

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu' alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah wa syukurillah, segala puji dan syukur adalah milikNya yang telah mencurahkan samudera karunia dan hidayah-Nya kepada penyusun, sehingga penelitian dengan judul **“Pengaruh Pembebanan Terhadap Pengembangan (SWELLING) Tanah Lempung Sukoharjo”**, dilakukan pada periode Maret – Agustus tahun 2007, bertempat di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat dan salam dihaturkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini adalah merupakan salah satu syarat dalam menempuh pendidikan sarjana strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempraktekkan teori yang diperoleh dibangku kuliah, serta memperluas wawasan untuk bekal memasuki dunia kerja.

Dalam melakukan penelitian dan terselesaikannya tugas akhir ini, penyusun telah banyak mendapat bantuan, bimbingan dan pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr.Ir. H. Ruzardi, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. H. Faisol A.M, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES, DEA, selaku Dosen Pembimbing
4. Bapak Ir. Akhmad Marzuko, MT, selaku Dosen Penguji,
5. Bapak Ir. H. Ibnu Sudarmadji, MS, selaku Dosen Penguji,

DAFTAR NOTASI

w	= Kadar air	(%)
w _b	= Berat tanah basah	(gr)
γ _b	= Berat volume tanah basah	(gr/cm ³)
γ _d	= Berat volume tanah kering	(gr/cm ³)
G _s	= Berat jenis	
LL	= Batas cair	(%)
PL	= Batas plastis	(%)
PI	= Indeks plastisitas	(%)
C _c	= Indeks Pemampatan	
e	= Angka pori	(%)
C _v	= Koefisien konsolidasi	(cm ² /detik)
√t ₉₀	= Akar waktu penurunan 90%	(menit)
S _r	= Derajat kejenuhan	(%)
H _t	= Tinggi bagian padat	(cm)
ΔH	= Perubahan tebal	(cm)
σ	= Tekanan Pengembangan	kN/m ²

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Klasifikasi Tekstur Segitiga USCS.....	13
Gambar 3.2	Grafik Plastisitas USCS	14
Gambar 3.3	Batas-batas Atterberg Klasifikasi AASHTO	19
Gambar 3.4	Alat Uji Saringan	20
Gambar 3.5	Alat Uji Hidrometer.....	21
Gambar 3.6	Diagram Fase Tanah.....	22
Gambar 3.7	Batas Konsistensi Tanah.....	24
Gambar 3.8	Alat Uji Batas Cair.....	24
Gambar 3.9	Alat Uji Proktor.....	26
Gambar 3.10	Hubungan Berat Volume Kering & Kadar Air.....	27
Gambar 3.11	Alat Uji Konsolidasi.....	28
Gambar 3.12	Ilustrasi Sel Tempat Uji Konsolidasi	28
Gambar 3.13	Hubungan e terhadap $\log t$	29
Gambar 3.14	Alat Uji Pengembangan	37
Gambar 3.15	Grafik Swelling Pressure.....	38
Gambar 4.1	Alat Uji CBR Laboratorium.....	40
Gambar 4.2	Alat Uji Swelling.....	47
Gambar 4.3	Bagan Alir Penyusunan Penelitian.....	49
Gambar 5.1	Grain Size Analysis I.....	54
Gambar 5.2	Grain Size Analysis II.....	55
Gambar 5.3	Grafik Batas Cair Sampel I.....	59
Gambar 5.4	Grafik Batas Cair Sampel II	60
Gambar 5.5	Standar Proktor Sampel I	61
Gambar 5.6	Standar Proktor Sampel II.....	61
Gambar 5.7	Grafik Konsolidasi Beban 2 kg/cm^2 dan 4 kg/cm^2	66
Gambar 5.8	Grafik Hubungan Beban dan Angka Pori I	67
Gambar 5.9	Grafik Hubungan Pembebanan dan Koefisien Konsolidasi.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Uji Hidrometer dan Analisa Saringan 1
Lampiran 2	Hasil Uji Hidrometer dan Analisa Saringan 2
Lampiran 3	Hasil Uji Kadar Air Tanah
Lampiran 4	Hasil Uji Berat Jenis Tanah
Lampiran 5	Hasil Uji Berat Volume Tanah
Lampiran 6	Hasil Uji Batas Cair dan Batas Plastis Tanah 1
Lampiran 7	Hasil Uji Batas Cair dan Batas Plastis Tanah 2
Lampiran 8	Hasil Uji Proktor Standar 1
Lampiran 9	Hasil Uji Proktor Standar 2
Lampiran 10	Hasil Uji Konsolidasi 1
Lampiran 11	Hasil Uji Konsolidasi 2
Lampiran 12	Hasil Uji Swelling Pressure 1
Lampiran 13	Hasil Uji Swelling Pressure 2
Lampiran 14	Hasil Uji CBR Laboratorium 1
Lampiran 15	Hasil Uji CBR Laboratorium 2

1.4 Batasan Masalah

1. Benda uji yang digunakan sebagai sampel adalah tanah lempung, yang dibuat (Remolded).
2. Tanah lempung yang digunakan sebagai sampel berasal dari lokasi daerah Sukoharjo, Solo, Jawa Tengah.
3. Penelitian hanya menganalisis pada sifat fisik dan mekanik tanah lempung, tidak menganalisis unsur kimia tanah lempung.
4. Penelitian hanya terbatas pada pengaruh pembebanan terhadap pengembangan tanah lempung.
5. Didalam penelitian ini tidak meninjau pengaruh perubahan temperatur pada sampel tanah lempung.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan gambaran mengenai perilaku pengembangan (*Swelling*) yang diakibatkan oleh pembebanan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Menurut Braja M. Das tanah diartikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan 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 lempung, Menurut Peck, dkk. (1953), merupakan kumpulan butiran mineral kristalin yang bersifat mikroskopis dan berbentuk serpihan-serpihan atau pelat-pelat, Material ini bersifat plastis, kohesif dan mempunyai kemampuan menyerap ion-ion, Sifat tersebut sangat dipengaruhi oleh kandungan air dalam tanah.

Pada percobaan pemadatan tanah dapat diketahui berapa prosentase kadar air yang diperlukan untuk mencapai kepadatan maksimum sehingga pada kepadatan tersebut tercapai kekuatan tanah yang maksimum. Kadar air dalam keadaan tersebut adalah kadar air optimum. Hal ini dapat diketahui dengan melakukan penambahan air secara bertahap sesuai dengan yang diinginkan untuk mengetahui besarnya kadar air optimum. Pada kadar air optimum tersebut mengakibatkan angka pori dan porositas menjadi optimum. (Sosrodarsono, S, 1990).

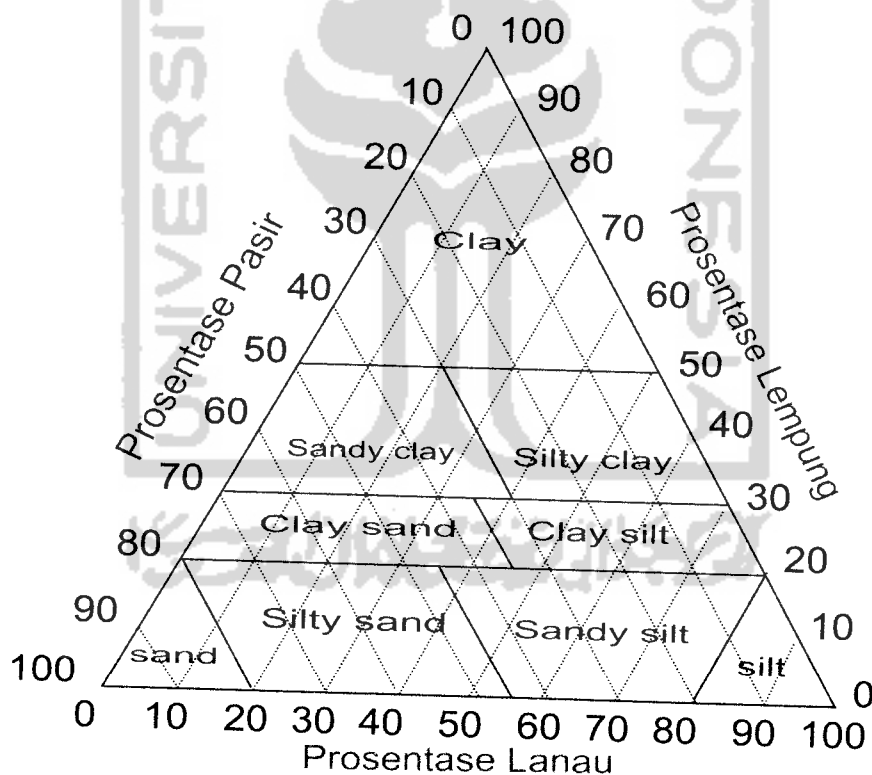
Partikel lempung dapat berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus. Karena itu tanah lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Umumnya, terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Diantaranya terdiri dari kelompok-kelompok : *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite*, dan *polygorskite*. (Hardiyatmo, H.C., 1955, hal 14).

3. Sistem AASHTO (*the American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*).

3.2.1 Sistem Klasifikasi USCS

Sistem ini diperkenalkan oleh Cassagrande tahun 1942 yang selanjutnya disempurnakan oleh United States Bureau Of Reclamation (USBR) tahun 1952. Sistem ini mengelompokkan tanah dalam dua kelompok besar, yaitu:

1. Tanah Berbutir Kasar (*coarse-grained-soil*), yaitu: tanah kerikil dan pasir dimana kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200.
2. Tanah Berbutir Halus (*fine-grained-soil*), yaitu tanah dimana lebih dari 50% berat total contoh tanah lolos ayakan No. 200.



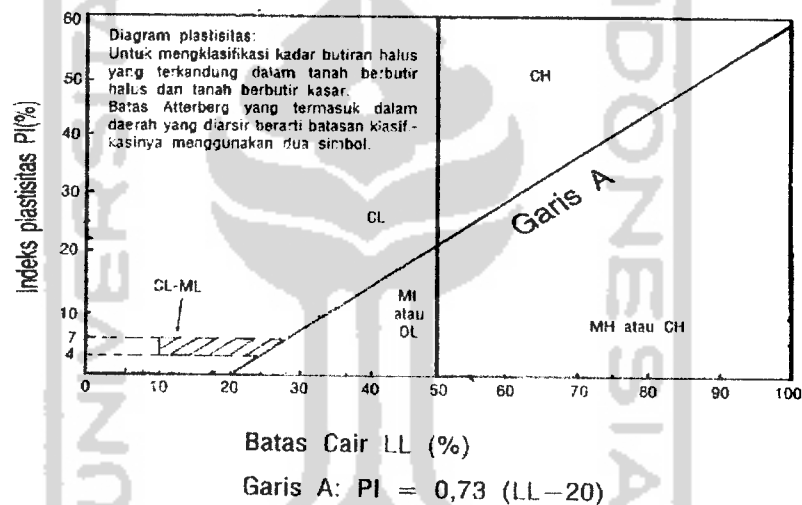
Gambar 3.1 Diagram klasifikasi tekstur tanah sistem USCS

Sumber : Shirley L. Hendarsin, 2003

3.2.2 Sistem Klasifikasi Unified

Menurut sistem ini tanah dibagi dalam tiga kelompok yaitu kelompok tanah berbutir kasar, kelompok tanah berbutir halus dan kelompok tanah organik tinggi, kemudian diuraikan lebih spesifik lagi dengan memberi simbol pada setiap jenisnya. Bagan klasifikasi tanah sistem Unified dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Untuk dapat mengklasifikasikan tanah berbutir halus yang lebih spesifik lagi, maka grafik plastisitas yang menunjukkan Batas cair (LL) versi Indeks plastisitas (IP) pada Gambar 3.2 dibawah ini dapat dipakai.



Gambar 3.2 Hubungan antara batas cair dan indeks plastis

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2004

Tabel 3.2 Sistem klasifikasi tanah AASHTO

Klasifikasi Umum	Material granular ($\geq 35\%$ lolos saringan no. 200)					Tanah tanah liat-lempung ($< 35\%$ lolos saringan no. 200)		
	A-1 A-1.1 A-1.2	A-2 A-2.1 A-2.2	A-3 A-3.1 A-3.2	A-4 A-4.1 A-4.2	A-5 A-5.1 A-5.2	A-6 A-6.1 A-6.2	A-7 A-7.1 A-7.2	
Analisis Saringan (% lolos)	50 maks	30 maks	10 maks	5 maks	3 maks	3 maks	3 maks	
2.00 mm (no. 10)	50 maks	30 maks	10 maks	5 maks	3 maks	3 maks	3 maks	
0.425 mm (no. 40)	30 maks	15 maks	5 maks	3 maks	2 maks	2 maks	2 maks	
0.075 mm (no. 200)	15 maks	5 maks	2 maks	1 maks	1 maks	1 maks	1 maks	
Sangat maks lolos saringan (no. 40)	0	0	0	0	0	0	0	
Batas cair (LL)	40 maks	30 maks	20 maks	15 maks	10 maks	10 maks	10 maks	
Indeks plastis (PI)	6 maks	4 maks	3 maks	2 maks	1 maks	1 maks	1 maks	
Indeks kelompok (G)	0	0	0	0	0	0	0	
Type material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir	Pasir halus	Kerikil berlanan atau berlempung dan pasir	Tanah berlanan	Tanah berlanan	Tanah berlempung	Tanah berlempung	
Pendataan umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							

Catatan:

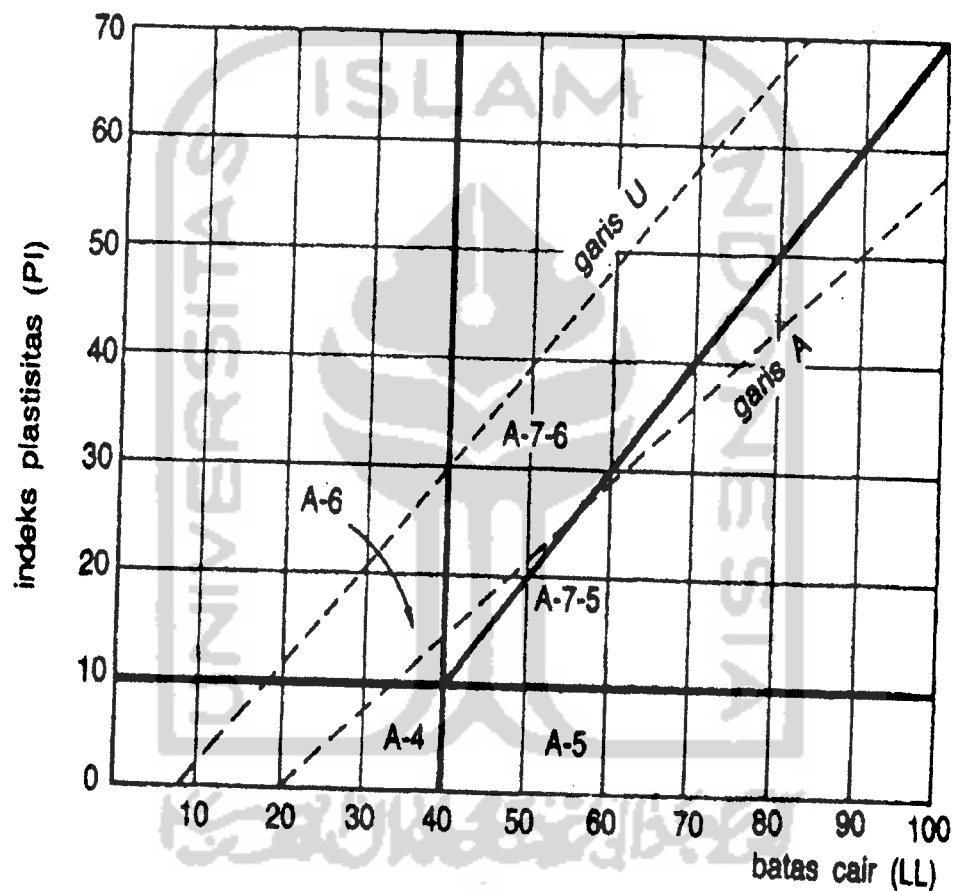
Kelompok A-7 dibagi atas A-7.5 dan A-7.6 bergantung pada batas plastisnya (PI).

Untuk $PI > 30$, klasifikasinya A-7.5.

Untuk $PI < 30$, klasifikasinya A-7.6

Np = nonplastis

Garis *A* dari Casagrande dan garis *U* digambarkan bersama-sama. Tanah organik tinggi seperti tanah gambut (*peat*) diletakkan dalam kelompok A-8. Gambar 3.3 adalah gambar yang dapat digunakan untuk memperoleh batas-batas antara batas cair (*LL*) dan indeks plastisitas (*PI*) untuk kelompok A-4 sampai A-7 dan untuk sub kelompok dalam A-2.



Gambar 3.3 Batas-batas Atterberg untuk subkelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7

Sumber : Mekanika Tanah I, H. C. Hardiyatmo, 2002

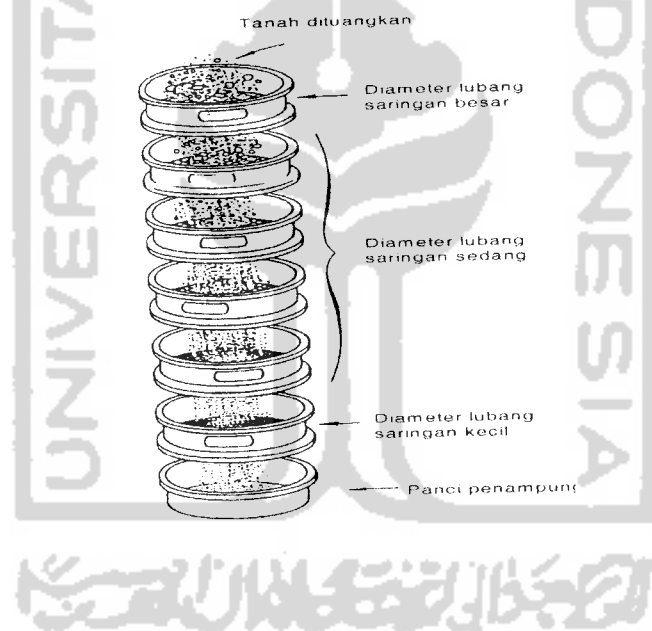
3.3 Analisis Ukuran Butiran

Sifat-sifat tanah sangat bergantung pada ukuran butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanahnya.

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan prosentase berat butiran pada suatu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu.

3.3.1 Tanah Berbutir Kasar

Distribusi ukuran butir dari tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaringnya. Tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar untuk pengujian tanah. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang selanjutnya dihitung prosentase terhadap berat kumulatif pada tiap-tiap saringan.



Gambar 3.4 Uji Saringan

Sumber : Mekanika Tanah I, H. C. Hardiyatmo, 2002

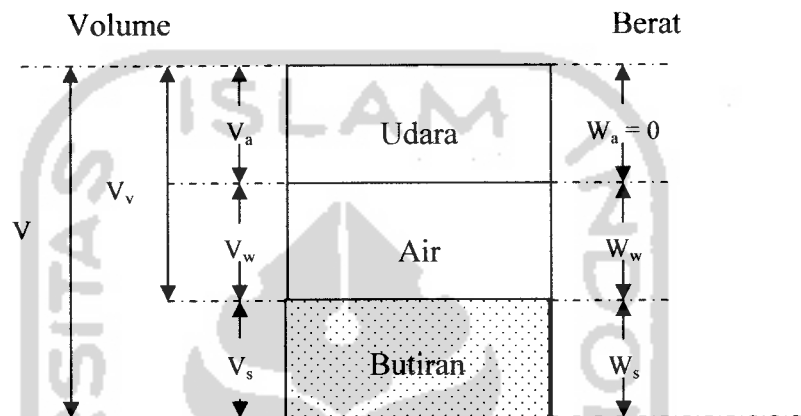
3.3.2 Tanah Berbutir Halus

Distribusi ukuran butir tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi/pengendapan. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes (H.C. Hardiyatmo, 2002), yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi.

3.4 Sifat-sifat Tanah

3.4.1 Hubungan Antar Partikel

Secara sederhana tanah disusun atas tiga bagian yang terdiri dari butiran tanah, rongga tanah (pori-pori), dan air dalam pori. Gambar 3.6 dibawah ini memperlihatkan hubungan berat dan volumenya.



Gambar 3.6 Diagram fase tanah

Sumber : Hardiyatmo, H.C. 2002, Teknik Pondasi 1

Dalam hal ini:

V = Isi (volume) (cm^3)

V_w = Isi air (volume of water) (cm^3)

V_v = Isi pori/rongga (volume of void) (cm^3)

V_s = Isi butir-butir padat (volume of solid) (cm^3)

W = Berat Tanah (weight) (gr)

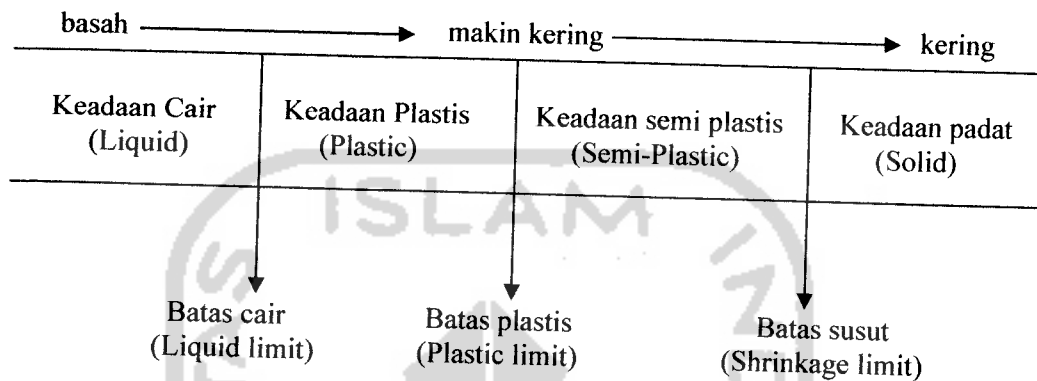
W_a = Berat udara (weight of air) ≈ 0

W_w = Berat air (weight of water) (gr)

W_s = Berat butir-butir padat (weight of solid) (gr)

3.4.2 Batas Atterberg (batas konsistensi)

Atterberg (1911) memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan pertimbangan kandungan kadar airnya. Batas-batas tersebut adalah batas cair, batas plastis dan batas susut. Kedudukan batas konsistensi tanah kohesi disajikan dalam Gambar 3.4



Gambar 3.7 Batas konsistensi tanah

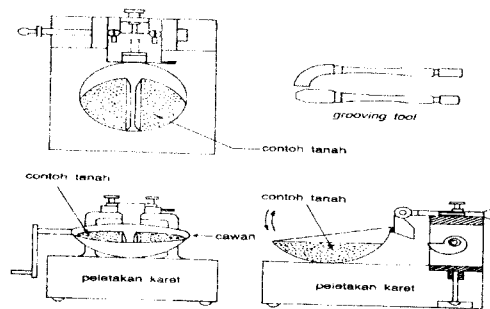
Sumber : Wesley, L.D, 1977, *Mekanika Tanah*, Hal 10

Kedudukan kadar air transisi bervariasi pada berbagai jenis tanah. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada air tertentu disebut konsistensi.

Atterberg (1991), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan airnya. Batas-batas tersebut adalah sebagai berikut :

1. Batas cair (*Liquid limit*)

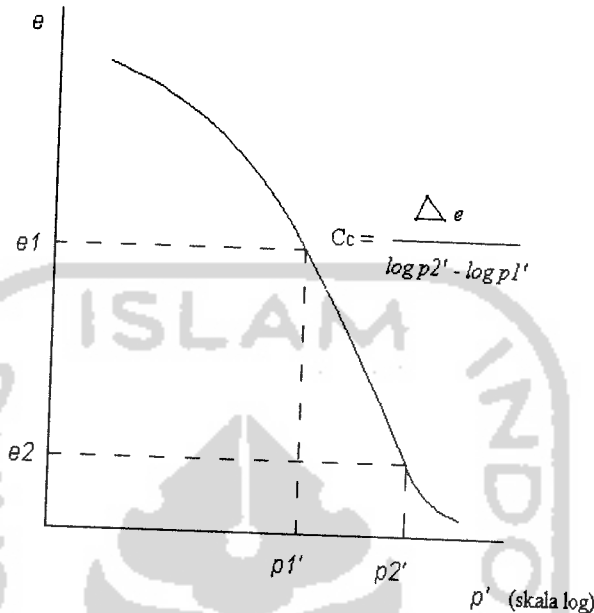
Batas cair (LL) didefinisikan sebagai kadar air pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, dimana untuk nilai-nilai di atasnya tanah akan bersifat sebagai cairan kental. Gambar 3.8 dibawah ini adalah Alat Uji Batas Cair.



Gambar 3.8 Skema Alat Uji Batas Cair

Terzaghi dan Peck juga memberikan hubungan untuk tanah lempung dibentuk kembali (*remold*).

$$C_c = 0,007 (LL - 10) \dots\dots\dots(3.6.3)$$



Gambar 3.14 Indeks pemampatan C_c

Sumber: H. C. Hardiyatmo, 1994

Analisis konsolidasi dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

Tinggi efektif (tebal bagian padat) :

$$H_t = \frac{W_k}{A \cdot G_s} \dots\dots\dots(3.6.4)$$

Angka pori awal (e_0):

$$e_0 = \frac{H_0 - H_t}{H_t} = \frac{\Delta H}{H_t} \dots\dots\dots(3.6.5)$$

Angka pori pada saat pembebanan:

$$e_1 = \frac{H_1 - H_t}{H_t} \text{ atau } e_1 = e_0 - \Delta e \dots\dots\dots(3.6.6)$$

Derajat kejenuhan sebelum dan sesudah pengujian :

$$S_r = \frac{W_s \cdot G_s}{e} \times 100\% \dots\dots\dots(3.6.7)$$

Tabel 3.3 Potensi pengembangan (Holtz, 1969;Gibbs, 1969;USBR, 1974)

Potensi Pengembangan	Pengembangan (%) (akibat tekanan 6,9 kPa)	Persen Koloid (<0,001 mm) (%)	Indeks Plastisitas PI(%)	Batas Susut SL(%)	Batas Cair LL(%)
Sangat tinggi	>30	>28	>35	>11	>63
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 3.4 Potensi pengembangan (Chen, 1988)

Potensi Pengembangan	Persen Lolos Saringan No. 200	Batas Cair (LL)	N-SPT	Kemungkinan Ekspansi(%)	Tekanan Pengembangan (kPa)
Sangat tinggi	>95	>60	>30	>10	>1000
Tinggi	60-95	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 di bagian atas permukaan tanah, sehingga merusakkan struktur di atasnya, seperti perkerasan jalan, bangunan gedung ringan dan perkerasan dinding saluran.

Tekanan pengembangan sebesar 1000 kPa ekuivalen dengan tinggi timbunan 40 sampai 50 meter (karena berat volume tanah sekitar 20 kN/m³). Walaupun tekanan sebesar itu jarang terjadi, namun tekanan pengembangan yang hanya 100-200 kPa harus diperhitungkan bila membangun timbunan dengan tinggi 5 meter atau 6 meter.

Contohnya timbunan untuk *subgrade* (Holtz dan Kovacs,1981). Sebagai perbandingan, gedung bertingkat umumnya mempunyai tekanan ke tanah sekitar 10 kPa untuk setiap lantai. Dalam hal kerusakan akibat pengembangan tanah, harus diwaspadai adanya lempung montmorillonite.

Salah satu uji pengembangan telah dikembangkan oleh US Water and Power Resources Service, yaitu yang disebut uji pengembangan bebas (*free-swell test*) (Holzt dan Gibbs,1956). Pengujian dilakukan dengan cara menabur perlahan-lahan 10cm³ tanah kering dengan butiran lolos saringan no.40, ke dalam tabung gelas ukur yang diisi air dengan volume 100 cm³, dan diamati volume saat keseimbangan telah terjadi. *Pengembangan bebas* didefinisikan sebagai (Holts dan Gibbs,1956).

$$\text{Pengembangan bebas} = \frac{\text{Volume Akhir} - \text{Volume Awal}}{\text{Volume Awal}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.6.10)$$

Tabel 3.5 Hubungan % Pengembangan dengan Derajat Pengembangan

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

Pada tanah yang dipadatkan, telah diamati bahwa tanah yang dipadatkan pada basah optimum dan pada kadar air lebih rendah memperlihatkan kurang kecenderunganya untuk mengembang. Hal ini, kemungkinan disebabkan oleh susunan tanahnya lebih beraturan.

3.7 Uji Pengembangan (Uji Swelling)

Cara untuk menggambarkan sifat tanah ekspansif adalah potensi pengembangan (*swelling potential*) yang umumnya diuji dengan uji pengembangan, uji pengembangan umumnya dilakukan pada cincin besi berbentuk silinder, contoh tanah kering dibebani dengan tekanan berbagi rata, dan kemudian direndam air.

3.7.1 Uji Tekanan Pengembangan

Bahwa tekanan ke tanah mempengaruhi pengembangan tanah. Tekanan pengembangan yang mencegah tanah mengembang disebut Tekanan Pengembangan (*Swelling Pressure*).

Uji beban dilakukan dengan mengukur pengembangan pada akhir pembebanan dari uji pengembangan dengan melepaskan beban perlahan-lahan sampai kembali ke volumenya semula. Methoda yang lain dengan menggunakan alat konsolidometer yang mencegah terjadinya regangan vertikal.

3.7.2 Variasi Potensi Pengembangan dengan Tegangan Normal

Potensi pengembangan bervariasi menurut besarnya tegangan normal yang bekerja dalam tanah. Bila tanah di dekat permukaan, atau tanah dibebani dengan beban ringan, maka tanah akan mengembang lebih besar daripada tanah yang terletak dibawah atau dibebani dengan beban yang besar.

Salah satu cara untuk memperoleh hubungan tersebut adalah dengan mengambil contoh tanah tak terganggu pada beberapa kedalaman dan masing-masing diuji potensi pengembangannya. Uji pengembangan volume konstan (*Constant volume swell, CVS*) telah dilakukan oleh Johnson dan Stroman (1976).

Johnson dan Stroman (1976) merekomendasi uji MSO digunakan dalam perancangan bila tekanan Overburden dapat diketahui dengan pasti, dan uji CVS bila belum dapat diketahui dengan pasti.

Regangan yang diukur dalam pengujian-pengujian tersebut adalah potensi pengembangan untuk setiap tegangan normalnya. Perlu diperhatikan bahwa pengujian dilakukan pada tinjauan total bukan tegangan efektif, jadi hasilnya harus digunakan dalam analisis tegangan total, bukan analisis tegangan efektif.