

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan – endapan yang relative lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relative lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik atau oksida – oksida yang mengendap diantara partikel – partikel (Hardiyatmo, 2010).

Tanah menurut Bowles (1991) adalah campuran partikel – partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut :

1. Berangkal (*boulders*) merupakan potongan batu yang besar, biasanya lebih besar dari 250 mm sampai 300 mm. Untuk kisaran antara 150 mm sampai 250 mm, fragmen batuan ini disebut kerakal (*cobbles*).
2. Kerikil (*gravel*) partikel batuan yang berukuran 5mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) partikel batuan yang berukuran yang berukuran 0.075 mm sampai 5 mm, berkisar dari kasar (3-5 mm) sampai halus (kurang dari 1 mm).
4. Lanau (*silt*) partikel batuan berukuran dari 0.002 mm sampai 0.075 mm. Lanau dan lempung dalam jumlah besar ditemukan dalam deposit yang disedimentasikan ke dalam danau atau di dekat garis pantai pada muara sungai.
5. Lempung (*clay*) partikel mineral berukuran lebih kecil dari 0.002 mm. Partikel – partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah yang kohesif.
6. Koloid (*colloids*) partikel mineral yang “diam” yang berukuran lebih kecil dari 0.001 mm.

Tabel 2. 1 Batasan – Batasan Ukuran Golongan Tanah

Nama Golongan	Ukuran Butir (mm)			
	kerikil	Pasir	Lanau	Lempung
<i>Massachusetts Institute of Technology (MIT)</i>	>2	2 – 0,06	0,06 – 0,002	<0,002
<i>U.S Department of Agriculture (USDA)</i>	>2	2 – 0,05	0,05 – 0,002	<0,002
<i>American Society for Testing and Material (ASTM)</i>	>2	2-0,075	0,075-0,005	<0,005
<i>American Association of State Highway and Transportation Officials (ASSHTO)</i>	76,2 – 2	2 – 0,075	0,075 – 0,002	<0,002
<i>Unified Soil Classification System (USCS)</i>	76,2 – 4,75	4,75 – 0,075	Halus (yaitu lanau dan lempung) < 0,075	

(Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1998, hal. 7)

Kerikil, pasir, lanau dan lempung adalah istilah – istilah umum yang dipakai untuk menyatakan tanah. Kerikil dan pasir memiliki butir yang besar sehingga biasa dikenal dengan tanah berbutir kasar. Sedangkan untuk lanau dan lempung memiliki butir yang kecil sehingga biasa dikenal dengan tanah berbutir halus.

Lanau adalah bahan yang merupakan peralihan antara pasir halus dan lempung. Perbedaan antara lanau dan lempung tidak dapat didasarkan pada ukuran partikelnya, karena sifat – sifat fisis penting dari kedua jenis tanah ini hanya berkaitan secara tidak langsung terhadap ukuran partikel. Untuk membedakan lanau dan lempung dapat dilihat dari data hasil percobaan batas atterberg yang bersifat mikropis. Menurut Bowles (1989) sistem klasifikasi tanah yang paling terkenal dikalangan para ahli teknik tanah dan fondasi adalah klasifikasi tanah *Unified Soil Classification System (USCS)*. Sistem USCS membagi tanah atas tiga kelompok utama yaitu :

1. Tanah berbutir kasar merupakan tanah yang lebih dari 50% bahannya tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm) yang terbagi atas kerikil dan pasir.

2. Tanah berbutir halus merupakan tanah yang lebih dari 50% bahannya lewat ayakan No. 200 (0,075 mm) yang dibagi menjadi lanau, lempung, serta lanau dan lempung organik.
3. Tanah sangat organik merupakan tanah gambut.

2.2 Pemeriksaan Sifat Fisis Tanah

2.2.1 Kadar Air

Kadar air tanah (W%) adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butir tanah (W_s) yang dinyatakan dalam persen. Kadar air dapat diperoleh dari persamaan :

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (2.1)$$

2.2.2 Berat Volume Tanah Basah

Berat volume tanah basah (γ_b) adalah perbandingan antara berat tanah isi termasuk air dan udara dengan total volume tanah tersebut. Berat volume tanah basah dapat dihitung dengan persamaan :

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (2.2)$$

2.2.3 Berat Volume Tanah Kering

Berat volume tanah kering (γ_d) adalah perbandingan antara berat butir tanah kering (W_d) dengan total volume tanah (V). berat volume tanah kering (γ_d) dapat dinyatakan dalam :

$$\gamma_d = \frac{W_d}{V} \quad (2.3)$$

Jika nilai γ_b sudah diperoleh maka nilai dari γ_d juga dapat dicari dengan persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{(1+w)} \quad (2.4)$$

2.2.4 Berat Jenis Tanah (*specific Gravity*)

Berat jenis tanah (G_s) didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume butir tanah (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) dengan isi yang sama pada temperature tertentu. Nilai dari berat jenis tanah (G_s) dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (2.5)$$

Adapun batas – batas besaran berat jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Berat Jenis Tanah

Macam Tanah	Berat Jenis
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau tak organik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung tak organik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 - 1,80

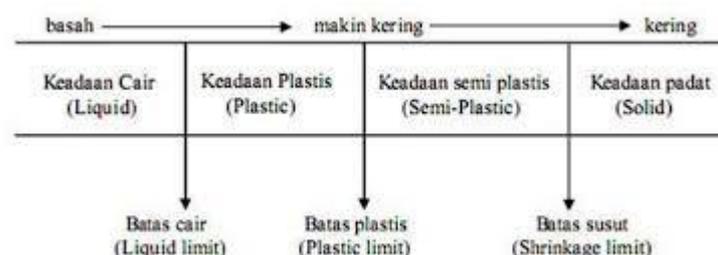
(sumber : Hardiyatmo, 1992)

2.2.5 Batas – Batas *Atterberg* (*Atterberg Limit*)

Batas atterberg adalah perhitungan dasar dari tanah butir halus. Apabila tanah butir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut dapat diremas – remas tanpa menimbulkan keretakan. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap di sekeliling permukannya.

Atterberg mengembangkan metode untuk menjelaskan sifat konsistensi tanah butir halus pada kadar air yang bervariasi. Berdasarkan pada jumlah air pada tanah, tanah dapat dipisahkan menjadi 4 keadaan dasar, yaitu padat, semi – padat, plastis, dan cair.

Setiap tingkat mempunyai kepadatan dan tingkah laku tanah berbeda – beda dan begitu juga properti teknisnya. Batas perbedaan antara setiap bentuk dapat ditentukan berdasarkan perubahan kebiasaan tanah tersebut. Batas – batas konsistensi dapat dilihat pada Gambar 2.1

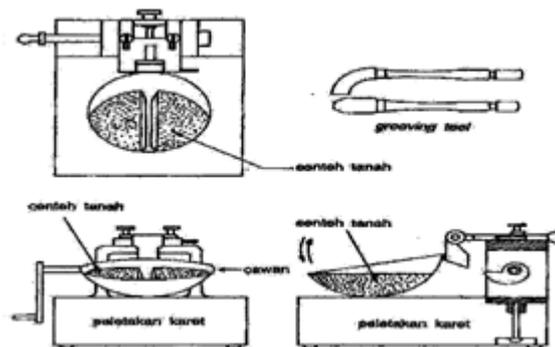


Gambar 2. 1 Batas – Batas *Atterberg*

Penjelasan mengenai batas – batas konsistensi dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Batas cair (*Liquid Limit*)

Batas cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis. Batas cair ditentukan melalui pengujian *Casagrande* (1948). Tanah yang sudah dicampur dengan air diletakan pada mangkuk casagrande yang kemudian sampel tanah dibelah dengan membuat alur ditengah – tengah menggunakan alat yang disebut *grooving tool*. Kemudian dilakukan pemukulan dengan cara engkol dinaikan dan sampai mangkuk menyentuh dasar sampel, sambil dilakukan perhitungan ketukan sampai tanah yang dibelah tadi berhimpit. Pemukulan dilakukan pada kadar air yang berbeda dan banyaknya jumlah pukulan dihitung untuk masing - masing kadar air. Dengan demikian dapat dibuat grafik hubungan antara kadar air dengan jumlah pukulan, sehingga diperoleh kadar air pada pukulan tertentu. Untuk lebih jelasnya, alat uji batas cair dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Alat Uji Batas Cair

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (*plastic limit*) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis atau kadar air minimum dimana tanah dapat digulung – gulung sampai diameter 3,1 mm (1/8 inchi). Penentuan kadar air ini dilakukan dengan cara melakukan pengguliran pada sampel tanah di atas plat kaca hingga diameter tanah mencapai 3,1 mm. Apabila tanah mulai retak atau pecah pada saat diameternya mencapai 3,1 mm, maka kadar air tanah itu adalah batas plastis.

Indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis. Adapun rumusan dalam menghitung besaran nilai indeks plastisitas adalah sesuai dengan persamaan 2.6 seperti yang ditunjukkan pada rumusan dibawah ini :

$$PI = LL - PL \quad (2.6)$$

Klasifikasi jenis tanah berdasarkan besar indeks plastisitasnya ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Indeks Plastisitas Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non-Plastis	Pasir	Non-Kohesif
<7	Plastisitas Rendah	Lanau	Kohesif Sebagian
7-17	Plastisitas Sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas Tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : *Hardiyatmo, 1992*)

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut adalah kadar air atau batas dimana tanah yang dalam keadaan jenuh dan sudah kering tidak akan mengalami penyusutan lagi meskipun dikeringkan secara terus menerus. Batas susut juga dapat diartikan batas dimana meskipun tanah benar – benar telah kehilangan kadar airnya, tidak akan menyebabkan penyusutan volume tanah. Batas susut tanah dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) - \left(\frac{(v_1 - v_2)\gamma_w}{m_2} \right) \times 100 \% \quad (2.7)$$

Dengan :

m_1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (gr)

m_2 = berat tanah kering oven (gr)

v_1 = volume tanah basah dalam cawan (cm^3)

v_2 = volume tanah kering oven (cm^3)

γ_w = Berat volume air (gr/cm^3)

2.3 Klasifikasi Tanah

Secara umum, Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem penggolongan yang sistematis dari jenis-jenis tanah yang mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya (Braja M Das,1995).

Klasifikasi tanah perlu dilakukan untuk memberikan keterangan mengenai sifat-sifat teknis dari tanah, agar tanah-tanah tertentu dapat diberikan nama dan istilah–istilah yang tepat sesuai dengan sifatnya. Klasifikasi tanah juga berfungsi untuk studi yang lebih terperinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi dan sebagainya (Bowles, 1989).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok atau klasifikasi tanah. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (atau uji sedimentasi) serta plastisitas.

2.3.1 Metode Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) yang digunakan merupakan versi yang saat ini berlaku yaitu versi yang diajukan oleh *Committee on Classification of Materials For Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* pada tahun 1945 (ASTM Standar no D-3282, AASHTO metode M145). Pada sistem ini diklasifikasikan kedalam tujuh kelompok besar, yaitu :

1. Kelompok A-1, A-2 dan A-3

Tanah pada kelompok ini merupakan tanah berbutir dimana 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan no.200

2. Kelompok A-4, A-5, A-6 dan A-7.

Tanah pada kelompok ini merupakan tanah dimana lebih dari 35 % butirannya lolos ayakan no. 200. Pada kelompok ini sebagian besar merupakan jenis tanah lanau dan lempung.

Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang dilakukan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

1. Ukuran Butir

a. Kerikil

Bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm (3in) dan yang tertahan pada ayakan no. 20 (2mm).

b. Pasir

Bagian tanah yang lolos ayakan no.10 (2mm) dan yang tertahan pada ayakan no.200 (0,075 mm).

c. Lanau dan Lempung

Bagian tanah yang lolos ayakan no. 200,.

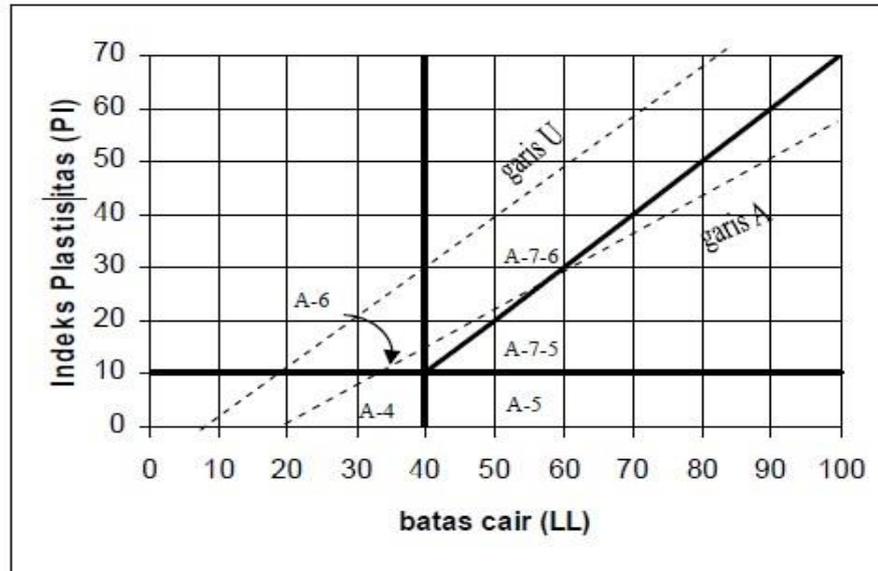
2. Plastisitas

1. Istilah tanah berlanau dipakai apabila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang

2. Istilah tanah berlempung dipakai apabila bagian – bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

3. Apabila batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) ditemukan didalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan – batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Akan tetapi persentase dari batuan yang harus dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Hubungan antara nilai batas cair dengan indeks plastisitas tanah dijelaskan pada Gambar 2.3 (Braja M Das, 1995:68).



Gambar 2. 3 Rentang Dari Batas Cair (LL) Dan Indeks Plastisitas (IP)
(Sumber : Buku Braja M Das, 1995:68)

Tabel 2. 4 Sistem Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi Umum	Material Granular (<35% lolos saringan no. 200)							Tanah - Tanah Lempung - Lempung (> 35% lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Klasifikasi Kelompok	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisa saringan , % lolos : No. 10 (2,00 mm) No. 40 (0,425 mm) No. 200 (0,075 mm)	50 maks 30 maks 15 maks	- 50 maks 25 maks	- 51 min 10 maks	- 35 maks	- 35 maks	- 35 maks	- 35 maks	- 36 min	- 36 min	- 36 min	- 36 min
Karakteristik fraksi lolos saringan no. 40 : Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	-		-	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min	40 maks 10 maks	41 min 10 maks	40 maks 11 min	41 min 11 min
Indeks Kelompok (GI)	0		0	0			4 maks	8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Tipe material yang pokok pada umumnya	Pecahan batu, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar (Subgrade)	Sangat Baik sampai Baik							Sedang sampai Buruk			

(Sumber : Braja M Das, Mekanika Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta 1995, hal 67)

Catatan :

Kelompok A7 dibagi atas A7-5 dan A7-6, bergantung pada batas plastisitasnya (PL) :

Untuk $PL > 30$ maka klasifikasinya A7-5

Untuk $PL < 30$ maka klasifikasinya A7-6

Untuk mengevaluasi mutu (kualitas) dari suatu tanah sebagai bahan lapisan tanah dasar (*subgrade*) dari suatu jalan raya, suatu angka yang dinamakan indeks grup (*group index*, GI) juga diperlukan selain kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Harga GI ini dituliskan di dalam kurung setelah nama kelompok dan subkelompok dari tanah yang bersangkutan. Indeks grup dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$GI = (F - 35) [0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \quad (2.8)$$

Dimana :

F = Persentase butiran lolos ayakan No. 200

LL = batas cair (*liquid limit*)

PI = indeks plastisitas.

2.3.2 Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

Sistem klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*) merupakan metode klasifikasi tanah yang diusulkan oleh A. Cassagrande pada tahun 1942 dan direvisi pada tahun 1952 oleh *The Corps of Engineers and The US Bureau of Reclamation*. Pada metode ini terdapat dua pembagian jenis tanah yaitu:

1. Tanah berbutir kasar

Tanah jenis ini terdiri dari jenis kerikil dan pasir, tanah digolongkan kedalam jenis ini apabila kurang dari 50 % lolos diatas saringan No.200 ($F_{200} < 50$).

Tanah berbutir halus

2. Tanah berbutir halus

Tanah jenis ini terdiri dari jenis lanau dan lempung, tanah digolongkan kedalam jenis ini jika lebih dari 50 % lolos dari saringan No.200 ($F_{200} \geq 50\%$).

Tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok. Simbol-simbol yang digunakan dalam sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*) adalah sebagai berikut:

a) Jenis Tanah

G = Kerikil (*gravel*)

S = Pasir (*sand*)

M = Lanau (*silt*)

C = Lempung (*clay*)

O = Lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = Tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly*)

b) Jenis Gradasi

W = Tanah dengan gradasi baik (*well graded*)

P = Tanah dengan gradasi buruk (*poorly graded*)

c) Konsistensi Plastisitas

H = Plastisitas tinggi (*high plasticity*) ($LL > 50$)

L = Plastisitas rendah (*low plasticity*) ($LL < 50$)

Tabel 2. 5 Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Umum			
Tanah Berbutir Kasar	Lebih dari 50% butiran tertahan pada ayakan No.200	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan No. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
			Kerikil dengan butiran halus	GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
				GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	
				GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung	
	Pasir lebih dari 50% fraksi kasar lolos ayakan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			SP	Pasir bergradasi-buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau		
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
			Tanah Berbutir Halus	Lanau dan Lempung Batas Cair 50% atau Kurang	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
					CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (lean clays)
OL	Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan Lempung Batas Cair lebih dari 50%	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae atau lanau diatomae, lanau yang elastis				
	CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (fat clays)				
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi				
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Pear (gambut), muck dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi			

(Sumber : Braja M Das, Mekanikan Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta, hal 71-72)

Tabel 2. 6 Kriteria Klasifikasi Tanah USCS

Klasifikasi berdasarkan persentase butir halus Kurang dari 5% lolos ayakan No. 200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 12% lolos ayakan No. 200 GM, GC, SM, SC 5% sampai 12% lolos ayakan No. 200 Klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3.	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$	
	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Lebih besar dari 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk $\dot{S}W$	
Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda	
Batas-batas atterberg di atas garis A dengan $PI > 7$		

Bagan Plastisitas

Untuk klasifikasi tanah berbutir-halus dan fraksi halus dari tanah berbutir-kasar

Batas Atterberg yang digambarkan di bawah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda

Persamaan garis A
 $PI = 0,73(LL - 20)$

Batas cair

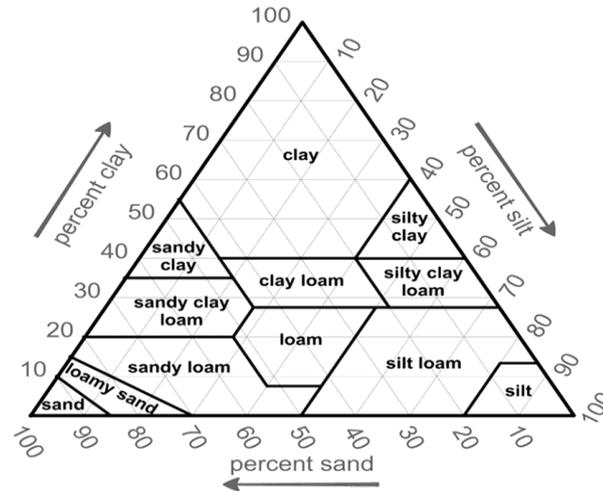
(Sumber : Braja M Das, Mekanikan Tanah, Jilid I, Erlangga, Jakarta, hal 71-72)

2.3.3 Klasifikasi *United State Department of Agriculture* (USDA)

Sistem klasifikasi tanah USDA (United State Department of Agriculture) membagi jenis tanah berdasarkan ukuran dan butiran tanah sebagai berikut :

- Pasir, butiran dengan diameter 0,05 mm – 2 mm
- Lanau, butiran dengan diameter 0,002 – 0,05 mm
- Lempung, butiran dengan diameter <0,002 mm

Pada tahun 1938 Sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) membagi fraksi-fraksi tanah, dapat dilihat pada gambar 2.5 (Braja M Das, 1995: 65).



Gambar 2. 4 Klasifikasi Berdasarkan Tekstur Menurut USDA

2.4 Aktivitas Tanah

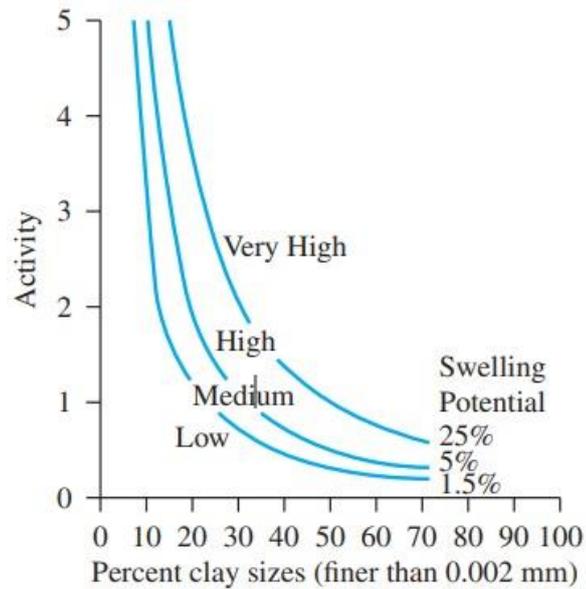
Peristiwa kembang susut pada lempung merupakan aktivitas yang menandakan adanya perubahan volume yang berhubungan dengan kadar air. Berdasarkan penentuan *Plastic Index* (PI) dari pengujian batas atterberg, dan presentase lempung yang didapat dari analisis besar butir, kedua parameter tersebut dibandingkan untuk mengetahui angka aktivitas mineral lempung (Skempton 1953).

$$\text{Clay activity} = \frac{\text{indeks plasticity (IP)}}{\text{Clay Content}} \quad (2.9)$$

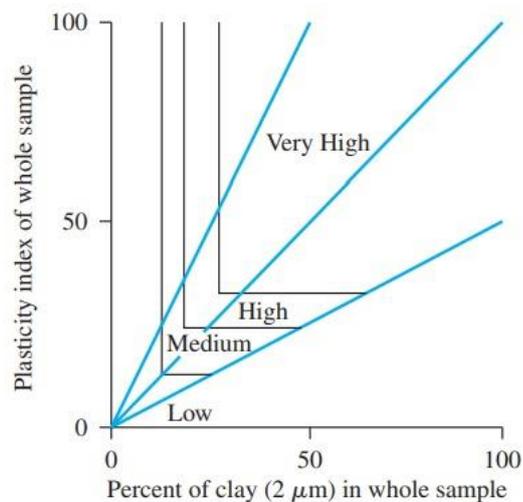
Tabel 2. 7 Angka Aktivitas Lempung

<i>Activity</i>	<i>Classification</i>
<0,75	<i>Inactive clays</i>
0,75 – 1,25	<i>Normal Clays</i>
>1,25	<i>Active</i>

(*Sumber* : Skempton, 1953)



Gambar 2.5 Grafik Klasifikasi Potensi Mengembang
(*Sumber* : Seed et al., 1962)



Gambar 2.6 Grafik Aktivitas Tanah
(*Sumber* : Van der Merwe, 1964)

2.5 Pemeriksaan Sifat Mekanis Tanah

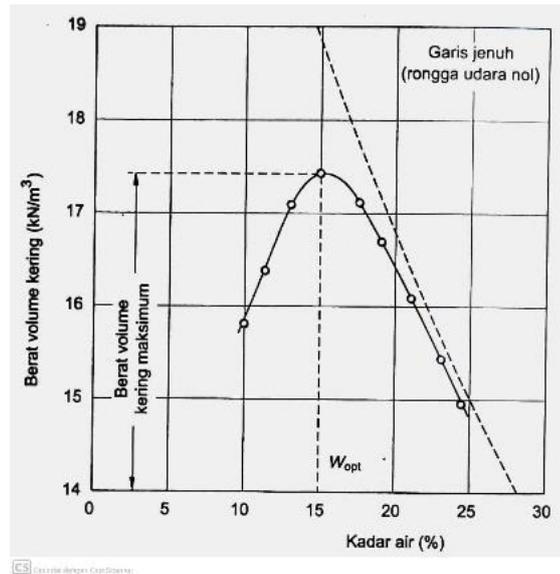
2.4.1 Pemasatan

Dalam buku Craig's Soil Mechanics, pemasatan adalah proses menaikkan berat jenis suatu tanah dengan cara mendekatkan partikel-partikel dengan pengurangan volume udara, tetapi tidak ada perubahan volume air yang signifikan didalam tanah. Secara umum, semakin tinggi tingkat pemasatan suatu tanah, maka semakin tinggi pula kekuatan tekan dan semakin rendah kompresibilitas tanah.

Kepadatan suatu tanah akan meningkat dengan meningkatnya kadar air, tetapi penambahan kadar air yang berlebihan juga dapat mengakibatkan tingkat kepadatan tanah menurun karena air mengambil alih tempat-tempat semula yang ditempati oleh butiran tanah. Kadar air dimana tanah disebutkan memiliki tingkat kepadatan maksimum (MDD) dinamakan kadar air optimum (OMC).

Karakteristik pemadatan tanah dapat dinilai dengan cara standar tes laboratorium. Tanah dipadatkan dalam cetakan berupa silinder mould dengan menggunakan standar upaya kompak. Dalam uji Proctor, volume cetakan adalah $1/30 \text{ ft}^3$ (944 cm^3) dan tanah (dengan semua partikel lebih besar dari 20 mm dihapus) dipadatkan dengan penumbuk berdiameter 5 cm yang beratnya 2,5 kg (5,5 lb) dengan massa jatuh bebas melalui 30,5 cm (12"). Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan yang sama, setiap lapisan menerima 25 kali pukulan. Dalam uji Proctor yang dimodifikasi, cetakannya sama dengan yang digunakan dalam pengujian uji proctor sebelumnya, yang membedakannya adalah terdiri dari berat dari penumbuk sebesar 4,54 kg (10 lb) dengan massa jatuh bebas melalui 45,7 cm (18"). tanah (dengan semua partikel yang lebih besar dari 20 mm dihilangkan) dipadatkan dalam lima lapisan, setiap lapisan menerima 25 kali pukulan.

Setelah pemadatan menggunakan salah satu dari dua metode yang telah dijelaskan, densitas curah dan kadar air tanah ditentukan dan kepadatan kering dihitung. Untuk tanah tertentu proses ini diulang minimal lima kali, kadar air sampel menjadi meningkat setiap kali. Kepadatan kering diplot terhadap kadar air dan kurva bentuk yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 7 Hubungan Antara Berat Volume Kering Dan Kadar Air Pada Usaha Pemasatan

(*Sumber : Buku Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan, Hary Christady*)

Hubungan antara berat volume kering (d), berat volume basah (b), dan kadar air (w), dapat ditunjukkan dengan persamaan 2.5. Bila seluruh udara dalam tanah dipaksa keluar pada saat dilakukan pemsatan, maka kondisi tanah menjadi jenuh air, namun kondisi ini sulit untuk dicapai. Garis jenuh atau garis rongga udara (zero air void line) menunjukkan hubungan kadar air (w) dan berat volume kering saat kondisi tanah jenuh air 100% yaitu $d = z_{av}$. Secara fisik kurva pemsatan tidak pernah berada disebelah kanan garis rongga udara nol karena letak garis optimum ini umumnya berada pada derajat kejenuhan $S = 80-90\%$.

Berat volume kering tanpa rongga udara (γ_{zav}) dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \times w}{1 + e} \quad (2.10)$$

Dimana :

G_s = Berat Jenis Tanah

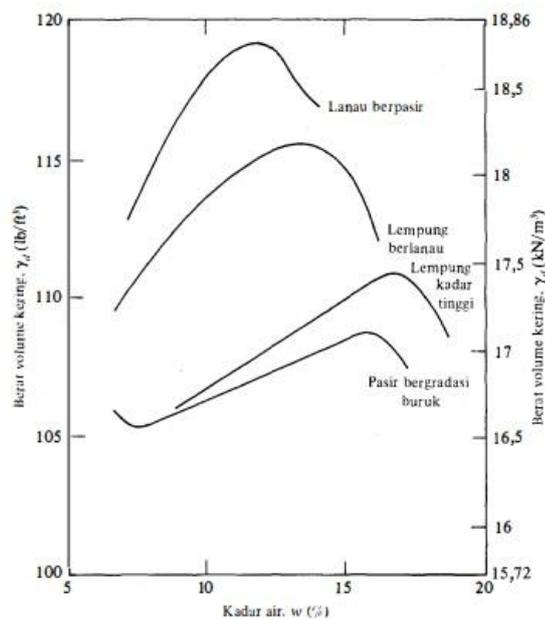
w = Kadar Air

e = Angka Pori Tanah

Kepadatan kering tanah tertentu setelah pemsatan dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut :

1. Jenis Tanah Yang Dipadatkan

Jenis tanah yang digambarkan dengan distribusi ukuran butir, bentuk butiran, berat jenis, dan mineral lempung yang terdapat dalam tanah, sangat berpengaruh pada berat volume kering maksimum dan kadar air optimum pada tanah. Untuk menggambarkan hubungan tersebut, berdasarkan hasil pengujian terhadap berbagai jenis tanah berdasarkan prosedur ASTM D-698, diperlihatkan dalam gambar berikut ini.



Gambar 2. 8 Kurva Hasil Pengujian Pemadatan Berbagai Jenis Tanah

(Sumber : Hardiyatmo, 2013)

Pada grafik diatas diketahui bahwa untuk jenis tanah berpasir, cenderung berkurang saat kadar air bertambah. Hal ini disebabkan karena hilangnya tekanan kapiler dalam pori tanah pasir, saat kadar air bertambah. Pada kadar air rendah tekanan kapiler dalam rongga pori menghalangi kecenderungan partikel tanah untuk bergerak (*distorsi*), sehingga butiran cenderung akan merapat (padat).

2. Kadar air yang digunakan pada saat pemadatan

Karena adanya air yang ditambahkan ke tanah yang memiliki kadar air rendah, maka partikel tanah akan menjadi lebih lunak sehingga mudah bergerak melewati satu sama lain, pada saat dilakukan penerapan energi pemadatan. Partikel semakin dekat, rongga berkurang dan ini menyebabkan kerapatan kering meningkat.

Saat kadar air meningkat, partikel tanah mengembangkan film air yang lebih besar di sekitar mereka.

Kenaikan kerapatan kering ini berlanjut sampai pada kondisi tertentu tercapai, dimana air mulai menempati ruang yang bisa ditempati oleh butiran tanah. Dengan demikian air pada tahap ini menghalangi penyusunan butir yang lebih rapat, dan akan mengurangi berat unit kering. Kerapatan kering maksimum (*maximum dry density*, MDD) terjadi pada kadar air optimum (*optimum moisture content*, OMC), dan nilainya dapat diketahui dari kurva pemadatan.

3. Energi Yang Dipasok Oleh Peralatan Pemadatan

Peningkatan energi pemadatan menghasilkan kerapatan kering tanah yang lebih besar, apabila tanah dipadatkan pada kandungan air yang lebih kering daripada kandungan kelembaban optimum. Perlu diketahui bahwa untuk tanah dengan kadar air lebih tinggi dari kadar air optimum, peningkatan enersi pemadatan, hanya akan memberikan sedikit efek terhadap peningkatan bobot unit kering.

Energi pemadatan per volume satuan (E) dinyatakan oleh persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{N_b \times N_l \times W \times H}{V} \quad (2.11)$$

Dimana :

N_b = Jumlah Pukulan Per Lapisan

N_l = Jumlah Lapisan

W = Berat Penumbuk

H = Tinggi Jatuh Penumbuk

V = Volume Mould

Berikut ini adalah nilai-nilai kisaran berat volume kering maksimum dan kadar air optimum berdasarkan klasifikasi tanah :

Tabel 2. 8 Berat Volume Kering Maksimum, Kadar Air Optimum Didasarkan Pada Klasifikasi AASHTO, Serta Kinerja Tanah

Klasifikasi	Deskripsi tanah visual	Berat volume kering maksimum (kN/m ³)	Kadar air optimum (%)	Perkiraan kinerja tanah-dasar
A-1-a A-1-b	Material granuler	18,1 – 22,3	7-15	Baik sampai baik sekali
A-2-4 A-2-5 A-2-6 A-2-7	Material granuler bercampur tanah	17,3-21,2	9-18	Sedang sampai sangat baik
A-3	Pasir dan pasir halus	17,3-18,1	9-15	Sedang sampai baik
A-4	Lanau dan lanau berpasir	14,9-20,4	10-20	Buruk sampai bagus
A-5	Lanau dan lempung elastis	13,3-15,7	20-35	Tidak memuaskan
A-6	Lanau-lempung	14,9-18,8	10-30	Buruk sampai bagus
A-7-5	Lempung berlanau elastis	13,3-15,7	20-35	Tidak memuaskan
A-7-6	Lempung	14,1-18,1	15-30	Buruk sampai sedang

(Sumber : Gregg, 1960)

2.4.2 Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compressive Strength*)

Kuat tekan bebas (q_u) adalah harga tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji silindris (dalam hal ini sampel tanah) sebelum mengalami keruntuhan geser. Derajat kepekaan/sensitivitas (S_t) adalah rasio antara kuat tekan bebas dalam kondisi asli (*undisturbed*) dan dalam kondisi teremas (*remoulded*).

Salah satu cara pengujian yang dapat digunakan untuk mencari parameter kuat tekan tanah yaitu dengan uji kuat tekan bebas. Maksud dari kekuatan tekan bebas yaitu besarnya suatu beban aksial persatuan luas pada benda uji mengalami suatu keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 15 % (SNI 3638-2012). Pengujian kuat tekan bebas yang dilakukan di laboratorium dapat dilakukan pada suatu sampel tanah dalam wujud asli maupun buatan (*remoulded*).

Uji kuat tekan bebas termasuk hal yang khusus dari uji triaxial *unconsolidated-undrained*, UU (tak terkonsolidasi-tak terdrainase). Dalam praktek, untuk mengusahakan agar kuat geser *undrained* yang diperoleh dari hasil uji kuat

tekan bebas sama dengan hasil uji triaxial pada kondisi keruntuhan, beberapa hal yang harus dipenuhi, antara lain (Holtz dan Kovacs, 1981) :

1. Benda uji harus 100% jenuh, kalau tidak akan terjadi desakan udara di dalam ruang pori yang menyebabkan angka pori (e) berkurang sehingga kekuatan benda uji bertambah.
2. Benda uji tidak boleh mengandung retakan atau kerusakan yang lain. Dengan kata lain benda uji harus utuh dan merupakan lempung homogen. Dalam praktek, sangat jarang lempung *overconsolidated* dalam keadaan utuh dan bahkan sering terjadi pula lempung menjadi *normally consolidated* mempunyai retakan – retakan.
3. Tanah harus terdiri dari butiran sangat halus. Tekanan kekang efektif (*effective confining pressure*) awal adalah tekanan kapiler residu yang merupakan fungsi dari tekanan pori residu. Hal ini berarti bahwa penentuan kuat geser tanah dari uji tekan bebas hanya cocok untuk tanah lempung.
4. Proses pengujian harus berlangsung dengan cepat sampai contoh tanah mencapai keruntuhan. Pengujian merupakan uji tegangan total dan kondisinya harus tanpa drainase selama pengujian berlangsung. Jika waktu yang dibutuhkan dalam pengujian terlalu lama, penguapan dan pengeringan benda uji akan menambah tegangan kekang dan dapat menghasilkan kuat geser yang lebih tinggi. Waktu yang cocok biasanya sekitar 5 sampai 15 menit.



Gambar 2. 9 Alat Uji Tekan Bebas

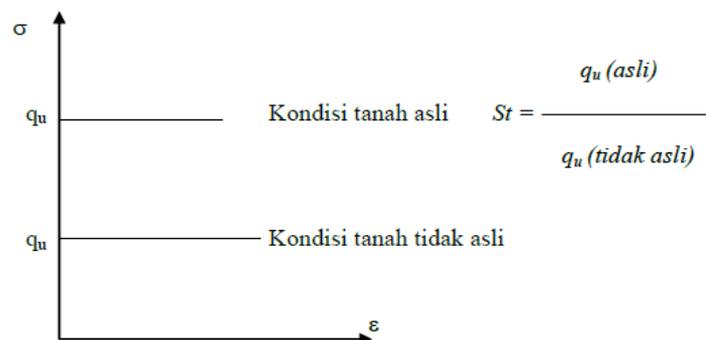
Tabel 2. 9 Konsistensi Tingkat Kekuatan Tanah

<i>Undrained Cohesion</i> (kg/cm ²)	Konsistensi Tanah
0,00 – 0,25	<i>Very soft</i> (sangat lunak)
0,25 – 0,50	<i>Soft</i> (lunak)
0,50 – 1,00	<i>Medium</i> (sedang)
1,00 – 2,00	<i>Stiff</i> (kaku)
2,00 – 4,00	<i>Very stiff</i> (sangat kaku)
> 4,00	<i>Hard</i> (keras)

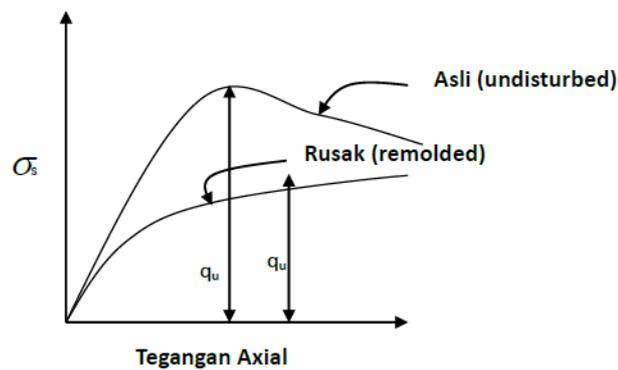
(Sumber : Begemann, 1965)

2.6 Sensitivitas Tanah Lempung

Pengujian kuat tekan bebas dilakukan pada contoh tanah asli (*undisturbed*) dan contoh tanah tidak asli (*remoulded*). Pada kuat tekan bebas yang diukur adalah kemampuan masing-masing contoh terhadap kuat tekan, sehingga didapat nilai kuat tekan maksimum. Dari nilai kuat tekan maksimum yang diperoleh maka akan didapat nilai sensitivitas tanah. Nilai sensitivitas adalah ukuran bagaimana perilaku tanah apabila ada gangguan yang diberikan dari luar (Das, 1995).

**Gambar 2. 10** Sensitivitas Tanah Asli dan Tanah Remoulded

Kekuatan tekanan tak tersekap berkurang banyak pada tanah-tanah lempung yang terdeposisi (terendapkan) secara alamiah, dan jika tanah tersebut diuji ulang kembali setelah tanah tersebut mengalami kerusakan struktural (*remoulded*) tanpa adanya perubahan dari kadar air, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 11 Kuat Tekan Tanah Asli dan Tanah Remoulded

(Sumber : DAS,1995)

Sifat berkurangnya kekuatan tanah akibat adanya kerusakan struktural tanah disebut sensitivitas (*sensitivity*). Tingkat sensitivitas adalah rasio/perbandingan antara kekuatan tanah yang masih asli dengan kekuatan tanah yang sama setelah terkena kerusakan (*remoulded*), bila kekuatan tanah tersebut diuji dengan cara tekanan tak tersekap. Sensitivitas dinyatakan dalam persamaan :

$$S_t = \frac{q_u \text{ asli}}{q_u \text{ kerusakan}} \quad (2.12)$$

Umumnya, nilai rasio sensitivitas tanah lempung berkisaran antara 1 sampai 8, akan tetapi pada beberapa tanah-tanah lempung maritim yang mempunyai tingkat flokulasi yang sangat tinggi, nilai sensitivitas berkisaran antara 10-80. Karena beberapa jenis lempung mempunyai sensitif terhadap gangguan yang berbeda-beda, oleh karena itu perlu adanya pengelompokkan yang berhubungan dengan nilai sensitivitas. Klasifikasi secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 10 Klasifikasi Sensitivitas Tanah Lempung

Tidak Sensitif	$St < 2$
Agak Sensitif	$2 < St < 4$
Sensitif	$4 < St < 8$
Sangat Sensitif	$8 < St < 16$
Cepat	$St > 16$

Tanah lempung dengan derajat sangat sensitif mampu menyebabkan terjadinya longsor pada sebuah kemiringan yang landai akibat berubahnya massa tanah lempung menjadi pelumas, sedangkan untuk tanah lempung yang memiliki derajat sensitifitas rendah hanya mengakibatkan deformasi lokal.

2.7 Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Tanah dasar (*subgrade*) adalah bagian terbawah suatu konstruksi perkerasan yang dibuat secara berlapis-lapis seperti dipergunakan dalam konstruksi jalan raya (Soekoto, I. 1984)

Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan bahan kimia atau lainnya. Ditinjau dari muka tanah asli, lapisan dasar dibedakan atas :

1. Lapisan tanah galian
2. Lapisan tanah timbunan
3. Lapisan tanah asli

Sebelum diletakkan lapisan-lapisan lainnya, tanah dasar dipadatkan terlebih dahulu sehingga tercapai kestabilan yang tinggi terhadap perubahan volume. Hal ini dikarenakan kekuatan konstruksi perkerasan jalan sangat ditentukan oleh sifat-sifat daya dukung tanah dasar.

Permasalahan tanah dasar yang sering kali dijumpai yakni perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) dari jenis tertentu akibat beban lalu lintas dan sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.

2.8 Stabilisasi Tanah

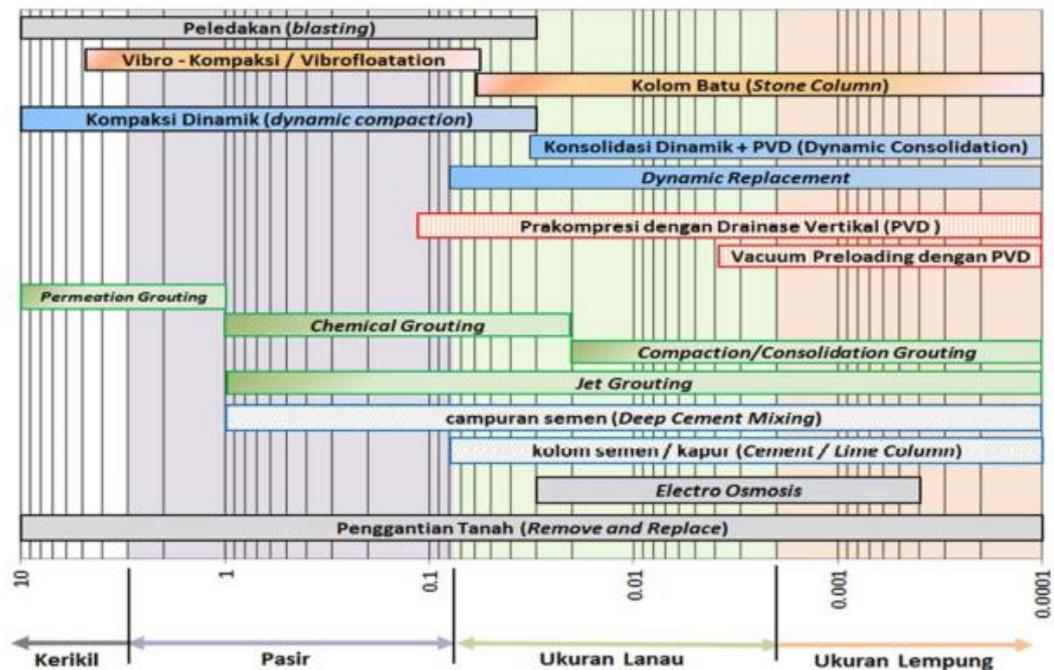
Menurut Hamat penulis, stabilisasi tanah adalah suatu metode rekayasa tanah yang bertujuan untuk meningkatkan dan atau mempertahankan sifat-sifat tertentu pada tanah, agar selalu memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan. Dalam hal ini berbagai syarat teknis yang dibutuhkan dalam mengoptimalkan kinerja konstruksi, antara lain ; kapasitas daya dukung tanah, kuat geser tanah, penurunan (*settlement*), permeabilitas tanah, dan lain sebagainya, yang mana syarat teknis tersebut selalu dikaitkan dengan jenis dan fungsi konstruksi yang dibangun/dibuat.

Apabila ditinjau dari mekanisme global yang terjadi pada tindakan stabilisasi tanah, klasifikasi tindakan stabilisasi tanah dapat dibedakan atas dua macam, yakni :

1. Perbaikan tanah (*soil improvement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan menggunakan bahan additive (kimia), pencampuran tanah (*re-gradation*), pengeringan tanah (*dewatering*) atau melalui penyaluran energi statis/dinamis ke dalam lapisan tanah (fisik). Perbaikan tanah (*soil improvement*) ini relevan dengan stabilisasi kimia dan stabilisasi fisik
2. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) adalah suatu jenis stabilisasi tanah yang dimaksudkan untuk memperbaiki dan/atau mempertahankan kemampuan dan kinerja tanah sesuai syarat teknis yang dibutuhkan, dengan memberikan material sisipan ke dalam lapisan tanah tersebut. Perkuatan tanah (*soil reinforcement*) ini relevan dengan stabilisasi mekanis.

Namun apabila ditinjau dari proses yang terjadi dalam pelaksanaan stabilisasi tanah, maka stabilisasi tanah dapat dibedakan atas 4 jenis, yakni :

1. Stabilisasi mekanis, yaitu menambahkan energi dari beban dinamis atau beban statis ke dalam lapisan tanah, sehingga terjadi dekomposisi baru dalam massa tanah, yang akan memperbaiki karakteristik tanah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
2. Stabilisasi kimia, yaitu menambahkan bahan kimia tertentu dengan material tanah, sehingga terjadi reaksi kimia antara tanah dengan bahan pencampurnya yang akan menghasilkan material yang menghasilkan material baru yang memiliki sifat teknis yang lebih baik.
3. Stabilisasi hidrolis, yaitu upaya untuk mengeluarkan air dari massa tanah, sehingga kuat geser dan daya dukung tanah akan meningkat.
4. Perbaikan menggunakan material perkuatan, yaitu stabilisasi dengan memasukan material sisipan ke dalam lapisan tanah sehingga mampu meningkatkan karakteristik teknis dalam massa tanah sesuai dengan tujuan tindakan stabilisasi yang ingin dicapai.



Gambar 2. 12 Jenis - Jenis Metode Perbaikan Tanah

(Sumber : SNI Geoteknik 8460:2017)

2.8.1. Stabilisasi Tanah dengan Kapur

Berdasarkan buku dasar-dasar teknik perbaikan tanah, Dr.Ir.H. Darwis,M. Sc, perbaikan tanah dengan bahan kapur (*soil lime*) memiliki sasaran utama sebagai berikut :

1. Untuk meningkatkan kohesi tanah (c).
2. Sudut geser dalam tanah (ϕ)
3. Berat volume tanah (γ)
4. Memperkecil tekanan pori tanah (e) karena akan memperkecil angka porositas dalam massa tanah.
5. Peningkatan parameter – parameter tersebut, memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan daya dukung (q_u) dan kuat geser tanah.

Untuk mendapatkan akurasi dan efektifitas di dalam penerapan suatu metode perbaikan tanah, beberapa hal yang harus di pahami dengan baik, antara lain prinsip teknis dari jenis perbaikan tanah yang akan diterapkan, sifat-sifat bahan stabilisasi, kriteria tanah yang cocok dengan bahan stabilisasi, mekanisme reaksi antara tanah

dengan bahan stabilisasi, dan perubahan properti tanah yang terjadi dan relevansinya dengan syarat teknis yang ingin dicapai.

1. Prinsip Teknis

Kapur merupakan bahan stabilisasi yang secara kimiawi bersifat basa. Prinsip perbaikan tanah dengan kapur adalah mencampurkan kapur untuk memanfaatkan keunggulan sifat-sifat teknis dari bahan kapur, dengan tanah yang memiliki karakteristik kurang baik, seperti tanah dengan plastisitas yang tinggi (*high plasticity*), potensi ekspansi yang tinggi (*expansive soil*), kompresibilitas yang tinggi, dan lain sebagainya.

Perbaikan tanah dengan kapur perlu diikuti dengan pemadatan. Oleh karena itu tanah yang diperbaiki dengan bahan kapur, akan mempermudah pekerjaan pemadatan tanah, karena kapur akan mengurangi kelekatan dan kelunakan tanah, serta membuat struktur partikel tanah lempung menjadi rapuh (*fragile*), sehingga mudah untuk dipadatkan. Namun, konsekuensi negatif dari perbaikan tanah dengan kapur adalah menurunkan nilai kepadatan maksimum dari massa tanah.

2. Karakteristik Bahan Kapur

Berdasarkan persyaratan dalam SNI 03-4147-1996, jenis kapur yang direkomendasikan untuk digunakan sebagai bahan perbaikan tanah adalah kapur padam dan kapur tohor. Beberapa jenis kapur, antara lain :

a. Kapur tohor (CaO)

Kapur dari hasil pembakaran batu kapur pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{C}$, dengan komposisi sebagian besar berupa Kalsium Karbonat (CaCO_3).

b. Kapur padam

yaitu kapur dari hasil pemadaman kapur tohor dengan air, sehingga membentuk senyawa Kalsium Hidrat [$\text{Ca}(\text{OH})_2$].

c. Kapur tipe I

Kapur yang mengandung kalsium hidrat [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] tinggi, dengan kadar Magnesium Oksida (MgO) paling tinggi 4% berat.

d. Kapur tipe II

Kapur Magnesium atau Dolomit yang mengandung Magnesium Oksida (MgO) lebih dari 4% dan paling tinggi 36% berat.

3. Perancangan Campuran

Maksud dari perancangan adalah untuk merubah sifat – sifat tanah pada kadar kapur minimal yang dapat mempertahankan daya tahannya sampai ke tingkat tertentu yang diinginkan (rollings dan Rollings, 1996). Prosedur perancangan campuran meliputi : persiapan benda uji, kondisi pemeraman, prosedur pengujian dan kriteria perancangan campuran.

Tabel 2. 11 Kadar Kapur yang disarankan Ingles dan Metcalf (1972)

Macam Tanah	Kadar Kapur Untuk "Modifikasi"	Kadar Kapur Untuk "Stabilisasi"
Batu Pecah Halus	2-4%	Tidak Dianjurkan
Kerikil Berlempung Gradasi Baik	1-3%	Sampai 3%
Pasir	Tidak Dianjurkan	Tidak Dianjurkan
Lempung Berpasir	Tidak Dianjurkan	Sampai 5%
Lempung Berlanau	1-3%	2-4%
Lempung Gemuk (Heavy Clay)	1-3%	3-8%
Lempung Sangat Gemuk (Very Heavy Clay)	1-3%	3-8%
Tanah Organik	Tidak Dianjurkan	Tidak Dianjurkan

(Sumber : Buku Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan, Hary Christady)

4. Mekanime Reaksi

Bahan pencampur kapur yang digunakan dapat berbentuk Kalsium Oksida (CaO) atau Kalsium Hidroksida (Ca(OH)₂). Akibat penambahan kapur terjadi reaksi pozzolanis dari kapur dengan tanah yang menghasilkan cementation yang dapat menaikkan kekuatan tanah yang dipengaruhi waktu, artinya reaksi yang berlangsung lebih lama akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi. tanah yang diperbaiki dengan kapur umumnya mempunyai kekuatan yang lebih besar dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada tanah yang tidak diperbaiki.

Penambahan kapur pada lempung menghasilkan konsentrasi ion-ion kalsium yang tinggi pada lapis ganda (*double layer*) disekeliling partikel lempung, sehingga mengurangi tarikan air.

Kapur sebagai bahan stabilisasi mempengaruhi sifat – sifat fisik dan mekanis tanah. pengaruh sifat –sifat mekanis terhadap tanah bervariasi tergantung pada :

- a) Jenis tanah.
- b) Jenis dan kadar kapur.
- c) Masa pemeraman (*curing time*)
- d) Faktor – faktor lain, seperti metoda penggunaan air.

Secara sistematis reaksi – reaksi yang terjadi yang disebabkan oleh kapur adalah sebagai berikut :

- a. Absorpsi air, reaksi eksotermis dan reaksi ekspansif

Bila kapur dicampurkan pada tanah, maka pada tanah akan terjadi reaksi antara kapur dengan air, dimana air terkandung di dalam tanah itu sendiri. Reaksi tersebut dapat dituliskan dengan :



Di saat terjadinya reaksi kimia tersebut volume dari kapur menjadi kira – kira 2 kali lebih besar dari volume asal sehingga berakibat turunnya air dalam tanah tersebut.

- b. Reaksi pertukaran ion

Butiran lempung dalam kandungan tanah berbentuk halus dan bermuatan negative. Ion positif, seperti ion Hidrogen (H^+), ion sodium (Na^+), ion kalsium (K^+) serta air yang berpolarisasi, semuanya melekat pada permukaan butiran lempung tadi.

Jika kapur ditambahkan pada tanah dengan kondisi seperti di atas, maka pertukaran ion segera terjadi dan ion sodium yang berasal dari larutan kapur diserap oleh permukaan butiran lempung. Jadi, permukaan butiran lempung tadi kehilangan kekuatan tolaknya dan terjadilah kohesi dari butiran itu sehingga berakibat pada meningkatnya kekuatan konsistensi tanah tersebut.

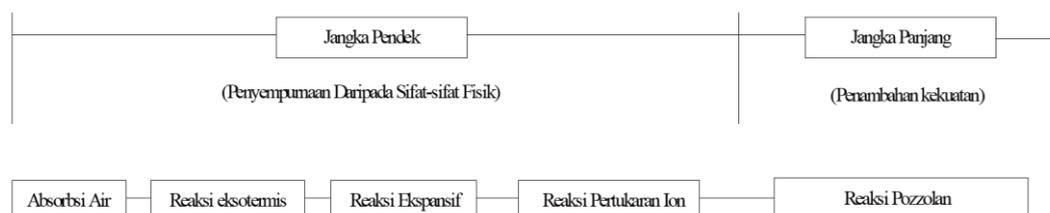
- c. Reaksi pozollan

Dengan berlalunya waktu, maka Silica (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3) yang terkandung dalam tanah lempung dengan kandungan mineral reaktif akan bereaksi dengan kapur dan akan membentuk Kalsium Silikat Hidrat seperti Tobermorite,

Kalsium Aluminat Hidrat $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ dan Gehlenite Hidrat $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Pembentukan senyawa – senyawa kimia ini terus menerus berlangsung untuk waktu yang lama dan menyebabkan tanah menjadi keras serta kuat namun demikian juga awet karena ia berfungsi selaku *binder* (pengikat).

Mekanisme reaksi – reaksi di atas secara garis besar dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2. 13 Mekanisme Reaksi Dasar Akibat Kapur

(Sumber : Pedoman Teknis Clean Set Cemen, 1991, P.T Indo Clean Set Cement)

Berdasarkan ilustrasi reaksi kimiawi, dapat disimpulkan bahwa pada pekerjaan perbaikan tanah dengan kapur, pemadatan tanah harus dilaksanakan pada saat kondisi campuran tanah dengan kapur masih memiliki kadar air. Pemadatan tanah akan memberikan hasil yang maksimal apabila dilakukan pada kondisi kadar air campuran tanah-kapur berada pada nilai yang optimum (W_{opt}).

2.9 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian I – RR. Susi Riwayati (2018)

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh RR. Susi Riwayati (2018) dalam penelitiannya yang berjudul “*Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Campuran Kapur Untuk Lapisan Tanah Dasar Konstruksi*”. Jenis penelitian ini merupakan deskriptif, dengan menggunakan metode pendekatan kuantitatif. Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah apakah pengaruh dari penambahan kapur pada lapisan tanah dasar terhadap nilai CBR.

Kesimpulan penelitian RR. Susi Riwayati ini adalah :

- Kadar kapur yang digunakan berupa 2%, 5%, dan 7%.

- b. terjadi peningkatan terhadap Nilai CBR tanpa perendaman (unsoaked) pada persentase 7% didapat nilai CBR 38,0415 %.

2. Penelitian II - Fitridawati Soehardi (2017)

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Fitridawati Soehardi (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “*Stabilisasi Tanah dengan Variasi Penambahan Kapur dan waktu Pemeraman*”. Jenis penelitian ini merupakan deskriptif, dengan menggunakan metode pendekatan kuantitatif. Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah apakah dengan dilakukannya pemeraman terhadap sampel yang distabilisasi oleh kapur dapat meningkatkan nilai CBR tanah.

Kesimpulan penelitian Fitridawati Soehardi ini adalah :

- a. Kadar kapur yang digunakan berupa 5%, 10%, dan 15% terhadap berat kering tanah.
- b. Dari hasil penelitian pemadatan diperoleh bahwa berat isi kering cenderung mengalami penurunan seiring dengan penambahan kapur pada tanah asli.
- c. Pada kadar kapur 10% dengan lama pemeraman 0 hari nilai CBR tanah sebesar 38,02%. Sedangkan untuk kadar kapur 10% dengan lama pemeraman 14 hari terjadi peningkatan nilai CBR sebesar 39,43%.

3. Penelitian III - Abdil Hafizh Arrofiq dkk (2016)

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Abdil Hafizh Arrofiq dkk (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “*Pengaruh Variasi Waktu Pemeraman Terhadap Uji Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung Dan Lanau Yang Distabilisasi Menggunakan Kapur Pada Kondisi Optimum*”. Jenis penelitian ini merupakan deskriptif, dengan menggunakan metode pendekatan kuantitatif. Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah apakah dengan dilakukannya pemeraman terhadap sampel yang distabilisasi oleh kapur dapat meningkatkan nilai kuat tekan bebas tanah menggunakan pengujian UCS.

Kesimpulan penelitian Abdil Hafizh Arrofiq dkk ini adalah :

- a. Kadar kapur yang digunakan berupa 5%, 10%, dan 15% terhadap berat kering tanah.

- b. Tanah asli yang tidak distabilisasi oleh kapur nilai q_u nya sebesar $0,33 \text{ kg/cm}^2$.
- c. Nilai q_u terbesar terjadi pada kadar kapur 15% dengan waktu pemeraman 28 hari yaitu sebesar $0,59 \text{ kg/cm}^2$.
- d. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan kapur dan lamanya waktu pemeraman dapat meningkatkan kuat tekan tanah ke batas tertentu.