

Pertemuan II & III

II. Kuat Geser Tanah

II.1. Umum.

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis-analisis antara lain ;

- Kapasitas dukung tanah
- Stabilitas lereng
- Gaya dorong pada dinding penahan

Menurut Mohr (1910) keruntuhan terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Hubungan fungsi tersebut dinyatakan ;

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

dengan ;

τ = tegangan geser (kN/m^2)

σ = tegangan normal (kN/m^2)

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh ;

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya
- Gesekan antar butir – butir tanah

Coulomb (1776) mendefinisikan ;

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

dengan ;

τ = kuat geser tanah (kN/m^2)

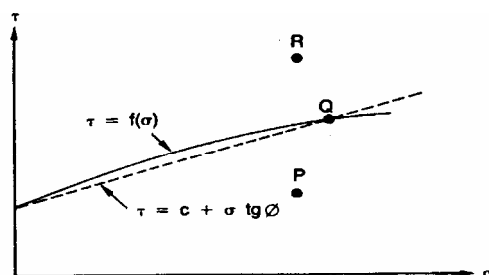
σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

ϕ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

II. 2 Kriteria kegagalan Mohr – Coulomb

Kriteria kegagalan Mohr – Coulomb dapat dilihat (**Gambar II. 1**)



Gambar II.1 Kriteria kegagalan Mohr – Coulomb

Kriteria keruntuhan / kegagalan Mohr-Coulomb digambarkan dalam bentuk garis lurus. Jika kedudukan tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tidak akan terjadi. Pada titik Q terjadi keruntuhan karena titik tersebut terletak tepat pada garis kegagalan. Titik R tidak akan pernah dicapai, karena sebelum mencapai titik R sudah terjadi keruntuhan.

Terzaghi (1925) mengubah persamaan Coulomb dalam bentuk efektif karena tanah sangat dipengaruhi oleh tekanan air pori.

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan \phi' \text{ karena } \sigma' = \sigma - \mu$$

maka persamaan menjadi ;

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi'$$

dengan ;

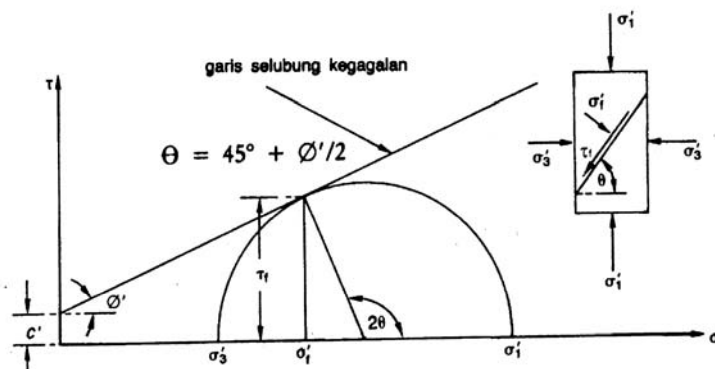
τ = tegangan geser (kN/m^2)

σ' = tegangan normal efektif (kN/m^2)

c' = kohesi tanah efektif (kN/m^2)

ϕ' = sudut gesek dalam tanah efektif (derajat)

Kuat geser tanah bisa dinyatakan dalam bentuk tegangan efektif σ'_1 dan σ'_3 pada saat keruntuhan terjadi. Lingkaran Mohr berbentuk setengah lingkaran dengan koordinat (τ) dan (σ') dillihatkan dalam (**Gambar II.2**).



Gambar II.2 Lingkaran Mohr.

Dari lingkaran Mohr dapat dilihat ;

σ'_1 = tegangan utama mayor efektif (kN/m^2) c' = kohesi (kN/m^2)

σ'_3 = tegangan utama minor efektif (kN/m^2) ϕ = sudut gesek dalam efektif

θ = sudut keruntuhan (derajat)

Tegangan geser (τ'_f) = tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan

Tegangan normal (σ'_f) = tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan.

Dari lingkaran Mohr hubungan parameter-parameter tersebut dapat dinyatakan ;

$$\tau_f' = \frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3') \sin 2\theta$$

$$\sigma_f' = \frac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_3') + \frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3') \cos 2\theta$$

$$\sin \phi' = \frac{\frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3')}{c \operatorname{ctg} \phi' + \frac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_3')}$$

Istilah – istilah ;

- **Kelebihan tekanan pori** adalah kelebihan tekanan air pori akibat dari tambahan tekanan yang mendadak.
- **Tekanan overburden** adalah tekanan pada suatu titik didalam tanah akibat dari berat material tanah dan air yang ada diatas titik tersebut.
- **Tekanan overburden efektif** adalah tekanan akibat beban tanah dan air diatasnya dikurangi tekanan air pori.
- **Tekanan normally consolidated** adalah tanah dimana tegangan efektif yang membebani pada waktu sekarang adalah nilai tegangan maksimum yang pernah dialaminya.
- **Tekanan overconsolidated** adalah tanah dimana tegangan efektif yang pernah membebani pada waktu lampau lebih besar dari pada tegangan efektif yang bekerja pada waktu sekarang.
- **Tekanan prakonsolidasi** adalah tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah tersebut.
- **Rasio overconsolidasi (OCR)** adalah nilai banding antara tekanan prakonsolidasi dengan tekanan overburden efektif yang ada sekarang. Jadi jika $OCR = 1$ tanah dalam kondisi *normally consolidated*, dan jika $OCR > 1$ tanah dalam kondisi *overconsolidated*.

II.3 Uji Kuat Geser Tanah.

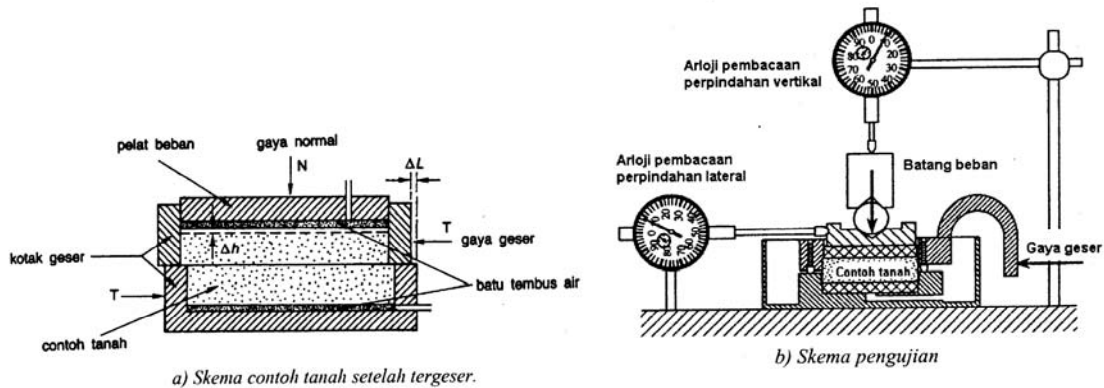
Parameter kuat geser tanah ditentukan dengan uji laboratorium terhadap sampel tanah asli (undisturbed), tanah tersebut diambil dengan hati-hati agar tidak berubah kondisinya (kadar air, susunan butiran), karena hal ini bisa berakibat fatal pada sampel.

Ada beberapa cara menentukan kuat geser tanah adalah ;

- a. Uji kuat geser langsung (*direct shear test*)
- b. Uji triaksial (*triaxial test*)
- c. Uji tekan bebas (*unconfined compression test*)
- d. Uji geser kipas (*vane shear test*)

a. Uji kuat geser langsung

Alat uji kuat geser langsung diperlihatkan seperti **Gambar II.3**



Gambar II. 3 Uji geser langsung

Tegangan normal (N) pada benda uji diberikan dari atas kotak geser. Gaya geser diterapkan pada setengah bagian kotak geser. Selama pengujian perpindahan (ΔL) akibat gaya geser dan perubahan tebal (Δh) benda uji dicatat.

Pada tanah pasir bersih yang padat, tahanan geser bertambah sampai beban puncak, dimana keruntuhan geser terjadi, sesudah itu kondisi menurun dengan penambahan penggeseran dan akhirnya konstan, kondisi ini disebut kuat geser residu. Sudut gesek dalam padat (ϕ_m) dalam kondisi padat diperoleh dari tegangan puncak, sedang sudut gesek dalam kondisi longgar (ϕ_t) diperoleh dari tegangan batas (residu).

Contoh soal

Uji kuat geser pada pasir bersih dipadatkan, pengujian dilakukan dengan kotak geser 250 x 250 mm² diperoleh data sebagai berikut ;

Beban normal (kN)	5,00	10,00	11,25
Beban geser puncak (kN)	4,90	9,80	11,00
Beban geser residu (kN)	3,04	6,23	6,86

Tentukan kuat geser tanah pasir tersebut dalam kondisi padat dan tidak padat.

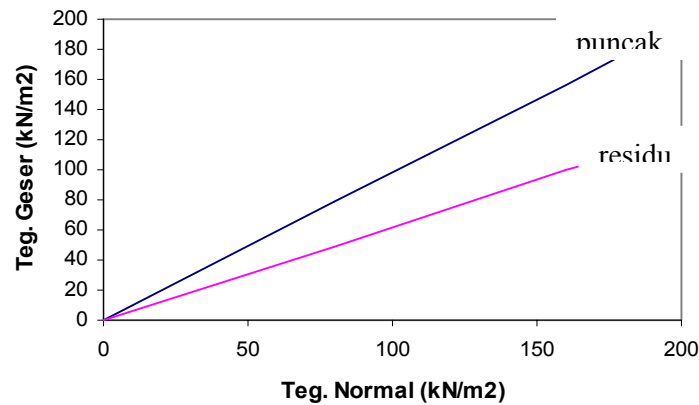
Penyelesaian ;

Luas penampang benda uji ;

$$0,25 \times 0,25 = 0,0625 \text{ m}^2.$$

Dan selanjutnya dapat dihitung secara tabelaris ;

Tegangan normal σ (kN/m ²)	80,00	160,00	180,00
Tegangan geser puncak τ_m (kN/m ²)	78,40	156,80	176,00
Tegangan geser residu τ_t (kN/m ²)	48,64	99,68	109,76



Gambar CII.1 Garis selubung kegagalan pada 2 kondisi

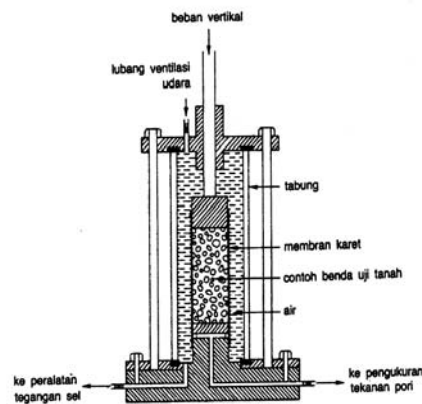
Dari **Gambar CII.1** bisa diukur dengan busur bahwa ;

$$\phi_m = 45^\circ$$

$$\phi_t = 32^\circ$$

b. Uji Triaksial.

Alat uji triaksial terlihat (**Gambar II.4**).



Gambar II.4 Alat uji Triaksial

Sampel berselubung karet dimasukkan dalam tabung kaca, ruang dalam tabung kaca diisi air, benda uji ditekan dengan tekanan sel (σ_3) yang berasal dari tekanan cairan dalam tabung. Untuk menghasilkan kegagalan geser pada benda uji, tekanan aksial dikerjakan melalui bagian atas benda uji sampai benda uji runtuh. Besarnya tekanan aksial yang diberikan dicatat ($\Delta\sigma$).

Tegangan $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$ disebut tegangan deviator. Regangan aksial diukur selama penerapan tegangan deviator. Akibat penambahan regangan akan menambah penampang melintang benda uji. Karenanya koreksi penampang benda uji dalam menghitung tegangan deviator harus dilakukan. Jika penampang benda uji awal A_0 , maka luas penampang benda uji A pada regangan tertentu adalah ;

$$A = A_0 \frac{1 - \frac{\Delta V}{V_0}}{1 - \frac{\Delta L}{L_0}}$$

Uji triaksial dapat dilaksanakan dengan tiga cara ;

- 1). Unconsolidated undrained (UU).
- 2). Consolidated undrained (CU).
- 3). Consolidated drained (CD).

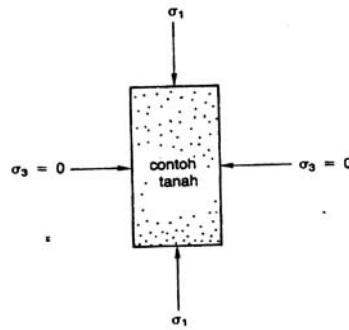
1). Uji Unconsolidated undrained (UU) adalah uji cepat (quick-test), mula-mula sample diberi tegangan kekang (σ_3), kemudian diberi tegangan normal melalui tegangan deviator ($\Delta\sigma$) sampai terjadi keruntuhan. Selama pengujian air tidak diizinkan keluar dari benda uji (katup drainase ditutup). akibatnya beban normal tidak ditransfer kebutiran tanah dan terjadi kelebihan tekanan air pori. Nilai kuat geser yang rendah terjadi pada uji (UU), tanah lempung jenuh air nilai sudut gesek dalam (ϕ) nol, sehingga yang ada hanya nilai c saja. Kondisi undrained dapat dilakukan dengan pengujian cepat pada tanah permeabilitas rendah (agar konsolidasi tidak terjadi).

2). Uji Consolidated undrained (CU) atau uji terkonsolidasi cepat, benda uji dibebani tekanan sel dengan mengizinkan air keluar dari benda uji sampai selesai. Sesudah itu tegangan deviator diterapkan dengan katup drainase tertutup sampai benda uji runtuh. Karena katup tertutup maka tidak terjadi perubahan volume dan terjadi kelebihan tekanan air pori dapat diukur selama pengujian berlangsung.

3). Uji Consolidated drained (CD), mula-mula tekanan sel diterapkan pada benda uji dengan katup terbuka sampai konsolidasi selesai. Sesudah itu dengan katup tetap terbuka, tegangan deviator diterapkan dengan kecepatan rendah sampai runtuh (kecepatan yang rendah agar tekanan air pori nol selama pengujian). Pada kondisi ini seluruh tekanan pengujian ditahan oleh gesekan antar butiran tanah.

c. Uji tekan bebas (unconfined compression test).

Adalah uji triaksial (UU) yang khusus, skematik dari prinsip pembebanan seperti (**Gambar II.5**)



Gambar II.5 Skema uji tekan bebas

disini terbaca $\sigma_3 = 0$, maka ;

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u$$

dengan ;

q_u = kuat tekan bebas (*unconfined compression strength*), berdasarkan uji triaksial UU dapat diperoleh

$$s_u = c_u = q_u / 2$$

dimana ;

$s_u = c_u$ = kuat geser undrained

Contoh soal

Uji tekan bebas dilakukan pada tanah lempung lunak jenuh, sampel dari tanah tak terganggu dengan diameter 38,1 mm dan tinggi 76,2 mm. Beban maksimum saat runtuh 30 N dan perpindahan vertikal 11,7 mm, hitunglah ;

- Nilai kuat tekan bebas dan kuat geser undrained lempung tersebut
- Gambarkan lingkaran Mohr saat keruntuhan

Penyelesaian .

a. Pengujian dengan kondisi tidak terdrainase (*undrained*) maka tidak ada perubahan volume sehingga ;

$$\frac{\Delta V}{V} = 0$$

Luas penampang benda uji awal pengujian ;

$$A_0 = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} (3,14)(0,0381)^2 = 0,00114 \text{ m}^2.$$

Luas penampang benda uji rata-rata saat runtuh ;

$$A = 0,00114 \frac{1 - 0}{1 - \frac{11,7}{76,2}} = 0,00114 \frac{1}{1 - 0,1535} = 0,00114 \frac{1}{0,8465} = 0,00135 \text{ m}^2$$

Kuat tekan bebas ;

$$q_u = \frac{\text{beban saat runtuh}}{A} = \frac{0,03}{0,00135} = 22,22 \text{ kN / m}^2$$

Kokesi atau kuat geser undrained ;

$$S_u = C_u = q_u/2 = 22,22/2 = 11,11 \text{ kN/m}^2$$

b. Kurva



Gambar CII.2 Kurva tegangan dan Lingkaran Mohr saat runtuh

d. Uji geser kipas (*vane shear test*).

Digunakan untuk menentukan kuat geser undrained baik di laboratorium maupun dilapangan terhadap lempung jenuh yang tidak retak-retak. Sangat cocok terhadap lempung lunak. Dari uji geser kipas diperoleh hubungan ;

$$T = M_S + M_T + M_B$$

dengan ;

T = torsi maksimum penyebab keruntuhan

M_S = tahanan momen sisi silinder

M_T = tahanan momen puncak

M_B = tahanan momen dasar

Karena ,

$$M_S = \pi d h (d/2) S_u \quad \text{dan} \quad M_T = M_B = (\pi/4) d^2 (d/2) S_u$$

Maka

$$T = \pi S_u \left[\left(\pi d h \frac{d}{2} \right) + 2 \left(\frac{\pi d^2}{4} (2/3) (d/2) \right) \right]$$

15,35 ε (%)

Dari persamaan diatas diperoleh ;

$$S_u = \frac{T}{\pi \left[\frac{d^2 h}{2} + \frac{d^3}{6} \right]}$$

Jika hanya ujung bawah dari kipasnya saja yang menggeser tanah lempung, maka

$$S_u = \frac{T}{\pi \left[\frac{d^2 h}{2} + \frac{d^3}{12} \right]}$$

dengan ;

$S_u = C_u$ = kohesi / kuat geser undrained

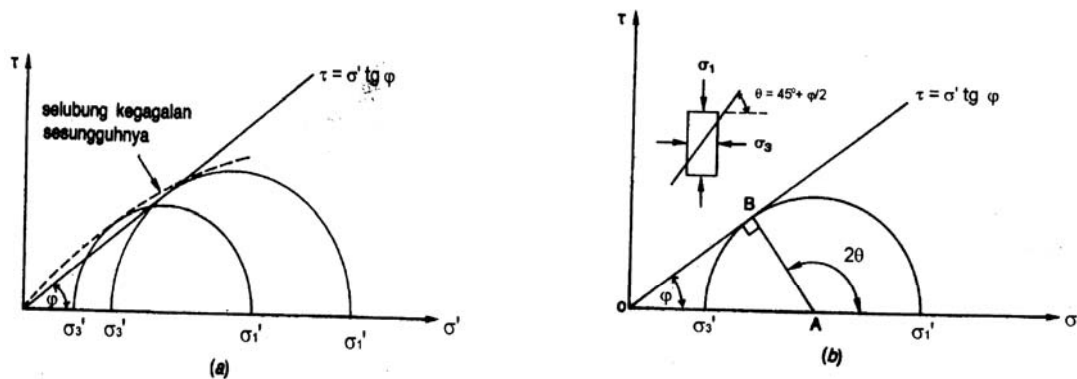
T = puntiran pada saat kegagalan

d = lebar seluruh kipas.

h = tinggi kipas

e. Uji triaksial pada tanah pasir.

Sampel biasanya disturbed karena sulit penanganan yang undisturbed pada pasir. Beberapa pengujian dengan benda uji yang sama dapat diterapkan dengan tekanan sel (σ_3) yang berbeda. Nilai sudut gesek dalam puncak (ϕ), dapat ditentukan dengan penggambaran lingkaran Mohr dari beberapa pengujian.



Gambar II.6 Lingkaran Mohr dari pengujian pasir

Dari gambar diperoleh hubungan ;

$$\sin \phi = \frac{AB}{OA} = \frac{(\sigma_1' - \sigma_3')/2}{(\sigma_1' + \sigma_3')/2}$$

Atau

$$\phi = \arcsin \left(\frac{(\sigma_1' - \sigma_3')}{(\sigma_1' + \sigma_3')} \right) (\text{pada saat kegagalan})$$

Dengan ;

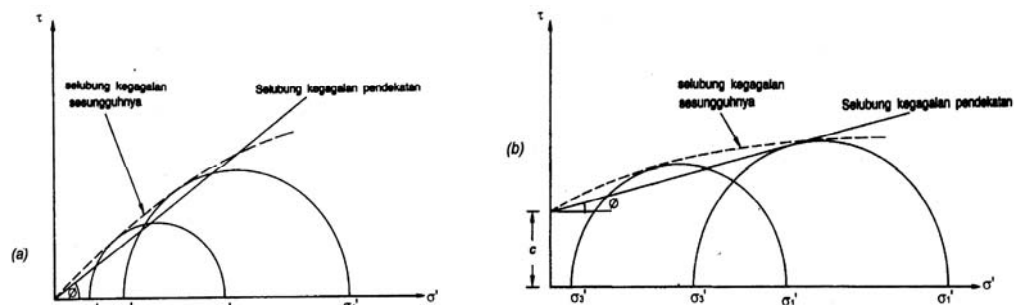
$$\sigma_1' = \sigma_3' + \Delta \sigma$$

Sudut gesek dalam (ϕ) yang ditentukan dengan uji triaksial sedikit lebih rendah ($0^\circ - 3^\circ$) dari hasil yang diperoleh dengan uji geser langsung.

f. Kuat geser tanah lempung.

Kondisi Drained.

* Uji triaksial consolidated drained (CD), faktor yang mempengaruhi karakteristik tanah lempung adalah sejarah tegangannya. Mula-mula sampel dibebani dengan σ_3 , akibatnya tekanan air pori (u_c) bertambah, karena katup terbuka maka nilai ini pelan-pelan menjadi nol. Setelah itu tegangan deviator $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$ ditambah pelan-pelan dengan katup tetap terbuka. Hasil dari tegangan deviator itu tekanan air pori (u_d) akhirnya juga nol. Tegangan deviator ditambah terus sampai terjadi keruntuhan. Dari hasil beberapa pengujian terhadap benda uji yang sama (umumnya 3 pengujian), digambarkan lingkaran Mohr.



Gambar II.7 Lingkaran Mohr dari pengujian lempung kondisi drained

Nilai parameter kuat geser tanah (c dan ϕ) diperoleh dari penggambaran garis singgung terhadap lingkaran Mohr. Untuk **lempung normally consolidated** nilai $c = 0$, jadi garis selubung kegagalan hanya memberikan sudut gesek dalam (ϕ) saja.

Persamaan kuat geser untuk lempung normally consolidated adalah ;

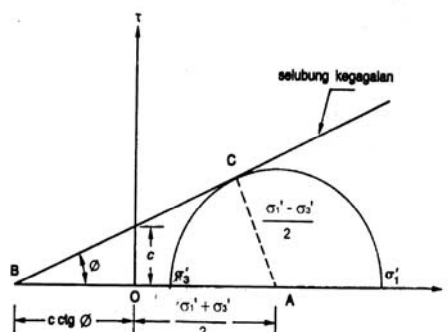
$$\sin \phi = \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{(\sigma'_1 + \sigma'_3)} \text{ (pada saat kegagalan), atau } \sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2 (45^\circ + \phi/2),$$

karena bidang kegagalan membuat sudut $(45^\circ + \phi/2)$ dengan bidang utama mayor.

Pada **lempung overconsolidated**, nilai $c > 0$, karenanya kuat geser dihitung dengan persamaan

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi$$

Dari lingkaran Mohr dapat dilihat ;



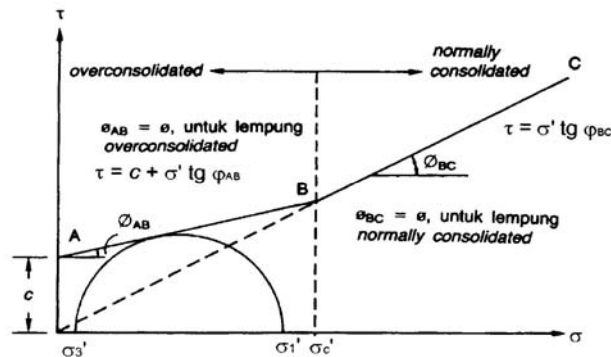
Gambar II.8 Lingkaran Mohr lempung overconsolidated kondisi drained

$$\sin \varphi = \frac{AC}{BO + OA} = \frac{(\sigma_1' - \sigma_2')/2}{c \operatorname{ctg} \varphi + (\sigma_1' + \sigma_2')/2}$$

Atau

$$\sigma_1' = \sigma_3' \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2) + 2c \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2)$$

Jika kondisi awal dikerjakan dengan tekanan sel $\sigma_c = \sigma'_c$, setelah itu dikurangi menjadi $\sigma_3 = \sigma_3'$, maka benda uji menjadi *overconsolidated*, selubung kegagalan yang diperoleh dari uji CD ini terdiri dari dua garis (**Gambar II.9**).



Gambar II.9 Selubung kegagalan dengan tekanan prakonsolidasi σ_c .

Bagian AB selubung kegagalan lempung *overconsolidated*, dan BC selubung kegagalan *normally consolidated* dengan persamaan $\tau = \sigma' \operatorname{tg} \varphi_{BC}$.

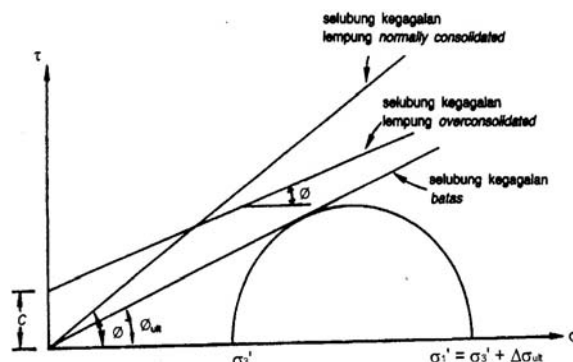
Dari beberapa percobaan diperoleh bahwa pada regangan yang besar, tegangan deviator mencapai konstan, dan kuat geser lempung pada kondisi ini disebut **kuat geser residu** (τ_{rsd}) atau kuat geser batas ultimit.

$$\tau_{rsd} = \sigma' \operatorname{tg} \varphi_{ult}$$

φ_{ult} tercapai jika $c = 0$, sehingga diperoleh ;

$$\varphi_{ult} = \arcsin \left(\frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_1' + \sigma_3'} \right)_{\text{residu}} \quad \text{dengan } \sigma_1' = \sigma_3' + \Delta \sigma_{ult}$$

Sudut gesek dalam residu tanah lempung penting untuk analisis stabilitas lereng.



Gambar II.10 Kuat residu tanah lempung

Contoh soal

Uji triaksial CD diperoleh data ; $\sigma_3 = 27,6 \text{ kN/m}^2$ dan $\Delta\sigma_f = 27,6 \text{ kN/m}^2$ jika lempung adalah *normally consolidated*, tentukan ;

- Sudut gesek dalam
- Sudut runtuh
- Tegangan normal saat runtuh (σ_f') dan tegangan geser saat runtuh (τ_f)

Penyelesaian ;

a. Karenan lempung *normally consolidated* maka $c = 0$ dan garis selubung kegagalan melalui titik asal 0, dan uji CD maka tegangan total = tegangan efektif.

Tegangan utama mayor

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = 27,6 + 27,6 = 55,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\sin \phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} = \frac{55,2 - 27,6}{55,2 + 27,6} = \frac{27,6}{82,8} = 0,333$$

$$\phi = \arcsin (0,333) = 19,45^\circ$$

b. Besarnya sudut runtuh adalah

$$\theta = 45^\circ + \phi/2 = 45^\circ + 19,45/2 = 54,725^\circ$$

c. Tegangan normal saat runtuh

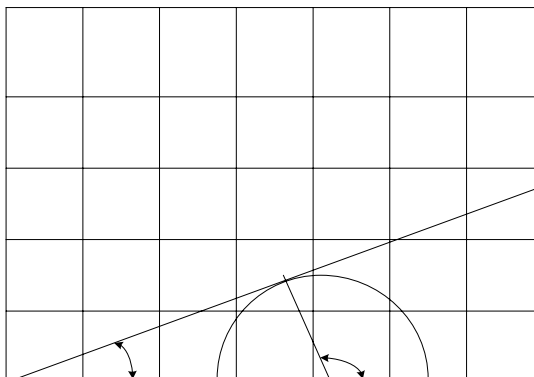
$$\sigma_f = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} + \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \cos 2\theta = \frac{55,2 + 27,6}{2} + \frac{55,2 - 27,6}{2} \cos(2 \times 54,725)$$

$$\sigma_f = 41,4 + 13,8 \cos 109,45^\circ = 41,4 - 4,6 = 36,8 \text{ kN/m}^2$$

Tegangan geser pada bidang runtuh saat runtuh adalah ;

$$\tau_f = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \sin 2\theta = \frac{55,2 - 27,6}{2} \sin(2 \times 54,725) = 13,8 \sin 109,45^\circ$$

$$\tau_f = 13 \text{ kN/m}^2$$



Gambar C II.3 Lingkaran Mohr hasil perhitungan

Kondisi Undrained.

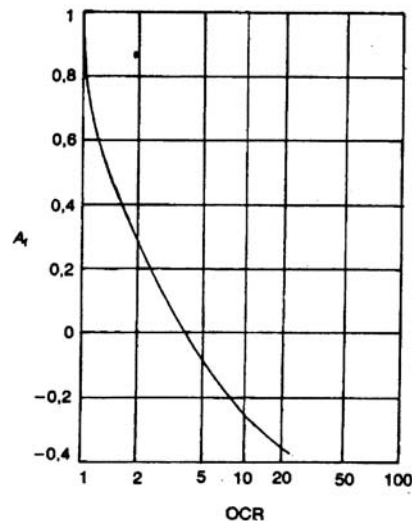
* Uji triaksial Consolidated Undrained (CU), digunakan untuk menentukan kuat geser lempung pada kondisi tak terdrainase, yaitu bila angka pori lempung (e) berubah dari kondisi aslinya dilapangan akibat konsolidasi.

Benda uji pertama diberikan tekanan sel supaya berkonsolidasi dengan drainase penuh. Setelah kelebihan tekanan air pori u_c nol, tegangan deviator ($\Delta\sigma$) diberikan sampai benda uji runtuh. Selama pembebanan saluran drainase ditutup. Karena drainase tertutup, tekanan air pori akibat tegangan deviator $= u_d$ dalam benda uji bertambah. Pengukuran deviator ($\Delta\sigma$) dan u_d dilakukan serempak.

Tekanan air pori (A) dimana $A = u_d / \Delta\sigma$. Nilai A_f (A saat keruntuhan) adalah positif untuk lempung *normally consolidated* dan negative untuk lempung *overconsolidated*. Jadi A_f bergantung pada nilai OCR dimana ;

$$OCR = \frac{\sigma_c'}{\sigma_3}$$

Dengan $\sigma_c' = \sigma_c$ adalah tekanan sel maksimum pada saat benda uji dikonsolidasi, kemudian diizinkan kembali ke tekanan sel (σ_3).

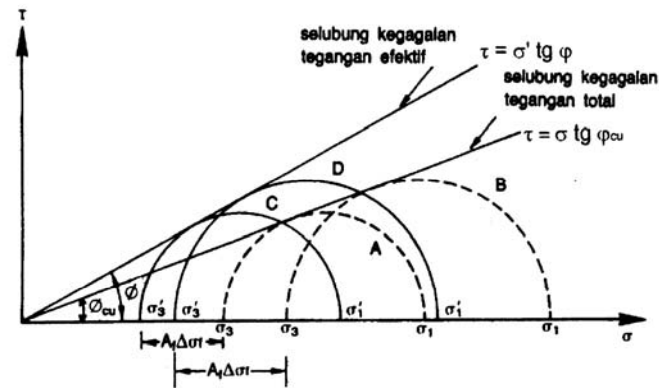


Gambar II.11 Variasi A_f dengan OCR lempung (Simons, 1960)

Pada saat terjadi keruntuhan ;

Tegangan utama mayor total	$= \sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f$
Tegangan utama minor total	$= \sigma_3$
Tekanan air pori saat runtuh	$= u_{d \text{ (runtuh)}} = A_f \Delta\sigma_f$
Tegangan utama mayor efektif	$= \sigma_1 - A_f \Delta\sigma_f = \sigma_1'$
Tegangan utama minor efektif	$= \sigma_3 - A_f \Delta\sigma_f = \sigma_3'$

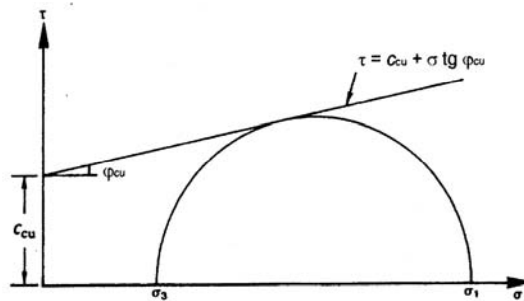
Uji consolidated undrained memerlukan sejumlah benda uji untuk menentukan parameter kuat geser tanah seperti gambar dibawah ini (untuk lempung *normally consolidated*).



Gambar II.12 Uji triaksial lempung *normally consolidated* kondisi CU

Selubung kegagalan tegangan total untuk lempung *overconsolidated* pada uji CD dapat ditulis

$$\tau = c_{cu} + \sigma \operatorname{tg} \varphi_{cu}$$



Gambar II.13 Uji triaksial lempung *overconsolidated* kondisi CU

Contoh soal

Data hasil uji consolidated undrained (CU) diperoleh data sebagai berikut ;

Tekanan sel (kN/m ²)	Tegangan deviator (kN/m ²)	Tekanan air pori saat runtuh (ud _r) (kN/m ²)
100	410	- 65
200	520	- 10
400	720	80
600	980	180

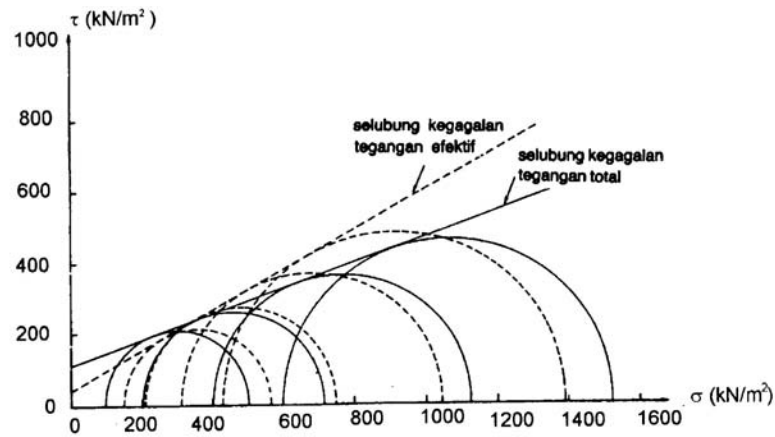
a. Gambarkan garis selubung kegagalan pada ;

- Tegangan total
- Tegangan efektif

- b. Gambarkan hubungan variasi parameter tekanan air pori saat runtuh (A_f) dengan nilai banding overconsolidated (OCR).

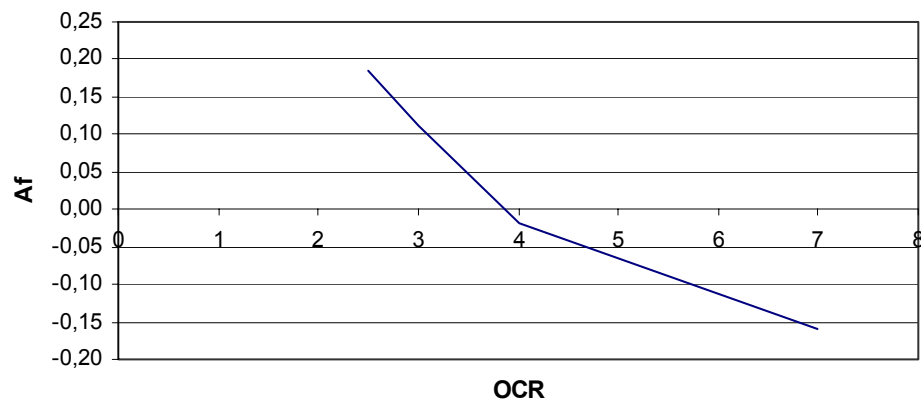
Penyelesaian

σ_3 (kN/m ²)	$\Delta\sigma$ (kN/m ²)	μd_f (kN/m ²)	σ_1 (kN/m ²)	$\sigma_3' = \sigma_3 - \mu d_f$ (kN/m ²)	$\sigma_1' = \sigma_1 - \mu d_f$ (kN/m ²)
100	410	-65	510	165	575
200	520	-10	720	210	730
400	720	80	1120	320	1040
600	980	180	1580	420	1400



Gambar CII-4 Gambar garis selubung kegagalan dengan σ dan σ'

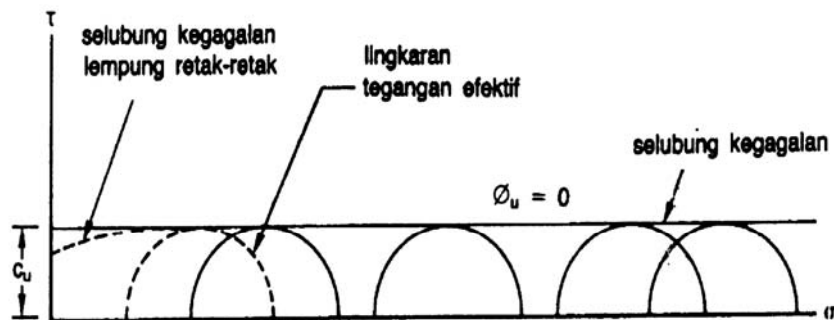
$A_f = \Delta\mu d_f / \Delta\sigma$	OCR
-0,16	7
-0,02	4
0,11	3
0,18	2,5



Gambar CII-5 Hubungan parameter tekanan air pori (A_f) dengan OCR saat runtuh

* Kondisi Unconsolidated Undrained (UU), digunakan untuk menentukan kuat geser tanah lempung pada kondisi aslinya, dimana angka porinya tidak berubah. Pada uji UU dari sejumlah sample dengan tekanan sel yang berbeda akan menghasilkan tegangan deviator ($\Delta\sigma$) yang sama saat runtuh, jika tanah yang diuji jenuh. Sehingga selubung kegagalan mendatar ($\phi = 0$). Dan persamaan kuat geser kondisi undrained dinyatakan ;

$$S_u = C_u = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$



Gambar II.14 Uji triaksial UU pada lempung jenuh

Kohesi tanah lempung kondisi jenuh pada uji UU ditulis c_u atau s_u , nilai kuat geser yang dihasilkan biasanya disebut *kuat geser undrained* yaitu ;

$$s_u = c_u = \frac{\Delta\sigma_f}{2}$$

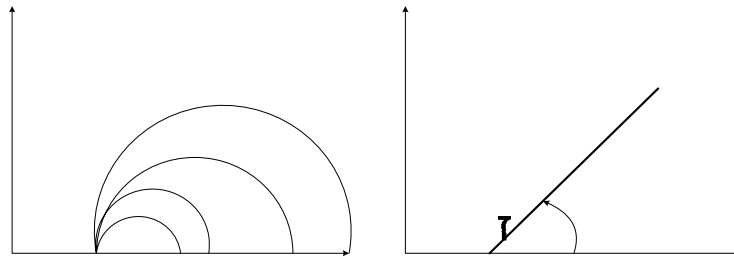
g. Lintasan tegangan (steress path)

Kedudukan tegangan-tegangan yang dibahas dalam lingkaran Mohr, dapat digambarkan dalam koordinat $p - q$, dimana ;

$$p' = \frac{1}{2} (\sigma_1' + \sigma_3')$$

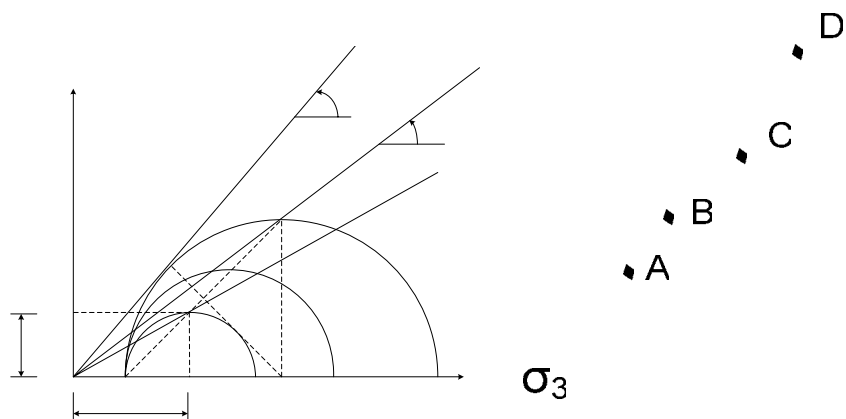
$$q' = \frac{1}{2} (\sigma_1' - \sigma_3')$$

Cara ini diperkenalkan pertama kali oleh Lambe (1969), untuk menggambarkan kedudukan tegangan yang berurutan selama proses pengujian , digambarkan beberapa buah lingkaran Mohr . sebagai contoh dilaksanakan sebuah pengujian dengan σ_3 tetap, sedangkan σ_1 bertambah dalam sekali uji triaksial kompresi, hasilnya adalah sejumlah lingkaran Mohr yang bisa membingungkan, ini bisa disederhanakan dengan menggambarkan sederet titik tegangan yang dihubungkan oleh sebuah garis. Garis inilah yang disebut dengan **lintasan tegangan (steress path)**. Garis ini digambarkan dalam sistem koordinat $p - q$.



Gambar II. 15 Lintasan tegangan (stress path)

Lintasan tegangan tidak harus garis lurus, ini tergantung dari variasi tambahan tegangan.



Gambar II. 16 Lintasan tegangan kondisi kegagalan

Titik pada absis p dan ordinat q dari masing-masing lingkaran Mohr dihubungkan diperoleh lintasan tegangan dengan garis AB. garis yang menghubungkan titik 0 dengan titik B (titik tegangan lingkaran Mohr saat kegagalan) disebut garis K_f . Bila tegangan lateral ditinjau saat kegagalan maka ;

$$K_f = \frac{\sigma_{3f}'}{\sigma_{1f}'}$$

Garis K_f membuat sudut α dengan sumbu tegangan normal , diperoleh

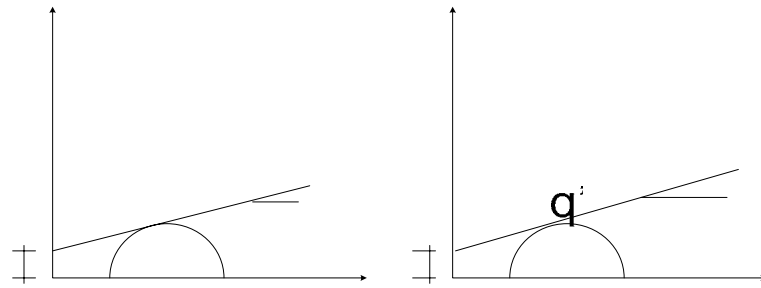
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{BC}{OC} = \frac{(\sigma_{1f}' - \sigma_{3f}')/2}{(\sigma_{1f}' + \sigma_{3f}')/2}$$

Dengan σ_{1f}' dan σ_{3f}' adalah tegangan utama pada saat kegagalan, selanjutnya

$$\sin \varphi = \frac{DC}{OC} = \frac{(\sigma_{1f}' - \sigma_{3f}')/2}{(\sigma_{1f}' + \sigma_{3f}')/2}$$

Dari kedua persamaan diperoleh hubungan

$$\operatorname{tg} \alpha = \sin \varphi$$



Gambar II. 17 Hubungan K_f dengan lingkaran Mohr

Dari **Gambar II.17** persamaan garis K_f adalah,

$$q_f' = a' + p_f' \tan \alpha$$

sedangkan persamaan kegagalan Mohr – Coulomb,

$$\zeta_f' = c' + \sigma' \tan \phi$$

dari persamaan $\tan \alpha = \sin \phi$ diperoleh,

$$c' = \frac{a}{\cos \phi'}$$

Penggunaan lain diagram $p - q$ adalah memperlihatkan lintasan tegangan total (**total stress path** = **TSP**) dan lintasan tegangan efektif (**efektif stress path** = **ESP**) pada diagram yang sama. Untuk selanjutnya hubungan lain diperoleh,

$$\frac{q}{p} = \frac{1/2(\sigma_1 - \sigma_3)}{1/2(\sigma_1 + \sigma_3)} = \frac{1 - \sigma_3 / \sigma_1}{1 + \sigma_3 / \sigma_1} = \frac{1 - K}{1 + K}$$

Jika $\sigma_1 = \sigma_3$ maka $K = 1$ berarti kondisi tegangan **isotropis** tanpa tegangan geser

Pada uji konsolidasi, tegangan lateral = 0 sehingga $K = K_o$ (koefisien tanah kondisi diam), lintasan tegangan K_o dapat digunakan untuk menggambarkan penambahan tegangan akibat beban pengendapan pada lempung *normally consolidated*.

α', K_f