

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Umum

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses fisik dapat terjadi akibat adanya pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Sedangkan proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbon dioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali).

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas yang telah ditentukan. Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran lebih dari satu macam ukuran partikelnya. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja. Akan tetapi, dapat bercampur dengan butir-butir ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasar satu kondisi-kondisi fisik tertentu bisa saja

mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan kondisi-kondisi fisik tertentu lainnya. Oleh karena itu, sejumlah sistem klasifikasi telah dikembangkan disesuaikan dengan maksud yang diinginkan oleh sistem itu.

Saat ini terdapat dua sistem klasifikasi yang dapat digunakan untuk keperluan teknik yaitu *Unified Soil Classification System* dan AASHTO (Hary Christady Hardiyatmo, 1992).

Klasifikasi tanah sistem *Unified* diajukan pertama kali oleh Casagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*United State Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai organisasi konsultan geoteknik.

Klasifikasi tanah sistem AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah guna perencanaan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Karena sistem ini ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut, penggunaan sistem ini dalam prakteknya harus mempertimbangkan maksud aslinya.

1. Klasifikasi Tanah Sistem *Unified*

Pada sistem *unified* tanah diklasifikasikan kedalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika lebih dari 50 % tertahan dalam saringan nomor 200 dan sebagai tanah berbutir halus (lanau dan lempung) jika lebih 50 % lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan sub kelompok yang dapat dilihat dalam lampiran 7.1.

Simbol-simbol yang digunakan tersebut adalah :

G = kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

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

P₊ = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic clay*)

W = gradasi baik (*well graded*)

P = gradasi buruk (*poor graded*)

H = plastisitas tinggi (*high plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low plasticity*)

Prosedur untuk menentukan klasifikasi tanah sistem *Unified* adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan tanah berupa butiran halus atau butiran kasar dengan cara menyaringnya dengan saringan nomer 200.
- b. Jika tanah berupa butiran kasar :
 1. Menyaring tanah tersebut dan menggambarkan grafik distribusi butirannya.
 2. Menentukan persen butiran lolos saringan no. 4. Bila prosentase yang lolos kurang dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai kerikil. Bila persen yang lolos lebih dari 50%, klasifikasikan tanah tersebut sebagai pasir.
 3. Menentukan jumlah butiran yang lolos saringan no. 200. Jika prosentase butiran yang lolos kurang 5%, pertimbangkan bentuk grafik distribusi dengan menghitung C_u dan C_c . Jika termasuk bergradasi baik, maka klasifikasikan sebagai GW (nila kerikil) atau SW (bila pasir). Jika termasuk bergradasi buruk, klasifikasikan sebagai GP (bila kerikil) atau SP (bila pasir).

4. Jika prosentase butiran tanah lolos saringan no. 200 diantara 5 sampai dengan 12%, tanah akan mempunyai simbol *double* dan mempunyai sifat keplastisan (GW-GM, SW-SM, dan sebagainya).
 5. Jika prosentase butiran tanah lolos saringan no. 200 lebih besar 12%, harus diadakan pengujian batas-batas *Atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tertinggal dalam saringan no. 40. Kemudian, dengan menggunakan diagram plastisitas, tentukan klasifikasinya (GM, GC, SM, SC, GM-GC atau SM-SC).
- c. Jika tanah berbutir halus :
1. Menguji batas-batas *Atterberg* dengan menyingkirkan butiran tanah yang tinggal dalam saringan no. 40. Jika batas cair lebih dari 50, klasifikasikan sebagai H (plastisitas tinggi) dan jika kurang dari 50, klasifikasikan sebagai L (plastisitas rendah).
 2. Untuk H (plastisitas tinggi), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas di bawah garis A, tentukan apakah tanah organik (OH) atau anorganik (MH). Jika plotnya jatuh di atas garis A, klasifikasikan sebagai CH.
 3. Untuk L (plastisitas rendah), jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas di bawah garis A dan area yang diarsir, tentukan klasifikasi tanah tersebut sebagai organik (OL) atau anorganik (ML) berdasar warna, bau, atau perubahan batas cair dan batas plastisnya dengan mengeringkan di dalam oven.

4. Jika plot batas-batas *Atterberg* pada grafik plastisitas jatuh pada area yang diarsir, dekat dengan garis A atau nilai LL sekitar 50, gunakan simbol *double*.

3.1.3 Tanah Lempung (*Clay*)

Menurut L.D. Wesley (1972), lempung adalah satu istilah yang dipakai untuk menyatakan tanah yang berbutir halus yang memiliki sifat kohesi, plastisitas, tidak memperlihatkan sifat dilatasi, dan tidak mengandung jumlah bahan kasar yang berarti sedangkan fraksi lempung merupakan bagian berat butir-butir dari tanah yang lebih halus dari 0,002 mm.

Menurut L.D. Wesley (1972), tanah lempung atau dapat juga dikatakan sebagai tanah halus mengandung butir-butir yang sangat kecil dan menunjukkan sifat-sifat plastisitas dan kohesi.

Kohesi menunjukkan bahwa butir-butir tersebut melekat satu sama lainnya, sedangkan plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali pada bentuk aslinya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah.

Perilaku tanah lempung sangat dipengaruhi oleh sifat partikel-partikel lempung secara individual dan air pori. Tipikal tanah lempung secara alami dapat dilihat dari kadar air, angka pori dan berat unit. Tipikal beberapa tipe tanah dalam keadaan asli dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kadar air, angka pori, dan berat unit untuk beberapa tipe tanah dalam keadaan asli

Tipe tanah	Angka pori, e	Kadar air dalam keadaan jenuh, %	Berat volume kering, γ_d kN/m ³
Pasir lepas dengan butiran seragam (<i>loose uniform sand</i>)	0,8	30	14,5
Pasir padat dengan butiran seragam (<i>dense uniform sand</i>)	0,45	16	18
Pasir berlanau yang lepas dengan butiran bersudut (<i>loose angular grained silty sand</i>)	0,65	25	16
Pasir berlanau yang padat dengan butiran bersudut (<i>dense angular grained silty sand</i>)	0,4	15	19
Lempung kaku (<i>stiff clay</i>)	0,6	21	17
Lempung lembek (<i>soft clay</i>)	0,9 – 1,4	30 – 50	11,5 – 14,5
lempung organik lembek (<i>soft organic clay</i>)	2,5 – 3,2	90 – 120	6 – 8
Glacial till	0,3	10	21

(Sumber : Mekanika Tanah I, Braja M. Das, 1995)

Kadar air (w) adalah perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki yang dinyatakan dalam bentuk persen.

Angka pori (e) didefinisikan sebagai rasio antara volume pori dengan volume bahan padat yang selalu dinyatakan dalam suatu desimal.

Berat unit (berat tiap unit volume) adalah berat tanah dibagi dengan berat volumenya, dimana berat unit dari suatu massa tanah dapat dinyatakan dalam pengertian berat unit total (γ), berat unit kering (γ_d) dan berat unit basah (γ_b).

Tanah lempung mempunyai sifat plastisitas yang disebabkan adanya mineral lempung yang dikandungnya. Besarnya plastisitas tanah adalah selisih antara batas

cair dan batas susutnya. Batasan mengenai indeks plastis, sifat, jenis tanah, dan kohesinya diberikan oleh Atterberg terdapat dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Nilai indeks plastisitas dan jenis tanah

IP	Sifat	Jenis 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

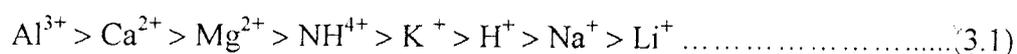
Sumber : Mekanika Tanah I, Hardiyatmo, 1992

3.1.4 Pengaruh Air Pada Tanah Lempung

Tanah lempung banyak dipengaruhi oleh air sehingga luas permukaan spesifik menjadi lebih besar dan variasi kadar air ini akan mempengaruhi plastisitas tanahnya.

Partikel-partikel lempung mempunyai muatan listrik negatif. Dalam suatu kristal yang ideal, muatan positif dan negatif seimbang. Akibat substitusi isomorf dan kontinuitas perpecahan susunannya, terjadi muatan negatif pada permukaan partikel lempungnya. Untuk mengimbangi muatan negatif yang timbul partikel lempung menarik ion muatan positif (kation) dari garam yang ada dalam air porinya.

Susunan kation-kation dalam urutan menurut kekuatan daya tarik menariknya, sebagai berikut :



Urutan tersebut memberikan arti bahwa ion Al^{3+} dapat menggantikan ion Ca^{2+} , Ca^{2+} dapat mengganti Na^+ dan seterusnya. Proses ini disebut dengan pertukaran kation.

Kapasitas pertukaran kation tanah lempung didefinisikan sebagai jumlah pertukaran ion-ion yang dinyatakan dalam miliekivalen per 100 gram lempung kering.

Pada waktu air ditambahkan pada lempung, kation-kation dan anion-anion mengapung di sekitar partikelnya (**Gambar 2.1**). Molekul air merupakan molekul yang dipolar, yaitu atom hidrogen tidak tersusun simetri disekitar atom-atom oksigen (**Gambar 2.2a**). Hal ini berarti bahwa satu molekul air merupakan batang yang mempunyai muatan positif dan negatif pada ujung yang berlawanan atau dipolar (dua kutub) (**Gambar 2.2b**).

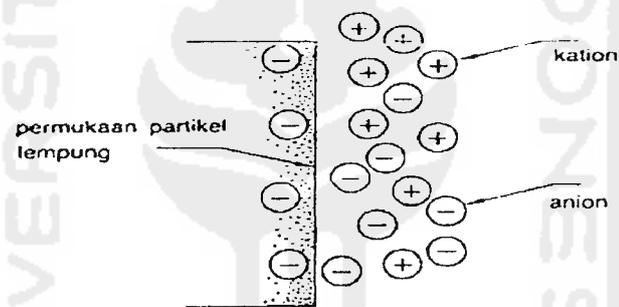
Terdapat tiga mekanisme yang menyebabkan molekul air dipolar dapat tertarik oleh permukaan partikel lempung secara elektrik (**Gambar 2.3**):

1. Tarikan antara permukaan bermuatan negatif dari partikel lempung dengan ujung positif dari dipolar.
2. Tarikan antara kation-kation dalam lapisan ganda dengan muatan negatif dari ujung dipolar. Kation-kation ini tertarik oleh permukaan partikel lempung yang bermuatan negatif.
3. Hubungan atom-atom hidrogen dalam molekul air, yaitu dengan ikatan hidrogen antara atom oksigen dalam partikel lempung dan atom oksigen dalam molekul-molekul air.

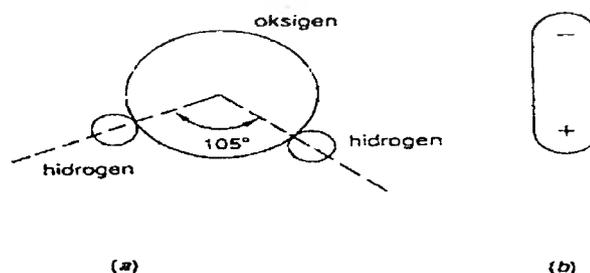
Air yang tertarik secara elektrik, yang berada di sekitar partikel lempung, disebut air lapisan ganda (*double-layer water*). Sifat plastis tanah lempung adalah akibat

kehadiran dari air lapisan ganda. Ketebalan air lapisan ganda untuk kristal kaolinit dan monmorillonit diperlihatkan dalam **Gambar 2.4**.

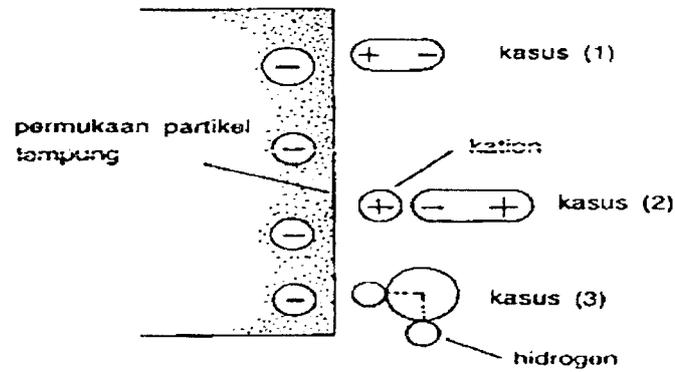
Hubungan mineral-mineral lempung dengan air serapannya memberikan bentuk dasar dari susunan tanahnya. Ikatan antar partikel tanah yang disusun oleh mineral lempung sangat besar dipengaruhi oleh besarnya jaringan muatan negatif pada mineral, tipe, konsentrasi, dan distribusi kation-kation yang berfungsi untuk mengimbangi muatannya.



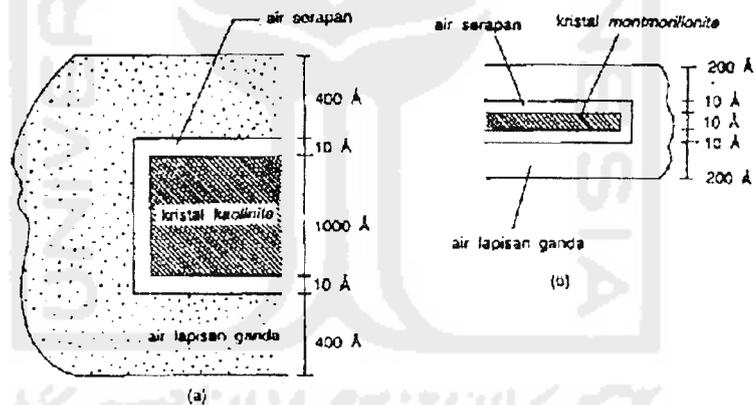
Gambar 3.1 kation dan anion pada partikel lempung
(Mekanika Tanah I, Hary Christady, 1992)



Gambar 3.2 Sifat dipolar air
(Mekanika Tanah I, Hary Christady, 1992)



Gambar 3.3 Molekul air dipolar dalam lapisan ganda
(Mekanika Tanah I, Hary Christady, 1992)



Gambar 3.4 Air pada partikel lempung

- (a) Kaolinit
- (b) Montmorillonit (T.W. Lambe, 1960)

3.2 Macam-macam Kapur

Jenis kapur yang biasa dipakai untuk stabilisasi tanah adalah kalsium oksida dan kalsium hidroksida. Sedangkan kapur alami (kalsium karbonat) tidak efektif

untuk digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah, kecuali hanya sebagai bahan pengisi, yaitu untuk memperbaiki gradasi material berbutir halus.

1. Kapur api (*Quick Lime*)

Kapur api (*quick lime*) yang secara kimia disebut kalsium oksida (CaO) didapat dari pemanasan batu kapur (CaCO_3) untuk mengeluarkan karbon dioksida. Kapur api (*quick lime*) sangat murah jika dibanding dengan hidrat kapur (*hydrated lime*) dan juga paling efektif tetapi kapur jenis ini berbahaya bagi kesehatan seorang peneliti laboratorium.

2. Hidrat Kapur (*Hydrated Lime*)

Hidrat kapur (*hydrated lime*) secara kimia disebut Ca(OH)_2 merupakan hasil reaksi kimia dari kalsium oksida dengan air ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$) yang berupa serbuk yang baik.

3.2.1 Reaksi Tanah dengan Kapur

1. Pertukaran Ion dan Penggumpalan

a. Bidang dari partikel lempung.

Ion-ion kalsium menempatkan kembali sodium dan ion-ion hidrogen menyusun campuran dari penempatan kembali : $\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Ca}^{++} < \text{Mg}^{++}$ (nilai tunggal kation-kation ditempatkan kembali dengan kation-kation yang bernilai banyak).

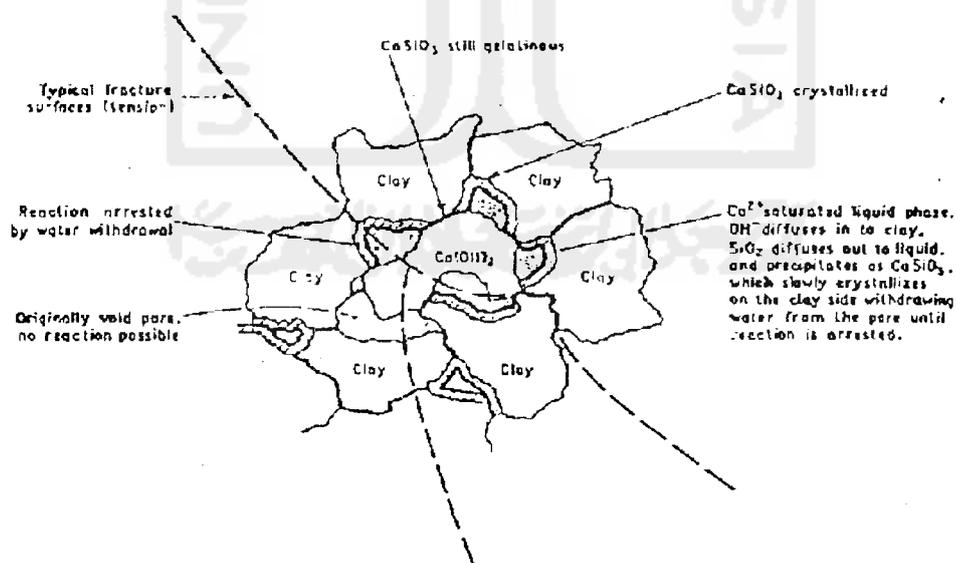
b. Penggumpalan.

Kation-kation kalsium berdesak-desak masuk ke bidang dari mineral lempung. Penambahan dari kation-kation yang bernilai dua (Ca^{++}) ke dalam bidang menarik partikel lempung secara bersama-sama.

2. Reaksi *Pozzolanic*

Kapur bereaksi dengan mineral tanah lempung atau dengan komponen *pozzolanic* seperti silika dan membentuk gel berupa kalsium silikat yang tidak dapat larut dalam air.

Silikat gel tersebut melapisi dan mengikat butiran lempung dalam tanah dan menghalangi pori-pori tanah seperti yang di tunjukkan pada **Gambar 2.8**. Pada waktu yang bersamaan, gel berangsur-angsur mengkristal menjadi kalsium silikat hidrat seperti mikrokristal *tobermorite* dan *hillebrandite*, yang juga saling mengikat secara mekanik satu sama lainnya. Reaksi tersebut hanya terwujud bila terdapat air yang cukup dalam butiran untuk membawa kalsium dan ion *hydroxyl* ke permukaan lempung.(dengan kondisi pH masih tinggi). Reaksi tersebut terjadi hingga proses pengeringan (tidak terdapat lagi air yang digunakan untuk melakukan reaksi) dalam butiran selesai.



Gambar 3.5 Mekanisme dari stabilisasi kapur pada tanah lempung
(After Ingles and Metcalf, 1972)

3.2.2 Kapur Karbid (*Lime Carbide*)

Kapur karbid, dikutip dari Laporan Penelitian berjudul Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Limbah Industri oleh Setyo Winarno pada tahun 1996, adalah sisa proses pembuatan gas astilin yang berupa kapur kalsium tinggi. Sifat-sifat fisik yang dipunyai kapur karbid mirip dengan kalsium hidroksida antara lain :

- a. mempunyai daya ikat air yang cukup tinggi,
- b. bersifat non plastis, karena merupakan bahan berbutir,
- c. diameter butirannya relatif lebih besar daripada tanah lempung,
- d. mempunyai bau karbid yang khas,
- e. senyawa kimia yang terbesar adalah CaO,
- f. mempunyai kemampuan yang cepat untuk mengendapkan Lumpur yang terlarut dalam air, dan
- g. dapat merusakkan kulit.

Rumus kimia kapur karbid adalah sama dengan rumus kimia kalsium hidroksida yang sudah popular digunakan, yaitu kalsium hidroksida yang berupa bubuk (*slurry*) maupun yang berupa kawur (*bulk*) dengan rumus kimia adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Departemen Perindustrian SII 0024, 1973). Adapun proses kimianya sebagai berikut : batu karbid (kalsium karbid/ CaC_2) dipadamkan dengan air (H_2O) akan menghasilkan gas astilin (C_2H_2) dan sisa proses yang berupa kapur karbid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Skema reaksi kimianya disajikan dalam persamaan 3.1



Pada awalnya kapur karbid ini dikeluarkan dari tabung gas astilin berupa koloid (semi cair), karena masih ada gas yang terkandung didalamnya. Kemudian

pada umur sekitar 3 sampai dengan 7 hari setelah pembuangan, gas astilin sisanya sudah menguap semuanya dan menjadi kapur karbid berbentuk serbuk. Kapur karbid yang tertimbun di lapisan bawah menjadi gumpalan-gumpalan yang rapuh. Kapur karbid ini setelah menjadi serbuk, dari pengamatan dilokasi pembuangan kapur karbid ini tidak mengalami proses kimia yang berlanjut, sehingga sifat-sifat fisiknya tidak ada perbedaannya antara yang berumur muda dengan yang telah ditimbun beberapa waktu yang lampau. Kapur karbid ini butir-butirnya hamper seragam jika dilihat secara visual.

Kapur karbid yang dipakai sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung Sedayu telah diuji komposisi kimianya oleh Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Bahan Dan Barang Teknik (BBPPIBBT) di Bandung dan *Superintending Company of Indonesia* (SCI) di Surabaya. (Setyo Winarno, 1996).

Dari kedua pengujian tersebut diketahui adanya senyawa kimia yang tidak berbeda jauh. Hasil yang disajikan di Tabel 3.3 adalah hasil pengujian oleh SCI (karena hasil pengujian ini lebih lengkap dibandingkan dengan BBPPIBBT).

Tabel 3.3 Komposisi kimia kapur karbid (SCI)

No	Senyawa kimia	Kadar
1.	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$	3,49 %
2.	CaO total	59,07 %
3.	CaO aktif	25,39 %
4.	MgO	0,89 %
5.	Pb	63 ppm

Tabel 3.3 (lanjutan)

6.	P	44 ppm
7.	Bahan hilang	24,93 %
8.	Bahan tak larut	1,19 %
9.		

(Sumber : Laporan Penelitian, A-LP-206, Setyo Wirarno, 1996)

3.3. Jenis Pengujian

Tipe pengujian tergantung pada karakteristik tanah dan macam pekerjaannya. Sebagai contoh stabilisasi pada tanah organik dengan kapur dapat meningkatkan kestabilan volume tetapi tidak meningkatkan kekuatannya, sedangkan pada tanah lempung akan meningkatkan kestabilan volume dan kekuatannya (Ingles dan Metcalf, 1972).

Penelitian yang dilakukan adalah stabilisasi tanah lempung dengan bahan tambah kapur karbid bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan memperbaiki kestabilan volume. Pengujian dilakukan di laboratorium dan meliputi jenis pengujian sebagai berikut :

1. Pengujian sifat fisik tanah, meliputi :
 - a. Pengujian analisis ukuran butiran dan analisis hidrometer.
2. Pengujian sifat mekanik tanah, meliputi :
 - a. Pengujian indeks propertis, yaitu kadar air dan berat jenis.
 - b. Pengujian batas-batas konsistensi.
 - c. Pengujian kepadatan tanah, yaitu pengujian proctor standar.
 - d. Pengujian kapasitas dukung tanah, yaitu pengujian kuat tekan bebas.

- e. Pengujian kuat geser tanah, yaitu pengujian Triaksial tipe UU (*unconsolidated undrained*).

Pengujian kepadatan tanah, kuat tekan bebas, dan Triaksial tipe UU berkaitan dengan penelitian mengenai kekuatan. Sedangkan pengujian kadar air, berat jenis, analisis hidrometer, analisis ukuran butiran, batas cair, batas plastis dan batas susut, berkaitan secara langsung dengan kestabilan volume, sifat kemudahan pengolahan, dan klasifikasi tanah menurut sistem *Unified*.

3.3.1 Pengujian Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah merupakan pengujian untuk mengetahui warna, bentuk butiran dan ukuran butiran. Adapun pengujian yang dilakukan pada penelitian ini hanya terbatas untuk mengetahui ukuran butirannya, yaitu pengujian analisis ukuran butiran. Untuk tanah berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaringnya. Tanah benda uji disaring melewati satu susunan saringan standar menurut standar ASTM D 422-72.

Untuk tanah berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar ditentukan dengan cara analisis hidrometer. Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip sedimentasi (pengendapan) butir-butir tanah dalam air.

3.3.2 Pengujian Sifat Mekanik Tanah

1. Pengujian indeks propertis.

Pengujian indeks propertis meliputi pengujian kadar air dan berat jenis. Kadar air tanah didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air yang ada dalam tanah dengan berat kering tanah. Berat jenis tanah adalah nilai perbandingan antara berat

butir-butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Temperatur tersebut biasanya adalah 27,5° C.

2. Pengujian batas-batas konsistensi.

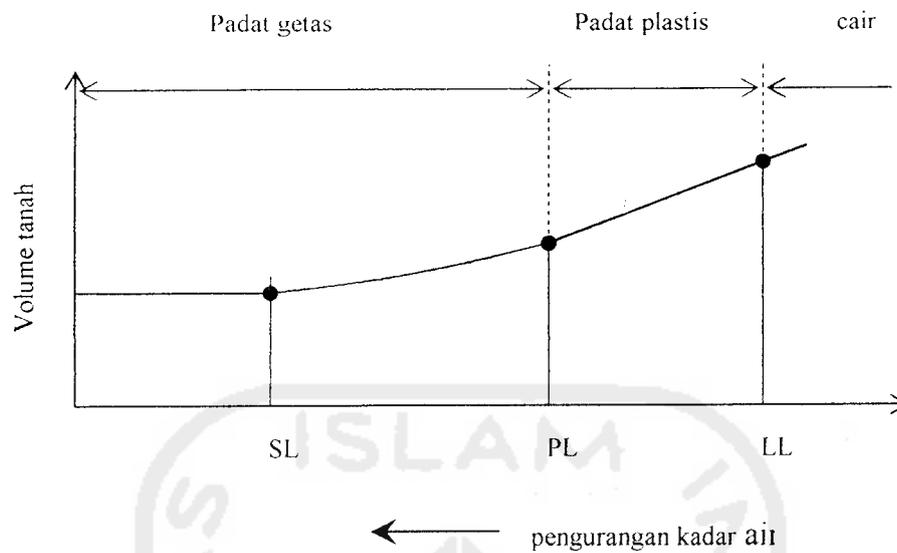
Batas-batas konsistensi adalah batas cair, batas plastis, dan batas susut. Batas cair (*Liquid Limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Nilai batas cair dalam pengujian ini ditentukan dari pengujian Casagrande (1948).

Batas plastis (*Plastic Limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu prosentase kadar air di mana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung.

Batas susut (*Shrinkage Limit*) didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu prosentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanahnya.

Batas-batas tersebut disebut dengan batas *Atterberg*. Batas-batas *Atterberg* berguna untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan jenis tanah. Gambar 3.1 menyajikan hubungan variasi kadar air dan volume total dari tanah pada kedudukan batas cair, batas plastis dan batas susutnya.

Indeks plastisitas (*Plasticity Index*) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas merupakan interval kadar air di mana tanah masih bisa bersifat plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanahnya.

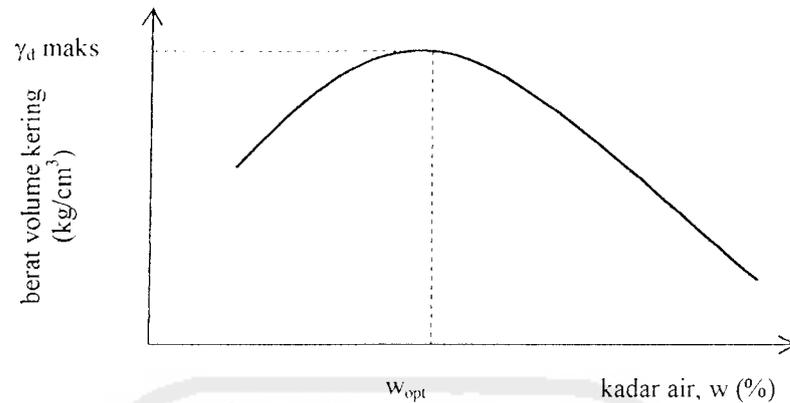


Gambar 3.6 Variasi volume dan kadar air
(Mekanika Tanah I, Hary Christady, 1992)

Indeks plastisitas (*Plasticity Index*) adalah selisih batas cair dan batas plastis. Indeks plastisitas merupakan interval kadar air di mana tanah masih bisa bersifat plastis. Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanahnya.

3. Pengujian kepadatan tanah

Pengujian kepadatan tanah, yaitu pengujian proktor standar. Pengujian ini dilakukan untuk mencari hubungan kadar air dan berat volume tanah, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan. Hubungan antara kadar air dan berat volume kering digunakan untuk menentukan kepadatan maksimum dan kadar air optimum. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.7 Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering
(Mekanika Tanah I, Hary Christady, 1992)

Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam Persamaan 3.2.

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

Pemadatan tanah berpengaruh terhadap kualitas tanah, yaitu :

- mempertinggi kuat geser tanah,
- mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas),
- mengurangi permeabilitas,
- mengurangi perubahan volume sebagai akibat pengurangan kandungan air maksimum yang dapat mengisi pori-pori.

4. Pengujian kapasitas dukung tanah

Pengujian kapasitas dukung tanah yaitu pengujian kuat tekan bebas. Pengujian ini digunakan untuk menentukan kuat geser tanah kohesif secara sederhana. Benda uji berbentuk silinder dengan tinggi sekitar dua kali diameter,

ditempatkan pada alat tekan bebas kemudian diberi beban tekanan dengan kecepatan deformasi 1,5 mm tiap menit. Pada benda uji setelah dilakukan pengujian diukur sudut retak (α) benda uji dengan menggunakan busur.

$$\alpha = 45^\circ + \frac{\phi}{2} \quad (3.4)$$

Keterangan :

α = sudut retak atau patah

ϕ = sudut geser dalam

Dari data pengujian dibuat grafik hubungan antara tekanan dan deformasi yang digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan bebas tanah.

Pengujian ini termasuk hal yang khusus dari pengujian triaksial *unconsolidated undrained*. Kondisi pembebanannya sama dengan yang terjadi pada pengujian triaksial, hanya tegangan selnya nol ($\sigma_3 = 0$).

Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan. Pada saat keruntuhannya, karena $\sigma_3 = 0$ maka :

$$\sigma_1 = \Delta_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u \quad (3.5)$$

dengan q_u adalah kuat geser tanah pada pengujian tekan bebas. Secara teoretis, nilai dari $\Delta\sigma_f$ pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh pada pengujian triaksial *unconsolidated undrained* dengan benda uji yang sama. Jadi,

$$c_u = q_u / (2 \operatorname{tg} \alpha) \quad (3.6)$$

Keterangan

q_u = kuat geser *undrained*

c_u = kohesi *undrained*

Hubungan konsistensi dengan kuat geser tekan bebas (q_u) untuk beberapa jenis tanah lempung dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hubungan kekuatan tekan bebas (q_u) dengan konsistensinya

Konsistensi	q_u (kg/cm ²)
Lempung keras	> 4,00
Lempung sangat kaku	2,00 - 4,00
Lempung kaku	1,00 - 2,00
Lempung sedang	0,50 - 1,00
Lempung lunak	0,25 - 0,5
Lempung sangat lunak	< 0,25

(Sumber : Mekanika Tanah I, Hardiyatmo, 1992)

5. Pengujian kuat geser tanah

Pengujian kuat geser tanah yaitu pengujian Triaksial tipe UU (*unconsolidated undrained*). Pengujian ini digunakan untuk menentukan kuat geser tanah lempung pada kondisi tempat aslinya, dimana angka pori benda uji pada permulaan pengujian tidak berubah dari nilai aslinya di lokasi pada tempat kedalaman contohnya, tetapi

dalam praktek, pada pengambilan contoh benda uji dari lokasi, akan terjadi sedikit tambahan angka pori.

Pada pengujian Triaksial tipe UU (*unconsolidated undrained*). Benda uji mula-mula dibebani dengan penerapan tegangan sel (σ_3), kemudian dibebani dengan beban normal, melalui penerapan tegangan deviator sampai mencapai keruntuhan.

Pada penerapan tegangan deviator ($\Delta\sigma_f$) selama penggeserannya tidak diijinkan air keluar dari benda ujinya. Selama pengujian katup drainasi ditutup. Karena pada pengujian air tidak diijinkan mengalir keluar, beban normal tidak ditransfer ke butiran tanahnya. Keadaan tanpa drainasi ini menyebabkan adanya tekanan kelebihan tekanan pori (*excess pore pressure*) dengan tidak ada tahanan geser hasil perlawanan dari butiran tanahnya.

Untuk pengujian ini :

tegangan utama mayor total = $\sigma_3 + \Delta\sigma_f = \sigma_1$

tegangan utama minor total = σ_3

Persamaan kuat geser pada kondisi *undrained* dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$c_u = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\Delta\sigma_f}{2} = \frac{q_u}{2} \quad (3.7)$$

Keterangan :

$\Delta\sigma_f$ = tegangan deviator

c_u = kohesi

3.4 Parameter Kuat Geser Tanah, c dan ϕ

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis daya dukung tanah, stabilitas lereng, dan tegangan dorong untuk dinding penahan tanah. Pada penelitian ini parameter kuat geser didapatkan dari hasil pengujian kuat tekan bebas dan triaksial tipe *unconsolidated undrained*.

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

1. Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya, tetapi tidak tergantung dari tegangan vertikal yang bekerja pada bidang gesernya.
2. Gesekan antara butir-butir tanah yang besarnya berbanding lurus dengan tegangan vertikal pada bidang gesernya.

Menurut Coulomb (1776) kekuatan geser tanah dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \phi \quad (3.8)$$

Keterangan :

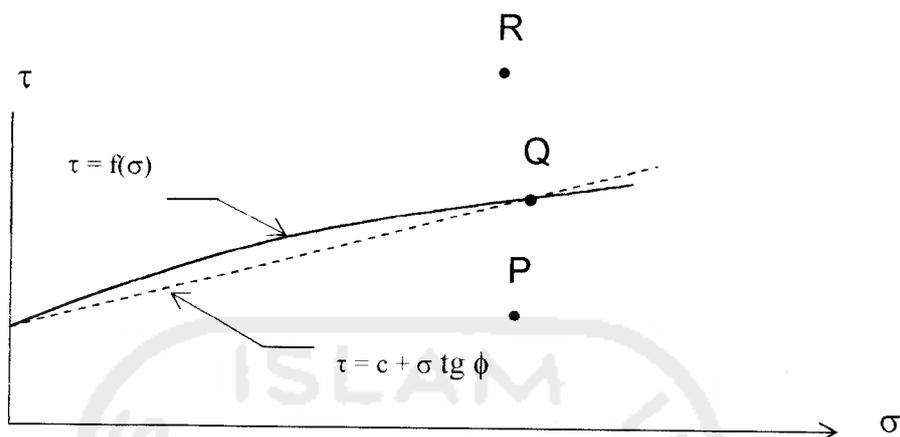
τ = kuat geser tanah

c = kohesi tanah

ϕ = sudut gesek dalam tanah

σ = tegangan normal pada bidang runtuh.

Persamaan (3.2) disebut kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr-coulomb, dimana garis selubung kegagalan dari persamaan tersebut dilukiskan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.8 Kriteria kegagalan Mohr dan Coulomb
(Mekanika Tanah I, Hary Christady, 1992)

Pengertian mengenai keruntuhan suatu bahan dapat diterangkan dalam Gambar 3.3. Jika tegangan-tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan-tegangan mencapai titik Q yang terletak pada garis selubung keagalannya. Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik R tidak akan pernah terjadi, karena sebelum tegangannya mencapai titik R, bahan sudah mengalami keruntuhan. Tegangan-tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tegangan air pori.

Pada kondisi di lapangan, kuat geser tanah sangat dipengaruhi oleh :

1. Keadaan tanah. Pasir, berpasir, kerikil, lempung dan sebagainya.
2. Jenis tanah. Pasir, lempung, lanau, kerikil, dan sebagainya.
3. Kadar air.
4. Jenis beban dan tingkatnya. Dari teori konsolidasi dapat kita ketahui bahwa beban yang cepat akan menghasilkan tekanan pori yang berlebih.

5. Anisotropis. Kekuatan yang tegak lurus terhadap bidang dasar (*bedding plane*) adalah berbeda jika dibandingkan dengan kekuatan yang sejajar dengan bidang tersebut.

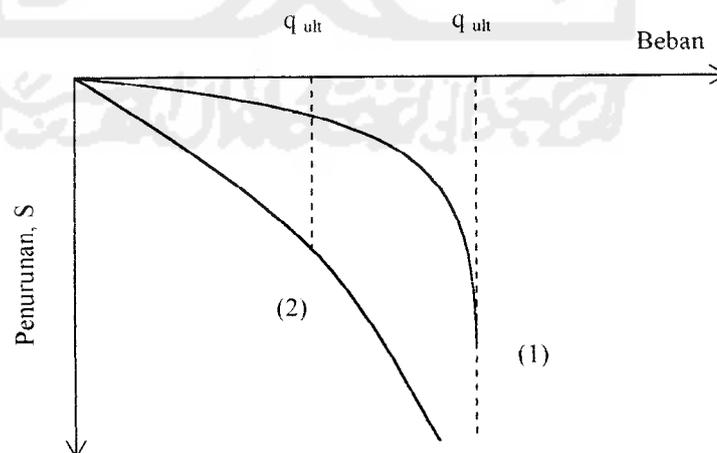
Untuk kondisi di laboratorium, kuat geser sangat dipengaruhi oleh :

1. Metode pengujian yang dilakukan.
2. Gangguan terhadap contoh tanah.
3. Kadar air.
4. Tingkat regangan.

3.5 Kuat Dukung Tanah

Analisis kuat dukung tanah mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban yang bekerja di atasnya. Bila tanah mengalami pembebanan seperti beban pondasi, tanah akan mengalami distorsi dan penurunan.

Gambar kurva penurunan yang terjadi terhadap besarnya beban yang diterapkan diperlihatkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.9 Kurva penurunan terhadap beban yang diterapkan
(Mekanika Tanah II, Hary Christady, 1994)

Pada awalnya, pada beban yang diterapkan, penurunan terjadi kira-kira sebanding dengan bebannya. Hal ini digambarkan sebagai kurva yang mendekati garis lurus, yang menggambarkan hasil distorsi elastis dan pemampatan tanahnya. Bila beban bertambah terus, pada kurva terjadi suatu lengkungan tajam yang dilanjutkan dengan bagian lurus kedua dengan kemiringan yang lebih curam. Bagian ini menggambarkan keruntuhan geser telah terjadi pada tanahnya.

Jika tanah padat, sebelum terjadi keruntuhan di dalam tanahnya, penurunannya kecil dan bentuk kurva penurunan-beban akan seperti yang ditunjukkan pada kurva 1 dalam Gambar 3.4. Kurva 1 menunjukkan kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*). Pada waktu beban ultimit tercapai, tanah melewati fase kedudukan keseimbangan plastis.

Jika tanah sangat tidak padat atau lunak, penurunan yang terjadi sebelum keruntuhan sangat besar. Keruntuhannya terjadi sebelum keseimbangan plastis sepenuhnya dikerahkan, seperti yang ditunjukkan pada kurva 2. Kurva 2 menunjukkan kondisi keruntuhan geser lokal (*lokal shear failure*).

Dari pengujian model yang mengamati kelakuan tanah selama mengalami pembebanan hingga terjadinya keruntuhan, terdapat kenampakan sebagai berikut :

1. Terjadi perubahan bentuk tanah yang berupa penggembungan kolom tanah tepat di bawah dasar pondasinya ke arah lateral dan penurunan permukaan di sekitar pondasinya.
2. Terdapat retakan lokal atau geseran tanah di sekeliling pondasinya.
3. Suatu baji tanah terbentuk di lokasi tepat di bawah pondasinya yang mendesak tanah bergerak ke bawah maupun ke atas.

4. Pada saat keruntuhan terjadi, zona geser melebar dalam batas tertentu dan suatu permukaan geser berbentuk lengkungan berkembang yang disusul dengan gerakan pondasi turun ke bawah. Permukaan tanah di sekitar pondasi selanjutnya mengembang ke atas yang diikuti oleh retakan dan gerakan muka tanah sekitar pondasinya. Keadaan ini menunjukkan keruntuhan geser telah terjadi.

3.5.1 Analisis Kuat Dukung Tanah Metode Terzaghi

Analisis kuat dukung tanah dilakukan dengan menganggap bahwa tanah berkelakuan sebagai bahan bersifat plastis. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Prandl, yang kemudian dikembangkan oleh Terzaghi (1943), Meyerhof (1955), De Beer, dan Vesic (1958).

Untuk menentukan kuat dukung tanah dengan formula Terzaghi perlu diketahui parameter-parameter tanah antara lain : sudut gesek dalam tanah (ϕ), kohesi tanah (c), dan berat volume tanah (γ).

Formula Terzaghi untuk pondasi berbentuk bujur sangkar pada kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*) :

$$q_u = 1,3 c N_c + \gamma D_f N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma \quad (3.9)$$

Keterangan :

c = kohesi tanah pada alas pondasi

D_f = kedalaman pondasi

γ = berat volume tanah pada alas pondasi dan di atas pondasi

B = lebar pondasi

N_c, N_q, N_γ = faktor daya dukung tanah pada alas pondasi

Nilai-nilai N_c , N_q , N_γ dapat di tentukan berdasarkan Tabel 3.5 yang diberikan Terzaghi untuk kondisi keruntuhan geser umum (*general shear failure*).

Tabel 3.5 Nilai-nilai faktor kuat dukung tanah Terzaghi

ϕ	Keruntuhan geser umum		
	N_c	N_q	N_γ
0	5,7	1	0,0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5,0
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	35,0
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4
45	172,3	173,3	297,5
48	258,3	287,9	780,1
50	347,6	415,1	1153,2

(Sumber : Mekanika Tanah II, Hary Christady Hardiyatmo, 1994)