

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Definisi Tanah

Tanah terdiri dari campuran butiran-butiran mineral dengan kandungan organik yang merupakan hasil pelapukan batuan, baik secara fisik maupun kimiawi. Pada dasarnya tanah selalu mempunyai peranan yang amat sangat penting dalam suatu pekerjaan konstruksi. Tanah sudah tersedia langsung dilapangan dan apabila digunakan akan sangat ekonomis, sama seperti bahan konstruksi lainnya, tanah dapat digunakan setelah kualitasnya terkontrol. Semua pekerjaan konstruksi yang dilakukan diatas tanah akan didukung oleh tanah dan untuk mewujudkan bangunan yang baik perlu adanya tanah yang baik. Penyelidikan kondisi bawah tanah sangat penting untuk mengetahui karakteristik bawah tanah. Pada dasarnya akan didapat informasi untuk menentukan jenis perbaikan yang dapat kita lakukan guna untuk menstabilisasi tanah tersebut.

Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun proses kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk yang lainnya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi akibat pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses tersebut disebut tanah residual (*residual soil*) dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*).

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga akan digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis,

sedangkan pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis. (Hardiyatmo, 2010).

Tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian, dalam tanah yang kering terdiri dari dua bagian, yaitu butir-butir tanah dan pori-pori udara, tanah kering adalah tanah yang kadar airnya nol atau tidak mengandung air sama sekali. Tanah jenuh terdiri dari dua bagian, yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Keadaan tanah tidak jenuh terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian padat atau butiran, pori-pori udara, dan air pori.

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Pada umumnya sifat-sifat tanah dan masalah teknis pada berbagai tempat berbeda-beda. Maksud dari klasifikasi tanah untuk memberikan keterangan mengenai sifat-sifat teknis dari bahan-bahan itu dengan cara yang sama seperti halnya pernyataan secara geologis dimaksudkan untuk memberikan keterangan mengenai asal geologis dari bahan-bahan itu sendiri (Wesley, 1977).

Klasifikasi tanah sangat membantu perancangan dalam memberikan pengarahan melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah lalu, tetapi perancangan harus berhati-hati dalam penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas, kompresi (penurunan), aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti (Lambe, 1979).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian sederhana yang memperoleh karakteristik tanahnya. Kemudian digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasinya yang didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas.

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas.

1. Sistem Klasifikasi Unified

Sistem klasifikasi Unified mula pertama diusulkan oleh Casagrande pada tahun 1942, kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State*

Bureau of Reclamation). Dalam bentuk yang sekarang, system ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

Pada sistem Unified, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomer 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomer 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasi dalam sejumlah kelompok dan subkelompok yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. simbol-simbol yang digunakan pada klasifikasi tersebut adalah :

G = Kerikil (*Gravel*)

S = Pasir (*Sand*)

C = Lempung (*Clay*)

M = Lanau (*Silt*)

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

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

W = Gradasi baik (*well-graded*)

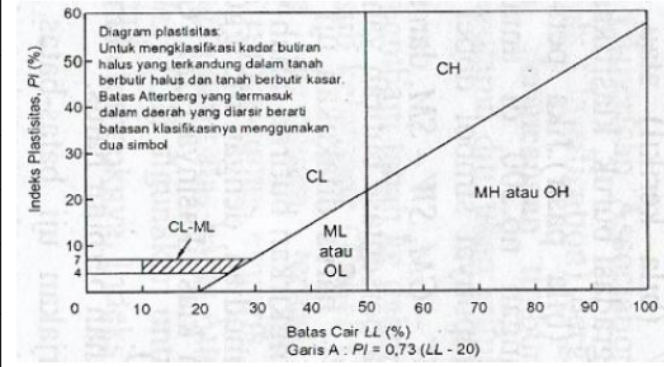
P = Gradasi buruk (*poorly-graded*)

H = Plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = Plastisitas rendah (*low-plasticity*)

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi USCS

Divisi Utama		Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium			
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	Kerikil 50% atau lebih dari fraksi kasar tahan saringan no. 4 (4,75 mm)	GW	Kerikil gradasi baik dan campuran pasir - kerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk GW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6, C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kriteria untuk SW Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas Atterberg di atas garis A atau $PI > 7$			
		GP	Kerikil gradasi buruk dan campuran pasir - kerikil, atau tidak mengandung butiran halus				
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil pasir - lempung				
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil pasir - lempung				
	Pasir lebih dari 50 % fraksi kasar lolos saringan no. 4 (4,75 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	SW		Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		
			SP		Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil banyak kandungan butiran halus	SM		Pasir berlanau, campuran pasir - lanau		
			SC		Pasir berlempung, campuran pasir - lempung		
			Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0,075 mm)		Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML	Lanau tak organik dan pasir sangat halus, serbuk batuan atau pasir halus berlanau atau berlempung
						CL	Lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai 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 > 50 %	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatome, lanau elastis					
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk ("fat clays")					
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi					
Tanah dengan kadar organik tinggi		P _t	Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488			



(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditunjukkan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut.

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 8 kelompok, A-1 sampai A-8 termasuk sub-sub kelompok. Pada kelompok A-8 adalah kelompok tanah organik yang bersifat tidak stabil sebagai bahan lapisan struktur jalan raya, maka pada revisi terakhir oleh AASHTO diabaikan. Tanah-tanah dalam setiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg. Sistem klasifikasi AASHTO dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Klasifikasi umum	Material granuler (< 35% lolos saringan no. 200)							Tanah-tanah lanau-lempung (> 35% lolos saringan no. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Analisis saringan (% lolos)											
2,00 mm (no. 10)	50maks	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,425 mm (no. 40)	30 maks	50 maks	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
0,075 mm (no. 200)	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Sifat fraksi lolos saringan no. 40											
Batas cair (LL)	-	-	-	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min	40 maks	41 min
Indeks plastis (PI)	6 maks		Np	10 maks	10 maks	11 min	11 min	10 maks	10 maks	11 min	11 min
Indeks kelompok (G)	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 berlanau atau berlempung dan pasir				Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian umum sebagai tanah dasar	Sangat baik sampai baik							Sedang sampai buruk			

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Catatan :

Kelompok A-7 dibagi atas A-7-5 dan A-7-6 bergantung pada batas plastisitasnya (PL)

Untuk $PL > 30$, klasifikasinya A-7-5

Untuk $PL < 30$, klasifikasinya A-7-6

Np = Nonplastis

Tanah berbutir halus diklasifikasikan dari A-4 sampai A-7, yaitu tanah lempung dan lanau (tanah $> 35\%$ lolos saringan No. 200). A-4 adalah tanah lanau dengan sifat plastisitas rendah, A-5 adalah kelompok tanah lanau yang mengandung lebih banyak butir-butir plastis, sehingga sifat plastisnya lebih besar dari kelompok A-4, sedangkan A-6 termasuk kelompok tanah lempung yang masih mengandung butir-butir pasir dan kerikil, tetapi sifat perubahan volumenya cukup besar. A-7 adalah kelompok tanah lempung yang lebih bersifat plastis. Tanah ini mempunyai sifat perubahan yang cukup besar.

3.1.3 Analisis Ukuran Butiran

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan presentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu. Besarnya ukuran butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Analisis butiran ini merupakan pengujian yang sering dilakukan.

1. Tanah Berbutir Kasar

Pada distribusi ukuran tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara, tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standar. Berat tanah yang tinggal pada masing-masing saringan ditimbangan, lalu presentase dihitung terhadap berat kumulatif tanah. Susunan saringan tanah untuk tanah berbutir kasar, dari yang paling besar ke yang paling kecil dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Saringan Berdasarkan Bukaannya

No Saringan	Diameter Lubang (mm)
4	4,75
10	2,00

Lanjutan Tabel 3.3 Saringan Berdasarkan Bukaannya

No Saringan	Diameter Lubang (mm)
20	0,85
40	0,42
60	0,25
140	0,106
200	0,075

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Tanah Berbutir Halus

Pada distribusi ukuran tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara uji hidrometer atau sedimentasi. Metode ini didasarkan pada hukum Stokes, yang berkenaan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi.

Menurut Stokes, kecepatan mengendap butiran dapat ditentukan pada Persamaan 3.1 berikut ini.

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\mu} \quad (3.1)$$

dengan,

v = Kecepatan (L/t)

γ_w = Berat volume air (g/cm^3)

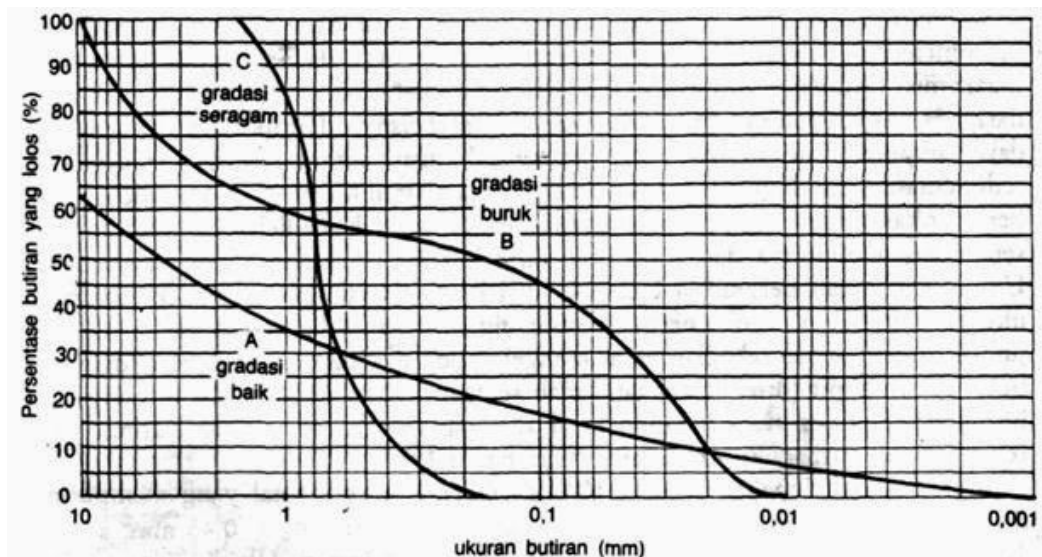
γ_s = Berat volume butiran padat (g/cm^3)

μ = Kekentalan air absolut (g.det/cm^2)

D = Diameter butiran tanah (mm)

Umumnya tanah bergradasi baik jika distribusi ukuran butirannya tersebut meluas (pada ukuran butirannya). Tanah berbutir kasar digambarkan sebagai bergradasi buruk, bila jumlah berat butiran sebagian besar mengelompok di dalam batas interval diameter yang sempit (disebut gradasi seragam). Tanah

juga termasuk bergradasi buruk, jika butiran besar maupun kecil ada, tapi dengan pembagian butiran yang relative rendah pada ukuran sedang. Kurva analisis distribusi ukuran butiran dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Analisis Distribusi Ukuran Butiran

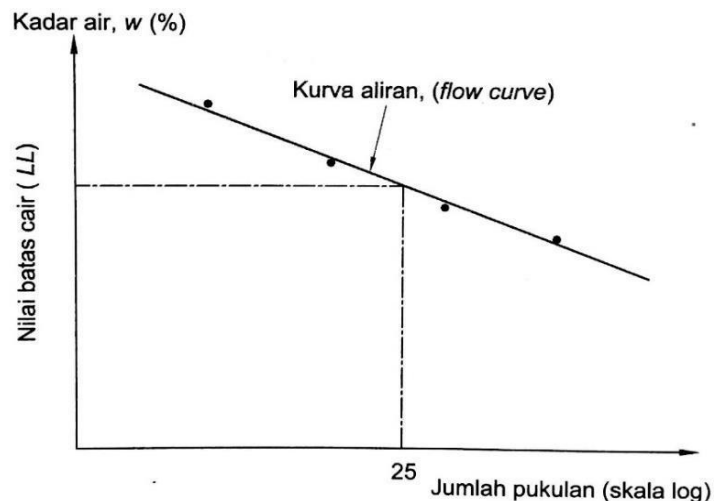
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

3.1.4 Batas-Batas Atterberg

Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut konsistensi. Pada konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Atterberg pada tahun 1911 memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah yang bervariasi. Batas-batas tersebut dinamakan batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*), dan batas susut (*Shrinkage Limit*). Nilai kadar air yang digunakan dinyatakan dalam persen dengan pengujian untuk batas cair menggunakan alat yang dinamakan Casagrande, untuk batas susut menggunakan cawan yang terbuat dari logam yang kemudian diukur seberapa besar susut tanah dengan menggunakan air raksa. Pada pengujian batas plastis cukup dengan menggiling-gilingkan tanah diatas permukaan yang rata sampai tanah tersebut mengalami retak-retak.

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

Batas cair (LL) adalah keadaan dimana kadar air tanah pada kondisi tanah mulai berubah dari keadaan plastis menjadi cair atau sebaliknya yaitu batas antara keadaan cair dan keadaan plastis atau juga batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande, kemudian dihubungkan kadar air dan jumlah pukulan yang didapatkan dari hasil pengujian menggunakan alat Casagrande digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan. Berikut ini Gambar 3.2 memperlihatkan grafik untuk menentukan nilai batas cair tanah.



Gambar 3.2 Grafik Untuk Menentukan Batas Cair Tanah Lempung
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis (PL) adalah keadaan dimana kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu presentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm tanah mulai retak-retak ketika digulung.

3. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas susut (SL) adalah keadaan dimana kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu presentase kadar air pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Pada percobaan

batas susut dilakukan dengan cawan porselen diameter 44,4 mm dengan tinggi 12,7 mm. pada bagian dalam cawan porselin dilapisi dengan pelumas dan diisi dengan tanah jenuh sempurna, kemudian dikeringkan dengan oven. Volume ditentukan dengan cara mencelupkan dengan air raksa.

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dengan batas plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisitasan suatu tanah. Hal ini disebabkan oleh PI yang merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Nilai PI dapat dicari dengan Persamaan 3.2.

$$PI = LL - PL \quad (3.2)$$

Keterangan : PI = Indeks plastisitas (%)

LL = Batas cair (%)

PL = Batas plastis (%)

Jika tanah memiliki nilai PI yang tinggi, maka tanah tersebut mengandung banyak butiran lempung. Namun jika tanah memiliki nilai PI yang rendah, maka tanah tersebut seperti lanau yang mengalami sedikit pengurangan kadar air sehingga tanah menjadi kering. Batasan mengenai tingkat indeks plastisitas tanah dengan sifat, macam tanah dan kohesi, diberikan oleh Atterberg pada tahun 1911. Nilai indeks plastisitas dan macam tanah dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam Tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesi sebagian
7 - 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
>17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

3.1.5 Tanah Lempung

Tanah lempung adalah tanah yang memiliki partikel-partikel mineral tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur dengan air. Partikel lempung terdiri dari silikat alumunium atau besi dan magnesium. Beberapa di antaranya juga mengandung alkali atau tanah alkalin. Pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid yang disebut mineral lempung. Mineral lempung berukuran sangat kecil lebih kecil dari 2 mikron atau kurang dari 5 mikron. Sifat yang perlu diperhatikan pada jenis tanah lempung adalah plastisitas. Plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau kembali pada bentuk aslinya dan tanpa menunjukkan retakan/rusakan (Purwanto, 2008).

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi bercampur butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Lempung bersifat kedap air sehingga hampir sepenuhnya terjebak dalam pori-porinya. Sifat plastis dari suatu tanah adalah disebabkan oleh air yang terserap di sekeliling permukaan partikel lempung, maka dapat diharapkan bahwa tipe dan jumlah mineral lempung yang dikandung didalam suatu tanah akan mempengaruhi batas plastis dan batas cair tanah yang bersangkutan. Sifat-sifat yang dimiliki tanah lempung (Hardiyatmo, 2010) adalah sebagai berikut :

1. ukuran butir halus, kurang dari 0,005 mm,
2. permeabilitas rendah,

3. kenaikan air kapiler tinggi,
4. bersifat sangat kohesif,
5. kadar kembang susut yang tinggi, dan
6. proses konsolidasi lambat.

3.2 Stabilisasi Tanah

Menurut Hardiyatmo (2010), stabilisasi tanah dapat didefinisikan sebagai usaha untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi persyaratan teknis tertentu. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dalam dua metode yaitu :

1. stabilisasi tanah secara mekanis, dan
2. stabilisasi tanah secara kimiawi (dengan menggunakan bahan tambah).

Stabilisasi secara mekanis biasanya dilakukan dengan cara pemadatan menggunakan alat berat atau mesin penggilas. Stabilisasi secara kimiawi adalah stabilisasi yang dilakukan dengan menambahkan bahan kimia seperti *Cement Portland*, *Lime* (kapur), *fly ash* (abu terbang), aspal dan lain sebagainya untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang kurang baik.

Menurut Bowles dan Hainim (1986), suatu tanah yang terdapat dilapangan bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila ia mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, mempunyai permeabilitas yang terlalu tinggi, atau mempunyai sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan. Stabilisasi terdiri dari salah satu tindakan berikut :

1. menambah kerapatan tanah,
2. menambahkan material yang tidak aktif, sehingga mempertinggi kohesi dan/ atau tahanan geser yang timbul,
3. menambahkan material untuk menyebabkan perubahan-perubahan kimiawi dan fisis dari material tanah,
4. merendahkan muka air (drainase tanah), dan
5. menggantikan tanah-tanah yang buruk.

Stabilisasi tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah termasuk jenis stabilisasi tanah dengan cara kimiawi. Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran antara *Rotec* dan abu ampas tebu dengan variasi yang berbeda.

3.3 Abu Ampas Tebu Dan *Rotec* Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah

3.3.1 Abu Ampas Tebu (*Baggase Ash*)

Abu ampas tebu (*Baggase Ash*) adalah hasil pembakaran ampas tebu dari pembuangan limbah pabrik gula, dalam penelitian ini limbah pabrik gula yang digunakan adalah limbah dari Pabrik Gula Madukismo Yogyakarta, yang dibakar menjadi abu. Abu ampas tebu memiliki kandungan senyawa silika yang cukup tinggi, sehingga perlu diolah agar bermanfaat sebagai bahan tambah stabilisasi tanah. Ampas tebu itu sendiri merupakan hasil limbah buangan yang berlimpah dari proses pembuatan gula. Pada saat tanah lempung dicampur dengan abu ampas tebu, unsur-unsur dalam abu ampas tebu yang meliputi Ca, Al, dan Mg akan diserap oleh partikel lempung. Ion-ion unsur tersebut dapat menggantikan ion H^+ di antara lapisan partikel lempung dan mencegah penyerapan air oleh partikel lempung (Angger, 2015)

3.3.2 *Rotec*

Rotec merupakan salah satu jenis bahan stabilisasi tanah yang baru dikembangkan di Indonesia, yang terdiri dari kandungan mineral anorganik. *Rotec* adalah bahan aditif yang berfungsi untuk memadatkan (solidifikasi) dan menstabilkan (*stabilizer*) tanah secara fisik, dengan kandungan kimia ramah lingkungan untuk merekayasa tanah menjadi sekeras batu, menyingkirkan partikel air (*water repellant*) membungkus unsur tanah agar tidak tercampur air, tidak akan lembek terutama saat musim penghujan. Membuat unsur tanah (*soil*) mudah dicampur dengan bahan pengikat seperti semen, yang pada umumnya memadukan pasir dengan semen. Kekuatan dari *Rotec* tersebut jauh melampaui stabilisasi berbahan baku polimer dan fungsinya mirip pembuatan bata merah, unsur air harus dikeluarkan.

Bahan aditif *Rotec* ini telah di uji oleh PT. Cahaya Inti Solusindo dan cocok sekali untuk iklim subtropics dengan intensitas sedang sampai hujan deras sesuai dengan kondisi di Indonesia. Adapun komposisi *Rotec* pada saat pelaksanaan harus dicampur dengan bahan pengikat seperti semen dan juga air. Pada penelitian ini, penelliti akan mencoba penggunaan bahan pengikat semen ini diganti menjadi abu ampas tebu.

3.4 Uji Pemadatan Tanah (*Proctor Standart*)

Pemadatan adalah sebuah usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel. Apabila tanah yang ada di lapangan membutuhkan perbaikan agar dapat mendukung bangunan di atasnya, atau tanah yang akan digunakan sebagai bahan timbunan, maka pemadatan sering dilakukan. Tujuan dari pemadatan adalah :

1. mempertinggi kuat geser tanah,
2. mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas),
3. mengurangi permeabilitas, dan
4. mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lain-lain.

Tujuan tersebut dapat tercapai dengan cara pemilihan bahan timbunan, cara pemadatan, pemilihan mesin pemadat, dan jumlah lintasan yang sesuai. Apabila tanah lempung dipadatkan dengan cara yang benar, maka dapat memberikan kuat geser yang tinggi sedangkan stabilitas terhadap sifat kembang susut tergantung dari jenis kandungan mineralnya. Kepadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

1. usaha pemadatan (atau energi),
2. jenis tanah,
3. kadar air, dan
4. berat satuan kering (*Proctor Standart* menggunakan angka pori) (Bowles, 1986)

Tingkat kepadatan dari suatu tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan (γ_d). Apabila kadar air dari suatu tanah tertentu rendah, maka tanah tersebut keras dan sulit untuk dipadatkan dan kemudian kadar air ditambah, maka

air tersebut berfungsi untuk memudahkan tanah dalam pemadatan dan membuat ruang kosong antar butir-butir menjadi lebih kecil. Pada dasarnya kadar air yang lebih tinggi, tingkat kepadatan akan turun. Hal ini dikarenakan pori-pori tanah menjadi terisi dengan air yang tidak dapat dikeluarkan dengan cara pemadatan. Hubungan antara berat volume kering dengan berat volume basah dan kadar air dinyatakan dalam Persamaan 3.3.

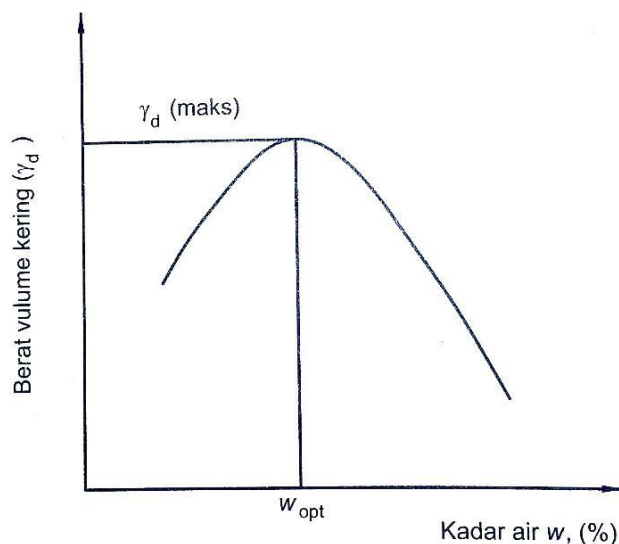
$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+w} \quad (3.3)$$

dengan : γ_d = Berat volume tanah kering (kN/m^3)

γ = Berat volume tanah basah (kN/m^3)

w = Kadar air (%)

Karakteristik kepadatan tanah didapatkan dari pengujian standar laboraterium yang disebut uji *Proctor Standart*. Untuk mendapatkan nilai kadar air optimum (OMC), maka dibuat grafik hubungan antara berat volume kering dengan kadar air. Kurva kadar air dan berat volume kering dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Kurva Kadar Air dan Berat Volume Kering
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Puncak dari kurva merupakan nilai (γ_d) maksimum, dari titik puncak kurva ditarik garis vertikal memotong absis, pada titik ini adalah merupakan kadar air optimumnya.

3.5 Uji Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Dalam dasar pengertian ini, bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

1. kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan normal yang bekerja pada bidang geser,
2. gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan normal pada bidang gesernya.

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis kapasitas dukung tanah, stabilitas lereng, dan gaya dorong pada dinding penahan tanah. (Mohr, 1920 dalam Hardiyatmo, 2010), memberikan teori kondisi keruntuhan suatu bahan. Keruntuhan suatu bahan terjadi, akibat adanya kombinasi keadaan kritis tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuh dinyatakan dengan Persamaan 3.4 berikut ini.

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.4)$$

Keterangan : τ = Tegangan geser saat terjadi keruntuhan atau kegagalan (failure)

σ = Tegangan normal saat kondisi runtuh atau gagal (failure)

Mohr tahun 1910 memberikan teori mengenai kondisi keruntuhan suatu bahan. Keruntuhan tersebut terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Menurut Coulomb tahun 1776 kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.5)$$

keterangan : τ = Kuat geser tanah (kN/m^2)

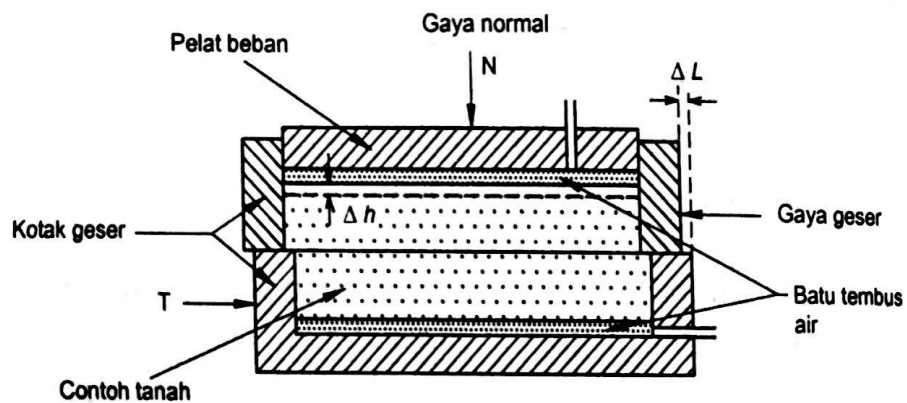
c = Kohesi tanah (kN/m^2)

φ = Sudut gesek dalam tanah (derajat)

σ = Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

3.5.1 Uji Geser Langsung

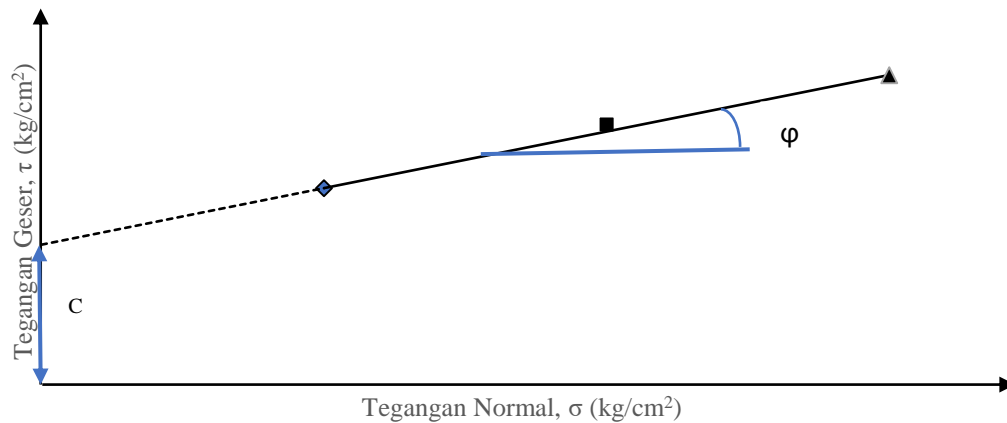
Uji geser langsung merupakan salah satu untuk menentukan kekuatan geser suatu tanah yang berupa nilai kohesi dan sudut geser dalam. Pada pengujian geser langsung kotak geser berbentuk bujursangkar dan terbuat dari besi yang berfungsi sebagai wadah benda uji. Kotak geser terpisah menjadi dua bagian yang sama. Tegangan normal pada benda uji diberikan dari atas kotak geser. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian atau dari kotak geser, untuk memberikan geseran pada tengah-tengah benda uji (Hardiyatmo, 2010). Skema tanah setelah tergeser dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Skema Tanah Setelah Tergeser Uji Geser Langsung
(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Uji geser langsung biasanya dilakukan beberapa kali pada sebuah sampel tanah dengan bermacam-macam tegangan normal. Harga tegangan-tegangan normal τ_f yang didapat dengan melakukan beberapa kali pengujian dapat digambarkan pada sebuah grafik dan selanjutnya kita dapat menentukan harga-

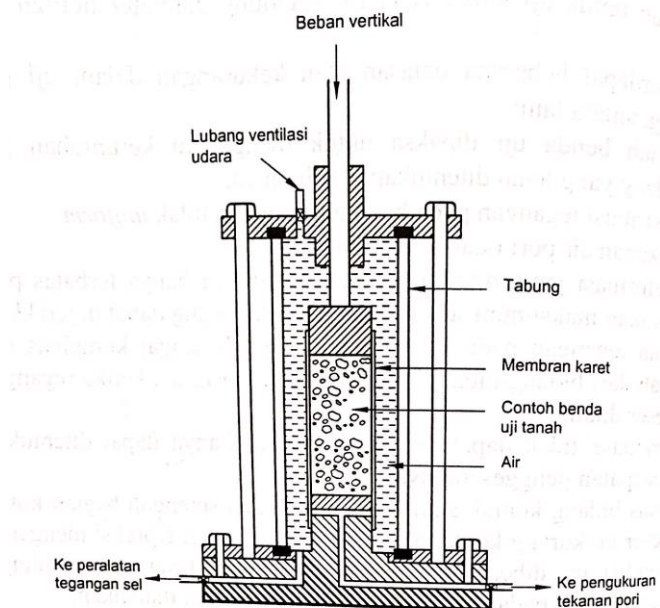
harga parameter kekuatan geser (Das, 1993). Grafik hasil uji geser langsung dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Grafik Hasil Uji Geser Langsung

3.5.2 Uji Triaksial (*Triaxial Test*)

Uji triaksial bertujuan untuk menentukan kekuatan geser suatu tanah yang berupa nilai kohesi dan sudut geser dalam. Pada pengujian ini digunakan tanah benda uji dengan ukuran diameter kira-kira 3,81 cm dan tinggi 7,62 cm. Benda uji dimasukkan dalam selubung karet tipis dan diletakkan ke dalam tabung kaca. Biasanya ruang yang ada di dalam tabung diisi dengan air atau udara. Benda uji diletakkan oleh tekanan sel (σ_3), yang berasal dari tekanan cairan di dalam tabung. Alat pengujian dihubungkan dengan pengatur drainase ke dalam maupun ke luar dari benda uji. Untuk menghasilkan kegagalan geser pada benda uji, gaya aksial dikerjakan melalui bagian atas benda uji. Alat uji triaksial dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.

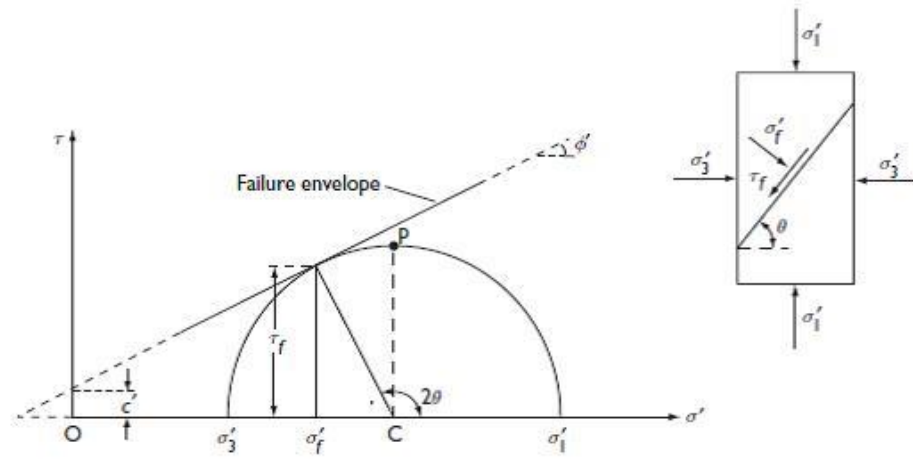


Gambar 3.6 Alat Uji Triaksial

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

Salah satu cara untuk menentukan kuat geser tanah di laboratorium adalah uji triaksial *Unconsolidated-Undrained* (tak terkonsolidasi-tak terdrainase) (UU). Pada uji *Unconsolidated-Undrained* atau *Quick-test* (pengujian cepat), benda uji yang umumnya berupa lempung mula-mula dibebani dengan penerapan tekanan sel (tekanan kekang), kemudian dibebani dengan beban normal, melalui penerapan tegangan deviator ($\Delta\sigma$) sampai mencapai keruntuhan. Pada penerapan tegangan deviator selama penggeseran, air tidak diizinkan keluar dari benda uji. Jadi, selama pengujian katup drainase ditutup, karena air tidak diizinkan mengalir keluar, beban normal tidak ditransfer ke butiran tanahnya. Keadaan tanpa drainase ini menyebabkan adanya kelebihan tekanan pori dengan tidak ada tahanan geser hasil perlawanan dari butiran tanah (Hardiyatmo, 2010)

Kuat geser tanah bisa dinyatakan dalam bentuk tegangan efektif σ'_1 dan σ'_3 pada saat keruntuhan terjadi. Lingkaran Mohr berbentuk setengah lingkaran dengan koordinat (τ) dan (σ') dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut ini.



Gambar 3.7 Lingkaran Mohr Uji Triaksial
(Sumber : Herman, 2015)