

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

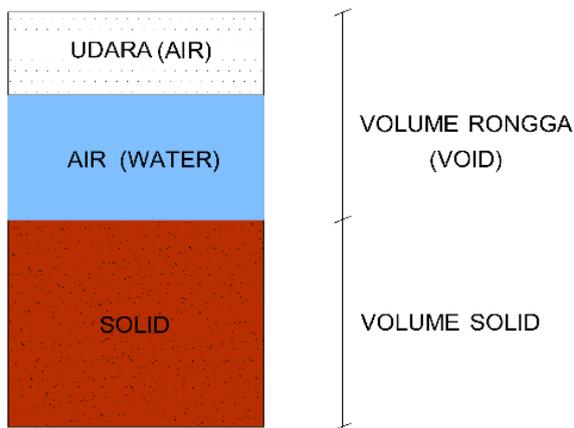
2.1 Tanah

2.1.1 Pengertian Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak bersegmentasi (terikat secara kimia) satu sama lain, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan bahan-bahan organik (yang berpartikel padat). Partikel tanah tersebut di atas terdapat dalam rentang ukuran yang cukup lebar, mulai dari berangkal (boulder) sampai serbuk batu halus. (Herlien, 2008). Tanah ini merupakan hal yang sangat penting sebagai bahan bangunan dalam pekerjaan teknik, yang berfungsi juga sebagai pendukung pondasi dari bangunan. Tanah terdiri dari berbagai macam partikel diantaranya potongan batuan ukuran besar (*boulders*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), lempung (*clay*), dan koloid (*colloids*).

Adapun menurut para ahli teknik sipil, tanah dapat didefinisikan sebagai :

1. Tanah adalah kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat termaksud diaduk dalam air (Terzaghi, 1987).
2. Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai/lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan (Craig, 1991)
3. Tanah adalah material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang terikat secara kimia satu dengan yang lain dan dari bahanbahan organik yang telah melapuk (partikel padat) disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995).
4. Secara umum tanah terdiri dari tiga bahan, yaitu butir tanahnya sendiri serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antar butir-butir tersebut (Wesley, 1997).



Gambar 2.1 Diagram Fase Tanah (Das, 1995)

Tanah terdiri dari tiga komponen yaitu udara, air dan bahan padat (Gambar 2.1). Udara dianggap tak mempunyai pengaruh teknis sedangkan air sangat mempengaruhi sifat-sifat teknis tanah. Ruang di antara butiran-butiran (ruang ini disebut pori atau voids) sebagian atau seluruhnya dapat terisi oleh air atau udara. Bila rongga tersebut terisi air seluruhnya tanah dikatakan dalam kondisi jenuh. Sehingga jika beban diterapkan pada tanah kohesif yang jenuh maka pertama kali beban tersebut akan didukung oleh tekanan air dalam rongga pori tanahnya. Pada kondisi ini butiran-butiran lempung tidak dapat mendekat satu sama lain untuk meningkatkan tahanan geser selama pori di dalam rongga pori tidak keluar meninggalkan rongga tersebut. Karena rongga pori tanah lempung sangat kecil, keluarnya air pori meninggalkan rongga pori memerlukan waktu yang lama. Jika sesudah waktu yang lama setelah air dalam rongga pori berkurang butiran-butiran lempung dapat mendekat satu sama lain sehingga tahanan geser tanahnya meningkat. Masalah ini tak dijumpai pada tanah granuler yang rongga porinya relatif besar karena sewaktu beban diterapkan air langsung keluar dari rongga pori dan butiran dapat mendekat satu sama lain yang mengakibatkan tekanan gesernya langsung meningkat.

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

2.2 Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang bersifat *multi component* yang terdiri dari tiga fase yaitu padat, cair, dan udara. Bagian yang padat merupakan polymorphous terdiri dari mineral inorganic dan organis. Mineral – mineral lempung merupakan substansi – substansi Kristal yang sangat tipis yang pembentukan utamanya berasal dari perubahan kimia pada pembentukan mineral – mineral batuan dasar. Semua mineral lempung sangat tipis termasuk dalam kelompok – kelompok partikel kristalnya berukuran koloid (<0,002 mm) dan hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop electron.

Mitchell (1976) memberikan batasan bahwa yang dimaksud dengan ukuran butir lempung adalah partikel tanah yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm, sedangkan mineral lempung adalah kelompok – kelompok partikel Kristal berukuran koloid (<0,002 mm) yang terjadi akibat proses pelapukan dari batuan ditambah dengan sifatnya yang dijelaskan lebih lanjut. Sedangkan menurut Craig (1987), tanah lempung adalah mineral tanah sebagai kelompok – kelompok partikel kristal koloid berukuran kurang dari 0,002 mm, yang terjadi akibat proses pelapukan kimia pada batuan yang salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam ataupun alkali, dan karbondioksida.

Lapisan lunak umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butiran-butiran yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Pada lapisan lunak, semakin muda umur akumulasinya, semakin tinggi letak muka airnya. Lapisan muda ini juga kurang mengalami pembebanan sehingga sifat mekanisnya buruk dan tidak mampu memikul beban.

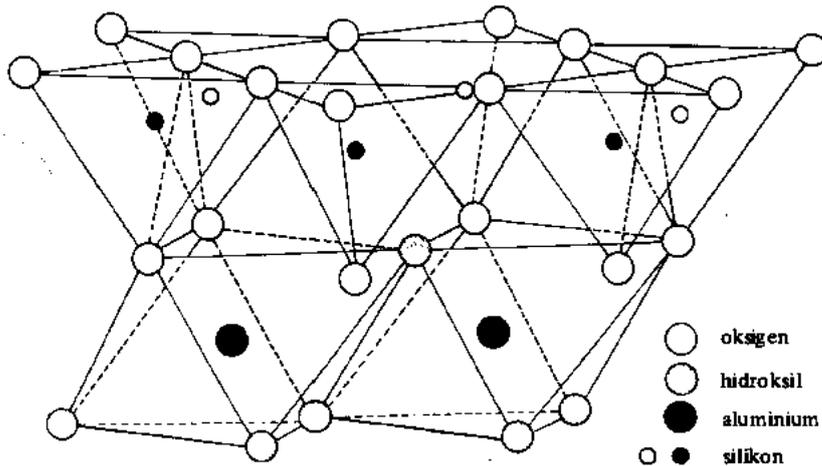
Sifat lapisan tanah lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampatan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Jadi, bilamana pembebanan konstruksi melampaui daya dukung kritisnya maka dalam jangka waktu yang lama besarnya penurunan akan meningkat yang akhirnya akan mengakibatkan berbagai kesulitan.

2.2.1 Minerologi Tanah Lempung Lunak

Mineral lempung merupakan hasil pelapukan tanah akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran kurang dari 0,002 mm. partikel lempung memiliki bentuk menyerupai lembaran yang memiliki permukaan khusus, sehingga lempung memiliki sifat yang dipengaruhi oleh gaya – gaya pada permukaan. Terdapat kira – kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Kerr, 1959). Tiga jenis mineral lempung utama yang sudah dikenal yaitu:

1. Kaolinite

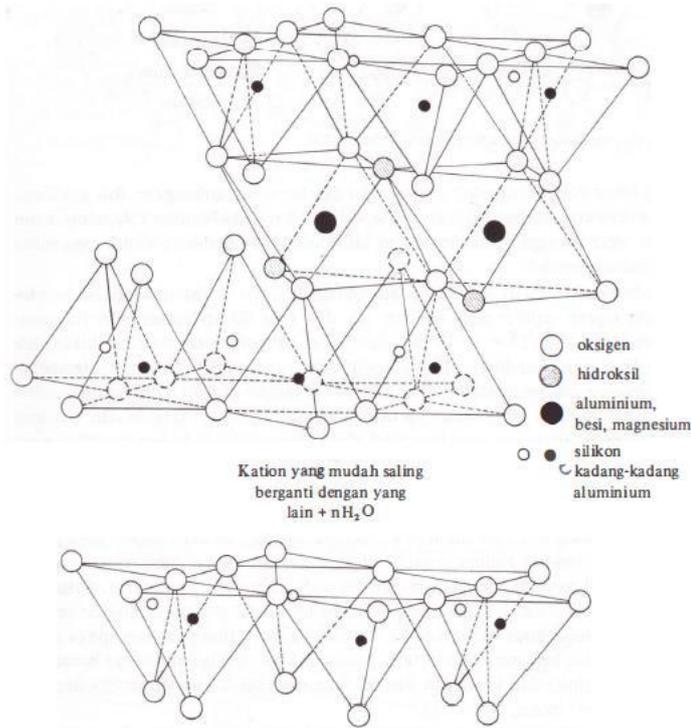
Kaolinite merupakan mineral lempung paling tidak aktif yang pernah diamati. *Kaolinite* dapat dihasilkan oleh pelapukan beberapa mineral lempung yang lebih aktif atau dapat juga terbentuk langsung dari produk sampingan pelapukan batuan. Warna *kaolinite* murni umumnya putih, putih kelabu, kekuning-kuningan atau kecoklat-coklatan.



Gambar 2.2 Struktur atom *Kaolinite* (Das, 1995)

2. Montmorillonite

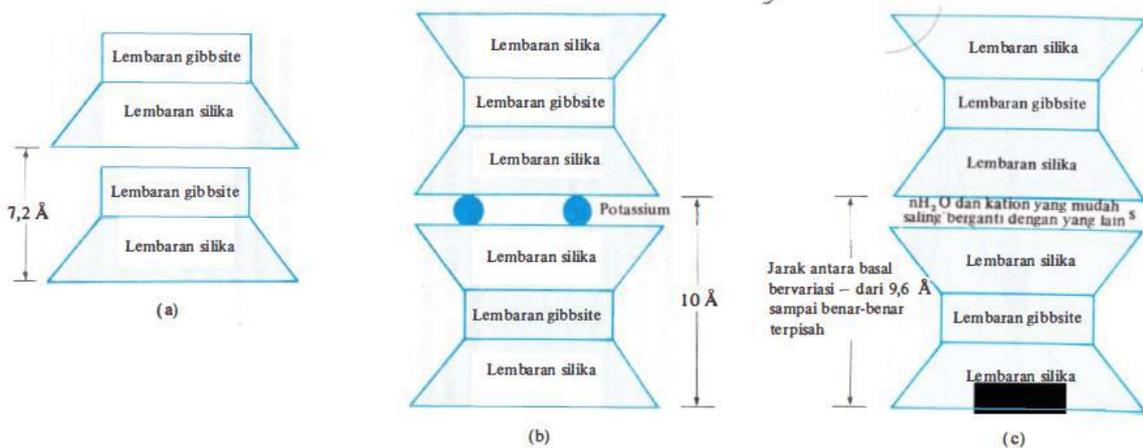
Montmorillonite memiliki susunan kristal yang terbentuk dari susunan dua lempeng silika tetrahedral mengapit satu lempeng alumina oktahedral ditengahnya, maka dari itu *montmorillonite* disebut mineral dua banding satu (2:1). Hubungan antara satuan unit diikat oleh ikatan gaya Van der Waals. Ukuran unit massa sangat besar, dapat menyerap air dengan sangat kuat, mudah mengalami proses pengembangan.



Gambar 2.3 Struktur atom *Montmorillonite* (Das, 1995)

3. *Illite*

Mineral *illite* mempunyai hubungan dengan mika biasa, sehingga dinamakan pula hidrat-mika. *Illite* memiliki formasi struktur satuan kristal, tebal dan komposisi yang hampir sama dengan *montmorillonite*.



Gambar 2.4 Gambar Struktur : (a) *kaolinite* ; (b) *illite* ; (c) *montmorillonite* (Das, 1995).

2.2.2 Karakteristik Sifat Fisik Tanah Lempung Lunak

Tanah lempung lunak merupakan tanah kohesif yang terdiri dari tanah yang sebagian besarnya dari butir – butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau. Sifat lapisan tanah

lempung lunak adalah gaya gesernya yang kecil, kemampatan yang besar, koefisien permeabilitas yang kecil dan memiliki daya dukung yang rendah dibandingkan dengan tanah lempung lainnya. Tanah – tanah lempung lunak secara umum mempunyai sifat – sifat sebagai berikut :

1. Kuat geser rendah.
2. Berkurang kuat gesernya bila kadar air bertambah.
3. Berkurang kuat gesernya bila struktur tanahnya terganggu.
4. Bila basah bersifat plastis dan mudah mampat.
5. Menyusut bila kering dan mengembang basah.
6. Kompresibilitasnya besar.
7. Berubah volume dengan bertambahnya waktu akibat rangkai pada beban yang konstan.
8. Merupakan material kedap air.

Menurut Terzaghi (1967) tanah lempung kohesif diklasifikasikan sebagai tanah lempung lunak apabila mempunyai daya dukung ultimit lebih kecil dari 0,5 kg/cm² dan nilai standard penetrasi tes lebih kecil dari 4 (N-value < 4). Berdasarkan uji lapangan, lempung lunak secara fisik dapat diremas dengan mudah oleh jari-jari tangan. Toha (1989) menguraikan sifat umum lempung lunak seperti dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1
Sifat-Sifat Umum Lempung Lunak

No.	Parameter	Nilai
1.	Kadar air	80 – 100%
2.	Batas cair	80 – 100%
3.	Batas plastis	30 – 45%
4.	Lolos saringan no.200	>90%
5.	Kuat geser	20 – 40 Kn/m ²

Sumber: Toha (1989)

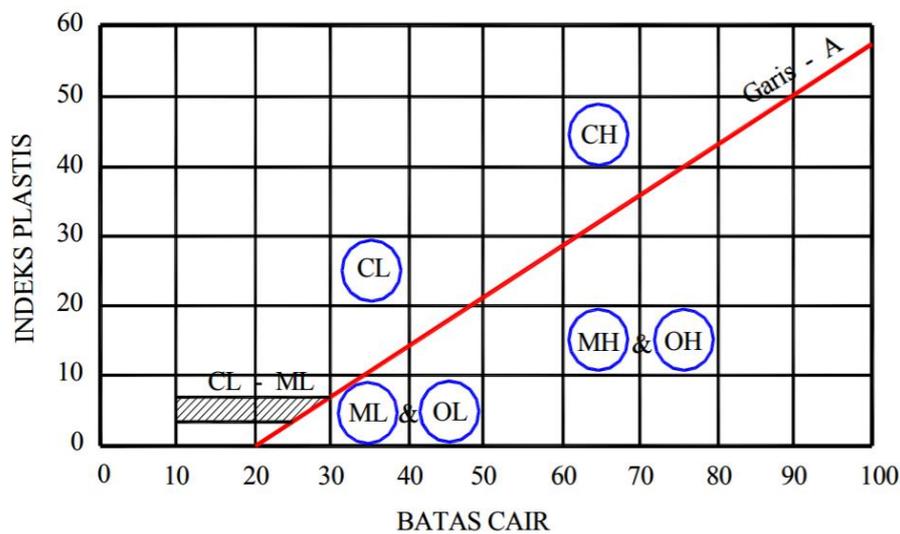
2.3 Penelitian Sifat Fisik Tanah

2.3.1 Sistem Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat serupa kedalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok pemakaiannya. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran tanah 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.

2.3.2 Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Sistem klasifikasi tanah berdasarkan hasil laboratorium yang paling banyak dipakai secara meluas adalah *Unified Soil Classification System*. Ada dua golongan besar, tanah yang berbutir kasar < 50% melalui saringan No. 200 dan tanah berbutir halus > 50% melalui saringan No.200. Seperti dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik Plastisitas, sistem USCS (Das, 1995)

2.3.3 Sistem Klasifikasi Tanah AASHTO

Sistem klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official Classification* (AASHTO) membagi tanah menjadi 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 Atterbergh. Indeks kelompok digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dan kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan (Hardiyatmo H,C, hal 45) :

$$GI = (F-35) \{0,2 + 0,005 (LL-40)\} + 0,01 (F-15) (PI-10) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

GI = Indeks Kelompok

F = Persen tanah lolos saringan No. 200

LL = Batas Cair

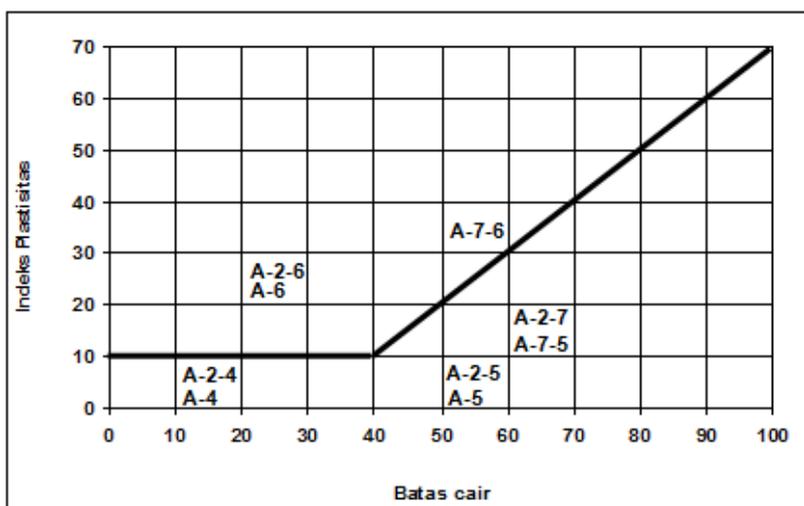
PI = Indeks Plastisitas

Menurut AASHTO tanah diklasifikasikan ke dalam tujuh kelompok besar yaitu A-1 sampai A-7. Tanah dengan klasifikasi A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir yaitu 35% atau kurang jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200, sedangkan tanah dengan klasifikasi A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah yang lebih dari 35% dan butirannya lolos ayakan No.200. Dimana masing-masing dibedakan lagi menjadi :

- 1) A-1 (A-1-a ; A-1-b), kelompok ini termasuk granular. Tanah yang terdiri dari kerikil dan pasir kasar dengan sedikit atau tanpa butir halus, dengan atau tanpa sifat plastis.
- 2) A-2 (A-2-4 ; A-2-5 ; A-2-6 ; A-2-7), termasuk kelompok gravel dan sand, terdiri dari pasir halus dengan sedikit sekali butir halus lolos No. 200 dan tidak plastis.
- 3) A-3, termasuk kelompok gravel dan sand, kelompok batas tanah berbutir kasar dan halus Dan merupakan campuran kerikil / pasir dengan tanah berbutir halus cukup banyak (< 35%)
- 4) A-4, tanah lanau dengan sifat plastis rendah
- 5) A-5, tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir – butir plastis, sehingga sifat plastisnya lebih besar dari A-4
- 6) A-6 (silt dan clay), tanah lempung yang masih mengandung butiran pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar.
- 7) A-7, tanah lempung yang lebih bersifat plastis dan mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2-4	A-2		
	A-1-a	A-1-b			A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos Aayakan No. 40 Batas cair (<i>LL</i>) Indeks plastisitas (<i>PI</i>)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

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^
Analisa ayakan (% lolos) No. 10 No. 40 No. 200				
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			

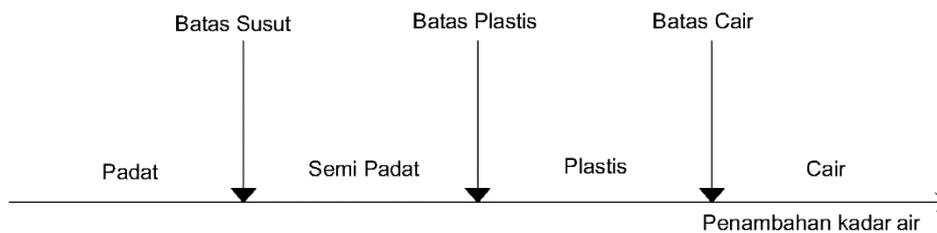
*Untuk A-7-5, $PI \leq LL-30$ ^Untuk A-7-6, $PI > LL-30$ 

Gambar 2.6 Grafik klasifikasi tanah sistem AASHTO

2.3.4 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 Atterbergh 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 pada gambar 2.7.

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



Gambar 2.7 Batas-batas Atterberg (Hardiyatmo, 2012)

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 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 :

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\% \right) - \left(\frac{v_1 - v_2}{m_2} \times \gamma_w \right) \times 100\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

m_1 = berat tanah basah (gr)

m_2 = berat tanah kering oven (gr)

V_1 = volume tanah basah (cm^3)

V_2 = volume tanah kering oven (cm^3)

γ_w = berat jenis air (gr/cm^3)

Tabel 2.2
Batas – Batas *Atterberg* untuk Mineral Lempung

Mineral	Batas Cair	Batas Plastis	Batas Susut
<i>Montmorillonite</i>	100 – 90	50 – 100	8,5 – 15
<i>Illite</i>	60 – 120	35 – 60	15 – 17
<i>Kaolinite</i>	30 – 110	25 – 40	25 – 29

Sumber: Mitchel (1976)

Berdasarkan Tabel 2.2 maka dapat dilihat, tanah lempung lunak dapat dikategorikan ke dalam kelompok MH atau OH berdasarkan sistem klasifikasi tanah *unified*. Dalam sistem *Unified*, yang dikembangkan di Amerika Serikat oleh Casagrande (1948), simbol kelompok terdiri dari huruf-huruf deskriptif primer dan sekunder. Klasifikasi didasarkan atas prosedur-prosedur di laboratorium dan di lapangan. Tanah yang mempertunjukkan karakteristik dari dua kelompok harus diberi klasifikasi pembatas yang di tandai oleh simbol yang dipisahkan oleh tanda hubung.

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

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

$$IP = LL - PL \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

IP = indeks plastisitas

LL= batas cair

PL= batas plastis

2.3.5 Berat Isi Tanah (*Density Test*) dan Porositas Tanah

Pengujian berat isi tanah (*density test*) memiliki tujuan untuk mengetahui berat volume suatu sampel tanah, sedangkan pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui nilai angka pori pada suatu sampel tanah. Setelah diketahui hasil dari pengujian *density test*, maka tanah dapat diketahui termasuk ke dalam jenis tanah dari tabel 2.3.

Tabel 2.3

Angka Pori, Kadar Air, dan Berat Volume Kering untuk Beberapa Tipe Tanah yang Masih Dalam Keadaan Asli

Tipe Tanah	Angka Pori, e	Kadar air dalam keadaan jenuh	Berat volume kering, d
Pasir lepas dengan butiran seragam	0,8	30	14,5
Pasir padat dengan butiran seragam	0,45	16	18
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut	0,65	25	16
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut	0,4	15	19
Lempung kaku	0,6	21	17
Lempung Lembek	0,9 - 1,4	30 - 50	11,5 - 14,5
Tanah	0,9	25	13,5
Lempung organik lembek	2,5 - 3,2	90 - 120	6 - 8.
Glacial till	0,3	10	21

Sumber: Das (1995)

2.3.6 *Specific Gravity*

Harga berat jenis butiran tanah sering dibutuhkan untuk bermacam – macam keperluan hitungan dalam mekanika tanah. Harga tersebut dapat ditentukan dengan melakukan pengujian di laboratorium. Sebagian besar mineral yang menjadi penyusun tanah berkisar 2,6 – 2,9. Berat spesifik dari bagian padat pada tanah pasir yang berwarna terang memiliki nilai 2,65. Untuk tanah berlempung atau berlanau memiliki nilai 2,6 – 2,9.

2.3.7 Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah memiliki menunjukkan tingkat kemampuan tanah meloloskan air yang melaluinya. Tanah dengan permeabilitas yang tinggi, mampu meningkatkan laju

infiltrasi sehingga menurunkan laju air yang terjadi di dalam tanah. Faktor yang mempengaruhi permeabilitas tanah, yaitu :

- **Tekstur tanah**
 Testur tanah merupakan hal yang sangat mempengaruhi permeabilitas tanah karena permeabilitas akan terjadi dengan cara melewati tekstur tanah.
- **Struktur tanah**
 Semakin banyak ruang antar struktur di dalam tanah, maka semakin cepat pula permeabilitas yang terjadi di dalam tanah.
- **Porositas tanah**
 Porositas merupakan rongga antar tanah yang biasanya akan terisi oleh air atau udara. Semakin besar pori tanah, maka akan semakin cepat pula permeabilitas tanah tersebut, begitu pula sebaliknya.
- **Viskositas yang terkandung di dalam air**
 Viskositas adalah kekentalan air yang akan mengalir tanah. Semakin kental air yang menembus tanah, maka semakin sulit air untuk menembus tanah.

Nilai koefisien rembesan (k) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda. Beberapa harga koefisien rembesan diberikan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4

Harga Koefisien Rembesan pada Umumnya

Jenis Tanah	k	
	(cm/detik)	(ft/menit)
Kerikil basah	1,0 – 100	2,0 – 200
Pasir kasar	1,0 – 0,01	2,0 – 0,02
Pasir halus	0,01 – 0,001	0,02 – 0,002
Lanau	0,001 – 0,00001	0,002 – 0,00002
Lempung	kurang dari 0,000001	kurang dari 0,000002

Sumber: Das (1995)

2.3.8 Konsolidasi

Konsolidasi merupakan suatu proses pemampatan tanah, dan berkurangnya volume pori dalam tanah. Hal ini dapat menghasilkan bertambahnya daya dukung tanah. Namun, selama proses ini terjadi tidak diperbolehkan adanya bangunan yang sedang berdiri di atas tanah tersebut. Proses ini biasanya memakan waktu yang cukup lama dari tahunan bahkan sampai puluhan tahun. Dikarenakan durasi yang terlalu lama hal ini akan sangat tidak menguntungkan untuk melakukan kegiatan konstruksi. Namun apabila konstruksi tetap dilakukan sebelum proses konsolidasi terjadi, maka kemungkinan besar akan terjadi proses keruntuhan bangunan akibat proses konsolidasi. Menurut Braja M. Das (1985) yang dikutip oleh Yamali, F., Y. (2011) dalam jurnalnya yang berjudul “Pengaruh Kadar Air Terhadap Nilai Konsolidasi di Tanah Lempung Pada Lokasi yang Sama”, konsolidasi terbagi menjadi 2 yaitu:

- *Immediate Settlement*

Terjadi akibat deformasi elastis tanah kering, basah dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.

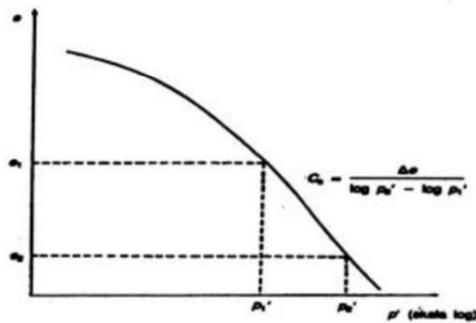
- *Consolidation Settlement*

Hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.

Pada umumnya konsolidasi terjadi dalam satu arah saja atau disebut juga *one dimensional consolidation*. Pergerakan arah horizontal dapat diabaikan, karena tertahan oleh lapisan tanah yang berada di sekelilingnya. Parameter – parameter konsolidasi suatu tanah yaitu indeks kompresi (C_c) dan koefisien konsolidasi (C_v).

Indeks kompresi berhubungan dengan berapa besarnya penurunan yang akan terjadi. Nilai indeks kompresi (C_c) adalah kemiringan garis penurunan dari garis konsolidasi tanah teoritis atau sama dengan garis konsolidasi tanah asli. Garis konsolidasi agak lebih landai dari garis konsolidasi lapangan, karena dipengaruhi oleh ketidaksempurnaan keasliannya misalnya kurang baiknya pengambilan sampel. Dari penelitian diperoleh sifat bahwa garis laboratorium dan garis lapangan berpotongan pada garis $e = 0,42$ eo. Sifat ini dipergunakan untuk menarik garis lapangan.

Untuk menentukan nilai C_c , sebelumnya kita perlu menentukan terlebih dahulu besarnya tekanan prakonsolidasi. Casagrande (1936) menyarankan suatu cara yang mudah untuk menentukan besarnya tekanan prakonsolidasi, p_c , dengan berdasarkan grafik angka pori (e) terhadap $\log p$ yang digambar dari hasil percobaan konsolidasi di laboratorium.



Gambar 2.8 Indeks Kompresi (C_c)

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} = \frac{(e_1 - e_2)}{\log p_2' - \log p_1'} = \frac{e_1 - e_2}{\log \left(\frac{p_2'}{p_1'} \right)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dari penelitian (Terzaghi dan Peck, 1967), untuk lempung *normally consolidated* :

$$C_c = 0,009 (LL - 10) \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk tanah yang dibentuk (*remolded*) :

$$C_c = 0,007 (LL - 10) \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk setiap tanah berbeda – beda. Berikut adalah tabel nilai C_c untuk bermacam – macam tanah :

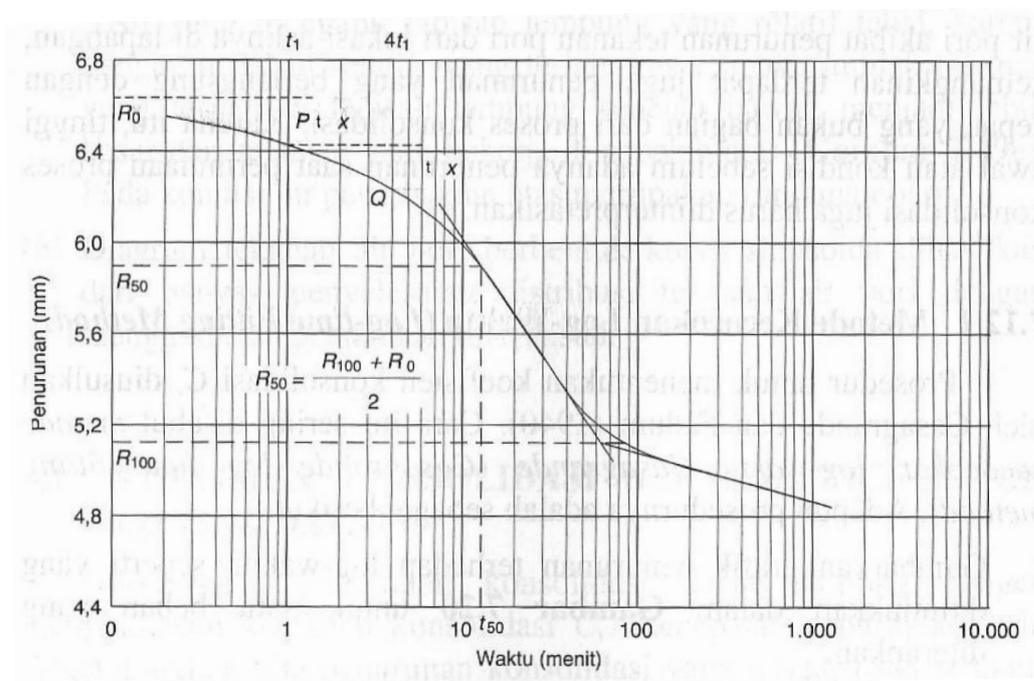
Tabel 2.5
Nilai C_c untuk Macam – Macam Jenis Tanah

Jenis Tanah	Nilai C_c
Pasir padat	0,0005 ± 0,001
Pasir tidak padat	0,025 ± 0,05
Lempung agak kenyal	0,03 ± 0,06
Lempung kenyal	0,06 ± 0,15
Lempung medium s/d lunak	0,15 ± 1,0
Tanah organic	1,0 ± 4,5
Batu / cadas	0

Koefisien konsolidasi (C_v) adalah parameter yang menghubungkan perubahan tekanan air pori terhadap waktu. Koefisien konsolidasi berhubungan dengan berapa lama suatu konsolidasi tanah tertentu akan terjadi dan juga tingkat penurunan konsolidasi yang akan terjadi untuk ke depannya. Untuk menentukan nilai dari C_v dapat digunakan beberapa metode seperti metode Log – Waktu, dan metode Akar Waktu.

b) Metode Kococokan Log-Waktu

Prosedur ini diusulkan oleh Casagrande dan Fadum (1940). Bisa digunakan apabila konsolidasi sekunder teramati. Bagian kurva konsolidasi primer dan sekunder cukup jelas.



Gambar 2.9 Metode kecocokan log – waktu (Cassagrande, 1940)

Prosedur penggambaran grafik sebagai berikut :

1. Gambarkan grafik penurunan terhadap log waktu untuk beban yang diterapkan.
2. Titik awal kurva ditentukan (mendekati parabola). Tentukan dua titik yaitu pada saat t_1 (titik P) Dan $4t_1$ (titik Q). Jarak vertikal PQ diukur (misalnya x). kedudukan $R = R_0$ digambarkan dengan mengukur jarak x vertikal diatas titik P.
3. Titik U = 100%, atau R_{100} diperoleh dari titik potong dua bagian linier kurva, yaitu titik potong bagian lurus terkonsolidasi primer dan sekunder.

4. Titik $U = 50\%$ ditentukan dengan

$$R_{50} = (R_0 + R_{100}) / 2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dari sini diperoleh t_{50} . Nilai T_v sehubungan dengan $U = 50\%$ adalah 0,197, sehingga C_v dinyatakan dalam persamaan :

$$C_v = \frac{0,197 H t^2}{t_{50}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

C_v = Koefisien Konsolidasi (m^3/dt)

H_t = Tinggi rata – rata sampel (m)

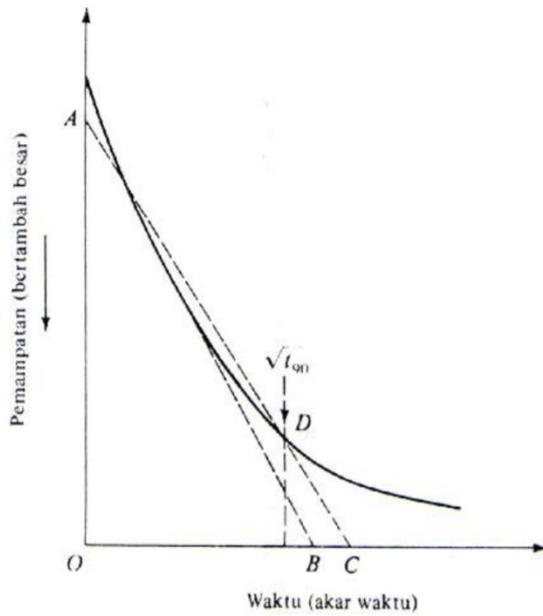
t_{50} = Waktu untuk derajat konsolidasi 50% (dt)

c) Metode Akar Waktu

Metode ini digunakan untuk menentukan nilai C_v dengan menggambar grafik hubungan akar waktu terhadap penurunan. Kurva biasanya linier sampai dengan 60% konsolidasi. Kurva ini digunakan untuk menentukan derajat konsolidasi $U = 90\%$, dimana disini absis OR akan sama dengan 1,15 kali absis OQ. Untuk memperoleh derajat konsolidasi $U = 90\%$ adalah sebagai berikut :

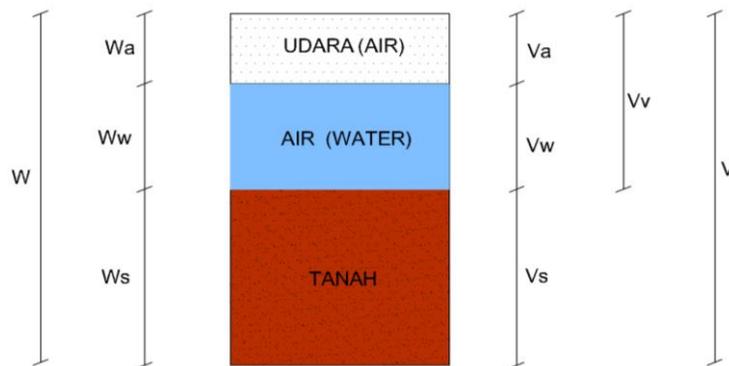
1. Gambar suatu garis AB melalui bagian awal kurva (ambil kurva yang lurus).
2. Gambar suatu garis AC sehingga $OC = 1.15 OB$. Absis titik D, yang merupakan perpotongan antara garis AC dan kurva konsolidasi merupakan perpotongan antara garis AC dan kurva konsolidasi, memberikan harga akar waktu untuk tercapainya konsolidasi 90 %.
3. Hitung koefisien konsolidasi dengan menggunakan rumus berikut:

$$C_v = \frac{0,848 x H_{dr}^2}{t_{90}} \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.10 Metode akar waktu (Taylor, 1948)

2.4 Penelitian Sifat Mekanik Tanah



Gambar 2.11 Diagram Fase Tanah (Hardiyatmo, 2012)

Pada segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering, hanya akan terdapat dua bagian, yaitu butir tanah dan pori-pori udara. Dalam tanah yang jenuh terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Bagian tersebut dapat digambarkan dalam diagram fase, seperti pada gambar 2.8. Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan :

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots (2.10)$$

$$V = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots (2.11)$$

$$V_v = V_w - V_a \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

W_s = berat butiran padat

W_w = berat cair

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

Berat udara (W_a) dianggap sama dengan nol.

Istilah umum yang digunakan untuk hubungan berat adalah kadar air (*moisture content*) dan berat volume (*unit weight*). Definisi dari istilah-istilah tersebut antara lain:

- a. Kadar air (w), didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki, dinyatakan dalam persen.

$$w (\%) = 100 \times W_w / W_s \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan w = kadar air ; W_w = berat air ; W_s = berat butiran

- b. Berat Volume Tanah (γ) adalah berat tanah per satuan volume, dengan rumus dasar:

$$\gamma = W_s / V \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

dengan : γ = berat volume ; V = volume tanah

- c. Berat jenis (*Specific Gravity* (G_s)) adalah perbandingan antara volume butiran tanah dengan volume air.

$$G_s = (W_s \times G_w) / (W_s - W_b) \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan : G_w = berat jenis air ; W_b = berat tanah basah

Berat jenis tidak memiliki satuan.

2.4.1 Uji Pemadatan (*Compaction*)

Pemadatan adalah suatu usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan penggunaan energi mekanik untuk menghasilkan pemampatan partikel. Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dengan berat volume kering supaya tanah padat, setelahnya didapatkan nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai

nilai berat volume kering maksimumnya. Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya.

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

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

Untuk suatu kadar air tertentu, berat volume kering maksimum secara teoritis didapat bila pada pori-pori tanah sudah tidak ada udaranya lagi, yaitu pada saat dimana derajat kejenuhan tanah sama dengan 100%. Keadaan ini disebut sebagai *zero air voids*. Dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\gamma_d = (G_s \cdot \gamma_w) / (1 + w \cdot G_s) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana: □

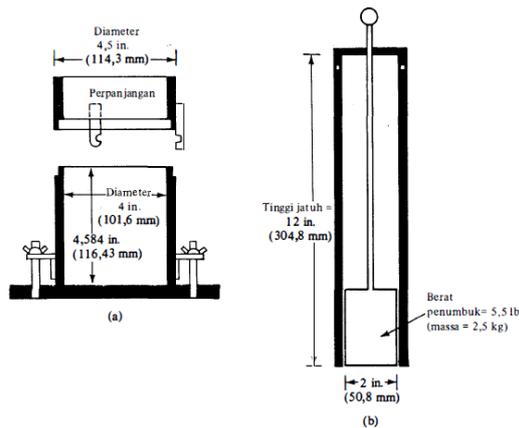
d = berat isi tanah kering

w = berat isi air

w = kadar air

G_s = berat jenis tanah

Selain bergantung pada kadar air, hasil pemadatan juga bergantung pada cara atau usaha pemadatan, macam tanah dan kadar airnya. Jenis tanah yang diwakili oleh distribusi ukuran butiran, bentuk butiran, berat spesifik, dan jumlah serta jenis material lempung yang ada pada tanah, mempunyai pengaruh besar terhadap harga berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah tersebut.



Gambar 2.12 Alat uji proctor standar: (a) cetakan; (b) penumbuk.

2.4.2 Uji California Bearing Ratio (CBR)

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

Pengujian CBR Laboratorium menggunakan contoh tanah kering udara yang dicampur dengan air sampai kadar air optimum kemudian dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 56 kali pada lapisan pertama sepertiga dari tinggi mold, 56 kali pada lapisan kedua pada ketinggian dua pertiga tinggi mold, dan ditumbuk 56 kali saat mold penuh pada lapisan ketiga. Untuk pemeriksaan CBR langsung (*unsoaked CBR*), benda uji telah siap diperiksa nilai CBR-nya.

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah atau campuran agregat yang didapatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. CBR (*California Bearing Ratio*) adalah perbandingan beban penetrasi suatu bahan (dapat berupa tanah atau material perkerasan jalan) dengan bahan 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 di lapangan.

Dengan menggunakan grafik yang telah dibuat, harga CBR dapat dihitung dengan cara membagi masing – masing beban dengan bahan standar CBR pada penetrasi 0,1” dengan beban standar 70,31 kg (1000psi), penetrasi 0,2” dengan beban standar 1045,47 kg (1500 psi) Dan dikalikan dengan 100%. Umumnya nilai CBR diambil pada penetrasi 0,1 inch. Apabila terjadi koreksi grafik, maka beban yang dipakai adalah beban yang sudah dikoreksi

pada 2,54 mm (0,1 inch) Dan 5,08 mm (0,2 inch). Dengan catatan apabila nilai CBR pada 0,1 inch lebih kecil dari 0,2 inch maka percobaan harus diulang. Apabila pada pengujian yang kedua ini masih lebih kecil pada 0,1 inch maka nilai CBR yang dipakai adalah yang terbesar.

2.4.3 Uji Triaksial (*Triaxial Test*)

Percobaan triaxial merupakan metode yang paling umum untuk mencari kekuatan geser tanah. Percobaan triaxial dilakukan dengan cara benda uji dimasukkan dalam selubung tipis dan diletakkan dalam tabung baja, kemudian ruang di dalam tabung diisi dengan air. Tekanan vertikal yang diberikan pada proses keruntuhan ini adalah tegangan *deviator* dan dapat diukur dengan cincin uji.

Dengan (c) dan (ϕ) pada titik keruntuhan yang telah diketahui, maka dapat digambar suatu lingkaran *Mohr*. Lingkaran – lingkaran ini harus memiliki suatu garis singgung yang dikenal dengan sampel *Mohr* dan merupakan suatu garis yang sama dengan persamaan garis yang diberikan oleh percobaan *Coulomb*, sehingga dapat diketahui nilai c dan ϕ .

Pengujian geser langsung dibedakan menjadi 3 macam, yaitu :

1. *Unconsolidated Undrained Test* (UU)

Pada percobaan ini air tidak boleh mengalir dari benda uji, baik pada saat pemberian tegangan normal maupun saat pemberian tegangan geser. Tegangan air pori biasanya tidak diukur pada percobaan ini, hanya kekuatan geser *undrained* yang dapat ditentukan dari percobaan ini.

2. *Consolidated Undrained* (CU)

Pada percobaan ini air dibolehkan mengalir dari benda uji. Benda uji diberi tegangan normal yang bekerja sampai konsolidasi selesai, yaitu sampai tidak terjadi lagi perubahan pada isi benda uji. Kemudian jalan air ditutup dan diberi tegangan geser secara *undrained* secara tertutup. Tegangan air pori dapat diukur selama tegangan geser diberikan.

3. *Consolidated Drained (CD)*

Pada percobaan ini benda uji diberikan tegangan normal dan air dibolehkan mengalir sampai konsolidasi selesai. Kemudian tegangan geser diberikan dengan cara jalan air tetap dibuka, yaitu penggeseran dilakukan secara *drained* (terbuka).

Pada percobaan ini dilakukan dengan cara *Unconsolidated Undrained* (tanpa konsolidasi-tanpa drainase). Benda uji diberikan tegangan ruang dimana air tidak boleh mengalir dari benda uji. Setelah diberi tegangan, dilakukan geseran vertikal dengan kecepatan $(1\% \times L_0)/\text{menit}$. Percobaan *Unconsolidated Undrained* ini merupakan analisis tegangan total.

2.4.4 Uji *Unconfined Compression Strength*

Untuk tanah, kuat geser tak terdrainase (S_u) diperlukan untuk penentuan daya dukung. Kuat geser tak terdrainase (S_u) lempung biasanya ditentukan uji tekan tak terkekang. Nilai kuat geser tak terdrainase (S_u) dari tanah yang kohesif sama dengan satu setengah dari kuat tekan tak terkekang (q_u) ketika tanah dibawah kondisi $\phi = 0$ (ϕ = sudut geser dalam). Kondisi paling kritis pada tanah biasanya terjadi setelah pembangunan yang menggambarkan kondisi tak terdrainase. Ketika kuat geser tak terdrainase pada dasarnya sama dengan kohesi (C_u). hal ini dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$S_u = C_u = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots (2.17)$$

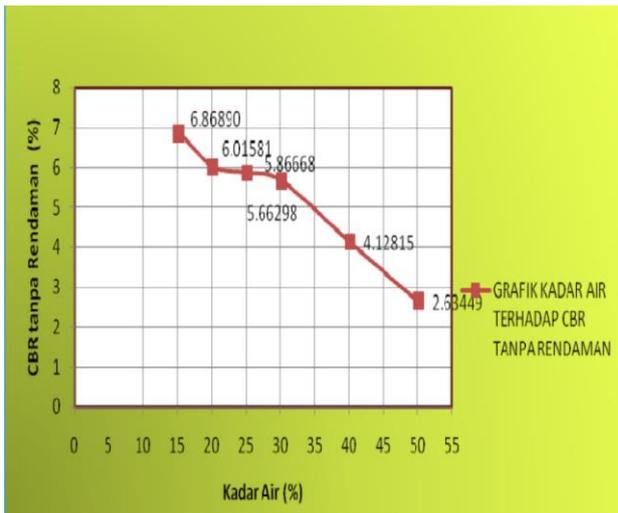
Dengan berlalunya waktu, maka air pori dalam tanah menghilang perlahan-lahan dan tekanan butiran dalam tanah meningkat, sehingga kuat geser terdrainase (s) yang diberikan sebagai $s = c + s' \tan \phi$ harus digunakan. Dimana s' = tekanan butiran dalam bekerja tegak lurus dengan bidang geser, dan $s' = (s - u)$, s = tekanan total, dan u = tekanan air pori, c' dan ϕ' adalah parameter kuat geser terdrainase.

Konsistensi Tanah Lempung	Harga q_u		
	(Ton/ft ²)	(kN/m ²)	(kg/cm ²)
Sangat lunak	0-0,25	0-23,94 (≈24)	<0,27
Lunak	0,25-0,50	24-48	0,27-0,54
Menengah	0,50-1	48-96	0,54-1,08
Kaku	1-2	96-192	1,08-2,16
Sangat kaku	2-4	192-383	2,16-4,32
Keras	<4	>383	>4,32

Gambar 2.13 Hubungan antara konsistensi tanah dengan kekuatan tanah lempung pada *unconfined compression test*

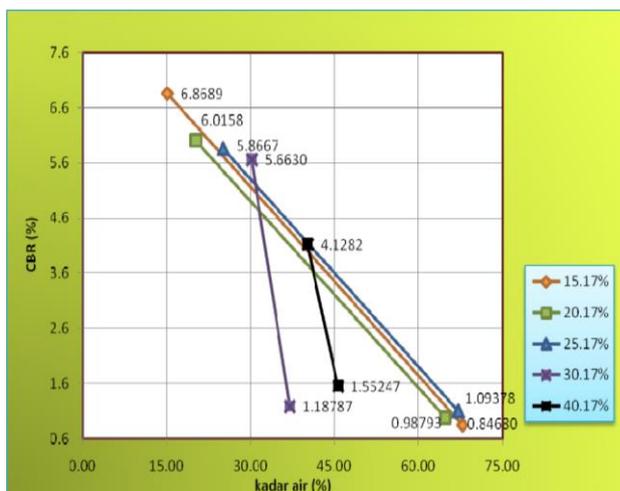
2.4.5 Penelitian yang Telah Ada

1. Penelitian yang telah dilakukan Suroso, et al (2013), kadar air yang digunakan untuk campuran pengujian CBR juga bervariasi dengan hasil sebagai berikut :
 - a. Untuk CBR tanpa rendaman (*unsoaked*) yang telah dilakukan dengan variasi kadar air sebesar 15,169%; 20,169%; 25,169%; 30,169%; 40,169% dan 50,169% didapatkan hasil nilai CBR tertinggi sebesar 6,8689% pada penambahan kadar air sebesar 15,169% dan nilai CBR terendah sebesar 2,6345% pada penambahan kadar air sebesar 50,169%.
 - b. Untuk pengujian CBR rendaman (*soaked*) ini dilakukan dengan variasi kadar air sebesar 15,169%; 20,169%; 25,169%; 30,169%; dan 40,169% didapatkan perubahan nilai CBR tertinggi setelah sampel direndam selama 4 hari terjadi pada kadar air awal sebesar 15,169% dengan nilai CBR awal 6,8689% menjadi 0,8468% dengan kadar air akhir 67,789%. Dan perubahan nilai CBR terendah terjadi pada kadar air awal sebesar 40,169% dengan nilai CBR awal sebesar 4,1282% menjadi 1,5524% dengan kadar air 45,625%. Jadi semakin rendah kondisi kadar air awal yang diberikan menjadikan perubahan nilai CBR yang semakin tinggi.



Gambar 2.14 Grafik Hubungan Kadar Air dan CBR Tanpa Rendaman

Sumber : Suroso, et al (2013)

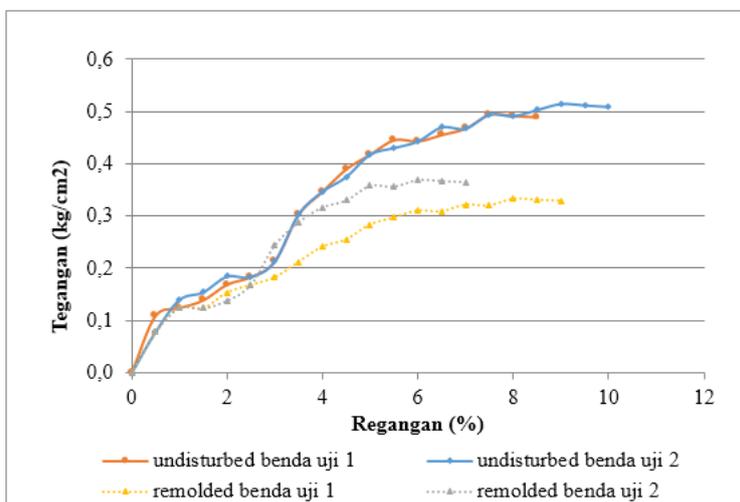


Gambar 2.15 Grafik Hubungan Kadar Air terhadap Perubahan Nilai CBR Setelah Direndam

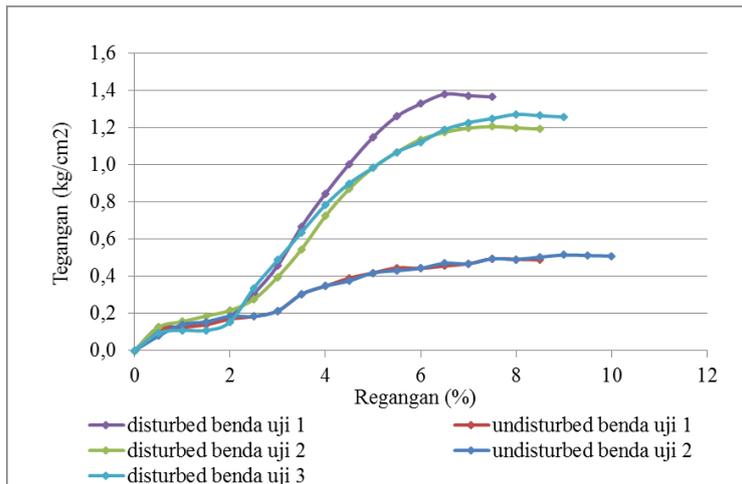
Sumber : Suroso, et al (2013)

2. Penelitian yang telah dilakukan Rahmawati (2015), kadar air yang digunakan untuk campuran pengujian triaksial dan *unconfined* juga bervariasi dengan hasil sebagai berikut :
 - a. Hasil yang diperoleh dari uji tekan bebas untuk tanah asli (*undisturbed*) dan tanah *remolded* adalah seperti diperlihatkan pada gambar 2.16 menunjukkan bahwa kondisi *undisturbed* lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *remolded*. Tanah kondisi *undisturbed* memiliki tegangan maksimum rata-rata sebesar 0,504 kg/cm² sedangkan tanah kondisi *remolded* memiliki tegangan maksimum rata-

rata sebesar $0,351 \text{ kg/cm}^2$. Dari gambar 2.17 dapat dilihat bahwa tegangan maksimum rata-rata untuk tanah *remolded* dengan cara dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC) yaitu $1,286 \text{ kg/cm}^2$ lebih besar daripada tegangan maksimum tanah *undisturbed* yang hanya memiliki q_u rata-rata $0,504 \text{ kg/cm}^2$. Hal ini dikarenakan pemadatan dapat mengakibatkan perubahan-perubahan struktur tanah salah satunya adalah meningkatkan kekuatan tanah, dimana kekuatan tanah lempung yang dipadatkan akan bergantung pada cara usaha pemadatan, macam tanah, kondisi tanah dan kadar air saat dipadatkan. Pada penelitian Rahmawati (2015) pada bagian penutup juga disimpulkan bahwa “kadar air pada tanah asli berpengaruh terhadap kuat geser tanah. Semakin besar kadar air, nilai q_u , tegangan dan C_u semakin kecil”.



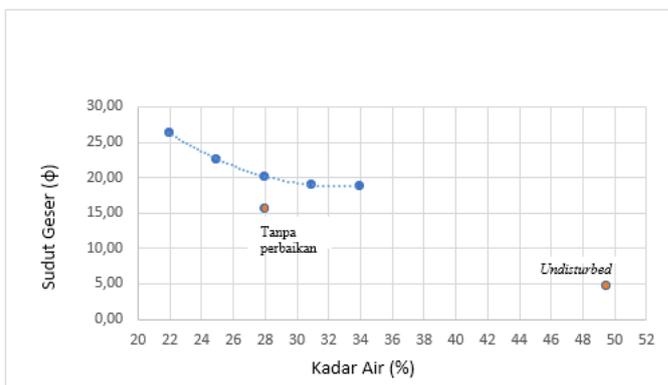
Gambar 2.16 Grafik perbandingan tegangan- regangan tanah asli *undisturbed-remolded*
 Sumber : Rahmawati (2015)



Gambar 2.17 Grafik perbandingan tegangan-regangan tanah *undisturbed-remolded* yang dipadatkan dengan kadar air optimum (OMC)

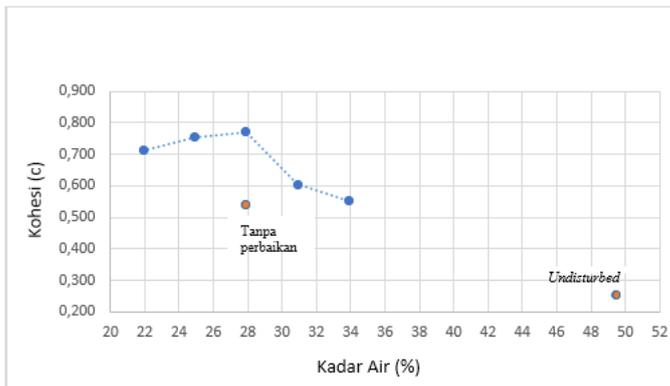
Sumber : Rahmawati (2015)

- b. Untuk variasi kadar air nilai kohesi dapat juga dilihat pada gambar 2.19 bahwa nilai kohesi (c) maksimum berada pada titik sekitar kadar air optimum (OMC) sebesar 0,77, nilai kohesi (c) ini meningkat 206% dari nilai kohesi (c) tanah asli (*undisturbed*). Untuk kohesi dalam keadaan optimum kering yaitu nilai kohesinya lebih kecil dibandingkan dengan keadaan OMC, hal ini dikarenakan tanah belum mencapai keadaan optimum atau pada keadaan ini memiliki gaya tarik menarik antarpartikel rendah.



Gambar 2.18 Grafik Pengaruh Kadar Air Terhadap Sudut Geser (Φ)

Sumber : Rahmawati (2015)



Gambar 2.19 Grafik pengaruh kadar air terhadap koheesi (c)

Sumber : Rahmawati (2015)

2.5 Korelasi Daya Dukung Tanah dan CBR

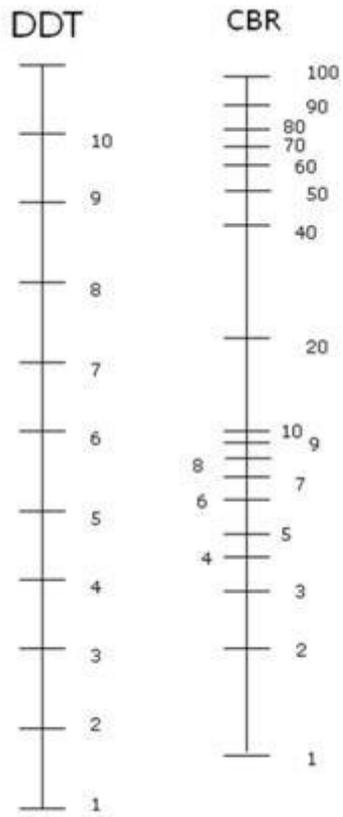
Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi antara daya dukung tanah dengan CBR. Nilai CBR yang dimaksudkan adalah harga CBR baik lapangan maupun laboratorium.

Jika digunakan CBR lapangan, maka pengambilan sampel tanah dilakukan dengan tabung (undisturbed) lalu direndam dan dilakukan pemeriksaan pada nilai CBR. Sedangkan untuk CBR laboratorium biasanya digunakan sebagai perencanaan pembangunan jalan.

Daya dukung tanah dasar dapat diperoleh dari nilai CBR atau *Plate Bearing Test*, DCP, dan sebagainya. Korelasi antara daya dukung tanah dengan CBR subgrade dapat dilihat menggunakan grafik pada gambar 2.15.

CBR : skala log

DDT : skala linear



Gambar 2.20 Grafik korelasi antara Daya Dukung Tanah dengan CBR

(Halaman ini sengaja dikosongkan)