

MEKANIKA TANAH

KRITERIA KERUNTUHAN MOHR - COULOMB



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN JAYA

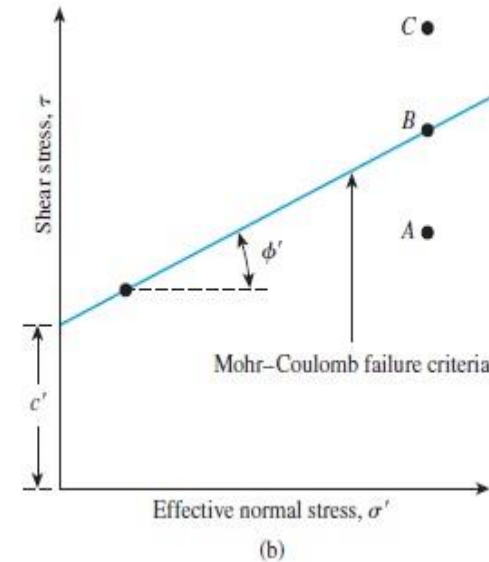
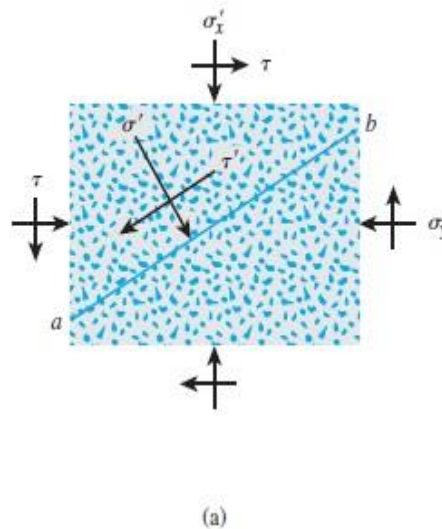
Jl. Boulevard Bintaro Sektor 7, Bintaro Jaya
Tangerang Selatan 15224

KRITERIA KERUNTUHAN MOHR – COULOMB

Keruntuhan geser (*shear failure*) tanah terjadi **bukan** disebabkan hancurnya butir-butir tanah tersebut tetapi karena adanya gerak relatif antara butir-butir tanah tersebut.

Mohr menjelaskan bahwa keruntuhan sebagai akibat dari kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum dan tegangan geser maksimum saja. Sehingga pada bidang keruntuhan dapat dinyatakan bahwa :

$$\tau_f = f(\sigma)$$



KRITERIA KERUNTUHAN MOHR – COULOMB

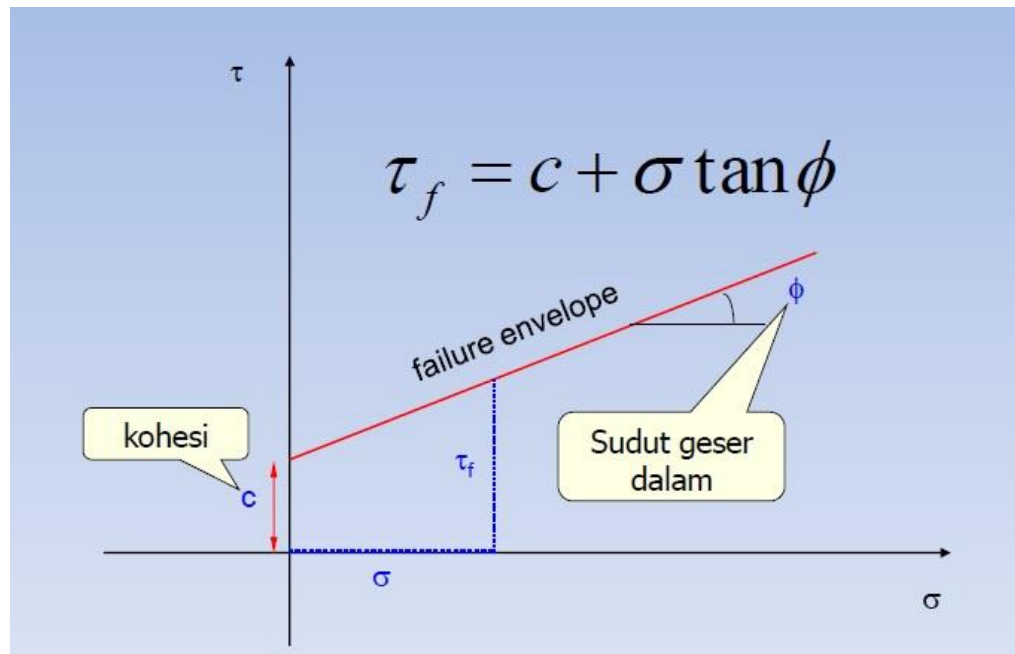
Persamaan itu dinyatakan sebagai :

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

c = kohesi

ϕ = sudut geser dalam

τ_f = tegangan geser



Untuk tanah jenuh air , tegangan normal total pada titik tersebut adalah penjumlahan dari tegangan efektif (σ') dan tekanan air pori (u) atau

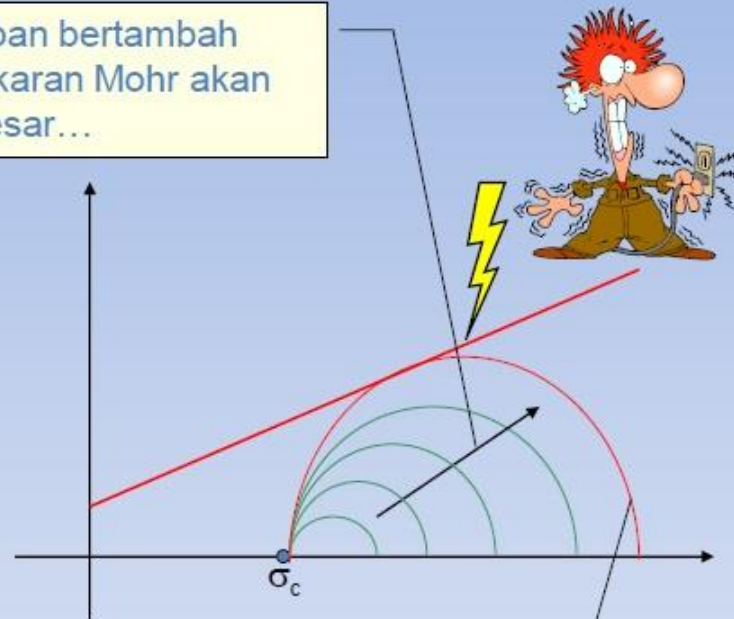
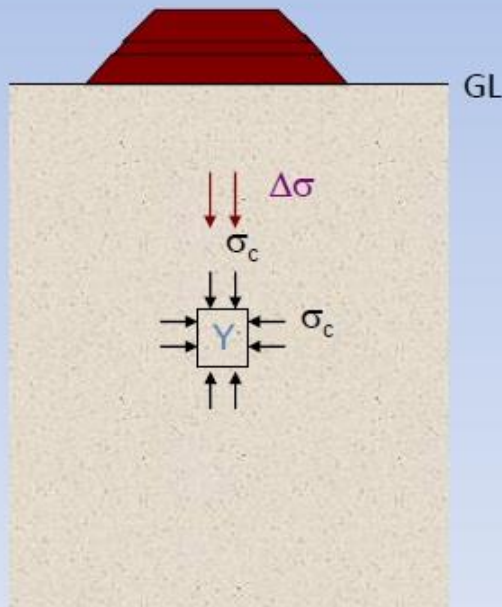
$$\sigma = \sigma' + u$$

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

KRITERIA KERUNTUHAN MOHR – COULOMB

Mohr Circles & Failure Envelope

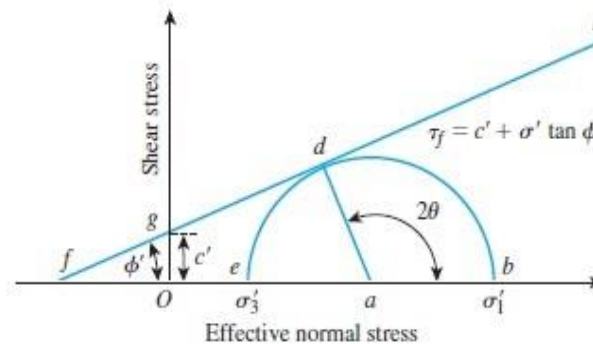
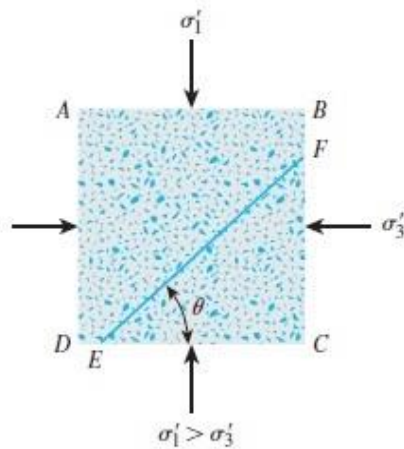
Ketika beban bertambah
maka lingkaran Mohr akan
semakin besar...



.. dan akhirnya terjadi keruntuhan
pada saat lingkaran Mohr
mencapai garis keruntuhan

Kemiringan Bidang keruntuhan Akibat Geser

Menentukan kemiringan bidang keruntuhan dengan bidang utama besar (major principal plane) diilustrasikan berikut :



$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta$$

$$\tau_f = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\theta$$

Kemiringan Bidang keruntuhan Akibat Geser

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

atau

Untuk harga-harga σ_3 dan c tertentu, kondisi runtuh akan ditentukan oleh harga minimum dari tegangan utama besar σ_1 .

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{c + \sigma_3 \tan \phi}{\frac{1}{2} \sin 2\theta - \cos^2 \theta \cdot \tan \phi}$$

Bila harga σ_1 minimum, maka harga $(\frac{1}{2} \sin 2\theta - \cos^2 \theta \cdot \tan \phi)$ pada persamaan di atas haruslah maksimum

$$\cos^2 \theta - \sin^2 \theta + 2 \sin \theta \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi = 0$$

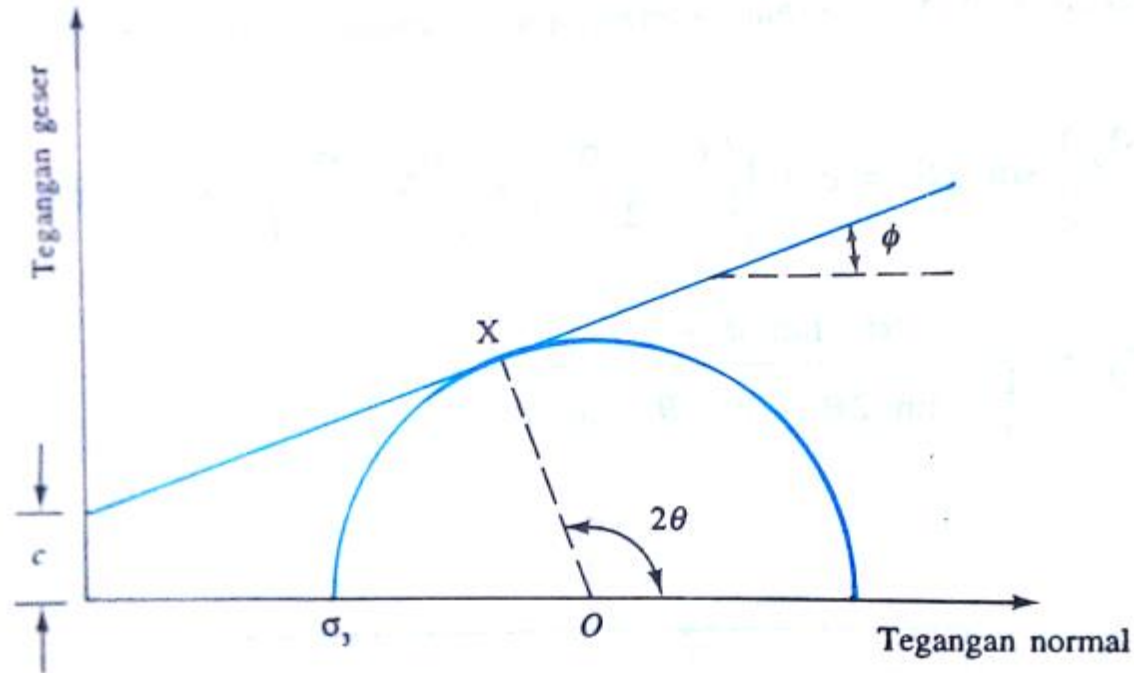
$$\frac{d}{d\theta} \left(\frac{1}{2} \sin 2\theta - \cos^2 \theta \cdot \tan \phi \right) = 0$$



$$\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$$



Kemiringan Bidang keruntuhan Akibat Geser



Garis keruntuhan yang dinyatakan oleh persamaan menyinggung lingkaran Mohr pada titik X . Jadi keruntuhan geser yang terjadi pada bidang tertentu dapat dinyatakan dengan lingkaran berjari-jari OX dan bidang tersebut harus membentuk kemiringan sudut terhadap bidang utama besar.

Kemiringan Bidang keruntuhan Akibat Geser

Bila harga dimasukkan ke dalam persamaan 1 dan kemudian disederhanakan akan menghasilkan

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

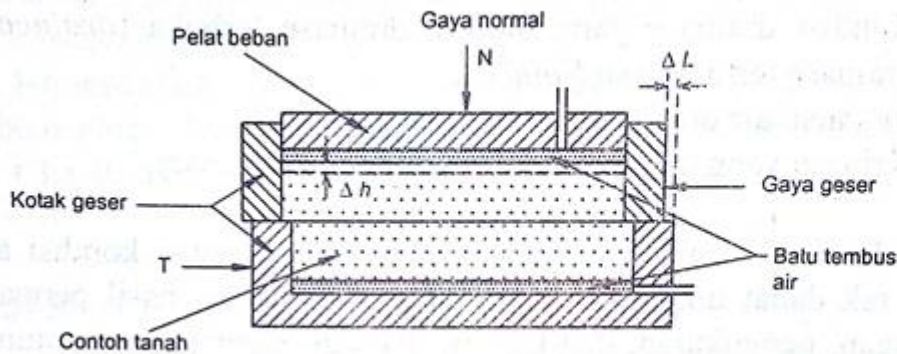
PENENTUAN PARAMETER-PARAMETER KEKUATAN GESER TANAH DI LABORATORIUM

Harga parameter kekuatan geser tanah dapat ditentukan dengan pengujian di laboratorium, yaitu terutama dengan melakukan dua pengujian pokok yaitu

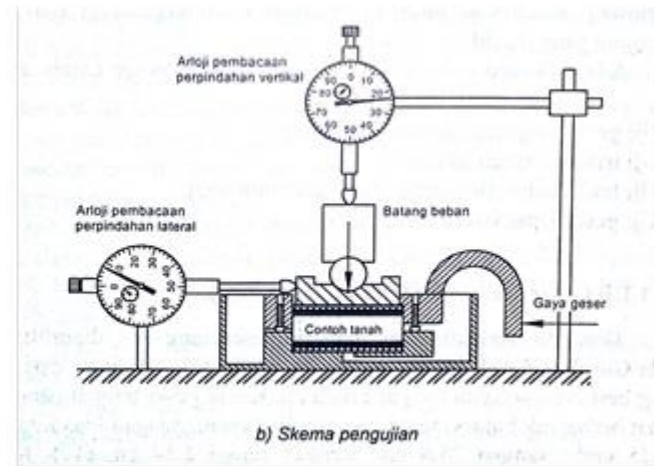
- uji geser langsung (direct shear)
- uji triaksial (uji tekan terkekang/*confined compression*).

Uji Geser Langsung (*Direct Shear Method*)

- ❑ Merupakan pengujian geser tertua dan yang paling sederhana
- ❑ uji geser langsung dapat dilakukan dengan cara tegangan geser terkendali dimana penambahan gaya geser dibuat konstan atau dengan cara tegangan terkendali dimana kecepatan geser yang diatur.



a) Skema contoh tanah setelah tergeser.



b) Skema pengujian

Selama pengujian, perpindahan (ΔL) akibat gaya geser dari setengah bagian dan perubahan tebal (Δh) benda uji dicatat.

Uji Geser Langsung (*Direct Shear Method*)

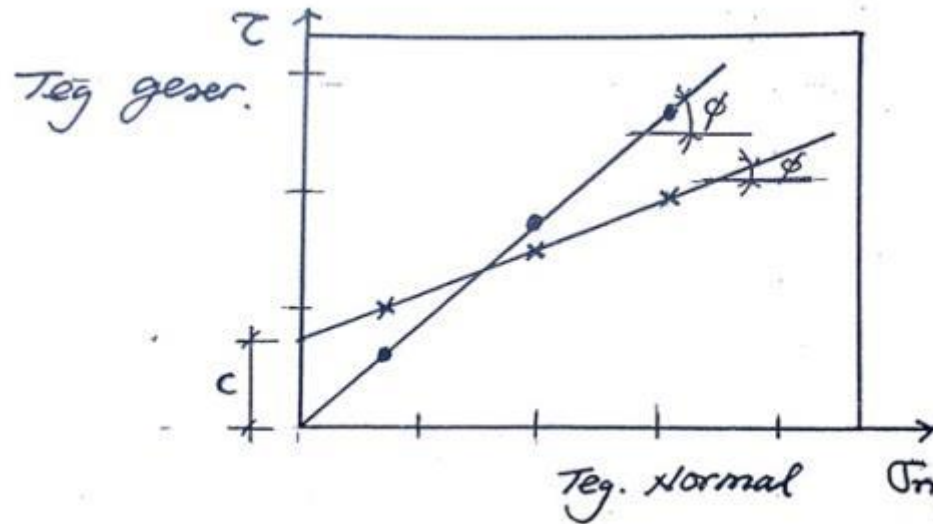
Beberapa batasan uji geser langsung adalah :

- Tanah benda uji dipaksa untuk mengalami keruntuhan pada bidang yang telah ditentukan sebelumnya.
- Distribusi tegangan pada bidang keruntuhan tidak uniform
- Tekanan air pori tidak dapat diukur
- Deformasi yang diterapkan pada benda uji hanya terbatas pada gerakan maksimum sebesar alat geser langsung dapat digerakkan.
- Pola tegangan pada kenyataannya adalah sangat kompleks dan arah dari bidang –bidang tegangan utama berotasi ketika regangan geser ditambah
- Drainase tidak dapat dikontrol, kecuali hanya dapat ditentukan kecepatan penggeserannya.

Uji Geser Langsung (*Direct Shear Method*)

Uji geser langsung biasanya dilakukan beberapa kali pada sebuah sampel dengan berbagai macam tegangan normal ($\sigma_{n1}, \sigma_{n2}, \sigma_{n3}, \dots$). Harga tegangan normal dan harga τ_f yang didapat dengan beberapa kali pengukuran dapat digambarkan pada sebuah grafik dan selanjutnya dapat ditentukan parameter kekuatan gesernya

Persamaan untuk harga rata-rata garis yang menghubungkan titik-titik dalam percobaan tersebut dapat dilakukan interpolasi untuk mendapatkan persamaan garis tersebut. , yaitu menurut persamaan Mohr – Coulomb maka akan diperoleh nilai c dan ϕ .



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

Jadi besar sudut geser adalah

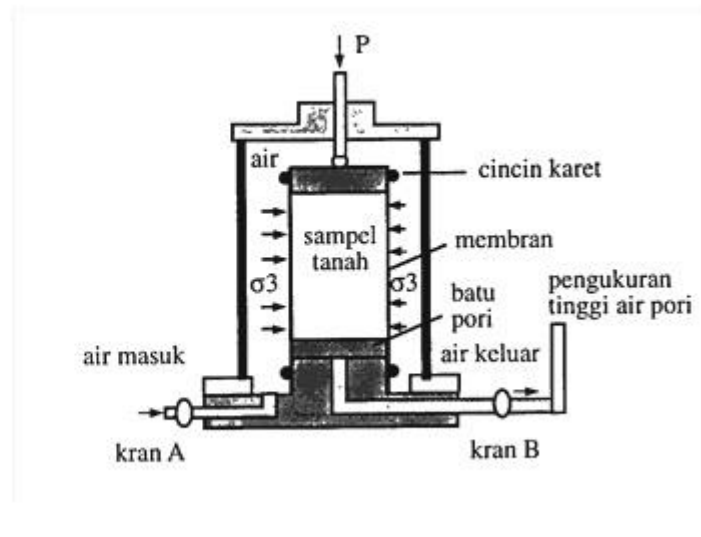
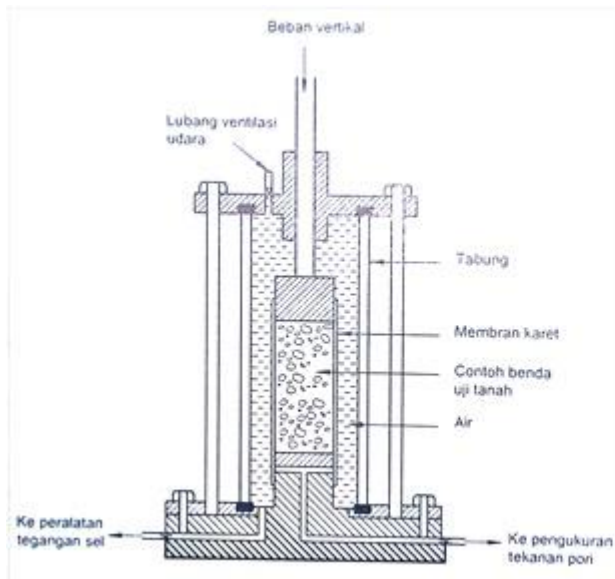
$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\tau_f}{\sigma} \right)$$

(catatan : $c = 0$ untuk pasir dan $\sigma = \sigma'$)

Uji Triaksial

Benda uji ditekan oleh tekanan sel (σ_3), yang berasal dari tekanan cairan di dalam tabung

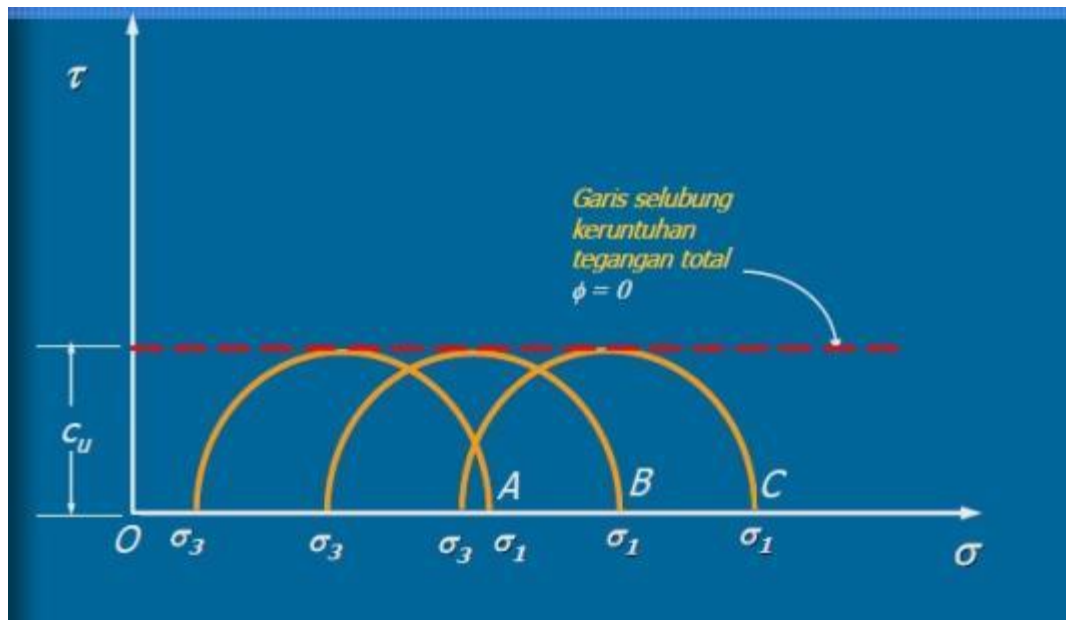
- Udara kadang-kadang dapat digunakan sebagai media untuk penerapan tekanan selnya (tekanan kekang atau confining pressure)
- Alat pengujian dihubungkan dengan pengaturan drainase ke dalam atau keluar dari benda uji. Untuk menghasilkan kegagalan geser pada benda uji, gaya aksial dikerjakan melalui bagian atas benda



Uji Triaksial

Unconsolidated – Undrained (UU)

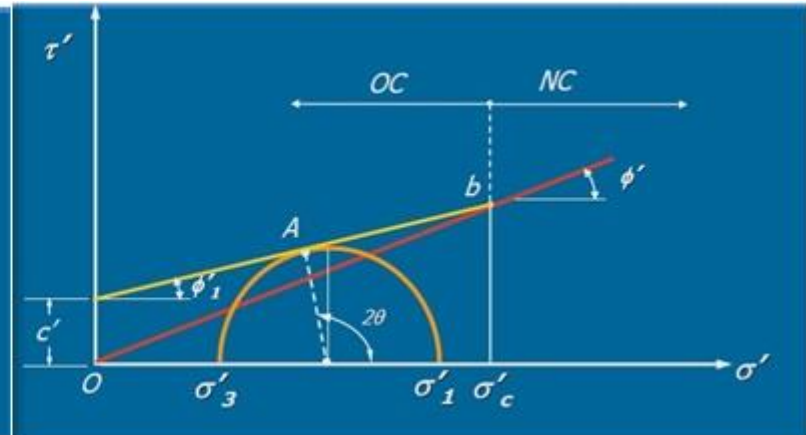
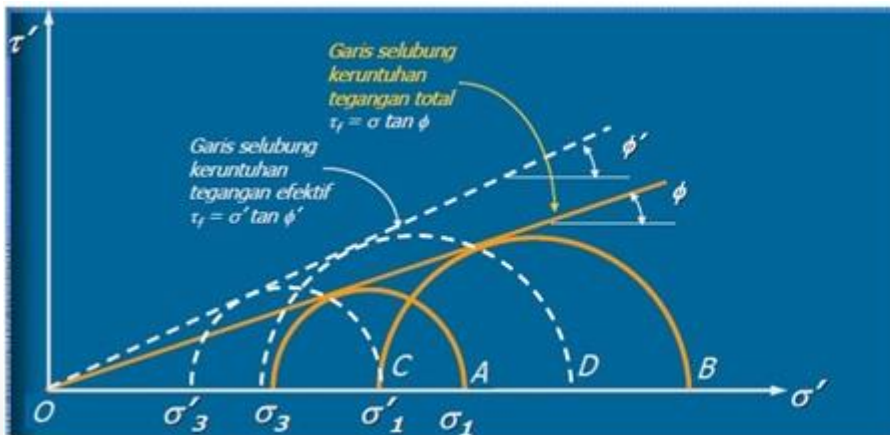
- sampel tanah tidak dikonsolidasikan terlebih dahulu sebelum pembebanan.
- Selama pengujian kran A selalu ditutup **sehingga tidak terjadi drainase**.
- Setelah σ_3 bekerja, σ_1 dapat langsung dikerjakan tanpa harus menunggu sampai terkonsolidasi. → **pengujian cepat**
- Pada kondisi ini yang akan diperoleh adalah ϕ dan c , karena pengujian pada tekanan total.
- Nilai $\phi = 0$, **maka garis keruntuhan mendatar**



Uji Triaksial

Consolidated – Undrained (CU)

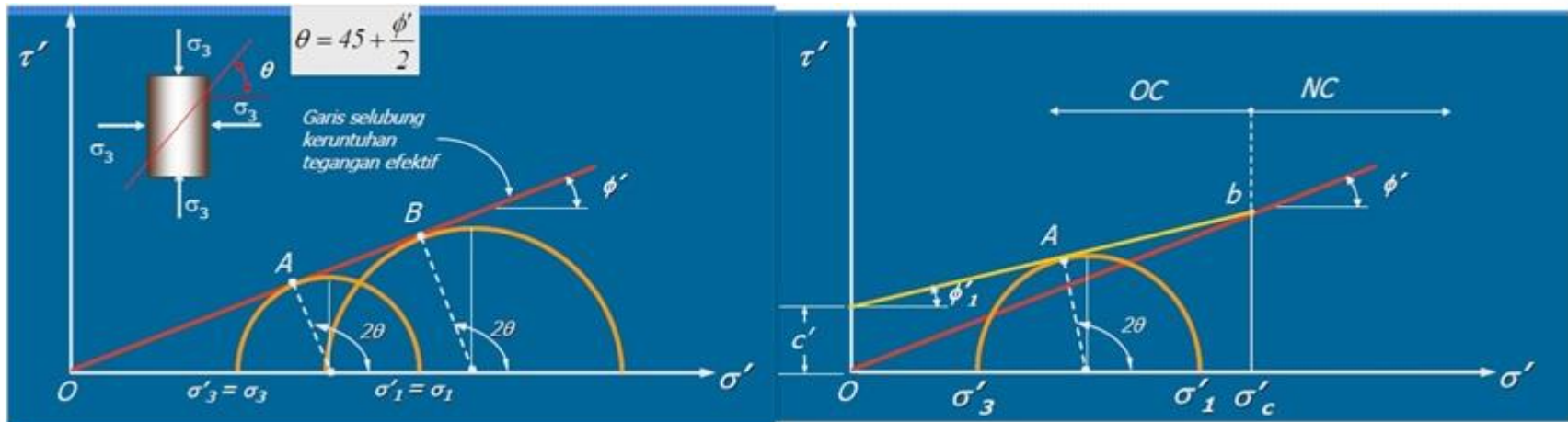
- Sebelum σ_1 diaktifkan sampel tanah harus dikonsolidasikan dulu dengan beban σ_3 dengan cara σ_3 diaktifkan terlebih dahulu dan diberi waktu supaya air pori keluar dulu.
- Setelah konsolidasi benar-benar selesai, barulah beban diaktifkan dengan penambahan beban sampai tanah pecah.
- saat pengujian besarnya air pori dicatat. Tekanan efektifnya $\sigma'_3 = \sigma_3 + u$ dan $\sigma'_1 = \sigma_1 + u$



Uji Triaksial

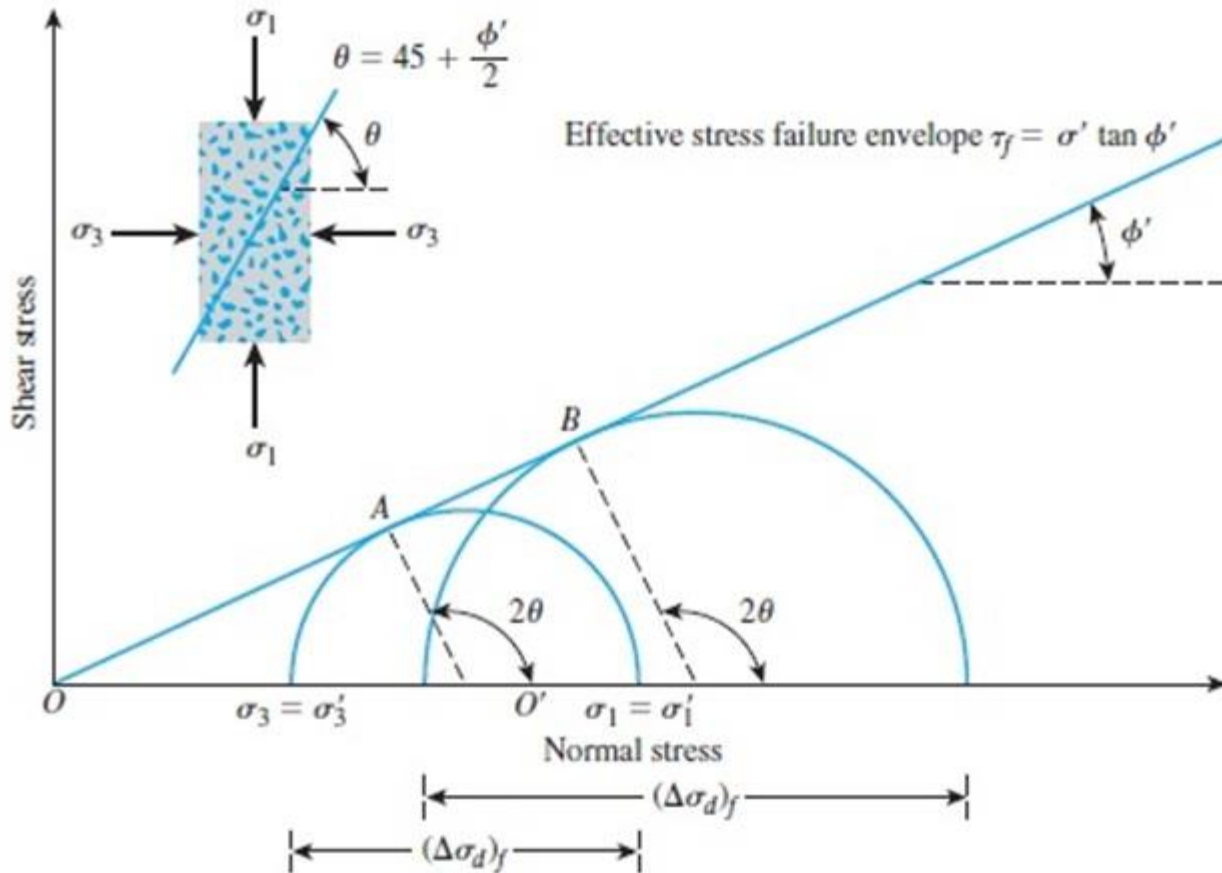
Consolidated – Drained (CD)

- Tanah dikonsolidasikan dahulu oleh tekanan sel σ_3 kran A dibuka dan ditunggu sampai konsolidasi selesai
- Pembebanan dilaksanakan perlahan-lahan dan kran A selalu dibuka sehingga tekanan air pori nol dan didapat σ_3 dan σ'_1 .
- Nilai yang didapat adalah ϕ' dan c' .
- Cara ini sesuai untuk pengujian tanah kepasiran dan nilai k tinggi.



Pengujian lama dapat berhari-hari !!!

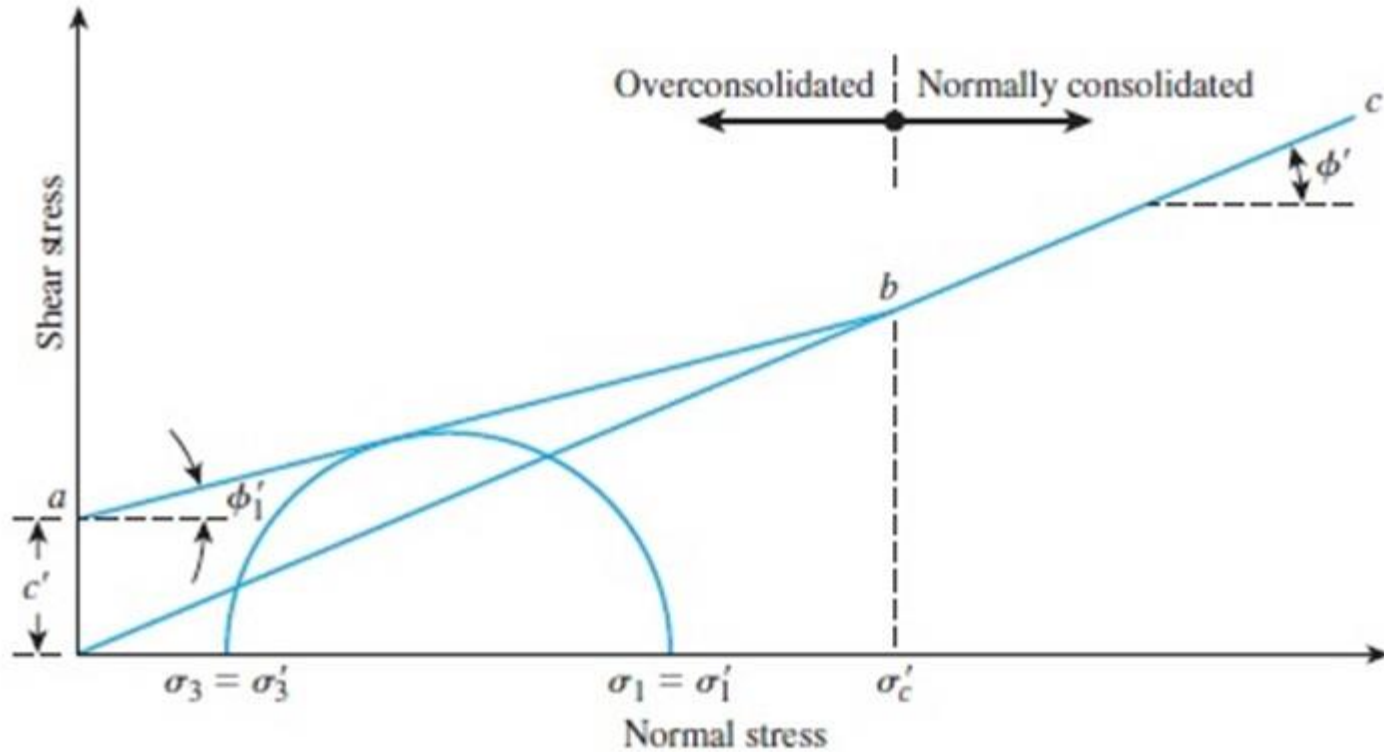
TANAH LEMPUNG KONSOLIDASI NORMAL



$$\sin \phi' = \frac{\left(\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}\right)}{\left(\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}\right)}$$

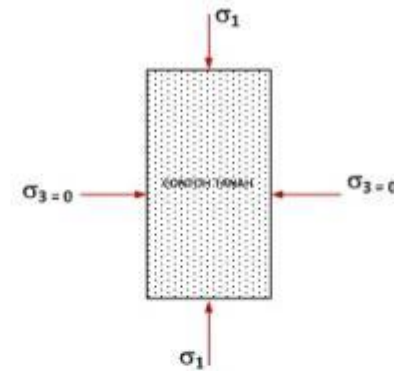
$$\phi' = \sin^{-1} \left(\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3} \right)$$

TANAH LEMPUNG KONSOLIDASI BERLEBIH



Uji Kuat Tekan Bebas (*unconfined compression test*)

- Uji tekan bebas termasuk hal yang khusus dari uji triaksial unconsolidated-undrained
- Mirip dengan uji triaksial tapi **tidak ada tegangan sel σ_3**
- pengujian ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung jenuh, dimana pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir ke luar dari benda uji.
- Tegangan aksial yang diterapkan di atas benda uji berangsur-angsur ditambah sampai benda uji mengalami keruntuhan

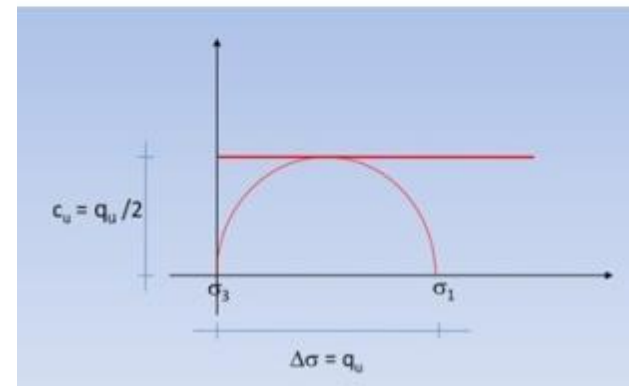


$$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u$$

q_u adalah kuat tekan bebas

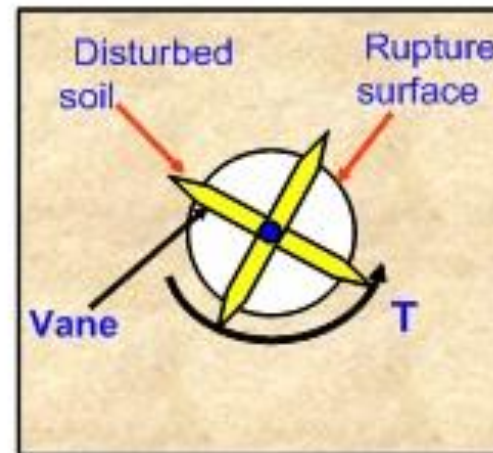
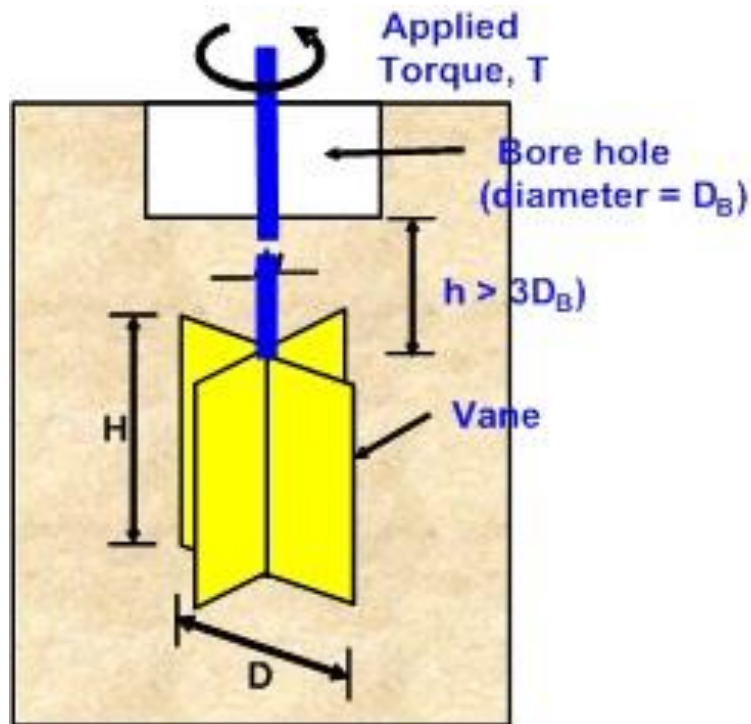
nilai $\Delta\sigma_f$ pada lempung jenuh seharusnya = uji triaksial UU untuk benda uji yang sama

$$s_u = C_u = \frac{q_u}{2}$$



Uji geser Kipas (*Vane shear Test*)

Pengujian ini digunakan untuk menentukan kuat geser *undrained* baik di laboratorium maupun di lapangan pada lempung jenuh yang tidak retak-retak



contoh soal

Suatu uji triaksial CD (*consolidated Drained*) dilakukan pada tanah lempung terkonsolidasi normal. Hasilnya adalah sebagai berikut :

$$\sigma_3 = 276 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta\sigma_d = 276 \text{ kN/m}^2$$

Tentukan :

- Sudut geser (ϕ)
- Sudut θ yang merupakan sudut antara bidang keruntuhan dengan bidang utama besar (major principal plane)
- Tegangan normal σ' dan tegangan geser τ_f pada bidang keruntuhan

JAWAB :

Untuk tanah terkonsolidasi normal , garis keruntuhan memiliki persamaan :

$$\tau_f = \sigma' \tan \phi$$

Pada uji triaksial baik tegangan utama besar maupun kecil pada saat terjadi keruntuhan adalah :

$$\sigma' = \sigma_1 = \sigma_3 + [\Delta\sigma_d]_f = 276 + 276 = 552 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Dan } \sigma_3 = \sigma'_{3f} = 276 \text{ kN/m}^2$$

contoh soal

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

atau

$$\sin \phi = \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{\sigma_1' + \sigma_3'} = \frac{552 - 276}{552 + 276} = 0,333$$
$$\phi = \underline{19,45^\circ}$$

b) $\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2} = 45^\circ + \frac{19,45}{2} = \underline{54,73^\circ}$

$$\sigma' \text{ (pada bidang keruntuhan)} = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} + \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \cos 2\theta$$

dan

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

Dengan memasukkan harga $\sigma_1' = 552 \text{ kN/m}^2$, $\sigma_3' = 276 \text{ kN/m}^2$, dan $\theta = 54,73^\circ$ di atas akan kita dapatkan

$$\sigma' = \frac{552 + 276}{2} + \frac{552 - 276}{2} \cos (2 \times 54,73) = \underline{368,03 \text{ kN/m}^2}$$

dan

$$\tau_f = \frac{552 - 276}{2} \sin (2 \times 54,73) = \underline{130,12 \text{ kN/m}^2}$$

contoh soal

