

BAB III

LANDASAN TEORI

1.1 Tanah Lempung

Terzaghi & Ralph (1987), menyatakan bahwa tanah liat atau lempung akan menjadi sangat keras dalam keadaan kering dan tak mudah terkelupas hanya dengan jari tangan. Tanah liat atau lempung mempunyai sifat permeabilitas sangat rendah dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Lempung atau tanah liat adalah suatu silika hidraaluminium yang kompleks dengan rumus kimia $Al_2O_3nSi_2kH_2O$ dimana n dan k merupakan nilai numerik molekul yang terikat dan bervariasi untuk masa yang sama. Mineral lempung mempunyai daya tarik menarik individual yang mampu menyerap 100 kali volume partikelnya, ada atau tidaknya air (selama pengeringan) dapat menghasilkan perubahan volume dan kekuatan yang besar. Partikel – partikel lempung juga mempunyai tenaga tarik antar partikel yang sangat kuat yang untuk sebagian menyebabkan kekuatan yang sangat tinggi pada suatu bongkahan kering (batu lempung).

Tanah lempung merupakan partikel – partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm. partikel lempung dapat berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus sehingga tanah lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Terdapat kira-kira 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung. Diantaranya terdiri dari kelompok : *Montmorillonite*, *Illite* dan *Kaolinite*.

Montmorillonite, disebut juga dengan smectite adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembaran silika dan satu lembaran aluminium (gibbsite). Tanah yang mengandung montmorillonite sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. *Illite* adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok illite. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedra yang terikat diantara dua lembaran silika tertrahedra. Susunan illite tidak mengembang oleh gerakan air diantara lembaran-lembarannya. *Kaolinite* merupakan mineral dari kelompok kaolin, terdiri dari susunan satu lembaran silika

tetrahedra dengan satu lembaran aluminium oktahedra. Mineral ini stabil dan air tidak dapat masuk diantara lempengannya untuk menghasilkan pengembangan atau penyutusan pada sel satuannya.

1.2 Sistem Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Klasifikasi tanah dari hasil penelitian digunakan sebagai ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan, analisis hidrometer dan plastisitas. Sistem klasifikasi yang sering digunakan yaitu *Unified Soil Classification System (USCS)* dan *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)* (Hardiyatmo, 2010).

3.2.1 Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System (USCS)*

Sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* mengklasifikasikan tanah menjadi dua kelompok utama sebagai berikut.

1. Tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) merupakan tanah yang mempunyai persentase lolos saringan no.200 lebih dari 50%.
2. Tanah berbutir halus (lanau/lempung) merupakan tanah yang mempunyai persentase lolos saringan no.200 lebih dari 50%.

Tanah juga diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok pada sistem Unified yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Kelompok Tanah Berdasarkan *USCS*

Jenis Tanah	Prefiks	Subkelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi Baik	W
Pasir	S	Gradasi Buruk	P
Lanau	M	Berlanau	M
Lempung	C	Berlempung	C
Jenis Tanah	Prefiks	Subkelompok	Sufiks

Organia	O	WL < 50%	L
Gambut	Pt	WL > 50%	H

(Sumber: Das, 1986)

Prefiks : Tanah Utama

Sufiks : Subdivisi dalam kelompok

Adapun pengelompokan sistem klasifikasi tanah menurut USCS secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Sistem Klasifikasi Tanah Menurut *USCS*

Divisi Utama	Simbol Kelompok	Nama Jenis	Kriteria laboratorium	
Tanah berbutir kasar 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	Kerikil bersih (sedikit atau tak ada butiran halus)	GW	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}D_{60}}$ 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 $PI > 7$	
		GP		
		GM		
		GC		
	Kerikil banyak kandungan butiran halus	SW	Pasir gradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus Pasir gradasi buruk, pasir berkerikil, sedikit atau tidak mengandung butiran halus Pasir berlanau, campuran pasir - lanau Pasir berlempung, campuran pasir - lempung	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$, $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}D_{60}}$ 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 $PI > 7$
		SP		
		SM		
		SC		
Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos saringan no. 200 (0.075 mm)	Lanau dan lempung batas cair 50% atau kurang	ML	Diagram plastisitas. Untuk mengklasifikasi kadar buiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar. Batas Atterberg yang termasuk dalam daerah yang ciri-ciri batuan klasifikasinya menggunakan dua simbol.	
		CL		
		OL		
	Lanau dan lempung batas cair > 50%	MH		
		CH		
	Tanah dengan kadar organik tinggi	P _t		Gambut ("peat") dan tanah lain dengan kandungan organik tinggi

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

3.2.2 Sistem Klasifikasi American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Sistem klasifikasi AASHTO berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, subbase dan subgrade. Sistem ini terutama bertujuan untuk maksud maksud dalam lingkup tersebut. Dalam sistem klasifikasi AASHTO mengklasifikasikan tanah menjadi 7 kelompok, A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2 dan A-3 adalah tanah berbutir dengan 35% atau kurang dari jumlah butiran lolos saringan no.200 sedangkan tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-4, A-5, A-6 dan A-7 adalah tanah berbutir

dengan lebih 35% dari jumlah butiran tanah lolos saringan no.200. Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap “Indeks Kelompok” dengan Persamaan 3.1

$$GI=(F-35)[0,2+0,005(LL-40)]+ 0,01 (F-15)(PI-10) \quad (3.1)$$

GI = indeks kelompok (group index)

F = persen butiran lolos saringan no.200

LL = batas cair

PI = indeks plastisitas

Adapun pengelompokan tanah berdasarkan klasifikasi *AASHTO* dapat dilihat pada Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3.3 Sistem Klasifikasi Tanah Menurut *AASHTO*

Klasifikasi Umum	Bahan-Bahan (35% atau kurang melalui No.200)						Bahan-Bahan Lanau-Lempung (Lebih dari 35% melalui 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, A-7-6
Analisis Saringan Persen Melalui										
No.10	50 maks		51 maks							
No.40	30 maks	50 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
No.200	15 maks	25 maks	10 maks	35 maks	35 maks	35 maks	36 min	36 min	36 min	36 min
Karakteristik fraksi melalui No.40										
Batas Cair			40 maks	41 min	40 maks	41 maks				
Indeks Plastisitas	6 maks		10 maks	10 maks	11 min	10 maks				
Indeks Kelompok	0	0	0	0	4 maks		8 maks	12 maks	16 maks	20 maks
Jenis-jenis bahan pendukung utama	Fragmen batuan, kerikil dan pasir		Pasir Halus	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung			Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Tingkatan umum sebagian tanah dasar	Sangat baik sekali sampai baik						Sedang sampai buruk			

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

3.3 Kapur Tohor

Kapur adalah salah satu jenis batuan sedimen yang terdiri dari mineral utama calcite (kalsium karbonat). Pembentukan kapur dapat terjadi secara mekanik, kimia, dan organik. Mineral calcite banyak terdapat pada organisme laut, oleh karena itu biasanya terbentuk dari cangkang binatang laut, kerang, dan jasad makhluk hidup laut yang telah mati. Kapur mudah larut dalam air terutama yang mengandung CO₂, dan bila ditetesi zat asam maka akan membentuk gas CO₂. Batuan ada yang keras adapula yang lunak. Warna batuan ini umumnya putih keabu-abuan, namun ada juga yang

berwarna merah, kuning, hitam, atau abu – abu gelap. Kapur sering dimanfaatkan sebagai bahan baku semen.

Dalam penelitian ini kapur yang digunakan adalah jenis kapur tohor. Kapur tohor secara umum dikenal sebagai kapur mentah atau kapur bakar, adalah senyawa kimia yang digunakan secara luas. Kalsium oksida merupakan kristal basa, kaustik, zat padat putih pada suhu kamar. Istilah yang luas digunakan “kapur” berkonotasi bahan anorganik yang mengandung kalsium, yang meliputi karbonat, oksida dan hidroksida kalsium, silikon, magnesium, aluminium, dan besi mendominasi, seperti batu gamping. Sebaliknya, “kapur mentah” khusus berlaku untuk senyawa kimia tunggal.

Kapur mentah harganya relatif murah. Keduanya dan turunan kimia (kalsium hidroksida, yang mana kapur mentah anhidrida basa) adalah zat kimia komoditas penting. Kapur tohor adalah bahan penting dalam pembuatan semen. Komposisi dan jenis kapur yang digunakan akan mempengaruhi hasil semen yang dihasilkan.

Nama IUPAC kapur tohor ialah Kalsium oksida, nama lainnya Kapur mentah, kapur bakar, kapur tohor. Adapun sifat-sifatnya adalah:

- 1) rumus molekul: CaO ,
- 2) berat molekul: 56,0774 gr/mol,
- 3) penampilan: Serbuk putih sampai kuning pucat/coklat,
- 4) bau: Tidak berbau,
- 5) densitas: 3,34 gr/cm³,
- 6) titik lebur: 2613 °C, 2886 K, 4735 °F,
- 7) titik didih: 2850 °C, 3123 K (100 hPa),
- 8) kelarutan dalam air: 1,19 g/L (25 °C); 0,57 g/L (100 °C); reaksi eksoterm,
- 9) kelarutan dalam asam: Larut (juga dalam gliserol, larutan gula),
- 10) kelarutan dalam methanol: Tidak larut (juga dalam dietil eter, n-oktanol),
- 11) keasaman (pK_a): 12,8,

- 12) entropi molar standar S_{298}^{\ominus} : $40 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,
- 13) entalpi pembentukan standar $\Delta_f H_{298}^{\ominus}$: $-635 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, dan
- 14) titik nyala: tidak terbakar.

3.4 Matos

Matos adalah bahan stabilisasi dan pemadatan (solidifikasi) tanah dan juga sebagai zat additive untuk mempertahankan fungsi terutama kesuburannya, produk ini berupa material serbuk halus atau tepung yang terdiri dari komposisi logam dan garam atau mineral anorganik dan lain-lain.

Fungsi Matos apabila tanah kita lihat secara mikroskopis, maka pada permukaan tanah tersebut terdapat lapisan air yang tipis, maka pada permukaan tanah tersebut terdapat lapisan air yang tipis, kira-kira ketebalannya 0,5 m. lapisan ini memiliki kekuatan yang luar biasa, diperkirakan sekitar 2.000 kg untuk setiap 1 cm², untuk memindahkan lapisan air ini dibutuhkan energi yang besar. Sifat air yang melekat ini agak berbeda dengan air biasa yang kita ketahui. 1 cc = 1 gram pada suhu 40 °C untuk air normal, tetapi air ini adalah 1 cc = 1,4 gram. Air ini dapat bergerak dengan arah horizontal tetapi tidak dapat bergerak secara vertikal. Air inilah yang menghambat semen menjadi keras. Terbentuknya humus adalah dengan melarutnya tanaman-tanaman yang sudah mati kedalam air yang menempel pada permukaan tanah dan humus (humic acid/R₂COOH) ini menghambat terjadinya kontak antara kation kalsium (Ca^{2+}) pada semen dan anion (-) dari partikel-partikel tanah.

Pada saat penggunaan Matos, harus melarutkannya kedalam air pada tingkat kelarutan (molaritas) 10%. Beragamnya komponen Matos memperlemah fungsi negative dari humus dan akan menurunkan kadar humus itu sendiri. Kemudian, kation kalsium (Ca^{2+}) pada semen dapat menempel langsung dipermukaan tanah. Matos melarutkan asam humus (humus acid) yang terdapat di dalam tanah serta menghilangkan efek penghambatan ikatan ion, sehingga partikel tanah menjadi lebih

mudah bermuatan ion negative (anion), sehingga kation Ca^{2+} dapat mengikat langsung dengan mudah pada partikel tanah.

Matos membantu menyuplai lebih banyak ion pengganti dan membentuk senyawa asam alumunium silica sehingga membentuk struktur sarang lebah 3 dimensi diantara partikel-partikel tanah. Kalau pencampuran semen yang mengandung sulfur (SO_3) dengan tanah tidak melibatkan Matos, maka ketika bercampur dengan air tanah atau terkena air hujan akan menghasilkan sulfuric acid yang menyebabkan terjadinya keretakan, dimana reaksi kimianya sebagai berikut : $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_4$. Hal ini akan berbeda jika Matos dilibatkan, dimana pada saat terjadi pengikatan semen pada partikel tanah dan mengering karena reaksi dehidrasi, akan terbentuk kristal-kristal yang muncul diantara campuran semen yang mengikat partikel tanah. Kristal-kristal tersebut menyerupai jarum-jarum, secara intensif akan bertambah banyak dan membesar yang nantinya membentuk rongga-rongga mikron yang bisa menyerap air (porositas), sehingga tidak akan terjadi keretakan.

3.5 Sifat Fisik Tanah

3.5.1 Kadar Air (w)

Kadar air adalah perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) yang dinyatakan dalam persen. Nilai tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.2 dibawah ini.

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (3.2)$$

dengan,

w = Kadar Air (%)

w_w = Berat Air (gr)

w_s = Berat Tanah (gr)

3.5.2 Analisis Ukuran Butiran

Analisis ukuran butiran ini dilakukan untuk menentukan persentase ukuran butir yang berbeda terkandung dalam sebuah tanah. analisis mekanis atau saringan dilakukan untuk menentukan distribusi kasar itu, partikel berukuran lebih besar dan hidrometer yang metode yang digunakan untuk menentukan distribusi partikel halus.

Tanah berbutir kasar atau tanah yang memiliki diameter butiran tanah yang lebih besar dari 0,075 mm atau yang tertahan no. 200 dapat dilakukan dengan cara penyaringan. Tanah uji disaring melewati susunan saringan standar ASTM D 422-72. Untuk tanah berbutir halus (butir-butir tanah yang memiliki diameter lebih kecil dari 0,075 mm atau yang lolos saringan no. 200), agar dapat diketahui ukuran butiran tanah tersebut dapat dilakukan dengan pengujian hydrometer. Analisis hydrometer didasarkan pada prinsip pengendapan (sedimentasi) butir-butir tanah dalam air.

3.5.3 Berat Jenis (Gs)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w). Nilai berat jenis dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.3 di bawah ini.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad (3.3)$$

dengan,

G_s = Berat Jenis

γ_s = Berat Tanah (gr/cm^3)

γ_w = Volume Total Tanah (gr/cm^3)

Jenis-jenis tanah berdasarkan berat jenis (G_s) yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Macam-Macam Tanah Berdasarkan Berat Jenis (G_s)

Macam Tanah	Berat (G_s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau Organik	2,62 – 2,68

Lempung Organik	2,58 – 2,65
Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

3.5.4 Berat Volume Basah (γ_b)

Berat volume basah adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V). Nilai berat volume basah dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.4 Sebagai berikut.

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \quad (3.4)$$

dengan,

γ_b = Berat Volume Basah (gr/cm³)

W = Berat Tanah Basah (gr)

V = Volume Total Tanah (cm³)

3.5.5 Berat Volume Kering (γ_d)

Berat volume kering adalah perbandingan antara berat butiran tanah (Ws) dengan volume total tanah (V). Nilai berat volume kering dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.5 dibawah ini.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (3.5)$$

dengan,

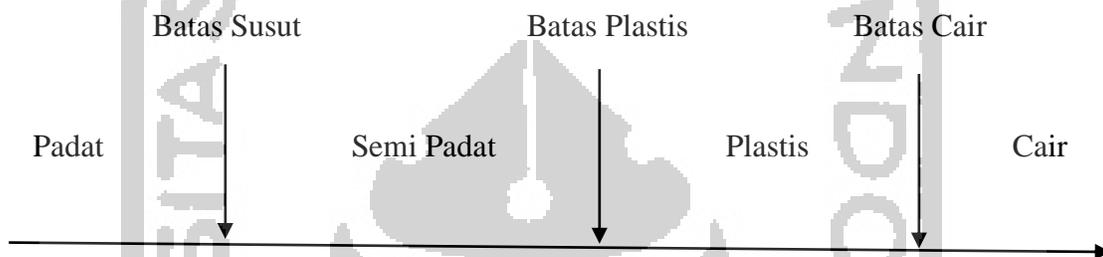
γ_d = berat volume kering (gr/cm³)

Ws = Berat Tanah Kering (gr)

V = Volume Total Tanah (cm³)

3.5.6 Batas-Batas Konsistensi

Batas-batas konsistensi umumnya dinyatakan sebagai indeks konsistensi atau Batasan kadar air yaitu batas susut (*Shrinkage Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*) dan batas cair (*Liquid Limit*) (Widjaja dan Sundayo, 2009) Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Batas-batas Atterberg

(Sumber : Hardiyatmo, 2010)

1. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Batas Susut adalah kadar air dimana konsistensi tanah tersebut berada antara keadaan semi plastis dan kaku, sehingga jika diadakan pengurangan kadar air, tanah tersebut tidak akan berkurang volumenya. Batas susut dalam uji laboratorium dilakukan dengan menggunakan cawan susut. Tanah dimasukkan kedalam cawan susut kemudian dikeringkan dengan oven. Batas susut dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$SL = \left\{ \frac{(V_0)}{W_0} - \frac{1}{G_s} \right\} \times 100\% \quad (3.6)$$

dengan,

SL = Batas Susut Tanah (%)

W_0 = Berat Tanah Kering (gr)

V_0 = Volume Tanah Kering (cm³)

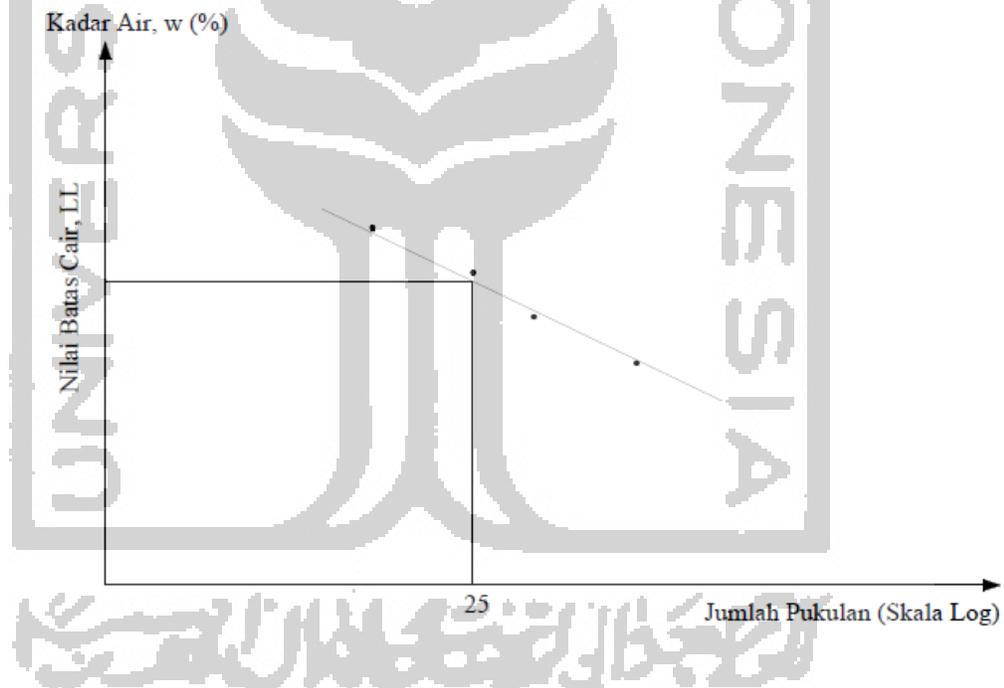
G_s = Berat Jenis

2. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas Plastis (PL) adalah kadar air yang merupakan batas antara konsistensi tanah dalam keadaan semi plastis dan keadaan plastis. Sifat plastis ditentukan berdasarkan kondisi dimana tanah yang digulung dengan telapak tangan mulai retak setelah mencapai diameter kurang lebih 3mm.

3. Batas Cair (*Liquid Limit*)

Batas Cair (LL) adalah kadar air tertentu dimana perilaku tanah berubah dari kondisi plastis ke cair. Pada kadar air tersebut tanah mempunyai kuat geser terendah. Batas cair dalam uji menggunakan alat Casagrande merupakan kadar air pada 25 kali pukulan yang dibutuhkan untuk menutup celah 12,7 mm.



Gambar 3.2 Grafik Penentuan Batas Cair

(Sumber : Hardiyatmo, 2012)

4. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas adalah interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Nilai indeks plastisitas (PI) menunjukkan sifat keplastisan tanah. Indeks plastisitas (PI) dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$PI = LL - PL \quad (3.7)$$

dengan,

PI = Indeks Plastisitas (%)

LL = Batas Cair (%)

PL = Batas Plastis (%)

Nilai indeks plastisitas dapat menunjukkan macam dan sifat tanah. Nilai indeks plastisitas dan macam tanah dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.5 Nilai Indeks Plastisitas dan Macam 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 : Jumikis, 1962 dalam Hardiyatmo, 2010)

3.6 Pematatan Tanah

Pematatan tanah adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara : tidak terjadi perubahan volume air yang cukup berarti pada tanah tersebut. Tingkat pematatan diukur dari berat volume kering yang dipadatkan. Bila air ditambahkan pada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsur pembasah atau pelumas pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih

rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat.

Kadar air yang ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga akan meningkat secara bertahap pula. Adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh partikel-partikel padat dari tanah.

Selain kadar air, faktor-faktor yang mempengaruhi pemadatan adalah jenis tanah. Jenis tanah yang diwakili oleh distribusi ukuran butiran, bentuk butiran tanah, berat spesifik bagian padat tanah. Selain itu jumlah serta jenis mineral lempung yang ada pada tanah mempunyai pengaruh besar terhadap harga berat volume kering maksimum dan kadar air optimum dari tanah tersebut. Pada kadar air yang lebih rendah, adanya tegangan tarik kapiler pada pori-pori tanah mencegah cenderung partikel tanah untuk bergerak dengan bebas untuk menjadi lebih padat. Kemudian tegangan kapiler tersebut akan berkurang dengan bertambahnya kadar air sehingga partikel-partikel menjadi mudah bergerak dan menjadi lebih padat.

Pada pengujian pemadatan tanah dengan uji proctor tanah (proctor, 1933) Tingkat pemadatan tanah diukur berdasarkan berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada tanah yang dipadatkan, air akan berfungsi sebagai unsur pelumas pada partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih solid. Massa volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dilakukan pemadatan) meningkat.

Pada saat kadar air $w = 0$, massa volume basah tanah (γ) sama dengan berat volume keringnya (γ_d), atau $\gamma = \gamma_d(w=0) = \gamma_1$. Bila kadar air ditambahkan secara Continue, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga

meningkat secara Continue pula. Misalnya, pada $w = w_1$, berat volume basah dari tanah sama dengan : $\gamma = \gamma_2$. Setelah mencapai kadar air tertentu $w = w_2$ adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah, hal ini ditimbulkan karena air tersebut kemudian menempati pori pada tanah yang sebetulnya dapat ditempati oleh molekul-molekul padat tanah. Kadar air di mana harga berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut kadar air optimum.

3.7 Nilai Kuat Geser Tanah

Kekuatan geser suatu massa tanah merupakan perlawanan internal tanah tersebut per satuan luas terhadap keruntuhan atau pergeseran sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud. Untuk menganalisis masalah stabilitas tanah seperti daya dukung, stabilitas talud (lereng) dan tekanan tanah ke samping pada turap maupun tembok penahan tanah, mula-mula kita harus mengetahui sifat-sifat ketahanan penggeserannya tanah tersebut

1. Kriteria Keruntuhan Menurut Mohr-Coulomb

Mohr (1980) menyuguhkan sebuah teori tentang keruntuhan pada material yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum saja. Jadi, hubungan antara tegangan normal dan geser pada sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan dalam bentuk berikut (Gambar 3.1a).

Sedangkan untuk garis keruntuhan dapat dilihat dalam Persamaan 3.8

$$\tau = f(\sigma) \quad (3.8)$$

Dengan : τ = tegangan geser (pada saat runtuh)

σ = tegangan normal

Garis keruntuhan (failure envelope) yang dinyatakan oleh Persamaan 3.8 diatas sebenarnya berbentuk garis lengkung seperti terlihat pula pada gambar Gambar 3.3b.

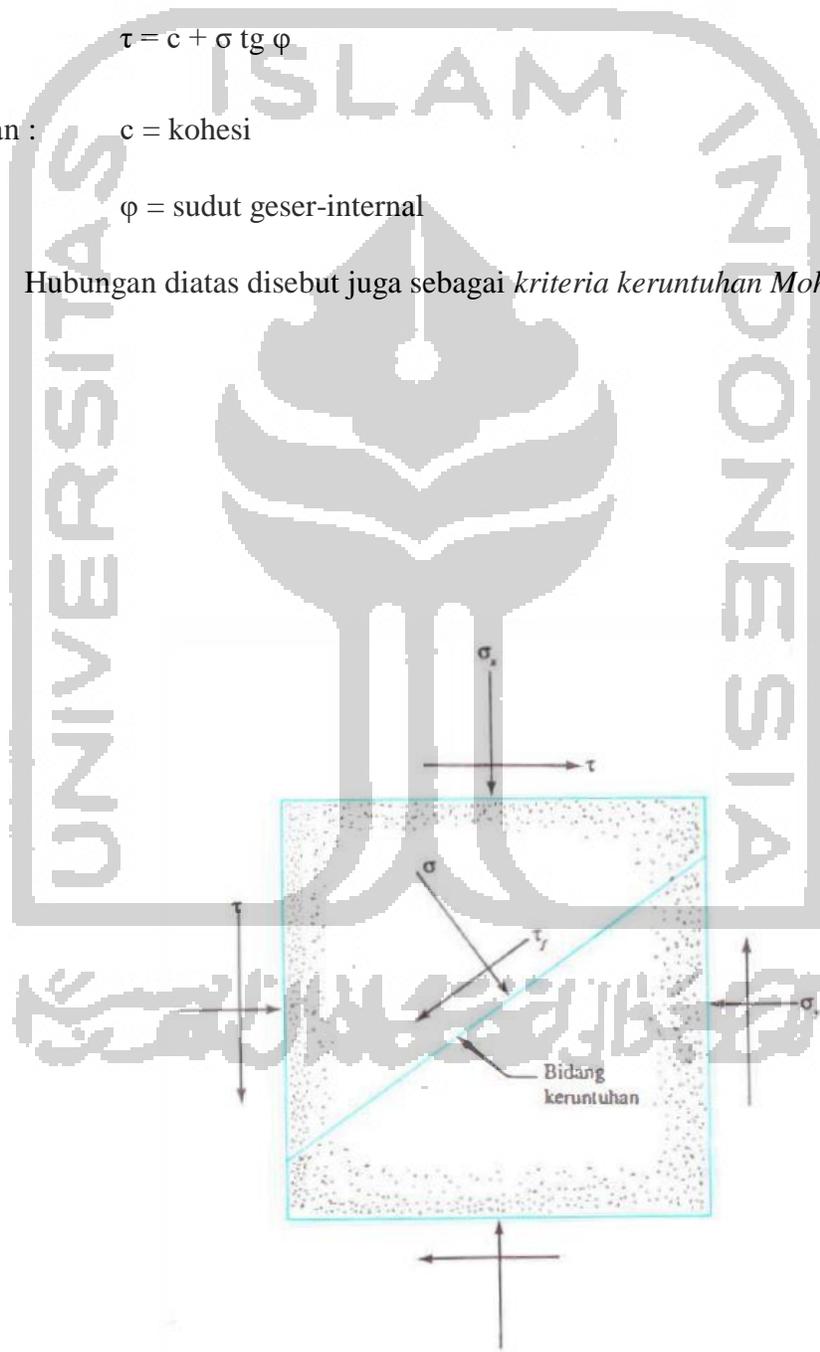
untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan geser (Coulomb, 1776). Persamaan 3.9 itu dapat kita tulis sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (3.9)$$

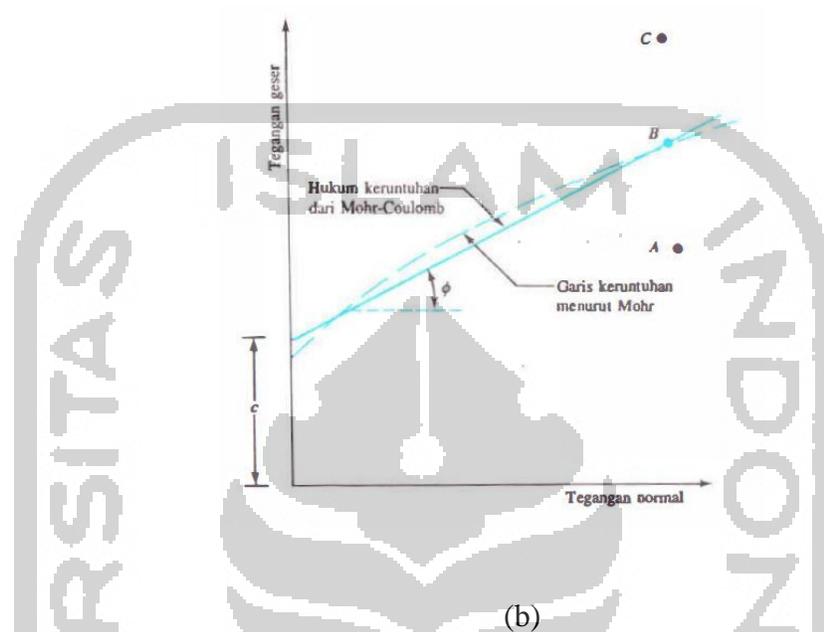
Dengan : c = kohesi

φ = sudut geser-internal

Hubungan diatas disebut juga sebagai *kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb*.



(a)



(b)

Gambar 3.3 Garis Keruntuhan menurut Mohr dan Hukum Keruntuhan Dari Mohr-Coulomb

(Sumber : Das, 1995)

2. Kemiringan Bidang Keruntuhan Akibat Geser

Keruntuhan geser (keruntuhan akibat geser) akan terjadi bila tegangan geser pada suatu bidang mencapai syarat batas yang dirumuskan oleh Persamaan 3.2. untuk menentukan kemiringan bidang keruntuhan dengan bidang utama besar (major principal plane), terletak pada Gambar 3.2. bila bidang keruntuhan tersebut membentuk sudut θ dengan bidang utama besar, menurut ilmu mekanika dapat mencari harga tegangan normal dan geser yang bekerja pada bidang tersebut dan dirumuskan oleh Persamaan 3.10 dan 3.11

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta \quad (3.10)$$

dan

$$\tau_f = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos 2\theta \quad (3.11)$$

Dengan mensubstitusikan kedua Persamaan-persamaan tersebut akan menghasilkan Persamaan 3.12 dan 3.13

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{3} \cos 2\theta = c + \left[\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta \right) \right] \tan \phi \quad (3.12)$$

Atau

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{\sigma_3 \tan \phi + c}{\frac{1}{2} \sin 2\theta - \cos^2 \theta \tan \phi} \quad (3.13)$$

3.7.1 Pengujian Triaksial Tipe Unconsolidated Undrained (UU)

DAS (1998), pada uji air termampatkan-tak terkonsolidasi, kita tidak diizinkan mengalirkan air dari dan ke benda uji selama memberikan tekanan sel σ_3 . Benda uji tadi kita uji sampai runtuh dengan memberikan tegangan deviator $\Delta\sigma_d$, (di arah aksial) tanpa memperbolehkan pengaliran air (dari dan ke dalam benda uji). Karena pengaliran air tidak dapat terjadi di kedua tahap tersebut, maka uji ini dapat diselesaikan dengan cepat. Karena adanya tegangan sel (= tegangan penyekap) σ_3 , tegangan air pori di dalam benda uji tanah tersebut akan naik menjadi u_c (= u_{at} consolidation). Kemudian tegangan air pori ini akan naik lagi sebesar Δu_d akibat dari pemberian tegangan deviator. Jadi, tegangan total air pori di dalam benda uji pada tahap pemberian tegangan deviator yang ditulis dalam Persamaan 3.14 dan 3.15 adalah

$$u = u_c + \Delta u \quad (3.14)$$

$$u_c = B\sigma_3 \text{ dan } \Delta u_d = A \Delta\sigma_d$$

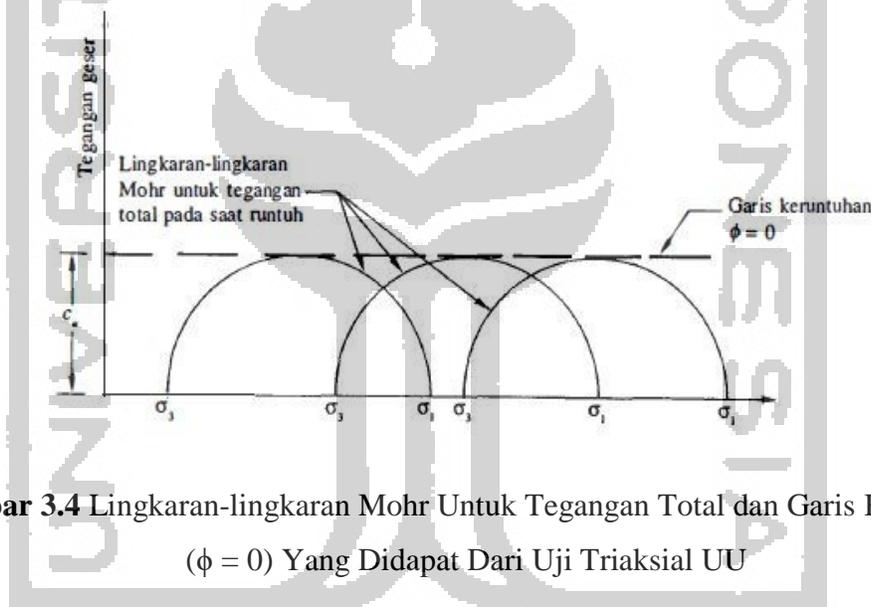
$$u = B\sigma_3 + A (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (3.15)$$

Pada umumnya, pengujian ini kita lakukan dengan sampel tanah lempung dan uji ini menyajikan konsep kekuatan geser tanah yang sangat penting untuk tanah

berkohesi yang jenuh air. Tambahan tegangan aksial pada saat tanah mencapai keruntuhan $(\Delta\sigma_d)_f$ akan praktis selalu sama besarnya, berapapun besarnya harga tegangan cell (Sel) yang ada. Hal ini terlihat pada Gambar 3.4. Garis keruntuhan untuk tegangan total dari lingkaran-lingkaran tegangan Mohr berbentuk garis horizontal dan disebut sebagai garis $\phi = 0$ dan Persamaan 3.16

$$\tau_f = c = c_u \quad (3.16)$$

dengan c_u adalah kekuatan geser air-termampatkan (undrained shear strength) yang besarnya sama dengan jari-jari lingkaran Mohr.



Gambar 3.4 Lingkaran-lingkaran Mohr Untuk Tegangan Total dan Garis Keruntuhan ($\phi = 0$) Yang Didapat Dari Uji Triaksial UU

(Sumber : Das, 1995)

Untuk pengujian ini ditulis pada Persamaan 3.17 dan 3.18

$$\text{Tegangan utama mayor total} = \sigma_3 + \Delta\sigma_{df} = \sigma_1 \quad (3.17)$$

$$\text{Tegangan utama minor total} = \sigma_3 \quad (3.18)$$

Persamaan kuat geser pada kondisi *undrained* dapat dinyatakan dalam Persamaan 3.19 berikut.

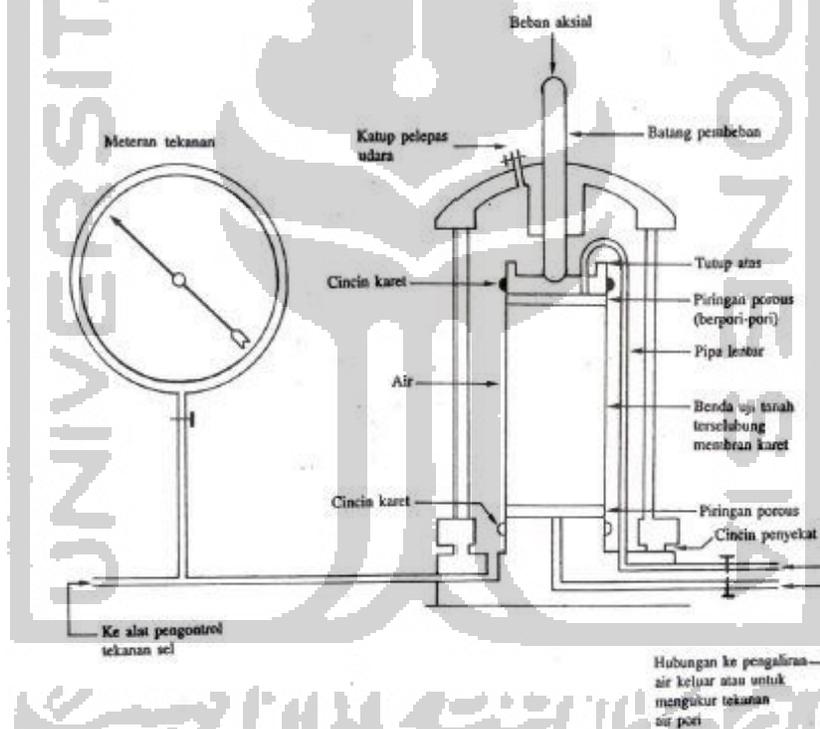
$$C_u = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\Delta\sigma_{df}}{2} = \frac{q_u}{2} \quad (3.19)$$

Keterangan :

C_u = Kohesi *undrained*

$\Delta\sigma_{df}$ = Tegangan deviator

Pada Gambar 3.5, terlihat bagian-bagian yang ada dalam alat uji triaksial secara lengkap.



Gambar 3.5 Alat Uji Triaksial

(Sumber : Das, 1995)