

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanah Lempung Ekspansif

2.1.1. Pengertian Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang memiliki ukuran mikronis sampai dengan submikronis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering. Permeabilitas lempung sangat rendah sehingga tanah lempung bersifat plastis.

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

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

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

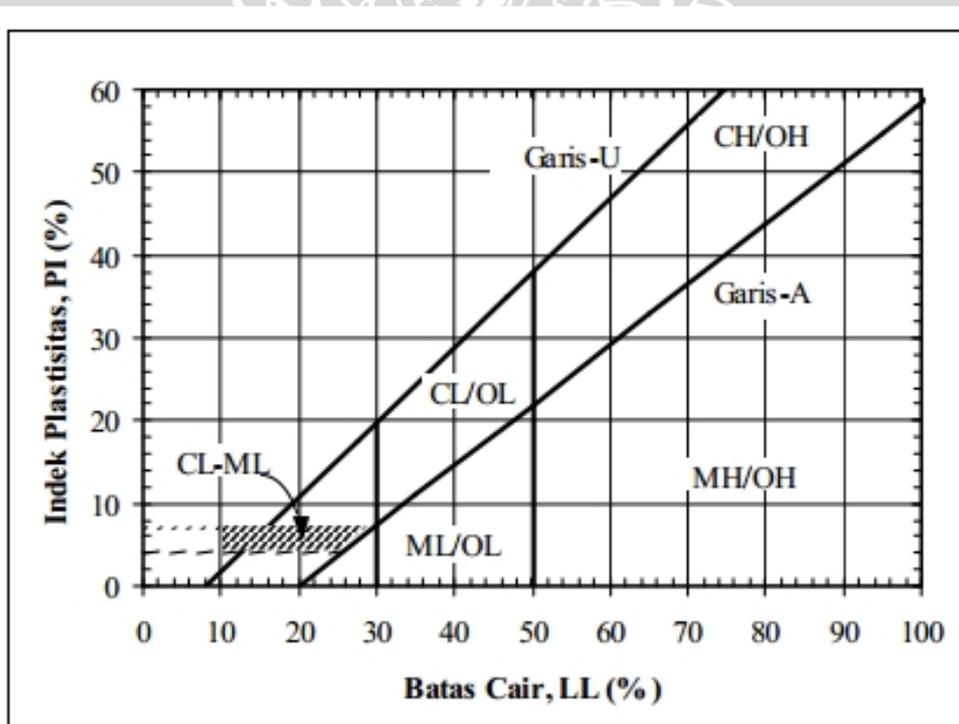
Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna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

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

1. Tanah berbutir kasar (*coarse – grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No. 200 ($F_{200} < 50$).
2. Tanah berbutir halus (*fine – grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No. 200 ($F_{200} \geq 50$).

Tabel 2.1 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>)



Gambar 2.1 Grafik Plastisitas untuk klasifikasi tanah USCS

Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berbutir halus *) 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 (R_{200}).

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).

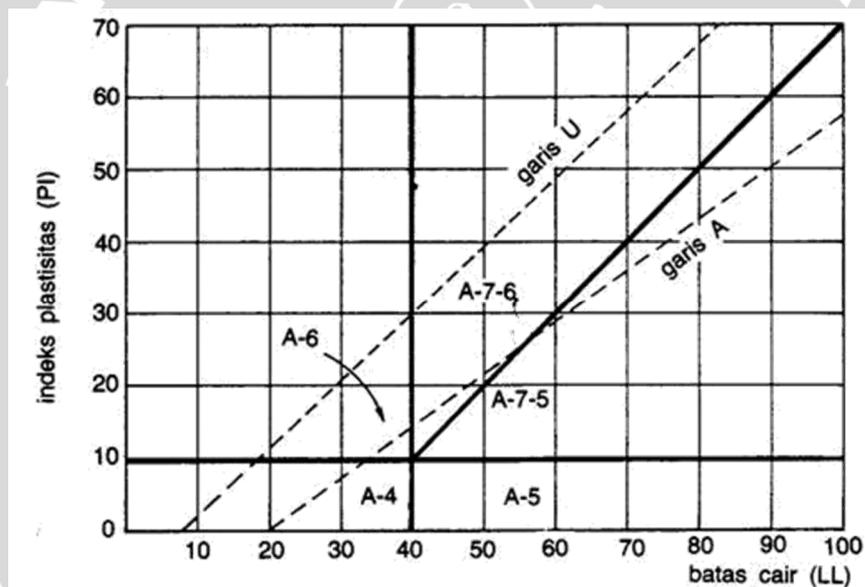
Secara umum klasifikasi AASHTO menganggap tanah sebagai:

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			

(Sumber: Braja M. Das, 1995:67)

**Gambar 2.2** Grafik Plastisitas Untuk Klasifikasi Tanah AASHTO

(Sumber: Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1, hal 65)

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

2.2. Identifikasi Tanah Lempung Ekspansif

Menurut Chen (1975), cara-cara yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- Identifikasi Mineralogi.

- Cara tidak langsung (*single index method*).
- Cara pengukuran langsung.

2.2.1. Identifikasi Mineralogi

Analisa mineralogy sangat berguna untuk mengidentifikasi potensi kembang susut tanah lempung. Identifikasi dilakukan dengan cara:

- Difraksi Sinar X (*X-Ray Diffiracton*).
- Penyerapan terbilas (*Dye Absorbision*).
- Penurunan Panas (*Differensial Thermal Analysis*).
- Analisa Kimia (*Chemical Analysis*).
- *Electron Microscope Resolution*.

2.2.2. Cara Tidak Langsung

Hasil uji sejumlah indeks dasar tanah dapat digunakan untuk evaluasi berpotensi ekspansif atau tidak pada suatu contoh tanah. Uji indeks dasar adalah uji batas-batas Atterberg, linear shrinkage test (uji susut linier), uji mengembang bebas dan uji kandungan koloid. Holtz dan Gibbs (1956) sebagaimana yang dikutip Chen (1975), secara empiris menunjukkan hubungan nilai potensial mengembang dengan indeks plastisitas dari basil uji Atterberg. Besaran indeks plastis dapat digunakan sebagai indikasi awal bahwa swelling pada tanah lempung yang telah dipadatkan pada kadar air optimum metode AASTHO, setelah contoh direndarn dengan 1 psi. Chen (1975) berpendapat bahwa potensi mengembang tanah ekspansif sangat erat hubungannya dengan indeks plastisitas sehingga Chen membuat klasifikasi potensi pengembangan pada tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas, seperti yang ditampilkan dalam tabel 2.4 di bawah 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

Tabel 2.5 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SI (Raman,1967)

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

Altmeyer (1955) sebagaimana. dikutip Chen (1975), membuat acuan mengenai hubungan derajat mengembang tanah lempung dengan nilai persentase susut linear dan persentase batas susut Atterberg, seperti yang ditampilkan dalam Tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 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

Skempton (1953), mendefinisikan sebuah parameter yang disebut aktivitas dalam rumus sebagai berikut:

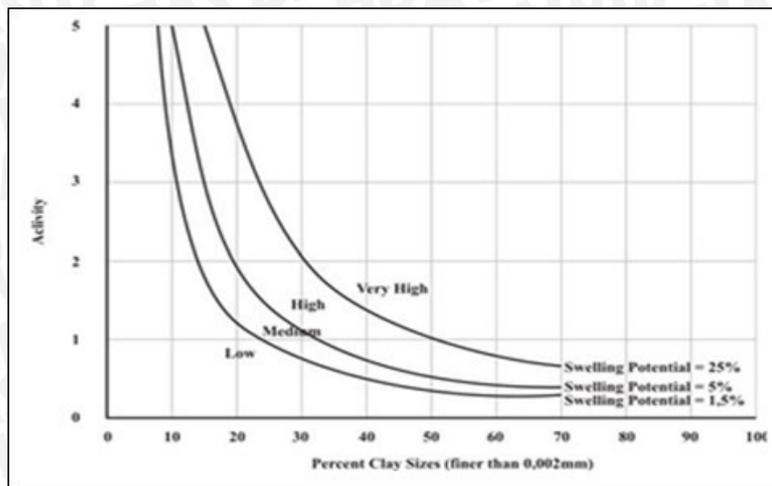
$$Activity (A) = \frac{PI}{C} \quad (2-1)$$

Dimana :

A = Aktivitas

PI = Indeks Plastisitas

C = Prosentase lempung <0,002mm



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

2.2.3. Cara Pengukuran Langsung

Cara pengukuran langsung yaitu suatu metode untuk menentukan potensi pengembangan dan tekanan pengembangan dari tanah ekspansif dengan menggunakan Oedometer Terzaghi.

2.3. Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Zat Adiktif

Sifat kembang susut tanah lempung yang tinggi menimbulkan permasalahan pada bidang konstruksi seperti terjadinya gelombang-gelombang pada permukaan jalan, terjadinya retak-retak (*cracking*) pada bangunan dan lain sebagainya, maka dari itu perlu dilakukan stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dapat berupa peningkatan kerapatan tanah, penambahan material yang tidak adiktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul, penambahan bahan untuk menyebabkan perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah, menurunkan muka air tanah, dan mengganti tanah yang buruk (Bowles, 1993, Viktor 2010).

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

1. Secara mekanis

Stabilisasi tanah secara 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. Secara Kimiawi

Stabilisasi tanah secara kimiawi dapat dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan pencampur (*additives*) tergantung dari jenis tanah tersebut. Bahan pencampur kimiawi yang sering digunakan adalah semen portland, kapur, abu batu bara, semen aspal dan lain sebagainya. Stabilisasi jenis ini dapat mengurangi sifat plastis tanah

Pada penelitian ini, usaha stabilisasi tanah yang digunakan adalah dengan penambahan zat aditif. Zat aditif yang digunakan yaitu *fly ash*. Zat aditif tersebut diharapkan akan mampu meningkatkan nilai CBR tanah lempung ekspansif di daerah Kecamatan Ngasem, Bojonegoro, Jawa Timur.

2.4. Stabilisasi Tanah Lempung Dengan *Fly Ash*

Fly Ash adalah partikel halus yang merupakan endapan dari tumpukan bubuk hasil pembakaran batubara yang dikumpulkan dengan alat elektro presipitator. *Fly ash* merupakan kategori limbah yang mempunyai potensi tinggi digunakan dalam konstruksi (Setyawan, 2005). *Fly ash* memiliki kandungan SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , dan Fe_2O_3 yang cukup tinggi sehingga abu batubara (*fly ash*) memenuhi kriteria sebagai bahan yang memiliki sifat semen/pozzolan (Misbachul Munir, 2008). Penambahan *fly ash* pada tanah ekspansif dimaksudkan agar terbentuk reaksi *pozzonic* yaitu reaksi antara kalsium yang terdapat pada *fly ash* dengan alumina dan silikat yang terdapat pada tanah sehingga menghasilkan massa yang keras dan kaku (Gogot Setyo Budi et al. 2003).

Menurut ASTM C618 *fly ash* dibagi menjadi dua kelas yaitu *fly ash* kelas C dan Kelas F. Perbedaan utama dari kedua *ash* tersebut adalah banyaknya kalsium, silika, aluminium dan kadar besi di *ash* tersebut.

1. *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 (CaO) > 20%.
2. *Fly Ash* kelas F : mempunyai sifat *pozzolanic* dan untuk mendapatkan sifat cementitious harus diberi penambahan quick lime, hydrated lime, atau semen. *Fly ash* tipe ini kadar kapurnya (CaO) < 10%

Untuk kandungan *fly ash* sendiri yang diambil dari beberapa sumber adalah sebagai berikut:

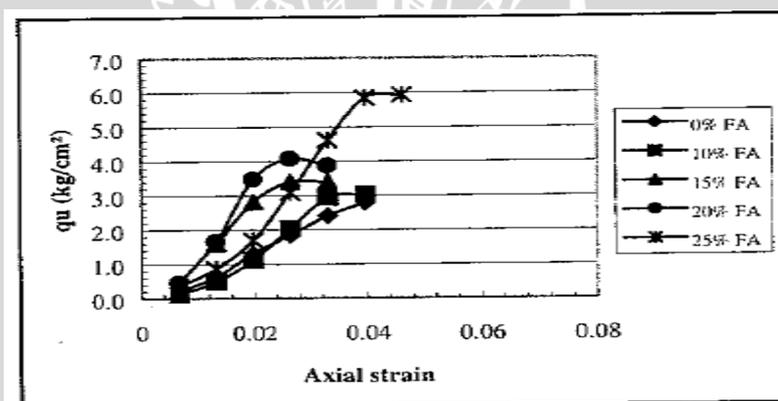
Tabel 2.7 Kandungan *fly ash* PLTU Paiton

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji Fly Ash PLTU Paiton
1	Berat Jenis	g/cm^3	1.43
2	Kadar Air	% Berat	0.2
3	Hilang Pijar	% Berat	0.43
4	SiO_2	% Berat	62.49
5	Al_2O_3	% Berat	6.39
6	Fe_2O_3	% Berat	16.71
7	CaO	% Berat	5.09
8	MgO	% Berat	0.79
9	S(SO_4)	% Berat	7.93

Sumber : Rahmi (2006)

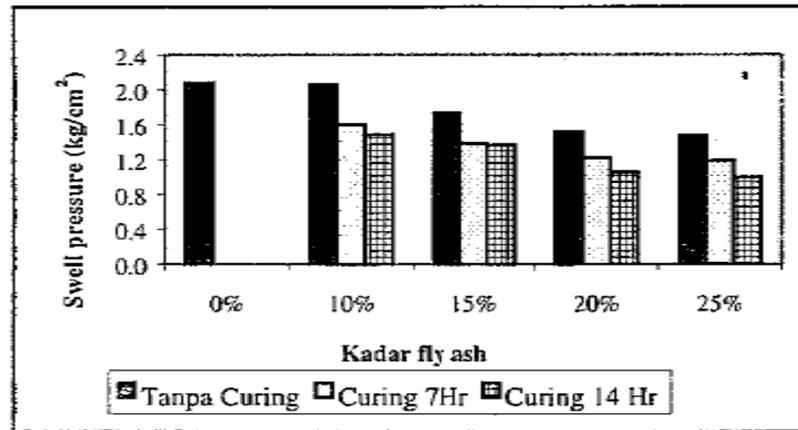
Setyo-budi, et al (2003) melakukan penelitian dengan melakukan variasi penambahan *fly ash* sebesar 0%, 10%, 15%, 20%, dan 25%, hasilnya sebagai berikut:

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.



Gambar 2.4 Pengaruh Penambahan *Fly Ash* terhadap kekuatan tanah pada *curing* 28 hari
(Sumber: Gogot Setyo-budi, et al)

2. Apabila 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%.



Gambar 2.5 Hubungan Antara Kadar *Fly Ash* Dengan *Swelling Pressure* (Sumber: Gogot Setyo-budi, et al)

Dalam penelitian sebelumnya 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% emmberikan 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.

2.5. Pengujian Indeks Properties Tanah di Laboratorium

2.5.1. Analisis Saringan dan Hidrometer

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Analisa ukuran butiran tanah adalah penentuan persentase berat butiran pada suatu saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. (Hardiyatmo, 2010).

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.

Analisis ayakan adalah mengayak dan menggetarkan contoh tanah melalui suatu set ayakan dimana lubang-lubang tersebut makin kecil secara berurutan. (Braja M. Das, 1985). Standart di Amerika Serikat nomor ayakan : 4, 20, 40, 50, 60, 80, 100, 200, dan pan.

Tabel 2.8 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		

(Sumber: Braja M. Das, 1995:17)

Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butiran-butiran tanah dalam air. Di laboratorium, pengujian hidrometer dilakukan dalam silinder pengendap yang terbuat dari gelas dan memakai 50 gram contoh tanah yang kering oven (dikeringkan dalam oven). Silinder pengendap tersebut mempunyai tinggi 18 inci (=457,2 mm) dan diameter 2,5 inci (63,5 mm). Silinder tersebut diberi tanda yang menunjukkan volume sebesar 1000 ml. (Braja M. Das, 1985).

2.5.2. 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 persen.

2.5.3. Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Berat jenis tanah (*Specific Gravity*) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butiran padat dengan volume air pada temperatur 4°C. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan pada tabel 2.9 berikut ini :

Tabel 2.9 Berat Jenis Tanah

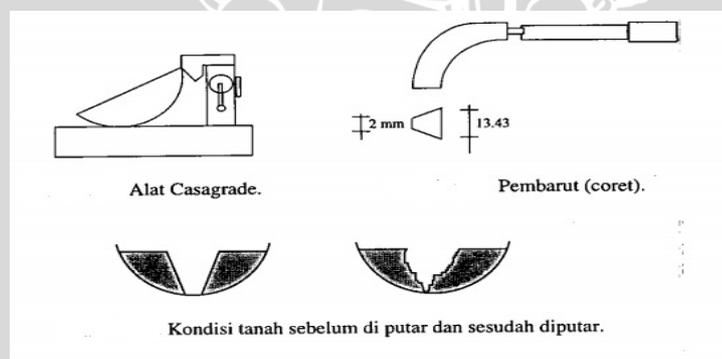
Macam Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau organik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

(Sumber: Hardiyatmo, 1999:4)

2.5.4. Batas-batas Atterberg (*Atterberg Limit*)

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.

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Cara menentukannya dapat menggunakan alat Casagrande. 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.



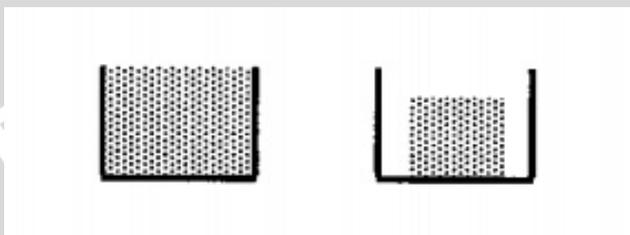
Gambar 2.6 Skema Uji batas Cair (Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

Batas plastis (*plastic limit*) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung-gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inch). Kadar air ini ditentukan dengan menggiling tanah pada pelat kaca hingga diameter dari batang yang dibentuk mencapai 1/8 inch. Ketika tanah mulai pecah pada saat diameternya 1/8 inch, maka kadar air tanah itu adalah batas plastis.



Gambar 2.7 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.



Gambar 2.8 Perbedaan volume tanah sebelum dan sesudah di oven (Sumber : Budi Santosa dkk, 1998)

$$SL = \left[\left(\frac{\text{Berat Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) - \left(\frac{\text{Volume Air}}{\text{Berat Tanah Kering}} \right) \right] \times 100\% \quad (2-2)$$

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

$$PI = LL - PL \quad (2-3)$$

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 2.10 (Hardiyatmo, 2010).

Tabel 2.10 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah (Jumikis, 1962)

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

Pada tahun 1976, Mitchell mengungkapkan harga-harga Atterberg Limit untuk beberapa mineral lempung adalah seperti pada tabel 2.11.

Tabel 2.11 Atterberg Limit Mineral Lempung

Mineral	Liquid Limid	Plastic Limit	Shringkage 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	

(Sumber: Budi Santosa dkk,1998)

2.5.5. Uji Pemadatan (*Standart Proctor Test*)

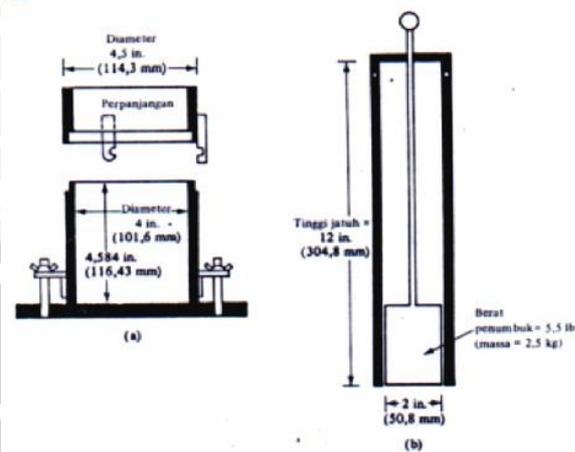
Pemadatan pada tanah adalah proses memperkecil ruangan pori dengan menggunakan beban dinamis yang dipengaruhi oleh mekanisme pergerakan dari partikel padatnya. Pada setiap standar pemadatan yang digunakan akan diperoleh nilai kadar air optimum (*optimum moisture content*) yang menghasilkan kepadatan 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. Semakin jauh dari kadar air optimumnya, maka kepadatan yang akan didapatkan akan semakin kecil.

Tujuan dari pemadatan tanah adalah :

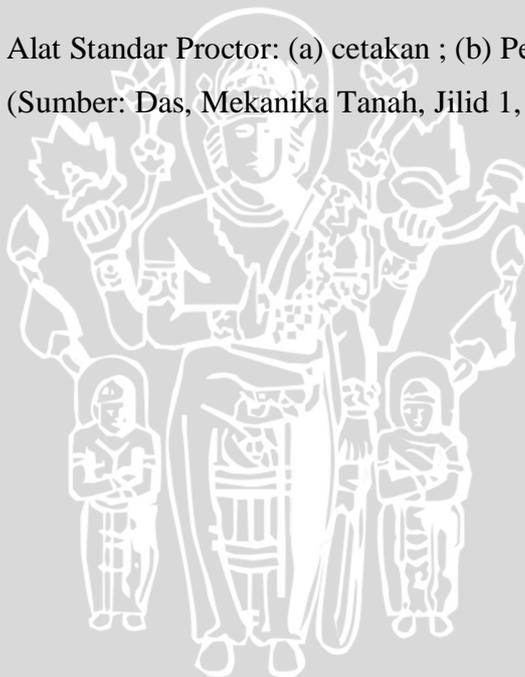
1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
3. Mengurangi permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lain

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



Tabel 2.12 Spesifikasi Uji Pemadatan

Penjelasan	Satuan	ASTM D-698, AASHTO T-99				ASTM D-1557, AASHTO T-180			
		Metode	Metode	Metode	Metode	Metode	Metode	Metode	Metode
		A	B	C	D	A	B	C	D
Cetakan Volume	ft ³	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33	1/30	1/13,33
	cm ³	943,9	2124,3	943,9	2124,3	943,9	2124,3	943,9	2124,3
Tinggi	in	4,58	4,59	4,58	4,59	4,58	4,59	4,58	4,59
	mnt	116,33	116,34	116,33	116,34	116,33	116,34	116,33	116,34
Diameter	in	4	6	4	6	4	6	4	6
	mm	101,6	152,4	101,6	152,4	101,6	152,4	101,6	152,4
Berat (massa) penumpuk	lb	5,5	5,5	5,5	5,5	10	10	10	10
	kg	2,5	2,5	2,5	2,5	4,54	4,54	4,54	4,54
Tinggi jatuh penumbuk	in	12	12	12	12	18	19	20	21
	mm	304,8	304,8	304,8	304,8	457,2	457,2	457,2	457,2
Jumlah lapisan tanah		3	3	3	3	5	5	5	5
Jumlah tumbukan tiap lapis		25	56	25	56	25	56	25	56
Fraksi tanah yang diuji lolos ayakan		No. 4	No. 4	3/4 in	3/4 in	No. 4	No. 4	3/4 in	3/4 in

*Faktor konversi: 1 lb massa = 0,4536 kg; 1 in = 25,4 mm; 1 ft³ = 28316,8 cm³

(Sumber, Das, Mekanika Tanah, Jilid 1, hal 245)

2.5.6. California Bearing Ratio (CBR)

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.

California Bearing Ratio (CBR) didefinisikan sebagai suatu perbandingan antara beban pada percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standard load*) pada penetrasi yang sama dan dinyatakan dalam persen. Hasil pengujian dapat diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi tertentu. Penetrasi dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

$$CBR = \frac{P_1}{3 \times 1000} \times 100\% \quad (2-4)$$

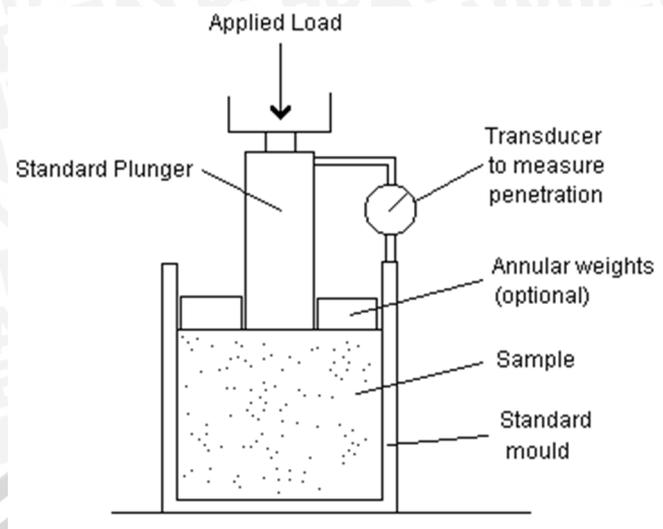
- Penetrasi 0,2" (5 mm)

$$CBR = \frac{P_2}{3 \times 1500} \times 100\% \quad (2-5)$$

Persamaan diatas dikeluarkan oleh California Highway Departemen dan US Army Corps of Engineer, 1929 dalam Rollings and Rollings, J. R (1996).

Kadar air sangat mempengaruhi kekuatan dari suatu tanah dasar. Makin tinggi kadar airnya maka makin kecil kekuatan nilai CBR dari tanah tersebut. Meskipun begitu bukan berarti tanah harus dipadatkan dengan kadar air rendah untuk mendapatkan CBR yang tinggi, karena kadar air tidak tahan konstan pada nilai rendah itu. Kadar air konstan inilah yang disebut kadar air keseimbangan. Batas-batas kadar air dan berat isi kering dapat ditentukan dari hasil percobaan laboratorium yaitu percobaan pemadatan dan CBR.

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 lapangan, sehingga di dalam perhitungan konstruksi bangunan, harga CBR *Soaked* yang dipergunakan sebagai dasar perhitungan.



Gambar 2.10 Pengujian 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. 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).

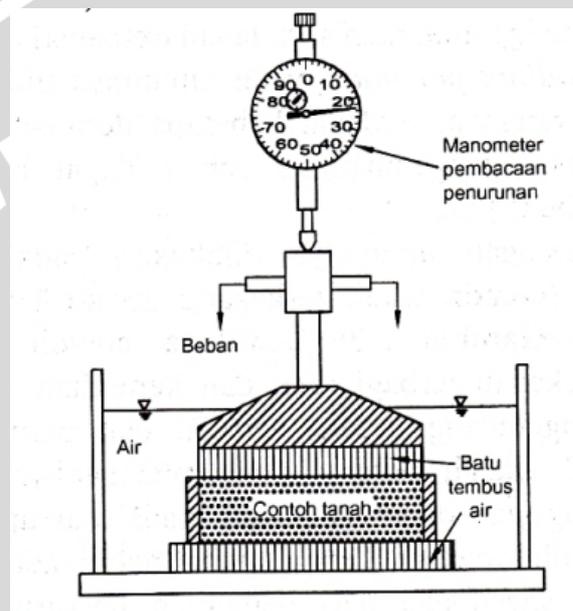
2.5.7. Pengembangan (*Swelling*)

Swelling adalah bertambahnya volume tanah secara perlahan-lahan akibat tekanan air pori berlebih negatif. Tanah yang banyak mengandung lempung khususnya tanah lempung ekspansif mengalami perubahan volume yang ekstrim ketika kadar air berubah. Perubahan itulah yang dapat membahayakan 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, 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.



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

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai swell akibat adanya beban vertikal. Hal ini terjadi akibat air yang masuk ke pori-pori tanah dan menyebabkan perubahan isi pori tanah sehingga tekanan vertikal berkerja pada tanah tersebut.

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

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

(remolded) pada tanah 100% kepadatan relatif, tekanan pengembangan adalah tekanan yang diperlukan untuk menjaga berat volume kering tersebut (Hardiyatmo 2010, 134).

Garcia-Iturbe, Martines, dan Polin (1980) dalam makalahnya mengemukakan hubungan antara potensi mengembang dengan tekanan mengembang, seperti ditampilkan pada tabel 2.13, bisa dilihat bagaimana potensi mengembang suatu sampel tanah berdasarkan tekanan mengembangnya. Untuk nilai *swelling pressure* dibawah 2 memiliki *swelling potential* yang rendah sedangkan untuk *swelling pressure* yang memiliki nilai di atas 7 memiliki *swelling potential* yang sangat tinggi.

Tabel 2.13 Hubungan Potensi Mengembang Dengan Tekanan Mengembang

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

(Garcia – Iturbe, 1980)

Secara umum sifat kembang susut tanah lempung tergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk menyusut dan mengembang.