

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lempung

Lempung (*clay*) adalah bagian dari tanah yang sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis dan submikroskopis (tidak dapat dilihat dengan jelas bila hanya dengan mikroskopis biasa) yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung (*clay minerals*), dan mineral-mineral yang sangat halus lain (Braja M. Das, 1985).

Sifat-sifat tanah lempung pada umumnya terdiri dari (Hardiyatmo, 1999):

1. Ukuran butir halus (kurang dari 0,002 mm)
2. Permeabilitas rendah
3. Kenaikan air kapiler tinggi
4. Sangat kohesif
5. Kadar kembang susut yang tinggi
6. Proses konsolidasi lambat

Dari segi mineral-mineral penyusunnya, yang disebut tanah lempung adalah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang “menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air”. (Grim, 1953). Umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Diantaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polyorskite*. Dari kelompok mineral tersebut, tanah lempung dapat dibagi menjadi lempung ekspansif dan lempung non ekspansif. Tanah lempung ekspansif tersusun dari mineral lempung yang mempunyai karakter kembang dan susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air seperti pada kelompok *montmorillonite*. Kelompok ini menjadikan tanah lempung tidak stabil jika berhubungan dengan air.

Dalam klasifikasi tanah secara umum, menurut *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), *U.S. Department of Agriculture* (USDA), dan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), lempung merupakan partikel yang memiliki ukuran butiran <0,002 mm. Berdasarkan *American Standard Testing and Materials* (ASTM), ukuran partikel lempung adalah antara 0,002-0,005 mm. Sedangkan berdasarkan *Unified Soil Classification System* (USCS), lempung diklasifikasikan sebagai partikel yang memiliki ukuran butiran <0,0075 mm. Namun

demikian, dibebberapa kasus partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm masih digolongkan sebagai partikel lempung (ASTM-D-653). Disini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan ukuran saja, namun belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral- mineral lempung. Informasi tentang klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirannya disajikan dalam Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Penggolongan Tanah Oleh Beberapa Lembaga Berdasarkan Ukuran Butir

Nama Golongan	Ukuran Butiran (mm)			
	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	>2	2-0,06	0,06-0,002	<0,002
<i>U.S. Department of Agriculture (USDA)</i>	>2	2-0,05	0,05-0,002	<0,002
<i>American Association of State Highway and Transportation Official (AASHTO)</i>	76,2-2	2-0,075	0,075-0,002	<0,002
<i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	76,2-4,75	4,75-0,075	<0,0075	

2.1.1 Pengertian Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif merupakan tanah yang memiliki potensi kembang-susut yang besar pada saat bereaksi dengan air. Jika pada suatu saat terjadi perubahan kadar air, maka sistem muatan listrik dalam air higroskopis (yang terkandung dalam massa tanah) akan berubah karena terjadi penambahan muatan positif atau negatif. Hal inilah yang menyebabkan tanah ekspansif memiliki potensi kembang-susut yang besar. (*R.F.Craig, 1986*).

Selain itu tanah lempung ekspansif mineralnya didominasi oleh mineral *montmorillonite*. Mineral *montmorillonite* mudah menyerap air dalam jumlah banyak bila dibandingkan dengan mineral lainnya karena memiliki permukaan spesifik yang besar. Selain itu, ion H₂O dalam *montmorillonite* mudah lepas sehingga ketika tanah dalam kondisi basah, molekul air dapat masuk ke dalam sela antarlapisan. Akibatnya, tanah mudah mengembang dan mengakibatkan daya dukungnya rendah.

2.1.2 Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah lempung ekspansif ada tiga cara, yaitu :

- Cara langsung
- Cara tidak langsung (single index method)
- Identifikasi Mineralogi

2.1.2.1 Cara Langsung

Metode pengukuran terbaik adalah dengan pengukuran langsung, yaitu suatu cara untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan Oedometer Terzaghi. Contoh tanah yang berbentuk silinder tipis diletakkan dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan bawahnya yang selanjutnya diberi beban sesuai dengan yang diinginkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah tanah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan adalah pengembangan tanah dibagi dengan tebal awal contoh tanah. Adapun cara pengukuran tekanan pengembangan ada dua cara yang umum digunakan. Cara pertama yaitu pengukuran dengan beban tetap sehingga mencapai persentase mengembang tertinggi, kemudian contoh tanah diberi tekanan untuk kembali ke tebal semula. Cara kedua yaitu contoh tanah direndam dalam air dengan mempertahankan volume atau mencegah terjadinya pengembangan dengan cara menambah beban di atasnya setiap saat. Metode ini sering juga disebut constan volume method.

2.1.2.2 Cara Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas *Atterberg* dan uji mengembang bebas.

Dalam Kriteria Raman, penggolongan tanah ekspansif berdasarkan batas-batas *Atterberg* dapat menggunakan dua parameter yaitu PI (*Plasticity Index*) dan SI (*Shrinkage Index*), seperti yang tercantum dalam Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Parameter Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI

Plasticity Index (%)	Shrinkage Index (%)	Degree Of Expansion
< 12	< 15	Low
12 – 23	15 – 30	Medium
23 – 30	30 – 40	High
> 30	> 40	Very High

Sedangkan uji pengembangan bebas dan uji kandungan koloid. Chen (1975) berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga Chen membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP

Plasticity Index (%)	Swelling Potential
0 – 15	Low
10 – 35	Medium
35 – 55	High
> 55	Very High

Pada sebuah parameter yang disebut aktivitas menurut Skempton (1953), yang tercantum dalam rumus (2.1) berikut:

$$Activity (A) = \frac{PI}{c} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

c = Persentase lolos < 0,002 mm

2.1.2.3 Identifikasi Mineralogi

Identifikasi mineralogi berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang-susut tanah lempung. Dengan adanya identifikasi mineralogi ini dapat membedakan mineral yang satu dengan yang lain.

2.2 Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Zat Aditif

Pada penelitian ini, yang dilakukan adalah usaha untuk stabilisasi tanah menggunakan zat aditif. Zat aditif yang digunakan berupa serbuk *gypsum* dan abu ampas tebu, kedua zat aditif tersebut diharapkan dapat menambah nilai CBR, menurunkan nilai pengembangan (*swelling*) serta berat kering (γ_d) pada sampel yang diuji.

2.2.1 Serbuk *gypsum* Sebagai Bahan Stabilisator Tanah

Dalam ilmu kimia, *gypsum* disebut sebagai Kalsium Sulfat Hidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), yaitu suatu material yang termasuk kedalam mineral sulfat yang berada di bumi dan nilainya sangat menguntungkan. Sekarang ini *gypsum* banyak digunakan pada hiasan bangunan, bahan dasar pembuat semen, pengisi (*filler*) cat, bahan pembuat pupuk (*fertilizer*) dan berbagai macam keperluan lainnya.

Keuntungan penggunaan serbuk *gypsum* dalam pekerjaan teknik sipil :

- Serbuk *gypsum* yang dicampur lempung dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah tergantikan oleh kalsium pada *gypsum* sehingga pengembangannya lebih kecil.
- Serbuk *gypsum* dapat meningkatkan stabilitas tanah organik karena mengandung kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung yang memberikan stabilitas terhadap agregat tanah.
- Serbuk *gypsum* meningkatkan kecepatan rembesan air, dikarenakan serbuk *gypsum* lebih menyerap banyak air. (Sumber : www.minerals.net, opened at December,1,2005)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Diah Sari Damayanti dan Yasin Widodo (2002) didapatkan hasil bahwa dengan penambahan serbuk *gypsum* terjadi peningkatan pada kuat tekan tanah asli *undisturb*, ini menunjukkan bahwa serbuk *gypsum* dapat memperbaiki konsistensi tanah.

Dari beberapa hal yang didapat dari serbuk *gypsum* hal yang dapat dimanfaatkan adalah bahwa serbuk *gypsum* dapat meningkatkan karakteristik tanah lebih baik, ekonomis, dan bahan baku mudah didapat.

2.2.2 Abu Ampas Tebu (*Bagasse Ash*) Sebagai Bahan Stabilisator Tanah

Abu ampas tebu adalah limbah dari pabrik gula yang dihasilkan dari proses penggilingan tebu dimana ampas tebu (*bagasse*) digunakan sebagai bahan bakar proses penggilingan tersebut. Kandungan terbesar dalam abu ampas tebu

adalah silika (70,94%) sehingga diharapkan mampu memperbaiki stabilitas tanah lempung karena apabila silika bereaksi dengan unsur aluminium dalam tanah lempung maka akan mengakibatkan reaksi pozzolanik.

Abu ampas tebu sebagai *filler*, *filler* adalah kumpulan mineral yang sebagian besar lolos saringan No.200 (75 μ m). Fungsi dari *filler* adalah sebagai bahan pengisi rongga-rongga antar agregat (kasar) yang diharapkan dapat meningkatkan kerapatan dan memperkecil permeabilitas dari campuran. Disamping ukurannya yang harus relatif halus, bahan *filler* harus memiliki sifat-sifat tertentu seperti bersifat sementasi jika terkena air dan memiliki daya rekat yang tinggi dengan agregat lainnya (Mutohar, Y., 2002).

Disamping ukurannya yang harus relatif halus, bahan *filler* harus memiliki sifat-sifat tertentu seperti bersifat sementasi jika terkena air dan memiliki daya rekat yang tinggi dengan agregat lainnya (Mutohar, Y., 2002). Dari hasil penelitian yang sudah pernah dilakukan (Muntohar A. S. dan B. Hantoro, 2001),

Dari hasil analisis yang dilakukan oleh Laboratorium UPT Layanan Analisa dan Pengukuran yang direkomendasikan oleh Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang, beberapa unsur yang terkandung di dalam abu ampas tebu antara lain Si, Al, Fe, Ca, dan Mg. Prosentase masing-masing unsur ditunjukkan dalam Tabel 2.4 berikut:

Tabel 2.4 Hasil Analisis Kandungan dalam Abu Ampas Tebu

No.	Parameter	Hasil Analisis	Metode Analisis		
		Kadar	Satuan	Pereaksi	Metode
1.	Si	25,07 +0,02	%	Aquaregia	Gravimetri
2.	Al	0,11 + 0,00	%	Aquaregia-Aluminon	Spektrofotometri
3.	Fe	0,13 + 0,00	%	HNO ₃	AAS
4.	Ca	0,15 + 0,00	%	HNO ₃	AAS
5.	Mg	0,76 + 0,00	%	HNO ₃	AAS

(Sumber: Laboratorium Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, Malang)

2.3 Uji Laboratorium

Menurut Shirley (1994), jenis percobaan di laboratorium dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Sifat fisik tanah (*Index Properties*): yaitu sifat tanah dalam keadaan asli yang digunakan untuk menentukan jenis tanah.
2. Sifat mekanis tanah (*Engineering Properties*): yaitu sifat tanah jika memperoleh pembebanan dan digunakan sebagai parameter dalam perencanaan.

Sifat fisik tanah meliputi pemeriksaan kadar air tanah, berat jenis tanah, batas *atterberg*, analisa saringan, dan berat isi tanah. Sedangkan sifat mekanis tanah meliputi beberapa pemeriksaan, namun dalam penelitian ini hanya difokuskan pada pemadatan standar dan uji CBR.

2.3.1 Kadar Air Tanah (*Water Content*)

Kadar air tanah didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s). Pemeriksaan kadar air tanah (*Water Content*) dilakukan untuk menentukan perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah dinyatakan dalam persen (%). Jika dituliskan ke dalam sebuah persamaan maka akan tampak pada rumus (2.2) berikut:

$$W = \frac{(w_2 - w_3)}{(w_3 - w_1)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan keterangan:

W_1 = berat cawan (gram)

W_2 = berat cawan + tanah basah (gram)

W_3 = berat cawan + tanah kering (gram)

w = kadar air (%)

2.3.2 Analisa Saringan

Analisa saringan dilakukan untuk menentukan pembagian ukuran butir suatu contoh tanah melalui saringan dari nomor 4,20,40,50,60,80,100,200,dan pan. Nomor ukuran ayakan ditunjukkan dalam Tabel 2.5 berikut:

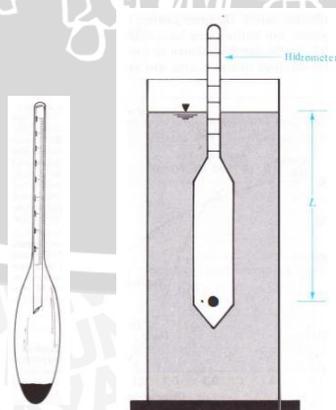
Tabel 2.5 Ukuran-ukuran ayakan standar Amerika Serikat

No. Saringan	Ukuran Lubang (mm)	No Saringan	Ukuran Lubang (mm)
4	4,75	60	0,25
6	3,35	80	0,18
8	2,36	100	0,15
10	2	140	0,106
16	1,18	170	0,088
20	0,85	200	0,075
30	0,6	270	0,053
40	0,425	Pan	
50	0,3		

2.3.3 Analisis Hydrometer

Analisis ini bertujuan untuk penentuan variasi ukuran partikel-partikel yang ada pada tanah dengan ukuran partikel berdiameter lebih kecil dari 0,075 mm. Analisis ini didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah di dalam air. Bila suatu sampel tanah dilarutkan pada air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya.

Di dalam laboratorium, pengujian hydrometer dilakukan dalam silinder pengendap yang terbuat dari gelas dan memakai 50 gram sampel tanah kering oven yang terlihat seperti pada Gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Skema Pengujian Hydrometer
(Sumber :Braja M. Das. 1988:19)

2.3.4 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan volume air pada temperatur 4°C. Nilai-nilai berat jenis tanah dan form pengisian data ditunjukkan dalam Tabel 2.6 dan 2.7 berikut:

Tabel 2.6 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis (G_s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau organik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Tabel 2.7 Form pengisian data untuk berat jenis tanah

Wt. of dry soil (W_s)					20
Wt. of picno+water+soil (W_1)					
Temperatur (°C)					
Wt. of picno + water (W_2)					
Specific Gravity of water (G_1)					
$G_s = (W_s * G_1) / (W_s - (W_1 - W_2))$					
Average specific gravity of soils G_s					

Untuk persamaan perbandingannya dapat dilihat pada Persamaan 2.3 berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan keterangan:

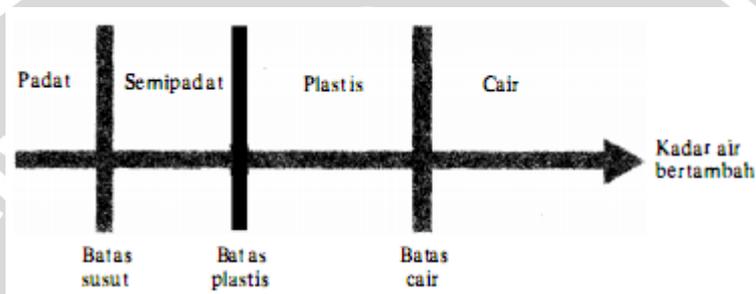
G_s = *Spesific Gravity*

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

γ_w = berat volume air (gr/cm^3)

2.3.5 Batas Atteberg (*Atteberg Limit*)

Sifat plastisitas tanah lempung, yaitu kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk dan volume yang konstan tanpa retak-retak atau remuk. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Menurut Atterberg batas-batas konsistensi tanah berbutir halus tersebut adalah batas cair, batas plastis, dan batas susut. Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis), karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah seperti pada Gambar 2.2 dibawah ini.

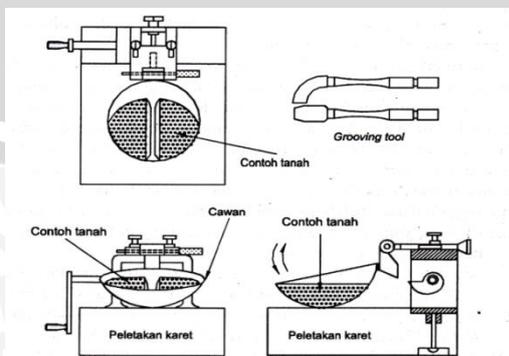


Gambar 2.2 Batas-batas Atterberg
(Sumber :Braja M. Das. 1988:43)

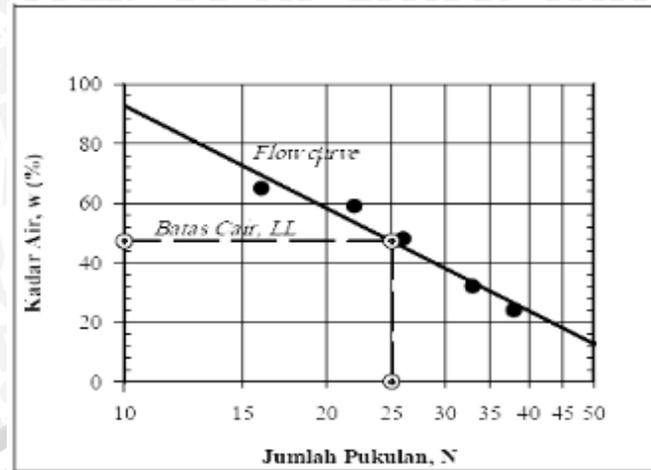
Berikut merupakan batas Atterberg lebih lengkap :

2.3.5.1 Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*Liquid Limit*) didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair ditentukan dari pengujian Casagrande (1948). Skema uji batas cair dan kurva penentuan batas cair ditunjukkan pada Gambar 2.3 dan 2.4 berikut ini.



Gambar 2.3 Skema Uji batas Cair
(Sumber: Hary C. Hardiyatmo, 2010:48)



Gambar 2.4 Kurva penentuan batas cair tanah lempung

2.3.5.2 Pendekatan Empiris untuk Indeks Pemampatan (C_c)

Segala sesuatu yang dibangun di atas tanah, harus kita pelajari terlebih dahulu jenis dan sifat tanah di lokasi pembangunan agar kita mengenali tanah ditempat pelaksanaan pembangunan. Tujuannya adalah untuk menentukan kapasitas daya dukung tanah, mengetahui kedalaman muka air tanah, memprediksi besarnya penurunan (konsolidasi) yang terjadi, dan lain sebagainya. Akibat banyaknya waktu dan pengeluaran dalam melakukan uji konsolidasi untuk mendapatkan indeks-indeks tekanan, maka sering diinginkan untuk memperoleh nilai-nilai perkiraan dengan menggunakan indeks-indeks tanah lainnya yang lebih mudah untuk ditentukan. Rumus pendekatan empiris untuk mengetahui nilai C_c digunakan untuk memperkirakan penurunan pondasi secara kasar sebelum pengujian laboratorium dilakukan (Joseph E. Bowless, 1986).

Compression index (C_c) ialah angka yang menentukan kemampuan contoh tanah untuk mengalami pemampatan yang dipakai untuk menghitung penurunan. Terzaghi dan Peck (1967) menyarankan pemakaian persamaan empiris untuk menghitung pemampatan.

Beberapa perumusan untuk menghitung indeks pemampatan yang lain banyak tersedia saat ini. Perumusan-perumusan tersebut telah dikembangkan dengan cara menguji bermacam-macam jenis lempung. Hubungan Indeks Pemampatan C_c ditunjukkan pada Tabel 2.7 berikut:

Tabel 2.8 Hubungan untuk Indeks Pemampatan C_c

Persamaan	Acuan	Daerah pemakaian
$C_c = 0,007 (LL-7)$	Skempton	Lempung yang terbentuk kembali (<i>remolded</i>)
$C_c = 0,01 WN$		Lempung Chicago
$C_c = 1,15 (e_0-0,27)$	Nishida	Semua lempung
$C_c = 0,30 (e_0-0,27)$	Hough	Tanah kohesif anorganik; lanau, lempung berlanau, lempung
$C_c = 0,0115 WN$		Tanah organik, gambut, lanau organik, dan lempung
$C_c = 0,0046 (LL-9)$		Lempung Brazilia
$C_c = 0,75 (e_0-0,5)$		Tanah dengan plastisitas rendah
$C_c = 0,208 e_0 + 0,0083$		Lempung Chicago
$C_c = 0,156 e_0 + 0,0107$		Semua lempung

Untuk lempung yang struktur tanahnya tak terganggu atau belum rusak (*undisturbed*), nilai C_c dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_c = 0,009 (LL-10) \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk lempung yang terbentuk kembali (*remolded*), sebagai berikut:

$$C_c = 0,007 (LL-10) \dots\dots\dots (2.5)$$

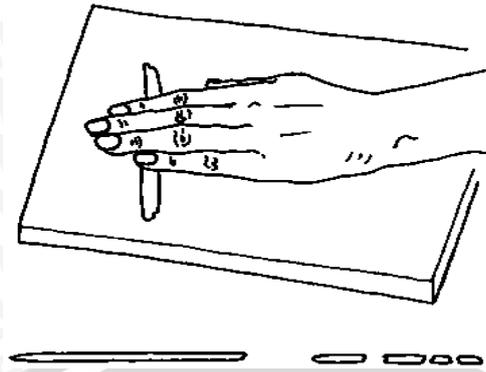
Dimana LL adalah batas cair tanah.

2.3.5.3 Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas Plastis (*Plastic Limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung. Nilai indeks plastisitas dan macam tanah serta batas uji plastis ditunjukkan pada Tabel 2.9 dan Gambar 2.5 berikut:

Tabel 2.9 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam tanah
0	Non Plastis	Pasir
<7	Plastisitas rendah	Lanau
7– 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau
>17	Plastisitas tinggi	Lempung



Gambar 2.5 Uji Batas Plastis

Sumber: infocollections.org (diakses tanggal 15-10-2014)

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (Interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis) seperti pada persamaan 2.6, karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah.

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana : PI = Plastis Indeks (%)

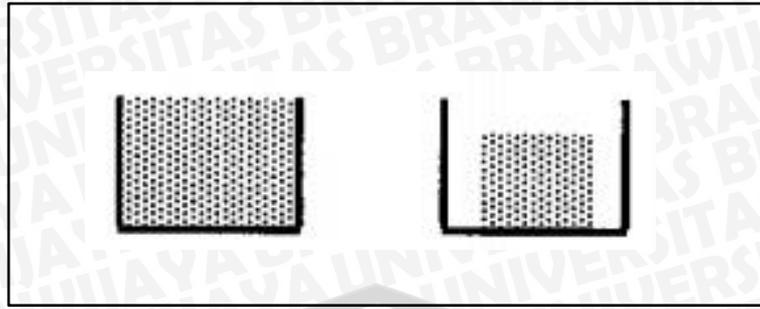
LL = Liquid Limit (%)

PL = Plastis Limit (%)

2.3.5.4 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Suatu tanah akan mengalami penyusutan bila kadar air secara perlahan-lahan hilang dari dalam tanah. Dengan kehilangan air terus menerus akan mencapai suatu tingkat keseimbangan atau telah mencapai batas susutnya. Batas susut (*Shrinkage Limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu prosentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas ini cukup penting di daerah kering dan untuk tanah jenis tertentu yang mengalami perubahan volume yaitu semakin kecil batas susut maka semakin sedikit air yang dibutuhkan untuk dapat mengubah volume. (Bowles, J. E., 1991: 39). Perbedaan volume tanah sesudah dan sebelum di oven ditunjukkan pada Gambar 2.6.





Gambar 2.6 Perbedaan volume tanah sebelum dan sesudah di oven
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

Batas susut menunjukkan kadar air atau batas dimana tanah dalam keadaan jenuh yang sudah kering tidak akan menyusut lagi, meskipun dikeringkan terus atau batas dimana sesudah kehilangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan penyusutan volume tanah dapat dihitung dengan persamaan 2.7 di bawah ini.

$$SL = \left[\left(\frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) - \left(\frac{\text{Volume Air } (\gamma_w)}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) \right] \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana : γ_w = berat jenis air (gr/cm^3)

2.3.6 Pemasatan (*Standart Proctor Test*)

Pemasatan tanah ialah dimana sejumlah tanah yang terdiri dari partikel padat, air, dan udara direduksi volumenya dengan menggunakan beban. Beban tersebut dapat berupa beban bergerak, dipukulkan, maupun yang digetarkan. Pemasatan tanah bertujuan untuk mengurangi pori udara dalam tanah, meningkatkan kuat geser tanah, dan mengurangi permeabilitas tanah.

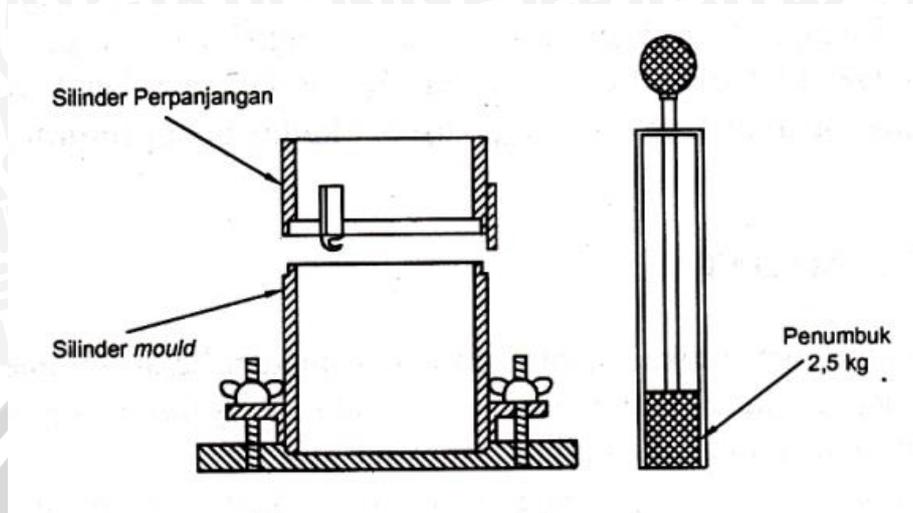
Standart Proctor Test adalah salah satu metode dalam uji pemasatan tanah. Pengujian ini menggunakan 56 pukulan pemadat seberat 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30 cm. Pukulan sebanyak 56 kali dilakukan di tiap lapisan tanah di dalam *mould* yang keseluruhan terdiri dari 3 lapisan.

Di laboratorium, pemasatan dilakukan dengan cara menggunakan daya impact, alat penekan, atau tekanan statis dengan menggunakan mesin piston dan tekanan. Tujuan pemasatan antara lain:

- Memperkuat geser tanah.
- Mengurangi sifat kompresibilitas.
- Mengurangi permeabilitas.

- Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan yang lainnya.

Alat pengujian standar proctor ditunjukkan Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Alat uji standar proctor.

(Sumber :Hary C. Hardiyatmo, 2010:82)

Uji pemadatan (*Standart Proctor Test*) dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah sehingga bisa diketahui kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Besar kepadatan diukur dalam berat jenis kering tanah (γ_d) atau kepadatan kering tanah. Uji pemadatan laboratorium ini nantinya akan digunakan pada pemadatan timbunan di lapangan.

Untuk setiap tanah yang dipadatkan, berat volume basah (γ) dari tanah dapat dihitung dengan persamaan 2.8 berikut:

$$\gamma = \frac{W}{V_{(m)}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan keterangan:

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

W = Berat tanah yang dipadatkan di dalam cetakan (gram)

$V_{(m)}$ = Volume cetakan (cm^3)

Dengan kadar air yang telah diketahui, berat volume kering (γ_d) dari tanah tersebut dapat dihitung dengan persamaan 2.9 berikut:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W}{100}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan keterangan:

γ_d = Berat volume tanah kering (gram/cm³)

w = Kadar air (%)

Harga γ_d dapat digambarkan terhadap kadar air untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum.

Untuk prosedur pelaksanaan uji pemadatan standar, telah dirinci di dalam ASTM *Test Designation* D-698 dan di dalam AASHTO *Test Designation* T-99. Untuk kadar air tertentu, berat volume kering maksimum secara teoritis didapat bila por-pori dalam tanah sudah tidak ada udaranya lagi, yaitu tanah pada keadaan derajat kejenuhan maksimum. Jadi, berat volume kering maksimum pada suatu kadar air tertentu dengan kondisi *zero air void* dengan keadaan tanah yang sudah jenuh dapat dihitung dengan persamaan 2.10 berikut:

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{1 + W.G_s} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan keterangan:

γ_{zav} = Berat volume pada kondisi *zero air void* (gram/cm³)

γ_w = Berat volume air (gram/cm³)

G_s = Berat spesifik butiran padat tanah

w = Kadar air (%)

2.3.7 CBR (*California Bearing Ratio*)

California Bearing Ratio adalah rasio dari gaya perlawanan penetrasi (*penetration resistance*) dari tanah terhadap penetrasi sebuah piston yang ditekan secara kontinu dengan gaya perlawanan penetrasi serupa pada contoh tanah standart berupa batu pecah di California dan hasilnya dinyatakan dalam persen. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2,5 dan 5,0 mm (0,1 dan 0,2 inc) dengan ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Gaya perlawanan penetrasi adalah gaya yang diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston

ke dalam tanah. Hasil pengujian dapat diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi tertentu. Penetrasi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.11 dan persamaan 2.12 berikut:

- Penetrasi 0,1” (2,5 mm)

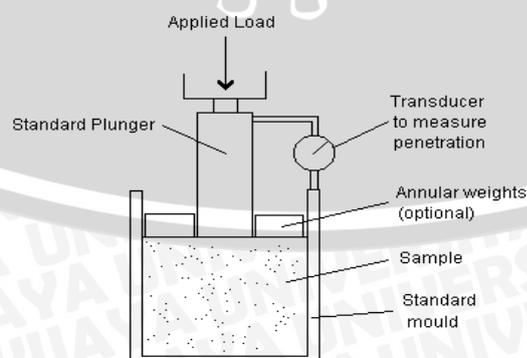
$$CBR = \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

- Penetrasi 0,2” (5 mm)

$$CBR = \frac{P_2}{3 \times 1500} \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

Persamaan diatas dikeluarkan oleh California Highway Departemen dan US Army Corps of Engineer, 1929 dalam Rollings and Rollings, J. R (1996). Pengujian CBR menggunakan 56 kali pukulan terhadap benda uji dengan pukulan pemadat seberat 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30 cm. Setiap pukulan dilakukan ditiap lapisan tanah di dalam *mould* yang terdiri dari 3 lapisan tanah.

Percobaan CBR dilakukan dengan menggunakan dongkrak mekanis yang dimana sebuah piston penetrasi ditekan agar masuk ke tanah dengan kecepatan 0,05 inchi/menit. Luas piston itu 3 inchi² . Untuk menentukan beban yang bekerja pada piston dipakai sebuah *proving ring* yang terpasang antara piston dan dongkrak. Untuk alat uji CBR dapat dilihat pada Gambar 2.10. Pada nilai penetrasi tertentu beban yang bekerja pada piston tercatat sehingga kemudian dapat dibuat grafik beban terhadap penetrasi. Harga CBR dihitung pada harga penetrasi 0,1 dan 0,2 inchi, dengan cara membagi beban pada penetrasi ini masing-masing dengan beban sebesar 3000 dan 4500 pound (Wesley 1997, 171). Skema alat uji CBR ditunjukkan pada Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8 Skema alat percobaan CBR

2.3.8 Swelling (Pembangunan)

Swelling adalah pembesaran volume tanah ekspansif akibat bertambahnya kadar air. Potensi pembesaran volume ini tergantung pada komposisi mineral, peningkatan kadar air, indeks plastisitas, kadar lempung dan tekanan tanah penutup.

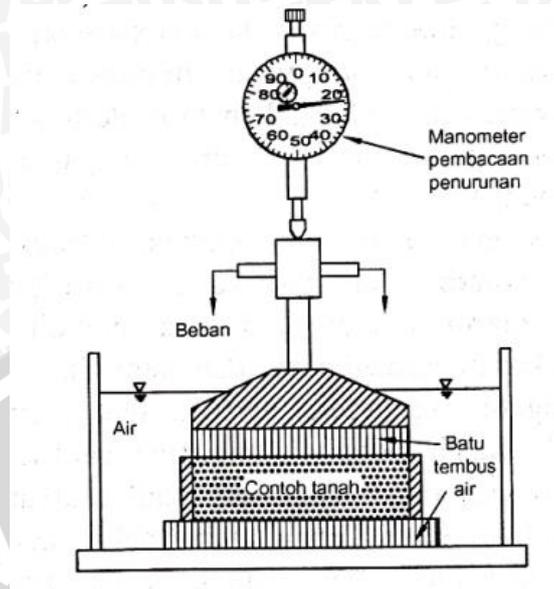
Proses pengembangan (swelling) dan penyusutan (Shrinking) tanah sebagian besar adalah akibat peristiwa kapiler atau perubahan kadar air pada tanah tersebut. Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air yang diikuti oleh kenaikan tegangan efektif menyebabkan volume tanah menyusut dan sebaliknya penambahan kadar air menyebabkan pengembangan. Besarnya pengembangan atau penyusutan tidak merata dari suatu titik ke titik lainnya sehingga menimbulkan differential movement. Perubahan itulah yang berbahaya untuk konstruksi di atasnya. Tingkat pengembangan secara umum bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

1. Tipe dan jumlah mineral di dalam tanah
2. Kadar air
3. Susunan tanah
4. Konsentrasi garam dalam air pori
5. Sementasi
6. Adanya bahan organik lain, dll.

Uji swelling merupakan salah satu bentuk uji tanah pada tanah lempung ekspansif, pada pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar pengembangan tanah lempung ekspansif bila direndam air dalam waktu tertentu. Sehingga memerlukan waktu beberapa hari. Nilai pengembangan dapat dihitung dengan persamaan 2.13 berikut:

$$Swelling = \frac{\text{pembacaan dial} \times 0,01}{\text{tinggi cetakan (mm)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

Alat uji *swelling* ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut:



Gambar 2.9 Alat uji swelling
(Sumber :Coduto,1994)

2.3.8.1 Pengujian Prosentase Mengembang

Pemeriksaan ini untuk menentukan nilai *swell* atau pengembangan akibat beban vertikal. Hal ini terjadi akibat air yang meresap ke pori-pori mengisi rongga-rongga udara sehingga terjadi perubahan isi dari dalam pori tanah yang diakibatkan adanya perubahan tekanan vertikal yang bekerja pada tanah tersebut.

2.3.8.2 Pengujian Tekanan Pengembangan

Tekanan ke tanah sangat mempengaruhi pengembangan tanah. Tekanan pengembangan yang mencegah tanah mengembang disebut tekanan pengembangan (*swelling pressure*). Chen (1988) dan beberapa peneliti berpendapat bahwa tekanan pengembangan tidak bergantung pada kadar air awal, derajat kejenuhan awal, tingkat ketebalan tanah, dan bervariasi hanya dengan berat volume kering dan oleh karena itu hal ini merupakan fundamental sifat-sifat fisik tanah ekspansif.

Untuk sampel tanah asli (*undisturbed*), Chen (1988) mendefinisikan tekanan pengembangan sebagai tekanan yang dibutuhkan untuk mencegah tanah mengembang pada berat volume kering di tempat.

Untuk tanah yang dibentuk kembali (*remolded*) pada 100% kepadatan relatif, tekanan pengembangan adalah tekanan yang dibutuhkan untuk memelihara berat volume kering tersebut (Hary C. Hardiyatmo, 2010).

Garcia-Iturbe, Martines, dan Polin (1980) dalam makalahnya mengemukakan hubungan antara potensi mengembang dengan tekanan mengembang, seperti ditampilkan pada Tabel 2.10, bisa dilihat bagaimana potensi mengembang suatu sampel tanah berdasarkan tekanan mengembangnya. Untuk nilai *swelling pressure* dibawah 2 memiliki *swelling potential* yang rendah sedangkan untuk *swelling pressure* yang memiliki nilai di atas 7 memiliki *swelling potential* yang sangat tinggi. Hubungan potensi dan tekanan mengembang ditunjukkan dalam Tabel 2.10 berikut:

Tabel 2.10 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang

Swelling Potential	Swelling Pressure
Low	<2
Medium	2-4
High	4-7
Very High	>7

2.3.8.3 Free Swell (Pengembangan Bebas)

Uji Free Swell diperkenalkan oleh Holtz (1956) sebagaimana dikutip Chen (1975), yaitu dengan cara memasukkan tanah lempung kering yang telah diketahui volumenya kemudian dimasukkan kedalam gelas ukur yang diisi air tanpa pembebanan. Pengamatan dilakukan setelah lempung mengendap.

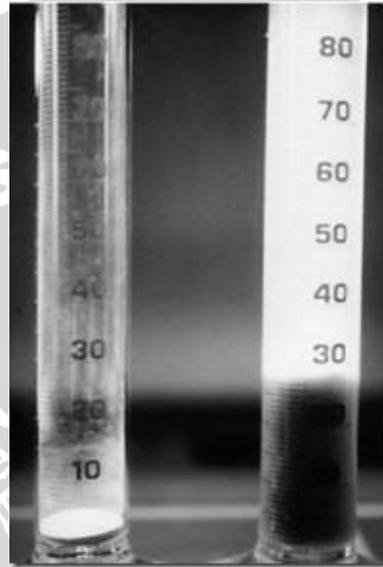
Perbedaan tinggi air atau volume awal pengamatan dengan akhir pengamatan menunjukkan perubahan volume material tanah. Persentase Free Swell adalah perbandingan perubahan volume tanah dengan volume tanah awal pengamatan.

Uji pengembangan bebas didefinisikan sebagai peningkatan volume tanah dari bentuk bubuk kering longgar ketika dituangkan

kedalam air, dan dinyatakan dalam prosentasi dari volume aslinya. Besar pengembangan bebas dapat diketahui dengan persamaan 2.14 berikut:

$$\text{Free Swell} = \frac{\text{Volume akhir} - \text{Volume awal}}{\text{Volume awal}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Untuk uji *free swell* ditunjukkan pada Gambar 2.10 berikut:



Gambar 2.10 Uji Swelling Bebas
(Sumber :civilblog.org)

Tanah dengan nilai pengembangan kurang dari 50% tidak mungkin untuk menunjukkan sifat ekspansif. Nilai 100% atau lebih yang berhubungan dengan tanah liat yang bisa mengembang jauh ketika dibasahi, terutama dibawah beban ringan. Tanah dengan potensi pengembangan yang tinggi seperti bentonit mungkin memiliki nilai pengembangan bebas hingga 200%.