

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tanah

Tanah merupakan hasil pelapukan batuan karena proses fisika (panas, dingin, membeku, dan mencair) maupun kimia (hidrasi dan oksidasi). Dari proses pelapukan tersebut, terbentuk berbagai jenis tanah yang kemudian diklasifikan berdasarkan kriteria-kriteria tertentu.

Dalam klasifikasi secara garis besar, tanah dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan ukuran partikel tanah yang sangat beragam dengan variasi yang cukup besar. Pada umumnya pembagian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kerikil (*gravel*), yaitu kepingan-kepingan batuan yang kadang juga termasuk partikel mineral *quartz* dan *feldspar*.
2. Pasir (*sand*), yaitu sebagian besar terdiri dari mineral *quartz* dan *feldspar*.
3. Lanau (*silt*), yaitu sebagian besar fraksi mikroskopis (yang berukuran sangat kecil) dari tanah yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus, dan dari pecahan-pecahan mika.
4. Lempung (*clay*), yaitu sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopis (berukuran sangat kecil) dan submikroskopis (tak dapat dilihat dengan kasat mata, hanya dengan mikroskop) yang ukurannya lebih kecil dari 2 mikron.

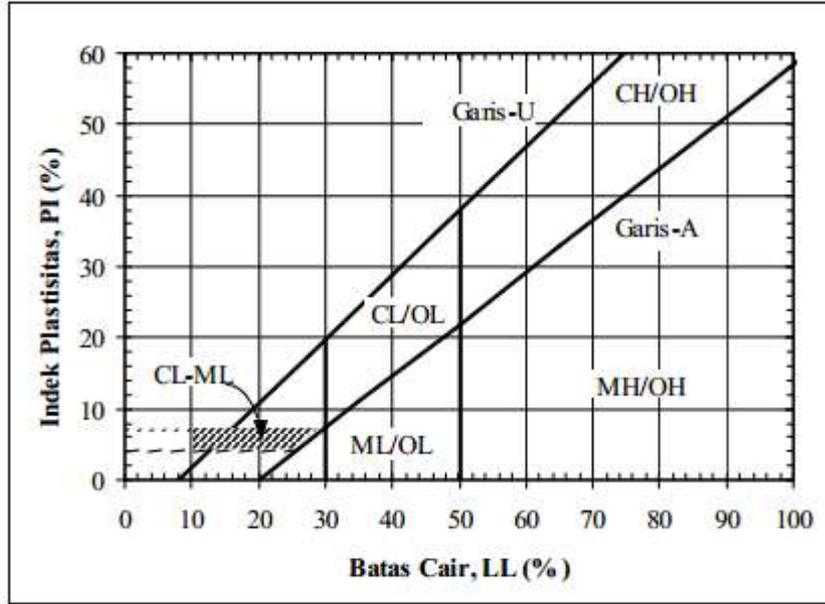
Dalam klasifikasi menurut system *Unified*, setiap tanah diberi simbol dua huruf dan dari simbol tersebut dapat diketahui jenis dan sifatnya.

Huruf pertama menunjukkan jenisnya, missal:

- G = kerikil (*gravel*)
- S = pasir (*sand*)
- M = lanau (*silt*)
- C = lempung (*clay*)
- O = tanah organik

Huruf kedua menunjukkan sifatnya

- W = bergradasi baik (*well graded*)
- P = bergradasi jelek (*poorly graded*)
- M = mengandung lanau
- C = mengandung lempung
- L = bersifat plastis rendah (*low plasticity*)
- H = bersifat plastis tinggi (*high plasticity*)



Gambar 2.1 Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah sistem *Unified*

Tabel 2.1 Klasifikasi tanah menurut *Unified*  
(Sumber : Braja M. Das ,1995:71)

Divisi utama	Simbol kelompok	Nama umum		
Tanah Berbutir Kasar Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No. 200†	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lebih dari 50% lolos ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Kerikil dengan butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Lebih dari 50% butiran kasar atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir - lempung
Tanah Berbutir Halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan Lempung Batas cair 50% atau kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	
		CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)	
		OL	Lanau - organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah	
	Lanau dan Lempung Batas cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis.	
		CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)	
		OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi	
		PT	Peat (gambut), muck, dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	

\*Menurut ASTM (1982)

† Berdasarkan tanah yang lolos ayakan 75 mm (3 in)



### 2.1.1 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan suatu jenis tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu dan menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air (Grim, 1953). Partikel-partikel tanah berukuran yang lebih kecil dari 2 mikron, atau < 5 mikron menurut sistem klasifikasi yang lain, disebut saja sebagai partikel berukuran lempung daripada disebut lempung saja. Partikel-partikel dari mineral lempung umumnya berukuran koloid (< 1 mikron) dan ukuran 2 mikron merupakan batas atas (paling besar) dari ukuran partikel mineral lempung. Namun, tanah yang berukuran lebih kecil dari 2 mikron belum tentu termasuk jenis lempung. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi perlu diketahui mineral yang terkandung didalamnya serta dapat menghasilkan sifat plastis bila dicampur dengan air.

Hardiyatmo, 1999 menjelaskan bahwa sifat-sifat tanah lempung pada umumnya adalah sebagai berikut:

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

ASTM D-653 memberikan batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm. Tanah ini merupakan jenis 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). Lempung mengandung leburan silika dan/atau aluminium yang halus. Unsur-unsur ini, silikon, oksigen, dan aluminium adalah unsur yang paling banyak menyusun kerak bumi. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi. Lempung membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Sifat ini ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasi.

Pada umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Dalam klasifikasi mineral tersebut dikelompokkan menjadi: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. Dari 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.

### 2.1.2 Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif merupakan jenis lempung yang memiliki sensitifitas tinggi terhadap perubahan kadar air sehingga sifat kembang susutnya juga besar. Jika kandungan airnya besar maka tanah ini akan mengembang dan mengakibatkan berkurangnya daya dukung tanah tersebut demikian sebaliknya jika kadar airnya berkurang atau kering maka tanah tersebut akan menyusut dan mengakibatkan tanah pecah-pecah di permukaannya namun daya dukungnya 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 2.2** berikut ini.

**Tabel 2.2** Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan PI  
(Sumber: Herman, 2013)

Potensi pengembangan	Indeks plastisitas
rendah	0 – 15
sedang	10 – 35
tinggi	20 – 55
sangat tinggi	> 35

Adapun dalam kriteria Altmeyer, penggolongan atau pengelompokan tanah ekspansif tersebut bisa dilihat dari *shrinkage limit* (SL). Penggolongan tanah ekspansif tersebut ditunjukkan pada **Tabel 2.3** berikut ini.

**Tabel 2.3** Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Shrinkage Limit  
(Sumber: Herman, 2013)

Batas Susut(%)	Derajat Ekspansi
>12	Tidak Kritis
10 - 12	Sedang
< 10	Kritis

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

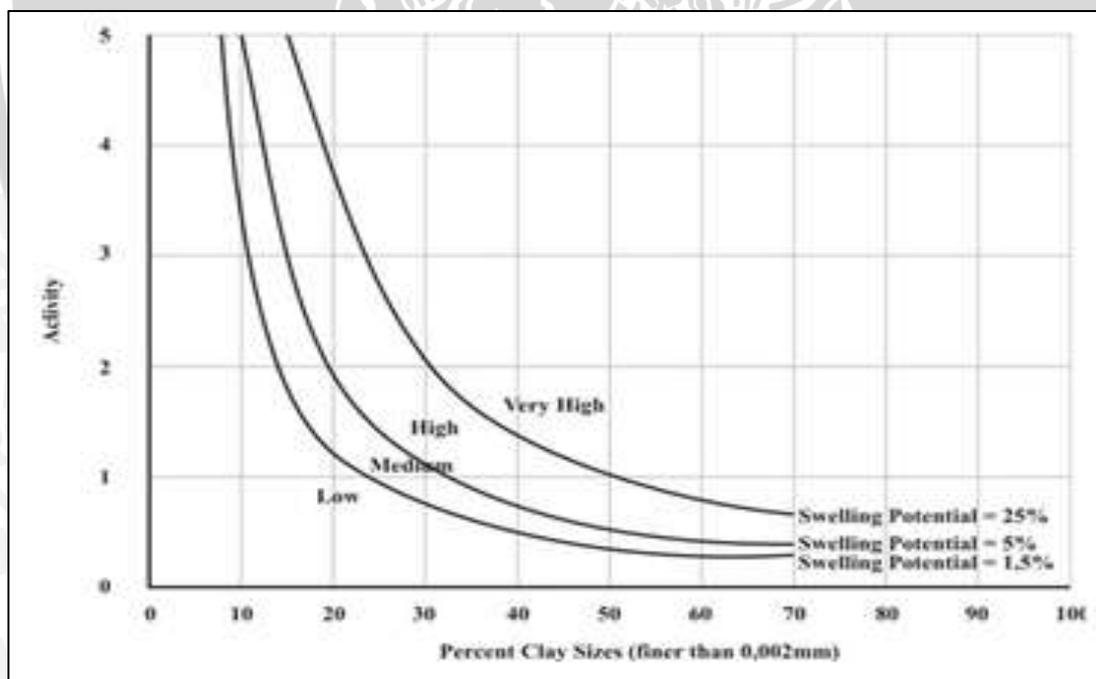
$$\text{Activity (A)} = \frac{PI}{C} \quad \dots(2-1)$$

dimana :

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

C = Prosentase Ukuran Lempung (kurang dari 0,002 mm)



**Gambar 2.2** Grafik klasifikasi potensi mengembang (Seed et al., 1962)

## 2.2 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi merupakan upaya untuk meningkatkan dan memperbaiki kualitas material agar dapat memenuhi standart yang ditetapkan. Stabilisasi pada tanah dapat dilakukan secara mekanis maupun dengan penggunaan bahan aditif. Stabilisasi secara mekanis atau mekanikal dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu. Sedangkan stabilisasi dengan bahan aditif dilakukan dengan cara mencampur tanah dan bahan aditif yang telah ditentukan dengan perbandingan tertentu. Stabilisasi dilakukan guna merubah sifat-sifat teknis tanah, seperti daya dukung, kopresibilitas, permeabilitas, kemudahan pengerjaan proyek, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap air.

Dalam pembangunan perkerasan jalan, stabilisasi tanah didefinisikan sebagai perbaikan material jalan yang ada baik dengan cara mekanis maupun dengan menambahkan bahan aditif. Dalam perancangan perkerasan jalan, kualitas setiap lapisan pembentuk perkerasan harus memenuhi syarat tertentu. Setiap komponen lapis perkerasan harus mampu menahan geseran, lendutan berlebihan yang menyebabkan retaknya lapisan di atasnya dan mencegah deformasi permanen yang berlebihan akibat memadatnya material penyusun. Jika material tanah distabilisasi, maka kualitasnya menjadi bertambah sehingga dapat mereduksi tebal lapisan perkerasan yang dibutuhkan.

Dalam suatu proyek, landasan kerja untuk alat berat membutuhkan permukaan jalan yang kuat. Untuk itu, bila tanah di lokasi proyek tidak memenuhi syarat, maka dibutuhkan penanganan tanah terlebih dahulu agar tanah tersebut memiliki daya dukung yang cukup sehingga alat berat bisa bekerja. Dengan penanganan tersebut, waktu pelaksanaan akan menjadi cepat dan efisien.

Pada penelitian ini, stabilisasi yang dilakukan adalah dengan menggunakan zat aditif. Adapun zat aditif yang digunakan berupa *fly ash* dan abu sekam, kedua zat aditif tersebut diharapkan dapat menambah nilai CBR (*california bearing ratio*) dan menurunkan nilai *swelling* tanah lempung ekspansif pada sampel yang diuji.

### 2.2.1 Stabilisasi Tanah Dengan *Fly Ash*

*Fly ash* merupakan limbah padat yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara pada PLTU. *Fly ash* juga bisa didapatkan dari pabrik-pabrik yang menggunakan

batubara sebagai bahan bakarnya. Ketersediaan *fly ash* yang berlimpah-limpah memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai material konstruksi bangunan maupun sebagai bahan stabilisator tanah khususnya pada tanah lempung ekspansif karena banyak pabrik-pabrik yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utamanya.

Adapun ciri-ciri *fly ash* adalah bahan tersebut memiliki ukuran butiran yang halus, berwarna keabu-abuan yang pada intinya mengandung unsur kimia antara lain silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ferooksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ).

Dalam aturan ASTM C618, *fly ash* sendiri dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas F dan kelas C. Perbedaan utama dari kedua *fly ash* tersebut adalah banyaknya calcium, silika, aluminium dan kadar besi di *fly ash* tersebut. Walaupun kelas F dan kelas C sangat ketat ditandai untuk digunakan *fly ash* yang memenuhi spesifikasi ASTM C618, namun istilah ini lebih umum digunakan berdasarkan asal produksi batubara atau kadar  $\text{CaO}$ . Yang penting diketahui, bahwa tidak semua *fly ash* dapat memenuhi persyaratan ASTM C618, kecuali pada aplikasi untuk beton, persyaratan tersebut harus dipenuhi.

1. Fly ash kelas F: mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan *quick lime*, *hydrated lime*, atau semen. *Fly ash* kelas F ini kadar kapurnya rendah ( $\text{CaO} < 10\%$ ).
2. Fly ash kelas C: mempunyai sifat *pozzolanic* juga mempunyai sifat *self-cementing* (kemampuan untuk mengeras dan menambah *strength* apabila bereaksi dengan air) dan sifat ini timbul tanpa penambahan kapur. Biasanya mengandung kapur ( $\text{CaO} > 20\%$ )

Untuk kandungan *fly ash* ditunjukkan pada **Tabel 2.4** berikut ini.

**Tabel 2.4** Kandungan *fly ash* PLTU Paiton  
(Sumber : Rahmi ,2006)

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1	Berat Jenis	$\text{g/cm}^3$	1.43
2	Kadar Air	% Berat	0.2
3	Hilang Pijar	% Berat	0.43
4	$\text{SiO}_2$	% Berat	62.49
5	$\text{Al}_2\text{O}_3$	% Berat	6.39
6	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	% Berat	16.71
7	$\text{CaO}$	% Berat	5.09
8	$\text{MgO}$	% Berat	0.79
9	$\text{S}(\text{SO}_4)$	% Berat	7.93

Dalam penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Tri Sulistyowati, (2006) didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Presentasi yang paling efektif untuk stabilisasi adalah campuran 15% fly ash dengan masa pemeraman 7 – 14 hari. Karena penambahan persentase *fly ash* sampai dengan 25% emmerikan kontribusi terhadap perubahan karakteristik tanah yang tidak jauh berbeda dengan penambahan 15% *fly ash*.
2. Stabilisasi dengan campuran 15% *fly ash* dengan masa pemeraman 7 hari memberikan penurunan *liquid limit* terbesar yaitu 59,76% dari *liquid limit* tanah asli. Nilai *plastic limit* setelah di stabilisasi dengan masa pemeraman 14 hari menunjukkan penurunan terbesar yaitu 43,79% dari nilai *plastic limit* tanah asli. Sedangkan nilai indeks plastisitas setelah distabilisasi dengan 15% *fly ash* mengalami penurunan sebesar 70,99% dari indeks plastisitas tanah asli.
3. Stabilisasi dengan 5% *fly ash* untuk masa pemeraman 7 hari dapat meningkatkan nilai CBR sampai 840,67% dari nilai CBR tanah asli.

Setyo-Budi, et al. (2003) melakukan penelitian dengan melakukan variasi penambahan fly ash sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, hasilnya sebagai berikut :

1. Apabila tanah tersebut dicampur *fly ash* dengan prosentase 25% dan di curing selama 28 hari maka dapat meningkatkan kekuatan tanah mencapai 300% dari tanah asli.
2. Apabilas tanah tersebut dicampur dengan 25% *fly ash* dan di curing selama 28 hari dapat menurunkan *swell pressure* sebesar 50% dari tanah asli dengan kadar air optimum sebesar 20%

### 2.2.2 Stabilisasi Tanah Dengan Abu Sekam

Abu sekam merupakan hasil sampingan dari produksi pertanian pada saat pengolahan gabah padi menjadi beras. Keberadaan sekam padi di Indonesia khususnya sangat melimpah namun belum termanfaatkan dengan baik. Adapun kegunaan sekam padi sebagian besarnya adalah untuk keperluan tradisional seperti perapian, abu gosok, pembakaran abut bata, dan sebagainya. Dari sini bisa dilihat bahwa pemanfaatan sekam masih tampak monoton dan juga bernilai guna rendah.

Dari beberapa penemuan terakhir dalam dunia konstruksi jalan menjelaskan bahwa abu sekam padi bisa memiliki dayaguna lebih sebagai campuran dalam upaya stabilisasi tanah khususnya pada tanah lempung ekspansif. Abu sekam padi mampu

mengisi rongga-rongga yang ditinggalkan diantara butiran-butiran agregat ayng mengisi campuran suatu struktur jalan termasuk struktur terbawah yaitu *sub base*. Selain itu, abu sekam juga memiliki sifat sementasi yang berfungsi meningkatkan kekesatan antar butiran tanah dan sifat pozzolan seperti semen sebagai pengikat.

Dalam kajian yang disampaikan Silvia Herina, (2005), sekam padi yang dibakar atau yang lebih sering disebut sebagai abu sekam ini memiliki sifat pozzolan yang mengandung unsur silikat yang tinggi, rata-rata Si 91,72% dengan *pozzolanic Activity Index* sebesar 87%. Pozzolan ini mengandung sifat sementasi jika bercampur dengan kapur padam dan air. Abu sekam yang digunakan sebagai bahan stabilisator diambil dari Nagrek (S1) dan Cileunyi (S2) Kabupaten Bandung. Dari hasil uji kandungan mineralnya ditunjukkan pada **Tabel 2.5** berikut ini.

**Tabel 2.5** Kandungan abu sekam  
(Sumber : Silvia Herina,2005)

parameter	S1 (%)	S2 (%)
Si O2	58.02	55.27
Fe2 O3	0	0
Al2 O3	0	0
Ca O	0	0
Mg O	1.76	0.89
S O4	0	0
HP	3.23	2.91
BTL	23.98	29.57
C	1.87	0.32

Dalam kajian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Dengan campuran 5% abu sekam mampu meningkatkan kestabilan tanah dan daya dukung pondasi.
2. Campuran dengan 15% abu sekam menunjukkan hasil yang sedikit saja berbeda dengan campuran 5%.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Idharmahadi Adha (2011) dengan menggunakan tanah sampel di daerah Lampung menjelaskan bahwa material abu sekam padi hanya efektif berfungsi pada kadar 6% untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dan meningkatkan daya dukung tanah yang distabilisasi, semakin banyak abu sekam yang digunakan, daya dunkungnya akan terus mengalami penurunan.

### 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 pondasi.

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, uji CBR dan uji *swelling*.

### 2.3.1 Kadar Air Tanah (*Water Content*)

Pemeriksaan kadar air tanah (*Water Content*) dilakukan untuk menentukan perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah dinyatakan dalam prosen.

### 2.3.2 Analisis Saringan dan Hidrometer

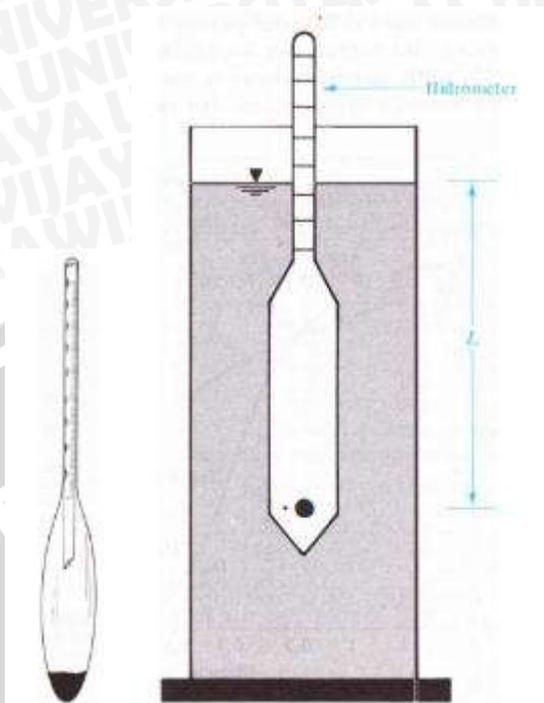
Analisis saringan dilakukan untuk menentukan pembagian ukuran butir suatu contoh tanah melalui saringan dari nomor 4,20,40,50,60,80,100,200,dan pan.

**Tabel 2.6** Ukuran-ukuran ayakan standar Amerika Serikat  
(Sumber : Braja M. Das ,1995:17)

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,

pertikel-partikel tanah akan mengendap dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada bentuk, ukuran, dan beratnya.



**Gambar 2.3** Skema pengujian hidrometer  
(Sumber : Braja M. Das, 1995:21)

**2.3.3 Specific Gravity**

*Specific Gravity* didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan volume air pada temperatur tertentu, biasanya diambil pada temperature 27,5°C. Pereiksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lolos saringan no.4 dengan picnometer. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah ditunjukkan dalam **Tabel 2.3** berikut ini.

**Tabel 2.7** Berat Jenis Tanah  
(Sumber: Hardiyatmo 1999:4)

Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
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

Harga berat spesifik butiran tanah sering dibutuhkan dalam bermacam-macam keperluan perhitungan dalam mekanika tanah. Harga-harga tersebut dapat ditentukan dengan akurat melalui pengujian di laboratorium.

### 2.3.4 Konsistensi Tanah

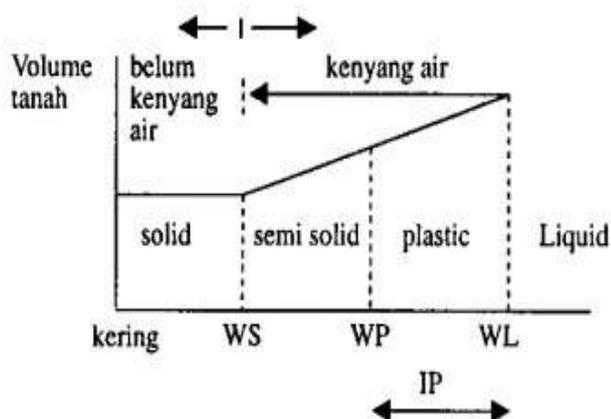
Konsistensi didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis dari suatu tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Sedangkan plastisitas merupakan karakteristik dari tanah berbutir halus (lempung) yang sangat penting. Plastisitas menggambarkan kemampuan tanah untuk berdeformasi pada volume yang tetap tanpa retakan atau remahan.

Berdasarkan air yang terkandung didalamnya (konsistensi) tanah dibedakan menjadi empat keadaan dasar yaitu: padat, semi padat, plastis, dan cair.

- Transisi dari padat ke semi padat disebut batas susut (*shrinkage limit*) yaitu besar kadar air tanah dimana tanah tersebut mempunyai volume terkecil saat airnya mengering
- Transisi dari semi padat ke plastis disebut batas plastis (*plastic limit*) yaitu besar kadar air dimana tanah apabila digulung sampai diameter 3,2 mm tanah akan retak-retak.
- Transisi dari plastis ke cair disebut batas cair (*liquid limit*) yaitu kadar air dimana tanah akan mengalir akibat berat sendiri.

Kadar air pada kondisi transisi diatas pada masing-masing konsistensi disebut batas-batas *atterberg*. Panjang daerah interval kadar air tanah pada kondisi plastis disebut index plastis (IP) dimana IP merupakan selisih batas cair dan batas plastis. Setiap tanah memiliki batas cair, batas plastis dan batas susut yang berbeda antara yang satu dengan yang lain.

Pada **Gambar 2.4** berikut ini menunjukkan skema hubungan antara kadar air, volume tanah, konsistensinya dan batas-batas konsistensinya.



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

Pada tahun 1976, Mitchell mengungkapkan harga-harga batas Atterberg untuk beberapa mineral lempung seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2.8** berikut ini.

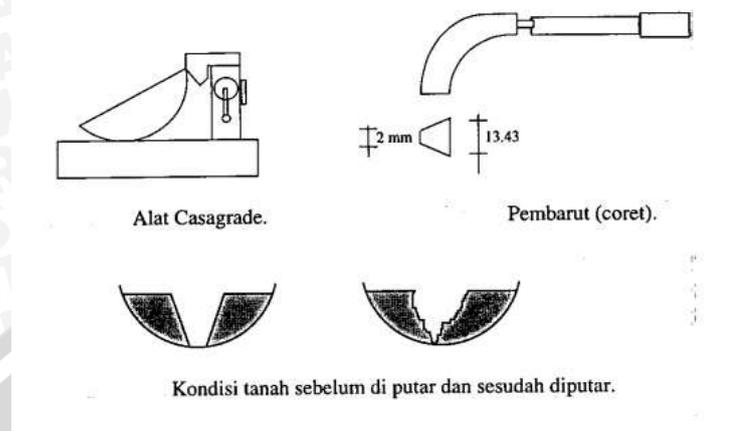
**Tabel 2.8** Harga Batas Atterberg Mineral Lempung  
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

Mineral	Liquid Limit	Plastic Limit	Shrinkage Limit
	%	%	%
Montmorillonite	100-900	50-100	8,5-15
Nontronite	37-72	19-27	
Illite	60-120	35-60	15-17
Kaolinite	30-110	25-40	25-29
Hydrated Halloysite	50-70	47-60	
Dehydrated Halloysite	35-55	30-45	
Attapulgite	160-230	100-120	
Clorite	44-47	36-40	
Allophane (undried)	200-250	130-140	

### 2.3.5 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). Pada pengujian ini, sampel tanah diaduk rata dengan air dalam mangkuk, kemudian pada bagian tengah dibarut dengan alat corot sehingga terbelah menjadi dua bagian dengan alur selebar 2 mm. Tuas kemudian diputar dan mangkuk akan terangkat 1 cm dan ajtuh bebas pada landasan. Putaran dilakukan berulang kali sehingga bagian tanah dalam mangkuk tertaut. Setelah bagian tanah

tertaut, jumlah pukulan dicatat dan diperiksa kadar airnya. Tanah dalam keadaan batas cair diperlukan kurang lebih 25 kali pukulan. Pada **Gambar 2.5** berikut ini menunjukkan skema pengujian batas cair.



**Gambar 2.5** Skema Uji batas Cair  
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

### 2.3.6 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. Mulanya tanah basah 20-30 gram dibentuk menjadi bola kemudian digiling-giling di atas kaca dengan telapak tangan sehingga menjadi silinder dengan diameter kurang lebih 3 mm. Bila tanah sudah menjadi silinder berdiameter 3 mm namun belum retak-retak maka kondisinya masih plastis dan pekerjaan ini perlu di ulang lagi sampai didapat batangan berdiameter 3 mm dengan terdapat retak-retak (batas plastis). Kemudian silinder tanah yang retak tersebut dicari kadar airnya sehingga didapat kadar air pada batas plastis.



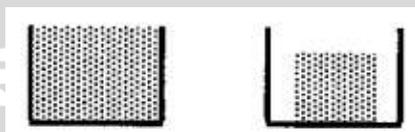
**Gambar 2.6** Gulungan tanah pada uji batas plastis  
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

### 2.3.7 Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pengujian batas susut (*shrinkage limit*) ini dimaksudkan untuk mencari kadar air tanah yang dinyatakan dalam persen terhadap berat kering tanah setelah di oven, dimana

pengurangan kadar air tidak menyebabkan pengurangan volume massa tanah, tetapi penambahan kadar air tanah akan menyebabkan penambahan volume massa tanah.

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.



**Gambar 2.7** Perbedaan volume tanah sebelum dan sesudah di oven  
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

### 2.3.8 Uji Pemadatan (*Standart Proctor Test*)

Pemadatan adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori dikeluarkan dengan suatu cara mekanis (ditumbuk). Pada proses pemadatan untuk setiap daya pemadatan tertentu, kepadatan yang tercapai tergantung pada banyaknya air di dalam tanah tersebut, yaitu kadar airnya.

Jika kadar airnya ditambah maka air itu akan berlaku sebagai pelumas sehingga tanah akan lebih mudah dipadatkan. Pada kadar air yang lebih tinggi lagi kepadatannya akan turun karena pori-pori tanah menjadi penuh terisi air yang tidak dapat lagi dikeluarkan dengan cara memadatkan.

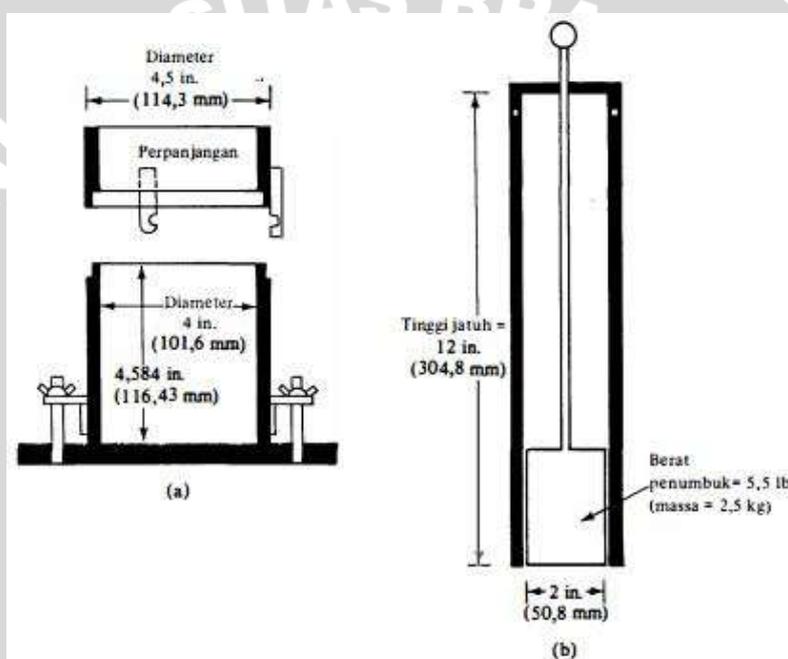
Uji pemadatan (*Standart Proctor Test*) dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah sehingga bisa diketahui kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Kadar air optimum adalah nilai kadar air dimana pada energi kompaksi tertentu dicapai  $\gamma_{dry}$  maksimum. Besar kepadatan diukur dalam berat jenis kering tanah ( $\gamma_d$ ) atau kepadatan kering tanah. Uji pemadatan laboratorium ini nantinya akan digunakan pada pemadatan timbunan di lapangan.

*Standart Proctor Test* adalah salah satu metode dalam uji pemadatan tanah. Pada uji pemadatan standar, tanah yang lolos saringan Amerika No.4 dipadatkan dalam cetakan bervolume  $1/30 \text{ ft}^3$  ( $943,3 \text{ cm}^3$ ). Diameter cetakan adalah 4 in (101,6 mm). Pengujian ini menggunakan 25 pukulan pemadat seberat 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30

cm. Pukulan sebanyak 25 kali dilakukan di tiap lapisan tanah di dalam *mould* yang keseluruhan terdiri dari 3 lapisan.

Tanah sebagai material bangunan pada suatu konstruksi seperti dasar jala harus dipadatkan untuk memperbaiki sifat-sifat dari tanah yang dapat memberi akibat buruk pada konstruksi. Perubahan yang terjadi bila tanah dipadatkan adalah:

1. Volume udara dalam pori-pori tanah berkurang sehingga tanah menjadi lebih padat.
2. Kekuatan geser dan daya dukung tanah meningkat.
3. Kompresibilitas tanah berkurang.
4. Permeabilitas tanah berkurang.
5. Lebih tahan terhadap erosi.



**Gambar 2.8** Alat Uji Proctor Standar ; (a) Cetakan, (b) Penumbuk  
(Sumber: Braja M. Das, 1995:236)

Untuk setiap tanah yang dipadatkan, berat volume basah  $\gamma$  dari tanah dapat dihitung dengan:

$$\gamma = \frac{W}{V(m)} \quad \dots (2-2)$$

$W$  = berat tanah yang dipadatkan di dalam cetakan

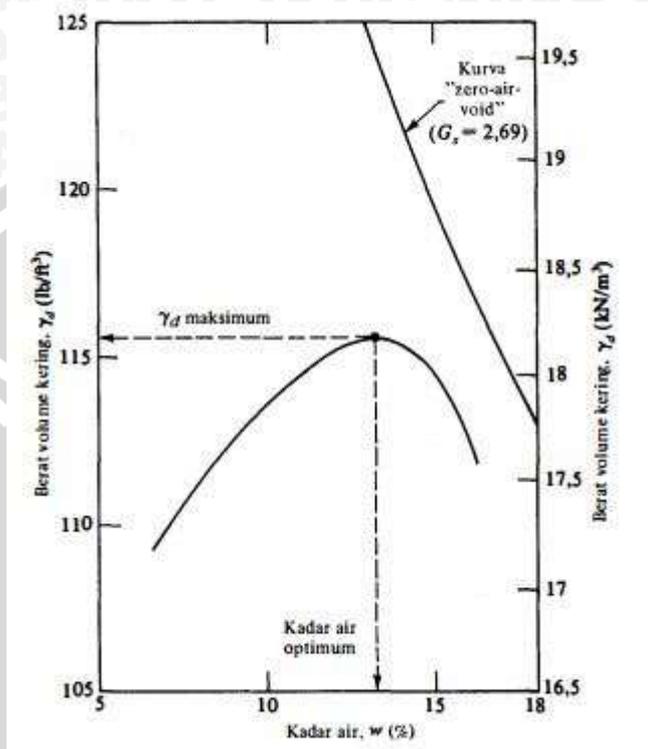
$V(m)$  = volume cetakan

Dengan kadar air yang telah diketahui, berat volume kering  $\gamma_d$  dari tanah tersebut dapat dihitung dengan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}} \quad \dots (2.3)$$

$w(\%)$  = persentase kadar air

Harga  $\gamma_d$  dapat digambarkan terhadap kadar air untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum.



**Gambar 2.9** Hasil uji pemadatan Proctor standar untuk lempung berlanau (Sumber: Braja M. Das, 1995:238)

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 ditulis dengan:

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{1 + w G_s} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}} \quad \dots (2.4)$$

$\gamma_{zav}$  = berat volume pada kondisi *zero air void*

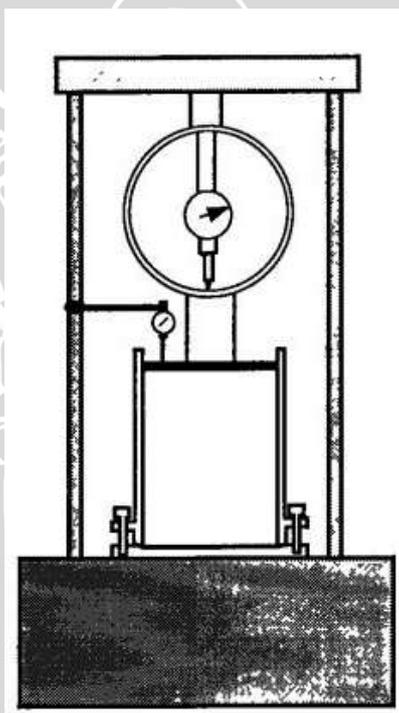
$\gamma_w$  = berat volume air

$G_s$  = berat spesifik butiran padat tanah

$w$  = kadar air

### 2.3.9 Uji CBR (*California Bearing Ratio*)

CBR(*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. 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.



**Gambar 2.10** Alat uji CBR  
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998:58)

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 inchi<sup>2</sup>. 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. 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). 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).

### 2.3.10 Uji Swelling

Tanah lempung dengan kemampuan mengembang yang cukup besar menghasilkan tekanan untuk melawan beban yang bekerja di atasnya ketika air tersedia untuk bertambahnya volume. Pada **Tabel 2.9** berikut ini ditunjukkan hubungan potensi mengembang dengan tekanan mengembang menurut Garcia-Iturbe (1980).

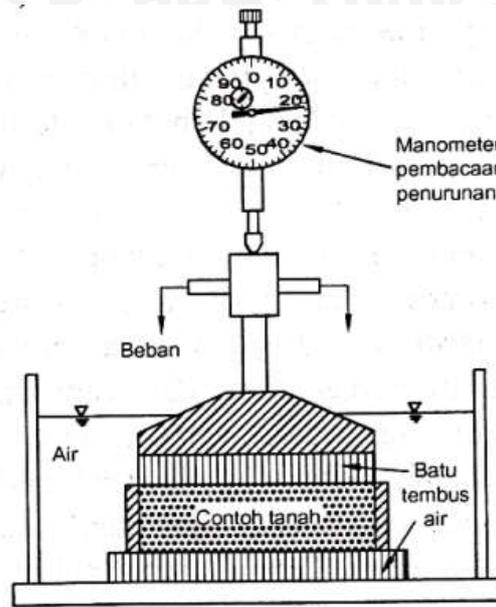
**Tabel 2.9** Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang

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

(Garcia – Iturbe, 1980)

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

Uji *swelling* dilakukan di silinder berbahan logam. Waktu yang dibuthkan 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"/jam), sehingga memerlukan waktu beberapa hari.



**Gambar 2.11** Pengujian *Swelling*  
 (Sumber : Budi Santosa dkk, 1998:58)

