

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Lempung

2.1.1. Pengertian Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan (Terzaghi, 1987). Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering, dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan.

Sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran halus lebih kecil dari 0,002 mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat Hardiyatmo (1992).

Umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Diantaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Dari kelompok mineral tersebut, tanah lempung ekspansif 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.

Struktur *montmorillonite* mirip dengan struktur *illite*, tetapi ion pemisahannya berupa ion H_2O , yang sangat mudah lepas, mineral ini dapat dikatakan sangat tidak stabil, pada kondisi tergenang, air dengan mudah masuk kedalam sela antar lapisan ini sehingga mineral mengembang, pada waktu mengering, air diantara lapisan juga mengering sehingga mineral menyusut.

Lempung ekspansif memiliki sifat yang khas memiliki kandungan mineral dengan kapasitas pertukaran ion sangat tinggi. Hal ini menyebabkan lempung ekspansif memiliki potensi kembang susut yang tinggi apabila terjadi perubahan kadar air. Sifat seperti ini dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan.

2.1.2. Klasifikasi tanah berdasarkan *Unified (U.S.C.S)*

Sistem klasifikasi tanah *unified* merupakan sistem yang paling banyak digunakan secara meluas dan secara internasional. Sistem klasifikasi tanah ini yang paling banyak dipakai untuk pekerjaan teknik pondasi seperti untuk bendungan, bangunan dan konstruksi yang sejenis. Sistem ini biasa digunakan untuk desain lapangan udara dan untuk spesifikasi pekerjaan tanah untuk jalan. Klasifikasi tanah berdasarkan Unified System ditunjukkan pada **tabel 2.1, tabel 2.2 dan gambar 2.1** dibawah.

Klasifikasi ini mengelompokkan tanah kedalam dua kelompok besar, yaitu:

- 1) Tanah berbutir kasar < 50% berat total sampel tanah lolos saringan No. 200. Simbol dari kelompok ini dimulai dengan huruf awal G (*gravel*) untuk kerikil atau S (*sand*) untuk tanah berpasir.
- 2) Tanah berbutir halus > 50% berat total sampel tanah lolos saringan No.200. simbol kelompok ini dimulai dengan huruf awal M (*silt*) untuk lanau anorganik, C (*clay*) untuk lempung anorganik, dan O untuk lanau organik dan lempung organik.

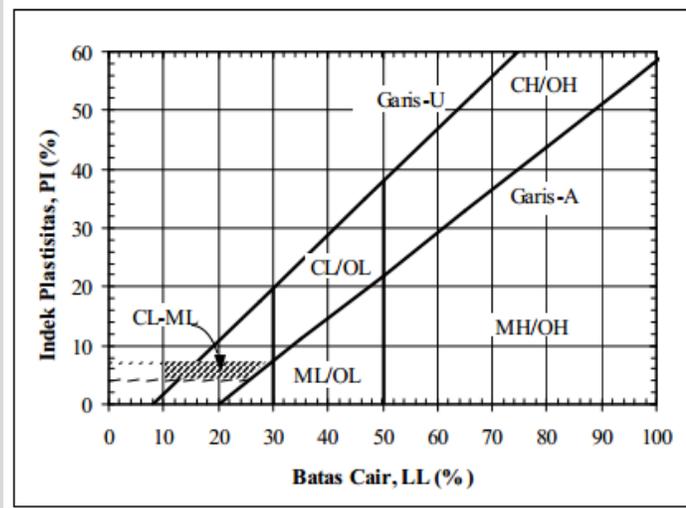
Tabel 2.1 Simbol klasifikasi tanah berdasarkan USCS

Simbol	Keterangan
G	Kerikil (<i>gravel</i>)
S	Pasir (<i>sand</i>)
M	Lanau Inorganik (<i>inorganic silt</i>)
C	Lempung Inorganik (<i>inorganic clay</i>)
O	Lanau dan Lempung Organik
Pt	Gambut (<i>peat</i>)
W	Gradasi Baik (<i>well graded</i>)
P	Gradasi Buruk (<i>poorly graded</i>)
L	Plastisitas Rendah (<i>low plasticity</i>)
H	Plastisitas Tinggi (<i>high plasticity</i>)

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berbutir*) menurut USCS

Jenis	Simbol	Nama Kelompok	Kriteria Klasifikasi
Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan saringan No.4	GW	Kerikil gradasi baik, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir – kerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ C_u dan C_c tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW
	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil – pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$ (berada di bawah garis-A)
	GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil – pasir - lempung	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis A)
Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos saringan No.4	SW	Pasir gradasi baik, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ dan $1 < C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} < 3$
	SP	Pasir gradasi buruk, berkerikil, sedikit atau tidak mengandung fraksi halus	$F_{200} < 5\%$ C_u dan C_c tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
	SM	Pasir berlanau, campuran pasir - lanau	$F_{200} > 12\%$, dan $PI < 4\%$ (berada di bawah garis-A)
	SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	$F_{200} > 12\%$, dan $PI > 7\%$ (berada di atas garis A)

*) Tanah berbutir kasar bila 50% atau lebih lolos tertahan pada saringan No.200 (R₂₀₀).



Gambar 2.1 Klasifikasi tanah berbutir halus menurut USCS

- Garis A pada umumnya memisahkan material seperti tanah liat (*clay*) dari material tanah gambut (*silty*), dan organik dari non-organik.
- Garis U menyatakan batas teratas untuk tanah pada umumnya.

Catatan: Jika batas pengukuran tanah berada di kiri garis U, maka perlu dilakukan pengecekan ulang. (Holtz and Kovacs, 1981)

2.1.3. Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

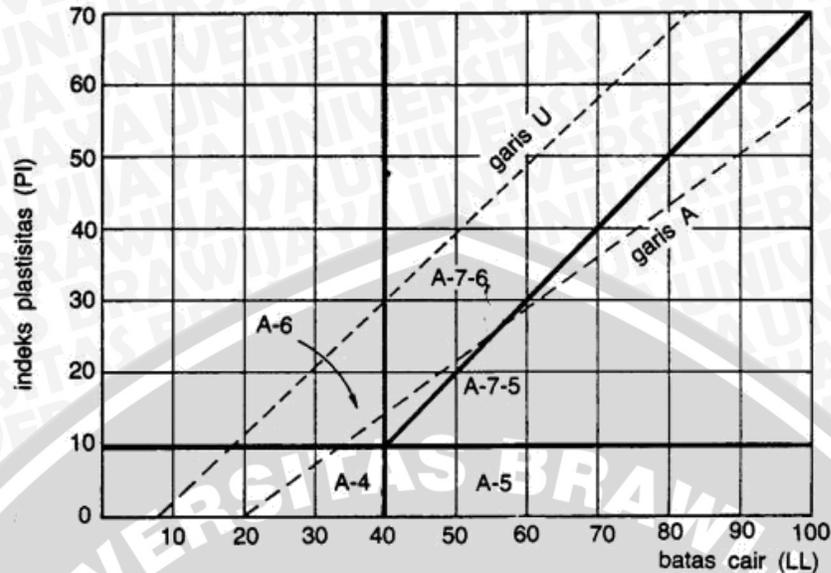
AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perencanaan timbunan jalan, *subbase*, dan *subgrade*. AASHTO mengklasifikasikan jenis tanah ke dalam 8 kelompok yaitu A-1 sampai dengan A-8. Tanah tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus empiris. Pengujian yang digunakan yaitu analisa saringan dan batas-batas *Atterberg* (Hardiyatmo 2010, 63). Sistem Klasifikasi Tanah (lanau-lempung) AASHTO ditunjukkan pada **tabel 2.3** dan **gambar 2.2** dibawah.

Secara umum klasifikasi AASHTO menganggap tanah sebagai:

1. Lebih buruk untuk dipakai dalam pembangunan jalan bila kelompoknya berada lebih di kanan dalam tabel klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO, yaitu tanah A-6 lebih buruk dibandingkan dengan tanah A-5.
2. Lebih buruk untuk digunakan dalam pembangunan jalan bila indeks kelompok bertambah untuk sub kelompok tertentu, misal tanah A-6(3) lebih buruk dari tanah A-6(1).

Tabel 2.3 Sistem Klasifikasi Tanah (lanau-lempung) AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah lanau – lempung (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6^
Klasifikasi kelompok				
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Min 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek			



Gambar 2.2 Grafik Plastisitas Untuk Klasifikasi Tanah AASHTO

Indeks kelompok digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Bila indeks kelompoknya semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaannya.

2.2. Tanah Lempung Ekspansif

Lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai sifat kembang susut yang besar, sifat kembang susut ini sangat dipengaruhi oleh kandungan air di dalam tanah tersebut. Jika kandungan airnya banyak maka tanah tersebut akan mengembang dan kekuatan daya dukungnya akan berkurang demikian sebaliknya jika kadar airnya berkurang atau kering maka tanah itu akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecah-pecah di permukaannya sedangkan daya dukungnya akan meningkat.

Tanah ekspansif juga digolongkan menurut Atterberg Limit (batas-batas Atterberg) yaitu dengan menggunakan parameter PI (Plasticity Index) berdasarkan kriteria Chen (1975). Penggolongan tanah ekspansif tersebut ditunjukkan pada **Tabel 2.4** berikut ini.

Tabel 2.4 Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP (Chen,1975)

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

Dalam kriteria Altmeyer tanah ekspansif dapat digolongkan dengan menggunakan *linear shrinkage* dan *shrinkage limit* (SL) seperti pada **tabel 2.5** dibawah ini.

Tabel 2.5 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage Limit (Altmeyer, 1955)

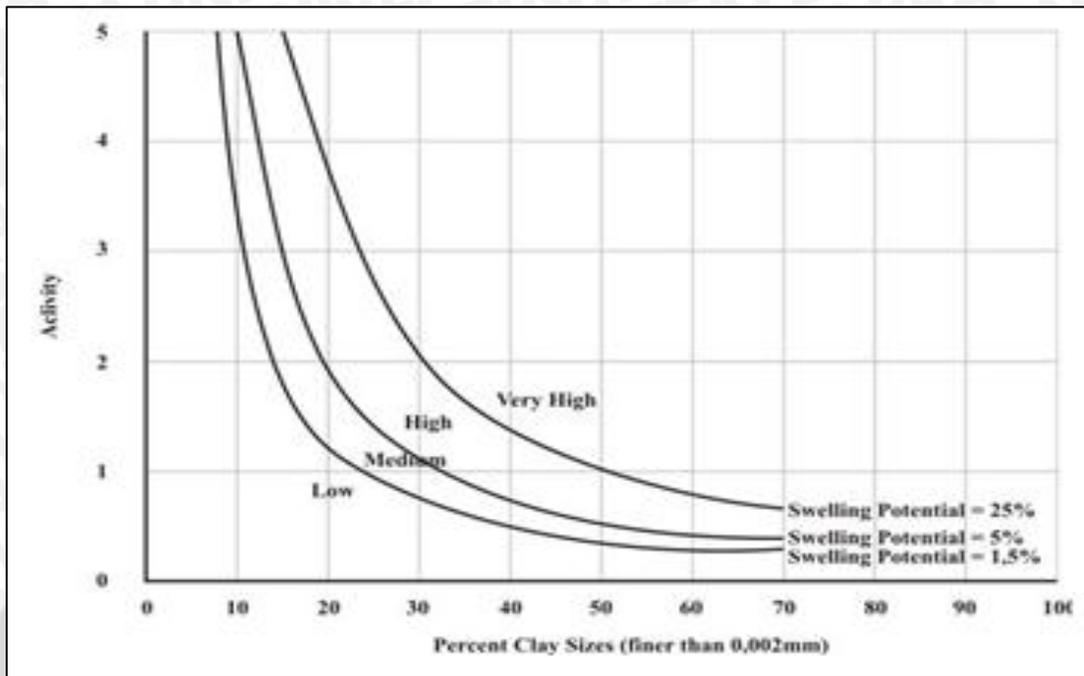
Linear Shrinkage	SL(%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	>12	< 0.5	Non Critical
5 - 8	10 - 12	0.5-1.5	Marginal
> 8	< 10	< 1.5	Critical

Sebuah parameter yang disebut aktivitas menurut Skempton (1953), tercantum dalam rumus sebagai berikut:

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

dimana :

- A = Aktivitas
- PI = Indeks Plastisitas
- C = Prosentase Ukuran Lempung (kurang dari 0,002 mm)



Gambar 2.3 Grafik klasifikasi potensi mengembang (Seed et al., 1962)

2.3. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah. Tujuan utama yang akan dicapai dari stabilisasi tanah itu sendiri adalah meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan beban serta untuk meningkatkan kestabilan tanah.

Menurut Bowles, J.E (1986) stabilisasi di lapangan dapat terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan:

1. Stabilisasi mekanis, dapat dilakukan dengan proses pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda-benda berat yang dijatuhkan, eksplosif, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Stabilisasi kimiawi, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu, sehingga terjadi reaksi kimia. Bahan yang biasanya digunakan antara lain : Portland semen, kapur tohor, atau bahan kimia lainnya.

2.3.1 Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Abu Ampas Tebu (*Baggase Ash*)

Bahan tambahan berupa abu ampas tebu merupakan hasil pembakaran ampas tebu yang telah melewati beberapa proses penggilingan. Ampas tebu dari penggilingan di pabrik gula hanya digunakan sebagai bahan bakar ketel uap. Dari ketel uap ini akan dihasilkan tenaga sebagai penggerak mesin penggiling tebu. Proses terjadinya abu ampas tebu adalah sebagai berikut :

- Batang tebu ditebang lalu diangkat ke tempat penggilingan.
- Batang-batang ini digiling untuk dikeluarkan air gulanya dan menghasilkan ampas tebu yang kemudian dikeringkan.
- Ampas tebu yang dikeringkan tersebut kemudian digunakan untuk bahan pembakaran ketel uap sebagai tenaga penggerak mesin penggiling tebu
- Hasil pembakaran ampas tebu ini menghasilkan bahan buangan yang berupa abu ampas tebu

Abu ampas tebu ini merupakan bahan buangan yang berwarna hitam pekat ketika kondisi basah dan berwarna abu-abu kehitaman dalam kondisi kering yang banyak mengandung silika (SiO_2) dan alumunium (Al_2O_3). Silika oksida (SiO_2) yang terdapat pada abu ampas tebu berbentuk amorf, yaitu suatu padatan dengan susunan partikel yang tidak teratur atau tidak berbentuk. Namun, ada juga yang memiliki keteraturan sebagian, tetapi terbatas dan tidak muncul di sebagian padatan, sehingga dari perbandingan – perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa abu ampas tebu memenuhi persyaratan sebagai stabilisator yang bersifat pozzolan. Haryono dan Sudjatmiko (2011). Perbandingan unsur kimia yang terkandung di dalam abu ampas tebu dengan pozzolan lainnya dapat dilihat pada **Tabel 2.6** dibawah ini.

Tabel 2.6. Perbandingan unsur-unsur kimia dalam abu ampas tebu dengan pozzolan lainnya (Haryono & Sudjarmiko, 2011) dalam Puri (2012)

No	Unsur Kimia	Semen	Abu sekam padi	Blast furnace slag	Trass	Silica fume	Abu ampas tebu
1	SiO ₂	20	86,55	35,85	25,71	75,54	86,2
2	Al ₂ O ₃	6	0,41	20,04	20,04	1	2,26
3	Fe ₂ O ₃	3	0,28	1,46	1,46	2	1,52
4	CaO	63	0,46	3,43	3,43	1,5	5,12
5	MgO	1,5	0,36	0,7	0,7	0,7	1,27
6	Na ₂ O	1	0,09	-	-	-	0,17
7	K ₂ O	-	1,29	-	-	-	2,08
8	MnO	-	0,14	-	-	-	0,09
9	TiO ₂	-	-	-	-	-	0,14
10	P ₂ O ₅	-	0,5	-	-	-	0,92
11	HD	2	9,76	-	-	0,74	0,12

Menurut kajian lainnya yang disampaikan Wibowo dan Hatmoko (2001), abu ampas tebu tersebut mengandung unsur-unsur kimia SiO₂, Al₂O₃, dan Fe₂O₃ yang cukup tinggi. Kandungan silika (SiO₂) adalah unsur pembentuk utama dalam pembuatan semen karena mempunyai sifat pozzolanik yaitu sifat yang seiring dengan bertambahnya waktu, apabila bereaksi dengan senyawa alumina seperti Al₂O₃ dan CaO yang terkandung dalam tanah lempung akan bertambah keras. Selain itu, struktur butiran abu ampas tebu yang sangat lepas (loose) akan sangat mudah untuk bercampur secara merata dengan tanah lempung.

2.3.2 Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Semen

Perbaikan tanah lempung ekspansif dengan semen merupakan proses kimia yang dapat merubah struktur tanah dengan jalan membentuk butiran agregat yang lebih besar sehingga akan memberikan pengaruh yang sangat menguntungkan. Peristiwa kimia terjadi antara tanah dan semen, ketika keduanya dicampur dengan menambahkan sejumlah air. Hasil dari proses pencampuran adalah semakin besar prosentase semen, berat isi kering tanah semakin bertambah dan kadar air optimum tanah semakin berkurang (Pretty, 2013). Hasil dari proses ini adalah pengurangan porositas dari tanah lempung dan bersamaan dengan ini terjadi peningkatan kekuatan dan ketahanan.

Stabilisasi tanah dengan campuran semen dianggap bisa digunakan karena semen merupakan bahan pozzolanik yang sifatnya dapat mengikat serta dapat mengeras bila

bereaksi dengan air. Dengan adanya penambahan semen ini tanah yang mengandung kadar air tertentu dapat mengeras sehingga akan meningkatkan kestabilannya.

Semen Portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara mencampurkan batu kapur yang mengandung kapur (CaO) dan lempung yang mengandung silika (SiO₂), oksida alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃) dalam oven dengan suhu kira-kira 145°C sampai menjadi klinker. Klinker ini dipindahkan, digiling sampai halus disertai penambahan 3-5% gips untuk mengendalikan waktu pengikat semen agar tidak berlangsung terlalu cepat (Aman Subakti,1994).

Semen merupakan bahan stabilisasi yang baik mengingat bahwa kemampuan mengeras dan mengikat partikel sangat bermanfaat bagi usaha mendapatkan suatu masa tanah yang kokoh dan tahan terhadap deformasi. Tipe semen yang dipakai dalam penelitian ini yaitu tipe I dengan unsur pembentukannya C₃S = 50%, C₂S = 25%, C₃A = 12%, C₂AF = 8%, CSH₂ = 5%. (Simanjuntak, 2007)

Penelitian yang dilakukan oleh S.Monintja, (2013) menggunakan Portland cement type I dan tanah lempung yang berasal dari Desa Warembungan, Kecamatan Pineleng. Penambahan semen yang dilakukan adalah dengan prosentase 4%, 6%, 8% dan 10% dari berat tanah kering. Pengaruh bahan campuran semen meningkatkan nilai CBR tanah yang awalnya sebesar 0,390% menjadi 1,115% pada campuran 10% semen.

2.4 Pengujian Index Properties Tanah di Laboratorium

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

2.4.1 Analisis Saringan dan Hidrometer

Analisis saringan dilakukan untuk menentukan pembagian ukuran butir suatu contoh tanah melalui saringan dari nomor 4,20,40,50,60,80,100,200,dan pan. Ukuran Saringan menurut ASTM ditunjukkan pada **tabel 2.7** dibawah.

Ada dua cara yang umum digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran-ukuran partikel tanah, yaitu:

- a. Analisis ayakan, untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih besar dari 0,0075 mm.
- b. Analisis hidrometer, untuk ukuran partikel-partikel berdiameter lebih kecil dari 0,0075 mm

Tabel 2.7 Ukuran Saringan menurut ASTM

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		

Sedangkan analisis hidrometer digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah dimana sampel tanah tersebut merupakan butiran tanah yang lolos saringan no. 200. Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air. Bila suatu sampel tanah dilarutkan dalam air, partikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya. Cara perhitungan prosentase tanah baik yang tertahan maupun yang lolos saringan adalah sebagai berikut:

$$\% \text{ Tertahan} = (\text{Berat tanah tertahan} / \text{berat tanah kering}) \times 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\% \text{ Lolos} = 100\% - \% \text{ Tertahan} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.4.2 Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah (*Specific Gravity*) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan volume air pada temperatur °C. Pemereiksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lolos saringan no.4 dengan picnometer. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan pada **tabel 2.8** berikut ini :

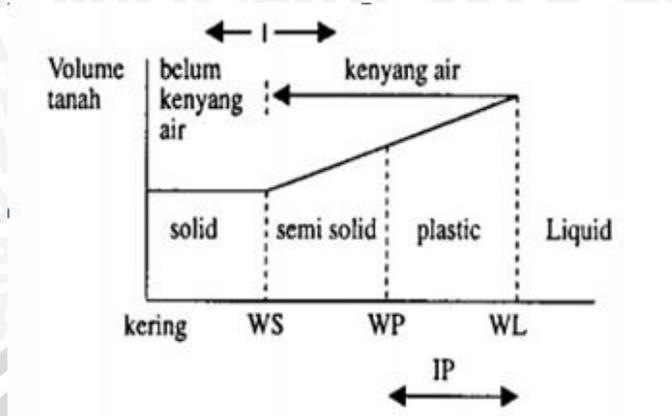
Tabel 2.8 Berat Jenis Tanah

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

2.4.3 Batas-batas Atterberg (*Atteberg Limit*)

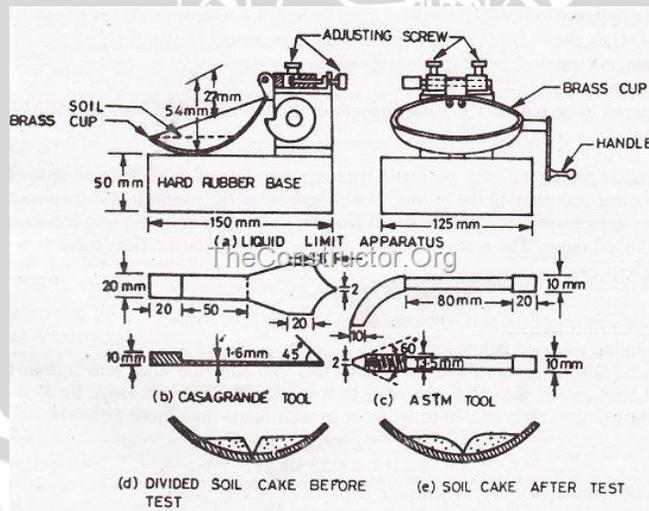
Atterberg limit merupakan ukuran dasar dari butiran halus tanah. Tergantung pada kandungan air pada tanah, tanah dapat diklasifikasikan menjadi empat kondisi, yaitu: padat, semi-padat, pastik, dan cair. Di setiap kondisi, konsistensi dan sifat dari tanah akan berbeda-beda, begitu pula sifat-sifat rekayasannya. Atterberg Limit dapat digunakan untuk membedakan antara lanau dan lempung dan juga lebih detailnya dapat membedakan antara berbagai macam lanau dan lempung.

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. Berikut ini adalah skema hubungan antara kadar air, volume tanah, konsistensinya dan batas-batas konsistensinya pada **gambar 2.4** dibawah.



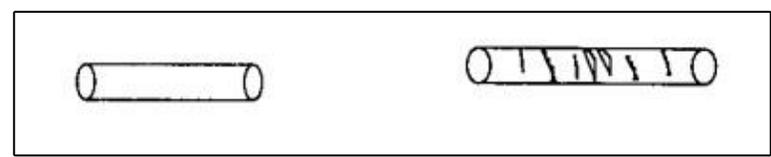
Gambar 2.4 Skema hubungan kadar air, volume, dan konsistensi (Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Cara menentukannya dapat menggunakan alat Cassagrande. Biasanya percobaan ini dilakukan terhadap beberapa contoh tanah dengan kadar air berbeda dan banyaknya pukulan dihitung untuk masing-masing kadar air. Dengan demikian dapat dibuat grafik kadar air terhadap banyaknya pukulan. Dari grafik tersebut dapat dibaca kadar air pada pukulan tertentu. Gambar kondisi tanah sebelum tes dan sesudah tes ditunjukkan pada **gambar 2.5** dibawah ini



Gambar 2.5 Gambar kondisi tanah sebelum tes dan sesudah tes (sumber : theconstructor.org)

Batas plastis (*plastic limit*) adalah kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3.1 mm. kadar air ini ditentukan dengan menggulung tanah pada plat kaca hingga berdiameter 3.1 mm atau 1/8 inch. Jika tanah mulai pecah pada saat diameternya 1/8 inchi, maka kadar air tanah itu adalah pada saat batas plastis. Gulungan tanah pada uji batas plastis terlihat pada **gambar 2.6** dibawah ini.



Gambar 2.6 Gulungan tanah pada uji batas plastis (Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

Batas susut (*shrinkage limit*) 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. Batas susut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$SL = \left[\left(\frac{\text{berat air}}{\text{berat tanah kering}} \right) - \left(\frac{\text{volume air} \times \gamma_w}{\text{berat tanah kering}} \right) \right] \times 100\% \dots \dots \dots (2.4)$$

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis (interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis), karena dapat menunjukkan sifat keplastisan tanah dengan persamaan:

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (2.5)$$

- Dimana : PI = Plastis indeks (%)
- LL = Liquid Limit (%)
- PL=Plastis Limit (%).

Jika tanah memiliki PI tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg dalam **tabel 2.9**

Tabel 2.9 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	Lanau Berlanau	Kohesif Sebagian
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

2.4.4 Pendekatan Empiris untuk Indeks Pemampatan (Compression Index C_c)

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.

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. Untuk lempung yang struktur tanahnya tak terganggu atau belum rusak (undisturbed) :

$$C_c = 0,009 (LL-10), \text{ dimana } LL \text{ adalah batas cair } (\%) \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk lempung yang terbentuk kembali (remolded) :

$$C_c = 0,007 (LL-10), \text{ dimana } LL \text{ adalah batas cair } (\%) \dots\dots\dots(2.7)$$

Beberapa perumusan untuk menghitung indeks pemampatan yang lain banyak tersedia saat ini. Perumusan-perumusan tersebut telah dikembangkan dengan cara menguji bermacam-macam jenis lempung. Sebagian dari hubungan tersebut ada pada tabel **2.10** berikut.

Tabel 2.10 Hubungan untuk Indeks Pemampatan C_c

Persamaan	Acuan	Daerah pemakaian
$C_c = 0,007$ (LL-7)	Skempton	Lempung yang terbentuk kembali (remolded)
$C_c = 0,01$ WN		Lempung Chicago
$C_c = 1,15$ ($e_o - 0,27$)	Nishida	Semua lempung
$C_c = 0,30$ ($e_o - 0,27$)	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
$C_c = 0,75$ ($e_o - 0,5$)		Tanah dengan plastisitas rendah
$C_c = 0,208 e_o + 0,0083$		Lempung Chicago
$C_c = 0,156 e_o + 0,0107$		Semua lempung

*Menurut Rendon-Herrero (1980)

Catatan: e_o = angka pori tanah di lapangan

WN = kadar air tanah di lapangan

2.4.5 Uji Pemadatan (Standart Proctor Test)

Pemadatan pada tanah adalah proses memperkecil ruangan pori dengan menggunakan beban dinamis yang dipengaruhi oleh mekanisme pergerakan dari partikel padatnya. Pada proses pemadatan untuk setiap daya pemadatan tertentu, kepadatan yang tercapai tergantung pada banyaknya air di dalam tanah tersebut, yaitu kadar airnya.

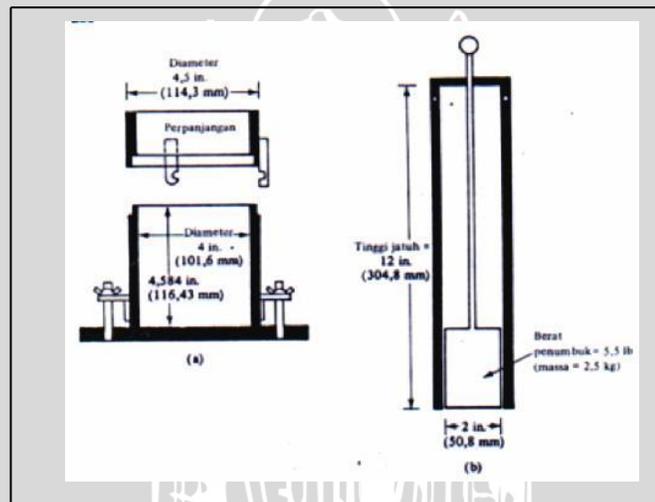
Pada setiap pengujian proctor standar akan diperoleh nilai kadar air optimum (optimum moisture content) yang menghasilkan kepadatan maksimum (berat volume kering maksimum). Pada kadar air lainnya, baik di daerah kering atau di daerah basah terhadap kadar air optimumnya, akan diperoleh kepadatan yang lebih kecil dari kepadatan maksimumnya. Makin jauh dari kadar air optimumnya, maka kepadatan yang akan didapatkan akan semakin kecil pula.

Tujuan dari pemadatan tanah adalah :

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)

3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lain

Sifat-sifat teknis tanah lempung setelah pemadatan akan sangat tergantung pada cara atau usaha pemadatan, jenis tanah, dan kadar air. Pada percobaan Proctor, usaha pemadatan yang dilakukan dengan lima lapisan akan memberikan hasil yang lebih padat dibandingkan dengan pemadatan tiga lapisan. Jadi dengan usaha pemadatan yang lebih besar, akan diperoleh tanah yang lebih padat atau berat volume keringnya semakin besar. Biasanya kadar air tanah yang dipadatkan didasarkan pada posisi-posisi kadar air sisi kering optimum (*dry side of optimum*), dekat optimum, atau optimum dan sisi basah optimum. **Gambar 2.7** dibawah ini menunjukkan Alat Standar Proctor, cetakan, dan penumbuk



Gambar 2.7 Alat Standar Proctor: (a) cetakan ; (b) Penumbuk
(Sumber: Das, Mekanika Tanah, Jilid 1, hal 236)

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

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

Dengan keterangan:

γ = Berat volume tanah basah (gram/cm³)

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

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

Dengan kadar air yang telah diketahui, berat volume kering (γ_d) dari tanah tersebut dapat dihitung dengan persamaan 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 pada pelaksanaan uji pemadatan standar, 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 ditulis dengan persamaan 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

2.4.6 Uji 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. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2.5 dan 5.0 mm (0.1 dan 0.2 in) dengan

ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Gaya perlawanan penetrasi adalah gaya yang diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston ke dalam tanah.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai daya dukung tanah dalam keadaan padat maksimum. Harga CBR adalah perbandingan antara kekuatan bahan yang bersangkutan dengan kekuatan bahan yang dianggap standar. Harga CBR dinyatakan dalam persen (%) dan Cara yang digunakan untuk menilai kekuatan tanah dasar adalah suatu percobaan penetrasi yang disebut percobaan CBR. Dimana hasil percobaan tersebut dapat digambarkan pada suatu grafik untuk mendapatkan tebal perkerasan dari suatu nilai CBR tertentu. Percobaan CBR mempunyai dasar teoritis dan grafik tabel perkerasan terhadap nilai CBR. Harga CBR yang dicari yaitu harga CBR dilaboratorium.

CBR laboratorium diukur dalam 2 kondisi, yaitu pada kondisi tidak terendam disebut CBR Unsoaked dan pada kondisi terendam atau disebut CBR Soaked, pada umumnya harga CBR Soaked lebih rendah dari CBR Unsoaked. Namun demikian kondisi Soaked adalah kondisi yang sering dialami di lapangan, sehingga di dalam perhitungan konstruksi bangunan, harga CBR Soaked yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi konstruksi bangunan.

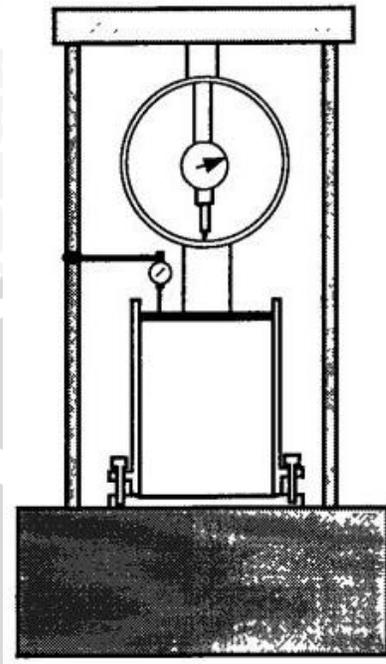
Umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1 inc. Apabila terjadi koreksi grafik, maka beban yang dipakai adalah beban yang sudah dikoreksi pada 2,54 mm (0,1 inc) dan 5,08 mm (0,2 inc). Dengan catatan apabila nilai CBR pada 0,1 inc lebih kecil dari 0,2 inc maka percobaan harus diulang. Apabila pada pengujian yang kedua ini masih lebih kecil pada 0,1 inc, maka nilai CBR yang dipakai adalah yang terbesar. Besar nilai CBR dapat dinyatakan menurut perhitungan sebagai berikut :

- Penetrasi 0,1" (2,5 mm)

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

- Penetrasi 0,2" (5 mm)

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



Gambar 2.8 Alat uji CBR

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. Pada nilai penetrasi tertentu beban yang bekerja pada piston tercatat sehingga kemudian dapat dibuat grafik beban terhadap penetrasi. Beban standar ditentukan berdasarkan ASTM D698 dan ASTM D1557, dimana beban standar untuk tanah lempung adalah 3000 lbs pada penetrasi 0,1 inchi dan 4500 lbs pada penetrasi 0,2 inchi. Kekuatan tanah dasar banyak tergantung pada kadar airnya. Semakin tinggi kadar airnya maka semakin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut (Wesley 1997, 171). Beban ini adalah beban standard yang diperoleh dari percobaan terhadap standard material yang dianggap mempunyai CBR-100%. Jadi harga CBR adalah perbandingan antara kekuatan tanah yang bersangkutan dengan kekuatan bahan agregat yang dianggap standard (Wesley 1997, 174).

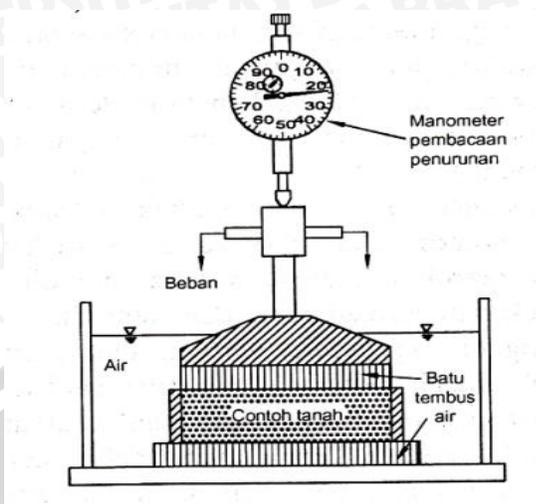
2.4.7 Uji Swelling (Pembengangan Tanah)

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. 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 dilakukan di silinder berbahan logam. Waktu yang dibutuhkan untuk pengujian dipertimbangkan terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk masuk ke dalam tanah, karena tanah ekspansif tidak segera mengembang ketika berinteraksi dengan air. Beberapa penelitian melakukan pengujian ini selama 2 jam dan menunggu sampai kecepatan mengembang mencapai kecepatan tertentu ($0,001''/\text{jam}$), sehingga memerlukan waktu beberapa hari. Pengujian swelling dapat dilihat pada **gambar 2.9** dibawah ini.



Gambar 2.9 Pengujian Swelling

2.4.8 Uji Free Swell (Pengembang bebas)

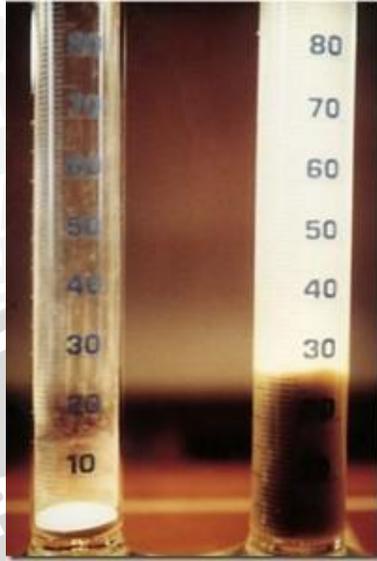
Uji Free Swell diperkenalkan oleh Holtz (1956) sebagaimana dikutip Chen (1975), yaitu dengan cara memasukkan tanah lempung kering yang telah diketahui volumenya kemudian dimasukkan kedalam gelas ukur yang diisi air tanpa pembebanan. Pengamatan dilakukan setelah lempung mengendap.

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 perbandingan berikut :

$$\text{Pengembangan bebas} = \frac{\text{Volume akhir}-\text{Volume awal}}{\text{Volume awal}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

Tanah dengan nilai pengembangan kurang dari 50% tidak mungkin untuk menunjukkan sifat ekspansif. Nilai 100% atau lebih yang berhubungan dengan tanah bisa mengembang jauh ketika dibasahi, terutama dibawah beban ringan. Tanah dengan potensi pengembangan yang tinggi seperti bentonit mungkin memiliki nilai pengembangan bebas hingga 200%. Uji Swelling Bebas dapat dilihat pada **gambar 2.10** dibawah ini.



Gambar 2.10 Uji Swelling Bebas

