

KORELASI PARAMETER KUAT GESER TANAH HASIL PENGUJIAN TRIAKSIAL DAN *UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH* (UCS)

Soewignjo Agus Nugroho¹, Agus Ika Putra¹, Rugun Ermina²

¹Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Jl. H.R. Subrantas KM 12 Pekanbaru 28293, Indonesia

²Program Sarjana Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya Jl. H.R. Subrantas KM 12 Pekanbaru 28293, Indonesia

Email :nugroho_52yk@yahoo.com , agus_ip@yahoo.com

ABSTRAK

Parameter kuat geser tanah diperlukan pada analisis daya dukung tanah, stabilitas lereng dan tekanan aktif pada dinding penahan tanah. Nilai parameter kuat geser tanah diperoleh dari uji geser di laboratorium, seperti *Unconfined Compression Strength* (UCS), *Vane Shear*, *Direct Shear* dan *Triaxial*. Setiap pengujian dapat menghasilkan nilai yang berbeda walaupun sampel uji pada kondisi yang sama. Pengujian triaksial sangat dianjurkan untuk menentukan parameter kuat geser tanah karena dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan. Tetapi pelaksanaan pengujian triaksial membutuhkan ketelitian dan waktu yang lebih lama dibandingkan pengujian geser lainnya. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan suatu hubungan atau korelasi antara parameter kuat geser tanah yang dihasilkan dari pengujian triaksial dengan hasil pengujian UCS. Pada penelitian ini digunakan metode eksperimental dan model. Benda uji berupa campuran lempung/pasir yang dibentuk kembali, diberi pembebanan awal sehingga kondisi tidak terganggu. Untuk pengujian triaksial dan UCS digunakan benda uji dengan ukuran dan kondisi yang sama. Hasil pengujian dianalisis dengan regresi linier berganda antara dua hasil pengujian triaksial dan hasil pengujian UCS dengan dan indeks propertis tanah campuran. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan ada korelasi kuat antara sudut gesek internal hasil pengujian triaksial dengan kohesi hasil pengujian UCS dan indeks propertis tanah. Korelasi hubungan kohesi hasil uji triaksial dan hasil uji UCS dan indeks propertis sangat kuat dengan nilai kohesi yang diperoleh dari pengujian UCS sekitar 15% selalu lebih kecil dari pengujian triaksial.

Kata kunci: kuat geser tanah, *Unconfined Compression Strength*, Triaksial, korelasi

ABSTRACT

The soil shear strength parameters are required for the analysis of soil bearing capacity, slope stability and lateral earth pressure of the retaining wall. The value of shear strength parameters can be obtained from shear tests in the laboratory, such as *Unconfined Compression Strength*, *Laboratory Vane Shear*, *Direct Shear* and *Triaxial* test. Each test can produce different test results for the same soil. This can be happened because of the differences of the test procedures and tools operations. The purpose of this research is to obtain a correlation between the shear strength parameters derived from triaxial tests and unconfined compression strength (UCS). This research used the experimental method and model. The specimen is reconstituted soil (remolded) mixture of clay/sand with undisturbed conditions. For the both tests (triaxial and unconfined compression strength), it were used specimens with the same dimension and condition. The results showed that correlation of friction angle between the results of triaxial and UCS and physical properties of soil is strongly correlated. The relationships between cohesion of triaxial results with UCS result and physical properties of soil were happened too with good correlation. A number cohesion of UCS result always approximattely 15% below triaxial result.

Keywords : Shear Strength, *Unconfined Compression Strength*, triaxial, correlation

PENDAHULUAN

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis daya dukung tanah, stabilitas lereng dan stabilitas dinding penahan tanah, dan nilai

parameter ini diperoleh dengan melakukan pengujian di laboratorium.

Pengujian kuat geser tanah di laboratorium dapat dilakukan dengan memakai berbagai peralatan uji

geser, seperti *unconfined compression strength (UCS)*, *vane shear*, *direct shear*, dan *triaxial*. Sesuai dengan karakteristik peralatan tersebut, setiap pengujian dapat menghasilkan hasil uji yang berbeda untuk benda uji yang sama. Hal ini dapat terjadi karena prosedur pengujian dan cara kerja alat yang berbeda-beda serta target hasil uji utama dari masing-masing peralatan dalam menentukan parameter tanah (Ardana, 2008). Pengujian yang sering dilakukan yaitu pengujian triaksial karena dapat disesuaikan dengan kondisi lapangan sehingga menghasilkan data yang lebih akurat akan tetapi pelaksanaan pengujiannya lebih rumit dan membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan pengujian geser lainnya.

Penelitian ini mengkaji perbandingan antara hasil pengujian triaksial dan pengujian UCS pada tanah campuran lempung pasir dengan kondisi sampel *consolidated undrained*. Kajian perbandingan kedua hasil pengujian ini mengindikasikan suatu korelasi nilai parameter kuat geser tanah sehingga nantinya dengan melakukan pengujian UCS dapat diperoleh nilai kuat geser tanah lempung pasir yang setara dengan pengujian triaksial dengan waktu yang relatif singkat.

TINJAUAN PUSTAKA

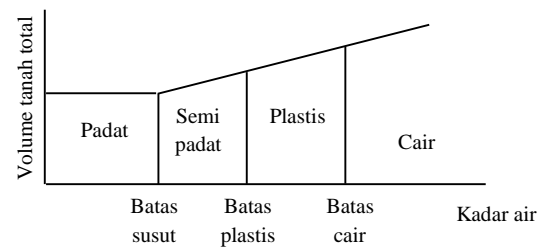
Tanah berbutir halus yang mengandung mineral lempung akan bersifat plastis disebabkan adanya air yang terserap di sekeliling permukaan dari partikel lempung. Plastisitas ini menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak retak atau remuk.

Konsistensi tanah adalah kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu dan tergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Adanya pengurangan kadar air dapat mengurangi volume tanah. Terkait dengan sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi, Atterberg memberikan suatu metode yang kemudian disebut batas-batas Atterberg. Atas dasar air yang dikandung tanah, tanah dapat dipisahkan ke dalam empat keadaan dasar, yaitu padat, semi padat, plastis dan cair (Bowles, 1999).

Kuat Geser Tanah

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir-butir tanah terhadap desakan/tarikan (Hardiyatmo, 2006). Kuat geser tanah diukur dengan 2 parameter tanah yaitu kohesi (c) atau gaya tarik-menarik antar partikel

dan sudut geser dalam (ϕ) atau gesekan antara butir tanah.



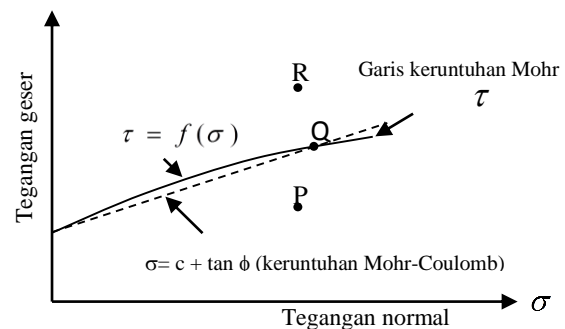
Gambar 1. Batas-batas Atterberg

Teori Mohr menguraikan bahwa kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser (Das, 1991). Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada sebuah bidang keruntuhan dinyatakan menurut persamaan:

$$\tau_f = f(\sigma) \quad (1)$$

Coulomb (1776) mendefinisikan fungsi $f(\sigma)$ sebagai:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2)$$



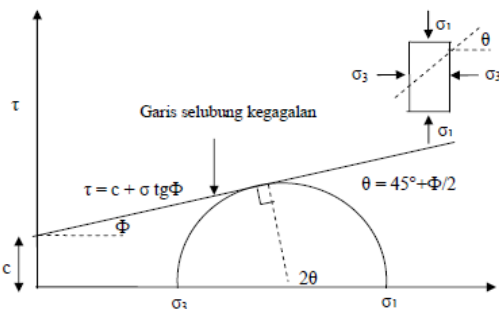
Gambar 2. Kriteria Kegagalan Mohr-Coulomb

Bila tegangan geser dan normal pada sebuah bidang dalam suatu massa tanah (Gambar 2) maka jika kedudukan tegangan-tegangan baru mencapai titik P, keruntuhan tanah akibat geser tidak akan terjadi. Keruntuhan geser terjadi jika tegangan mencapai titik Q yang terletak pada garis keruntuhan dan kedudukan tegangan yang ditunjukkan oleh titik R tidak akan pernah terjadi karena bahan telah mengalami keruntuhan sebelum mencapai titik R. Lingkaran Mohr dalam bentuk lingkaran tegangan, dengan koordinat-koordinat τ dan σ dilihat pada Gambar 3. Persamaan tegangan geser dan tegangan normal yang terjadi pada bidang geser pada saat kegagalan, dinyatakan oleh:

$$\tau_f = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)\sin 2\theta \quad (3)$$

$$\sigma_{\sigma_f} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)\cos 2\theta \quad (4)$$

$$\theta = 45^\circ + \frac{\phi}{2} \quad (5)$$



Gambar 3. Lingkaran Mohr

Gambar 3 memperlihatkan hubungan antara tegangan utama efektif saat keruntuhan dan parameter kuat geser juga dapat diperoleh. Besarnya nilai parameter kuat geser, dapat ditentukan dari persamaan berikut.

$$\sin \phi = \frac{1/2(\sigma_1 - \sigma_3)}{c \cot \theta + 1/2(\sigma_1 + \sigma_3)} \quad (6)$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = 2c \cos \phi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi \quad (7)$$

Uji Geser Triaksial

Pengujian triaksial adalah pengujian benda uji tanah kohesif berbentuk silinder yang dibungkus karet kedap air yang diberi tekanan kesemua arah dan diberi tekanan aksial sampai terjadi longsor (SNI 03-4813-1998).

Uji geser triaksial adalah pengujian yang paling dapat diandalkan dalam menentukan parameter tegangan geser tetapi lebih mahal dan butuh waktu cukup lama. Pengujian triaksial ada 3 jenis yaitu :

- Pengujian *consolidated drained*

Pada pengujian ini, benda uji ditekan dari segala arah dengan tekanan penyekap dan katub drainase terbuka sampai konsolidasi selesai. Kemudian diberi tegangan deviator dengan kecepatan yang lambat sampai benda uji runtuh.

- Pengujian *consolidated undrained*

Benda uji yang jenuh air dikonsolidasikan dengan tekanan penyekap σ_3 yang sama dari segala penjuru. Adanya σ_3 menyebabkan terjadinya pengaliran air dari dalam sampel tanah keluar. Setelah tegangan air pori seluruhnya terdisipasi (yaitu $\sigma_3 = 0$), tegangan deviator $\Delta\sigma_d$ pada benda uji kemudian ditambah sampai menyebabkan keruntuhan. Selama fase ini pengaliran air dari dan

ke dalam benda uji dibuat tertutup dan terbuka hanya pada fase konsolidasi

- Pengujian *unconsolidated undrained*

Pada pengujian ini benda uji mula-mula diberi tekanan sel σ_3 kemudian diuji sampai runtuh dengan memberikan tegangan deviator $\Delta\sigma_d$, tanpa memperbolehkan pengaliran air dari dan kedalam benda uji. Karena pengaliran air tidak terjadi maka pengujian ini dapat berlangsung cepat

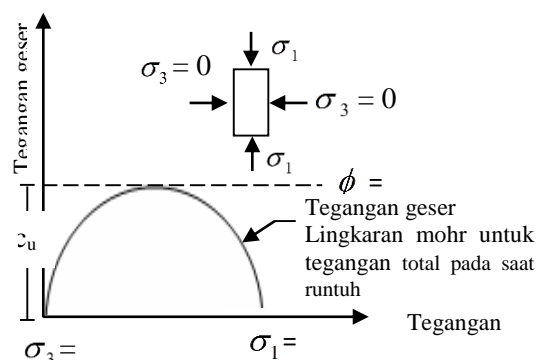
Uji kuat tekan bebas atau UCS

Uji kuat tekan bebas merupakan pengujian yang sederhana. Pada pengujian ini kondisi pembebanan sama dengan pengujian triaksial hanya tegangan penyekapnya nol ($\sigma_3 = 0$). Gambar 4 memperlihatkan skematik dari prinsip pembebanan dalam pengujian ini. Tegangan aksial dilakukan terhadap benda uji secara relatif cepat sampai mencapai keruntuhan dan tanpa pengaliran air. Pengujian ini hanya cocok untuk jenis tanah lempung jenuh, yang pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir keluar dari benda uji. Karena $\sigma_3 = 0$, maka

$$\sigma_1 = \Delta\sigma_3 + \Delta\sigma_f = \Delta\sigma_f = q_u \quad s_u = c_u = \frac{q_u}{2} \quad (8)$$

Tanah Remoulded

Kekuatan tanah lempung saat runtuh bergantung dari kondisi strukturnya. Bila struktur asli telah mengalami gangguan atau perubahan dalam susunan partikel atau susunan kimiawi, kekuatan tanahnya dapat berkurang dari kekuatan tanah aslinya.



Gambar 4. Lingkaran Mohr untuk tegangan total dan garis keruntuhan yang didapat dari uji UCS

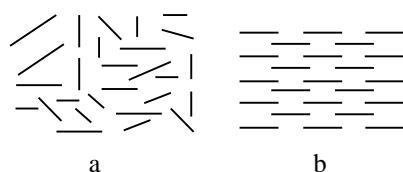
Saat tanah dalam keadaan *remoulded* (dicetak kembali/berubah dari kondisi aslinya), kekuatan tanah sangat bergantung dari pengaruh kadar air, pada kadar air yang rendah kekuatan tanah cenderung lebih tinggi atau sebaliknya. Ada dua struktur tanah yang ekstrem yaitu struktur

flocculated dan struktur *dispersed*, seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Tabel 1. Hubungan kuat tekan bebas (q_u) tanah lempung dengan konsistensinya

Konsistensi	q_u (kN/m ²)
Lempung Keras	> 400
Lempung sangat kaku	200 – 400
Lempung kaku	100 - 200
Lempung sedang	50 – 100
Lempung lunak	25 – 50
Lempung sangat lunak	< 25

(Sumber: Hardiyatmo, 2006)



Gambar 5. Struktur tanah (a) *flocculated* dan (b) *dispersed*

Secara umum struktur tanah *flocculated* mempunyai kuat geser yang lebih tinggi, kekuatan lebih rendah, dan *permeability* yang lebih tinggi dari pada elemen tanah dengan struktur *dispersed*. Struktur tanah dari lempung yang dipadatkan dapat cenderung mengubah struktur *flocculated* menjadi struktur *dispersed*. *Remoulding* tanah kohesif dapat menyebabkan kehilangan kekuatannya yang disebabkan oleh dua kondisi yang mengikutinya:

1. Perubahan struktur *flocculated* menjadi struktur *dispersed* karena tanah mengalami gangguan.
2. Gangguan keseimbangan kimia dari partikel dan penyerapan kumpulan ion dan molekul air diantara dua lapisan.

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode *eksperimental* dan model yaitu dengan melakukan serangkaian pengujian dilaboratorium pada benda-benda uji. Benda uji merupakan tanah *remoulded* yaitu tanah yang terdiri dari campuran lempung dan pasir dengan kondisi *undisturbed*.

Pembuatan sampel

Benda uji berupa tanah yang lolos saringan No.200 (fraksi lempung) dan tanah yang lolos saringan No.40 dan tertahan saringan No. 200 (fraksi pasir). Benda uji dicampur dengan perbandingan berat

sesuai dengan variasi campuran. Campuran antara tanah lempung dengan pasir dibuat dalam 7 (tujuh) variasi kadar lempung dan kadar pasir, yaitu 35:60; 40:60; 45:55; 50:50; 55:45; 60:40; 65:35

Proses pra beban dan konsolidasi

Tanah yang telah dicampur sesuai dengan variasi lempung/pasir diberi air 25% dari berat kering tanah campuran. Setelah tanah dan air tersebut diaduk dan tercampur rata, tanah dimasukkan ke dalam cetakan (Gambar 6) berdiameter 30 cm dan tinggi 20 cm kemudian diberi beban awal sebesar 28 kg dan dikonsolidasi. Pra-pembebanan selesai bila pada benda uji tidak lagi terjadi penurunan konsolidasi yang ditandai dengan bacaan *dial* yang sama selama 2 hari berturut-turut.

Pengujian Kuat Geser

Pengujian triaksial dan UCS menggunakan benda uji dengan dimensi dan perlakuan sama. Setelah konsolidasi selesai, tanah di cetak dan diuji kuat geser tanah pada kondisi tidak terjadi pengaliran (*undrained shear strength, Su*).

Benda uji/model untuk pengujian dibentuk dari tanah dalam cetakan konsolidasi. Untuk pengujian triaksial dan UCS digunakan benda uji dengan dimensi yang sama yaitu diameter 37,7 cm dan tinggi 76,1 cm.



Gambar 6. Cetakan mold dan proses konsolidasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Sampel tanah lempung dan pasir yang akan dicampur terlebih dahulu diuji karakteristik sifat fisik tanahnya meliputi pengujian PL, LL, IP, G_s , dan kuat geser sesuai dengan SNI dan hasil pengujian disajikan dalam Tabel 2.

Tanah yang memiliki batas cair 49,78% dan Indeks plastisitas 21,76% tergolong dalam tanah CL yaitu lempung tak organik dengan plastisitas rendah. Jika ditinjau dari hubungan kuat tekan bebas (q_u) tanah lempung dengan konsistensinya pada Tabel

1, maka tanah lempung yang digunakan pada penelitian ini termasuk lempung lunak ($q_u = 2c = 26,28 \text{ (kN/m}^2) > 25 \text{ (kN/m}^2)$). Pengujian sifat fisik tanah campuran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Sifat Fisik dan Mekanis Tanah Asli

Sifat indeks	Lempung	Pasir
Specific Gravity, G_s	2,727	2,664
Atterberg Limit		
Batas Cair, LL	49,78%	-
Batas Plastis, PL	28,02%	
Indeks Plastisitas, IP	21,76%	
Kuat geser		
Sudut geser dalam,	18,880	31,630
Kohesi, c (kPa)	13,14	5,00

Tabel 3. Hasil Pengujian sifat Fisik Sampel

Clay:Sand	G_s	LL (%)	PL (%)	PI (%)
35:65	2,673	20,503	16,754	3,749
40:60	2,677	23,768	18,329	5,439
45:55	2,681	29,212	19,503	9,708
50:50	2,685	30,653	20,249	10,405
55:45	2,689	35,254	24,523	10,732
60:40	2,692	37,171	26,473	10,697
65:35	2,695	39,602	27,355	12,247

Hasil pengujian yang terlihat pada Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai berat jenis tanah campuran semakin besar seiring dengan bertambahnya persentase kadar lempung.

Hasil pengujian *Atterberg limit*, diketahui bahwa nilai batas cair, batas plastis, dan idek plastisitas bertambah sesuai dengan penambahan prosentase fraksi lempung. Hal ini dikarenakan partikel lempung memiliki ikatan hydrogen antara molekul air dengan permukaan partikel lempung yang menimbulkan gaya tarik-menarik antar partikel lempung dan menghasilkan plastisitas.

Berdasarkan pengujian *specific gravity* (G_s), dihasilkan klasifikasi tanah seperti pada Tabel 4.

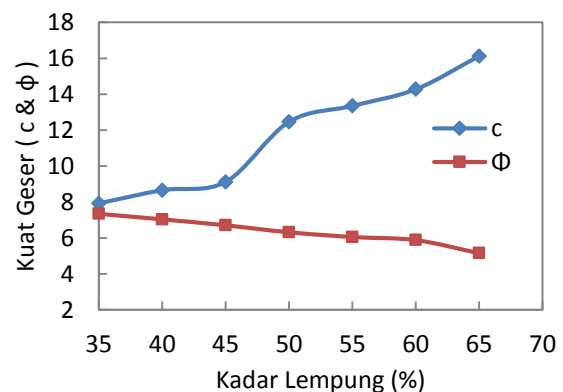
Berdasarkan hasil pengujian triaksial yang terlihat pada Gambar 7, sudut geser tanah tertinggi diperoleh pada variasi kadar lempung 35% atau fraksi pasir terbanyak dan menurun dengan bertambahnya kadar lempung. Nilai sudut geser dipengaruhi oleh fraksi pasir karena pasir berbentuk butiran-butiran tunggal sehingga mudah bergeser, berbeda dengan lempung yang memiliki gaya tarik menarik antar partikel mineral lempungnya. Akan tetapi gaya tarik menarik ini yang membuat lempung memiliki kohesi yang

besar dan sering disebut tanah kohesif. Jadi lempung memiliki kohesi besar tetapi sudut geser kecil seperti yang terlihat pada Gambar 7.

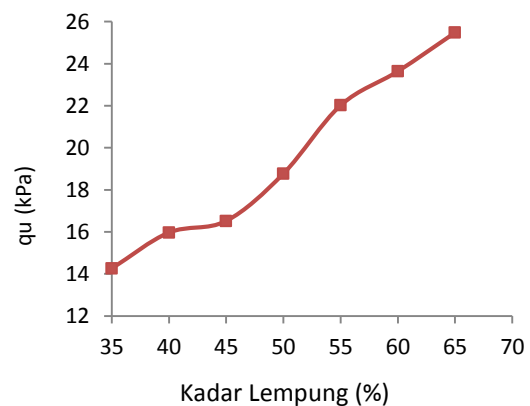
Pengujian UCS akan memperlihatkan nilai kuat tekan bebas (q_u) yang mewakili kohesi tanah yaitu $\frac{1}{2}$ dari nilai kuat tekan bebas (q_u). Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 4. Klasifikasi Tanah Berdasar nilai G_s dan sistem USCS

Clay	G_s	Klasifikasi berdasarkan G_s	USCS	PI (%)
0	2,664	Pasir	SP-	-
35	2,673	Unorganic silt	SM-SC	3,749
40	2,677	Unorganic silt	SM-SC	5,439
45	2,681	Unorganic clay	SC	9,708
50	2,685	Unorganic clay	CL	10,405
55	2,689	Unorganic clay	CL	10,732
60	2,692	Unorganic clay	CL	10,697
65	2,695	Unorganic clay	CL	12,24
100	2,727	Unorganic clay	CL	21,763



Gambar 7. Hasil Pengujian Triaksial



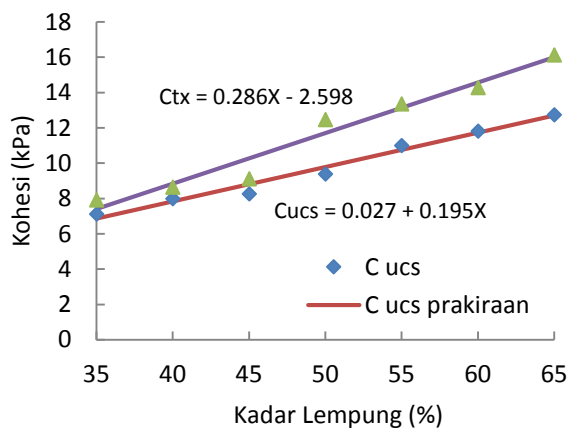
Gambar 8. Hasil Pengujian UCS

Dari Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa semakin besar fraksi lempung, maka nilai q_u yang mewakili kohesi tanah semakin besar. Hal ini dikarenakan tanah lempung merupakan tanah kohesif sehingga semakin banyak kadar lempung maka nilai q_u juga makin besar.

PEMBAHASAN

Hubungan Kadar Lempung dan Kohesi

Kohesi tanah dari hasil pengujian triaksial dan UCS dengan berbagai variasi tanah campuran lempung/pasir akan dilakukan analisa regresi linier untuk memperoleh hubungan antara kadar lempung dan kohesi tanah sehingga didapat persamaan untuk memperkirakan nilai kohesi tanah.



Gambar 9 Perbandingan nilai kohesi

Gambar 9 menunjukkan nilai kohesi hasil pengujian triaksial lebih besar dari kohesi UCS. Hal ini dikarenakan pada pengujian triaksial benda uji diberi tekanan sel sehingga kohesi tanah lebih bekerja dari pada saat pengujian triaksial.

Korelasi Non Dimensi Kuat Geser Tanah

Pengujian UCS tidak menghasilkan nilai sudut geser walaupun nyatanya tanah mungkin punya sudut geser maka untuk memperkirakan nilai sudut geser hasil triaksial (c_{TX}, ϕ_{TX}) *tested* sebagai acuan, akan di korelasikan, memakai regresi linier berganda, dengan sifat fisik tanah campuran dan hasil pengujian UCS (c_{UCS}). Selanjutnya empat persamaan hasil regresi tersebut, akan dilihat persamaan yang menghasilkan nilai sudut geser (ϕ_{TX}) analisis yang setara dengan pengujian untuk kemudian direkomendasikan untuk digunakan dalam memperkirakan nilai sudut geser triaksial dari hasil pengujian UCS dengan melihat sifat indeks dan propertis tanah. Hal yang sama dilakukan pada nilai kohesi kedua pengujian

Korelasi ϕ_{TX} , c_{UCS} dan Sifat Sifat Indeks

Sebagai contoh akan dilakukan regresi antara sudut geser hasil uji triaksial dengan kohesi hasil uji UCS dan kadar/fraksi pasir. Kohesi UCS dan kadar pasir diasumsikan sebagai variabel bebas, dan sudut geser triaksial sebagai variabel tak bebas, maka

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (9)$$

dengan b_0, b_1, b_2 = konstanta, Y = sudut geser triaksial, n = jumlah data, X_1 = kohesi UCS, dan X_2 = kadar pasir.

$$\begin{bmatrix} n & \sum X_1 & \sum X_2 \\ \sum X_1 & \sum (X_1)^2 & \sum (X_1 X_2) \\ \sum X_2 & \sum (X_1 X_2) & \sum (X_2)^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum Y \\ \sum (X_1 Y) \\ \sum (X_2 Y) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$r = \frac{b_1 \sum x_{1i} y_i + b_2 \sum x_{2i} y_i}{\sqrt{\sum y_i^2}} \quad (11)$$

$$x_i = X_i - \bar{X} \quad (12)$$

$$y_i = Y_i - \bar{Y} \quad (13)$$

Dengan analisa statistika, didapatkan $b_0 = 2,261$; $b_1 = 0,036$ dan $b_2 = 0,075$, sehingga dihasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\phi = 2,261 + 0,036 C_{ucs} + 0,075 F_{sand} \quad (14)$$

$$r = 0,987$$

Persamaan 14 memiliki nilai koefisien korelasi, $r = 0,987 \approx 1$ yang menunjukkan ada korelasi linier yang positif dan tinggi antara sudut geser triaksial, kohesi UCS dan kadar pasir serta nilai *error* < 5%.

Tabel 4 memperlihatkan nilai sudut geser prakiraan memiliki nilai *error* yang kecil. Perbandingan nilai sudut geser dari pengujian dan analisis menggunakan persamaan 14 terlihat pada Gambar 10, 5 nilai sudut geser hasil analisis setara dengan nilai pengujian.

Tabel 4 Tingkat Error Analisis Regresi ϕ_{TX} , c_{UCS} , dan Kadar Pasir

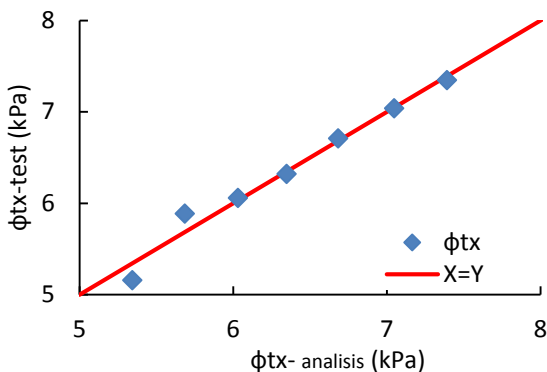
ϕ_{tx}	ϕ analisis	cucs	sand	Error
7.347	7.391	7.130	65	0.604
7.040	7.047	7.985	60	0.098
6.711	6.682	8.260	55	0.434
6.322	6.347	9.386	50	0.403
6.059	6.030	11.011	45	0.481
5.887	5.684	11.821	40	3.436
5.159	5.342	12.742	35	3.563

Korelasi ϕ_{TX} , c_{UCS} dan G_s

Dengan analisis regresi linier berganda seperti diatas, dihasilkan persamaan dan nilai koefisien korelasi sebagai berikut.

$$\phi = 220,54 - 0,04 c_{UCS} - 79,637G_s \quad (15)$$

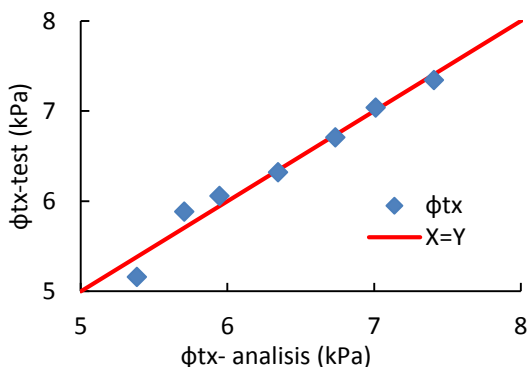
$$r = 0,985$$



Gambar 10 Korelasi ϕ triaksial dengan kohesi UCS dan kadar pasir

Tabel 5. Tingkat kesalahan (error) analisis Regresi ϕ_{TX} , c_{UCS} dan G_s

ϕ_{tx}	ϕ_{anly}	c_{ucs}	G_s	Err. (%)
7.347	7.407	7.130	2.673	0.822
7.040	7.008	7.985	2.677	0.447
6.711	6.734	8.260	2.681	0.346
6.322	6.343	9.386	2.685	0.343
6.059	5.945	11.011	2.689	1.890
5.887	5.704	11.821	2.692	3.095
5.159	5.381	12.742	2.695	4.320



Gambar 11. Korelasi ϕ Triaksial dengan kohesi UCS dan *Specific Gravity*

Korelasi ϕ_{TX} , c_{UCS} dan LL

Analisis regresi linier berganda digunakan untuk menghasilkan persamaan dan nilai koefisien korelasi sebagai berikut.

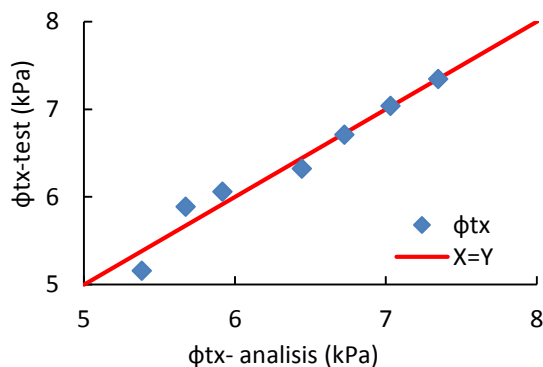
$$\phi = 9,667 - 0,191c_{UCS} - 0,047 LL \quad (16)$$

$$r = 0,980$$

Nilai koefisien korelasi $r=0,98$ ($R^2=0,96$) menunjukkan bahwa variasi nilai sudut geser triaksial 96% disebabkan oleh kohesi dan batas cair tanah. Dari Tabel 6 terlihat nilai sudut geser triaksial yang diperkirakan dari persamaan diatas memiliki nilai error yang kecil yaitu 4% ($< 5\%$). Dari Tabel 6 dan gambar diatas terlihat tiga nilai sudut geser prakiraan yang setara dengan nilai pengujian dengan nilai error, tetapi persamaan diatas dapat digunakan untuk memperkirakan nilai sudut geser hanya lebih disarankan untuk menggunakan persamaan yang diperoleh dari analisis regresi berat jenis karena menghasilkan nilai yang lebih mendekati nilai pengujian.

Tabel 6. Tingkat error analisis regresi ϕ_{TX} , c_{UCS} dan LL

ϕ_{tx}	ϕ_{anlys}	c_{ucs}	LL	Err (%)
7.347	7.348	7.130	20.503	0.015
7.040	7.032	7.985	23.768	0.112
6.711	6.725	8.260	29.211	0.216
6.322	6.443	9.386	30.653	1.922
6.059	5.918	11.011	35.254	2.339
5.887	5.674	11.821	37.170	3.619
5.159	5.384	12.742	39.602	4.372



Gambar 12. Korelasi ϕ triaksial dengan kohesi UCS dan batas cair

Korelasi ϕ_{TX} , c_{UCS} dan PL

Dengan analisis regresi linier berganda seperti diatas, dihasilkan persamaan dan nilai koefisien korelasi sebagai berikut :

$$\phi = 9,201 - 0,675C_{ucs} + 0,172 PL \quad (17)$$

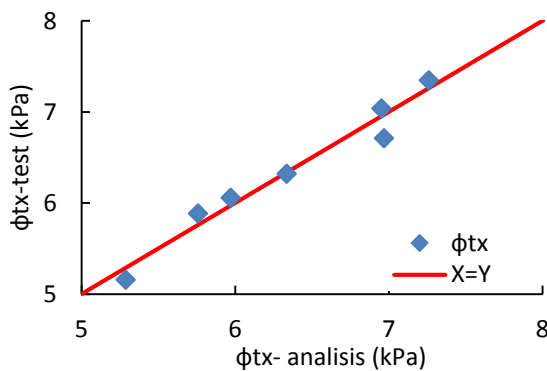
$$r = 0,978$$

Gambar 13 yang merujuk dari nilai *error* pada Tabel 7, terlihat hanya satu nilai sudut geser prakiraan yang setara dengan nilai pengujian,

sehingga persamaan diatas kurang disarankan untuk digunakan dalam menentukan nilai sudut geser triaksial.

Tabel 7. Tingkat Kesalahan (error) Analisis Regresi ϕ_{TX} , c_{UCS} dan Batas plastis

ϕ_{tx}	ϕ_{anlys}	c_{UCS}	PL	Err (%)
7.347	7.259	7.130	16.754	1.196
7.040	6.951	7.985	18.329	1.257
6.711	6.967	8.260	19.503	3.812
6.322	6.334	9.386	20.249	0.204
6.059	5.969	11.011	24.522	1.488
5.887	5.757	11.821	26.473	2.201
5.159	5.286	12.742	27.355	2.470



Gambar 13 Korelasi ϕ Triaksial dengan Cohesi UCS dan Batas Plastis

Korelasi Non Dimensi Kohesi Tanah

Pengujian triaksial dan UCS akan menghasilkan nilai kohesi tanah yang berbeda. Dengan analisis regresi linier berganda antara selisih dari kedua nilai kohesi tersebut dan batas cair serta sifat fisik tanah campuran, nilai kohesi triaksial dapat diperkirakan dengan menambahkan nilai kohesi UCS dengan selisih kohesi dari analisis regresi

Korelasi Kohesi, Batas Cair dan Specific Gravity

Batas cair dan berat jenis diasumsikan sebagai variabel bebas, dan selisih kohesi triaksial dengan kohesi UCS sebagai variabel tak bebas, maka dilakukan analisis regresi linier berganda. Dengan analisa statistika, didapatkan $b_0 = -1091,294$; $b_1 = -0,337$ dan $b_2 = 441,121$, sehingga dihasilkan persamaan sebagai berikut :

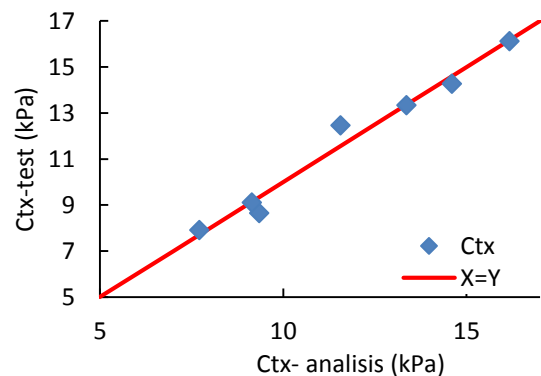
$$\Delta c = -1091,294 - 0,337 LL + 441,121Gs \quad (18)$$

$$r = 0,905$$

Tabel 8 dan Gambar 14 menunjukkan hanya dua data yang memiliki nilai *error* > 5% yaitu 7,99% atau 8%. Hal ini menunjukkan sebagian besar nilai selisih kohesi triaksial dengan UCS dapat diprediksi dari persamaan $\Delta C = -1091 - 0,337 LL + 441,121 GS$.

Tabel 8. Tingkat kesalahan (error) analisis regresi c_{TX} , c_{UCS} , G_s , dan batas cair

c_{anlys}	c_{TX}	c_{UCS}	LL	G_s	Error
7.711	7.923	7.130	20.503	2.673	2.675
9.347	8.655	7.985	23.768	2.677	7.992
9.145	9.119	8.260	29.211	2.681	0.286
11.569	12.465	9.386	30.653	2.685	7.186
13.363	13.351	11.011	35.254	2.689	0.089
14.600	14.276	11.821	37.170	2.692	2.272
16.178	16.125	12.742	39.602	2.695	0.332



Gambar 14. Korelasi Kohesi Triaksial dengan kohesi UCS, G_s dan Batas Cair

Korelasi Kohesi, Batas Cair dan Kadar Lempung

Dengan analisis regresi linier berganda seperti diatas, dihasilkan persamaan dan nilai koefisien korelasi sebagai berikut.

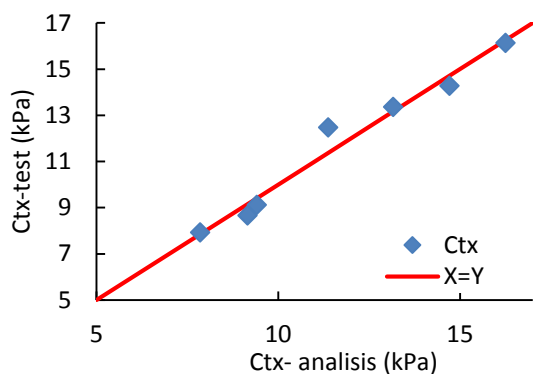
$$\Delta c = -2,922 - 0,216 LL + 0,231C \quad (19)$$

$$r = 0,883$$

Gambar 15 yang merujuk dari nilai error pada Tabel 9 mengindikasikan lima dari tujuh nilai kohesi prakiraan setara dengan pengujian (*error* <5%) dan nilai prakiraan yang lainnya mendekati nilai pengujian (*error* >5%). Hal ini menunjukkan persamaan di atas juga dapat digunakan untuk memperoleh selisih nilai kohesi dalam memperkirakan nilai kohesi triaksial akan tetapi persamaan ini hanya dapat digunakan pada tanah yang telah diketahui kadar lempungnya seperti tanah *remoulded*

Tabel 9. Tingkat kesalahan (error) analisis regresi C_{TX} , C_{UCS} , LL , dan kadar lempung

C anlyls	C_{TX}	C_{UCS}	LL	Clay	Error
7.852	7.923	7.130	20.503	35	0.906
9.155	8.655	7.985	23.768	40	5.772
9.407	9.119	8.260	29.211	45	3.164
11.374	12.465	9.386	30.653	50	8.746
13.160	13.351	11.011	35.254	55	1.435
14.709	14.276	11.821	37.170	60	3.030
16.258	16.125	12.742	39.602	65	0.824



Gambar 15. Korelasi Kohesi Triaksial dengan Kohesi UCS, kadar Lempung dan Batas Cair

Korelasi kohesi, batas cair dan batas plastis

Dengan analisis regresi linier berganda seperti diatas, dihasilkan persamaan dan nilai koefisien korelasi sebagai berikut.

$$\Delta c = -1,786 + 0,2 LL - 0,112 PL \quad (20)$$

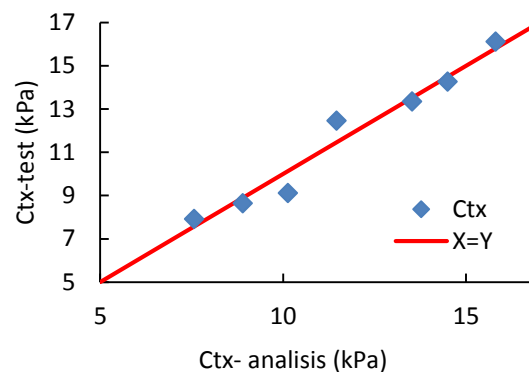
$$r = 0,834$$

Tabel 10. Tingkat kesalahan nilai analisis selisih kohesi, batas cair dan batas plastis

C analisis	C_{tx}	UCS	LL (X1)	PL (X2)	Error (%)
7.568	7.923	7.130	20.503	16.754	4.491
8.900	8.655	7.985	23.768	18.329	2.827
10.133	9.119	8.260	29.211	19.503	11.127
11.464	12.465	9.386	30.653	20.249	8.030
13.531	13.351	11.011	35.254	24.522	1.345
14.505	14.276	11.821	37.170	26.473	1.603
15.814	16.125	12.742	39.602	27.355	1.928

Tabel 10 dan Gambar 16 memperlihatkan lima dari tujuh nilai kohesi prakiraan setara dengan nilai kohesi pengujian tetapi persamaan diatas tidak direkomendasikan untuk digunakan dalam memprediksi nilai kohesi triaksial karena memiliki

tingkat kesalahan hingga 11% tetapi persamaan tersebut dapat digunakan.



Gambar 16. Korelasi Kohesi Triaksial dengan Kohesi UCS, Batas Cair dan Batas Plastis

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. kondisi benda uji yang sama (cara pembuatan dan pembebanan), apabila diuji dengan alat uji yang berbeda dapat menghasilkan nilai yang berbeda. Meskipun pengujian triaksial dan UCS memakai anggapan *unconsolidated undrained*. Hal ini dapat terjadi karena prosedur pengujian dan cara kerja alat yang berbeda serta target hasil uji utama dari masing-masing peralatan
2. Persamaan yang direkomendasikan untuk digunakan dalam memprediksi nilai parameter kuat geser triaksial dari pengujian UCS dan sifat fisis tanah yaitu:
 - a. $\phi = 220.54 - 0.04 C_{ucs} - 79.637GS$ dan $\phi = 9.478 - 0.26 C_{ucs} - 0.065 IP$
 - b. $C_{tx} = C_{ucs} - 1091 - 0.337 LL + 441.121 GS$
3. Persamaan diatas digunakan untuk tanah yang memiliki sifat fisis yang sama atau memiliki nilai Atterberg limit dan berat jenis yang setara
4. Nilai kohesi yang diperoleh dari pengujian UCS 15% lebih kecil dari pengujian triaksial

SARAN

1. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk menambah jumlah sampel dari berbagai sumber tanah yang berbeda agar dihasilkan formula yang lebih lengkap.
2. Disarankan pada penelitian selanjutnya agar menambah beban dan waktu konsolidasi
3. Untuk pembacaan arloji ukur (*dial*) supaya diperhatikan dengan seksama agar mendapatkan hasil yang lebih akurat

DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, M. D. W., 2008. Korelasi Kekuatan Geser Undrained Tanah Lempung dari Uji Unconfined compression dan Uji Laboratory Vane Shear (studi pada remolded clay), *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 12(2), pp 10-16.
- Bowles, J. E., 1999. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta. Erlangga.
- BSN, SNI 1964-2008. *Cara Uji Berat Jenis Tanah* Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- BSN, SNI 03-2812-1992. *Cara uji Konsolidasi Tanah Satu Dimensi*, Jakarta, Badan Standarisasi Nasional.
- BSN, SNI 1967-2008, *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- BSN, SNI 1966-2008. *Cara Uji Penentuan Batas Plastis Dan Indeks Plastisitas Tana.*, Jakart., Badan Standarisasi Nasional.
- BSN, SNI 03-2815-1992. *Cara Uji Tekan Triaksial Pada Laboratorium*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- BSN, SNI 03-3638-1994. *Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Kohesif*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- BSN, SNI 03-1968-1990. *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Jakarta. Badan Standarisasi Nasional.
- Das, B. M., 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1 dan Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H C., 2006. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Supranto, J. 2004. *Statistik (Teori dan Aplikasi)*. Jakarta. Erlangga.
- Soewignjo, A. N dan Agus IP, 2010. Korelasi Kuat Geser Tanah Hasil Pengujian Triaksial Dan Unconfined Compression Strength (UCS). Prosiding Seminar Temu Ilmiah Nasional Dosen Teknik ke-IX. Universitas Tarumanagara, Indonesia