

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Dalam pengertian teknik secara umum, Das B.M, (1998) mendefinisikan tanah sebagai bahan yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia antara satu sama lain dari bahan-bahan organik yang telah melapuk yang berpartikel padat disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah pada umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), dan lempung (clay), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut.

Peranan tanah ini sangat penting didalam perencanaan dan pelaksanaan bangunan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada diatasnya. Oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan sebagai pendukung konstruksi haruslah dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (*subgrade*).

2.2 Tanah Lempung

2.2.1 Minerologi Tanah Lempung Ekspansif

Tanah Lempung ekspansif mempunyai kandungan dan struktur mineral yang tidak jauh berbeda dengan kandungan tanah lempung pada umumnya. ASTM memberikan batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah lolos saringan NO.200. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi dari mineral pembentuknya juga.

Mineral lempung bersifat *ekspansif* tersusun oleh alumunia hidrat. Bentuk dasarnya berupa thetahedral silika oksigen (satu atom silika mengikat empat atom oksigen) dan oktahedral alumunium hidrat (satu atom alumunium mengikat enam ion hidrat). Bentuk-bentuk dasar berikatan satu sama lain membentuk lembaran (*sheet*). Karakteristik lempung yang terjadi ditentukan oleh susunan dan komposisi tetrahedral silika dan oktahedral alumunia

Berdasarkan susunan bentuk dasarnya dibedakan tiga jenis lempung yaitu: kelompok kaolinite, kelompok montmorillonite dan kelompok illite. Tanah lempung kelompok montmorillonite sangat sensitif terhadap air permukaan lapisan sheet yang bermuatan negatif membutuhkan ion positif (*kaiton*) untuk menetralkannya.

Kenaikan volume akibat peristiwa *swelling* bergantung pada ion terhidrasi, kadar air dan jenis lempung. Semakin besar ion penetral, semakin besar pula kenaikan volume lempung. Montmorillonite merupakan kelompok lempung yang mudah *swelling*, sedangkan kaolinite yang paling sulit. Kemudahan *swelling* menurut kelompok lempung bersifat *ekspansif* adalah sebagai berikut: montmorillonite > illite > kaolinite.

Kaiton penetral yang berada diantara dua sheet bersifat mobile sehingga dapat ditukar dengan kaiton penetral jenis lain. Kemudahan mengantikan ion-ion sebagai berikut: $\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Mg}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{H}^+$, pada konsentrasi yang sama, ion Ca^{2+} akan mengantikan ion Na^+ dan cenderung stabil. Dengan demikian perubahan volume akibat *swelling* dapat dikendalikan dengan mempertukarkan kaiton penetral

2.2.2 Kembang Susut Tanah Lempung

Membangun di atas tanah mengembang yang mempunyai sifat kembang susut yang tinggi sering menyulitkan dan membutuhkan kiat-kiat tertentu supaya bangunan yang dibangun di atasnya aman dari kerusakan. Kerusakan pada lantai bangunan (tegel ternagkat ke atas), keretakan pada dinding tembok, permukaan jalan bergelombang karena penurunan yang tidak merata adalah contoh-contoh kerusakan yang diakibatkan oleh tanah yang mempunyai kembang susut tinggi. Pengembangan (*swelling*) dan penyusutan (*shrinkage*) pada tanah lempung pada prinsipnya adalah peristiwa perubahan volume. Penyusutan tanah terjadi karena adanya penurunan kadar air akibat evaporasi pada musim kering dan pengembangan terjadi karena adanya penambahan kadar air akibat musim hujan. Peristiwa itu akan berlangsung sepanjang tahun seiring dengan adanya perubahan musim. Untuk menanggulangi peristiwa kembang susut tersebut dapat dilakukan dengan mengubah gradasi butir tanah atau menjaga kadar air dalam tanah tidak mengalami perubahan.

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume ketika kadar air berubah. Pengurangan kadar air menyebabkan lempung

menyusut, dan sebaliknya bila kadar air bertambah lempung mengembang. Derajat pengembangan tergantung beberapa faktor, seperti: tipe dan jumlah mineral lempung yang ada dalam tanah, luas spesifik lempung, susunan tanah, konsentrasi garam dalam air pori, velensi kaiton sementasi, adanya bahan-bahan organik dan sebagainya. Perubahan volume tanah yang besar membahayakan bangunan.

Pengembangan lempung adalah hasil dari bertambahnya tebal lapisan ion *diffuse* ketika ada air. Ion-ion manovalent exchangeable sodium akan menyebabkan pengembangan lebih besar dari pada ion-ion kalsium dipalent.

Pengaruh susut pada tanah-tanah berbutir halus menjadi masalah penting dalam masalah teknis. Retak akibat susut dapat muncul secara lokal, jika tekanan kapilar melampaui kohesi atau kuat tarik tanah. Retak-retak ini merupakan bagian dari makrostruktur lempung dan merupakan zone-zone lemah yang secara signifikan nereduksi kekuatan massa tanah secara keseluruhan, sehingga dapat mempengaruhi stabilitas lereng lempung dan kapasitas daya dukung pondasi. Retak akibat pengeringan permukaan yang sering dijumpai pada lempung dapat berpengaruh jelek, misalnya pada struktur perkerasan jalan yang dibangun di atasnya. Susut dan retak akibat susut disebabkan oleh penguapan permukaan pada saat musim panas, penurunan muka air tanah, dan isapan akar tumbu-tumbuhan. Ketika musim hujan tanah mendapatkan air lagi dan volume tanah bertambah dan tanah mengembang. Perubahan volume akibat kembang susut sering merusak bangunan gedung ringan dan perkerasan jalan raya.

Pada umumnya perkerasan atau pembangunan gedung dilaksanakan pada musim panas, sehingga tanah permukaan pada kondisi kering. Bangunan tanah yang menutup tanah mencegah penguapan, sehingga tanah dibawah bangunan bertambah kadar airnya oleh akibat kapiler yang menyebabkan tanah lempung mengembang. Jika tekanan yang ditahan oleh perkerasan atau bangunan kurang dari tekanan pengembangan (swelling pressure) maka permukaan tanah akan naik dan akibatnya bangunan yang ada di atasnya akan rusak.

Di alam kadar air sangat berfluktuasi terutama didekat permukaan tanah. Hal ini karena didekat permukaan tanah dipengaruhi oleh penguapan dan isapan akar tumbu-tumbuhan. Hal yang penting dalam mengevaluasi masalah pengembangan tanah adalah kadalaman *zone aktif*. Kadar air dibawah zone aktif dianggap selalu konstan, sehingga dibawa zone aktif tidak terjadi pengembangan.

Pada proses kembang susut tanah tidak sepenuhnya kembali pada posisi semula. Lempung menjadi *overconsolidated* dan berkurang kemudahmampatannya akibat dari bertambahnya tegangan efektif oleh tekanan kapiler.

Pengembangan merupakan proses yang agak kompleks dibandingkan dengan penyusutan (Young dan Warketin, 1979). Besar dan nilai tekanan pengembangan bergantung pada banyaknya mineral lempung di dalam tanah. Tanah dengan susunan random cenderung lebih mudah mengembang. Kation-kation manovalen dalam lempung (contohnya, *sodium montmorillonite*) akan mengembang lebih besar daripada lempung divalent (contohnya: *kalsium montmorillonite*).

Tabel 2.1 menunjukkan kemungkinan potensi ekspansif tanah hasil dari pengumpulan data uji pengembangan pada lempung dan tanah-tanah ekspansif oleh Holtz (1969) dan USBR (1974). Sedang tabel 2 .2 menunjukkan hal yang sama, dari hasil pengalaman Chen (1988) pada era Rocky Mountain.

Tabel 2.1 Potensi pengembangan (holtz, 1969; Gibbs,1969,USBR, 1974)

Potensi pengembangan	Pengembangan(%) (akibat tekanan 6,9Kpa)	Persen koloid (<0,001mm) (%)	Indek plastisitas PI (%)	Batas susut SL (%)	Batas cair LL (%)
Sangat tinggi	>30	>28	>35	>11	>65
Tinggi	20-30	20-31	25-41	7-12	50-63
Sedang	10-20	13-23	15-28	10-16	39-50
Rendah	<10	<15	<18	<15	39

Tabel 2.2 Potensi Pengembangan (Chen 1988)

Potensi pengembangan	Persen lolos saringan no.20	Batas cair LL	N-SPT	Kemungkinan Ekspansi (%)	Tekanan Pengembangan (Kpa)
Sangat tinggi	>95	>60	>30	>10	>1000
Tinggi	60-65	40-60	20-30	3-10	250-1000
Sedang	30-60	30-40	10-20	1-5	150-250
Rendah	<30	<30	<10	<1	<50

Pengembangan tanah seperti juga penyusutan, biasanya tanah terkekang dibagian atas permukaan tanah, sehingga merupakan struktur di atasnya, seperti perkerasan jalan, bangunan gedung, dan perkerasan dinding saluran. Tekanan pengembangan sebesar 1000 kpa ekuivalen dengan tinggi timbunan 40 sampai 50 meter (karena berat volume tanah sekitar 20 Kn/m^3). Walaupun tekanan sebesar itu jarang terjadi, namun tekanan pengembangan hanya 100-200 kpa harus diperhitungkan bila membangun timbunan dengan tinggi 5 atau 6 meter, contohnya timbunan untuk subgrade (holzt dan kovacs, 1981). Sebagai perbandingan, gedung bertingkat umumnya mempunyai tekanan tanah sekitar 10 kpa untuk setiap lantai. Dalam kerusakan akibat pengembangan tanah, harus diwaspadai adanya lempung *montmorillonite*.

Selanjutnya Sedd dkk, (1962), dari hasil uji laboratorium pada campuran lempung- pasir yang dipadatkan, memberikan definisi *potensi pengembangan*. Potensi pengembangan (*swelling potensial*) adalah persentase pengembangan dibawah tekanan 6,9 kpa, pada contoh tanah yang dibebani secara terkekang pada arah lateral, dengan contoh tanah yang dipadatkan pada kadar air optimum sehingga mencapai berat volume kering maksimumnya, menurut standar AASHTO. Didasarkan pada hasil-hasil pengujian- pengujiannya, hubungan empiris potensi pengembangan dengan indeks plastis tanah :

$S = \text{potensi pengembangan (persen pengembangan aksial tekanan 6,9 kpa)}$

$$K = 3,6 \times 10^{-5}$$

IP= indeks plastis.

Memperhatikan petunjuk praktis dari *USBR* mengenai gambaran kemampuan pengembangan tanah, Sedd dkk, (1962) menyarankan klasifikasi derajat ekspansi (*degree of exspantion*) yang ditunjukkan dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 Klasifikasi derajat Ekspansif (Seed dkk, 1962)

Derajat ekspansi	Potensi pengembangan, S (%)
Rendah	0-15
Sedang	1,5-5
Tinggi	5-25
Sangat tinggi	>25

Salah satu identitas pengembangan sederhana disarankan oleh *USWPRS* yang disebut uji pengembangan bebas (*free-swell test*) (Holst dan Gibbs, 1956). Pengujian dilakukan dengan cara menabur perlahan-lahan 10 cm³ tanah kering dengan butiran lolos saringan no.40, kedalam silinder yang diisi air dengan volume 100 cm³ dan diamati volume saat keseimbangan telah terjadi. *Pengembangan bebas* didefinisikan sebagai (Holts dan Gibbs, 1956):

Tabel 2.4 Hubungan % pengembangan dengan derajat pengembangan (Holtz and Gibbs, 1956)

% Pengembangan	Derajat pengembangan
> 100	Kritis
50 – 100	Sedang
< 50	Tidak kritis

$$\text{Pengembangan bebas} = \frac{\text{Volume air} - \text{volume awal}}{\text{Volume awal}} \times 100 \%$$

2.3 Parameter Tanah Lempung Ekspansif

Ada beberapa metode yang biasanya digunakan dalam pengidentifikasian tanah lempung ekspansif, diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Uji Klasifikasi Teknik

Hasil pengujian *indeks properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Dari harga indeks plastisitas dan sifat perubahan volume tanah yang berhubungan dengan jumlah partikel yang lebih kecil dari 0,0001 mm, yaitu yang sifatnya tergantung dari gaya permukaan dan bukan gaya gravitasi, Skempton (1953) mengemukakan bahwa dari parameter aktifitas (*A_c*) sebagai berikut:

$$\text{Aktifitas (A)} = \frac{\text{Indeks Plastisitas}}{C-10}$$

Dimana C = persentase fraksi lempung < 0,002

A > 1,25 merupakan tanah aktif dan bersifat ekspansif

1,25 < A < 0,75 merupakan tanah normal

A < 0,75 merupakan tanah tidak aktif

Tabel 2.5 Hubungan Aktifitas dan Kandungan Mineral

Mineral	Aktifitas
Kaolinite	0,33 – 0,46
Illite	0,99
Montmorillonite (Ca)	1,5
Montmorillonite (Na)	7,2

Sumber : Skempton (1953)

Tabel 2.6 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid

Data Indeks Properties			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Colloid (<0,00 mm)	LiquidLimit (%)	Standart Penetration		
> 15	> 35	< 11	> 30	Very High
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	High
13 – 23	15 -28	10 – 16	10 – 20	Medium
< 15	< 28	> 15	< 10	Low

Sumber : Holtz & Gibbs (1956)

Tabel 2.7 Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan % Lolos Sarngan No. 200 dan Batas Cair

Laboratory And Field Data			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Persen Passing No. 200	LiquidLimit (%)	Standart Penetration		
> 95	> 65	> 30	> 10	Very High
60 – 95	40 – 60	20– 30	3 – 10	High
30 – 60	30 - 40	10 – 20	1 – 5	Medium
< 30	< 30	< 20	< 1	Low

Sumber : Chen (1965) dalam Chen (1988)

b. Uji terhadap batas – batas Atterberg

1. Kriteria Altmeyer (1955) dalam Altmeyer (1955)

Kriteria ini menggunakan persen dari tanah lempung karena menurut Altmeyer beberapa laboratorium mekanika tanah tidak menyertakan analisa hidrometer. Dalam menggolongkan tanah ekspansif menggunakan *linear shrinkage* dan *shrinkage limit* (SL).

Tabel 2.8 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linear Shrinkage dan Shrinkage Limit

Linear Shrinkage	SL (%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	> 12	< 0,5	Non Critical
5 – 8	10 – 12	0,5 – 1,5	Marginal
> 8	< 12	> 1,5	Critical

Sumber : Altmeyer (1955) dala Altmeyer (1955)

2. Kriteria Raman (1967)

Kriteria Raman ini menggolongkan batas – batas Atterberg pada tanah ekspansif dengan menggunakan dua parameter yaitu PI (*Plasticity Index*) dan SL (*Shrinkage Limit*).

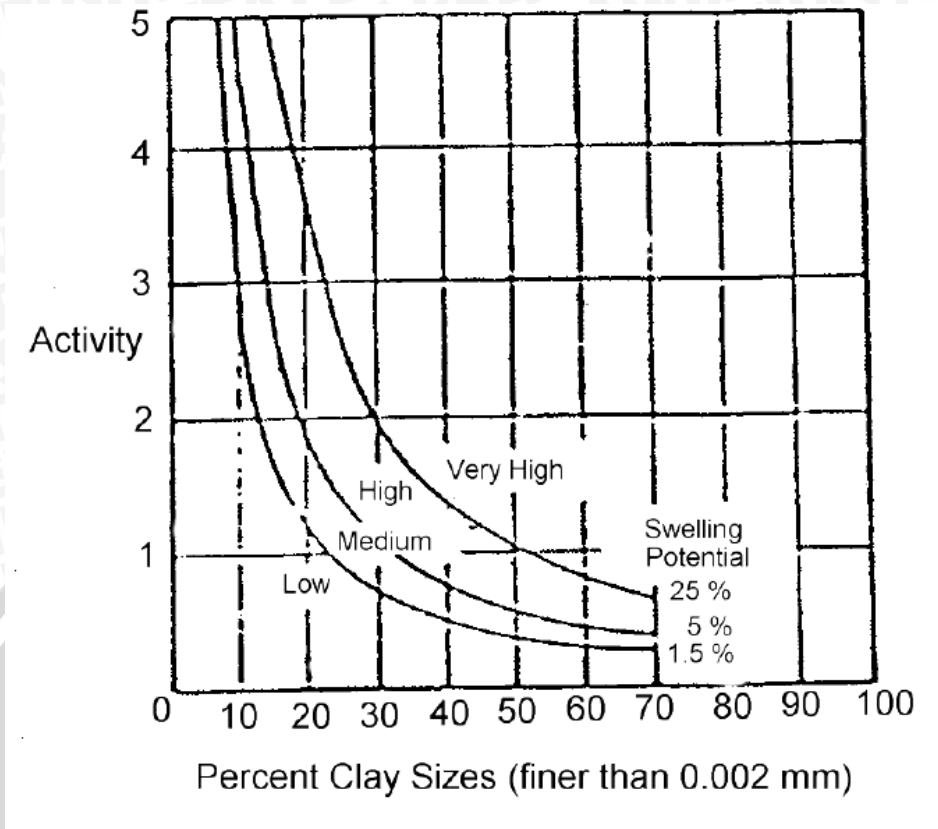
Tabel 2.9 Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan SL

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

Sumber : Raman (1967)

3. Kriteria Seed (1962)

Pada kriteria Seed ilai *swelling potensial* pada tanah ekspansif ditentukan dengan grafik antara jumlah tanah lempung dalam persen dengan parameter aktivitas (A).



Gambar 2.1 Hubungan Prosentase Lempung dan Aktivitas

4. Kriteria Chen (1988)

Pada kriteria Chen nilai *swelling potensial* pada tanah ekspansif hanya didasarkan pada parameter PI (Plasticity Index) saja.

Tabel 2.10 Kriteria Pengembangan Berdasarkan IP

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

Sumber : Chen (1988)

2.4 Penelitian Sifat Fisik Tanah

2.4.1 Sistem Klasifikasi tanah

Sistem kalsifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok pemakaiannya. Sebagian besar siatem kalsifikasi tanah



yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Sistem klasifikasi tanah tersebut ada bermacam-macam tetapi tidak ada satupun yang memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat tanah yang bervariasi (M. Das. Braja, 1995, Hal 64).

2.4.2 Kalsifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur (USDA)

Beberapa sistem klasifikasi berdasarkan tekstur tanah telah dikembangkan sejak dulu oleh berbagai organisasi untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri, beberapa dari system tersebut masih tetap dipakai untuk saat ini. Gambar 2.2. menunjukkan system klasifikasi berdasarkan tekstur tanah yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika (USDA). System ini didasarkan pada ukuran batas dari butiran tanah, yaitu :

- Pasir : butiran dengan diameter 2,0 sampai dengan 0,05 mm
- Lanau : butiran dengan diameter 0,05 sampai dengan 0,002 mm
- Lempung : butiran dengan diameter lebih kecil dari 0,002 mm



Gambar 2.2 Grafik Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur (USDA)

2.4.3 Kasifikasi Tanah Sistem *Unified* (USCS)

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan hasil hasil laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah sistem Unified Soil Classification (USCS). Ada dua golongan besar, tanah tanah yang berbutir kasar < 50 % melalui saringan No 200 dan tanah tanah berbutir halus > 50 % melalui saringan no 200.

Untuk butiran halus diklasifikasikan berdasarkan Plasticity Chart dengan persamaan Garis A (*A Line*) :

$$PI = 0,73 (LL - 20) (2 - 1)$$

Dimana :

PI : Plasticity Index

LL : Liquid Limits

Dalam klasifikasi tersebut terdapat 6 jenis tanah, masing–masing dua di atas A Line yaitu CL dan CH, sedangkan yang di bawah A Line adalah ML & OL untuk Liquid Limit rendah dan MH & OH untuk Liquid Limit tinggi.

Dimana :

CL : In Organic Clay dengan plastisitas rendah

CH : In Organic Clay dengan plastisitas tinggi

ML : In Organic Silt dengan plastisitas rendah

OL : Organic Silt dengan platisitas rendah

MH : In Organic Silt dengan plastisitas tinggi

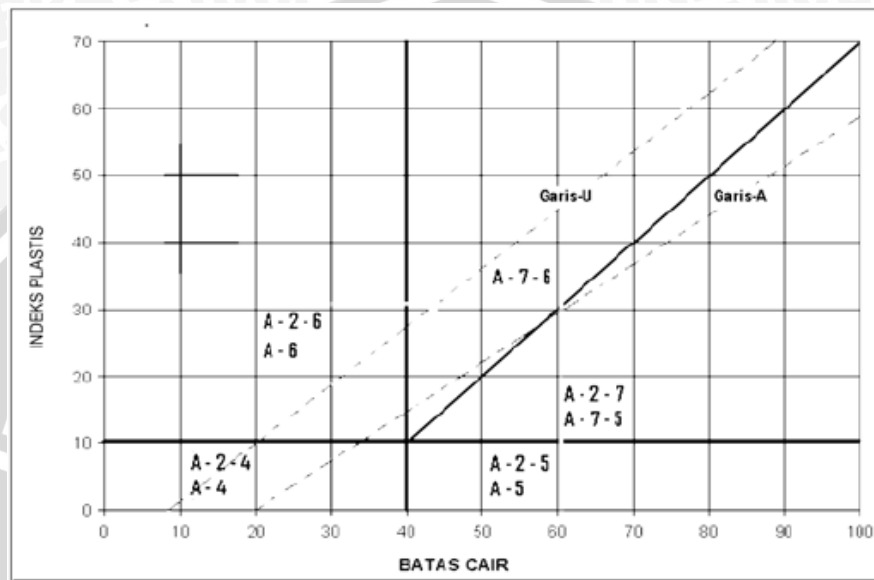
OH : Organic Silt dengan plastisitas tinggi

Group symbols	Classification criteria		
GW	<i>Classification on basis of percentage of fines</i> GW, GP, SW, SP Less than 5% pass No. 200 sieve GM, GC, SM, SC More than 12% pass No. 200 sieve Borderline classification requiring use of dual symbols	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3	
GP		Not meeting both criteria for GW	
GM		Atterberg limits plot below A line or plasticity index less than 4	Atterberg limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols
GC		Atterberg limits plot above A line and plasticity index greater than 7	
SW		$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ Greater than 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Between 1 and 3	
SP		Not meeting both criteria for SW	
SM		Atterberg limits plot below A line or plasticity index less than 4	Atterberg limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols
SC		Atterberg limits plot above A line and plasticity index greater than 7	
ML	<p>Plasticity chart For classification of fine-grained soils and fine fraction of coarse-grained soils Atterberg Limits plotting in hatched area are borderline classifications requiring use of dual symbols Equation of A line: $PI = 0.73 (LL - 20)$</p>		
CL			
OL			
MH			
CH			
OH			
PT	Visual-manual identification, see ASTM D 2488.		

Gambar 2.3 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (USCS)

2.4.4 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO.

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official Classification*) membagi tanah dalam 7 kelompok. Tanah – tanah dalam kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan hanya analisis saringan dan batas-batas Atterberg.



Gambar 2.4 Nilai – nilai batas Atterberg untuk subkelompok A-4, A-5,A-6, A-7

Indeks kelompok digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dan kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan (*Hardiyatmo H,C, hal 45*) :

$$GI = (F - 35) \{ 0,2 + 0,005 (LL - 40) \} + 0,01 (F - 15) (PI - 10) \dots\dots (2.2)$$

Dimana :

GI = Indeks Kelompok

F = Persen tanah lolos saringan no. 200

LL = Batas Cair

PI = Indeks Plastisitas

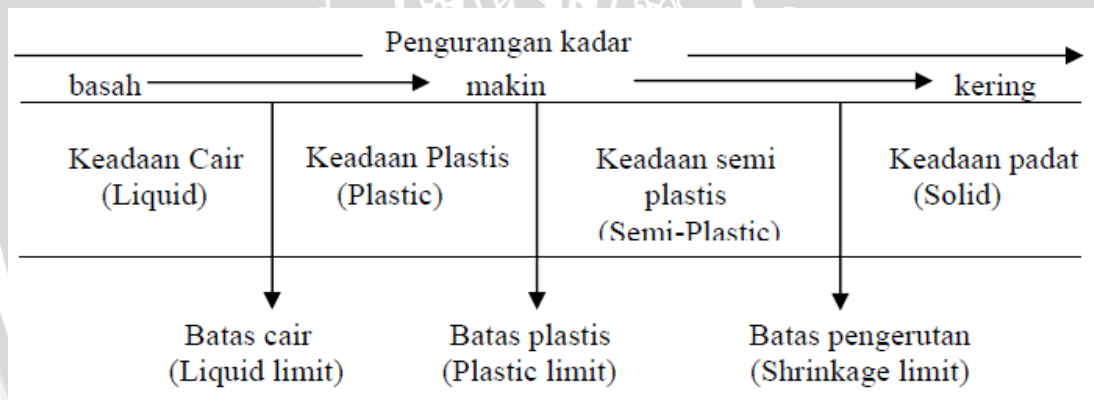
Klasifikasi umum	material granuler				Tanah-tanah lanau-lempung			
	(<35% lolos saringan no.200				(>35% lolos saringan no.200			
	A-1	A-3	A-2		A-4	A-5	A-6	A-7
A-1-a-A-1-b	A-2-4 A-2-5		A-2-6 A-2-7	A-7-5				
klasifikasi kelompok								A-7-6
Analisis saringan (% lolos)								
2.00 mm (no.10)	50 maks	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no.40)	30 maks 50 maks	51 maks	-	-	51 min	51 min	51 min	51 min
0,075 mm (no.200)	15 maks 25 maks	10 maks	35 maks 35 maks	35 maks 35 maks	10 maks	10 maks	10 maks	10 maks
Sifat fraksi lolos saringan no.40								
Batas Cair (LL)	-	-	40 maks 41 min	40 maks 41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks Plastis(PI)	6 maks	np	10 maks 10 maks	11 min 11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (GI)	0	0	0	4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	pecahan batu kerikil dan pasir	pasir	Kerikil berlanau atau berlempung dan pasir		tanah berlanau		tanah berlempung	
Penilaian umum Sebagai tanah dasar	sangat baik sampai baik				sedang sampai buruk			

Gambar 2.5 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

2.4.5. Batas-batas Konsistensi Tanah

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas-remas (*remolded*) tanpa menimbulkan retakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap (*absorbed water*) dikelilingi partikel lempung. Seorang ilmuwan dari Swedia bernama Atterberg mengembangkan suatu metode untuk menjelaskan sifat konsistensi berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bila kadar airnya (*w*) tinggi, campuran tanah dan air menjadi sangat lembek seperti cairan. Atas dasar air yang didukung tanah, tanah dapat dipisahkan kedalam empat keadaan dasar yaitu; padat, semi padat, plastis, dan cair, seperti dalam **Gambar 2.6**.

Kadar air dinyatakan dalam persen, dimana terjadi transisi dari keadaan padat ke keadaan semi padat didefinisikan sebagai batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi plastis dinamakan batas plastis (*plastic limit*) dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*).



Gambar 2.6 Batas-Batas Atterberg. (*Hery Christady H*)

1. Batas Cair / *Liquid Limit* (LL)

Batas cair didefinisikan sebagai kadar air pada kondisi dimana tanah mulai berubah dari plastis menjadi cair atau sebaliknya yaitu batas antara keadaan cair dan keadaan plastis.

2. Batas plastis / *plastic Limit* (PL)

Batas plastis didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

3. Batas susut / *shrinkage limit* (SL)

Batas susut didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat yaitu persentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut dinyatakan dalam persamaan:

$$SL = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} - \frac{(V_1 - V_2)}{m_2} \times 100\% \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

m_1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan

m_2 = berat tanah kering oven (gr)

V_1 = volume tanah basah dalam cawan (cm^3)

V_2 = volume tanah kering oven (cm^3)

γ_w = berat jenis air

4. Indeks Plastisitas/ *Plasticity Index* (IP)

Indeks plastisitas tanah adalah selisih antara batas cair dan batas plastis atau perbedaan antara batas cair dan batas palstis suatu tanah. Indeks palstisitas didapat berdasarkan rumus:

$$IP = LL - PL \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan: IP = indeks plastisitas

LL = batas cair

PL = batas plastis

2.5 Uji Proctor Standart

Pemadatan adalah suatu usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanik untuk menghasilkan pemampatan partikel. Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering. Diperlukan suatu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai nilai berat volume kering maksimumnya. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar airnya (w) dinyatakan :

$$\gamma_d = \left(\frac{\gamma_b}{1+w} \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

Dalam pengujian pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Selanjutnya digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya.

Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Kadar air pada keadaan ini disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content, OMC*), pada nilai kadar air yang rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bilah seluruh udara didalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan tanah akan berada pada keadaan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum.

2.6. Uji CBR

Pengujian CBR dipakai untuk menilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang akan dipakai pada pembuatan perkerasan jalan raya. Nilai CBR selanjutnya dipakai untuk penentuan tebal perkerasan yang akan dibuat di atas tanah dasar. Semakin besar nilai CBR-nya, maka tebal perkerasannya akan semakin kecil (Wesley, 1977).

Pengujian CBR Laboratorium menggunakan contoh tanah kering udara yang dicampur dengan air sampai kadar air optimum, kemudian didiamkan dalam kantong plastik selama 24 jam. Contoh tanah kemudian dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 56 kali pada lapisan pertama (1/4) dari tinggi mol, 56 kali pada lapisan kedua (1/2) dari tinggi mol, dan ditumbuk 56 kali 1 mol penuh pada lapisan ke tiga. Untuk pemeriksaan CBR langsung (unsoaked CBR), benda uji telah siap diperiksa nilai CBR-nya.

a. Tujuan Pengujian

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah atau campuran agregat yang didapatkan di laburaorium pada kadar air tertentu. CBR (*California Boring Ratio*) adalah perbandingan tekanan penetrasi suatu bahan, (dapat berupa tanah ataupun material perkerasan jalan) dengan tekanan penetrasi standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Biasanya pengujian

CBR untuk mengetahui tingkat kekerasan material perkerasan jalan raya. CBR dapat diujikan di laboratorium ataupun dilapangan.

Dengan menggunakan grafik yang telah dibuat, harga CBR dapat dihitung dengan dengan cara membagi masing- masing beban dengan tekanan penetrasi standar CBR pada penetrasi 0,1” yaitu 1000psi, penetrasi 0,2” dengan tekanan penetrasi standar 1500 psi dan dikalikan dengan 100 %. Umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1 inc. Apabila terjadi koreksi grafik, maka beban yang dipakai adalah beban yang sudah dikoreksi pada 2,54 mm (0,1 inc) dan 5,08 mm (0,2 inc). Dengan catatan apabila nilai CBR pada 0,1 inc lebih kecil dari 0,2 inc maka percobaan harus diulang. Apabila pada pengujian yang kedua ini masih lebih kecil pada 0,1 inc, maka nilai CBR yang dipakai adalah yang terbesar.

2.7. Pemadatan

Pemadatan adalah upaya manusia untuk meningkatkan kekuatan tanah dengan cara memberikan beban sehingga udara keluar dari rongga antara butir – butir tanah, dan rongga tersebut diisi oleh butiran dan air, mengingat bahwa suatu massa tanah terdiri dari butiran tanah, air, dan udara. Ada perbedaan yang mendasar antara peristiwa pemadatan dan peristiwa konsolidasi tanah. Konsolidasi adalah pengurangan pelan-pelan volume pori yang berakibat berambahnya berat volume kering akibat beban statis yang bekerja dalam periode tertentu. Maksud dari pemadatan tanah antara lain :

1. Mempertinggi kuat geser tanah
2. Mengurangi sifat mudah mampat
3. Mengurangi Permeabilitas
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air, dan yang lainnya.

Maksud tersebut dapat tercapai dengan pemilihan tanah bahan timbunan, cara pemadatan , pemilihan mesin pemadat, dan jumlah lintasan yang sesuai.

Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pemadatan antara lain:

A. Pengaruh Macam Tanah

Macam tanah, seperti distribusi ukuran butir , bentuk butiran , berat jenis dan macam mineral lempung yang terdapat dalam tanah sangat berpengaruh pada berat volume maksimum dan kadar air optimumnya.

B. Pengaruh Usaha Pematadatan

Energi pematadatan per volume satuan (E), dinyatakan dalam persamaan :

$$E = \frac{N_b \cdot N_i \cdot W \cdot H}{V} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

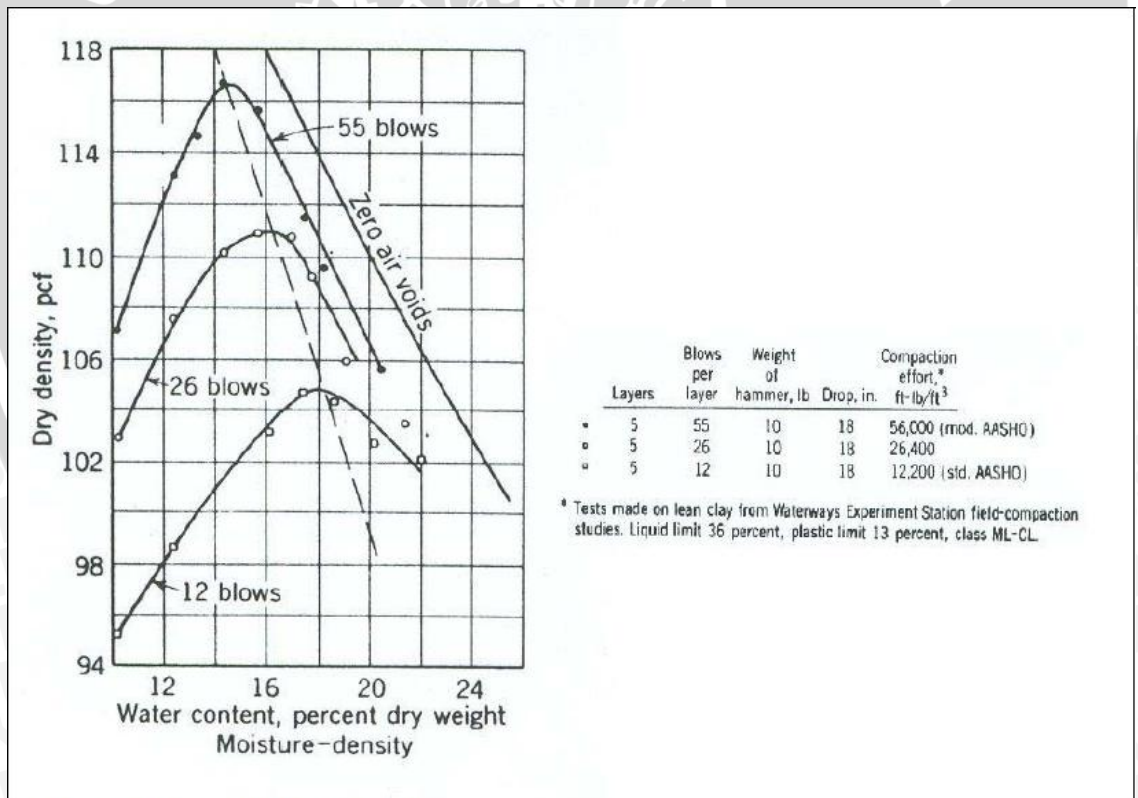
N_b = Jumlah pukulan per lapisan

N_i = Jumlah lapisan

W = Berat pemukul

H = Tinggi jatuh pemukul

V = Volume mould



Sumber : Krebs & Walker (1971)

Gambar 2.7 Hubungan antara kadar air dan kepadatan kering dengan variasi daya pematadatan

2.8. Penelitian Sebelumnya yang Berhubungan dengan Swelling

Pada penelitian sebelumnya mengenai pengembangan pada tanah lempung, yang dapat digunakan sebagai tinjauan pustaka adalah penelitian yang dilakukan oleh Rohmat Junaidi dan Yhohan setiawan (2004) yang berjudul “ Pengaruh Energi Pemadatan Terhadap Pengembangan (*swelling*) Tanah Lempung “. Pada penelitian ini dibahas masalah pengaruh energi yang dihasilkan oleh pemadatan yang berpengaruh terhadap pengembangan (*swelling*) yang terjadi pada tanah lempung. Dari pengujian ini maka didapatkan hasil pada pengujian tanah asli sebesar; batas cair (LL) 69.40, batas plastis (PL) 44.68, indeks plastisitas (IP) 24.72 dan free swell 60%, sehingga menurut system klasifikasi unified dan klasifikasi tanah menurut atterberg termasuk jenis tanah lempung dengan plastisitas tinggi. penambahan energi pemadatan akan meningkatkan berat volume kering maksimum ($\gamma_{d\text{ maks}}$) dan menurunkan kadar air optimum (w_{opt}) tanah. Dari uji proctor diperoleh berat volume kering maksimum 1.34 gr/cm^3 dengan kadar air optimum 34.32 %, dengan energi pemadatan 48.45 kg/cm^2 (E4). Dari hasil uji konsolidasi didapatkan (*swelling*) terkecil 2.79%, dengan energi pemadatan 6.06 kg/cm^2 dan pengembangan (*swelling*) terbesar 4.32 %. Dari penelitian ini dapat disimpulkan energi pemadatan akan meningkatkan pengembangan (*swelling*) tanah.

Penelitian yang dilakukan oleh Suparman yang berjudul “Nilai CBR dan Swelling pada Tanah Lempung dengan penambahan *Additive Road Bone EN-1* di Bukit Semarang Baru (BSB)” juga bisa digunakan sebagai tinjauan pustaka. Dalam penelitian ini Suparman membandingkan nilai CBR dan swelling yang terjadi pada tanah lempung merah, lempung kecoklatan, dan lanau kepasiran sebelum dan sesudah penambahan *Additive Road Bone EN-1*. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jumlah pukulan, yaitu 15,25,56. Hasil penelitian yang didapatkan untuk tanah lempung merah ditampilkan pada **Tabel 2.11**. Sedangkan hasil penelitian untuk tanah lempung kecoklatan pada **Tabel 2.12**, dan untuk tanah lanau kepasiran pada **Tabel 2.13**.

Tabel 2.11. Hasil Pengujian untuk Tanah Lempung Merah

	Tabel 1. CBR (%) terendam (soaked)			
	Natural		+ Roadbond EN-1	
Penetration	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
15 blows	0.46	0.55	0.37	0.31
25 blows	0.64	0.67	0.55	0.61
56 blows	1.28	1.34	1.10	1.10

Tabel 2. Kompaksi Modified dan CBR rencana

	γ_d -max (gram/ cm ³)	OMC (%)	CBR rencana (%)
Natural	1.56	24.6	2.1
+ Roadbond EN-1	1.58	22.2	2.7

Tabel 3. Swelling

	Average Swelling (%)
Natural	3.77
+ Roadbond EN-1	3.02

Tabel 2.12. Hasil Pengujian untuk Tanah Lempung Kecoklatan

Tabel 4. CBR (%) terendam (soaked)

	Natural		+ Roadbond EN-1	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Penetration				
15 b'ows	0.55	0.61	0.64	0.67
25 blows	0.82	0.79	0.82	0.92
56 blows	1.01	0.98	1.19	1.16

Tabel 5. Kompaksi Modified dan CBR rencana

	γ_d -max (gram/ cm ³)	OMC (%)	CBR rencana (%)
Natural	1.473	28	1.2
+ Roadbond EN-1	1.46	27	1.52

Tabel 6. Swelling

	Average Swelling (%)
Natural	10.12
+ Roadbond EN-1	7.46

Tabel 2.13. Hasil Pengujian untuk Tanah Lanau Kepasiran

Tabel 7. CBR (%) terendam (soaked)

	Natural		+ Roadbond EN-1	
	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Penetration				
15 blows	4.31	4.64	3.15	4.40
25 blows	10.35	10.57	8.61	10.69
56 blows	11.82	12.09	10.63	11.60

Tabel 8. Kompaksi Modified

	γ_d -max (gram/ cm ³)	OMC (%)	CBR rencana (%)
Natural	1.53	21.8	14
+ Roadbond EN-1	1.52	22.7	17.5

Tabel 9. Swelling

	Average Swelling (%)
Natural	1.04
+ Roadbond EN-1	1.63

Penelitian selanjutnya yang bisa digunakan sebagai tinjauan pustaka adalah penelitian yang dilakukan oleh Jayadi (2008) yang berjudul “Pengaruh Pemadatan Tanah pada Kadar Air yang Berbeda terhadap *Swelling* Tanah Ekspansif”. Pada penelitian ini dibahas masalah pengaruh energi kadar air pada pemadatan yang berpengaruh terhadap pengembangan (*swelling*) yang terjadi pada tanah ekspansif. Dari pengujian ini maka didapatkan hasil pada pengujian tanah asli sebesar; batas cair (LL) 64,78%, batas plastis (PL) 33,8%, indeks plastisitas (IP) 30,98% dan batas susut (SL) 16,02%. Dari uji free swell didapatkan pada sampel satu sebesar 160% dan pada sampel dua sebesar 170%, berdasarkan tabel hubungan % pengembangan dengan derajat pengembangan (Holtz and Gibbs, 1956) dapat disimpulkan bahwa derajat pengembangannya termasuk ktitis. Dari uji proctor diperoleh berat volume kering maksimum 1.341 gr/cm^3 dengan kadar air optimum 25,34 %, . Dari hasil uji konsolidasi didapatkan (*swelling*) terkecil 2.79%, dengan energi pemadatan 6.06 kg/cm^2 dan pengembangan (*swelling*) terbesar 4.32 %. Dari penelitian ini dapat disimpulkan energi pemadatan akan meningkatkan pengembangan (*swelling*) tanah. Hasil pengujian CBR tanpa rendaman dapat dilihat pada **Tabel 2.14**, sedangkan untuk hasil pengujian CBR rendaman dapat dilihat pada **Tabel 2.15**. dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi kadar air yang diberikan maka pengembangan yang terjadi akan semakin kecil.

Tabel 2.14. Hasil Pengujian CBR Tanpa Rendaman (*unsoaked*)

No	Variasi Campuran kadar air + Tanah	Nilai Rata-rata CBR tanpa rendaman (%)
1	Tanah + (w = 15,34 %)	24,205
2	Tanah + (w = 20,34 %)	12,72
3	Tanah + (w = 25,34 %)	5,135
4	Tanah + (w = 30,34 %)	4,27
5	Tanah + (w = 35,34 %)	3,625

Tabel 2.15. Hasil Pengujian CBR Rendaman (*soaked*)

No	Variasi campuran Kadar air + tanah	Nama Pengujian	
		Nilai Rata-rata CBR soaked (%)	Nilai Pengembangan CBR soaked (%)
1	tanah + (w = 15.34 %)	0,435	22,18
2	tanah + (w = 20.34 %)	3,945	12,84
3	tanah + (w = 25.34 %)	4,34	8,02
4	tanah + (w = 30.34 %)	6,53	6,8
5	tanah + (w = 35.34 %)	6,865	3,32