

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Lempung

Menurut Grim (1953), tanah lempung adalah jenis tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat plastis bila bercampur dengan air. Braja M. Das (1988) menambahkan bahwa tanah lempung juga mengandung beberapa mineral lain yang bukan termasuk mineral lempung (*non-clay minerals*), artinya tidak memberikan sifat plastis pada tanah lempung antara lain kuarsa, feldspar dan mika.

Pada dasarnya, terdapat dua jenis tanah lempung yaitu tanah lempung primer dan tanah lempung sekunder. Tanah lempung primer merupakan tanah lempung murni hasil pelapukan batuan feldspatik yang tidak bersifat plastis. Sedangkan tanah lempung sekunder merupakan hasil pelapukan batuan feldspatik yang bercampur dengan material lain dan bersifat lebih plastis (<http://ruangkumemajangkarya.wordpress.com>, 2012).

Dalam mengidentifikasi dan mengklasifikasi suatu jenis tanah, ada beberapa hal yang perlu ditinjau antara lain tekstur, komposisi mineral, serta karakteristiknya. Tekstur merupakan perbandingan relatif tiap bagian tanah menurut ukuran partikel-partikelnya dan ditentukan oleh besarnya butiran tanah. Komposisi mineral adalah susunan mineral-mineral pembentuk tanah. Sementara karakteristik adalah sifat khas yang dihasilkan dari interaksi antarpartikel mineral penyusunnya.

2.1.1. Tekstur Tanah Lempung

Partikel-partikel dalam tanah lempung umumnya berbentuk lempengan-lempengan pipih dan berukuran mikroskopis hingga submikroskopis, artinya sangat halus atau tidak dapat dilihat dengan jelas oleh mata. Sehingga untuk melihatnya diperlukan bantuan mikroskop elektron.

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 kurang dari 0,002 mm. Berdasarkan *American Standard Testing and Materials (ASTM)*, ukuran partikel lempung adalah antara 0,002 sampai dengan 0,005 mm. Sementara berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)*, ukuran partikel lempung adalah kurang dari 0,0075 mm. Informasi

tentang klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butirannya ditampilkan dalam Tabel

2.1.

Tabel 2.1. Penggolongan Tanah oleh Beberapa Lembaga Berdasarkan Ukuran Butiran Tanah

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	

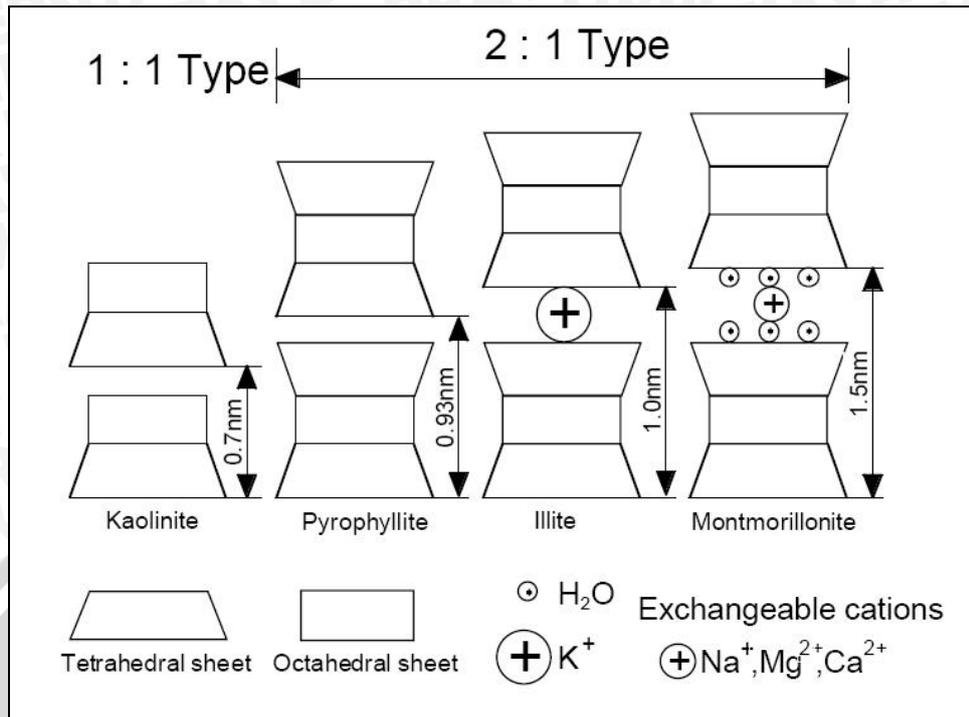
2.1.2. Mineral dalam Tanah Lempung

Menurut Chen (1975), ada tiga macam mineral pembentuk tanah lempung yang utama yaitu *kaolinite*, *illite*, dan *montmorillonite*. Mineral-mineral tersebut memiliki struktur lapisan serta ion penghubung yang berbeda sehingga tingkat plastisitas dan potensi pengembangan yang dihasilkan juga berbeda.

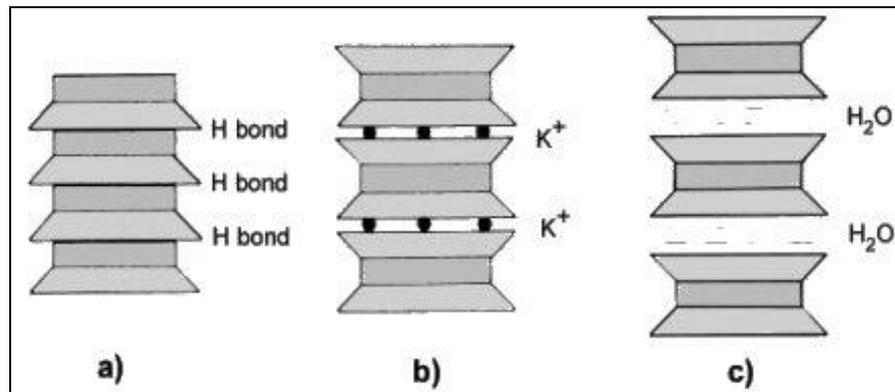
Kaolinite adalah mineral yang terdapat dalam lempung primer. Struktur *kaolinite* terdiri atas satu lapis silika tetrahedral dan satu lapis aluminium oktahedral (*gibbsite*). Oleh karena itu *kaolinite* disebut juga mineral lempung tipe 1:1. Tiap unit lapisan silika-aluminium yang satu dengan yang lainnya dipisahkan oleh ion H⁺.

Illite dan *montmorillonite* adalah mineral yang terdapat dalam lempung sekunder. Kedua mineral tersebut terdiri dari dua lapis silika tetrahedral yang mengapit satu lapis *gibbsite*. Oleh karena itu *illite* dan *montmorillonite* disebut juga mineral lempung tipe 2:1. Ilustrasi tipe mineral lempung berdasarkan lapisan silikatnya ditampilkan pada Gambar 2.1.

Perbedaan antara *illite* dan *montmorillonite* adalah pada ion yang mengikat antarlapisan struktur intinya. Struktur *illite* dipisahkan oleh ion K⁺, sedangkan struktur *montmorillonite* dipisahkan oleh ion H₂O yang dapat digantikan oleh kation lain, yaitu Na⁺, Mg²⁺, dan Ca²⁺. Ilustrasi macam-macam mineral lempung ditampilkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.1. Tipe Mineral Silikat dalam Lempung
(Sumber: <http://ramaseshan.com/MMT.php>, 2014)



Gambar 2.2. a) Kaolinite, b) Illite, c) Montmorillonite
(Sumber: Craig, 1990)

2.1.3. Karakteristik Tanah Lempung

Perbedaan struktur mineral lempung mempengaruhi plastisitas dan pengembangan tanah lempung. Tanah yang banyak mengandung *kaolinite* tidak bersifat plastis dan tidak dapat mengembang. Sebaliknya, tanah yang mengandung *illite* atau *montmorillonite* bersifat plastis dan mudah mengembang.

Kaolinite tidak memberikan sifat mengembang karena ion hidrogen di dalamnya mampu menahan molekul-molekul air masuk ke dalamnya. Selain itu, *kaolinite* hanya memiliki permukaan luar sehingga permukaannya spesifiknya

sangat kecil dan tidak mampu menyerap air dalam jumlah banyak (Rachman Sutanto, 2005). Permukaan spesifik ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Tebal Tipikal, Diameter Tipikal, dan Permukaan Spesifik Mineral Lempung

Mineral	Tebal tipikal (nm)	Diameter Tipikal (nm)	Permukaan spesifik (km ² /kg)
<i>Montmorillonite</i>	3	100 – 1000	0.8
<i>Illite</i>	30	10000	0.08
<i>Kaolinite</i>	50 – 2000	300 – 4000	0.015

(Sumber: Yong dan Warkentin, 1975)

Illite dapat memberikan sifat pengembangan tetapi tidak mengembang secara signifikan karena ion kalium di dalamnya merupakan ion yang tidak dapat terganti dan penyerapan airnya terbatas. Sedangkan *montmorillonite* memiliki sifat pengembangan yang tinggi karena ion H₂O di dalamnya mudah lepas ketika berinteraksi dengan air sehingga molekul air dapat masuk dan mengakibatkan tanah mudah mengembang.

Di sekitar partikel lempung terdapat air lapisan ganda (H₂O) yang menimbulkan adanya gaya listrik-kimia yang menyebabkan sifat plastis pada lempung. Gaya listrik-kimia tersebut juga mengakibatkan partikel lempung bermuatan negatif sehingga mampu menyerap kation sekitarnya. Ketika berinteraksi dengan air, molekul air akan mudah mengion dan terikat oleh partikel lempung dan air lapisan ganda. Akibatnya air sulit lolos keluar sehingga tanah lempung dapat dikatakan memiliki permeabilitas rendah atau *impermeable* (M. Wafid, 1997). Sifat kohesif pada tanah lempung dipengaruhi oleh gaya *Van der Waals* atau daya ikat antarpartikel yang berdekatan akibat adanya sifat elektrostatis antarpartikel. Sehingga terjadi flokulasi yaitu kecenderungan partikel untuk mendekat dan menempel.

2.1.4. Tanah Lempung Ekspansif

Tanah lempung ekspansif adalah tanah lempung yang didominasi oleh mineral *montmorillonite*. Tanah ini memiliki nilai plastisitas tinggi, daya dukung rendah, serta kembang susut yang ekstrim jika terjadi perubahan kadar air. Mineral *montmorillonite* mudah menyerap air dalam jumlah banyak bila dibandingkan dengan mineral lainnya karena memiliki permukaan spesifik yang

besar. Selain itu, ion H^+ dalam *montmorillonite* mudah lepas sehingga ketika tanah dalam kondisi basah, molekul air dapat masuk ke dalam sela antarpartikel. Akibatnya, tanah mudah mengembang dan mengakibatkan daya dukungnya rendah. Pada saat mengering, air diantara lapisan mineral keluar dalam jumlah besar sehingga tanah mengalami penyusutan yang dapat mengakibatkan terjadinya retakan.

2.1.4.1. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif menurut Chen (1975) dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu identifikasi mineralogi, pengukuran tidak langsung (*single index method*), dan pengukuran langsung.

a) Identifikasi Mineralogi

Identifikasi mineralogi berguna untuk mengidentifikasi potensi mengembang dan menyusut tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara berikut:

- Difraksi sinar X (*X-ray diffraction*)
- Penyerapan terbilas (*dye absorbsion*)
- Penurunan panas (*differensial thermal analysis*)
- Analisis kimia (*Chemical Analysis*)
- *Electron Microscope Resolution*

b) Pengukuran Tidak Langsung

Holtz dan Gibbs (1956) secara empiris menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara nilai potensi mengembang dengan indeks plastisitas dari hasil uji *Atterberg*. Chen (1975) juga 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.

Tabel 2.3. Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan PI

Indeks Plastisitas	Potensi Pengembangan
0 – 15	Rendah
15 – 35	Sedang
35 – 55	Tinggi
> 55	Sangat Tinggi

Dalam kriteria *Altmeyer*, penggolongan atau pengelompokan tanah ekspansif tersebut bisa dilihat dari *shrinkage limit* (SL). Penggolongan tanah ekspansif tersebut ditampilkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI

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

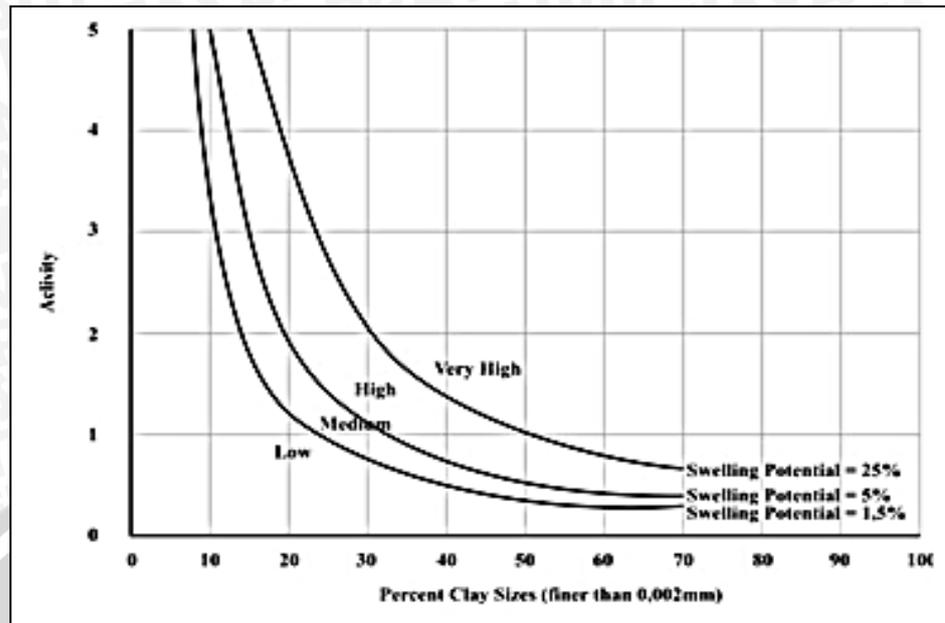
Menurut Skempton (1953), potensi pengembangan dapat ditentukan dengan grafik hubungan antara nilai aktivitas dengan prosentase ukuran butir tanah lempung. Grafik hubungan antara nilai aktivitas dengan prosentase ukuran butir tanah lempung ditampilkan pada Gambar 2.3. Nilai aktivitas dapat dihitung dengan Persamaan 2-1 berikut:

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

Dengan keterangan sebagai berikut:

PI : Indeks plastisitas

C : Prosentase ukuran butir lempung < 0,002 mm



Gambar 2.3. Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang
(Sumber: Seed et al., 1962)

c) Pengukuran Langsung

Pengukuran langsung dilakukan dengan cara menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah lempung ekspansif dengan menggunakan *Oedometer Terzaghi*. Sampel tanah yang berbentuk silinder tipis diletakkan ke dalam konsolidometer yang dilapisi dengan lapisan pori pada sisi atas dan sisi bawah yang dimana kemudian diberi beban sesuai yang diinginkan. Besarnya pengembangan contoh tanah dibaca beberapa saat setelah dibasahi dengan air. Besarnya pengembangan yang terjadi adalah pengembangan tanah dibagi dengan tinggi awal sampel tanah.

Pengukuran tekanan pengembangan yang umum digunakan ada dua cara. Cara pertama adalah pengukuran dengan beban tetap sehingga mencapai prosentase mengembang tertinggi kemudian sampel tanah diberi tekanan untuk mencapai ketebalan semula. Cara kedua adalah dengan merendam sampel di dalam air dengan mempertahankan volume atau mencegah adanya pengembangan dengan cara menambah beban di atasnya setiap saat. Metode ini biasanya disebut dengan *constant volume method*.

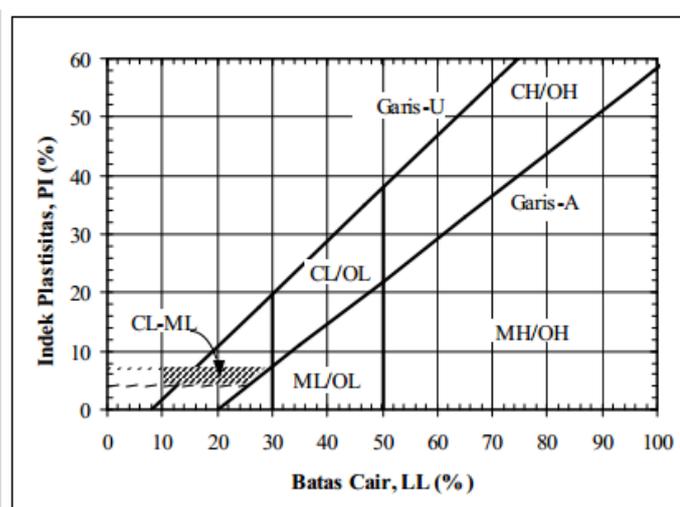
2.2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan *Unified Soil Classification System (USCS)*

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation (USBR)* dan *United State Army Corps of Engineer (USACE)*. *American Society for Testing and Materials (ASTM)* juga telah memakai USCS sebagai metode standar untuk mengklasifikasikan tanah. Saat ini, sistem *Unified* banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik.

Dalam USCS, tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

1. Tanah berbutir kasar yang terdiri atas kerikil dan pasir dengan prosentase tanah yang lolos saringan No. 200 kurang dari 50%.
2. Tanah berbutir halus yaitu lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200.

Grafik untuk penklasifikasian tanah berdasarkan USCS tampak seperti pada Gambar 2.4. Simbol-simbol dalam sistem klasifikasi *Unified* ditampilkan dalam Tabel 2.5.



Gambar 2.4. Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah USCS

Tabel 2.5. Simbol untuk Klasifikasi 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>)

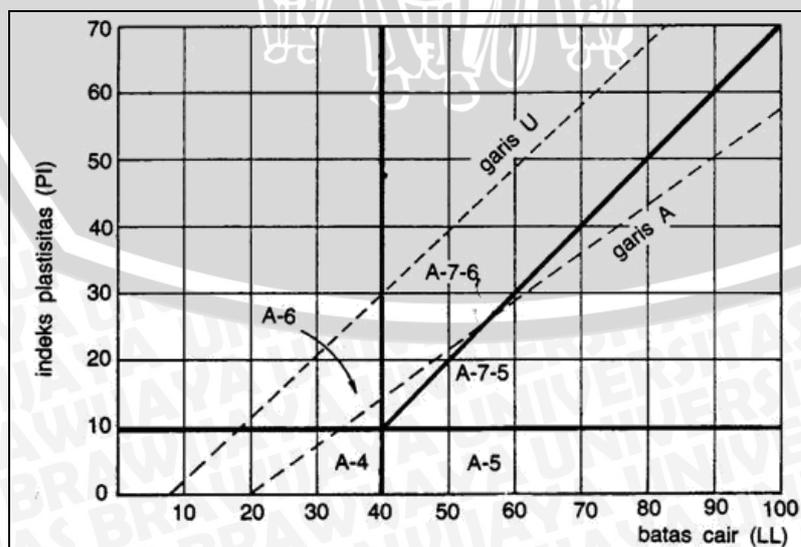
2.3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

AASHTO digunakan 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. Pengujian yang digunakan yaitu analisis saringan dan batas-batas *Atterberg* (Hardiyatmo, 2010). Sistem Klasifikasi Tanah (lanau-lempung) AASHTO ditampilkan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6. 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			

Indeks kelompok digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Bila indeks kelompoknya semakin tinggi, maka tanah semakin berkurang ketepatan penggunaannya. Grafik plastisitas untuk klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO ditampilkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik Plastisitas untuk Klasifikasi Tanah AASHTO

2.4. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu. Sifat-sifat teknis tersebut antara lain daya dukung, kompresibilitas, permeabilitas, *workability*, potensi pengembangan, dan sensitivitas terhadap perubahan kadar air. Stabilisasi yang biasa dilakukan adalah pemadatan dan pencampuran tanah dengan bahan tambahan lain (Hary Christady, 2013).

Bahan tambahan berfungsi sebagai stabilisator mekanis maupun kimiawi. Stabilisator mekanis disebut juga *filler*, yaitu bahan pengisi pori tanah untuk mendapatkan gradasi yang beragam sehingga terjadi *interlocking* antarbutir tanah. Sedangkan stabilisator kimiawi merupakan bahan yang mengandung mineral-mineral tertentu untuk menciptakan reaksi yang dapat memperbaiki sifat-sifat teknis tanah.

2.4.1. Abu Ampas Tebu sebagai Stabilisator

Ampas tebu adalah residu dari proses penggilingan tebu setelah diekstrak atau pada industri pemurnian gula. Ampas tebu tersebut kemudian dimanfaatkan sebagai bahan bakar penggilingan gula. Abu hasil pembakaran ampas tebu itulah yang disebut abu boiler atau abu ampas tebu yang merupakan limbah yang sudah tidak terpakai. Secara fisik abu ampas tebu berwarna hitam keabu-abuan, berbutir halus dan bersifat lepas (*loose*).

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 ditampilkan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7. 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 UPT Layanan Analisa dan Pengukuran, 2014)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Andi Wahyu Y. (2001), berdasarkan data dari Badan Penelitian dan Pengembangan Surabaya, prosentase senyawa yang terdapat dalam abu ampas tebu ditampilkan dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Kadar Senyawa dalam Abu Ampas Tebu

No.	Senyawa	Kadar (%)
1	SiO ₂	72,33
2	Al ₂ O ₃	3,4
3	Fe ₂ O ₃	0,85
4	CaO	0,63
5	MgO	0,58

(Sumber: Andi Wahyu Y, 2001)

Berdasarkan data tersebut, abu ampas tebu memiliki kandungan senyawa SiO₂ (silikon dioksida) dan Al₂O₃ (aluminium oksida) yang cukup tinggi. Menurut Neville (1998), bahan-bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina memiliki sifat pozzolan. Kedua senyawa tersebut apabila bereaksi dengan air dan Ca(OH)₂ (kalsium hidroksida/kapur) akan menghasilkan senyawa CSH (kalsium silikat hidrat) dan CAH (kalsium alumina hidrat) dan memberikan sifat pozzolanik atau rekat serta mengeras seperti pada semen. Reaksi tersebut dapat ditulis dalam Persamaan 2-2 dan 2-3 berikut:



2.5. Pengujian 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.

Pemeriksaan terhadap sifat fisik tanah meliputi pemeriksaan kadar air tanah, berat jenis tanah, batas Atterberg, analisis saringan dan hidrometer, serta berat isi tanah. Sementara pemeriksaan mekanis tanah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pemadatan standar, uji CBR dan uji *swelling*.

2.5.1. Pengujian Kadar Air (*Water Content*)

Pengujian kadar air tanah dilakukan untuk menentukan perbandingan berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah. Jika dituliskan menjadi sebuah persamaan, maka akan tampak seperti Persamaan 2-4 berikut:

$$w = \frac{(W_2 - W_3)}{(W_3 - W_1)} \times 100\% \dots\dots\dots (2-4)$$

Dengan keterangan:

w : kadar air

W₁ : berat cawan (gram)

W₂ : berat cawan + tanah basah (gram)

W₃ : berat cawan + tanah kering (gram)

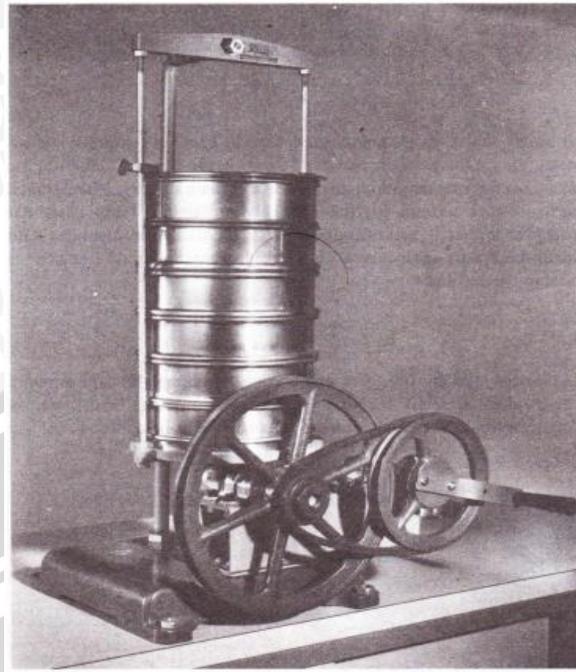
2.5.2. Pengujian Analisis Saringan

Pengujian analisis saringan dilakukan untuk menentukan pembagian ukuran butiran tanah yang berdiameter lebih besar dari 0,075 mm atau tertahan saringan nomor 200. melalui saringan standar. Ukuran ayakan standar ditampilkan dalam Tabel 2.9.

Tabel 2.9. 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		
40	0,425	Pan	
50	0,3		

Pengujian ini dilakukan dengan mengayak dan menggetarkan sampel tanah melalui satu set ayakan, dimana lubang-lubang ayakan tersebut makin kecil secara berurutan. Alat uji analisis saringan ditampilkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Alat Uji Analisis Saringan
(Sumber : Braja M. Das, 1988:18)

Cara perhitungan prosentase tanah baik yang tertahan maupun yang lolos saringan adalah tampak pada Persamaan 2-5 dan 2-6 berikut:

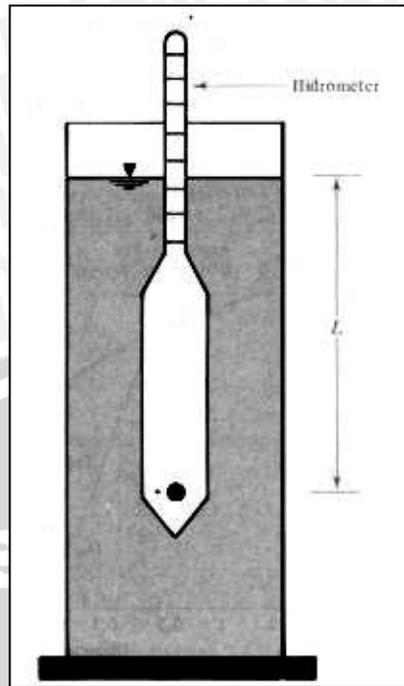
$$\% \text{ Tertahan} \quad : \quad (\text{Berat tanah tertahan} / \text{berat tanah kering}) \times 100 \% \dots\dots (2-5)$$

$$\% \text{ Lolos} \quad : \quad 100\% - \% \text{ tertahan} \dots\dots\dots (2-6)$$

2.5.3. Peghujian Analisis Hidrometer

Pengujian analisis hidrometer digunakan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah dimana sampel tanah tersebut merupakan butiran tanah yang berdiameter lebih kecil dari 0,075 mm atau lolos saringan nomor 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. Di dalam laboratorium, pengujian hydrometer dilakukan dalam silinder pengendap yang terbuat dari gelas dan memakai 50 gram sampel tanah kering oven. Ilustrasi alat pengujian hidrometer ditampilkan dalam Gambar 2.7.





Gambar 2.7. Alat Uji Analisis Hidrometer
(Sumber : Braja M. Das, 1995:21)

2.5.4. Pengujian *Specific Gravity*

Specific gravity didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air pada temperatur tertentu, pada umumnya digunakan suhu kamar yaitu 25°-30° C. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan berat jenis tanah yang mempunyai butiran lolos saringan nomor 4 (4,75 mm). Nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah ditampilkan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. *Specific Gravity* Tanah

Macam Tanah	<i>Specific Gravity</i> (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

(Hardiyatmo 1999)

Berat jenis dapat dihitung dengan Persamaan 2-7 sebagai berikut:

$$GS = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \dots\dots\dots (2-7)$$



Dengan keterangan:

GS : *Gravity of Specific*

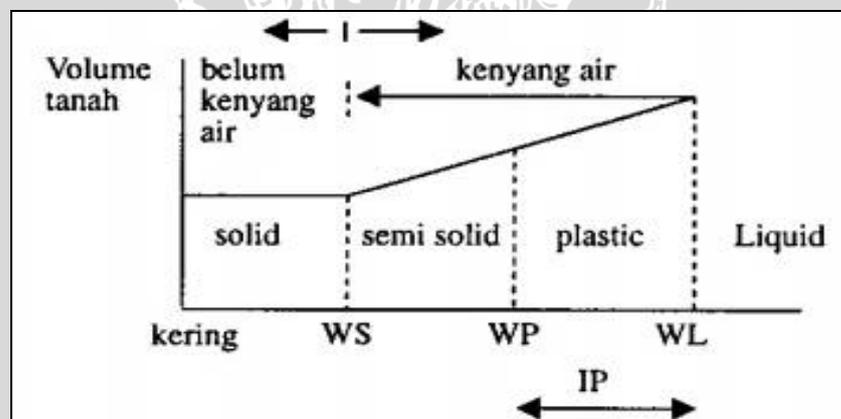
γ_s : Berat jenis tanah (gr/cm^3)

γ_w : Berat jenis air (gr/cm^3)

2.5.5. Pengujian Konsistensi dan Plastisitas Tanah

Konsistensi didefinisikan sebagai suatu kondisi fisik dari suatu tanah berbutir halus pada kadar air tertentu. Sementara plastisitas merupakan kemampuan tanah untuk berdeformasi pada volume yang tetap tanpa retakan atau remahan. Berdasarkan air yang terkandung di dalamnya (konsistensi), tanah dibedakan menjadi empat keadaan dasar yaitu solid, semi solid, plastis, dan cair.

Kondisi transisi di atas disebut batas-batas *Atterberg*. Panjang daerah interval kadar air tanah pada kondisi plastis disebut indeks plastisitas yaitu selisih batas cair dengan batas plastis. Setiap tanah memiliki batas cair, batas plastis, dan batas susut yang berbeda antara yang satu dengan yang lain. Skema hubungan kadar air, volume, dan konsistensi ditampilkan dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Skema hubungan kadar air, volume, dan konsistensi (Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

Mitchell (1976) mengungkapkan harga-harga batas Atterberg untuk beberapa mineral lempung, seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Harga Batas *Atterberg* Mineral Lempung

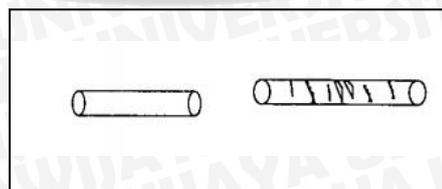
Mineral	Liquid Limid	Plastic Limit	Shringkage Limit
<i>Montmorillonite</i>	100-900	50-100	8,5-15
<i>Nontronite</i>	37-72	19-27	
<i>Illite</i>	60-120	35-60	15-17
<i>Kaolinite</i>	30-110	25-40	25-29
<i>Hydrated Halloysite</i>	50-70	47-60	
<i>Dehydrated Halloysite</i>	35-55	30-45	
<i>Attapulgite</i>	160-230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

(Mitchell, 1976)

2.5.5.1. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (*plastic limit*) yaitu transisi dari kondisi semi solid menuju plastis. Untuk mencapai kondisi plastis, kadar air pada tanah semi solid perlu ditingkatkan. Pada penambahan air tersebut volume tanah akan meningkat.

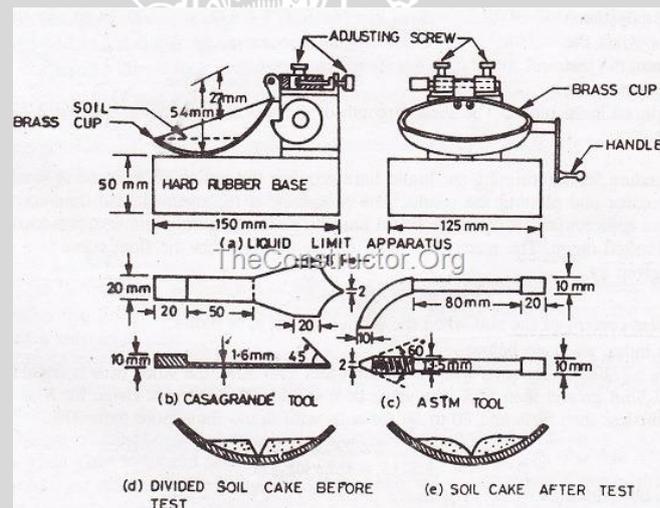
Pengujian batas plastis dilakukan dengan memilin atau menggulung tanah dan mulai retak-retak ketika digulung hingga mencapai ketebalan 3 mm. Retakan merupakan parameter bahwa tanah pada batas plastis. Mulanya tanah basah 20-30 gram dibentuk menjadi bola kemudian digiling-giling di atas kaca dengan telapak tangan sehingga menjadi silinder dengan diameter \pm 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 hingga didapat batangan berdiameter 3 mm dengan terdapat retakan. Kemudian silinder tanah yang retak tersebut dicari kadar airnya sehingga didapat kadar air pada batas plastis. Ilustrasi percobaan batas plastis ditampilkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Gulungan Tanah pada Uji Batas Plastis
(Sumber: Budi Santosa dkk, 1998)

2.5.5.2. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (*liquid limit*) yaitu transisi dari kondisi plastis menuju cair. Untuk mencapai kondisi cair, kadar air pada tanah plastis perlu ditingkatkan hingga mencapai batas cair. Setelah melampaui batas cair tersebut, tanah akan kehilangan sifat plastisnya atau menjadi lembek. Batas cair ditentukan dari pengujian Casagrande. Pada pengujian ini, sampel tanah diaduk rata dengan air dalam mangkuk, kemudian pada bagian tengah dibarut dengan *graving tool* sehingga terbelah menjadi dua bagian dengan alur selebar 2 mm. Tuas kemudian diputar dan mangkuk akan terangkat 1 cm dan jatuh 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 ketukan. Alat pengujian batas cair ditampilkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Skema Uji Batas Cair
(Sumber: Budi Santosa dkk, 1998)

2.5.5.3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (*shrinkage limit*) yaitu transisi dari kondisi semi solid menuju solid. Untuk mencapai kondisi solid, kadar air pada tanah semi solid harus dikurangi dengan cara dikeringkan. Pada kondisi ini volume tanah akan menurun hingga mencapai batas susut. Setelah melampaui batas susut, volume tanah akan cenderung konstan atau tidak terjadi perubahan volume tanah.

Pengujian batas susut (*shrinkage limit*) dilakukan untuk mencari kadar air tanah terhadap berat kering tanah setelah dikeringkan (*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, tanah akan mencapai suatu tingkat keseimbangan yang disebut batas susut. 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. Perbedaan volume tanah sebelum dan sesudah dioven ditampilkan pada Gambar 2.11. Batas susut dapat dihitung dengan Persamaan 2-8 sebagai berikut:

$$SL = \left(\frac{W_w}{W_s} - \frac{V_w \cdot \gamma_w}{V_s} \right) \times 100\% \quad (2-8)$$

Dengan keterangan:

SL = Batas susut

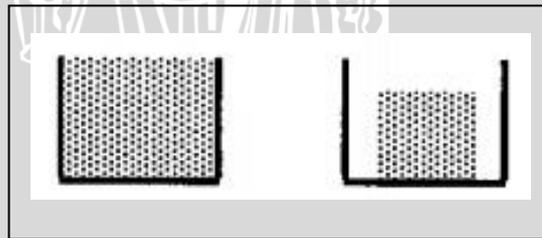
W_w = Berat air (gram)

W_s = Berat tanah kering (gram)

V_w = Volume air (cm³)

V_s = Volume tanah kering (cm³)

γ_w = Berat jenis air (gram/cm³)



Gambar 2.11. Perbedaan Volume Tanah Sebelum dan Sesudah Dikeringkan

(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

2.5.6. Pendekatan Empiris untuk Indeks Pemampatan (C_c)

Untuk mendapatkan indeks-indeks tekanan, pada umumnya digunakan uji konsolidasi. Namun pengujian tersebut membutuhkan waktu lama dan pengeluaran yang besar. Oleh karena itu, digunakan 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. Untuk lempung yang struktur tanahnya tak terganggu atau belum rusak (*undisturbed*), nilai C_c dapat dirumuskan pada Persamaan 2-9 berikut:

$$C_c = 0,009 (\text{Nilai Batas Cair} - 10) \dots\dots\dots(2-9)$$

Untuk lempung yang terbentuk kembali (*remolded*), dirumuskan pada Persamaan 2-10 berikut:

$$C_c = 0,007 (\text{Nilai Batas Cair} - 10) \dots\dots\dots(2-10)$$

Beberapa persamaan untuk menentukan nilai indeks pemampatan (C_c) berdasarkan jenis lempung ditampilkan pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Persamaan Indeks Pemampatan (C_c)

Persamaan	Acuan	Daerah Pemakaian
$C_c = 0,007 (LL - 7)$	Skempton	Lempung yang dibentuk kembali (<i>remolded</i>)
$C_c = 0,01 W_N$		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
$C_c = 0,0115 W_N$		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
$C_c = 0,20 e_o + 0,0083$		Lempung Chicago
$C_c = 0,156 e_o + 0,0107$		Semua lempung

(Sumber: Braja M. Das, 1995)

2.5.7. Pengujian Pemadatan (*Standart Proctor Test*)

Pemadatan adalah proses penumbukan untuk mengeluarkan udara dari pori-pori tanah. Pada proses pemadatan untuk setiap daya pemadatan tertentu, kepadatan yang tercapai tergantung pada kadar air di dalam tanah tersebut. Pada penambahan kadar air yang lebih tinggi, kepadatannya akan turun karena pori-

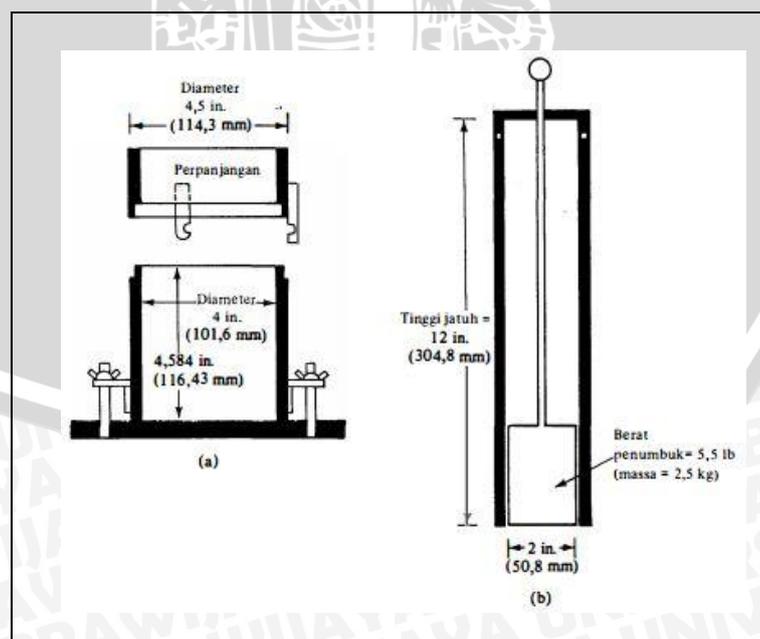
pori tanah menjadi penuh terisi air yang tidak dapat lagi dikeluarkan dengan cara dipadatkan.

Uji pemadatan (*Standart Proctor Test*) dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah sehingga dapat diketahui kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Kadar air optimum adalah kadar air yang diperlukan untuk mencapai berat isi kering maksimum. Besar kepadatan diukur dalam berat jenis kering tanah (γ_d) atau kepadatan kering tanah.

Pada penelitian ini, uji pemadatan standar dilakukan berdasarkan ASTM Metode B. Tanah yang lolos saringan nomor 4 dipadatkan dalam cetakan dengan volume 2124,3 cm³ dan diameter cetakan sebesar 152,4 mm. Berat alat penumbuk (*proctor*) adalah 2,5 kg dengan tinggi jatuh 30 cm. Satu sampel tanah terdiri atas tiga lapisan yang tiap lapisannya ditumbuk sebanyak 56 kali tumbukan. Perubahan yang terjadi bila tanah dipadatkan antara lain:

- 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.

Alat uji proktor standar ditampilkan dalam Gambar 2.12 .



Gambar 2.12. Alat Uji Proktor Standar ; (a) Cetakan, (b) Penumbuk

(Sumber: Braja M. Das, 1995)

Untuk setiap tanah yang dipadatkan, berat volume basah (γ) dari tanah dapat dihitung dengan Persamaan 2-11 berikut:

$$\gamma = \frac{W}{V_{(m)}} \quad \dots\dots\dots(2-11)$$

Dengan keterangan:

- γ : Berat volume tanah basah (gram/cm³)
- W : Berat tanah yang dipadatkan di dalam cetakan (gram)
- V_(m) : Volume cetakan (cm³)

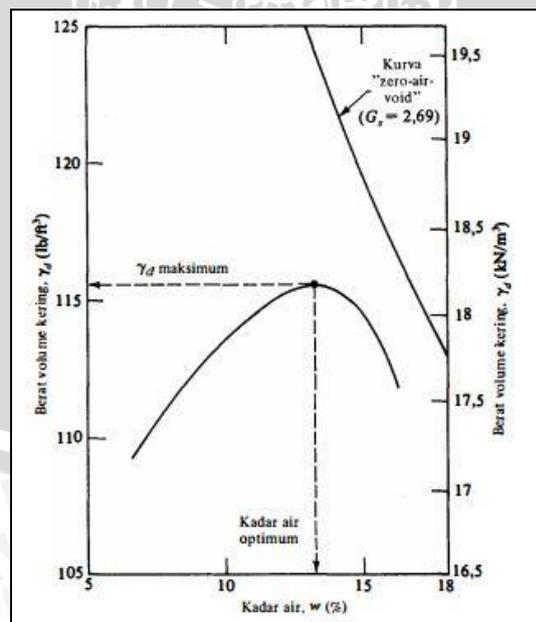
Dengan kadar air yang telah diketahui, berat volume kering (γ_d) dari tanah tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 2-12 berikut:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{W}{100}} \quad \dots\dots\dots(2-12)$$

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. Grafik hasil uji pemadatan dengan proktor untuk tanah lempung berlanau ditampilkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Hasil Uji Pemadatan Proktor Standar untuk Lempung Berlanau (Sumber: Braja M. Das, 1995)

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 berisi udara 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 2-13 berikut:

$$\gamma_{zav} = \frac{\gamma_w}{1 + w \cdot G_s} \dots\dots\dots(2-13)$$

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

2.5.8. Pengujian CBR (*California Bearing Rasio Test*)

California Bearing Ratio (CBR) adalah rasio dari gaya perlawanan penetrasi dari tanah terhadap penetrasi sebuah piston yang ditekan secara kontinu dengan gaya perlawanan penetrasi serupa pada sampel tanah standar berupa batu pecah di Kalifornia. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2,5mm dan 5,0 mm (0,1 inci dan 0,2 inci) dengan ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Gaya perlawanan penetrasi adalah gaya yang diperlukan untuk menahan penetrasi konstan dari suatu piston ke dalam tanah. Alat serta cara melakukan percobaan CBR dapat dilihat pada Gambar 2.10 dengan mempergunakan dongkrak mekanis sebuah piston penetrasi ditekan supaya masuk tanah dengan kecepatan 0,05 inci per menit.

Pemeriksaan CBR merupakan salah satu cara untuk menyatakan kualitas suatu tanah dengan kekuatan bahan agregat yang dianggap standar dengan harga CBR 100% (batu pecah dianggap sebagai agregat standar dengan harga CBR 100%). Besar nilai CBR dapat dinyatakan menurut Persamaan 2.14 dan 2.15 berikut:

Penetrasi 0,1 inci:

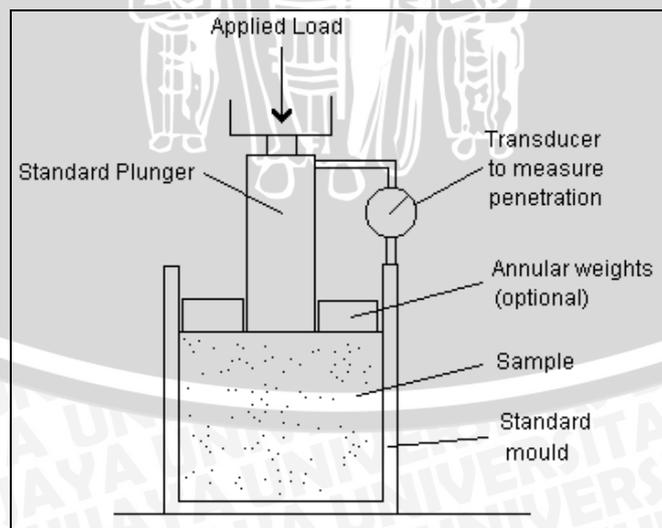
$$CBR = \frac{P_1}{\text{Luas penampang piston} \times 1000} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Penetrasi 0,2 inchi:

$$\text{CBR} = \frac{P_2}{\text{Luas penampang piston} \times 1500} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

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 (L.D.Wesley, 1977). Walaupun demikian, hal itu tidak berarti bahwa sebaiknya tanah dasar dipadatkan dengan kadar air yang rendah supaya mendapat nilai CBR yang tinggi. Air akan dapat meresap dengan mudah ke dalam tanah dasar, sehingga kekuatan dan nilai CBR-nya akan turun sampai kadar air mencapai nilai yang konstan (Arief Rachmansyah et al, 2008).

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, yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah harga CBR *soaked* karena dalam kenyataannya air selalu mempengaruhi konstruksi bangunan. Alat uji CBR ditampilkan dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Alat Uji CBR

2.5.9. Pengujian Pengembangan (*Swelling Test*)

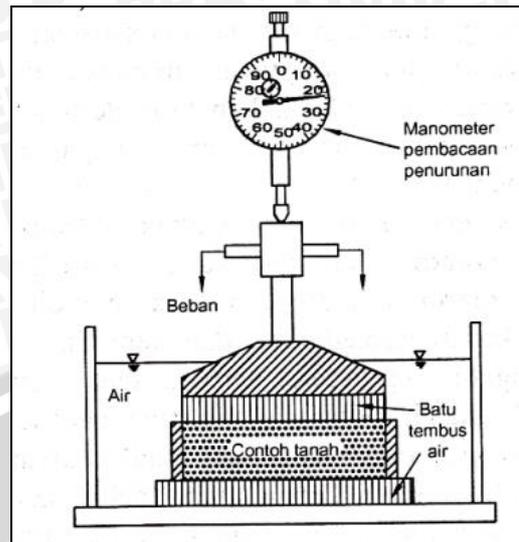
Cara untuk menggambarkan sifat tanah ekspansif adalah melalui potensi pengembangan (*swelling potential*) yang umumnya diuji dengan uji pengembangan (*swelling*) berdasarkan ASTM D4546. *Swelling* adalah pembesaran volume tanah ekspansif akibat bertambahnya kadar air. Besar dan nilai tekanan pengembangan bergantung pada banyaknya mineral lempung dalam tanah dan kadar air awal. Gangguan tanah atau pembentukan kembali tanah lempung dapat menambah sifat mudah mengembang.

Proses pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinking*) tanah sebagian besar adalah akibat peristiwa kapiler atau perubahan kadar air pada tanah tersebut. 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 yang tidak seragam di satu titik dengan titik lainnya sehingga menimbulkan *differential movement* yang berbahaya untuk konstruksi di atas tanah.

Uji pengembangan umumnya dilakukan pada *ring* besi berbentuk silinder. Sampel tanah yang digunakan dapat berupa tanah asli maupun *remolded*. Beban yang digunakan berupa beban terbagi rata dan ditentukan besarnya. Lama waktu pengujian dipertimbangkan terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk masuk kedalam sampel tanah, karena tanah-tanah ekspansif tidak segera mengembang ketika ditambahkan air. Beberapa peneliti melakukan pengujian selama 2 jam, atau yang lain, menunggu sampai kecepatan mengembang telah mencapai kecepatan tertentu, misalnya 0,001"/jam, sehingga memerlukan waktu beberapa hari (Coduto, 1994).

Alat uji pengembangan ditampilkan pada Gambar 2.15. Nilai pengembangan dapat dihitung dengan Persamaan 2-16 sebagai berikut:

$$Swelling = \frac{\text{pembacaan manometer} \times 0,01}{\text{tinggi cetakan (mm)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.16)$$



Gambar 2.15. Alat Uji Pengembangan
(Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

2.5.9.1. Pengembangan Bebas (*Free Swell*)

Uji pengembangan bebas 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.

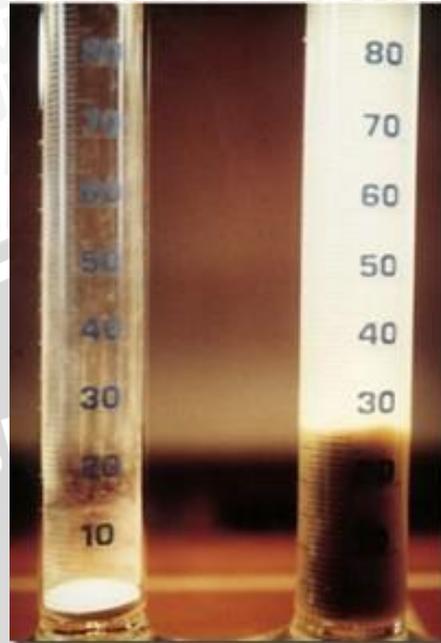
Pengujian pengembangan bebas ini dilakukan berdasarkan ASTM D4546-1990. Perbedaan tinggi air atau volume awal pengamatan dengan akhir pengamatan menunjukkan perubahan volume material tanah. Prosentase *Free Swell* adalah perbandingan perubahan volume tanah dengan volume tanah awal pengamatan.

Uji pengembangan bebas didefinisikan sebagai peningkatan volume tanah dari bentuk *loose* ketika dituangkan ke dalam air, dan dinyatakan dalam prosentasi dari volume aslinya. Besar pengembangan bebas dapat diketahui dengan Persamaan 2-17 berikut:

$$Free\ Swell = \frac{Volume\ akhir - Volume\ awal}{Volume\ awal} \times 100\% \dots\dots\dots(2-17)$$

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%. Ilustrasi percobaan *free swell* ditampilkan dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Uji Swelling Bebas
(Sumber: civilblog.org)

