
BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Umum

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan material, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bed rock*). 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, karbondioksida, 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 Metode Stabilisasi Tanah

Pada penelitian ini metode stabilisasi tanah digunakan metode di laboratorium, adapun langkah-langkah yang dilaksanakan dilaboratorium adalah sebagai berikut:

1. sampling tanah disturb dan undisturb dari lapangan (proyek) dipersiapkan

~~untuk uji sifat-sifat fisik tanah dan sifat-sifat mekanik tanah.~~

2. data kadar air asli dan kadar air optimum digunakan untuk pencampuran air pada campuran stabilisasi.

3. Variasi campuran pada umumnya pada enam versi misalnya 2%, 4%, 6%, 8%, 10% dan 12%.

4. Pencampuran stabilisasi, benda uji atau sample sesuai dengan SNI No : 1743- F, 1989 tentang Panduan Pengujian Kepadatan Berat Untuk Tanah, Yayasan Bidang Penerbitan PU, DPU RI.

5. Volume air yang dicampurkan pada sample stabilisasi ditentukan berdasarkan kadar air tanah asli dan kadar air optimum tanah asli padat.

6. sample untuk uji konsolidasi, tekan bebas dan lain-lain, dibentuk dari uji pemadatan proctor.

7. hasil akhir dari uji untuk stabilisasi, akan dapatkan data nilai q_u uji tekan bebas atau uji yang lain sejenis, dari masing-masing variasi campuran.

8. Plot pada grafik, absis variasi campuran dan ordinat q_u . Tentukan berdasarkan grafik tersebut kadar aditif yang optimum.

9. selanjutnya jika pengujian tidak menggunakan uji durabilitas atau pemeraman atau *curing time*, uji sample stabilisasi selesai.

10. Pemeraman dilaksanakan dengan membentuk sample uji untuk uji tekan bebas atau sejenis, dengan melanjutkan pengujian sample dengan kadar aditif optimum.

11. Uji untuk pemeraman, durabilitas, curing time pada sample kadar aditif

optimum bervariasi dengan waktu. Biasanya dengan variasi 0 hari, 3 hari,

7 hari, 14 hari, 21 hari, dan seterusnya kelipatan satu minggu.

3.1.3 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi digunakan untuk mengelompokkan tanah sesuai dengan perilaku umum dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasar satu kondisi fisis tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan kondisi fisis tertentu lainnya. Oleh karena itu sejumlah sistem klasifikasi telah dikembangkan disesuaikan dengan maksud yang diinginkan oleh sistem itu.

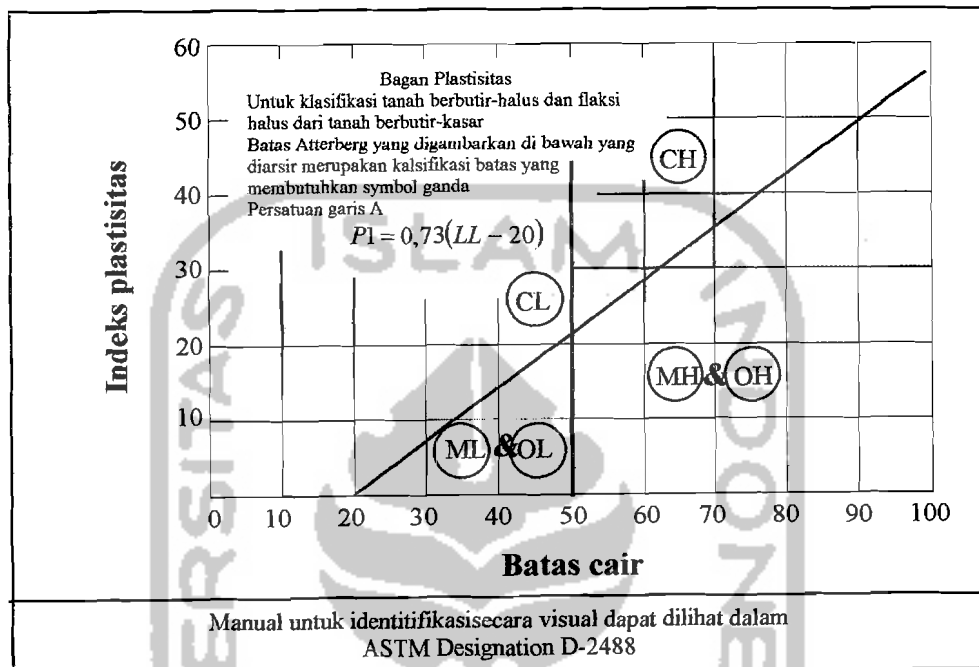
Berdasarkan pemakaiannya, saat ini ada dua sistem klasifikasi yang dapat digunakan untuk keperluan teknik yaitu *Unified Soil Classification Sistem* dan AASHTO (Hary Christady Hardiyatmo, 1992).

Klasifikasi tanah menurut 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.

Menurut Hary Christady Hardiyatmo (1992) Klasifikasi tanah sistem *Unified* diperkenalkan pertama kali oleh Cassagrande (1942), kemudian direvisi oleh kelompok teknisi dari USBR (*Unified State Bureau of Reclamation*). Dalam bentuk yang sekarang, sistem ini banyak digunakan oleh berbagai konsultan geoteknik.

Klasifikasi tanah berdasarkan batas konsistensi tanah, menurut sistem

klasifikasi *unified* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Grafik Sistem Klasifikasi Tanah Unified

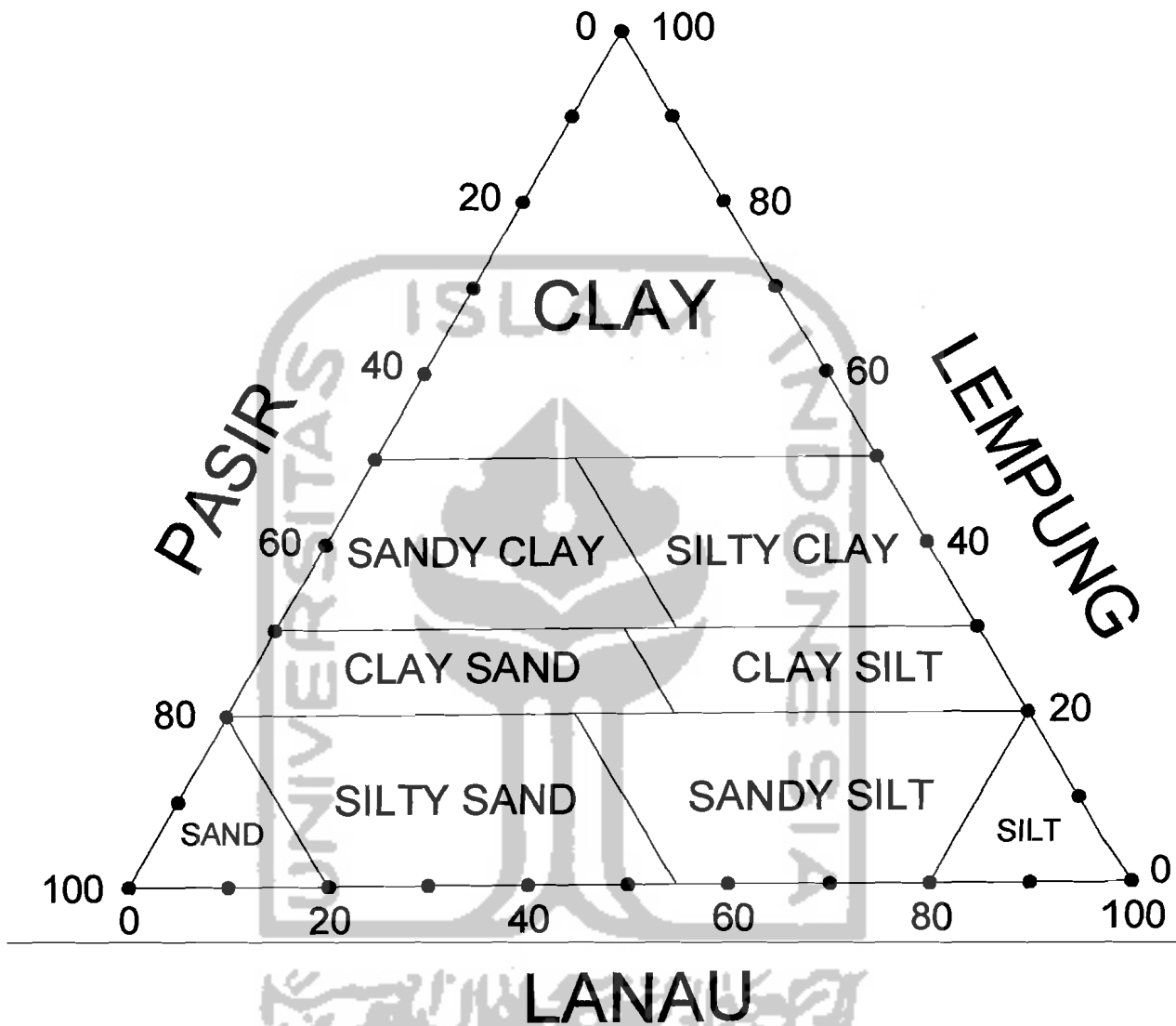
Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Tanah *Unified* Untuk Tanah Lempung

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.
	OL	Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah.
Lanau dan Lempung Batas Cair >50%	MH	Lanau tak organik atau pasir halus diatomea, lanau elastis
	CH	Lempung tak organik dengan plastisitas tinggi.
	OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

Klasifikasi tanah menurut USCS adalah sebagai berikut:



△ USCS (UNTUK TEKNIK SIPIL)

(sumber : Laboratorium Mekanika Tanah UII FTSP, UII)

Gambar 3.2. klasifikasi tanah USCS

3.1.4 Sifat- Sifat Tanah

I. Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah bertujuan mengetahui warna, bentuk butiran dan ukuran butiran. Adapun pengujian yang dilakukan pada penelitian ini hanya untuk mengetahui ukuran butiran.

a. Uji Hidrometer

Untuk tanah berbutir halus (lolos saringan no. 200) dapat diketahui dengan pengujian hidrometer. Analisis hidrometer didasarkan pada prinsip pengendapan (sendimentasi) butir- butir tanah dalam air.

b. Analisa Distribusi Butiran

Tanah uji disaring melewati susunan saringan standar menurut standar ASTM D 422-72.

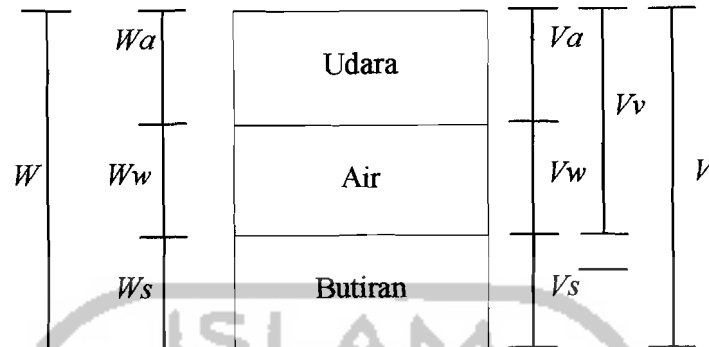
2. Sifat Mekanis Tanah

a. Indeks Properties Tanah

Pada segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian. Dalam tanah yang kering hanya akan terdapat dua bagian, yaitu butir- butir tanah dan pori- pori udara. Dalam tanah yang jenuh juga terdapat dua bagian yaitu bagian padat atau butiran dan air pori. Dalam keadaan tidak jenuh, tanah terdiri dari tiga bagian yaitu bagian padat atau butiran, pori- pori udara dan air pori. Bagian- bagian dari

tanah itu sendiri dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti pada

gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Fase Tanah (HC Hardiyatmo, 1992)

Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan sebagai berikut:

$$W = W_s - W_w$$

$$V = V_s - V_w - V_a$$

$$V_v = V_w - V_a$$

dengan:

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

V_v = volume pori

Berat udara (W_a) dianggap sama dengan nol.

Beberapa definisi dan istilah yang dipakai untuk menyatakan hubungan-

hubungan antara jumlah butir air dan udara dalam tanah sebagai berikut.

a. Kadar Air (w)

Kadar air (w) atau *water content* didefinisikan sebagai perbandingan antara berat air (W_w) dengan berat butiran padat (W_s) dari volume tanah yang diselidiki

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots \dots \dots (3.1)$$

b. Berat Volume Tanah

Berat volume (γ) adalah berat tanah per satuan volume, dengan rumus dasar:

$$\gamma = \frac{W_w + W_s}{V} \dots \dots \dots (3.2)$$

c. Berat Jenis (*Specific Gravity, G_s*)

Berat jenis adalah perbandingan antara volume butiran tanah dengan volume air

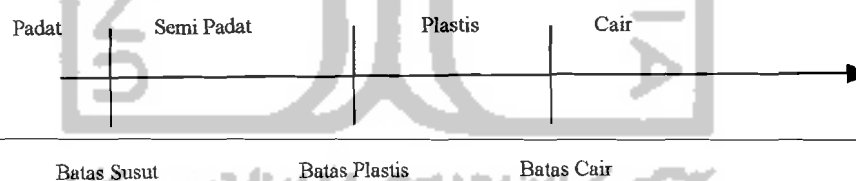
$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_w}{V_s \cdot \gamma_w} \dots \dots \dots (3.3)$$

Berat jenis tidak mempunyai satuan.

b. Batas-Batas Konsistensi Tanah

Apabila tanah berbutir halus mengandung mineral lempung, maka tanah tersebut bila diremas tidak akan pecah/ retak. Sifat kohesif ini disebabkan karena adanya air yang terserap (*absorbed water*) dikeliling partikel lempung. Atterberg dari Swedia telah mengembangkan suatu metoda untuk menjelaskan sifat konsistensi berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Bila kadar air tinggi, campuran tanah dan air menjadi sangat lembek seperti cairan. Atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dibedakan menjadi empat keadaan dasar yaitu: padat, semi padat, plastis dan cair, seperti pada gambar 3.3

Kadar air dinyatakan dalam persen, pada transisi dari keadaan padat ke semi padat disebut batas susut (*shrinkage limit*). Kadar air pada transisi dari keadaan semi padat ke plastis disebut batas plastis (*plastis limit*) dan dari keadaan plastis ke keadaan cair dinamakan batas cair (*liquid limit*).



Gambar 3.4 Batas- Batas Atterberg (Braja M.Das, 1988)

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

Batas Cair didefinisikan sebagai kadar air pada kondisi ketika tanah mulai berubah dari plastis menjadi cair atau sebaliknya yaitu batas antara keadaan cair dan keadaan plastis.

2. Batas Plastis/ *Plastic Limit* (PL)

Didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu prosentase kadar air pada saat tanah mulai retak.

3. Batas Susut/ *Shrinkage Limit* (SL)

Keadaan kadar air pada kedudukan antara daerah semi padat dan padat, yaitu prosentase kadar air dimana pengurangan kadar air selanjutnya tidak mengakibatkan perubahan volume tanah. Batas susut dinyatakan dalam persamaan:

$$SL = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \frac{(V_1 - V_2)\gamma_w}{m_2} * 100\% \dots \dots \dots (3.5)$$

Dengan:

M1 = berat tanah basah dalam cawan percobaan (gr)

M2 = berat tanah kering oven (gr)

V1 = volume tanah basah dalam cawan (cm³)

V2 = volume tanah kering oven (cm³)

4. Indeks Plastis/ *Plasticity Index* (PI)

Indeks plastis tanah adalah selisih antara batas cair dan batas plastis tanah. Indeks plastis didapatkan berdasarkan rumus:

$$PI = LL - PL \dots \dots \dots (3.6)$$

Dengan: PI = indeks plastisitas

LL= batas cair

PL= batas plastis

Seperti disebutkan pada Bab I bahwa tanah berbutir halus memiliki pengembangan dan susut yang tinggi, berdasarkan batas-batas konsistensi yang didapat dari penelitian maka pengembangan suatu tanah dapat diketahui, berdasarkan penelitian Holtz and Gibbs (1956) seperti table berikut,

Tabel 3.2. Klasifikasi Pengembangan Tanah Berdasarkan Indeks Plastisitas dan Shrinkage Limit

Data from Index Test		Probable Expansion (% Total Volume Change)	Degre of Expansion
Plasticity Index	Shrinkage Limit		
>35	<11	>30	Very High
25-41	7-12	20-30	High
15-28	10-16	10-20	Medium
<18	>15	<10	Low

Penelitian lain yaitu dilakukan oleh Chen (1988), hasil penelitian mengenai pengembangan tanah berdasarkan plastisitas indeks terlampir pada table berikut,

Tabel 3.3. klasifikasi Pengembangan Tanah Berdasarkan Indeks Plastisitas

Swelling Potential	Plasticity Index
Low	0-15
Medium	10-35
High	20-55

Penelitian Raman (1967) menunjukkan derajat pengembangan dari fungsi indeks plastisitas dan indeks susut, terlampir pada table berikut,

Tabel 3.4. Klasifikasi Pengembangan Tanah Berdasarkan Indeks Plastisitas dan Indeks Susut

PI (%)	SI (%)	Degree of Expansion
<12	<15	Low
12-23	15-30	Medium
23-32	30-40	High
>32	>40	Very High

c. Uji Proktor Standar

Pengujian ini dilakukan untuk mencari hubungan kadar air dengan berat volume tanah, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan. Selanjutnya terdapat satu nilai optimum tertentu untuk mencapai nilai berat volume kering yang maksimum.

Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya. Hubungan berat volume berat kering (γ_k) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar airnya (w) dinyatakan:

$$\gamma_k = \frac{\gamma_b}{1 + w} \dots \dots \dots (3.7)$$

Kurva yang dihasilkan dari pengujian menunjukkan nilai kadar air yang terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum (MDD). Kadar air pada keadaan ini disebut kadar air optimum (*Optimum Moisture Content*) atau OMC.

Pemadatan tanah berpengaruh pada kualitas tanah, yaitu:

1. meningkatkan kuat geser tanah
2. mengurangi sifat mudah mampat dan permeabilitas
3. mengurangi perubahan volume sebagai akibat pengurangan kandungan air maksimum yang dapat mengisi pori- pori.

Untuk penambahan volume air pada campuran tanah opt + bahan stabilitor, dinyatakan:

$$V = W_{\text{camp}} * \left(\frac{100 + OMC}{100 + W_{\text{mula}}} - 1 \right) \dots\dots\dots (3.8)$$

Dengan : V = Volume air yang ditambahkan

W_{camp} = berat tanah + bahan tambah

OMC = kadar air optimum

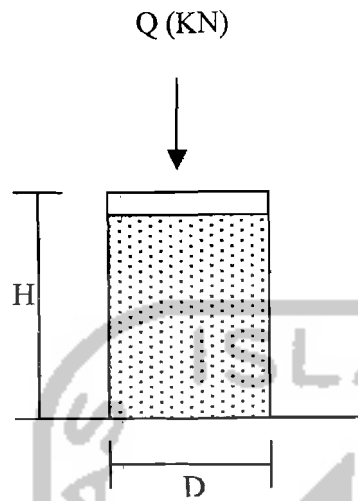
W_{mula} = kadar air awal

d. Uji Tekan Bebas (Unconfined Compression Test)

Maksud dari percobaan ini adalah untuk menentukan besarnya sudut gesek dalam tanah (ϕ), kohesi tanah (c), dan kuat tekan tanah. Khusus untuk sample tanah kohesif (lempung jenuh air), tidak memiliki ϕ ($\phi \approx 0$).

Kuat tekan bebas tanah adalah tekanan vertical yang diberikan untuk menekan silinder tanah sampai pecah atau besarnya tekanan yang menyebabkan pemendekan tanah hingga 20%, bila tanah sampai pemendekan 20% tidak pecah.

Benda uji berbentuk silinder , tinggi silinder harus antara 2 sampai 3 kali diameter.



Gambar 3.5 Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas dinyatakan dalam:

$$q_u = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots(3.9)$$

dengan : q_u = kuat tekan bebas

Q = besar tekanan vertical

A = luas permukaan

Menghitung kohesi tanah dinyatakan dalam:

$$c = \frac{q_u}{2 \operatorname{tg} \alpha} \dots\dots\dots(4.0)$$

dengan : c = kohesi tanah (t/m^2)

α = sudut pecah ($^\circ$)

Menghitung sudut gesek tanah dinyatakan dalam:

$$\phi = 2(\alpha - 45) \dots \dots \dots (4.1)$$

dengan : ϕ = sudut gesek dalam tanah (°)

α = sudut pecah tanah (°)

Kekerasan lempung diukur dari besarnya q_u , sehingga dapat dibedakan menjadi beberapa tingkatan, berikut table:

Tabel 3.5 Klasifikasi lempung

Lempung	Q_u (KN/m^2)
Sangat lunak	0 – 25
Lunak	25 – 50
Sedang / Medium	50 – 100
Kenyal / Stiff (kaku)	100 – 200
Sangat kenyal	200 – 400
Keras / Hard	> 400

e. Uji Triaksial Type UU

Pada pengujian triaksial ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan geser (σ_1) juga ketahu besarnya tegangan normal (σ_3). Setelah mengetahui besarnya tegangan geser dan tegangan normal maka dapat dicari nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (Q_u) dari suatu tanah.

Uji Triaksial dapat dilaksanakan dengan tiga cara:

1. Uji Triaksial *Unconsolidated-Undrained* (tak terkonsolidasi – tak terdrainasi) (UU)
2. Uji Triaksial *Consolidated-Undrained* (terkonsolidasi – tak terdrainasi) (CU)
3. Uji Triaksial *Consolidated-Drained* (terkonsolidasi – terdrainasi) (CD)

Untuk pengujian ini, persamaan kuat geser pada kondisi *Undrained* dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$C_u = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\Delta\sigma_{df}}{2} = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots(4.2)$$

dengan: $\Delta\sigma_{df}$ = tegangan deviator

C_u = kohesi undrained

3.1.4 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 itu harus diketahui sifat- sifat ketahanan penggeser tanah tersebut.

Mohr (1910) memberikan teori mengenai kondisi keruntuhan suatu bahan, bahwa keruntuhan suatu bahan dapat terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya.

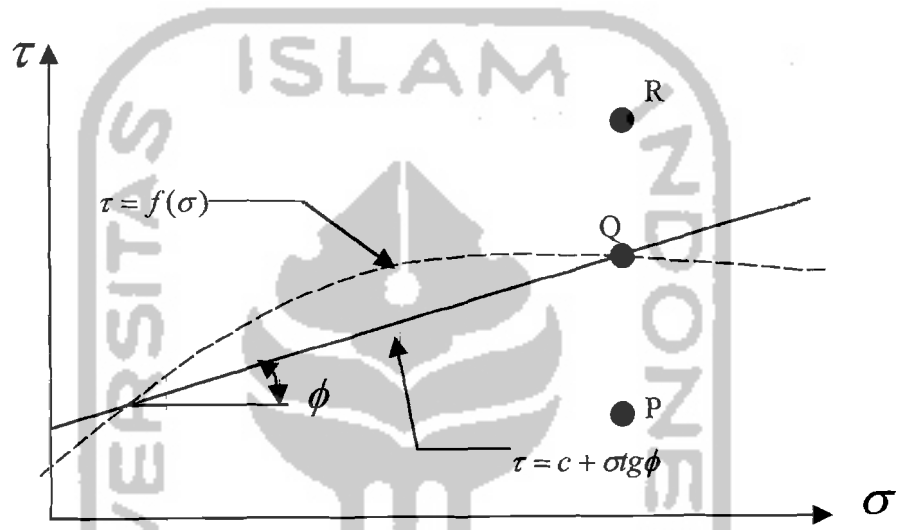
Fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser dengan bidang runtuhnya, dinyatakan dengan persamaan:

$$\tau = f(\sigma) \dots \dots \dots (4.3)$$

dengan : τ = tegangan geser (pada saat runtuh)

σ = tegangan normal

Keruntuhan tanah digambarkan dengan garis yang ditunjukkan dalam kurva



Gambar 3.5 Kriteria Keruntuhan Tanah Menurut Mohr dan Coloumb
(Mekanika Tanah I, Hary Christady, 1992)

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

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (4.4)$$

dengan : $\tau =$ kuat geser tanah (t / m^2)

$c =$ kohesi tanah (t / m^2)

$\phi =$ sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)

$\sigma =$ tegangan normal pada bidang runtuh (t / m^2)

Persamaan (4.4) disebut kriteria kegagalan Mohr-Coloumb, garis selubung kegagalan dari persamaan tersebut dilukiskan dalam gambar (3.5).

Pengertian mengenai keruntuhan suatu bahan dapat diterangkan dalam gambar 3.5. Jika tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan geser tidak terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan mencapai titik Q yang terletak pada garis selubung kegagalan. Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik R tidak akan pernah terjadi, karena sebelum mencapai titik R bahan sudah mencapai keruntuhan.

Pada kondisi dilapangan, kuat geser tanah 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 adalah berbeda jika dibandingkan dengan kekuatan yang sejajar dengan bidang tersebut.

Untuk kondisi dilaboratorium kuat geser sangat dipengaruhi oleh:

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

3.2 Tanah Lempung

Menurut L.D Wesley (1977) lempung adalah suatu istilah yang dipakai untuk menyatakan tanah yang berbutir halus yang bersifat seperti lempung, yaitu memiliki sifat kohesi, plastisitas, dan tidak mengandung bahan kasar yang berarti.

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

3.2 Tanah Lanau

Lanau merupakan tanah butir halus yang bersifat non plastis, dan tidak stabil dalam kehadiran air, lanau mendekati kedap air, sulit untuk padat, dan memiliki kepekaan yang tinggi untuk mengeras.

Tanah lanau dalam perubahan volume tanah diikuti dengan perubahan bentuk, keadaan ini sesuai dengan lempung yang mengalami perubahan volume yang diikuti dengan perubahan bentuk (U.S.D.I, 1965)

3.3 Arang Aktif

Merupakan hasil dari pembakaran zat organik seperti kayu, arang memiliki sifat menghisap yang besar untuk gas, uap, zat warna dan sebagainya. Dengan sifat- sifat seperti itu maka diharapkan arang dapat memberikan kuat geser kepada tanah lempung, dengan bisa mengikat uap air, dan gas yang berada dalam tanah lempung sehingga dihasilkan tanah lempung yang memiliki rongga yang lebih kecil dikarenakan jumlah uap air dan gas yang berada dalam tanah lempung diikat oleh arang (*Vademekum Teknik*, 1953).

3.4 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 dimiliki 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. mempunyai bau karbid yang khas
- d. senyawa kimia yang terbesar adalah CaO
- e. mempunyai kemampuan yang cepat untuk mengendapkan Lumpur yang terlarut dalam air
- f. dapat merusak kulit

Kapur karbid yang dipakai sebagai bahan stabilisasi pada tanah lempung

Sedayu telah diuji komposisi kimianya oleh Superintending Company of

Indonesia (SCI) di Surabaya. (Setyo Winarno, 1996). Berikut table komposisi

kabir karbid (SCI):

Tabel 3.6 Komposisi Kapur Karbid

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
6.	Cu	12 ppm
7.	P	44 ppm
8.	Bahan hilang	24,93%
9.	Bahan tak larut	1,19%