiyatmo(2006).

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.

3.1.5 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah berbutir halus yang memiliki sifat kohesif dan plastisitas, mempunyai ukuran diameter lebih kecil dari 0,075 mm atau lolos saringan no. 200. Sifat plastisitas merupakan sifat yang memungkinkan bentuk bahan berubah-ubah tanpa perubahan isi atau kembali pada bentuk aslinya tanpa menunjukan retakan atau kerusakan. Sifat plastisitas ini yang perlu diperhatikan pada jenis tanah lempung.

3.2 Stabilisasi Tanah

Perubahan sifat fisik maupun teknis pada massa tanah membutuhkan penyelidikan dan alternatif–alternatif pemecahan masalah yang dihadapi dalam penyelidikan tanah. Stabilisasi tanah merupakan proses untuk memperbaiki sifat–sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapar menaikan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser tanah tersebut. Metode stabilisasi tanah yang banyak digunakan adalah stabilisasi mekanis dan kimiawi.

Metode mekanis adalah salah satu metode untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan cara perbaikan struktur dan perbaikan sifat–sifat mekanis tanah, sedangkan stabilisasi kimiawi adalah metode menambahkan kekuatan dan kuta dukung tanah dengan cara mengurangi atau menghilangkan sifat–sifat teknis tanah yang kurang menguntungkan dengan cara mencampur tanah dengan bahan tertentu.

Stabilisasi tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis stabilisasi kimiawi, yaitu dengan memberikan bahan tambah pada tanah sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan sifat-sifat tanah tersebut. Adapun bahan yang digunakan adalah *gypsum* dan abu cangkang kelapa sawit dengan variasi yang ditentukan.

3.3 Pengujian Tanah

Pengujian tanah dilakukan untuk mengetahui karakteristik sifat fisik tanah yang meliputi pengujian fisik dan mekanik pada tanah. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

3.3.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dari tanah yang digunakan dalam penelitian, pengujian yang dilakukan antara lain.

1. Pengujian analisis ukuran butiran

   Sifat–sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya. Oleh karena itu, analisis ukuran butiran ini merupakan pengujian yang digunakan untuk penentuan persentase berat butiran pada satu unit saringan dengan ukuran diameter lubang tertentu. Pada umumnya, pengujian analisis ukuran butiran dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu analisis ayakan (*sieve analysis*) dan analisis pengendapan (*hydrometer analysis*).

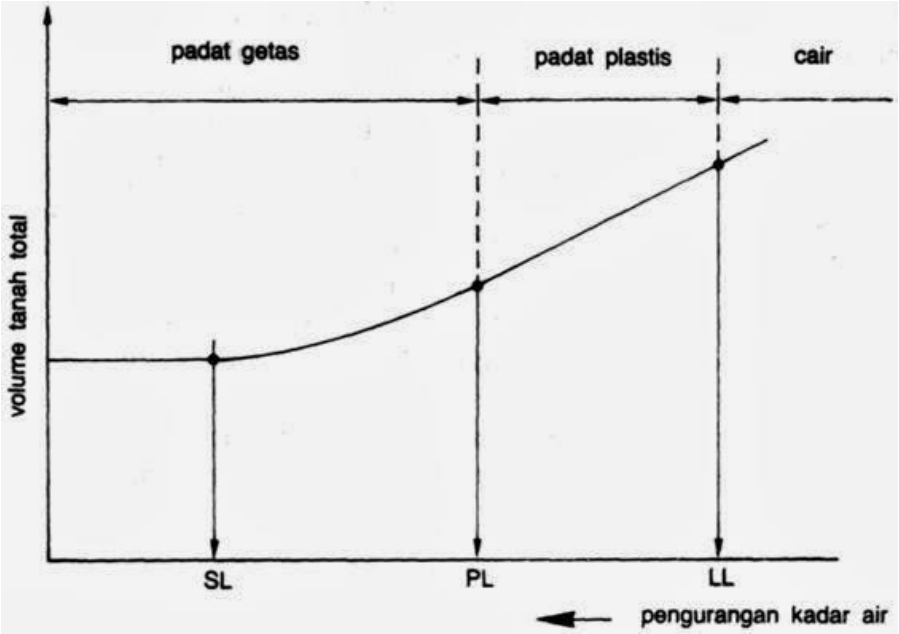
   Analisis ayakan digunakan untuk menyaring tanah berbutir kasar yang tertahan pada saringan no. 200 (lebih besar dari 0,075 mm). Pengujian analisis ayakan berpedoman pada standar pengujian *ASTM D* 422-72.

   Analisis *hydrometer* digunakan untuk tanah yang berbutir halus yang lolos saringan no. 200 (lebih kecil dari 0,075 mm) dengan cara sedimentasi. Metode ini didasarkan pada hukum *Stokes* yang berkenaan dengan kecepatan butiran mengendap pada larutan suspensi, butiran yang lebih besar akan mengendap lebih cepat dan sebaliknya butiran lebih halus akan mengendap lebih lama dalam suspensinya (Hardiyatmo, 2006). Pengujian analisis *hydrometer* berpedoman pada standar pengujian *ASTM D* 421-72.

2. Pengujian batas–batas atterberg

   Pengujian Atterberg dimaksudkan untuk mengetahui batas–batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut. Batas-batas Atterberg berguna untuk mengidentifikasi dan klasifikasi tanah, batas–batas ini sering digunakan secara langsung dalam spesifikasi, guna

mengontrol tanah yang digunakan untuk struktur urugan tanah. Hubungan variasi kadar air dan volume total dari tanah pada kedudukan batas cair, batas plastis dan batas susut dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Variasi Volume Tanah dan Kadar Air pada Kedudukan Batas Cair, Batas Platis, dan Batas Susut
(Sumber: Hardiyatmo, 2006)

a. Batas Cair (*Liquid Limit*)

   Batas Cair (LL) didefinisikan sebagai kadar air tanah batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis (Hardiyatmo, 2006). Pengujian batas cair berpedoman pada standar pengujian *ASTM D* 423-66.

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

   Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak–retak rambut ketika digulung. Pengujian batas plastis berpedoman pada standar pengujian *ASTM D* 424-74.

c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi plastis dan padat, yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya. Pengujian batas susut berpedoman pada standar pengujian *ASTM D* 427-74.

d. Indeks Plastisitas (*Plasticity Indeks*)

Indeks plastisitas (PL) adalah selisih batas cair (LL) dan batas Plastis (PL), indeks plastisitas merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis, karena itu indeks plastis merupakan sifat keplastisan tanahnya. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, macam tanah dan kohesinya dapat dilihat dalam Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.4 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Nonplastis	Pasir	Nonkohesif
< 7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber : Hardiyatmo (2006)

3.3.2 Pengujian Mekanis Tanah

Pengujian mekanis tanah dimaksudkan untuk mengetahui sifat mekanis tanah yang digunakan dalam penelitian, adapun pengujian mekanis yang dilakukan adalah.

1. Pengujian Kepadatan Tanah (*Proctor* Standar)

Pemadatan adalah suatu proses bertambahnya berat volume kering sebagai akibat dari memadatnya partikel yang diikuti dengan pengurangan volume udara dengan volume air tetap tidak berubah (Hardiyatmo, 2006). Pada praktik di lapangan pemadatan dihubungkan dengan jumlah gilasan dari mesin gilas, atau hal lain yang mempunyai prinsip yang sama untuk memadatkan volume tanah tertentu. Pada laboratorium pemadatan dihasilkan

dari tumbukan pada tanah uji, dengan menjatuhkan palu dari ketinggian tertentu selama beberapa kali pada beberapa lapisan ranah dalam suatu cetakan. Adapun maksud dari pemadatan tanah ini adalah:

a. mempertinggi kuat geser tanah,
b. mengurangi permeabilitas tanah,
c. mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas),
d. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air (Hardiyatmo, 2006).

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume dan untuk mengevaluasi agar memenuhi persyaratan kepadatan maka dilakukan pengujian pemadatan tanah. Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering supaya tanah padat, selanjutnya terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai nilai berat volume kering maksimumnya.

Pengujian pemadatan di laboratorium dilakukan dengan berpedoman pada standar pengujian *ASTM D* 698-70, dengan menggunakan silinder berukuran tertentu menggunakan alat penumbuk tertentu. Pengujian pemadatan dilakukan dengan menggunakan cetakan diameter 102 mm (4 inch), tanah yang digunakan lolos saringan no. 4. Adapun analisis dari pengujian proktor sebagai berikut.

a. Perhitungan berat volume tanah basah (kepadatan tanah), dapat dilihat pada Persamaan 3.2 beriku ini.

$$\gamma = \frac{W2 - W1}{Vo} \tag{3.2}$$

Keterangan :

γ = Berat volume tanah basah (gr/cm^3),
W1 = Berat cetakan (gr),
W2 = Berat cetakan + tanah basah (gr),
Vo = Volume (cm^3).

b. Perhitungan kadar air dapat dilihat pada Persamaan 3.3 berikut ini.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \tag{3.3}$$

Keterangan :

Ww = Berat air (gr),

Ws = Berat butiran padat (gr).

c. Derajat kejenuhan tanah diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume kering (γd) dengan berat volume basah (γ) dan kadar air (ω) dinyatakan dalam Persamaan 3.4 berikut ini.

$$\gamma d = \frac{\gamma}{1+\omega} \tag{3.4}$$

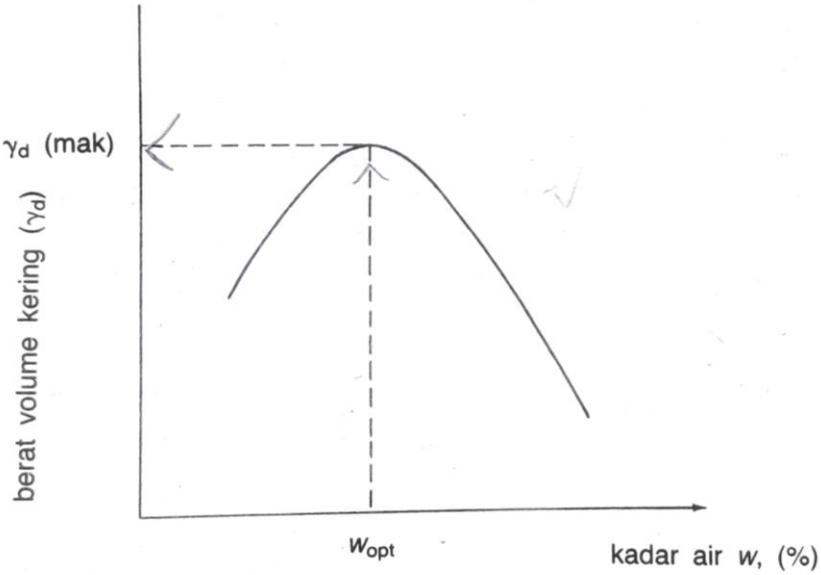
Keterangan :

γd = Berat volume tanah kering (gr/cm^3),

γ = Berat volume tanah basah (gr/cm^3),

ω = kadar air (dalam desimal).

d. Dalam pengujian pemadatan, percobaan diulang paling sedikit lima kali dengan kadar air bervariasi, kemudian digambarkan grafik hubungan antara kadar air dan berat volume keringnya. Sifat khusus kurva dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.3 Grafik Uji Proktor Standar.
(Sumber : Hardiyatmo, 2006)

Dari kurva di atas memperlihatkan kadar air yang terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum yaitu kadar air optimum.

2. Pengujian *CBR* (*California Bearing Ratio*)

California Bearing Ratio (*CBR*) dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sebagai salah satu cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). *CBR* adalah perbandingan antara beban yang dibutuhkan untuk penetrasi contoh tanah sebesar 0,1”/0,2” dengan beban yang ditahan batu pecah standar pada penetrasi 0,1”/0,2” (Sukirman, 1995). Suatu percobaan penetrasi (disebut percobaan *CBR*) dipergunakan untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang hendak dipakai untuk pembuatan perkerasan. Nilai *CBR* yang diperoleh kemudian dipakai untuk menentukan tebal lapisan perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang nilai *CBR*-nya ditentukan. Pengujian *CBR* dapat dilakukan di laboratorium atau di lapangan. Pengujian *CBR* (*California Bearing Ratio*) dengan menggunakan standar pengujian *ASTM D* 698-70, dengan analisis pengujian uji *CBR* sebagai berikut.

Perhitungan beban P dalam (lbs) dengan menggunakan Persamaan 3.6 berikut ini.

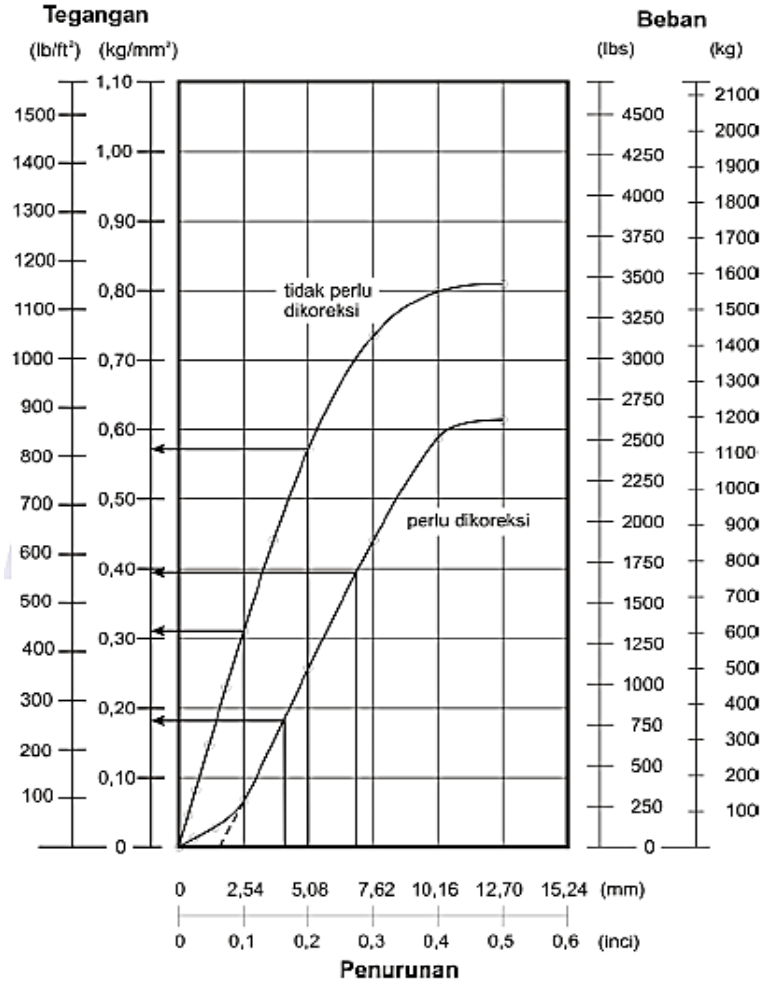
$$\text{Beban P} = k \times \text{dial} \tag{3.6}$$

Keterangan:

k = Nilai kalibrasi (lbs),

dial = Pembacaan dial (lbs).

Kemudian hubungan beban P dengan kedalaman penetrasi dimasukkan kedalam grafik, pada beberapa keadaan permulaan kurva beban cekung akibat kurang ratanya pemadatan atau sebab–sebab lain. Oleh karena itu, titik nol harus dikoreksi, grafik pengujian *CBR* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

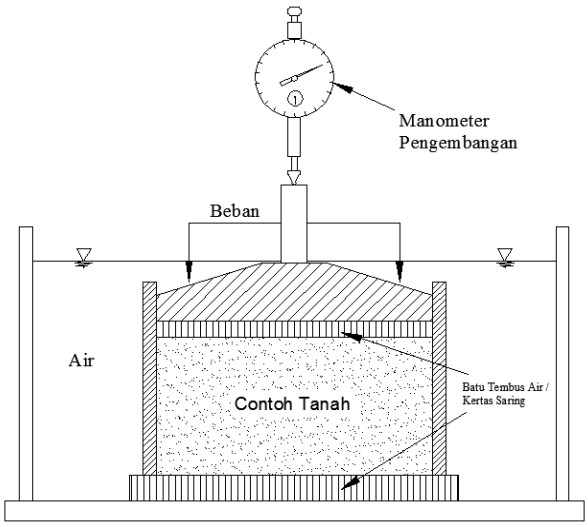


Gambar 3.4 Grafik Standar Pengujian *CBR* di Laboratorium
(Sumber : SNI-1738:2011)

Nilai *CBR* dihitung dengan membagi masing–masing beban standard *CBR* pada penetrasi 0,1” dengan beban standar 70,31 kg (1000 psi), penetrasi 0,2” dengan beban standard 105,47 kg (1500 psi) dan dikalikan dengan 100%. Umumnya nilai *CBR* diambil pada penetrasi 0,1” apabila terjadi koreksi grafis, maka beban yang dipakai adalah beban yang sudah dikoreksi pada 2,54 mm (0,1 inch) dan 5,08 mm (0,2 inch).

3. Uji Pengembangan (*Swelling*)

Swelling (pengembangan) adalah nilai perbandingan antara perubahan tinggi selama perendaman terhadap tinggi benda uji semula, dinyatakan dalam persen. Cara untuk menggambarkan sifat tanah ekspansif adalah potensi pengembanan (*swelling potential*) yang umumnya diuji dengan uji pengembangan. Uji pengembangan umumnya dilakukan pada cincin besi berbentuk silinder (contoh tanah terkekang secara lateral), seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Alat Uji Pengembangan
(Sumber: Hardiyatmo, 2006)

Awalnya, contoh tanah kering dipasangi kertas saring pada bagian atas maupun bawah lalu dibebani dengan tekanan terbagi rata sebesar 4,5 kg, kemudian direndam kedalam air dan dipasang tripod serta arlogi pembacaan dial, direndam dengan waktu 96 jam dengan waktu pembacaan dial pada selang waktu 24 jam. Lama waktu pengujian dipertimbangkan terhadap

waktu yang dibutuhkan air untuk masuk kedalam contoh tanah, karena tanah-tanah ekspansif tidak segera mengembang ketika ditambahkan air. Beberapa peneliti menunggu selama 24 jam, atau yang lain, menunggu sampai kecepatan mengembang telah mencapai kecepatan tertentu, misalnya 0,001”/jam, sehingga memerlukan waktu beberapa hari (Coduto, 1994). Untuk mendapatkan *swelling* dapat dilihat pada Persamaan 3.5 berikut ini.

$$Sw = \frac{\Delta L}{Lo} \times 100\% \qquad (3.5)$$

Keterangan :

Sw = Pengembangan (*swelling*) (%),

ΔL = Perubahan tinggi pembacaan dial (mm),

Lo = Tinggi mula–mula benda uji.

Pengembangan (*swelling*) dapat di klasifikasikan berdasarkan 4 tingkatan yang mengklasifikasikan berdasarkan persen pengembangan, adapaun klasifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5 Klasifikasi Pengembangan (*Swelling*)

Swelling Potential (%)	*Swelling Degree*
0 – 1,5	*Low*
1,5 – 5	*Medium*
5 – 25	*High*
> 25	*Very High*

Sumber : Das, (1994)