

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah

Tanah merupakan lapisan kerak bumi yang berada di lapisan paling atas, yang juga merupakan tabung reaksi alami yang menyangga seluruh kehidupan yang ada di bumi. Tanah mempunyai ciri khas dan sifat-sifat yang berbeda-beda antara tanah di suatu tempat dengan tempat yang lain. Sifat-sifat tanah itu meliputi fisika dan sifat kimia. Beberapa sifat fisika tanah antara lain tekstur, struktur dan kadar lengas tanah. Untuk sifat kimia menunjukkan sifat yang dipengaruhi oleh adanya unsur maupun senyawa yang terdapat di dalam tanah tersebut.

Tanah merupakan suatu benda alam yang tersusun dari padatan (bahan mineral dan bahan organik), cairan dan gas, yang menempati permukaan daratan, menempati ruang, dan dicirikan oleh salah satu atau kedua berikut: horison-horison, atau lapisan-lapisan, yang dapat dibedakan dari bahan asalnya sebagai hasil dari suatu proses penambahan, kehilangan, pemindahan dan transformasi energi dan materi, atau berkemampuan mendukung tanaman berakar di dalam suatu lingkungan alami (Soil Survey Staff, 1999).

Tanah adalah kumpulan butiran (agregat) mineral alami yang bisa dipisahkan oleh suatu cara mekanik bila agregat termaksud diaduk dalam air (Terzaghi, 1987).

Tanah adalah kumpulan dari bagian-bagian yang padat yang tidak terikat satu dengan yang lain yang diantara terdiri dari material organik, rongga-rongga diantara material tersebut berisi udara dan air. (Verhoef, 1994).

Tanah didefinisikan sebagai suatu lapisan kerak bumi yang tidak menjadi satu dengan ketebalan beragam yang berbeda dengan bahan-bahan dibawahnya, juga tidak beku dalam hal warna, bangunan fisik, struktur susunan kimiawi, sifat biologi, proses kimiawi ataupun reaksi-reaksi (Sutedjo, 1988).

Tanah didefinisikan sebagai suatu sistem tiga fase yang mengandung air, udara dan bahan-bahan mineral dan organik serta jasad-jasad hidup, yang karena pengaruh berbagai faktor lingkungan pada permukaan bumi dan kurun waktu, membentuk berbagai hasil perubahan yang memiliki ciri-ciri morfologi yang khas (Schoeder, 1972).

Pengertian tanah menurut Bowles (1984), tanah merupakan campuran partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis unsur-unsur sebagai berikut :

1. Berangkal (*Boulder*) adalah potongan batuan batu besar, biasanya lebih besar dari 200mm-300mm dan untuk kisaran ukuran-ukuran 150mm-250mm, batuan ini disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).

2. Pasir (*sand*) adalah partikel batuan yang berukuran 0,074mm–5mm, yang berkisar dari kasar (3mm–5mm) sampai halus (< 1 mm).
3. Lanau (*silt*) adalah partikel batuan yang berukuran dari 0,002mm–0,074mm.
4. Lempung (*clay*) adalah partikel yang berukuran lebih dari 0,002mm, partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi dari tanah yang kohesif.
5. Koloid (*colloids*) adalah partikel mineral yang diam, berukuran lebih dari 0,01mm.

B. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tetapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan yang terinci (Das, 1995).

Tujuan klasifikasi tanah adalah untuk menentukan kesesuaian terhadap pemakaian tertentu, serta untuk menginformasikan tentang keadaan tanah dari suatu daerah kepada daerah lainnya dalam bentuk berupa data dasar. Klasifikasi tanah juga berguna untuk studi yang lebih terinci mengenai keadaan tanah tersebut serta kebutuhan akan pengujian untuk menentukan sifat teknis tanah seperti karakteristik pemadatan, kekuatan tanah, berat isi, dan sebagainya (Bowles, 1989).

Jenis dan sifat tanah yang sangat bervariasi ditentukan oleh perbandingan banyak fraksi-fraksi (kerikil, pasir, lanau dan lempung), sifat plastisitas butir halus. Klasifikasi bermaksud membagi tanah menjadi beberapa golongan tanah dengan kondisi dan sifat yang serupa diberi simbol nama yang sama.

Ada dua cara klasifikasi yang umum yang digunakan:

1. Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem Klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dikembangkan pada tahun 1929 dan mengalami beberapa kali revisi hingga tahun 1945 dan dipergunakan hingga sekarang, yang diajukan oleh *Commite on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board* (ASTM Standar No. D-3282, AASHTO model M145). Sistem klasifikasi ini bertujuan untuk menentukan kualitas tanah guna pekerjaan jalan yaitu lapis dasar (*sub-base*) dan tanah dasar (*subgrade*).

Sistem ini didasarkan pada kriteria sebagai berikut :

a. Ukuran butir

Kerikil : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 75 mm dan tertahan pada saringan diameter 2 mm (No.10).

Pasir : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 2 mm dan tertahan pada saringan diameter 0,0075 mm (No.200).

Lanau & lempung : bagian tanah yang lolos saringan dengan diameter 0,0075 mm (No.200).

b. Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai Indeks Plastisitas (IP) sebesar 10 atau kurang. Nama berlempung dipakai bila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

- c. Apabila ditemukan batuan (ukuran lebih besar dari 75 mm) dalam contoh tanah yang akan diuji maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu, tetapi persentasi dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

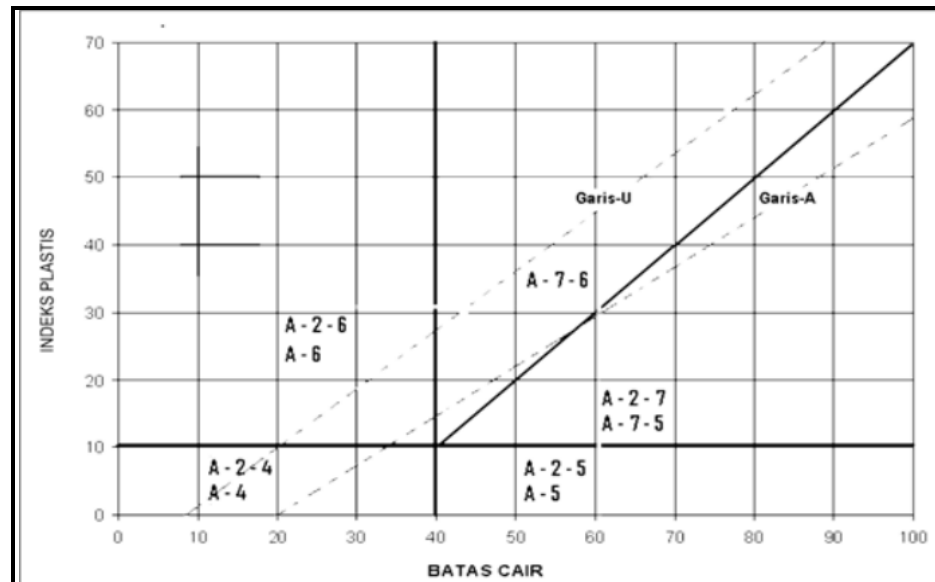
Sistem klasifikasi AASTHO membagi tanah ke dalam 7 kelompok utama yaitu A-1 sampai dengan A-7. Tanah berbutir yang 35 % atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No.200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-1, A-2, dan A-3. Tanah berbutir yang lebih dari 35 % butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5 A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung.

Untuk mengklasifikasikan tanah, maka data yang didapat dari percobaan laboratorium dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan dalam Tabel 2.1. Kelompok tanah dari sebelah kiri adalah kelompok tanah baik dalam menahan beban roda, juga baik untuk lapisan dasar tanah jalan. Sedangkan semakin ke kanan kualitasnya semakin berkurang

Tabel 2.1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 41
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (Lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-4		A-5		A-6		A-7
Analisis ayakan (% lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36		Min 36		Min 36		Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastisitas (PI)	Maks 40 Maks 10		Maks 41 Maks 10		Maks 40 Maks 11		Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau				Tanah Berlempung		
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Gambar dibawah ini menunjukkan rentang dari batas cair (LL) dan Indeks Plastisitas (PI) untuk tanah data kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7.



Gambar 2.1. Nilai-nilai batas *Atterberg* untuk subkelompok tanah.
(Hary Christady, 1992).

2. Sistem Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

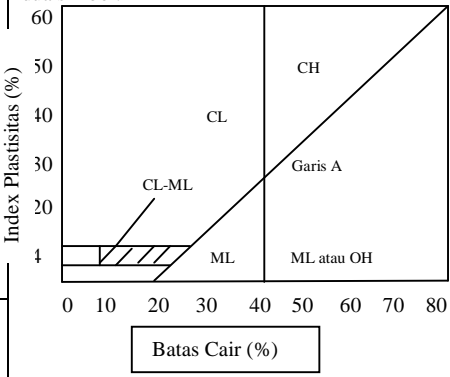
Sistem klasifikasi tanah *unified* atau *Unified Soil Classification System* (USCS) diajukan pertama kali oleh *Casagrande* dan selanjutnya dikembangkan oleh *United State Bureau of Reclamation* (USBR) dan *United State Army Corps of Engineer* (USACE). Kemudian *American Society for Testing and Materials* (ASTM) memakai USCS sebagai metode standar untuk mengklasifikasikan tanah. Dalam bentuk sekarang, sistem ini banyak digunakan dalam berbagai pekerjaan geoteknik. Sistem klasifikasi USCS mengklasifikasikan tanah ke dalam dua kategori utama yaitu :

- a. Tanah berbutir kasar (*coarse-grained soil*), yaitu tanah kerikil dan pasir yang kurang dari 50% berat total contoh tanah lolos saringan No.200. Simbol untuk kelompok ini adalah G untuk tanah berkerikil dan S untuk tanah berpasir. Selain itu juga dinyatakan gradasi tanah dengan simbol W untuk tanah bergradasi baik dan P untuk tanah bergradasi buruk.
- b. Tanah berbutir halus (*fine-grained soil*), yaitu tanah yang lebih dari 50% berat contoh tanahnya lolos dari saringan No.200. Simbol kelompok ini adalah C untuk lempung anorganik dan O untuk lanau organik. Simbol Pt digunakan untuk gambut (*peat*), dan tanah dengan kandungan organik tinggi. Plastisitas dinyatakan dengan L untuk plastisitas rendah dan H untuk plastisitas tinggi.

Tabel 2.2. Sistem klasifikasi tanah *unified* (Bowles, 1991)

Jenis Tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Sufiks
Kerikil	G	Gradasi baik	W
		Gradasi buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	$w_L < 50 \%$	L
Organik	O	$w_L > 50 \%$	H
Gambut	Pt		

Tabel 2.3. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Sistem *Unified*

Divisi Utama		Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi		
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW		
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus			
		Kerikil dengan Butiran halus	GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol	
			GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung		
		Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW
				SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus	
	Pasir dengan butiran halus		SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau	Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ Bila batas <i>Atterberg</i> berada di daerah arsir dari diagram plastisitas, maka dipakai dobel simbol	
			SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Lanau dan lempung batas cair $\leq 50\%$	ML	Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung	Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol. 
				CL	Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)	
		OL		Lanau-organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah		
		Lanau dan lempung batas cair $\geq 50\%$	MH	Lanau anorganik atau pasir halus diatomae, atau lanau diatomae, lanau yang elastis		
CH			Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)			
OH			Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	<i>Peat</i> (gambut), <i>muck</i> , dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi	Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488		

Sumber : Hary Christady, 1996.

C. Tanah Lempung

1. Definisi Tanah Lempung

Tanah lempung terdiri dari berbagai golongan tekstur yang agak susah dicirikan secara umum. Sifat fisika tanah lempung umumnya terletak diantara sifat tanah pasir dan liat. Pengolahan tanah tidak terlampau berat, sifat merembeskan airnya sedang dan tidak terlalu melekat.

Tanah lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari 0,002 mm (= 2 mikron). Namun demikian, di beberapa kasus, partikel berukuran antara 0,002 mm sampai 0,005 mm juga masih digolongkan sebagai partikel lempung. Disini tanah diklasifikasikan sebagai lempung hanya berdasarkan pada ukurannya saja. Belum tentu tanah dengan ukuran partikel lempung tersebut juga mengandung mineral-mineral lempung (*clay mineral*).

2. Kriteria Tanah Lempung

Suatu tanah dapat digolongkan sebagai tanah lempung jika memenuhi syarat sebagai berikut :

- a. Mengandung 30% pasir, 40% butiran-butiran ukuran lanau, dan 30% butiran-butiran ukuran lempung.
- b. Butiran yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) berdasarkan ASTM standar dan berukuran $< 0,002$ mm.
- c. Suatu bahan yang hampir seluruhnya terdiri dari pasir, tetapi ada yang mengandung sejumlah lempung.

Tanah Lempung mempunyai beberapa jenis, antara lain :

a. Tanah Lempung Berlanau

Lanau adalah tanah atau butiran penyusun tanah/batuan yang berukuran di antara pasir dan lempung. Sebagian besar lanau tersusun dari butiran-butiran *quartz* yang sangat halus dan sejumlah partikel berbentuk lempengan-lempengan pipih yang merupakan pecahan dari mineral-mineral mika. Sifat-sifat yang dimiliki tanah lanau adalah sebagai berikut (Das, 1991) :

- 1) Ukuran butir halus, antara 0,002 – 0,05 mm.
- 2) Bersifat kohesif.
- 3) Kenaikan air kapiler yang cukup tinggi, antara 0,76 – 7,6 m.
- 4) Permeabilitas rendah.
- 5) Potensi kembang susut rendah sampai sedang.
- 6) Proses penurunan lambat.

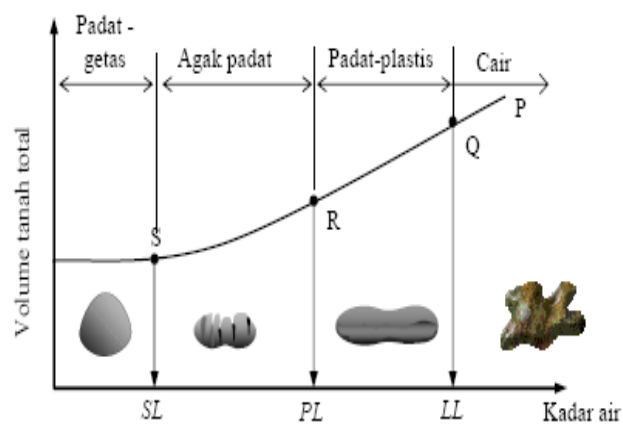
Lempung berlanau adalah tanah lempung yang mengandung lanau dengan material utamanya adalah lempung. Tanah lempung berlanau merupakan tanah yang memiliki sifat plastisitas sedang dengan Indeks Plastisitas 7-17 dan kohesif.

b. Tanah Lempung Plastisitas Rendah

Plastisitas merupakan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak/remuk. Sifat dari plastisitas tanah lempung sangat di pengaruhi oleh besarnya

kandungan air yang berada di dalamnya dan juga disebabkan adanya partikel mineral lempung dalam tanah.

Sifat dari plastisitas tanah lempung sangat di pengaruhi oleh besarnya kandungan air yang berada di dalamnya. Atas dasar air yang terkandung didalamnya (konsistensinya) tanah dibedakan atau dipisahkan menjadi 4 keadaan dasar yaitu padat, semi padat, plastis, cair.



Gambar 2.2. Batas Konsistensi

Bila pada tanah yang berada pada kondisi cair (titik P) kemudian kadar airnya berkurang hingga titik Q, maka tanah menjadi lebih kaku dan tidak lagi mengalir seperti cairan. Kadar air pada titik Q ini disebut dengan batas cair (*liquid limit*) yang disimbolkan dengan LL. Bila tanah terus menjadi kering hingga titik R, tanah yang dibentuk mulai mengalami retak-retak yang mana kadar air pada batas ini disebut dengan batas plastis (*plastic limit*), PL. Rentang kadar air dimana tanah berada dalam kondisi plastis, antara titik Q dan R, disebut dengan indek plastisitas (*plasticity index*), PI, yang dirumuskan :

$$PI = LL - PL$$

dengan,

$$LL = \text{Batas Cair (Liquid Limit)}$$

$$PL = \text{Batas Plastis (Plastic Limit)}$$

Dari Nilai PI yang dihitung dengan persamaan diatas akan ditentukan berdasarkan (Atterberg, 1911). Adapun batasan mengenai indeks plastisitas tanah ditinjau dari sifat dan kohesi, seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.4. Nilai indeks plastisitas dan sifat tanah (Hardiyatmo, 2002)

PI %	Sifat	Tanah Kohesi
0	Non Plastis	Non Kohesif
< 7	Plastisitas Rendah	Kohesi Sebagian
7 - 17	Plastisitas Sedang	Kohesif
> 17	Plastisitas Tinggi	Kohesif

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa lempung plastisitas rendah memiliki nilai indeks plastisitas (PI) < 7 % dan memiliki sifat kohesi sebagian yang disebabkan oleh mineral yang terkandung didalamnya. Dalam sistem klasifikasi *unified* (Das, 1995) tanah lempung plastisitas rendah memiliki simbol kelompok CL yaitu tanah berbutir halus 50% atau lebih, lolos ayakan No. 200 dan memiliki batas cair (LL) ≤ 50 %.

c. Tanah Lempung Berpasir

Pasir merupakan partikel penyusun tanah yang sebagian besar terdiri dari mineral *quartz* dan *feldspar*. Sifat-sifat yang dimiliki tanah pasir adalah sebagai berikut (Das, 1991):

- 1) Ukuran butiran antara 2 mm – 0,075 mm.
- 2) Bersifat non kohesif.
- 3) Kenaikan air kapiler yang rendah, antara 0,12 – 1,2 m.
- 4) Memiliki nilai koefisien permeabilitas antara 1,0 – 0,001 cm/det.
- 5) Proses penurunan sedang sampai cepat.

Klasifikasi tanah tergantung pada analisis ukuran butiran, distribusi ukuran butiran, dan batas konsistensi tanah. Perubahan klasifikasi utama dengan penambahan ataupun pengurangan persentase yang lolos saringan no.4 atau no.200 adalah alasan diperlukannya mengikutsertakan deskripsi verbal beserta simbol-simbolnya, seperti pasir berlempung, lempung berlanau, lempung berpasir dan sebagainya.

Pada tanah lempung berpasir persentase didominasi oleh partikel lempung dan pasir walaupun terkadang juga terdapat sedikit kandungan kerikil ataupun lanau. Identifikasi tanah lempung berpasir dapat ditinjau dari ukuran butiran, distribusi ukuran butiran dan observasi secara visual. Sedangkan untuk batas konsistensi tanah digunakan sebagai data pendukung identifikasi karena batas konsistensi tanah lempung berpasir disuatu daerah dengan daerah lainnya akan berbeda tergantung jenis dan jumlah mineral lempung yang terkandung di dalamnya.

Suatu tanah dapat dikatakan lempung berpasir bila lebih dari 50% mengandung butiran lebih kecil dari 0,002 mm dan sebagian besar lainnya mengandung butiran antara 2 – 0,075 mm. Pada Sistem Klasifikasi *Unified* (ASTM D 2487-66T) tanah lempung berpasir digolongkan pada tanah dengan simbol CL yang artinya tanah lempung berpasir memiliki sifat kohesi sebagian karena nilai plastisitasnya rendah ($PI < 7$).

Untuk tanah urugan dan tanah pondasi, Sistem Klasifikasi *Unified* mengklasifikasikan tanah lempung berpasir sebagai (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1988).:

- 1) Stabil atau cocok untuk inti dan selimut kedap air.
- 2) Memiliki koefisien permeabilitas.
- 3) Efektif menggunakan penggilas kaki domba dan penggilas dengan ban bertekanan untuk pemadatan di lapangan.
- 4) Berat volume kering 1,52-1,92 t/m³.
- 5) Daya dukung tanah baik sampai buruk.

Penggunaan untuk saluran dan jalan, Sistem Klasifikasi *Unified* mengklasifikasikan tanah lempung berpasir sebagai (Sosrodarsono dan Nakazawa, 1988). :

- 1) Cukup baik sampai baik sebagai pondasi jika tidak ada pembekuan.
- 2) Tidak cocok sebagai lapisan tanah dasar untuk perkerasan jalan.
- 3) Sedang sampai tinggi kemungkinan terjadi pembekuan.
- 4) Memiliki tingkat kompresibilitas dan pengembangan yang sedang.

- 5) Sifat drainase kedap air.
- 6) Alat pemadatan lapangan yang cocok digunakan penggilas kaki domba dan penggilas dengan ban bertekanan.
- 7) Berat volume kering antara $1,6 - 2 \text{ t/m}^3$.
- 8) Memiliki nilai CBR lapangan antara 5-15 %.
- 9) Koefisien reaksi permukaan bawah $2,8 - 5,5 \text{ kg/cm}^3$.

3. Jenis Mineral Lempung

a. *Kaolinite*

Kaolinite merupakan anggota kelompok *kaolinite serpentin*, yaitu *hidrus alumino silikat* dengan rumus kimia $\text{Al}_2 \text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Kekokohan sifat struktur dari partikel *kaolinite* menyebabkan sifat-sifat plastisitas dan daya pengembangan atau menyusut *kaolinite* menjadi rendah.

b. *Illite*

Illite adalah mineral bermika yang sering dikenal sebagai *mika tanha* dan merupakan mika yang berukuran lempung. Istilah *illite* dipakai untuk tanah berbutir halus, sedangkan tanah berbutir kasar disebut *mika hidrus*. Rumus kimia *illite* adalah $\text{K}_y\text{Al}_2 (\text{Fe}_2\text{Mg}_2\text{Mg}_3) (\text{Si}_{4y}\text{Al}_y) \text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

c. *Montmorilonite*

Mineral ini memiliki potensi plastisitas dan mengembang atau menyusut yang tinggi sehingga bersifat plastis pada keadaan basah dan

keras pada keadaan kering. Rumus kimia *montmorillonite* adalah $Al_2Mg(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot xH_2O$.

4. Sifat-Sifat Umum Mineral Lempung :

a. Hidrasi

Partikel mineral lempung biasanya bermuatan negatif sehingga partikel lempung hampir selalu mengalami hidrasi, yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air dalam jumlah yang besar. Lapisan ini sering mempunyai tebal dua molekul dan disebut lapisan difusi, lapisan difusi ganda atau lapisan ganda adalah lapisan yang dapat menarik molekul air atau kation yang disekitarnya. Lapisan ini akan hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60°C sampai 100°C dan akan mengurangi plastisitas alamiah, tetapi sebagian air juga dapat menghilang cukup dengan pengeringan udara saja.

b. Aktivitas (A)

Mendefinisikan aktivitas tanah lempung sebagai perbandingan antara Indeks Plastisitas (PI) dengan presentase butiran yang lebih kecil dari 0,002 mm atau dapat pula dituliskan sebagai persamaan berikut:

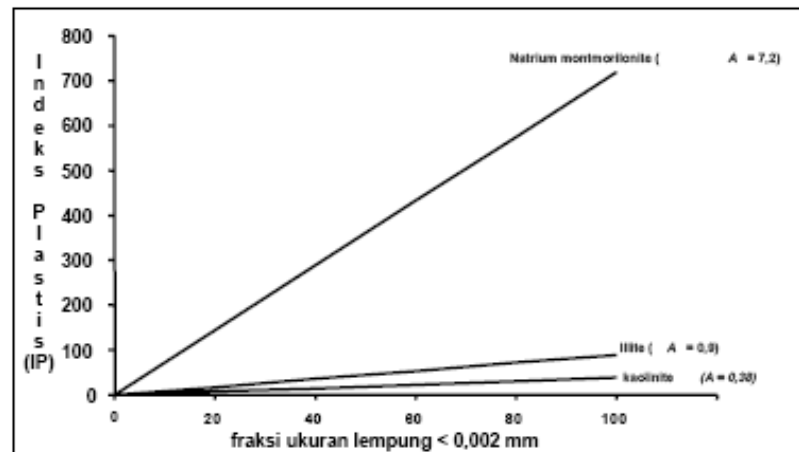
$$A = \frac{PI}{\% \text{ berat fraksi berukuran lempung}}$$

Aktivitas digunakan sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah lempung. Ketebalan air mengelilingi butiran tanah lempung tergantung dari macam mineralnya. Jadi dapat

disimpulkan plastisitas tanah lempung tergantung dari (Kempton, 1953).

- 1) Sifat mineral lempung yang ada pada butiran
- 2) Jumlah mineral

Bila ukuran butiran semakin kecil, maka luas permukaan butiran akan semakin besar. Pada konsep *Atterberg*, jumlah air yang tertarik oleh permukaan partikel tanah akan bergantung pada jumlah partikel lempung yang ada di dalam tanah.



Gambar 2.3. Variasi indeks plastisitas dengan persen fraksi lempung (Hary Christady, 2006).

Gambar di atas mengklasifikasikan mineral lempung berdasarkan nilai aktivitasnya, yaitu :

- 1) *Montmorillonite* : Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 7,2$
- 2) *Illite*: Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 0,9$ dan $< 7,2$
- 3) *Kaolinite*: Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $\geq 0,38$ dan $< 0,9$
- 4) *Polygorskite*: Tanah lempung dengan nilai aktivitas (A) $< 0,38$

c. Flokulasi dan Disversi

Apabila mineral lempung terkontaminasi dengan substansi yang tidak mempunyai bentuk tertentu atau tidak berkrystal (*amorphous*) maka daya negatif netto, ion-ion H^+ di dalam air, gaya *Van der Walls*, dan partikel berukuran kecil akan bersama-sama tertarik dan bersinggungan atau bertabrakan di dalam larutan tanah dan air. Beberapa partikel yang tertarik akan membentuk flok (*flock*) yang berorientasi secara acak, atau struktur yang berukuran lebih besar akan turun dari larutan itu dengan cepatnya dan membentuk sendimen yang sangat lepas. Flokulasi larutan dapat dinetralisir dengan menambahkan bahan-bahan yang mengandung asam (ion H^+), sedangkan penambahan bahan-bahan alkali akan mempercepat flokulasi. Lempung yang baru saja berflokulasi dengan mudah tersebar kembali dalam larutan semula apabila digoncangkan, tetapi apabila telah lama terpisah penyebarannya menjadi lebih sukar karena adanya gejala, dimana kekuatan didapatkan dari lamanya waktu.

D. Sifat-Sifat Fisik Tanah

Sifat-sifat fisik tanah berhubungan erat dengan kelayakan pada banyak penggunaan tanah. Kekokohan dan kekuatan pendukung, kapasitas penyimpanan air, plastisitas semuanya secara erat berkaitan dengan kondisi fisik tanah. Hal ini berlaku pada tanah yang digunakan sebagai bahan struktural dalam pembangunan jalan raya, bendungan, dan pondasi untuk

sebuah gedung, atau untuk sistem pembuangan limbah (Hendry D. Foth, Soenartono A. S, 1994).

Untuk mendapatkan sifat-sifat fisik tanah, ada beberapa ketentuan yang harus diketahui terlebih dahulu, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Kadar Air

Kadar air suatu tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat kering tanah yang dinyatakan dalam persen. (ASTM D 2216-98)

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

Dimana : w = Kadar air (%)

W_w = Berat air (gram)

W_s = Berat tanah kering (gram)

2. Berat Jenis

Sifat fisik tanah dapat ditentukan dengan mengetahui berat jenis tanahnya dengan cara menentukan berat jenis yang lolos saringan No. 200 menggunakan labu ukur.

Berat spesifik atau berat jenis (*specific gravity*) tanah (G_s) adalah perbandingan antara berat volume butiran padat dengan berat volume air pada temperatur 4⁰C. Seperti terlihat pada persamaan di bawah ini :

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

Dimana : G_s = berat jenis

W_1 = berat picnometer (gram)

W_2 = berat picnometer dan bahan kering (gram)

W_3 = berat picnometer bahan dan air (gram)

W_4 = berat picnometer dan air (gram)

3. Batas *Atterberg*

Batas *Atterberg* adalah batas konsistensi dimana keadaan tanah melewati keadaan lainnya dan terdiri atas batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas.

a. Batas Cair (*liquid limit*)

Batas cair adalah kadar air minimum dimana tanah tidak mendapat gangguan dari luar. (Scott.C.R, 1994). Sifat fisik tanah dapat ditentukan dengan mengetahui batas cair suatu tanah, tujuannya adalah untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada batas antara keadaan plastis dan keadaan cair. Batas cair ditentukan dari alat uji *Casagrande* (ASTM D 4318-00).

$$LL = \frac{W_1 - W_2}{PI \log\left(\frac{N_2}{N_1}\right)}$$

Dimana : w = Kadar air (%)

N = jumlah pukulan

b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis adalah kadar air minimum dimana tanah dapat dibentuk secara plastis. Tujuannya adalah untuk menentukan kadar air suatu jenis tanah pada keadaan batas antara keadaan plastis dan keadaan semi padat. (ASTM D 4318-00).

$$LI = \frac{\omega - PL}{PI}$$

Dimana : LI = *Liquidity Index*

- w = Kadar air (%)
 PI = Indeks Plastisitas
 PL = Batas Plastis

c. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas adalah selisih batas cair dan batas plastis. Seperti pada persamaan berikut :

$$PI = LL - PL$$

Dengan : PI = *Plasticity Index*

LL = *Liquid limit*

PL = *Plastic limit*

Indek platisitas (PI) merupakan interval kadar air di mana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah.

4. Analisa Saringan

Tujuan dari analisis saringan adalah untuk mengetahui persentasi butiran tanah. Dengan menggunakan 1 set saringan, setelah itu material organik dibersihkan dari sampel tanah, kemudian berat sampel tanah yang tertahan di setiap saringan dicatat. Tujuan akhir dari analisa saringan adalah untuk memberikan nama dan mengklasifikasikan, sehingga dapat diketahui sifat-sifat fisik tanah.(ASTM D 1140-00)

$$Pi = \frac{W_{bi} - W_{ci}}{W_{tot}} \times 100\%$$

- Dimana :
- Pi = Berat tanah yang tertahan disaringan (%)
 - W_{bi} = Berat saringan dan sample (gram)
 - W_{ci} = Berat saringan (gram)
 - W_{tot} = Berat total sample (gram)

E. Tahanan Geser Tanah

1. Definisi Kuat Geser Tanah

Suatu beban yang dikerjakan pada suatu masa tanah akan selalu menghasilkan tegangan dengan intensitas yang berbeda – beda di dalam zona berbentuk bola lampu di bawah beban tersebut (Bowles,1993).

Kekuatan geser suatu tanah dapat juga didefinisikan sebagai tahanan maksimum dari tanah terhadap tegangan geser di bawah suatu kondisi yang diberikan (Smith, 1992).

Kuat geser tanah sebagai perlawanan internal tanah terhadap persatuan luas terhadap keruntuhan atau pengerasan sepanjang bidang geser dalam tanah yang dimaksud (Das, 1994).

2. Teori Kuat Geser Tanah

Menurut teori Mohr (1910) kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi antara tegangan normal dan tegangan geser pada bidang runtuhnya, dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

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

dimana :

τ = Tegangan geser pada saat terjadinya keruntuhan atau kegagalan

σ = Tegangan normal pada saat kondisi tersebut

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan atau tarikan (Hary Cristady, 2002).

Coulomb (1776) mendefinisikan $f(\sigma)$ seperti pada persamaan sebagai berikut :

$$\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \phi$$

dengan :

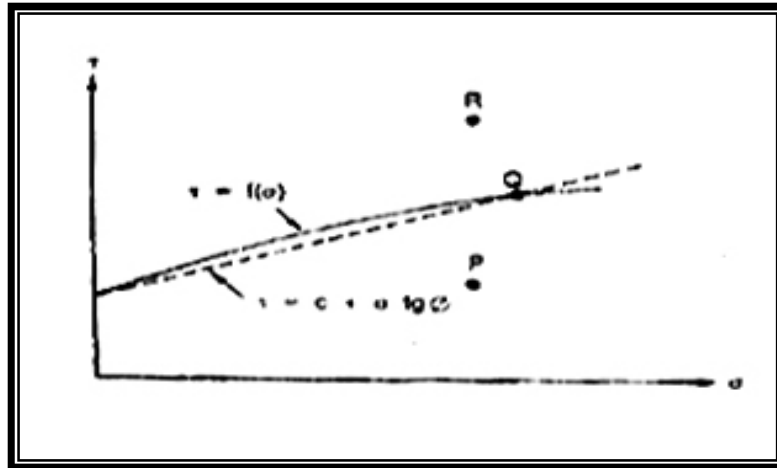
$$\tau = \text{Kuat geser tanah (kN/m}^2 \text{)}$$

$$C = \text{Koehsi tanah (kN/m}^2 \text{)}$$

$$\phi = \text{Sudut gesek dalam tanah atau sudut gesek internal (derajat)}$$

$$\sigma = \text{Tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m}^2 \text{)}$$

Garis keruntuhan (*failure envelope*) menurut Coulomb (1776) berbentuk garis lengkung seperti pada gambar 2.4 dimana untuk sebagian besar masalah – masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan kekuatan geser (Das,1995). Tanah, seperti halnya bahan padat, akan runtuh karena tarikan maupun geseran. Tegangan tarik dapat menyebabkan retakan pada suatu keadaan praktis yang penting. Walaupun demikian, sebagian besar masalah dalam teknik sipil dikarenakan hanya memperhatikan tahanan terhadap keruntuhan oleh geseran.



Gambar 2.4. Garis keruntuhan menurut Mohr dan Hukum keruntuhan Mohr – Coulomb (Hary Cristady, 2002)

Jika tegangan – tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser akan terjadi jika tegangan – tegangan mencapai titik Q yang terletak pada garis selubung kegagalan (*failure envelope*). Kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik R tidak akan pernah terjadi, karena sebelum tegangan yang terjadi mencapai titik R, bahan sudah mengalami keruntuhan.

Tegangan – tegangan efektif yang terjadi di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori. Terzaghi (1925) mengubah persamaan Coulomb kedalam bentuk tegangan efektif sebagai berikut :

$$\tau = C' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \phi'$$

$$\tau = C + \sigma' \operatorname{tg} \phi'$$

dengan :

$$C' = \text{kohesi tanah efektif (kN/m}^2\text{)}$$

$$\sigma' = \text{tegangan normal efektif (kN/m}^2\text{)}$$

u = tekanan air pori (kN/m^2)

ϕ' = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

3. Pengujian Kuat Geser Tanah

Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain :

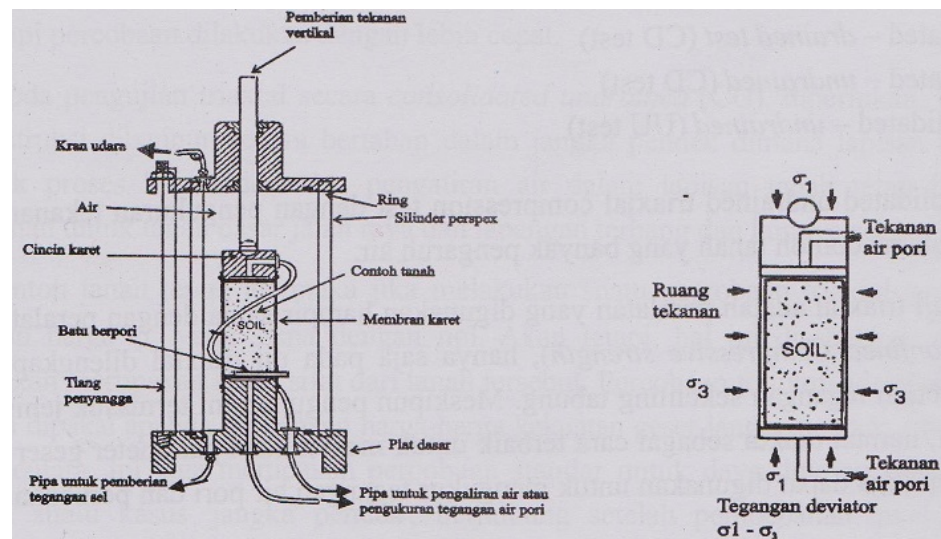
- a. Uji triaksial (*triaxial test*)
- b. Uji geser langsung (*direct shear test*)

Dua metode pengujian geser di laboratorium yang paling umum dipergunakan adalah pengujian geser langsung dan pengujian triaksial. Para peneliti mekanika tanah pada tahap-tahap awal telah menunjukkan bahwa uji tekan triaksial akan menghasilkan tekanan maksimum pada saat runtuh yang akan cukup untuk memplot sebuah lingkaran Mohr (Bowles,1993).

a. Uji Triaksial (*Triaxial Test*)

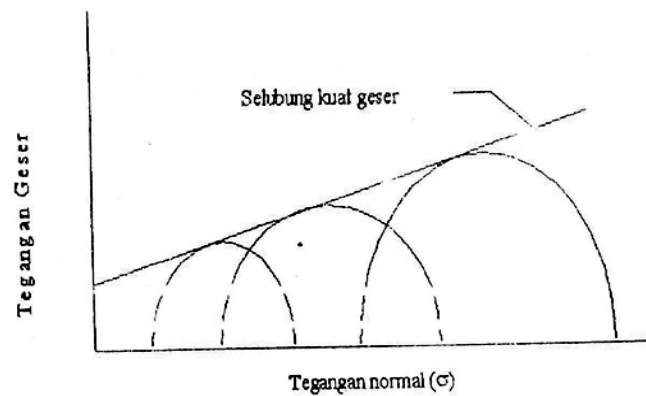
Diagram skematik dari pengujian triaksial dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah ini. Pada pengujian ini, dapat digunakan tanah benda uji dengan diameter kira-kira 3,60 cm dan tinggi 7,65 cm atau diameter kira-kira 4,7 cm dan tinggi 9,3 cm. Pengujian geser triaksial di lakukan terhadap sampel-sampel tanah berbentuk silinder yang dibungkus dengan membran yang fleksibel. Sebuah sampel dibuat terkekang oleh tekanan dengan menempatkannya dalam suatu ruangan tekanan. Kemudian diuji dengan menambah besarnya beban aksial sampai

sampel tanah runtuh. Prosedur tersebut kemudian diulang terhadap sampel – sampel lainnya pada tekanan samping yang berbeda. Hasil pengujian diinterpretasikan pada penggambaran lingkaran Mohr bagi setiap sampel pada saat keruntuhan. Hal ini dapat dilakukan dengan menetapkan bahwa bidang horisontal dan vertikal adalah bidang – bidang utama di mana tegangan – tegangan utama adalah tekanan samping.



Gambar 2.5. Alat uji triaksial

Garis selubung kekuatan adalah sebuah kurva yang menyinggung pada lingkaran Mohr seperti terlihat pada gambar 2.6. Titik – titik singgung pada lingkaran Mohr menunjukkan kondisi tegangan pada bidang runtuh bagi sampel tersebut. Arah dari bidang runtuh dapat diperoleh dari lingkaran Mohr dengan menempatkan titik asal dari bidang – bidang dan menarik sebuah garis dan titik tersebut ke titik yang menunjukkan kondisi tegangan pada bidang runtuh.

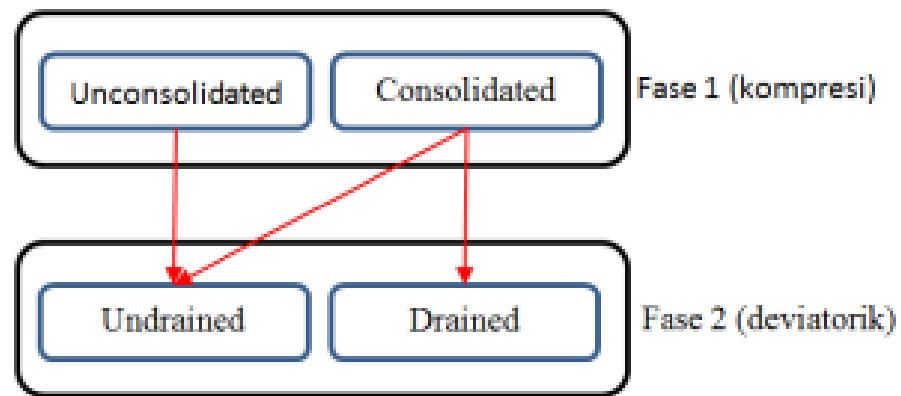


Gambar 2.6. Garis selubung Lingkaran Mohr uji triaksial

Didalam uji triaksial, ada 3 tipe pengujian yang dapat dilakukan, masing-masing memiliki tujuan yang berbeda. Uji triaksial dapat dilaksanakan dengan tiga cara :

- 1) Uji triaksial *Unconsolidated–Undrained* (tak terkonsolidasi-tak terdrainase) (UU).
- 2) Uji triaksial *Consolidated–Undrained* (terkonsolidated – tak terdrainase) (CU).
- 3) Uji triaksial *Consolidated–Drained* (terkonsolidasi – terdrainase) (CD).

Uji triaksial terbagi menjadi 2 fase, fase pertama adalah fase pemberian tegangan isotrop, sedangkan fase kedua adalah pemberian tegangan deviatorik. Tegangan dapat didekomposisi menjadi tegangan *spherical* (kompresi) dan deviatorik, dimana prinsipnya tegangan dapat dipisahkan menjadi tekanan (tegangan isotrop) yang merupakan tegangan yang besarnya sama ke segala arah serta tegangan deviatorik yang secara sederhana dapat diartikan sebagai tegangan geser.



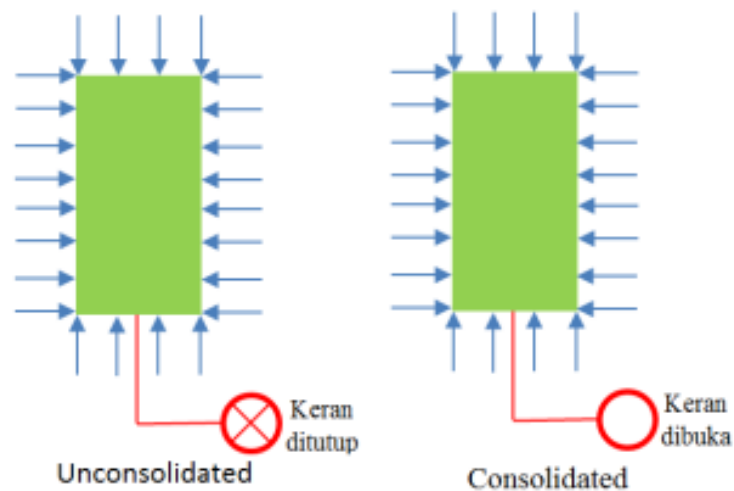
Gambar 2.7. Fase pemberian tegangan pada uji triaksial

Dalam fase pertama yang merupakan fase pemberian tekanan seperti kita lihat diatas, benda uji dapat dimodelkan menjadi *unconsolidated* (tak terkonsolidasi) dan *consolidated* (dapat terkonsolidasi). Konsolidasi adalah proses keluarnya air dari pori-pori tanah akibat pembebanan tegangan isotrop. Selama proses konsolidasi maka volume tanah menyusut sehingga otomatis nilai angka pori (*void ratio*) berkurang.

Pada tanah yang memiliki permeabilitas rendah seperti lempung, maka saat dibebani air tidak dapat langsung keluar dari kerangka tanah, sedangkan sebaliknya pada tanah berbutir (pasir), air dapat dengan mudah keluar dari pori-pori tanah saat dibebani. Saat air tidak/belum keluar dari kerangka tanah, tegangan air pori didalam tanah akan naik karena tegangan dari luar di-*resist* oleh air didalam tanah, kondisi ini adalah kondisi *short term*. Setelah sekian waktu dibebani, maka air akan keluar dari kerangka tanah, tegangan air pori turun hingga akhirnya

seluruh beban dari luar dipikul oleh kerangka solid saja. Ini yang disebut kondisi tanah *long term*.

Perlu diketahui bahwa di lapangan perubahan dari kondisi *short term* ke kondisi *long term* tidak berlangsung segera, proses konsolidasi bisa memakan waktu mingguan, bulanan, bahkan tahunan. Untuk memodelkan kondisi ini dilab, untuk kondisi *short term* air tidak diperbolehkan keluar dari sampel benda uji, sedangkan sebaliknya untuk kondisi *long term*, air dibiarkan mengalir keluar dari benda uji.

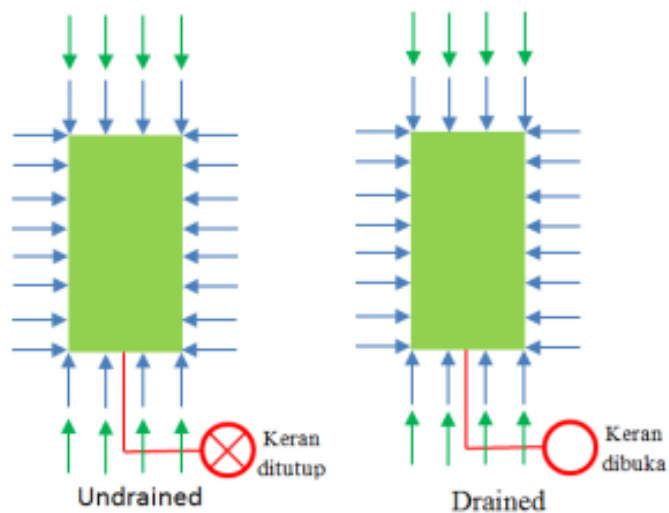


Gambar 2.8. Fase pemberian tegangan isotrop

Panah-panah biru pada gambar diatas menggambarkan tekanan yang diberikan ke sampel, yang mana besarnya sama ke segala arah. Pada uji *unconsolidated*, uji ini menggambarkan kondisi *short term* tanah yang belum terkonsolidasi, tidak ada perubahan volume tanah karena tekanan dari luar seluruhnya mampu ditahan oleh air yang ada didalam tanah. Ini terjadi karena air diasumsikan *incompressible*. Pada uji

consolidated, ini menggambarkan kondisi *long term* dari tanah, tekanan ditahan oleh partikel solid tanah dan air. Pada akhir fase *consolidated* hanya kerangka solid tanah yang menahan tekanan dari luar, ini diperoleh setelah pengamatan tegangan air pori mencapai nilai nol.

Fase pembebanan deviatorik merupakan fase kedua pembebanan dari uji triaksial. Setelah pada fase pertama benda uji diberikan tegangan isotrop dimana $\sigma_1 = \sigma_3$, di fase kedua sampel akan diberikan tegangan deviatorik sehingga $\sigma_1 > \sigma_3$



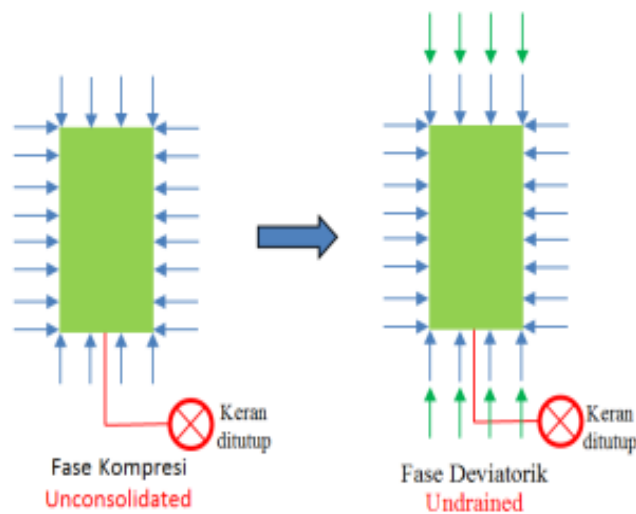
Gambar 2.9. Fase pemberian tegangan deviatorik

Pada gambar diatas dapat diamati bahwa ada tambahan tegangan kompresi (panah berwarna hijau) yang menghasilkan tegangan deviatorik pada benda uji. Pada uji *undrained*, karena keran ditutup tegangan air pori tidak sama dengan nol, tegangan air pori yang tidak sama dengan nol pada tanah, berkorelasi dengan kondisi *short term* tanah. Sedangkan pada uji *drained*, tegangan air pori akan dijaga tetap

nol selama proses pengujian, ini berkorelasi dengan kondisi *long term* tanah.

1) Uji triaksial *Unconsolidated–Undrained* (tak terkonsolidasi-tak terdrainase) (UU).

Uji *Unconsolidated Undrained* (UU) atau yang dikenal pula dengan *quick test* merupakan uji yang lazim dilakukan untuk mencari properti *short term* kuat geser tanah. Untuk uji UU, keran ditutup pada fase kompresi maupun pada fase deviatorik, artinya tidak ada air yang keluar dari sampel benda uji.



Gambar 2.10. Skematis uji triaksial UU

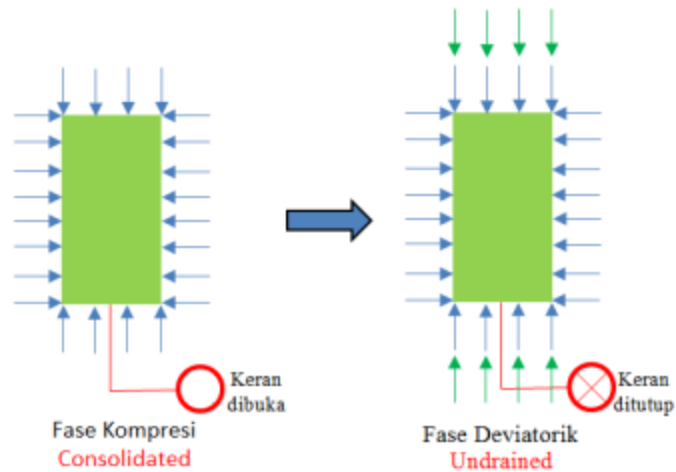
Pada fase kompresi, benda uji diberi tekanan sel $\Delta\sigma_c$ secara bertahap hingga mencapai tegangan kekangan yang diharapkan σ_c . Karena pada fase ini keran ditutup (*unconsolidated*), maka tegangan dari sel triaksial seluruhnya akan ditahan oleh tegangan air pori dari tanah. Sedangkan pada fase deviatorik, pelat dibagian atas

dan bawah benda uji akan menekan benda uji dengan tegangan aksial menghasilkan tegangan deviatorik pada benda uji.

Saat proses pemberian tegangan aksial (yang tentunya menghasilkan tegangan deviatorik), maka terjadi penambahan atau pengurangan tegangan air pori. Bersamaan dengan proses ini, akan terjadi penambahan tegangan efektif tanah akibat proses *shearing* pada fase *undrained*. Bila tanah tersaturasi sempurna, maka besarnya penambahan tegangan efektif tanah ini akan selalu sama, berapapun besarnya tegangan kompresi pada fase *unconsolidated*. Hal ini dikarenakan pada fase kompresi dan fase deviatorik tidak ada perubahan angka pori/porositas dari benda uji, sehingga pada uji *unconsolidated undrained*, benda uji memiliki nilai tegangan efektif yang sama untuk variasi tegangan kompresi yang berbeda.

2) Uji triaksial *Consolidated-Undrained* (terkonsolidasi – tak terdrainase) (CU).

Uji triaksial *consolidated-undrained* atau CU merupakan uji yang seringkali digunakan sebagai pengganti uji CD untuk mencari properti *longterm* tanah. Uji ini juga dapat diaplikasikan untuk kondisi-kondisi dimana tanah yang telah terkonsolidasi oleh tegangan isotrop dan deviatorik tertentu, mengalami perubahan tegangan deviatorik secara mendadak.



Gambar 2.11. Skematis uji triaksial CU

Pada uji CU, pada fase kompresi keran akan dibuka untuk memperkenankan terjadi konsolidasi, sedangkan pada fase deviatorik, keran akan ditutup. Karena keran dibuka pada fase konsolidasi, maka tegangan air pori akan nol pada fase ini. Bila yang akan dicari adalah properti tanah terkonsolidasi yang mengalami perubahan tegangan deviatorik secara mendadak c_{cu} dan ϕ_{cu} , maka kita cukup mengamati tegangan total yang diberikan hingga tanah mengalami keruntuhan.

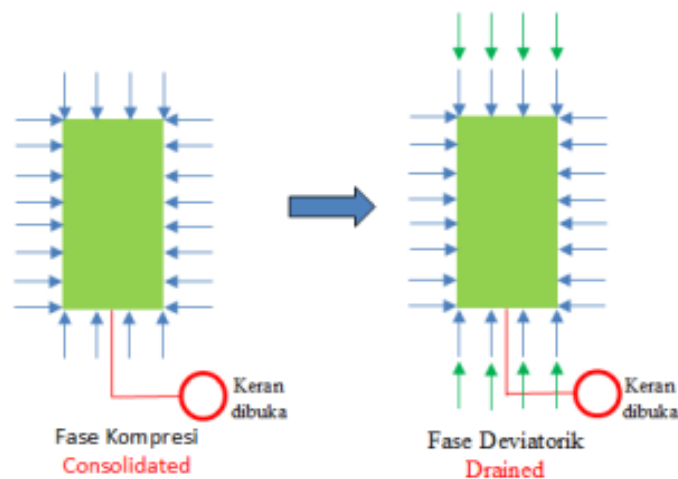
Namun bila kita melakukan uji ini sebagai substitusi uji CD untuk mencari properti *longterm* tanah c' dan ϕ' , maka kita perlu mengamati besarnya perubahan tegangan air pori didalam benda uji selama fase deviatorik. Dengan mengamati besarnya perubahan tegangan air pori ini, maka kita dapat menghitung besarnya tegangan efektif tanah tanpa melakukan uji *drained*.

Hal penting lainnya yang perlu dicermati adalah derajat saturasi benda uji, dimana benda uji harus mencapai derajat saturasi mendekati sempurna sebelum melakukan uji ini. Derajat saturasi sempurna dapat dicapai dengan mengaplikasikan *back pressure* pada benda uji dan dapat dihitung dengan menggunakan koefisien *Skempton*. Ini diperlukan karena tanah yang tidak tersaturasi sempurna akan berperilaku berbeda. Secara sederhana dengan membuat tanah tersaturasi sempurna, benda uji akan memiliki fasa air yang kontinum dan tentunya tanah hanya memiliki 2 fase saja (air dan kerangka solid).

Pada fase kompresi, benda uji diberikan tegangan isotrop secara bertahap $\Delta\sigma_c$ hingga mencapai tegangan kekangan yang diinginkan σ_c , dengan tegangan air pori dijaga nol pada setiap tahapnya. Sedangkan pada fase deviatorik, beban deviatorik akan diberikan setelah keran ditutup, sehingga air tidak keluar dari benda uji. Karena keran ditutup, maka saat tegangan deviatorik diberikan maka akan terjadi perubahan tegangan air pori didalam benda uji. Bila besarnya perubahan tegangan air pori Δu kita ukur, maka kita dapat menghitung parameter tanah *longterm* dengan mengetahui besarnya tegangan efektif yang terjadi pada tanah.

3) Uji triaksial *Consolidated-Drained* (terkonsolidasi – terdrainase).

Uji *Consolidated Drained* (CD) atau kadang dikenal dengan *slow test* merupakan uji mekanika tanah yang digunakan untuk mengevaluasi properti tanah *long term*. Uji CD dinamakan *slow test* karena ini berkaitan dengan durasi uji CD yang bisa memakan waktu harian bahkan mingguan. Kondisi *long term* tanah didefinisikan sebagai saat dimana tegangan air pori di dalam tanah sudah nol (sudah tidak ada disipasi tegangan air pori) baik akibat proses konsolidasi maupun pembebanan geser (deviatorik). Pada uji CD, baik pada fase kompresi maupun pada fase deviatorik keran akan dibuka sehingga disipasi tegangan air pori dapat terjadi pada benda uji.



Gambar 2.12. Skematis uji triaksial CD

Pada fase kompresi, benda uji diberikan tegangan isotrop secara bertahap $\Delta\sigma_c$ hingga mencapai tegangan kekangan yang diinginkan σ_c , dengan tegangan air pori dijaga nol pada setiap tahapnya. Sedangkan pada fase deviatorik, pelat dibagian atas dan bawah benda uji akan menekan benda uji dengan tegangan aksial menghasilkan tegangan deviatorik pada benda uji.

Seperti pada fase sebelumnya, keran akan tetap dibiarkan terbuka sehingga tegangan air pori dapat tetap terjaga nol untuk mensimulasikan kondisi *long term*. Disini diperlukan kecepatan pembebanan yang sangat rendah atau inkremen pembebanan yang sangat kecil agar tegangan air pori selama fase deviatorik dapat tetap terjaga nol. Akibat kecepatan pembebanan yang rendah, maka untuk mendapatkan hasil yang representatif, durasi uji ini dapat memakan waktu beberapa hari hingga beberapa minggu, sehingga untuk problem-problem praktis uji ini relatif jarang digunakan.

Pada percobaan triaxial, pengukuran kekuatan geser dilakukan dengan memberikan tekanan vertikal pada sampel. Dari *proving ring* dapat diketahui tekanan vertikal maksimum, yaitu pada waktu terjadi *failure*. Bila M adalah pembacaan pada proving ring yang maksimum, maka :

$$\text{Gaya vertikal} = K \times M$$

dimana :

K = kalibrasi alat proving ring

$$\text{Tegangan vertikal} = \sigma = \frac{K \times M}{A} + \sigma_3$$

dimana :

A = luas sampel pada saat pembacaan M tercapai tegangan vertikal

σ_3 = tegangan sel

$$\sigma_1 = \frac{K \times M}{A} + \sigma_3$$

maka
$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{K \times M}{A}$$

dimana :

$\sigma_1 - \sigma_3$ = tegangan deviator

Untuk mengukur harga c dan ϕ digunakan lingkaran Mohr yaitu cara grafis untuk menentukan tegangan-tegangan yang bekerja. Lingkaran Mohr dibuat berdasarkan data-data tegangan sampel pada saat failure dengan shear stress (τ) sebagai ordinat dan normal stress (σ) sebagai absis.

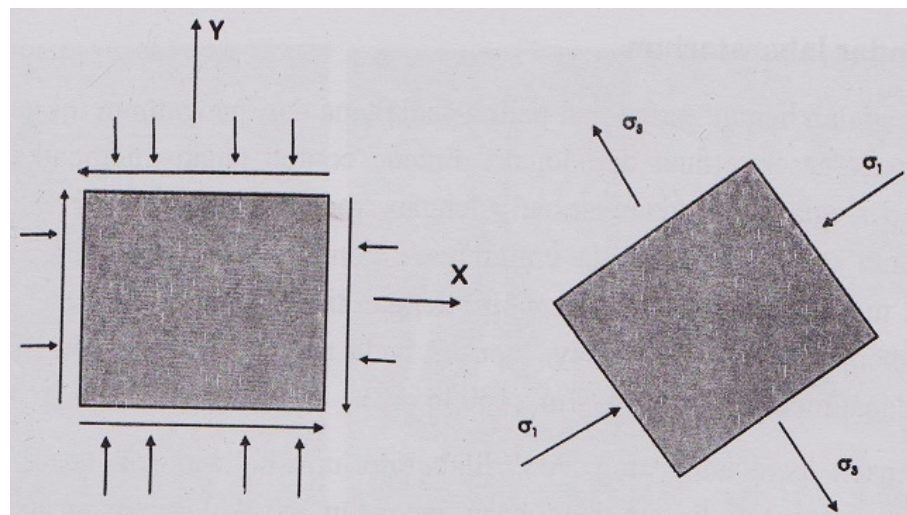
Dengan menggunakan ketiga sampel didapat tiga buah lingkaran Mohr. Garis singgung dari ketiga lingkaran ini adalah garis kekuatan geser yang bersangkutan.

$$\text{Titik pusat lingkaran Mohr} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

$$\text{Jari-jari lingkaran Mohr} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

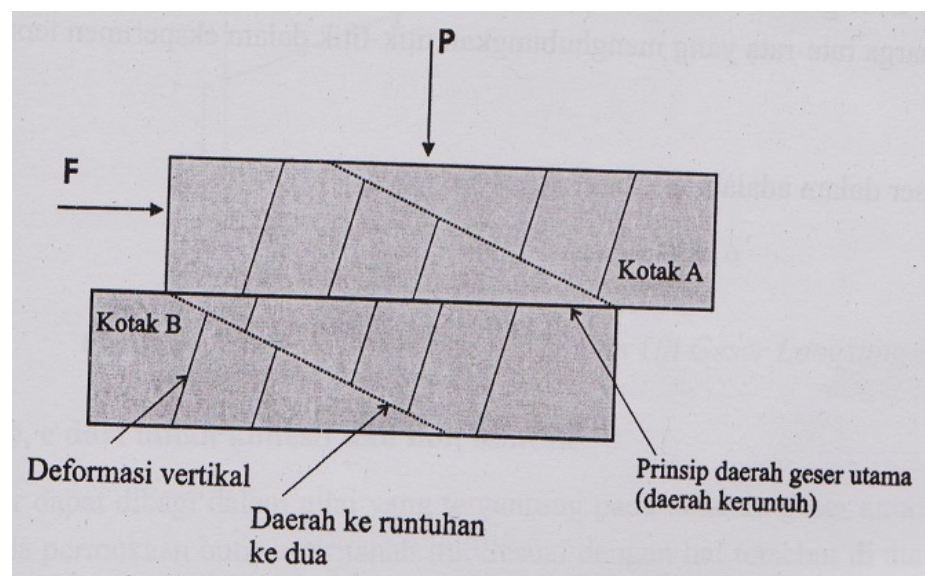
b. Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Uji geser langsung merupakan pengujian parameter kuat geser tanah yang paling mudah dan sederhana. Alat uji geser langsung dapat berbentuk lingkaran/bulat atau persegi panjang. Sebuah gaya normal P ditempatkan pada bagian atas kotak dan gaya horizontal F ditempatkan pada bidang horizontal. Akibat adanya beban vertikal dan horizontal yang bekerja pada alat akan menyebabkan terjadinya tegangan pada tanah. Tegangan tersebut berupa tegangan utama besar (*major principal stress*) dan tegangan utama kecil (*minor principal stress*) yang dapat menyebabkan tanah mengalami tegangan geser yang membentuk sudut terhadap bidang gesernya. Sedangkan tegangan utama sedang (*intermediate principal stress*) tetap bekerja merata disemua sisi tetapi tidak diperhitungkan karena tidak menyebabkan deformasi, seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



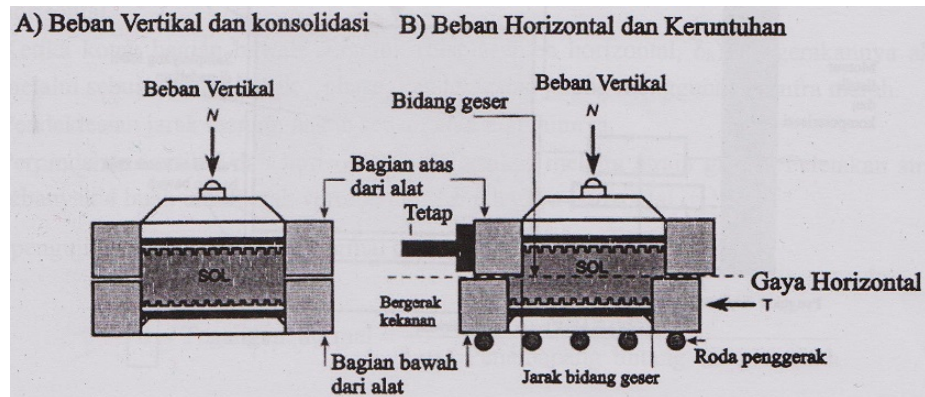
Gambar 2.13. Prinsip tegangan dalam tanah

Dalam percobaan uji geser langsung, selain mengukur tegangan geser, maka dapat juga mengukur deformasi ke arah beban normal atau arah vertikal dan arah horizontal/deformasi geser, tergantung pada apakah beban yang bekerja tetap keadaan vertikal atau diberikan beban bergerak. Beban F yang bekerja diletakkan pada kotak A sementara di beberapa percobaan, F atau gaya geser horizontal dapat ditempatkan di kotak B.



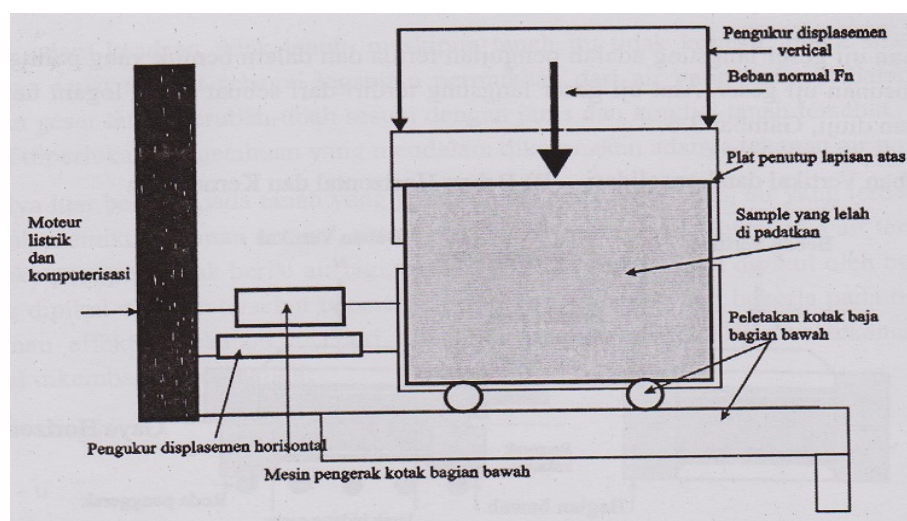
Gambar 2.14. Prinsip daerah keruntuhan

Uji geser dapat dikontrol tegangan ataupun regangannya. Dalam percobaan tegangan vertikal diatur sesuai kebutuhan dan rencana percobaan sementara gaya geser diterapkan secara bertahap sampai terjadinya keruntuhan pada tanah. Keruntuhan terjadi diseluruh permukaan bidang geser. Percobaan ini diulang dengan pembebanan atau tegangan vertikal bervariasi. Uji geser langsung biasanya dilakukan beberapa kali pada sebuah contoh tanah dengan nilai tegangan normal yang berbeda-beda.



Gambar 2.15. Sket alat uji geser langsung

Alat uji geser langsung terdiri dari sebuah kotak logam berisi sampel tanah yang akan diuji. Contoh tanah dapat berbentuk bujur sangkar atau lingkaran. Ukuran sampel standar laboratorium 3 sampai 4 inch. Luas penampang alat uji dan tinggi 1 inch dengan menaruh suatu beban mati di atasnya. Beban mati tersebut bisa mencapai tekanan 150 Psi. Gaya geser diberikan dengan mendorong sisi kotak sebelah atas sampai terjadi keruntuhan geser pada tanah. Besarnya gaya hambatan dari tanah yang bergeser dapat diukur dengan membaca angka-angka pada sebuah arloji ukur ditengah sebuah pengukuran beban lingkaran (*proving ring*).



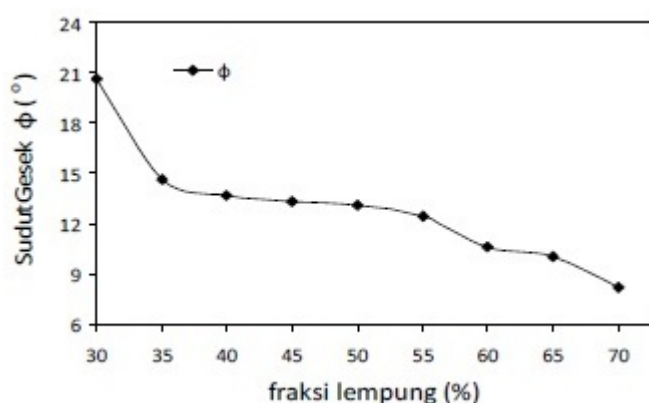
Gambar 2.16. Skema alat uji geser langsung

F. Tinjauan Penelitian Terdahulu

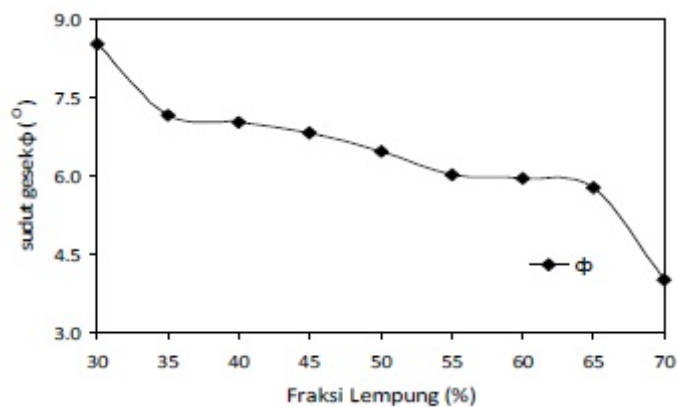
Beberapa penelitian laboratorium yang menjadi bahan pertimbangan dan acuan penelitian ini dikarenakan adanya kesamaan metode dan jenis tanah yang digunakan, akan tetapi untuk bahan aditif dan variasi campuran yang berbeda, antara lain :

1. Korelasi Parameter Kuat Geser Hasil Uji Geser Langsung dan Uji Triaksial pada Campuran Tanah Lempung Pasir

Menurut Safitri, R (2011), hasil pengujian kuat geser berupa sudut gesek internal tanah (ϕ) untuk tanah dengan campuran yang sama (lempung + pasir), terlihat bahwa hasil pengujian dengan alat uji geser langsung (Gambar 2.17) menghasilkan sudut gesek yang lebih besar dibandingkan bila diuji dengan alat uji triaksial (Gambar 2.18). Hal ini dikarenakan, pada pengujian geser langsung tanah dipaksa untuk bergeser pada bidang geser alat uji, sementara pada alat triaksial tanah bergeser pada bidang terlemah (Lambe, 1969).



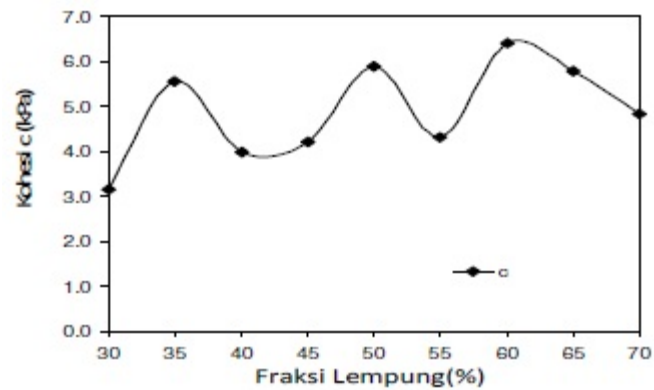
Gambar 2.17. Hasil uji *Direct Shear* untuk ϕ



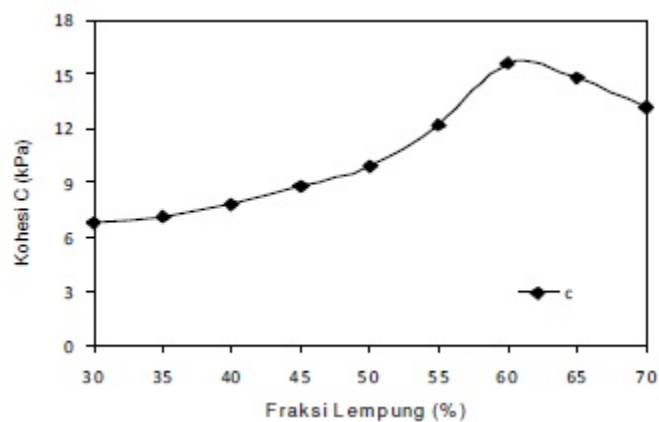
Gambar 2.18. Hasil uji Triaksial untuk ϕ

Besar sudut gesek internal tanah (ϕ) semakin mengecil dengan membesarnya prosentase lempung (mengecilnya prosentase butiran kasar/pasir). Ini disebabkan nilai friksi tanah merupakan sumbangan dari tanah granuler (pasir). Jadi semakin kecil prosentase pasir, maka sumbangan friksi juga akan semakin mengecil.

Nilai kohesi hasil pengujian geser langsung berbentuk fluktuatif (Gambar 2.19), kemungkinan disebabkan karena kecepatan pergeseran yang tidak konstan. Nilai kohesi hasil uji geser langsung, jika dilihat tren grafiknya cenderung naik seiring dengan bertambahnya prosentase lempung. Ini juga terjadi jika tanah diuji triaksial (Gambar 2.20). Nilai kohesi hasil pengujian kedua alat, menghasilkan nilai maksimum (c , ϕ) pada kadar/prosentase lempung 60% atau prosentase pasir berkisar 30% - 40%.



Gambar 2.19. Hasil uji *Direct Shear* untuk c



Gambar 2.20. Hasil uji Triaksial untuk c

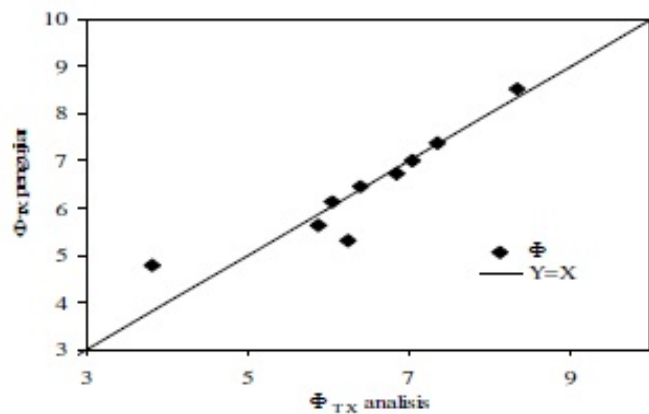
Korelasi sudut gesek (ϕ) Triaksial, sudut gesek (ϕ) *Direct Shear*, dan Sifat Fisik Tanah didapat dengan menggunakan persamaan untuk memperkirakan nilai sudut gesek internal (ϕ) hasil pengujian Triaksial, *Direct Shear* dan Fraksi Lempung nya dapat ditentukan dengan mencari hubungan antara nilai ϕ_{TX} , ϕ_{DS} , dan Fraksi Lempung (F_c) dengan menggunakan analisis korelasi linier berganda (Supranto, 2004).

Perbandingan antara nilai sudut gesek pengujian [$\phi_{TX} = \phi_{TX(\text{pengujian})}$] dengan sudut gesek analisis [$\phi_{TX(\text{analisis})}$] untuk seluruhnya dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut ini.

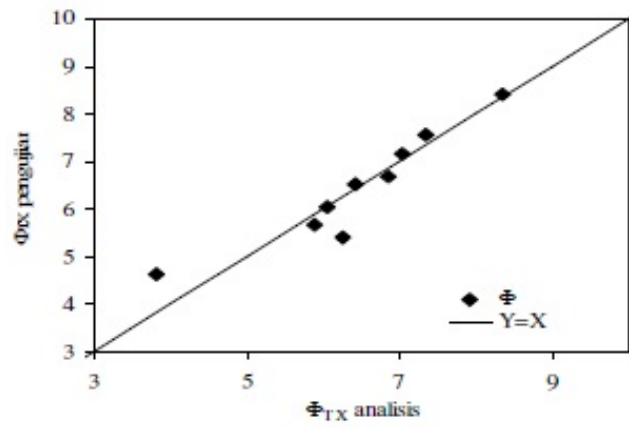
Tabel 2.5. Rekapitulasi ϕ_{TX} hasil pengujian dengan ϕ_{TX} hasil analisis (korelasi)

Fraksi Lempung (%)	ϕ hasil pengujian Triaksial	ϕ hasil korelasi				
		ϕ_{TX} & ϕ_{DS}	ϕ_{TX} , ϕ_{DS} & F_c	ϕ_{TX} , ϕ_{DS} & LL	ϕ_{TX} , ϕ_{DS} & PL	ϕ_{TX} , ϕ_{DS} & IP
30	8,34	8,86	8,52	8,40	8,42	8,53
35	7,35	6,97	7,39	7,55	7,38	7,56
40	7,04	6,68	7,02	7,16	7,04	7,15
45	6,86	6,57	6,74	6,66	6,84	6,42
50	6,41	6,49	6,47	6,51	6,71	6,27
55	6,06	6,28	6,13	6,04	6,06	6,11
60	5,89	5,71	5,63	5,67	5,56	5,82
65	6,25	5,51	5,31	5,39	5,35	5,47
70	3,81	4,94	4,80	4,61	5,92	4,67
Koef. Korelasi (r) 0,79		0,79	0,92	0,94	0,93	0,94

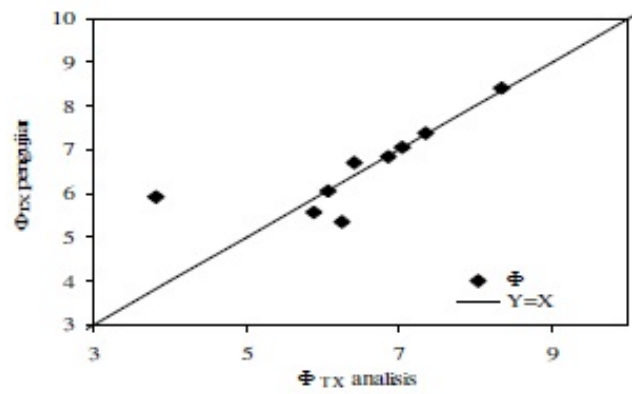
Grafik perbandingan antara nilai sudut gesek internal hasil analisis (regresi berdasarkan nilai ϕ geser langsung) dan hasil pengujian triaksial dengan melihat parameter fraksi lempung, batas cair, batas plastis, dan indeks plastisitas dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 2.21 sampai Gambar 2.24.



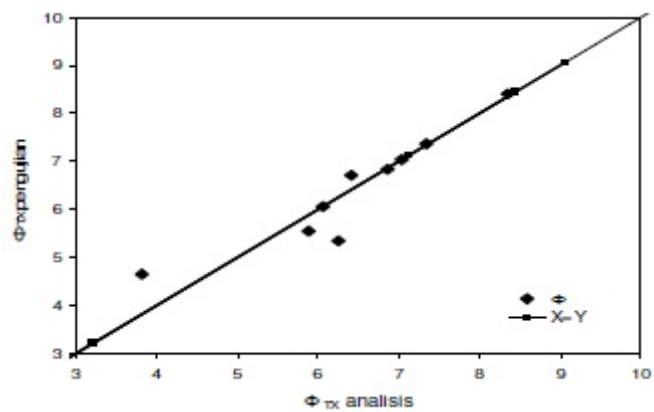
Gambar 2.21. Korelasi $f_{(analisis)}$, $f_{(pengujian)}$, F_c



Gambar 2.22. Korelasi ϕ (analisis), ϕ (pengujian), LL



Gambar 2.23. Korelasi ϕ (analisis), ϕ (pengujian), PL



Gambar 2.24. Korelasi ϕ (analisis), ϕ (pengujian), IP

Dengan memperhatikan hasil dari pengujian triaksial dan hasil pengujian *direct shear*, dengan memperhatikan sifat fisik dan mekanik tanah bisa dibuat korelasi sebagai berikut:

- $\phi_{TX}=6.817-0.150\phi_{DS}+ 0.046Fc$,
- $\phi_{TX}=7.540+0.119\phi_{DS}-0.084LL$,
- $\phi_{TX}=7.540+0.138\phi_{DS}-0.130PL$,
- $\phi_{TX}=5.766+0.163\phi_{DS}-0.157IP$,
- $c_{TX}=1.147+0.216Fc-0.022LL$,
- $c_{TX}=0.565+0.116Fc-0.22PL$, dan
- $c_{TX}=0.490+0.242Fc-0.146IP$.

Dengan Fc adalah fraksi lempung, LL adalah batas cair, PL adalah batas plastis, IP adalah indeks plastisitas dan ϕ_{DS} merupakan hasil uji *Direct Shear*.

Korelasi antara parameter kuat geser (ϕ dan c) hasil pengujian triaksial dengan pengujian *Direct Shear* didapatkan dengan analisis regresi linier berganda. Nilai sudut gesek hasil pengujian triaksial lebih kecil 4 sampai 12 derajat dari nilai sudut gesek hasil pengujian *Direct Shear*, dengan selisih rata-rata 7 derajat. Sedangkan kohesi hasil pengujian triaksial lebih besar 2-8 kPa dari kohesi hasil pengujian *Direct Shear*, dengan selisih rata-rata 5 kPa.

2. Analisis Stabilitas Lereng (Studi Kasus di Kelurahan Sumur Batu Lampung)

Menurut Feriyansyah H. (2013), Pengujian kuat geser langsung dilakukan menggunakan komposisi beban 3,32 kg, 6,64 kg, dan 9,96 kg. Penentuan

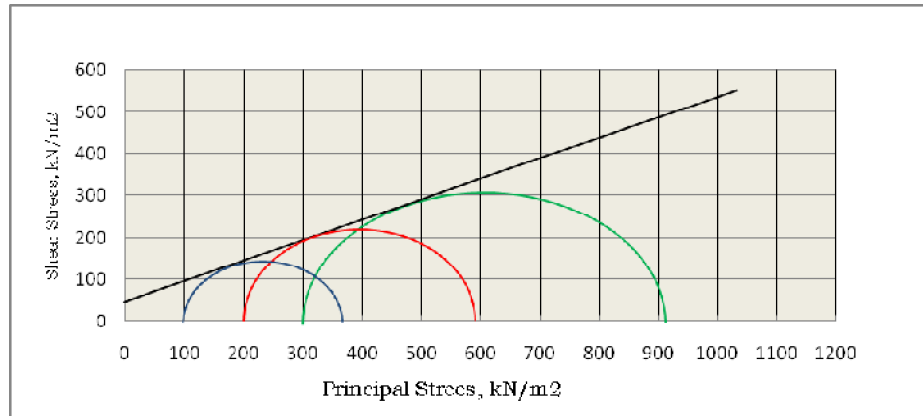
kecepatan geser dilakukan dengan melakukan konsolidasi terlebih dahulu dengan beban 9,96 kg. Setelah selesai maka didapatkan nilai kecepatan geser pada alat uji geser langsung sebesar 0,3175 mm/menit. Pada pengujian ini didapatkan dua parameter kekuatan geser yaitu nilai kohesi (C_u) dan sudut geser dalam (ϕ) sebagai berikut:

Tabel 2.6. Hasil pengujian kuat geser langsung

Sampel tanah 1	$\phi : 0,399^\circ$ $C_u : 24,132\text{kg/cm}^2$
Sampel tanah 2	$\phi : 0,414^\circ$ $C_u : 26,748\text{kg/cm}^2$
Sampel tanah 3	$\phi : 0,396^\circ$ $C_u : 25,454\text{kg/cm}^2$

Berdasarkan pengujian geser langsung di laboratorium dengan menggunakan 3 sampel tanah, maka di dapat nilai rata-rata dari sudut geser $\phi = 0,403^\circ$ dan kohesi $C_u = 25,445\text{kg/cm}^2$

Pada penelitian ini, pelaksanaan pengujian triaxial ini dilakukan pada kondisi *Unconsolidated Undrained (UU)* tanpa pengukuran tekanan air pori. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai kohesi (C_u) dan sudut geser dalam (ϕ) tanah, dalam tegangan total atau tegangan efektif yang mendekati keadaan aslinya dilapangan.



Gambar 2.25. Lingkaran Mohr uji Triaxial

Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh nilai sudut geser $\phi = 25,55^\circ$ dan kohesi $C_u = 40,87 \text{ Kn/m}^2$. Nilai kohesi dan sudut geser dari hasil uji triaxial ini kemudian digunakan dalam perhitungan nilai faktor aman kelongsoran pada lereng. Pada hasil analisis didapatkan selisih 0,1 derajat untuk sudut geser dan selisih $0,004 \text{ kg/cm}^2$ untuk nilai kohesi.

3. Kekuatan Geser Campuran Tanah-Kapur-Abu Sekam Padi dengan Inklusi Kadar Serat Karung Plastik yang Bervariasi.

Penelitian yang dilakukan oleh Anita Widianti pada tahun 2007 ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar kontribusi inklusi serat plastik pada kadar tertentu terhadap parameter kuat geser campuran tanah dengan kapur-abu sekam padi, yang meliputi kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) dengan variasi 0,1% ; 0,2% ; 0,4% ; 0,8 % ; dan 1,2 %. Secara umum, sudut gesek dalam dan kuat geser tanah hasil pengujian mengalami peningkatan. Kenaikan sudut gesek dalam sebesar 282,74% dari sudut gesek dalam tanah asli, kenaikan nilai kohesi sebesar 123,18% dari kohesi tanah asli, dan kenaikan kuat geser sebesar 178,63% dari kuat geser tanah asli (pada $\sigma = 12,59 \text{ kN/m}^2$).