

KORELASI KUAT GESER *UNDRAINED* TANAH KELEMPUNGAN PADA KONDISI *NORMALLY CONSOLIDATED* DAN *OVER CONSOLIDATED*

Sitti Hijraini Nur¹, Asad Abdurrahman²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin Makassar, Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10
Email: aini_2111@yahoo.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin Makassar, Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10
Email: muh.asad@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kuat geser merupakan salah satu parameter untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Oleh karena itu, perlu ada studi terhadap hubungan kekuatan geser *undrained* tanah pada kondisi *normally consolidated* dan *over consolidated*. Penelitian ini dilakukan di laboratorium, dengan menggunakan alat konsolidometer standar untuk pengujian konsolidasi tanah dan alat *Direct Shear Test* untuk pengujian kuat geser tanah. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi pembebanan pada konsolidasi untuk satu jenis tanah lempungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi *normally consolidated* tanah lempungan dengan kadar lempung 16% diperoleh nilai kohesi (c) = 0.097 kg/cm² dan nilai sudut geser (ϕ) = 35.07°. Pada kondisi *over consolidated* diperoleh bahwa semakin besar nilai *overconsolidation ratio*, maka semakin besar nilai kohesi. Demikian pula, semakin besar nilai *overconsolidation ratio*, maka semakin besar nilai sudut geser. Dari hasil penelitian juga diperoleh suatu hubungan pendekatan (korelasi) antara *overconsolidation ratio* dengan kekuatan geser *undrained* tanah lempungan, yakni : $\tau_{oc} = (0.018 \text{ OCR} + 0.081) + \sigma \tan (1.141 \text{ OCR} + 33.96)^\circ$ untuk nilai $\text{OCR} \leq 4$ dan $\tau_{oc} = (0.067 \text{ OCR} - 0.115) + \sigma \tan (1.141 \text{ OCR} + 33.96)^\circ$ untuk nilai $\text{OCR} \geq 4$.

Kata Kunci: kekuatan geser *undrained*, *normally consolidated*, *over consolidated*, *overconsolidation ratio*.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang Masalah

Tanah merupakan bagian penting dari suatu bangunan sipil yaitu sebagai dasar bangunan. Beban-beban bangunan yang ada di atasnya seperti jalan raya, jembatan dan gedung-gedung dipikul oleh tanah. Karena hal tersebutlah tanah menjadi unsur penting yang sangat mempengaruhi kekuatan struktur suatu konstruksi disamping bahan yang lainnya.

Semua tanah yang mengalami tegangan akan mengalami regangan di dalam kerangka tanah tersebut. Regangan ini disebabkan oleh penggulingan, pergeseran, atau penggelinciran. Integrasi regangan sepanjang kedalaman pengaruh disebut penurunan.

Pada masa lalu banyak masalah yang timbul karena kurang menyadari bahwa penurunan merupakan proses yang lambat laun dan dapat berlangsung sampai bertahun-tahun lamanya hingga terjadi penurunan total akhir yang besar. Bekerjanya tegangan terhadap tanah akan menghasilkan regangan yang tergantung pada waktu. Oleh karena itu besarnya penurunan yang terjadi pada setiap tegangan dapat dilakukan melalui pengujian konsolidasi.

Penurunan besar yang terjadi pada tanah akibat tekanan yang berada di atasnya akan menyebabkan terjadinya keruntuhan. Kuat geser merupakan salah satu parameter untuk mengukur kemampuan tanah menahan tekanan tanpa terjadi keruntuhan. Dalam sejarah geologinya, tanah mungkin pernah mengalami konsolidasi akibat tekanan yang lebih besar dari tekanan yang bekerja sekarang. Oleh karena itu, perlu ada studi terhadap hubungan kuat geser *undrained* pada kondisi *normally consolidated* dan *over consolidated*.

Istilah *normally consolidated* dan *over consolidated* digunakan untuk menggambarkan suatu sifat penting dari tanah lempung yang biasanya terjadi dari proses pengendapan. Selama proses pengendapan, lapisan tanah lempung mengalami konsolidasi atau penurunan akibat tekanan tanah yang berada di atasnya. Untuk itulah pengujian pada tanah lempungan ini dilakukan pada kondisi tersebut.

2. Karakteristik Mekanis Tanah.

Dalam pengertian teknik secara umum, “tanah” merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah lapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

2.1 Sifat Pemampatan (Konsolidasi) Tanah

Konsolidasi adalah suatu proses pengecilan isi tanah jenuh air secara perlahan-lahan akibat keluarnya air pori. Tanah dapat mengalami keadaan *normally consolidated* dan *over consolidated*. Tanah dikatakan dalam keadaan *normally consolidated* apabila tegangan efektif yang bekerja pada suatu titik di dalam tanah pada waktu sekarang merupakan tegangan maksimumnya (atau tanah tidak pernah mengalami tekanan yang lebih besar dari tekanan pada waktu sekarang). Tanah dikatakan *over consolidated* apabila tanah pernah mengalami konsolidasi akibat tekanan yang lebih besar dari tekanan yang bekerja sekarang.

Lempung pada kondisi *normally consolidated* bila $P_c = P_o$, sedang lempung pada kondisi *over consolidated* bila $P_c > P_o$. Nilai banding *overconsolidation* (*Overconsolidation Ratio*, OCR) didefinisikan sebagai nilai banding tekanan prakonsolidasi terhadap tegangan efektif yang ada, atau bila dinyatakan dalam persamaan:

$$OCR = \frac{P_c'}{P_o'} \dots\dots\dots (1)$$

2.2 Kekuatan Geser Tanah

Ada 3 cara melakukan percobaan untuk mendapatkan kekuatan geser tanah :

- a. Percobaan geser langsung (*direct shear test*)
- b. Percobaan Triaxial (*triaxial test*)
- c. Percobaan tekan bebas (*unconfined compression test*)

2.3 Uji Geser Langsung (*Direct Shear Test*)

Pengujian geser langsung (*direct shear test*) merupakan pengujian untuk mengetahui karakteristik/parameter kuat geser tanah yaitu sudut geser dalam dan kohesi tanah. Pengujian geser langsung dilakukan dengan meletakkan sampel tanah pada kotak geser dan gaya geser diberikan dengan mendorong sisi kotak sebelah atas sampai terjadi keruntuhan geser pada tanah.

3. Metodologi Penelitian

Sistematika Pengujian

Sampel tanah asli diambil dari lapangan dalam keadaan tidak terganggu. Dilakukan pengujian terhadap karakteristik dasar tanah yang meliputi pemeriksaan karakteristik fisik dan mekanik tanah. Selanjutnya dilakukan pengujian konsolidasi terhadap tanah asli tersebut untuk mendapatkan nilai tekanan pra-konsolidasi. Berdasarkan nilai tekanan pra-konsolidasi tanah asli, selanjutnya tanah diberikan beban sehingga mengalami keadaan konsolidasi berlebih. Tanah asli kemudian diuji kekuatan gesernya pada alat *direct shear test* demikian pula tanah yang telah mengalami konsolidasi berlebih.

Benda uji adalah tanah asli itu sendiri yang diambil dalam keadaan tidak terganggu (*undisturbed*).

Pemeriksaan Karakteristik Fisik Tanah

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik tanah yang akan digunakan. Pengujian yang akan dilakukan antara lain:

1. Berat Jenis Spesifik (G_s)
2. Analisa Gradasi Butiran
3. Batas-batas Atterberg:
 - a. Batas Cair (*Liquid Limit*)
 - b. Batas Plastis (*Plastic Limit*)
 - c. Batas Susut (*Shrinkage Limit*)

Pemeriksaan Karakteristik Mekanik Tanah

Pengujian *Normally Consolidated*

Pengujian konsolidasi normal (*normally consolidated*) dimaksudkan untuk memperoleh nilai tekanan Pra-Konsolidasi yang akan digunakan pada pengujian *over consolidated*.

Pengujian *Over Consolidated*

Pengujian *over consolidated* dimaksudkan untuk menciptakan kondisi tanah sehingga mengalami konsolidasi berlebih dengan tingkat *overconsolidation ratio* yang bervariasi.

Pengujian Geser Langsung

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kekuatan geser kondisi *undrained* pada sampel tanah dengan geser langsung.

4. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Dasar Tanah

Hasil pengujian karakteristik dasar tanah ditampilkan dalam tabel berikut ini:

Tabel 1 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Karakteristik Tanah

Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan
1. Kadar air asli	6,52%
2. Berat jenis spesifik	2,65
3. Batas – batas Atterberg - LL (Liquid Limit) - PL (Plastic Limit) SL (Shrinkage Limit) - IP (Indeks Plastisitas)	58,24% 41,40% 26,96% 16,84%
4. Gradasi butiran	Pasir = 69,64 % Lanau = 14,36 % Lempung = 16 %
5. Klasifikasi Tanah	USCS → SC AASHTO → A-2-7

Sumber : hasil penelitian

Hasil Pengujian Konsolidasi

Tabel 2. Hasil Pengujian Konsolidasi

Pc	Cc	Cs
1.2	0.60837	0.04152
2.4	0.56406	0.03820
4.8	0.60770	0.03267
7.2	0.55077	0.02742
9.6	0.67345	0.01832

Sumber : hasil penelitian

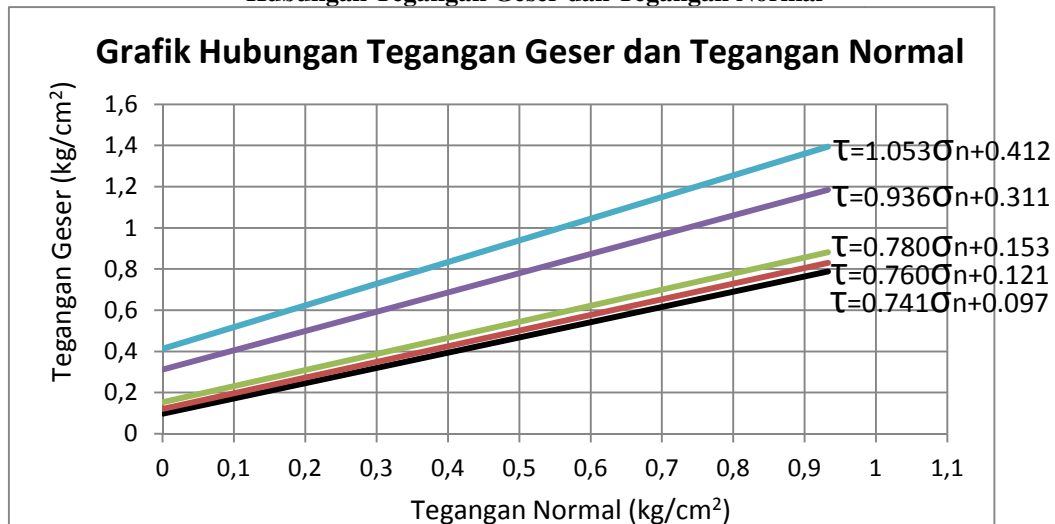
Hasil Pengujian Direct Shear Test

Tabel 3. Hasil Pengujian Direct Shear Test

Pc	c	Ø
1.2	0.097	35.06700828
2.4	0.121	36.5659581
4.8	0.145	38.0089183
7.2	0.311	41.07266621
9.6	0.412	43.12492524

Sumber : hasil penelitian

Hubungan Tegangan Geser dan Tegangan Normal



Gambar 1 Hubungan Tegangan Geser dan Tegangan Normal

Ket Gambar :
 — : OCR = 1
 — : OCR = 2
 — : OCR = 4
 — : OCR = 6
 — : OCR = 8

Dari Gambar 1 di atas menunjukkan adanya perubahan kekuatan geser tanah seiring dengan perubahan nilai OCR yang diberikan. Dapat kita lihat bahwa setiap peningkatan nilai OCR mengakibatkan

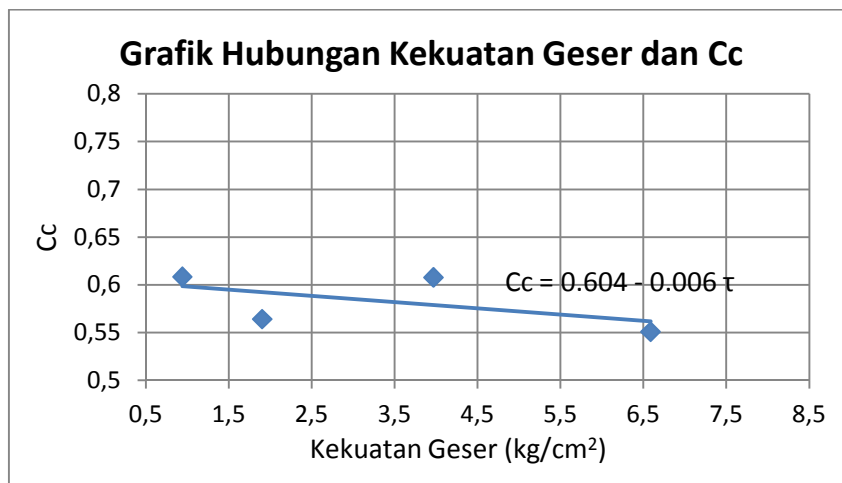
peningkatan nilai kekuatan geser, dimana untuk setiap nilai OCR=2; OCR=4 ; OCR=6 ; OCR=8, memberikan peningkatan kekuatan geser masing-masing sebesar 9.14% ; 10.70% ; 52.22% ; 22.82%.

Hubungan Kekuatan Geser terhadap Cc dan Cs

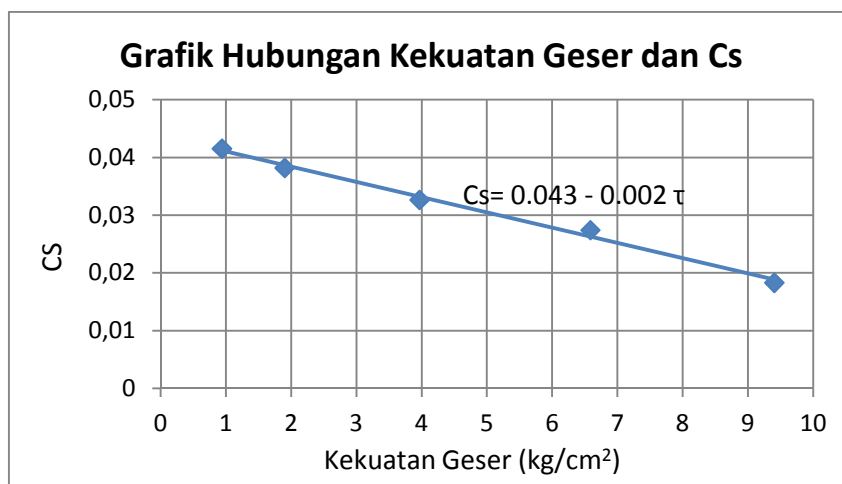
Tabel 4. Nilai τ , Cc, Dan Cs

OCR	T	Cc	Cs
1	0.93934	0.60837	0.04152
2	1.90118	0.56406	0.03820
4	3.96804	0.60770	0.03267
6	6.58591	0.55077	0.02742
8	9.40336	0.67345	0.01832

Sumber : hasil penelitian



Gambar 2 Hubungan Kekuatan Geser dan Cc



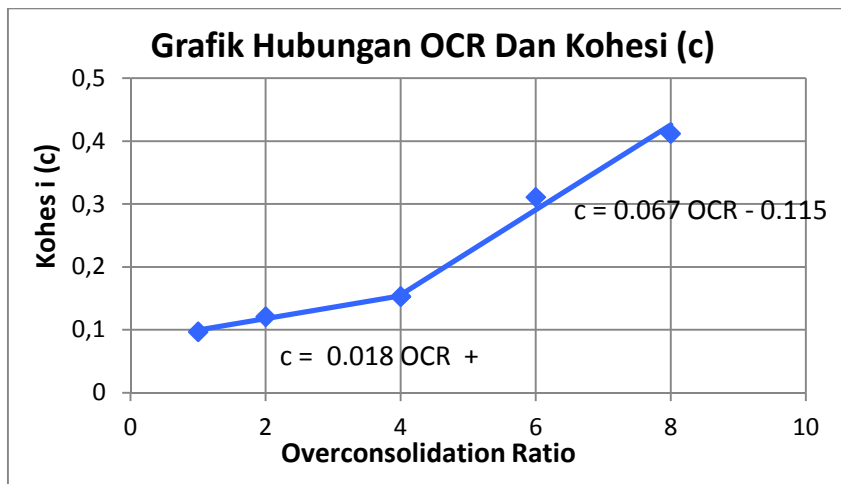
Gambar 3 Hubungan Kekuatan Geser dan Cs

Dari gambar di atas dapat kita lihat bahwa nilai Cc semakin menurun seiring dengan meningkatnya kekuatan geser, demikian pula nilai Cs semakin menurun pada setiap peningkatan kekuatan geser.

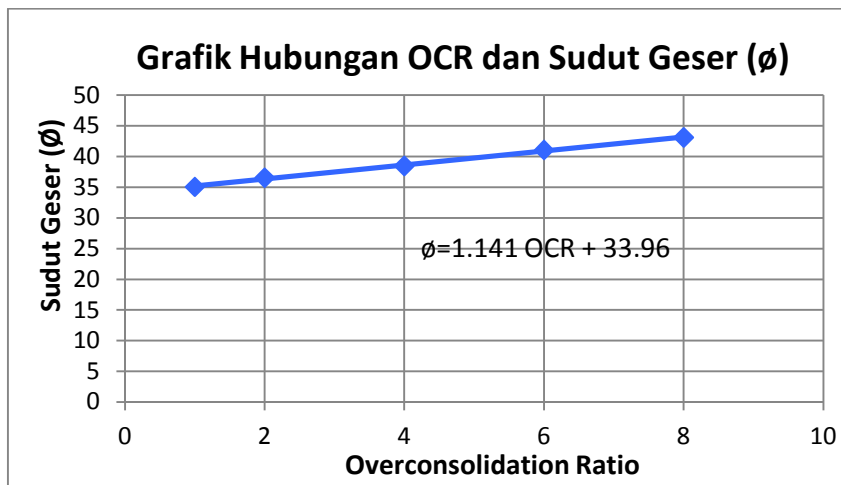
Hubungan OCR Terhadap Kohesi dan Sudut Geser

Tabel 5 Nilai OCR, c, ϕ

OCR	C	ϕ
1	0.097	35.06701
2	0.121	36.56596
4	0.153	38.47769
6	0.311	41.07267
8	0.412	43.12493



Gambar 4 Hubungan OCR Dan Kohesi



Gambar 5 Hubungan OCR Dan Sudut Geser (φ)

Dari Gambar 4 Hubungan Nilai *Overconsolidation Ratio* (OCR) dan kohesi terlihat bahwa nilai kohesi (c) akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai OCR. Demikian juga halnya dengan hubungan nilai OCR dan φ. Sedangkan gambar 5 menunjukkan menunjukkan trend yang sedikit lebih landai dengan nilai φ yang semakin bertambah seiring dengan bertambahnya nilai OCR.

Pembahasan Hasil Penelitian

Dari hasil pengujian konsolidasi diperoleh bahwa pada setiap peningkatan P_o (1.2 kg/cm² ; 2.4 kg/cm² ; 4.8 kg/cm² ; 7.2 kg/cm² ; 9.6 kg/cm²) nilai C_c akan semakin menurun, demikian pula nilai C_s semakin menurun (0.0415 ; 0.038 ; 0.033 , 0.027 ; 0.018).

Dari hasil pengujian kuat geser langsung diperoleh bahwa pada setiap peningkatan nilai P_o (1.2 kg/cm² ; 2.4 kg/cm² ; 4.8 kg/cm² ; 7.2 kg/cm² ; 9.6 kg/cm²) maka nilai kohesi (c) akan semakin meningkat (0.097 ; 0.121 ; 0.153 ; 0.311 ; 0.412). Demikian pula nilai sudut geser (φ) akan semakin meningkat (35.067° ; 36.566° ; 38.478° ; 41.073° ; 43.125°).

Berdasarkan studi korelasi kekuatan geser *undrained* tanah kelempungan untuk kondisi *normally consolidated* dan *over consolidated* maka grafik dari Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan suatu hubungan pendekatan:

- $c_{oc} = 0.018 \text{ OCR} + 0.081$ 2
(untuk nilai OCR ≤ 4)
- $c_{oc} = 0.067 \text{ OCR} - 0.115$ 3
(untuk nilai OCR ≥ 4)
- $\phi_{oc} = 1.141 \text{ OCR} + 33.96$ 4

Dari persamaan diatas diperoleh :

- Untuk nilai OCR ≤ 4

$\tau_{oc} = (0.018 \text{ OCR} + 0.081) + \sigma_n \tan (1.141 \text{ OCR} + 33.96)^\circ$ 5

- Untuk nilai $OCR \geq 4$

$$\tau_{oc} = (0.067 OCR - 0.115) + \sigma_n \tan (1.141 OCR + 33.96)^\circ \dots\dots\dots 6$$

Dengan : τ_{oc} : Kuat Geser Undrained (kg/cm^2)
 OCR : *Overconsolidation Ratio*
 σ_n : Tegangan Normal (kg/cm^2)

5. Kesimpulan

1. Pada kondisi *normally consolidated* tanah lempungan dengan kadar lempung 16 % diperoleh nilai kohesi (c) = 0.097 kg/cm^2 dan nilai sudut geser (ϕ) = 35.07°
2. Semakin besar nilai *overconsolidation ratio*, maka semakin besar nilai kohesi (c). Diperoleh hubungan pendekatan:
 $c_{oc} = 0.018 OCR + 0.081$ (untuk nilai $OCR \leq 4$)
 $c_{oc} = 0.067 OCR - 0.115$ (untuk nilai $OCR \geq 4$)
3. Semakin besar nilai *overconsolidation ratio*, semakin besar nilai sudut geser (ϕ). Diperoleh hubungan pendekatan $\phi_{oc} = 33.96 + 1.141 OCR$
4. Berdasarkan hasil pengujian kuat geser tanah dengan variasi nilai OCR (1 ; 2 ; 4 ; 6 ; 8) diperoleh suatu hubungan pendekatan (korelasi) :
 - Untuk nilai $OCR \leq 4$
 $\tau_{oc} = (0.018 OCR + 0.081) + \sigma_n \tan (1.141 OCR + 33.96)^\circ$
 - Untuk nilai $OCR \geq 4$
 $\tau_{oc} = (0.067 OCR - 0.115) + \sigma_n \tan (1.141 OCR + 33.96)^\circ$

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. Dan Johan K. Hainim, (1989) *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Christiady. H., Hary, (2002), *Mekanika Tanah 1*, Edisi Ketiga, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Christiady. H., Hary, (2007), *Mekanika Tanah 2*, Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Das, B.M., (1993), *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M., (1994), *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Soedarmo, G.D dan Purnomo, S.J. Edi, (1997), *Mekanika Tanah 2*, Jilid 2, Kanisius, Yogyakarta.