

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

Nugroho, S. A.<sup>1</sup>, I.P, Agus.<sup>2</sup>, Ermina, R<sup>3</sup>

## ABSTRAK

Parameter kuat geser tanah diperlukan untuk analisis daya dukung tanah, stabilitas lereng dan gaya lateral pada dinding penahan tanah. Nilai parameter kuat geser tanah diperoleh dari uji geser di laboratorium, seperti Unconfined Compression Strength (UCS), Laboratory Vane Shear, Direct Shear, dan Triaxial. Setiap jenis pengujian dapat menghasilkan hasil uji yang berbeda untuk tanah yang sama. Hal ini dapat terjadi karena prosedur pengujian dan cara kerja alat yang berbeda-beda. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan hubungan antara parameter kuat geser tanah dari pengujian triaksial dan pengujian Unconfined Compression Strength.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dan model. Benda uji merupakan tanah yang dibentuk kembali (remoulded) campuran lempung/pasir dengan kondisi tidak terganggu (undisturbed). Untuk pengujian triaksial dan Unconfined Compression Strength (UCS) digunakan benda uji dengan dimensi dan perlakuan sama.

Korelasi nilai kohesi tanah hasil pengujian triaksial dan kohesi tanah hasil pengujian UCS, dengan memasukkan sifat fisis tanah campuran mempunyai hubungan  $C_{tx} = C_{ucs} - 1091 - 0.337LL + 441.121 GS$ . Prakiraan nilai sudut geser tanah dari hasil pengujian UCS dengan memasukkan sifat fisis tanah campuran adalah  $\phi = 220.54 - 0.04C_{ucs} - 79.637GS$  dan  $\phi = 9.478 - 0.26 C_{ucs} - 0.065 IP$ .

Kata Kunci : Kuat geser, Unconfined Compression Strength (UCS), Triaksial, Korelasi, Sifat Fisis Tanah,

## ABSTRACT

The soil shear strength parameters is 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 (remoulded) 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.

Correlation of cohesion between the results of triaxial and UCS with a mixture of clay/sand physical properties generated equations as folows;  $C_{tx} = C_{ucs} - 1091 - 0.337LL + 441.121GS$ . Prediction of internal skin friction from UCS test with a mixture of clay/sand physical properties generated equations as folows  $\phi = 220.54 - 0.04C_{ucs} - 79.637GS$  and  $\phi = 9.478 - 0.26C_{ucs} - 0.065IP$ .

Keywords: Shear Strength ( $S_u$ ), Unconfined Compression Strength (UCS), Triaxial, Correlation, , Soil Properties

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

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 dilaboratorium.

Pengujian kuat geser tanah di laboratorium dapat dilakukan dengan memakai berbagai peralatan uji geser, seperti *Unconfined Compression Strength (UCS)*, *Laboratory 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.

Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan antara hasil pengujian *triaksial* dan pengujian *unconfined compression strength* pada kondisi sampel *consolidated undrained*. Dengan membandingkan kedua hasil pengujian ini akan diperoleh suatu korelasi nilai parameter kuat geser tanah sehingga nantinya dengan melakukan pengujian *UCS* dapat diperoleh nilai kuat geser tanah yang setara dengan pengujian *triaksial* dengan waktu yang relatif singkat.

### Perumusan Masalah

Menentukan parameter kuat geser tanah yang akurat dengan waktu yang relatif singkat dengan mencari korelasi antara hasil pengujian *triaksial* dan *UCS* dengan kondisi sampel *consolidated undrained*.

### Tujuan Penelitian

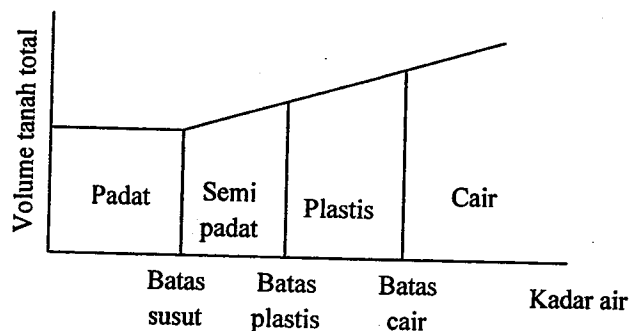
Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan hubungan antara parameter kuat geser tanah dari pengujian triaksial dan pengujian *Unconfined Compression Strength*.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Konsistensi Tanah

Tanah berbutir halus yang mengandung mineral lempung akan bersifat plastis yang dikarenakan adanya air yang terserap disekeliling 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. Untuk menjelaskan 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 kedalam empat keadaan dasar, yaitu : padat, semi padat, plastis dan cair



Gambar 1. Batas-Batas Atterberg

### 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 ( $\phi$ ) atau gesekan antara butir tanah.

Menurut teori Mohr kondisi keruntuhan suatu bahan terjadi oleh akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser (Hardiyatmo, 2006). Hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser pada sebuah bidang keruntuhan dinyatakan menurut persamaan :

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

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

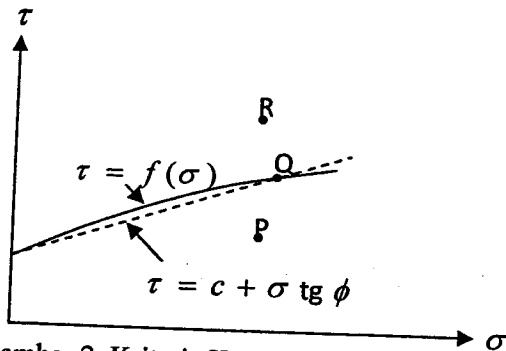
$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

Persamaan diatas disebut kriteria keruntuhan atau kegagalan Mohr-Coulomb, dengan :

$\tau_f$  = kuat geser

$c$  = kohesi

$\phi$  = sudut geser internal



Gambar 2. Kriteria Kegagalan Mohr-Coulomb

Kuat geser tanah juga dapat dinyatakan dalam bentuk tegangan-tegangan efektif  $\sigma_1'$  dan  $\sigma_3'$  pada saat terjadi keruntuhan. Lingkaran Mohr dalam bentuk lingkaran tegangan, dengan koordinat-koordinat  $\tau$  dan  $\sigma'$  dilihat pada Gambar 3. Persamaan tegangan geser dan tegangan normal yang terjadi pada bidang geser pada saat kegagalan, dinyatakan oleh :

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

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

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

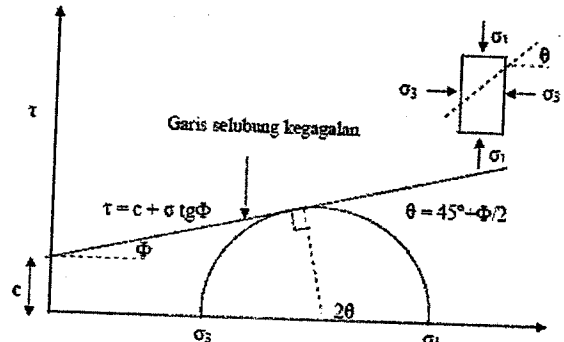
$\theta$  = Sudut teoritis antara bidang horizontal dengan bidang runtuh

Dari Gambar 3 hubungan antara tegangan utama efektif saat keruntuhan dan

parameter kuat geser juga dapat diperoleh. Besarnya nilai parameter kuat geser, dapat ditentukan dari persamaan :

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

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



Gambar 3. Lingkaran Mohr

### Uji Geser Triaxial

Pengujian triaxial adalah pengujian benda uji tanah kohesif berbentuk silinder yang dibungkus karet kedap air yang diberi tekanan kesemua arah dan diberi tekanan aksial sampai terjadi longsoran (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 triaxial ada 3 jenis yaitu :

#### 1. Pengujian *consolidated drained*

Pada pengujian ini, benda uji ditekan dari segala arah dengan tekanan penyekap  $\sigma_3$  dan katub drainase terbuka sampai konsolidasi selesai. Kemudian diberi tegangan deviator dengan kecepatan yang lambat sampai benda uji runtuh. Pengujian ini memerlukan beberapa (2-12) hari untuk setiap benda uji karena kecepatan penambahan tegangan deviator sangat lambat agar dapat menghasilkan kondisi air teralirkan sepenuhnya.

#### 2. Pengujian *consolidated undrained*

Benda uji yang jenuh air dikonsolidasikan dengan tekanan penyekap  $\sigma_3$  yang sama dari segala penjuru. Adanya  $\sigma_3$  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 kedalam benda uji dibuat tertutup dan terbuka hanya pada fase konsolidasi

### 3. Pengujian *unconsolidated undrained*

Pada pengujian ini benda uji mula-mula diberi tekanan sel  $\sigma_3$  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

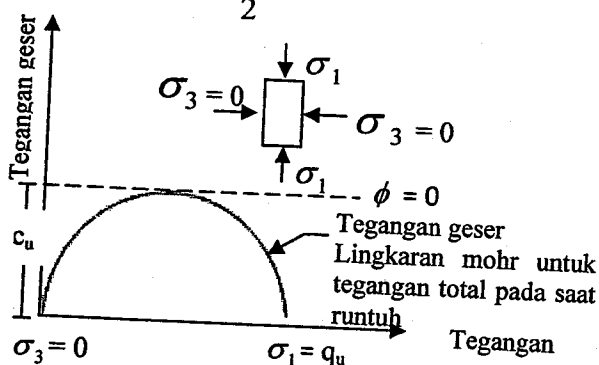
### Uji kuat tekan bebas atau *Unconfined Compressive Strength (UCS)*

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 skematik dari prinsip pembebanan dalam pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4. 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, dimana pada pembebanan cepat, air tidak sempat mengalir keluar dari benda uji.

Karena  $\sigma_3 = 0$ , maka :

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

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



Gambar 4. Lingkaran Mohr untuk tegangan total dan garis keruntuhan yang didapat dari uji kuat tekan bebas

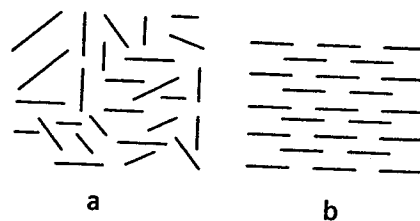
Tabel 1. Hubungan kuat tekan bebas ( $q_u$ ) tanah lempung dengan konsistensinya

| Konsistensi          | $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------|----------------------------|
| 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 : Harditratmo, 2006)

### 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. 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. *Remoulding* mengubah struktur dari tanah tidak terganggu. Ada dua struktur tanah yang ekstrim yaitu struktur *flocculated* dan struktur *dispersed*, seperti yang terlihat di gambar :



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*, tergantung pada efek pemadatan dan *remoulding* dari contoh



tanah. Remoulding tanah kohesif dapat menyebabkan kehilangan kekuatannya yang disebabkan oleh dua kondisi yang mengikutinya:

1. Perubahan struktur flocculated menjadi struktur dispersed
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 yang dibentuk kembali (*remoulded*) campuran lempung/pasir dengan kondisi tidak terganggu (*undisturbed*). Untuk pengujian triaksial dan *Unconfined Compression Strength* digunakan benda uji dengan dimensi dan perlakuan sama.

Benda uji dibuat mulai dari bentuk/kondisi plastis dengan kadar air awal 25% yang kemudian dikonsolidasi dengan beban 28 kg dan selanjutnya diuji kekuatan geser tanah pada kondisi tidak terjadi pengaliran (*undrained shear strength*,  $S_u$ ). Langkah-langkah yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

### 1. Penyiapan sampel

Benda uji dibuat dengan analisa saringan. Benda uji dicampur sesuai dengan variasi campuran lempung/pasir. Campuran antara tanah lempung dengan pasir dibuat dalam 7 (tujuh) variasi perbandingan berat, yaitu 35L/65P, 40L/60P, 45L/55P, 50L/50P, 55L/45P, 60L/40P, 65L/35P.

### 2. Konsolidasi

Tanah yang telah dicampur sesuai dengan variasi lempung/pasir diberi air 25% dari berat kering total tanah campuran. Setelah tanah dan air tersebut tercampur rata dan berbentuk plastis, tanah dimasukkan kedalam cetakan berdiameter 30 cm dan tinggi 20cm kemudian dikonsolidasi. Pada bagian ini tanah dibebani langsung (tidak bertahap) dengan beban 28kg. Pembebanan

dihentikan bila pada benda uji dianggap tidak lagi terjadi konsolidasi (konsolidasi primer dianggap selesai).

### 3. Benda uji

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

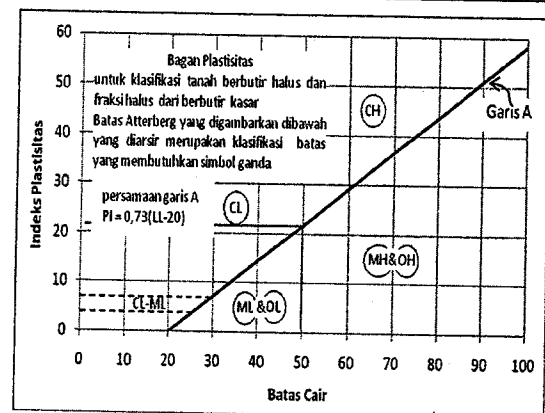
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil pengujian

Sampel tanah lempung dan pasir yang akan dicampur terlebih dahulu diuji karakteristik sifat fisik tanahnya meliputi pengujian PL, LL, IP, GS,  $\phi$ , c dan hasil pengujian disajikan dalam Tabel 4.1

Tabel 2. Sifat fisik dan mekanis tanah *remoulded*

|                                      | Lempung                    | Pasir                  |
|--------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| <i>Specific Gravity</i> , GS         | 2,727                      | 2,664                  |
| <i>Atterberg Limit</i>               |                            |                        |
| - Batas Cair, LL                     | 49,78%                     | -                      |
| - Batas Plastis, PL                  | 28,02%                     | -                      |
| - Indeks Plastisitas, IP             | 21,76%                     | -                      |
| Kuat Geser ( <i>Shear strength</i> ) |                            |                        |
| - Sudut Geser dalam, $\phi$          | 18,88°                     | 31,63°                 |
| - Kohesi, c                          | 13,14 (kN/m <sup>2</sup> ) | 5 (kN/m <sup>2</sup> ) |



Gambar 6. Diagram Plastisitas

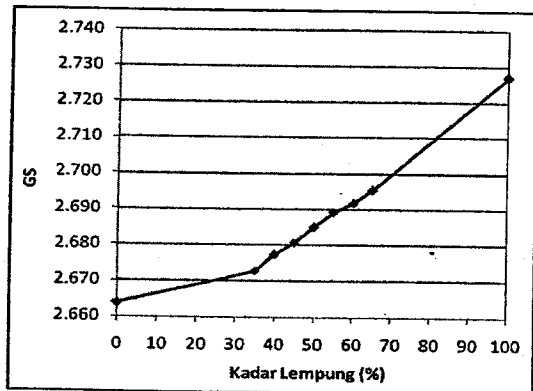
Dari Gambar 6, untuk tanah yang memiliki batas cair 49,78% dan Indeks plastisitas 21,76% tergolong dalam tanah CL yaitu lempung tak organik dengan plastisitas rendah. Dan bila ditinjau dari hubungan kuat tekan bebas ( $q_u$ ) tanah lempung dengan konsistensinya pada Tabel 1, maka tanah lempung yang digunakan 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 berikut ini:

Tabel 3. Hasil pengujian sifat fisik tanah campuran

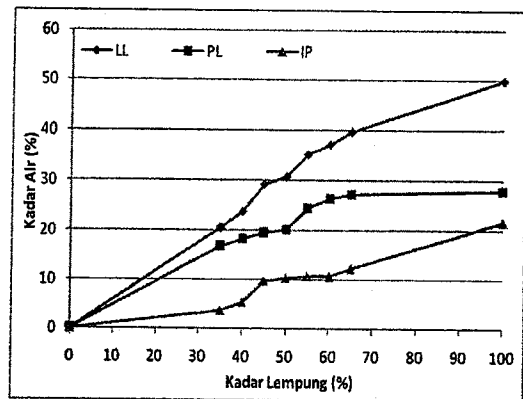
| Variasi Campuran CS | Berat Jenis | Batas Cair (%) | Batas Plastis (%) | Indeks Patisitas (%) |
|---------------------|-------------|----------------|-------------------|----------------------|
| 35/65               | 2,673       | 20,503         | 16,754            | 3,749                |
| 40/60               | 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               |



Gambar 7 Hasil Pengujian Berat Jenis

Dari hasil pengujian diketahui nilai berat jenis tanah campuran lempung/pasir semakin besar seiring dengan bertambahnya persentase kadar lempung.

Dari hasil pengujian *Atterberg limit* seperti terlihat pada Gambar 8, diketahui bahwa nilai *Atterberg limit* bertambah sesuai dengan pertambahan persentase 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



Gambar 8. Hubungan LL/PL dan kadar lempung

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis (*specific gravity/Gs*), dihasilkan klasifikasi tanah seperti pada Tabel 4:

Tabel 4. Klasifikasi tanah berdasarkan Berat jenis (*Gs*)

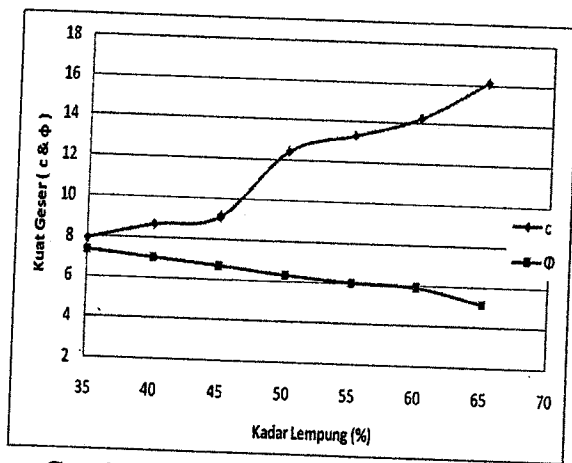
| Fraksi lempung | Berat Jenis | Klasifikasi tanah   |
|----------------|-------------|---------------------|
| 0              | 2,664       | Pasir               |
| 35             | 2,673       | Lanau non organik   |
| 40             | 2,677       | Lanau non organik   |
| 45             | 2,681       | Lempung non organik |
| 50             | 2,685       | Lempung non organik |
| 55             | 2,689       | Lempung non organik |
| 0,6            | 2,692       | Lempung non organik |
| 65             | 2,695       | Lempung non organik |
| 100            | 2,727       | Lempung non organik |

Hasil pengujian analisa saringan dan *Atterberg limit* mengklasifikasikan tanah seperti terlihat pada Tabel 5

Tabel 5. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

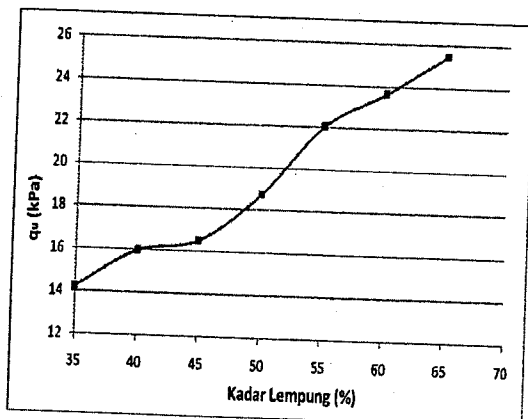
| Fraksi lempung (%) | Indeks Plastis (%) | Lolos saringan No.200 (%) | Klasifikasi tanah USCS |
|--------------------|--------------------|---------------------------|------------------------|
| 0                  | -                  | 0                         | SP                     |
| 35                 | 3,749              | 35                        | SM-SC                  |
| 40                 | 5,439              | 40                        | SM-SC                  |
| 45                 | 9,708              | 45                        | SC                     |
| 50                 | 10,405             | 50                        | CL                     |
| 55                 | 10,732             | 55                        | CL                     |
| 0,6                | 10,697             | 60                        | CL                     |
| 65                 | 12,247             | 65                        | CL                     |
| 100                | 21,763             | 100                       | CL                     |

Berdasarkan hasil pengujian triaksial yang terlihat pada Gambar 9, 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 dibawah ini



Gambar 9. Hasil Pengujian Triaksial

Dari pengujian UCS akan diperoleh 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 10



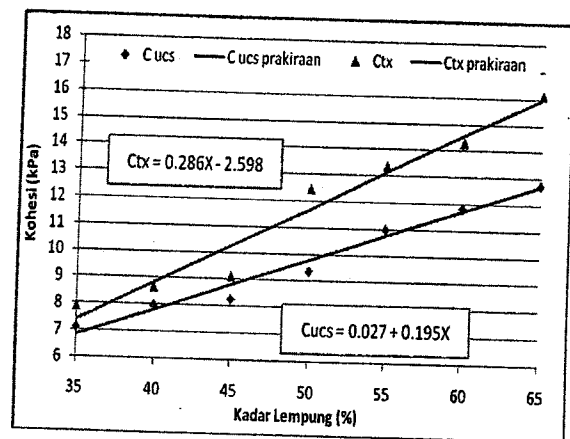
Gambar 10. Hasil pengujian UCS

Dari Gambar 10, 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

### 1. Hubungan Kadar Lempung dan Kohesi Tanah

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 11. Perbandingan kohesi tanah

Gambar 11 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

### 2. Korelasi Non Dimension Sudut Geser Tanah

Dari pengujian UCS tidak diperoleh nilai sudut geser maka untuk memperkirakan nilai sudut geser triaksial dari pengujian UCS akan dilakukan analisis regresi linier berganda antara sudut geser triaksial, kohesi UCS dan sifat fisik tanah campuran. Dari kelima persamaan hasil regresi tersebut, akan dilihat persamaan

yang menghasilkan nilai sudut geser yang setara dengan pengujian untuk kemudian direkomendasikan untuk digunakan dalam memperkirakan nilai sudut geser triaksial

## 2.1. Korelasi Sudut Geser Tanah, UCS dan Kadar Pasir

Dengan mengasumsikan kohesi UCS dan kadar pasir sebagai variabel bebas, dan sudut geser triaksial sebagai variabel tak bebas, maka:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$$

dengan:

$b_0, b_1, b_2$  : konstanta

$Y$  : sudut geser triaksial

$n$  : jumlah data

$X_1$  : kohesi UCS

$X_2$  : kadar pasir

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

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

$$x_i = X_i - \bar{X}$$

$$y_i = Y_i - \bar{Y}$$

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

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

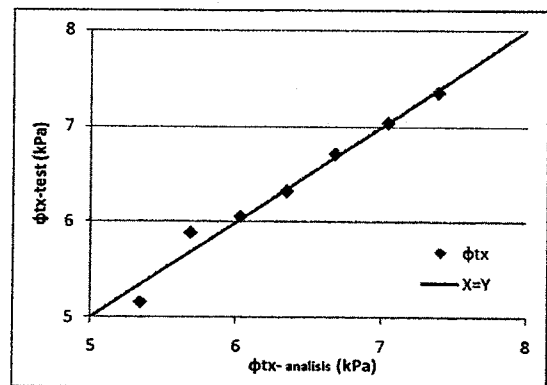
$$r = 0,987$$

Tabel 6. Tingkat kesalahan (error) nilai analisis sudut triaksial, UCS dan kadar pasir

| $\phi_{tx}$ | $\phi_{analisis}$ | Cusc ( $X_1$ ) | Fsand ( $X_2$ ) | 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     |

Dari tabel diatas terlihat nilai sudut geser prakiraan memiliki nilai error yang kecil yaitu 0% - 3%, nilai ini termasuk

dalam batas error yang dapat ditoleransi yaitu maksimal 5%



Gambar 12. Hubungan non dimension sudut geser dari kadar pasir

Persamaan diatas 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  $< 5\%$ , maka persamaan diatas dapat digunakan untuk memperkirakan nilai sudut geser triaksial. Akan tetapi karena tanah dilapangan tidak diketahui kadar pasirnya maka persamaan ini hanya dapat digunakan pada tanah yang telah diketahui kadar pasirnya (*remoulded*)

## 2.2. Korelasi Sudut Geser Tanah, UCS dan Berat jenis

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

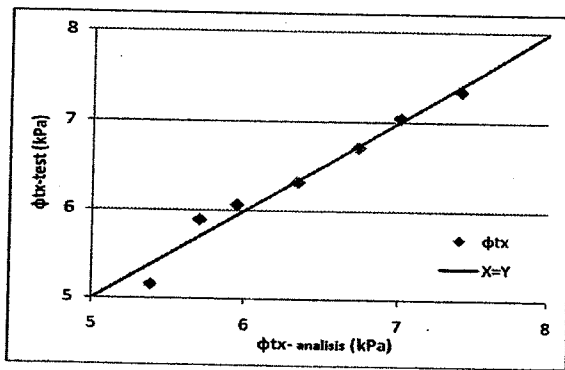
$$\phi = 220,54 - 0,04 C_{ucs} - 79,637 G_S$$

$$r = 0,985$$

Tabel 7. Tingkat kesalahan (error) nilai analisis

| $\phi_{tx}$ | $\phi_{analisis}$ | Cusc ( $X_1$ ) | GS( $X_2$ ) | ErrOr (%) |
|-------------|-------------------|----------------|-------------|-----------|
| 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 13. Hubungan non dimension sudut geser dari berat jenis

Merujuk pada nilai error dari persamaan diatas berkisar antara 0% - 4% (<5%) dan nilai koefisien korelasi yang diperoleh yaitu  $r = 0,985 \approx 1$ , maka persamaan  $\phi = 220,54 - 0,04 \text{ Cucs} - 79,637 \text{ GS}$  juga dapat untuk digunakan dalam memprediksi nilai sudut geser triaksial. Persamaan ini dapat digunakan untuk tanah dilapangan yang mengandung lempung atau campuran lempung pasir sehingga persamaan ini lebih disarankan untuk digunakan.

### 2.3. Korelasi Sudut Geser Tanah, UCS dan Batas Cair (LL)

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

$$\phi = 9,667 - 0,191 \text{ Cusc} - 0,047 \text{ LL}$$

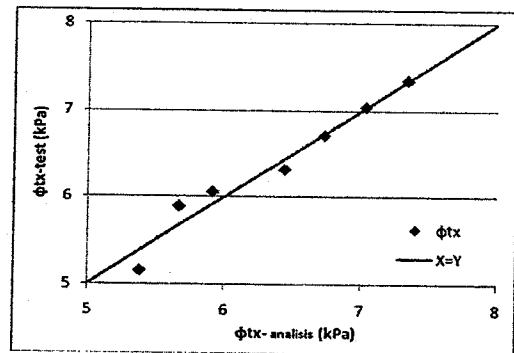
$$r = 0,980$$

Tabel 8. Tingkat kesalahan (error) nilai analisis

| $\phi_{tx}$ | $\phi_{\text{analisis}}$ | Cusc (X1) | LL(X2) | ErrOr (%) |
|-------------|--------------------------|-----------|--------|-----------|
| 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     |

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 8 terlihat nilai sudut geser triaksial yang

diperkirakan dari persamaan diatas memiliki nilai error yang kecil yaitu 4% (< 5%)



Gambar 14. Hubungan non dimension sudut geser dari batas

Dari Tabel 8 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

### 2.4. Korelasi Sudut Geser Tanah, UCS dan Batas Plastis (PL)

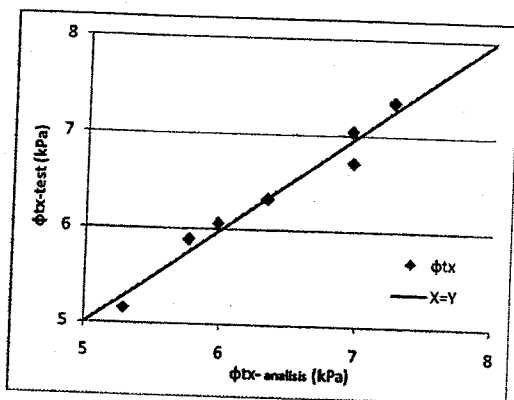
Dengan analisis regresi linier berganda seperti diatas, dihasilkan persamaan dan nilai koefisien korelasi sebagai berikut :

$$\phi = 9,201 - 0,675 \text{ Cucs} + 0,172 \text{ PL}$$

$$r = 0,978$$

Tabel 9. Tingkat kesalahan (error) nilai analisis

| $\phi_{tx}$ | $\phi_{\text{analisis}}$ | Cusc (X1) | PL(X2) | ErrOr (%) |
|-------------|--------------------------|-----------|--------|-----------|
| 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 15. Hubungan non dimension sudut geser dari batas

Dari gambar diatas yang merujuk dari nilai error pada Tabel 9, 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.

## 2.5. Korelasi Sudut Geser Tanah, UCS dan Indeks Plastis (IP)

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

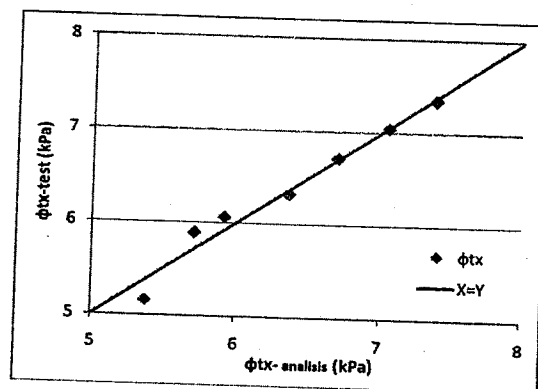
$$\phi = 9,478 - 0,26 \text{ Cucs} - 0,065 \text{ IP}$$

$$r = 0,985$$

Tabel 10. Tingkat kesalahan (error) nilai analisis

| $\phi_{tx}$ | $\phi$ analisis | Cusc (X1) | IP(X2) | Err0r (%) |
|-------------|-----------------|-----------|--------|-----------|
| 7.347       | 7.384           | 7.130     | 3.749  | 0.509     |
| 7.040       | 7.053           | 7.985     | 5.439  | 0.180     |
| 6.711       | 6.704           | 8.260     | 9.708  | 0.100     |
| 6.322       | 6.367           | 9.386     | 10.405 | 0.717     |
| 6.059       | 5.924           | 11.011    | 10.732 | 2.239     |
| 5.887       | 5.716           | 11.821    | 10.697 | 2.900     |
| 5.159       | 5.376           | 12.742    | 12.247 | 4.221     |

Nilai koefisien korelasi  $r = 0,985$  ( $R^2 = 0,97$ ) menunjukkan bahwa variasi nilai sudut geser triaksial 97% disebabkan oleh kohesi dan indeks plastis. Pada Tabel 10 diketahui bahwa nilai sudut geser triaksial yang diperoleh dari persamaan diatas memiliki tingkat kesalahan yang kecil yaitu 4%



Gambar 16. Hubungan non dimension sudut geser dari indeks plastis

Dari gambar dan tabel diatas terlihat hasil yang hampir sama dengan analisis regresi berat jenis dimana empat nilai sudut geser prakiraan setara dengan pengujian, bila tidak ditemui alat uji berat jenis maka persamaan  $\phi = 9,478 - 0,26 \text{ Cucs} - 0,065 \text{ IP}$ , dapat digunakan untuk memperkirakan nilai sudut geser tanah.

## 3. Korelasi Non Dimension Kohesi Tanah

Dari pengujian triaksial dan UCS akan diperoleh 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

### 3.1 Korelasi kohesi, batas cair dan berat jenis (Gs)

Dengan mengasumsikan batas cair dan berat jenis sebagai variabel bebas, dan selisih kohesi triaksial dengan kohesi UCS sebagai variabel tak bebas, maka dilakukan analisis regresi linier berganda:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2$$

dengan:

- $b_0, b_1, b_2$ : konstanta
- $Y$ : selisih kohesi
- $n$ : jumlah data
- $X_1$ : batas cair
- $X_2$ : berat jenis

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

$$r = \frac{b_1 \sum x_{1i} y_i + b_2 \sum x_{2i} y_i}{\sum y_i^2}$$

$$x_i = X_i - \bar{X}$$

$$y_i = Y_i - \bar{Y}$$

Dengan analisa statistika, didapatkan  $b_0 = -1091,294$ ;  $b_1 = -0,337$  dan  $b_2 = 441,121$ , sehingga dihasilkan persamaan sebagai berikut :

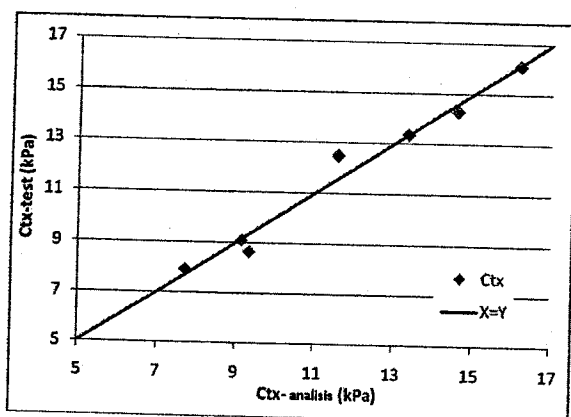
$$\Delta C = -1091,294 - 0,337 LL + 441,121 GS$$

$$r = 0,905$$

Tabel 11. Tingkat kesalahan (error) nilai analisis

| C analisis | Ctx    | UCS    | LL (X <sub>1</sub> ) | Gs (X <sub>2</sub> ) | 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     |

Dari tabel diatas diketahui 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 yang diperoleh



Gambar 17. Hubungan non dimension kohesi dari berat jenis

Persamaan  $\Delta C = -1091 - 0,337 LL + 441,121 GS$  dapat digunakan untuk memperkirakan selisih dari nilai kohesi triaksial dengan UCS sehingga dari pengujian UCS dan berat jenis dapat diperoleh nilai kohesi yang setara dengan kohesi triaksial.

### 3.2 Korelasi kohesi, batas cair dan kadar lempung

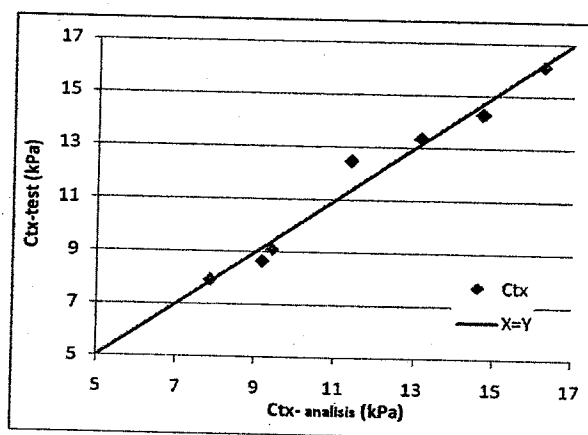
Dengan analisis regresi linier berganda seperti diatas, dihasilkan persamaan dan nilai koefisien korelasi sebagai berikut :

$$\Delta C = -2,922 - 0,216 LL + 0,231 Flays$$

$$r = 0,883$$

Tabel 12. Tingkat kesalahan (error) nilai analisis

| C analisis | Ctx    | UCS    | LL (X <sub>1</sub> ) | Fclays (X <sub>2</sub> ) | 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 18. Hubungan non dimension kohesi dari kadar lempung

Dari gambar diatas yang merujuk dari nilai error pada Tabel 12 terlihat 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 diatas 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*

### 3.3 Korelasi kohesi, batas cair dan batas plastis

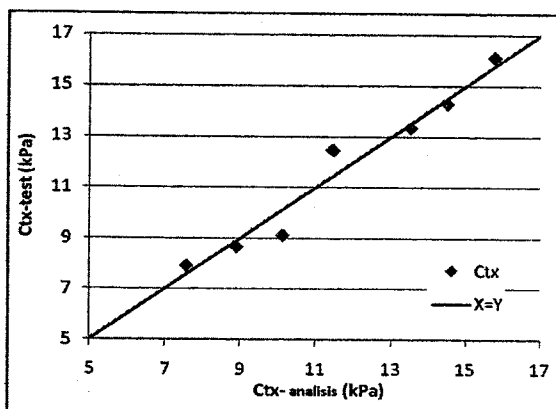
Dengan analisis regresi linier berganda seperti diatas, dihasilkan persamaan dan nilai koefisien korelasi sebagai berikut :

$$\Delta C = -1,786 + 0,2 LL - 0,112 PL$$

$$r = 0,834$$

Tabel 13. Tingkat kesalahan (error) nilai analisis

| C analisis | Ctx    | UCS    | LL (X <sub>1</sub> ) | PL (X <sub>2</sub> ) | 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     |



Gambar 19. Hubungan non dimension kohesi dari batas plastis

Dari gambar diatas dan Tabel 13 diketahui 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.

### 3.4 Korelasi kohesi, batas cair dan indeks plastis

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

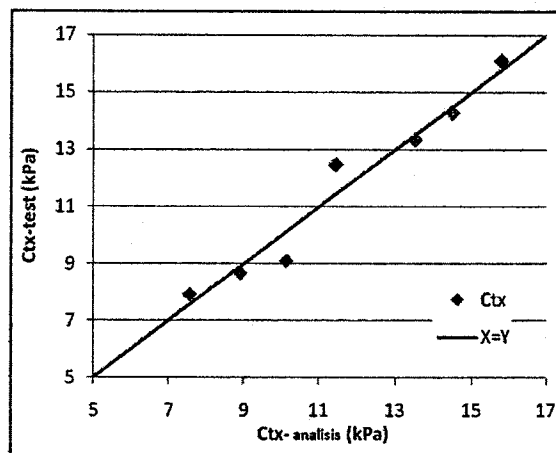
$$\Delta C = -1,786 + 0,088 LL + 0,112 IP$$

$$r = 0,834$$

Tabel 14. Tingkat kesalahan (error) nilai analisis

| C analisis | Ctx    | UCS    | LL (X <sub>1</sub> ) | IP (X <sub>2</sub> ) | Error (%) |
|------------|--------|--------|----------------------|----------------------|-----------|
| 7.568      | 7.923  | 7.130  | 20.503               | 0.438                | 4.491     |
| 8.900      | 8.655  | 7.985  | 23.768               | 0.915                | 2.827     |
| 10.133     | 9.119  | 8.260  | 29.211               | 1.873                | 11.127    |
| 11.464     | 12.465 | 9.386  | 30.653               | 2.078                | 8.030     |
| 13.531     | 13.351 | 11.011 | 35.254               | 2.519                | 1.345     |
| 14.505     | 14.276 | 11.821 | 37.170               | 2.684                | 1.603     |
| 15.814     | 16.125 | 12.742 | 39.602               | 3.072                | 1.928     |

Koefisien korelasi yang diperoleh,  $r = 0,834$  ( $R^2 = 0,6956$ ) menunjukkan bahwa variasi nilai selisih yang mewakili kohesi tanah 69,56% dapat diperkirakan dari nilai batas cair dan indeks plastis tanah melalui hubungan linier



Gambar 20. Hubungan non dimension kohesi dari indeks plastis

Gambar diatas menunjukkan hasil yang sama dengan regresi selisih kohesi dengan batas plastis sehingga persamaan  $\Delta C = -1,786 + 0,088 LL + 0,112 IP$  juga tidak direkomendasikan tetapi dapat digunakan untuk memprediksi nilai kohesi triaksial.



## KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk suatu kondisi benda uji yang sama (cara pembuatan dan pembebanan), apabila diuji dengan alat uji yang berbeda dapat menghasilkan hasil uji yang berbeda. Meskipun kedua pengujian (*Triaksial* dan *Unconfined Compression strength*) memakai anggapan bahwa pengujian berlangsung pada kondisi tidak terjadi pengaliran dari dan ke dalam benda uji atau *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.  $\phi = 220.54 - 0.04 C_{ucs} - 79.637 GS$   
dan  $\phi = 9.478 - 0.26 C_{ucs} - 0.065 IP$
  - b.  $C_{\tau} = C_{ucs} - 1091 - 0.337 LL + 441.121 GS$
3. Persamaan diatas digunakan untuk tanah yang memiliki sifat fisis yang sama
4. Nilai kohesi yang diperoleh dari pengujian *Unconfined Compression Strength* 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, Made Dodiek Wirya, 2008, *Korelasi Kekuatan Geser Undrained Tanah Lempung dari Uji Unconfined compression dan Uji Laboratory Vane Shear (studi pada remolded clay)*, Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 12, No. 2
- Bowles, Joseph E, 1999, *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Jakarta: Erlangga
- BSN, SNI 1964-2008, *Cara Uji Berat Jenis Tanah*, Badan Standarisasi Nasional
- BSN, SNI 03-2812-1992, *Cara uji Konsolidasi Tanah Satu Dimensi*, Badan Standarisasi Nasional
- BSN, SNI 1967-2008, *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*, Badan Standarisasi Nasional
- BSN, SNI 1966-2008, *Cara Uji Penentuan Batas Plastis Dan Indeks Plastisitas Tanah*, Badan Standarisasi Nasional
- BSN, SNI 03-2815-1992, *Cara Uji Tekan Triaksial Pada Laboratorium*, Badan Standarisasi Nasional
- BSN, SNI 03-3638-1994, *Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Kohesif*, Badan Standarisasi Nasional
- BSN, SNI 03-1968-1990, *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*, Badan Standarisasi Nasional
- Das, Braja M, 1988, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Jakarta: Erlangga
- Das, Braja M, 1993, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*, Jakarta: Erlangga
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2006, *Mekanika Tanah 1*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Lambe, T.W & Whitman, R.V, 1969, *Soil Mechanics*, New York: Jhon Wiley and son, inc
- Soedarmo, G Djatmiko, 1993, *Mekanika Tanah 2*, Yogyakarta: Kanisius
- Supranto, J, 2004, *Statistik (Teori dan Aplikasi)*, Jakarta: Erlangga

