

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tanah

#### 1. Definisi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (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 (Das, 1985). Tanah dalam pandangan Teknik Sipil adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 1996). Kata "tanah" merujuk ke material yang tidak membatu, tidak termasuk batuan dasar, yang terdiri dari butiran-butiran mineral yang memiliki ikatan yang lemah serta memiliki bentuk dan ukuran, bahan organik, air dan gas yang bervariasi. Jadi, tanah meliputi gambut, tanah organik, lempung, lanau, pasir dan kerikil atau campurannya (Anonim, 2001).

## 2. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1985).

Terdapat dua sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan untuk mengelompokkan tanah. Kedua sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas *Atterberg*, sistem-sistem tersebut adalah sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan sistem klasifikasi tanah *unified* (USCS).

### a. Sistem Klasifikasi AASTHO

Sistem klasifikasi AASHTO dikembangkan tahun 1929 sebagai *Public Road Administration Classification System*. Sistem ini telah mengalami beberapa perbaikan dan yang berlaku saat ini diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145).

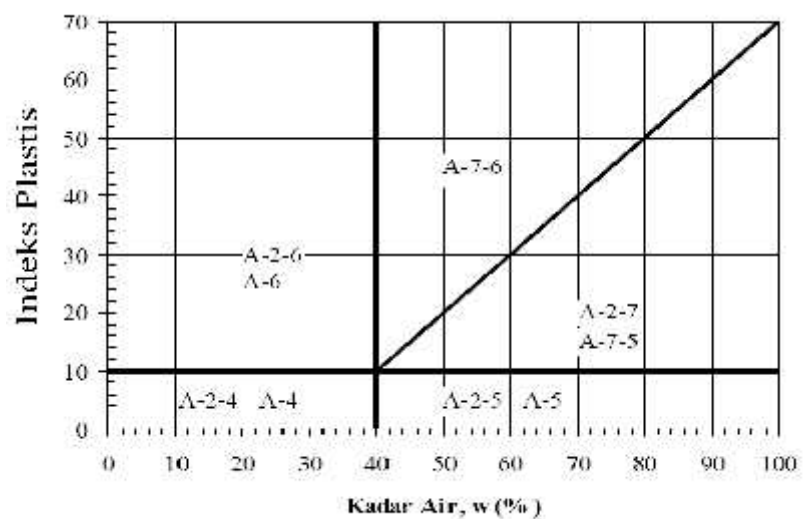
Sistem klasifikasi AASHTO bermanfaat untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*subbase*) dan tanah dasar (*subgrade*). Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria:

## 1) Ukuran Butir

- Kerikil: bagian tanah yang lolos ayakan diameter 75 mm (3") dan yang tertahan pada ayakan No.10 (2 mm).
- Pasir: bagian tanah yang lolos ayakan No.10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No.200 (0,075 mm).
- Lanau dan lempung: bagian tanah yang lolos ayakan No.200.

## 2) Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.



**Gambar 2.1.** Nilai-nilai Batas *Atterberg* untuk Subkelompok Tanah(Das, 1985)

- 3) Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu.

Tetapi, persentase dari batuan yang dileluarkan tersebut harus dicatat.

Apabila sistem klasifikasi AASHTO(*American Association of State Highway and Transportation Official*) ini dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data dari hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 2.1 dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai.

**Tabel 2.1.** Klasifikasi Tanah untuk Lapisan Tanah Dasar Jalan Raya (Das, 1985)

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)							Tanah lanau - lempung (lebih dari 35 % dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5*
Analisis ayakan (% lolos)											
No. 10	50	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 40	30	50	51	---	---	---	---	---	---	---	---
No. 200	15	25	10	35	35	35	35	36	36	36	36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40											
Batas Cair (LL)		---	---	40	41	40	41	40	40	40	41
Indek Plastisitas (PI)		6	NP	10	10	11	11	10	10	11	11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik							Biasa sampai jelek			

Keterangan : \*\* Untuk A-7-5, PI LL – 30

\*\* Untuk A-7-6, PI &gt; LL – 30

Dari Tabel AASHTO tanah lempung lunak diklasifikasikan dari A-6 sampai A-7 dengan sifat tanah biasa sampai jelek. Kemungkinan yang didapat jika tanah lempung lunak dicampur dengan pasir, kemungkinan yang terjadi dapat menghasilkan jenis tanah yang berada pada tabel A-2.

**b. Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (USCS)**

Klasifikasi tanah sistem ini diajukan pertama kali oleh Casagrande dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah memakai USCS sebagai metode standar guna mengklasifikasikan tanah. Dalam USCS, suatu tanah diklasifikasikan ke dalam dua kategori utama yaitu:

- 1) Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soils*) yang terdiri atas kerikil dan pasir yang mana kurang dari 50% tanah yang lolos saringan No.200 ( $F_{200} < 50$ ). Simbol kelompok diawali dengan **G** untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil (*gravelly soil*) atau **S** untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir (*sandy soil*).
- 2) Tanah berbutir halus (*fine-grained soils*) yang mana lebih dari 50% tanah lolos saringan No.200 ( $F_{200} > 50$ ). Simbol kelompok diawali dengan **M** untuk lanau inorganik (*inorganic silt*), atau **C** untuk lempung inorganik (*inorganic clay*), atau **O** untuk lanau dan lempung organik. Simbol **Pt** digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi.

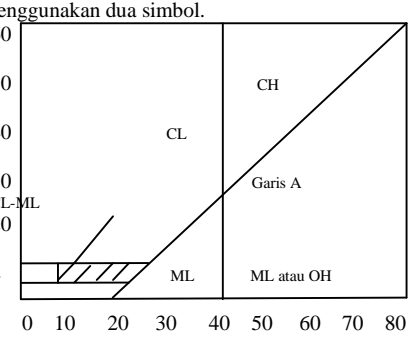
Simbol lain yang digunakan untuk klasifikasi adalah **W** - untuk gradasi baik (*well graded*), **P** - gradasi buruk (*poorly graded*), **L** - plastisitas rendah (*low plasticity*) dan **H** - plastisitas tinggi (*high plasticity*).

Adapun menurut *Bowles* (1984) kelompok-kelompok tanah utama pada sistem klasifikasi *Unified* diperlihatkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.2.** Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* (Bowles, 1984)

Jenis Tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	$w_L < 50 \%$	L
Organik	O	$w_L > 50 \%$	H
Gambut	Pt		

Tabel 2.3. Sistem Klasifikasi *Unified* (Hardiyatmo, 1996)

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar tertahan saringan No. 200	Kerikil 50% tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol		
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung			
	Pasir lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
			SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada didaerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
		Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200	Lanau dan lempung batas cair	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" ( <i>lean clays</i> )	
OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan lempung batas cair	MH		Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis			
	CH		Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" ( <i>fat clays</i> )			
	OH		Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
	PT		<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		



## **B. Tanah Lempung**

### **1. Definisi Tanah Lempung**

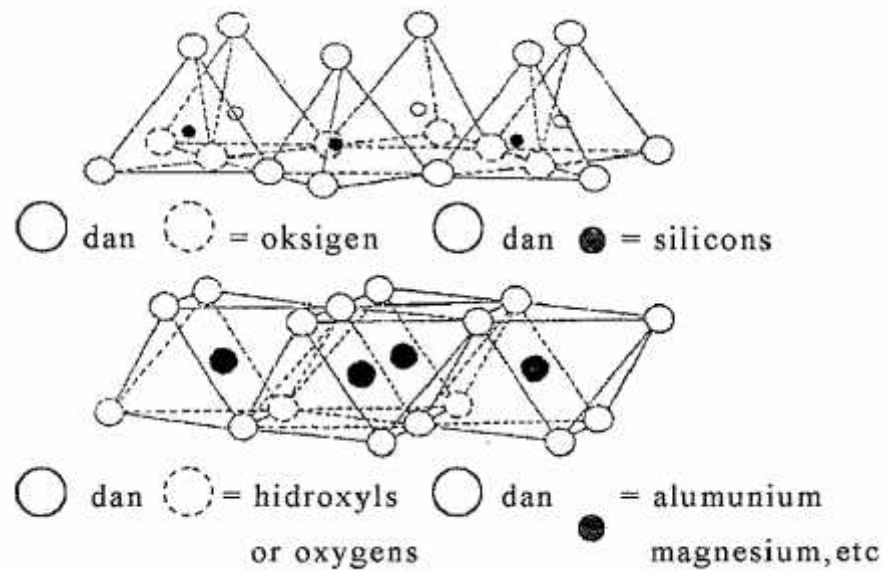
Tanah lempung adalah kumpulan dari partikel-partikel mineral lempung dan bukan lempung, yang memiliki sifat-sifat yang sebagian besar, walaupun tidak secara keseluruhan, ditentukan oleh mineral-mineral lempung (Anonim, 2011). Beberapa pendapat para peneliti mengenai definisi dari tanah lempung, yaitu:

- a. Tanah lempung merupakan agregat partikel-partikel berukuran mikroskopik dan submikroskopik yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada keadaan air lebih tinggi, lempung bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak (Das, 1985).
- b. Tanah lempung adalah tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah (Grim, 1962)
- c. Tanah lempung merupakan deposit yang mempunyai partikel berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50%; (Bowles, 1984).
- d. Tanah lempung memiliki ukuran butiran halus  $> 0,002$  mm, permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat kohesif, kadar kembang susut yang tinggi dan poses konsolidasi lambat; (Hardiyatmo, 1996).

- e. Tanah lempung terdiri dari butir-butir yang sangat kecil ( $< 0,002$  mm) dan yang memungkinkan bentuk bahan itu diubah-ubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah. (Wesley, 1977) menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi. Kohesi menunjukkan kenyataan bahwa bagian-bagian itu melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat

## **2. Jenis Mineral Lempung**

Tanah lempung terdiri sekumpulan partikel-partikel mineral lempung yang berbentuk lempeng pipih dan merupakan partikel dari mika, mineral lempung dan mineral lainnya. Faktor utama yang digunakan untuk mengontrol ukuran, bentuk, sifat fisik, sifat kimia dan partikel tanah adalah mineralogi (Mitchell, 1976). Sifat fisik dan mekanis tanah lempung dikendalikan oleh mineral yang terkandung di tanah tersebut. Mineral tersebut terutama terdiri dari aluminium silikat yang terdiri dari silikat tetrahedral dan aluminium oktahedral. Mineral-mineral ini terdiri dari kristal dimana atom-atom yang membentuknya berada dalam suatu pola geometri tertentu. Setiap unit tetrahedral terdiri dari empat atom oksigen mengelilingi satu atom silikon, sedangkan unit oktahedral terdiri dari enam atom oksigen yang mengelilingi satu atom silikon, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



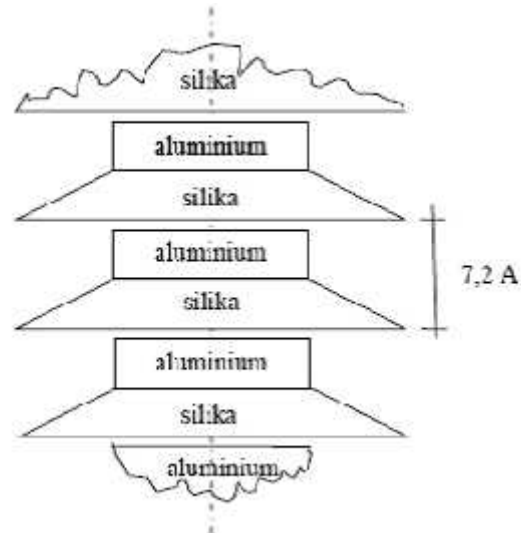
**Gambar 2.2.** Rangkaian Dasar Oktahedral dan Tetrahedral (Grim, 1962 dalam Verhoef, 1985)

Mineral-mineral lempung merupakan produk pelapukan batuan yang terbentuk dari penguraian kimiawi mineral-mineral silikat lainnya dan selanjutnya terangkut ke lokasi pengendapan oleh berbagai kekuatan. Mineral-mineral lempung digolongkan ke dalam golongan besar, yaitu *kaolinite*, *smectite* (*montmorillonite*), dan *illite* (mika hidrat).

a. *Kaolinite*

*Kaolinite* merupakan mineral dari kelompok *kaolin*, terdiri dari susunan satu lembar silika tetrahedra dengan satu lembar aluminium oktahedra, dengan satuan susunan setebal 7,2 (1 *angstrom* ( ) =  $10^{-10}$  m) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Kedua lembaran terikat bersama lapisan tunggal. Dalam kombinasi lembaran silika aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen. -sama, sedemikian hingga ujung dari lembaran silika dan satu lapisan lembaran oktahedra membentuk suatu lapisan tunggal. Dalam kombinasi lembaran silika dan aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen. Kedua lembaran

terikat bersama-sama, sedemikian hingga ujung dari lembaran silika dan satu lapisan lembaran oktahedramembentuk suatu

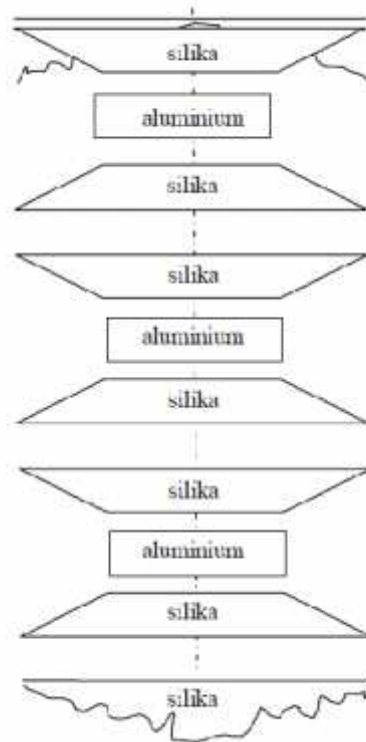


**Gambar 2.3.** Susunan Mineral *Kaolinite* (Lambe 1953, dalam Hardiyatmo, 1996)

Pada keadaan tertentu, partikel *kaolinite* mungkin lebih dari 100 tumpukan yang sukar dipisahkan. Karena itu, mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk di antara lempengan (air dapat menimbulkan kembang susut pada sel satuannya).

b. *Montmorillonite*

*Montmorillonite* disebut juga *smectite* adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembar silika dan satu lembar aluminium (*gibbsite*). Susunan mineral *montmorillonite* ditunjukkan pada Gambar 2.4.

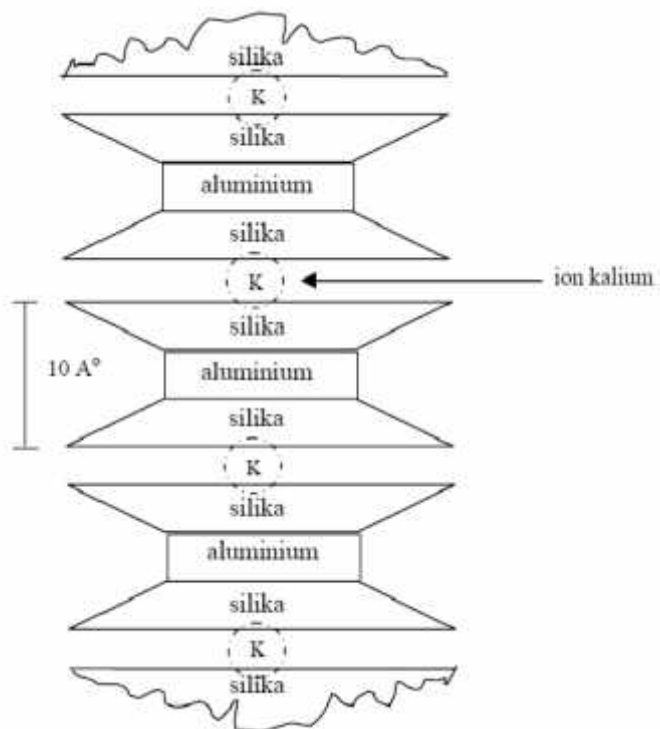


**Gambar 2.4.** Susunan Mineral *Montmorillonite* (Lambe 1953, dalam Hardiyatmo, 1996)

Lembaran oktahedra terletak diantara dua lembar silika dengan ujung tetrahedra tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu lapisan aluminium oleh magnesium. Karena adanya gaya ikatan *Van der Waals* yang lemah diantara ujung lembaran silika dan terdapat kekuatan muatan negatif dalam lembaran oktahedra, air dan ion-ion yang berpindah-pindah dapat masuk dan memisahkan lapisannya, jadi kristal *montmorillonite* sangat kecil tapi waktu tertentu mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap air. Tanah-tanah yang mengandung *montmorillonite* sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. Tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

c. *Illite*

*Illite* adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineralkelompok *illite*. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminiumoktahedrayang terikat diantara dua lembaran silika tetrahedra. Dalam lembaranoktahedra, terdapat subsitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dandalam lembaran tetrahedraterdapat pula substitusi silikon oleh aluminiumseperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2.5. Lembaran-lembaran terikat bersamasama oleh ikatan lemah ionionkalium ( $K^+$ ). Susunan *illite* tidak mudah mengembang oleh air diantarelembaran-lembarannya.



**Gambar 2.5.** Susunan Mineral *Illite*(Lambe 1953, dalam Hardiyatmo, 1996)

### 3. Sifat Tanah Lempung

Sifat khas yang dimiliki oleh tanah lempung adalah dalam keadaan kering akan bersifat keras, dan jika basah akan bersifat lunak plastis, dan kohesif, mengembang dan menyusut dengan cepat, sehingga mempunyai perubahan volume yang besar dan itu terjadi karena pengaruh air. Adapun sifat-sifat umum dari mineral lempung, yaitu:

#### a. Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi, lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation yang disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60°C-100°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

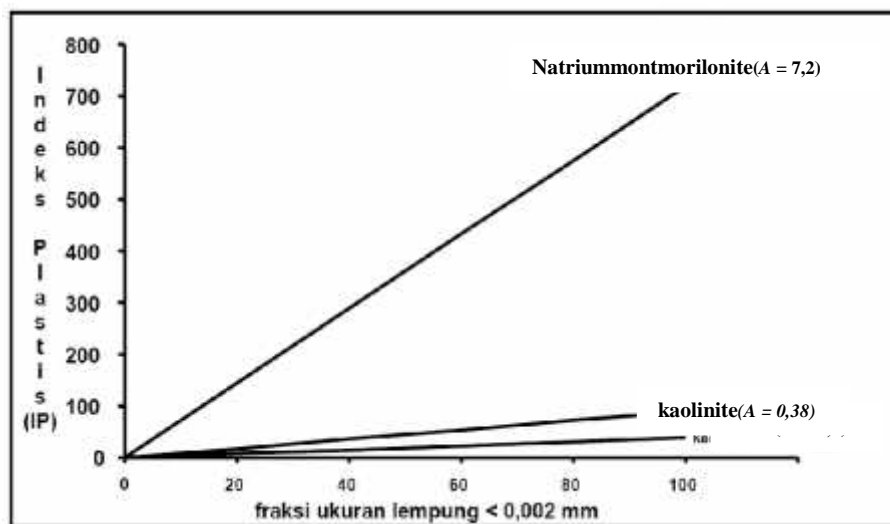
#### b. Aktivitas

Aktivitas tanah lempung merupakan perbandingan antara indeks plastisitas (PI) dengan prosentase butiran yang lebih kecil dari 2 µm yang dinotasikan dengan huruf *C* dan disederhanakan dalam persamaan berikut:

$$A = \frac{PI}{C}$$

Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang tanah lempung. Gambar 2.6 berikut mengklasifikasikan mineral lempung berdasarkan nilai aktivitasnya yakni:

- 1) *Montmorillonite* dengan nilai aktivitas (A)  $> 7,2$
- 2) *Illite* dengan nilai aktivitas (A)  $0,9$  dan  $< 7,2$
- 3) *Kaolinite* dengan nilai aktivitas (A)  $0,38$  dan  $< 0,9$  dan
- 4) *Polygorskite* dengan nilai aktivitas (A)  $< 0,38$ .



**Gambar 2.6.** Aktivitas Mineral Lempung (Skempton, 1953 dalam Hardiyatmo, 1996)

### c. Flokulasi dan Dispersi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkristal (*amorphus*) maka daya negatif, ion-ion  $H^+$  di dalam air, gaya Van der Waals, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk *flok (flock)* yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan



cepatnya dan membentuk sendimen yang sangat lepas. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion  $H^+$ ), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Lempung yang baru saja berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala *thixotropic*, dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

#### d. Pengaruh Air

Fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung adalah air yang tidak murni secara kimiawi. Pada pengujian di laboratorium untuk batas *Atterberg*, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Pemakaian air suling yang relatif bebas ion dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi. Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satumolekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (*dipolar*). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida ( $CCl_4$ ) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.

### C. Tanah Lempung Lunak

Penggunaan istilah "tanah lunak" berkaitan dengan, tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara berhati-hati dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir, tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Adapun salah satu tipe tanah yang termasuk kedalam jenis tanah lunak yaitu lempung lunak (Anonim, 2001).

Tanah lempung lunak adalah tanah yang mengandung mineral-mineral lempung dan memiliki kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah. Dalam rekayasa geoteknik istilah 'lunak' dan 'sangat lunak' khusus didefinisikan untuk lempung dengan kuat geser seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4.** Definisi Kuat Geser Lempung Lunak(Anonim, 2001)

<b>Konsistensi</b>	<b>Kuat Geser (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Lunak	12,5-25
Sangat Lunak	< 12,5

Sebagai indikasi dari kekuatan lempung-lempung tersebut prosedur identifikasi lapangan pada Tabel 2.5 memberikan beberapa petunjuk.

**Tabel 2.5.** Indikator Kuat Geser Tak Terdrainase Tanah Lempung Lunak (Anonim, 2001)

<b>Konsistensi</b>	<b>Indikasi Lapangan</b>
Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah dengan jari tangan
Sangat Lunak	Keluar di antara jari tangan jika diremas dalam kepalan tangan

Lempung lunak atau juga yang dikenal lempung *expansive* merupakan jenis tanah lempung yang diklasifikasikan ke dalam jenis tanah yang memiliki nilai pengembangan dan nilai penyusutan yang besar, sehingga dapat menimbulkan kerusakan pada struktur yang berada di atasnya. Hal tersebut dikarenakan besarnya nilai aktivitas (A) tanah lempung, besar kecilnya nilai aktivitas tanah lempung dipengaruhi oleh nilai indeks plastisitas (PI) tanah, pada Tabel 2.6 dapat diketahui potensi pengembangan suatu jenis tanah berdasarkan nilai indeks plastisitasnya (PI), untuk tanah lempung yang dapat dikategorikan ke dalam tanah lempung yang *expansive* yakni tanah yang memiliki potensi pengembangan yang sangat tinggi batasan nilai indeks plastisitasnya atau  $PI > 35\%$ , selain itu nilai aktivitas tanah lempung juga dapat dipengaruhi oleh jenis mineral yang terkandung pada tanah tersebut semakin plastis mineral lempung semakin potensial untuk menyusut dan mengembang.

**Tabel 2.6.** Potensi Pengembangan (Holtz, 1969; Gibbs, 1969; USBR, 1974 dalam Usman, 2008)

Potensi Pengembangan	Pengembangan (akibat tekanan 6,9 KPa) (%)	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

Tanah-tanah yang banyak mengandung lempung mengalami perubahan volume atau mengalami pengembangan atau penyusutan ketika kadar air

berubah, maka dari itu air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung.

#### **D. Stabilisasi Tanah**

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Adapun tujuan stabilisasi tanah adalah untuk mengikat dan menyatukan agregat material yang ada sehingga membentuk struktur jalan atau pondasi jalan yang padat. Sifat-sifat tanah yang telah diperbaiki dengan cara stabilisasi dapat meliputi: kestabilan volume, kekuatan atau daya dukung, permeabilitas, dan kekekalan atau keawetan.

Menurut *Bowles*(1984) beberapa tindakan yang dilakukan untuk menstabilisasikan tanah adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kerapatan tanah
2. Menambah material yang tidak aktif sehingga meningkatkan kohesi dan/atau tahanan gesek yang timbul
3. Menambah bahan untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan/atau fisis pada tanah
4. Menurunkan muka air tanah (drainase tanah)
5. Mengganti tanah yang buruk

Pada umumnya cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah terdiri dari salah satu atau kombinasi dari pekerjaan-pekerjaan berikut (*Bowles*, 1984):

1. Mekanis, yaitu pemadatan dengan berbagai jenis peralatan mekanis seperti mesin gilas (*roller*), benda berat yang dijatuhkan, ledakan, tekanan statis, tekstur, pembekuan, pemanasan dan sebagainya.
2. Bahan pencampur (*additive*), yaitu penambahan kerikil untuk tanah kohesif, lempung untuk tanah berbutir, dan pencampur kimiawi seperti semen, gamping, abu batubara, gamping, semen, semen aspal, sodium dan kalsium klorida, limbah pabrik kertas dan lain-lainnya.

Metode atau cara memperbaiki sifat-sifat tanah ini juga sangat bergantung pada lama waktu pemeraman, hal ini disebabkan karena didalam proses perbaikan sifat-sifat tanah terjadi proses kimia yang dimana memerlukan waktu untuk zat kimia yang ada didalam *additive* untuk bereaksi.

## **E. Pemadatan Tanah**

### 1. Prinsip-prinsip pemadatan

Pada awal proses pemadatan, berat volume tanah kering(  $d$ ) bertambah seiring dengan ditambahkan kadar air. Pada kadar air nol( $w=0$ ), berat volume tanah basah(  $b$ ) sama dengan berat volume tanah kering(  $d$ ). Ketika kadar air berangsur-angsur ditambah (dengan usaha pemadatan yang sama), berat butiran tanah padat per volume satuan(  $d$ ) juga bertambah. Pada kadar air lebih besar dari kadar air tertentu, yaitu saat kadar air optimum, kenaikan kadar air justru mengurangi berat volume keringnya. Hal ini karena, air mengisi rongga pori yang sebelumnya diisi oleh butiran padat. Kadar air pada saat berat volume kering mencapai maksimum(  $d_{maks}$ ) disebut kadar air optimum(Hardiyatmo, 2004).

## 2. Pengujian pemadatan

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan pengujian pemadatan. Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah

Pada umumnya, terdapat satu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya ( $d_{maks}$ ). Hubungan berat volume kering ( $d$ ) dengan berat volume basah ( $b$ ) dan kadar air ( $w$ ). Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji *Proctor*.

### a. Uji Pemadatan *Standard Proctor*

Uji pemadatan ini dilakukan dengan mengacu pada ASTM D698. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan sampel dalam cetakan silinder berukuran tertentu dengan menggunakan alat penumbuk 2,5 kg dan tinggi jatuh 30 cm.

### b. Uji Pemadatan *Modified Proctor*

Di dalam uji *proctor* dimodifikasi (*Modified Proctor*), mold yang digunakan masih tetap sama, hanya berat penumbuknya diganti dengan

yang 4,54 kg dengan tinggi jatuh penumbuk 45,72 cm. Pada pengujian ini, tanah di dalam mold ditumbuk dalam 5 (lima) lapisan.

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 (lima) kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik ( $W_{opt}$ ) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum ( $\rho_{maks}$ ). Pada nilai kadar air 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. Bila seluruh udara di dalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan, tanah akan berada dalam kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum. Akan tetapi, dalam praktek, kondisi ini sulit dicapai. 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 di mana derajat kejenuhan tanah sama dengan 100%. Jadi, berat volume kering maksimum (teoritis) pada suatu kadar air tertentu dengan kondisi "*zero air voids*", (pori-pori tanah tidak mengandung udara sama sekali).

### 3. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pemadatan

Menurut Hardiyatmo(2004) faktor-faktor yang mempengaruhi pemadatan antara lain :

#### a. Pengaruh macam tanah

Macam tanah, seperti distribusi ukuran butiran, bentuk butiran, berat jenis dan macam mineral lempung yang terdapat dalam tanah sangat berpengaruh pada berat volume maksimum dan kadar air optimumnya. Pada tanah pasir, berat volume tanah kering cenderung berkurang saat kadar air bertambah. Pengurangan berat volume tanah kering ini merupakan akibat dari pengaruh hilangnya tekanan kapiler saat kadar air bertambah. Pada kadar air rendah, tekanan kapiler dalam tanah yang berada di dalam rongga pori menghalangi kecenderungan partikel tanah untuk bergerak sehingga butiran cenderung merapat (padat).

b. Pengaruh usaha pemadatan

Jika energi pemadatan ditambah, maka berat volume kering tanah juga bertambah. Jika energi pemadatan ditambah, kadar air optimum berkurang. Kedua hal tersebut berlaku untuk hampir semua jenis tanah. Namun, harus diperhatikan bahwa derajat kepadatan tidak secara langsung proposional dengan energi pemadatan. Keuntungan yang diperoleh dari tes pemadatan diantaranya :

1. Meningkatkan kekuatan tanah.
2. Berkurangnya penyusutan akibat berkurang kadar air dari nilai patokan pada saat pengeringan.
3. Berkurangnya penurunan permulaan tanah (*subsidence*), yaitu gerakan vertikal di dalam massa tanah itu sendiri akibat berkurangnya angka pori.
4. Kekuatan geser dan daya dukung meningkat.



## 5. Pemampatan (*compressibility*) tanah berkurang.

### **F. *California Bearing Ratio* (CBR)**

Metode perencanaan perkerasan jalan yang umum dipakai adalah cara-cara empiris dan yang biasa dikenal adalah cara CBR (*California Bearing Ratio*). Metode ini dikembangkan oleh *California State Highway Departement* sebagai cara untuk menilai kekuatan tanah dasar jalan (*subgrade*). Istilah CBR menunjukkan suatu perbandingan (*ratio*) antara beban yang diperlukan untuk menekan piston logam (luas penampang 3 inch) ke dalam tanah untuk mencapai penurunan (penetrasi) tertentu dengan beban yang diperlukan pada penekanan piston terhadap material batu pecah di California pada penetrasi yang sama (Canonica, 1991). Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban. Sedangkan, nilai CBR yang didapat akan digunakan untuk menentukan tebal lapisan perkerasan yang diperlukan di atas lapisan yang mempunyai nilai CBR tertentu. Untuk menentukan tebal lapis perkerasan dari nilai CBR digunakan grafik-grafik yang dikembangkan untuk berbagai muatan roda kendaraan dengan intensitas lalu lintas.

#### **1. Jenis-Jenis CBR**

Berdasarkan cara mendapatkan contoh tanahnya, CBR dapat dibagi atas:

- a. CBR Lapangan

CBR lapangan disebut juga CBR *inplace* atau *fieldinplace* dengan kegunaan sebagai berikut:

- 1) Mendapatkan nilai CBR asli di lapangan sesuai dengan kondisi tanah pada saat itu. Umumnya digunakan untuk perencanaan tebal lapis perkerasan yang lapisan tanah dasarnya sudah tidak akan dipadatkan lagi.
- 2) Mengontrol apakah kepadatan yang diperoleh sudah sesuai dengan yang diinginkan. Pemeriksaan ini tidak umum digunakan. Metode pemeriksaannya dengan meletakkan piston pada kedalaman dimana nilai CBR akan ditentukan lalu dipenetrasi dengan menggunakan beban yang dilimpahkan melalui gardan truk.

b. CBR Lapangan Rendaman

CBR lapangan rendaman ini berfungsi untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli di lapangan pada keadaan jenuh air dan tanah mengalami pengembangan (*swelling*) yang maksimum. Hal ini sering digunakan untuk menentukan daya dukung tanah di daerah yang lapisan tanah dasarnya tidak akan dipadatkan lagi, terletak pada daerah yang badan jalannya sering terendam air pada musim penghujan dan kering pada musim kemarau. Sedangkan pemeriksaan dilakukan di musim kemarau. Pemeriksaan dilakukan dengan mengambil contoh tanah dalam tabung (*mold*) yang ditekan masuk kedalam tanah mencapai kedalaman yang diinginkan. Tabung berisi contoh tanah dikeluarkan dan direndam dalam air selama beberapa

hari sambil diukur pengembangannya. Setelah pengembangan tidak terjadi lagi, barulah dilakukan pemeriksaan besarnya CBR.

c. CBR Laboratorium

Tanah dasar pada konstruksi jalan baru dapat berupa tanah asli, tanah timbunan atau tanah galian yang dipadatkan sampai mencapai 95% kepadatan maksimum. Dengan demikian daya dukung tanah dasar merupakan kemampuan lapisan tanah yang memikul beban setelah tanah itu dipadatkan. CBR ini disebut CBR Laboratorium, karena disiapkan di Laboratorium.

## 2. Pengujian Kekuatan dengan CBR

Alat yang digunakan untuk menentukan besarnya CBR berupa alat yang mempunyai piston dengan luas 3 sqinch dengan kecepatan gerak vertikal ke bawah 0,05 inch/menit, *proving ring* digunakan untuk mengukur beban yang dibutuhkan pada penetrasi tertentu yang diukur dengan arloji pengukur (*dial*). Penentuan nilai CBR yang biasa digunakan untuk menghitung kekuatan pondasi jalan adalah penetrasi 0,1" dan penetrasi 0,2", yaitu dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nilai CBR pada penetsai 0,1"} = \frac{A}{3000} \times 100\%$$

$$\text{Nilai CBR pada penetsai 0,2"} = \frac{B}{4500} \times 100\%$$

Dimana:

A = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,1"

B = pembacaan dial pada saat penetrasi 0,2"

Setelah melakukan perhitungan nilai CBR tersebut, akan diperoleh dua nilai CBR. Kemudian diambil nilai CBR yang terkecil diantara hasil perhitungan kedua nilai CBR dan ditabelkan bersama berat isi kering.

Nilai CBR dan berat isi kering yang telah didapat, dimasukkan kedalam sebuah grafik. Titik koordinat pada grafik ini menunjukkan hubungan antara nilai CBR dan berat isi kering tanah. Untuk mewakili ketiga nilai tersebut, maka dibuatlah sebuah garis.

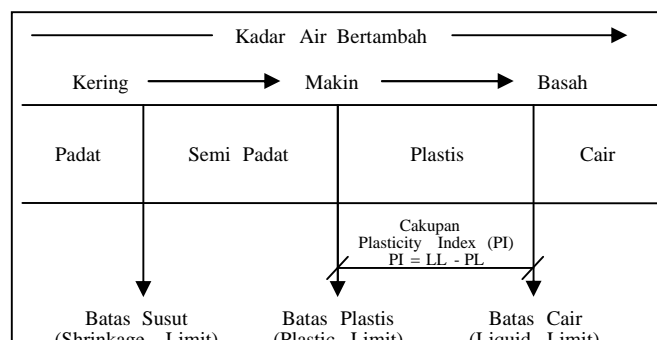
CBR *design* merupakan nilai 95% berat isi kering maksimum ( $w_d \max$ ).

Nilai tersebut kemudian dihubungkan ke nilai CBR pada grafik.

### G. Batas-Batas Atterberg

Batas kadar air yang mengakibatkan perubahan kondisi dan bentuk tanah dikenal pula sebagai batas-batas konsistensi atau batas-batas *Atterberg* (yang mana diambil dari nama peneliti pertamanya yaitu Atterberg pada tahun 1911). Pada kebanyakan tanah di alam, berada dalam kondisi plastis.

Kadar air yang terkandung dalam tanah berbeda-beda pada setiap kondisi tersebut yang mana bergantung pada interaksi antara partikel mineral lempung. Bila kandungan air berkurang maka ketebalan lapisan kation akan berkurang pula yang mengakibatkan bertambahnya gaya-gaya tarik antara partikel-partikel. Sedangkan jika kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek seperti cairan. Oleh karena itu, atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dibedakan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu: padat (*solid*), semi padat (*semi solid*), plastis (*plastic*), dan cair (*liquid*), seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7.



**Gambar 2.7.** Batas-batas *Atterberg* (Hardiyatmo, 1996)

Adapun yang termasuk ke dalam batas-batas *Atterberg* antara lain:

1. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas cair (LL) adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis.

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3 mm mulai retak-retak, putus atau terpisah ketika digulung.

3. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas merupakan interval kadar air tanah yang masih bersifat plastis.

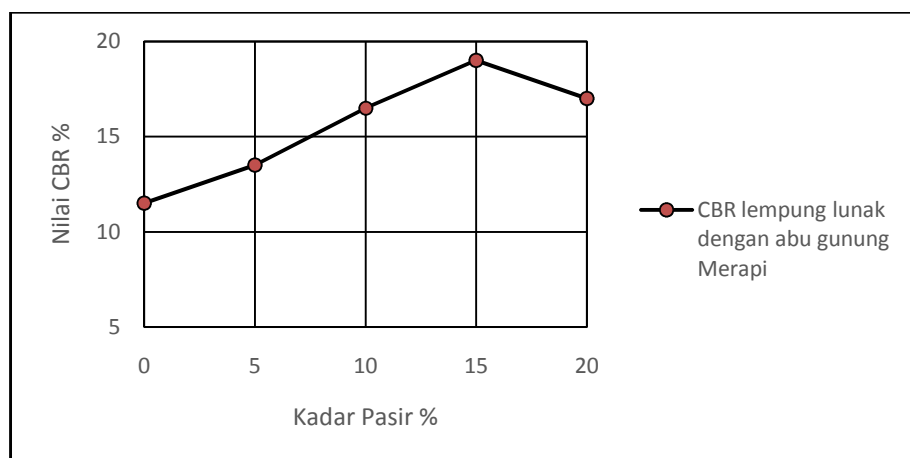
## **H. Tinjauan Penelitian Terdahulu**

Beberapa penelitian laboratorium yang menjadi bahan pertimbangan dan acuan penelitian ini dikarenakan adanya kesamaan metode dan sampel tanah yang digunakan, tetapi untuk bahan aditif dan variasi campuran yang berbeda, antara lain:

1. Studi Daya Dukung Tanah Lempung Lunak Yang Distabilisasi Menggunakan Abu Gunung Merapi Sebagai Lapisan *Subgrade* Penelitian yang telah dilaksanakan oleh Erwan Syafri pada tahun 2012. Bahan penstabilisasi menggunakan campuran abu gunung Merapi sebesar 5%,10%,15% dan 20%. Hasil dari pengujian CBR terhadap masing-masing sampel tanah dengankadar abu gunung Merapi 5%,10%,15% dan 20% adalah sebagai berikut

**Tabel 2.7.** Hasil Pengujian CBR Pada Campuran Abu Gunung Merapi(Syafri,2012)

Kadar abu gunung Merapi	CBR (Tanpa Rendaman)
0%	11,5%
5%	13,5%
10%	16,5%
15%	19,0%
20%	17,0%



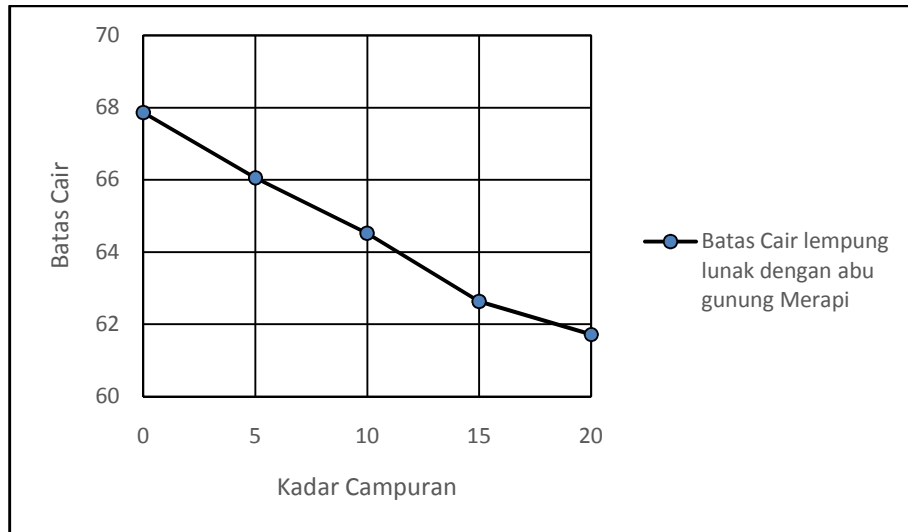
**Gambar 2.8.** Hubungan Penambahan Kadar Abu Gunung Merapi pada tanah lempung Lunak dengan Nilai CBR (Syafri, 2012).

Dari Gambar 2.8 dapat dijelaskan bahwa penambahan kadar abu gunung Merapi 5%,10%,15% berpengaruh terhadap peningkatan daya dukung campuran tanah abu gunung Merapi tersebut. Sedangkan untuk penambahan abu gunung Merapi 20%, akan berpengaruh terhadap penurunan daya dukungnya. Hasil pengujian Batas Cair pada tanah lempung lunak dengan menggunakan bahan stabilisasi abu gunung Merapi untuk masing-masing campuran adalah seperti pada Tabel 2.8 berikut :

**Tabel 8.** Hasil pengujian Batas Cair tiap siklus

Kadar Abu Gunung Merapi	Batas Cair (%)
0%	67,86
5%	66,05
10%	64,52
15%	62,63
20%	61,72

Hubungan antara nilai Batas Cair pada tanah lempung lunak dengan menggunakan bahan stabilisasi abu gunung Merapi pada masing-masing campuran :



**Gambar 2.9.** Hubungan nilai Batas Cair dengan Campuran (Syafri, 2012)

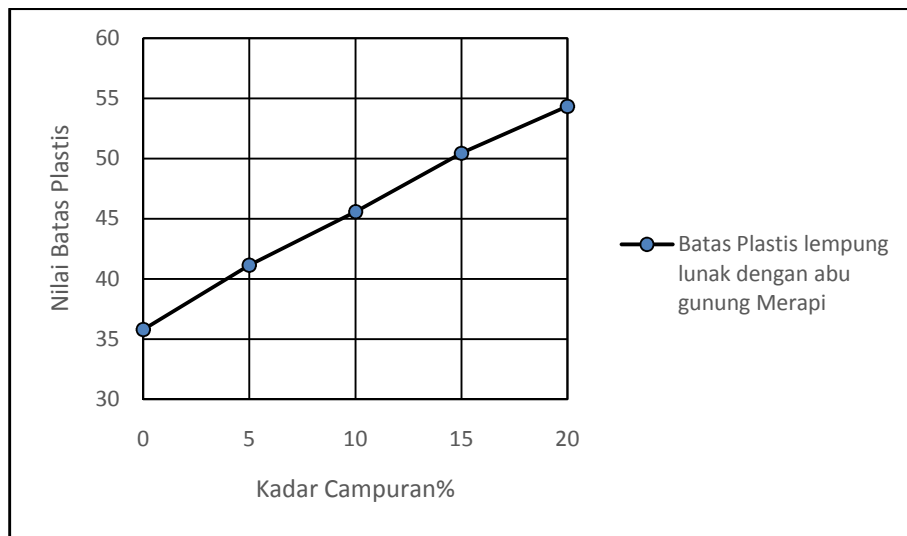
Dari hasil pengujian di laboratorium pada Gambar 2.9 dapat dilihat bahwa nilai batas cair mengalami penurunan akibat bertambahnya campuran pasir. Hasil pengujian Batas Plastis pada tanah lempung lunak dengan menggunakan bahan stabilisasi abu gunung Merapi untuk masing-masing campuran adalah :

**Tabel 2.9.** Hasil pengujian Batas Plastis tiap campuran

Kadar Abu Gunung Merapi	Batas Plastis (%)
0%	35,79
5%	41,14
10%	45,57
15%	50,45
20%	54,32

Hubungan antara nilai Batas Plastis pada tanah lempung lunak dengan menggunakan bahan stabilisasi abu gunung Merapi dengan masing-masing campuran :





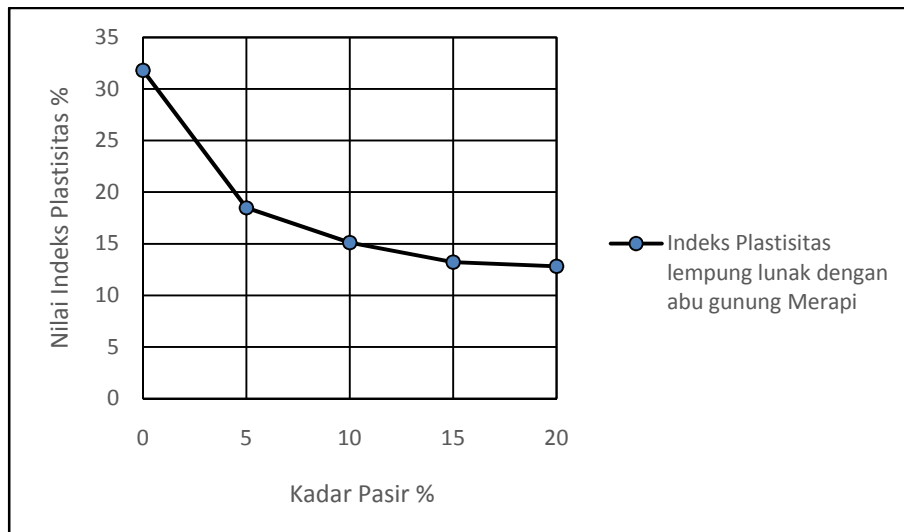
**Gambar 2.10.** Hubungan nilai Batas Plastis dengan campuran (Syafri, 2012)

Dari hasil pengujian di laboratorium dapat dilihat bahwa nilai batas plastis mengalami kenaikan nilai batas plastis pada tiap penambahan abu gunung Merapi. Hasil pengujian Indeks Plastisitas pada tanah lempung lunak dengan bahan stabilisasi abu gunung Merapi masing-masing campuran adalah :

**Tabel 2.10.** Hasil pengujian Indeks Plastisitas tiap campuran

Kadar Abu Gunung Merapi	Indeks Plastisitas (%)
0%	31,79
5%	24,5
10%	17
15%	13,2
20%	12,8

Hubungan nilai Indeks Plastisitas pada tanah lempung lunak dengan menggunakan bahan stabilisasi abu gunung Merapi dengan waktu siklus :



**Gambar 2.11.** Hubungan Indeks Plastisitas dengan campuran (Syafri, 2012)

Dari hasil pengujian di laboratorium dapat dilihat bahwa nilai indeksplastisitas menurun akibat penambahan campuran kadar abu gunung Merapi . Makin banyak penambahan kadar abu gunung Merapi maka nilai indeks plastisitanya semakin menurun. Dapat disimpulkan bahwa pencampuran kadar abu gunung Merapi membuat indeks plastisitas tanah lempung lunak semakin menurun.

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal (*amophus*) maka daya netto ion- ion  $H^+$  di dalam air, gaya *Van der Waals*, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flock (*flock*) yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sedimen yang sangat lepas. *Flokulasi* larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam ( $ionH^+$ ), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat *flokulasi*. Lempung yang baru saja

berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala *thixotropic* (*Thixopic*), dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

Hary Christady(2002) merujuk pada skempton (1953) mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara indeks plastisitas dengan persentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm. Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung.

Swelling potensial adalah kemampuan mengembang tanah yang dipengaruhi oleh nilai aktivitas tanah. Air yang tidak murni secara kimiawi adalah fase air yang berada di dalam struktur tanah lempung. Pada pengujian di Laboratorium untuk batas *Atterberg*, ASTM menentukan bahwa air suling ditambahkan sesuai dengan keperluan. Untuk dapat membuat hasil yang cukup berbeda dari apa yang didapatkan dari tanah di lapangan dengan air yang telah terkontaminasi maka dilakukan pemakaian air suling yang relative bebas ion.

Air berfungsi sebagai penentu sifat plastisitas dari lempung. Satu molekul air memiliki muatan positif dan muatan negatif pada ujung yang berbeda (dipolar). Fenomena hanya terjadi pada air yang molekulnya dipolar dan tidak terjadi pada cairan yang tidak dipolar seperti karbon tetraklorida ( $\text{CCl}_4$ ) yang jika dicampur lempung tidak akan terjadi apapun.