

Analisa Sudut-Geser-Dalam Tanah Berbutir Halus (*Cohesive Soil*) Berdasarkan Pendekatan *Cracked Soil*

Daniel Adrian, Indrasurya B. Mochtar dan Noor Endah Mochtar
Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 60111
e-mail: indramochtar.mochtar@gmail.com

Abstrak—Penelitian mengenai *cracked soil* yang telah dilakukan Hutagamissufardal & Mochtar, 2018 adalah memodifikasi alat uji geser yaitu, alat uji geser bisa digunakan untuk mengetahui nilai kohesi dan sudut geser internal tanah pada kondisi tanah retak (*cracked soil*). Namun, penelitian yang telah dilakukan tidak mempertimbangkan nilai *liquid limit* dan *void ratio* dari sampel tanah lempung yang diujikan. Seperti yang diketahui bahwa, nilai kohesi tanah dan sudut geser tanah merupakan fungsi dari jenis tanah dan kepadatan. Jenis tanah dapat diketahui dari *plasticity index* (PI), *plasticity limit* (PL), atau *liquid limit* (LL), sedangkan kepadatan tanah dapat diketahui dari berat jenis tanah (γ_t) dan *void ratio* sehingga dibutuhkan korelasi antara parameter *liquid limit* dan *void ratio* dengan nilai sudut geser internal tanah. Selain itu, teori serta pengujian untuk tanah pada kondisi *cracked soil* masih minim/butuh dikembangkan sehingga dibutuhkan studi lebih lanjut mengenai *cracked soil*. Material yang dipakai dalam pengujian adalah tanah lempung dari daerah Surabaya, Bojonegoro, pasir halus, dan kaolinite; material dicampurkan untuk mendapatkan beberapa nilai untuk *liquid limit* atau *plasticity index*. Dalam mempersiapkan benda uji, material yang sudah dikumpulkan dicampurkan dalam keadaan slurry dan diberi beban 1-tahap sesuai konsistensi tanah yang ingin dicapai. Benda uji yang sudah selesai dibebani kemudian diuji dengan alat uji *direct shear* sesuai standard ASTM D 6528. Dari hasil pengujian didapatkan rumusan empiris antara *plasticity index* dan *void ratio* dengan nilai sudut geser tanah pada kondisi *cracked* serta didapatkan korelasi sudut geser tanah sebagai berikut: $\phi = -0.144LL - 20.456e + 50.463$ dan didapatkan korelasi nilai kohesi tanah sebagai berikut: $C_u = -0.179e + 0.4199$

Kata Kunci—*Cracked Soil*, Kohesi, *Liquid Limit*, Sudut Geser Tanah, *Void Ratio*.

I. PENDAHULUAN

KELONGSORAN adalah peristiwa bergeraknya massa batuan atau tanah dengan berbagai tipe seperti jatuhnya bebatuan atau gumpalan tanah. Penyebab umum peristiwa kelongsoran adalah adanya gaya gravitasi bumi yang menyebabkan tanah bergerak. Penyebab kelongsoran lainnya terjadi akibat adanya keretakan pada tanah yang disebabkan oleh adanya penyusutan pada permukaan tanah, pergerakan tanah dimasa lalu, pergerakan tanah yang cukup kuat (getaran yang berasal dari gempa bumi), adanya sedimen berlapis dan berselang-seling dengan lapisan pasir tipis pada lapisan tanah lanau-lempung yang tebal, serta adanya pelapukan akar tanaman [1]. Selain itu, Peristiwa kelongsoran biasanya terjadi pada tanah yang hanya memiliki sudut geser atau internal *friction* (tidak mempunyai nilai kohesi tanah atau nilai kohesi

tanah yang sangat kecil).

Pada kenyataannya tanah yang memiliki nilai kohesi dan sudut geser tanah pada lereng yang relatif datar dan yang telah lama stabil tiba-tiba mengalami kelongsoran pada saat kondisi hujan lebat, terutama bila hujan berlangsung lama serta memiliki intensitas yang tinggi. Pada intensitas hujan lebat hingga sangat lebat, debit air hujan yang masuk ke dalam bidang retak yang disebabkan oleh salah satu penyebab di atas akan lebih besar dari pada debit air yang keluar dari bidang retak. Hal ini mengakibatkan celah pada retakan terisi air seluruhnya akibat debit air hujan yang masuk lebih besar dari debit air hujan yang keluar pada retakan sehingga mengakibatkan timbulnya celah lain pada bidang retak sesuai dengan arah aliran keluarnya air dan bisa saja aliran keluarnya air hujan yang terbentuk searah bidang longsor.

Telah ada beberapa metode untuk mengetahui nilai kohesi tanah dan sudut geser tanah pada kondisi retak (*crack*). Salah satu cara yang sudah ada yaitu, dengan melakukan pengujian *shear strength* tanah. Namun, pengujian dari *shear strength* pada *crack soil* belum banyak dikembangkan. Selain itu, pengujiannya sangat mahal dan proses pun lama. Teori *crack soil* diperoleh melalui pengujian *shear strength* pada *crack soil* di laboratorium dengan cara menguji sampel tanah pada alat uji. Pengujian tersebut didapatkan dengan memodifikasi alat geser langsung (*direct shear*), dengan cara memodifikasi kotak uji geser (*shear box*) serta menambahkan *water input system* agar benda uji dapat menerima tekanan air seperti kondisi di lapangan pada saat hujan lebat (*saturated soil*)[2].

Dari hasil modifikasi alat uji geser langsung (*direct shear*) didapatkan nilai kohesi dan nilai sudut geser tanah pada kondisi retak (*crack*). Namun, penelitian yang dilakukan dari alat geser langsung (*direct shear*) yang telah dimodifikasi tidak mempertimbangkan parameter *liquid limit* dan *void ratio* dari sampel benda uji. Sesuai dengan teori *shear strength* yang telah diketahui, bahwa nilai kohesi tanah dan sudut geser tanah adalah fungsi dari jenis tanah dan kepadatan. Jenis tanah dapat diketahui dari *plasticity index* (PI), *plasticity limit* (PL), atau *liquid limit* (LL), sedangkan kepadatan tanah dapat diketahui dari berat jenis tanah (γ_t) dan *void ratio* [3], sehingga dapat dibuat korelasi antara nilai *plasticity index* dan *void ratio* untuk memprediksi nilai kohesi dan sudut geser tanah pada tanah retak. Oleh sebab itu, diusulkan penulisan lanjut mengenai “Analisa Sudut-Geser-Dalam Tanah Halus (*Cohesive Soil*) Berdasarkan Pendekatan *Cracked Soil*” untuk mengetahui korelasi antara *liquid limit* dan *void ratio* terhadap nilai sudut geser tanah pada kondisi *crack*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Studi Literatur

1) Karakteristik Tanah Lempung

Lapisan tanah yang disebut lempung atau lanau adalah lapisan tanah lunak yang memiliki konsistensi tertentu dan harga N-SPT tertentu. Tanah lempung merupakan jenis tanah berbutir halus dengan ukuran <2µm atau <5µm [4].

2) Teori Cracked Soil

Panjang bidang retak tidak berpengaruh nilai kohesi tanah. Semakin banyak atau besar bidang keretakan pada tanah maka tanah akan kehilangan kohesi. Pada nilai sudut geser tanah, bidang retak tidak begitu berpengaruh, dengan artian nilai kohesi dan sudut geser internal tanah pada kondisi utuh dan pada kondisi cracked adalah sama [2].

B. Uji Parameter Fisik Tanah

Material yang digunakan dalam studi ini adalah tanah lempung dari Surabaya & Bojonegoro. Pada pengujian karakteristik tanah natural, tanah yang telah diperoleh dari *disturbed sample* akan diuji untuk memperoleh beberapa parameter sebagai berikut:

1) Uji sifat fisik (Volumetri dan Gravimetri Test)

Untuk mendapatkan data *water content* (wc), berat volume (γ), *void ratio* (e), porosity (n), dan *specific gravity* (Gs).

2) Uji plastisitas (Atterberg Limit Test)

Untuk mendapatkan data konsistensi tanah (PI, LL, PL)

C. Pembuatan Benda Uji

Material yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah tanah lempung dari Surabaya & Bojonegoro, kaolinite, serta pasir halus. Tiga jenis tanah tersebut dicampurkan dan ditambah air dengan persentase campuran yang berbeda agar diperoleh tanah dengan nilai *liquid limit/plasticity index* yang bervariasi. Sampel tanah campuran yang dibuat dalam studi ini harus mewakili nilai dari setiap nilai plastisitas tanah (plastisitas rendah, plastisitas medium dan plastisitas tinggi).

1) Pengujian Liquid Limit untuk Setiap Konsistensi Tanah

Setelah didapatkan variasi nilai *liquid limit* tanah lempung dari setiap sampel benda uji maka, sampel yang digunakan adalah ±30% - ±90%, maka dilakukan pembagian kelompok pengujian. Penjelasan lebih lanjut mengenai pengujian tanah dengan variasi *liquid limit* dan *void ratio* dapat dilihat pada Gambar 1

2) Pembebanan Slurry untuk Mendapatkan Benda Uji

Tanah pada *disturb sample* akan dibuat menyerupai tanah *undisturb sample* dengan membuat tanah dalam keadaan cair (*slurry*). Proses pemberian pembebanan bertujuan untuk mengatur konsistensi tanah yang nantinya akan dijadikan benda uji. Beban yang diberikan disesuaikan dengan nilai kohesi tanah yang hendak dicapai. Rumusan yang hendak digunakan mengacu pada rumusan Ardana dan Mochtar, 1999 dalam memberikan beban untuk mencapai nilai kohesi (konsistensi tanah tertentu [5].

Untuk harga PI tanah < 120%

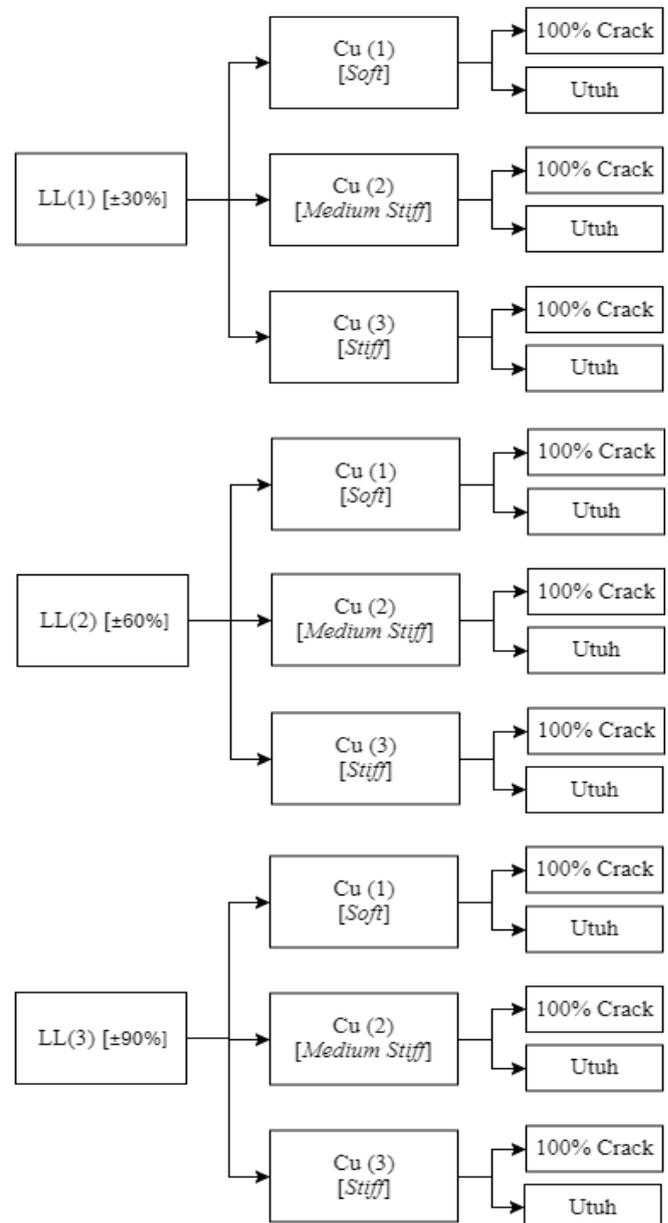
$$Cu = 0.0737 + (0.1899 - 0.0016PI)\sigma' \quad (1)$$

Untuk harga PI tanah > 120%

$$Cu = 0.0737 + (0.0454 - 0.00004PI)\sigma' \quad (2)$$

Persamaan (1) digunakan pada studi ini guna mendapatkan beban vertikal yang diberikan pada *slurry*, mengingat nilai *plasticity index* tanah yang diujikan adalah <120%. Untuk mendapatkan beban vertikal, maka :

$$\frac{(Cu - 0.0737) \times A}{(0.1899 - 0.0016PI)} = Fv \quad (3)$$



Gambar 1. Bagan Alir Pengujian pada Variasi Liquid Limit dan Konsistensi Tanah

D. Direct Shear Test

Direct shear test (uji geser langsung) digunakan untuk mengetahui nilai kohesi tanah dan nilai sudut internal tanah. Dalam pengujiannya, hasil dari *direct shear test* ini adalah *shear stress* dan *axial stress*. Pengujian *direct shear* untuk dilakukan dengan menggunakan alat *direct shear* yang mengacu pada ASTM D 6528. Benda uji yang digunakan adalah tanah yang dihasilkan dari *slurry*, dengan konsistensi masing-masing *soft*, *medium stiff*, dan *stiff*. Dari hasil pengujian dengan menggunakan alat *direct shear* didapatkan parameter tanah yaitu, Cu (nilai kohesi tanah) dan sudut geser internal tanah.

1) Direct Shear pada Kondisi Utuh

Benda uji yang sudah selesai dibebani dengan waktu tertentu dan beban tertentu akan diuji untuk kondisi utuh. Pengujian *direct shear* pada kondisi utuh dimaksudkan untuk mendapatkan parameter nilai kohesi dan nilai sudut geser tanah.

2) Direct Shear pada Kondisi 100% Cracked

Benda uji yang sudah selesai dibebani dengan waktu tertentu dan beban tertentu akan diuji untuk kondisi 100% *cracked*. Pemberian bidang crack pada benda uji menggunakan trimmer pada bidang yang hendak diuji bidang gesernya. Pengujian *direct shear* pada kondisi 100% *cracked* dimaksudkan untuk mendapatkan parameter nilai kohesi dan nilai sudut geser.

Setelah kedua parameter kohesi dan nilai sudut geser tanah pada kondisi utuh dan 100% *cracked* didapatkan, maka dilakukan analisa. Analisa yang dimaksud adalah membandingkan hasil pada hasil kondisi utuh dan 100% *cracked*.

III. HASIL PENGUJIAN

A. Tanah Kondisi Inisial

Material tanah yang digunakan adalah tanah yang berasal dari Kabupaten Kanor, Bojonegoro dan tanah yang berada di sekitar gedung Robotika, ITS. Pengujian yang dilakukan yakni, pengujian *atterberg limit* untuk mendapatkan nilai parameter *liquid limit* (LL) uji gradasi tanah untuk mengetahui fraksi tanah dan klasifikasi tanah, serta uji *volumetric-gravimetri* untuk mengetahui nilai *void ratio* (angka pori), berat jenis tanah, dan *specific gravity* (Gs). Data uji parameter tiap tanah dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2

Tabel 1.
Rekap Hasil Pengujian Tanah Robotika

Lokasi	Gedung Robotika ITS
Kondisi Cuaca	Hujan Ringan - Hujan Sedang
Waktu Pengambilan	Desember 2018
γ_t	1,251 gr/cm ³
γ_d	0,914 gr/cm ³
<i>Void Ratio</i> (angka pori)	1,957
<i>Specific Gravity</i> (Gs)	2,691
<i>Water Content</i> (Wc)	36,91%
<i>Degree of Saturation</i> (SR)	52,07%
<i>Liquid Limit</i> (LL)	87,00%
<i>Plasticity Limit</i> (PL)	42,43%
<i>Plasticity Index</i> (PI)	44,57%
Fraksi Lempung	69,90%
Fraksi Lanau	29,10%
Fraksi Pasir	1,00%
Klasifikasi USCS	MH (<i>Elastic Silt</i>)
Klasifikasi AASHTO	A-7-5 (<i>Clay Soil</i>)

B. Penentuan Persentase Campuran Benda Uji dengan Konsistensi Bervariasi

Bahan yang digunakan untuk mendapatkan *liquid limit* (LL) $\pm 30\%$ adalah tanah lempung dari kabupaten Kanor, Bojonegoro yang dicampur dengan *fine sand*/pasir halus (lolos ayakan no. 50, tertahan no. 200). Sedangkan, untuk mendapatkan nilai *liquid limit* (LL) $\pm 60\%$ adalah tanah lempung dari Robotika, ITS yang dicampurkan dengan kaolinite (dengan LL = 47%).

Tabel 2.
Rekap Hasil Pengujian Tanah Kanor, Bojonegoro

Lokasi	Kab. Kanor, Bojonegoro
Kondisi Cuaca	Hujan Ringan – Hujan Sedang
Waktu Pengambilan	Februari 2019
γ_t	1,115 gr/cm ³
γ_d	0,859 gr/cm ³
<i>Void Ratio</i> (angka pori)	2,216
<i>Specific Gravity</i> (Gs)	2,745
<i>Water Content</i> (Wc)	29,75%
<i>Degree of Saturation</i> (SR)	37,32%
<i>Liquid Limit</i> (LL)	44,50%
<i>Plasticity Limit</i> (PL)	23,43%
<i>Plasticity Index</i> (PI)	21,07%
Fraksi Lempung	48,80%
Fraksi Lanau	31,60%
Fraksi Pasir	19,60%
Klasifikasi USCS	CL (<i>Lean Clay</i>)
Klasifikasi AASHTO	A-7-5 (<i>Clay Soil</i>)

Dari hasil pengujian pencampuran tanah dengan cara *trial and error*. Hasil yang didapatkan komposisi *fine sand*/pasir halus dan tanah lempung kabupaten Kanor, Bojonegoro. Didapatkan *fine sand*/pasir halus sebanyak 38,04% \cong 40% dan tanah lempung kab. Kanor, Bojonegoro sebanyak 61,96% \cong 60%.

Percobaan berikutnya adalah pencampuran kaolinite dengan tanah lempung dari Robotika ITS. Percobaan dilakukan juga dengan cara *trial and error* komposisi kaolinite dengan tanah lempung dari Robotika ITS. Hasil yang didapatkan komposisi kaolinite dan tanah lempung masing-masing sebesar 49,16% \cong 50% untuk kaolinite dan 50,84% \cong 50% untuk tanah lempung dari Robotika ITS.

C. Penentuan Nilai Kohesi Sample Undisturbed dari Slurry

Hasil pembebanan untuk tanah dengan LL: $\pm 60\%$ dan $\pm 90\%$ dengan konsistensi *soft*, *medium stiff*, dan *stiff* sudah sesuai. Namun, dalam pembuatan benda uji didapatkan bahwa ada perubahan perumusan Ardana dan Mochtar (1999) untuk LL: $\pm 30\%$. Hal ini disebabkan karena persentase dominan dalam campuran tanah adalah pasir halus. Maka dari itu, disarankan untuk memperhitungkan gesekan antara tanah dengan tabung *slurry*.

Dari hasil yang didapatkan bahwa pemberian beban vertikal tanpa memperhitungkan nilai sudut geser tanah (LL:30%) dengan tabung *slurry consolidometer* tidak memenuhi konsistensi tanah yang hendak dicapai. Maka dari itu, diusulkan pemberian harga *friction angle* sebesar 10°-15°.

D. Direct Shear

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa tanah yang semakin besar nilai konsistensinya maka sudut geser dan kohesinya juga akan semakin bertambah.

Dari hasil pengujian pada benda uji yang telah mengalami 100% *cracked* didapatkan nilai kohesi yang sangat kecil dan nilai sudut geser yang tidak jauh berubah dari kondisi utuh. Hal ini membuktikan bahwa pada kondisi 100% *cracked* nilai kohesi tanah mengalami penurunan hingga menjadi konsistensi *very soft*. Maka dari itu, nilai kohesi tanah dapat diabaikan.

IV. ANALISA HASIL

A. Hal yang Memengaruhi Nilai Sudut Geser Tanah (ϕ)

Hasil penelitian yang didapatkan menjelaskan bahwa adanya pengaruh nilai *liquid limit* dan *void ratio* terhadap sudut geser tanah. Semakin besar nilai *liquid limit* maka sudut geser tanah akan semakin berkurang. Hal ini disebabkan oleh hubungan ukuran butiran tanah yang linier dengan nilai *liquid limit/plasticity index*-nya (Gambar 2a). Sebaliknya, semakin besar nilai *void ratio* maka sudut geser tanah akan berkurang. Hal ini disebabkan oleh butiran yang semakin renggang sehingga menyebabkan sudut tahanan antar butiran tanah tersebut berkurang (Gambar 2b).

Hubungan *void ratio* dan *liquid limit* terhadap nilai sudut geser tanah menunjukkan *trendline* yang serupa. Oleh sebab itu, dapat dibuat suatu korelasi dengan menggunakan *multi variable regression*. Hasil *multi variable regression* dari studi ini dapat dilihat pada Tabel 3.

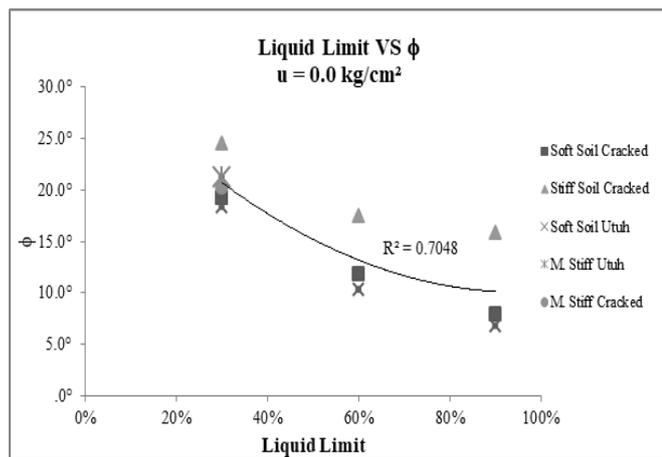
Tabel 3.
Prediksi dari Parameter Sudut Geser Tanah Berdasarkan Nilai *Liquid Limit*, *Plasticity Index*, dan *Void Ratio*

Correlation	R ²	Regression
$\phi = -0.144LL - 20.456e + 50.463$	99.60%	Multiple Variable
$\phi = 23.288e - 0.336LL$	94.43%	Multiple Variable

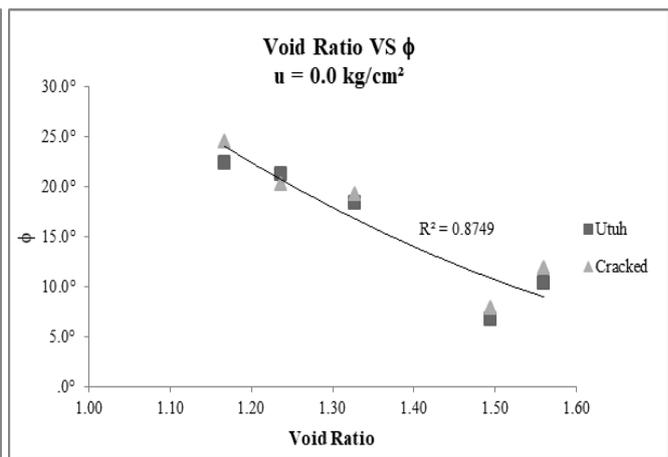
Korelasi tersebut untuk mendapatkan parameter sudut geser tanah. Dapat dilihat nilai R² yang menunjukkan angka kepastian untuk memprediksi parameter sudut geser tanah. Semakin besar nilai R² maka, semakin mendekati baik pula hasil prediksi parameter sudut geser tanah. Kedua regresi diuji coba untuk mendapatkan nilai *void ratio* dengan variasi nilai *liquid limit* dan didapatkan hasil yang kurang sesuai dengan data *void ratio* untuk regresi kedua dengan nilai R² sebesar 94.43%. dengan demikian dapat dipakai korelasi pertama untuk mengetahui nilai sudut geser tanah.

B. Hal yang Memengaruhi Nilai Kohesi Tanah

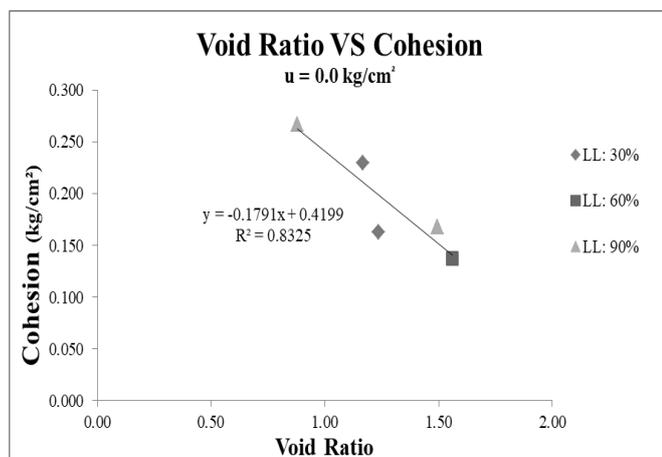
Hasil penelitian yang didapatkan untuk parameter nilai kohesi menjelaskan adanya pengaruh nilai *void ratio* dan *liquid limit*. Hal ini dibuktikan dari hasil pengujian antara nilai *void ratio* dengan nilai kohesi tanah, Gambar 2c. Semakin kecil nilai *void ratio* maka nilai kohesi tanah akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena jarak antar butiran tanah yang semakin dekat (nilai *void ratio* yang kecil) sehingga meningkatkan daya lekatan antar butiran tanah. Sebaliknya, pengaruh nilai *liquid limit* terhadap nilai kohesi tanah tidak signifikan pengaruh nilai *void ratio*, Gambar 2d.



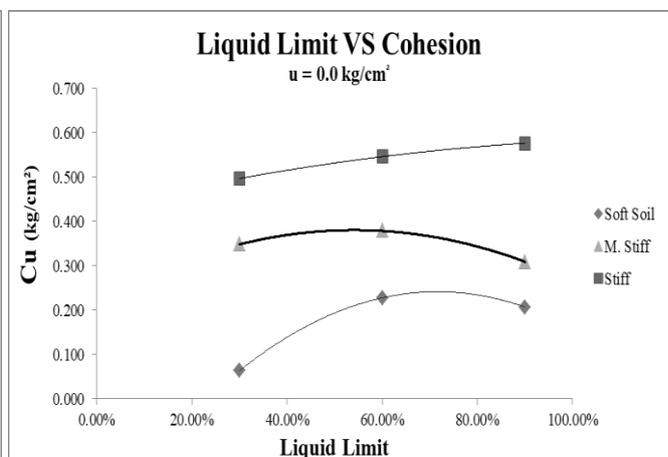
(a)



(b)

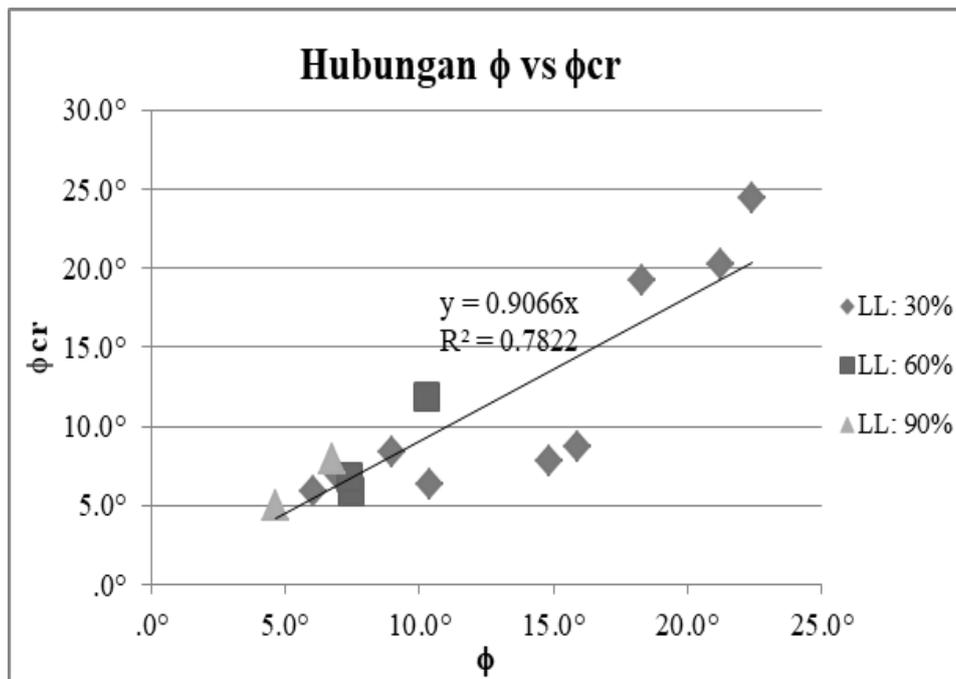


(c)



(d)

Gambar 2. Grafik Hubungan antara: (a) Nilai *Liquid Limit* dengan Sudut Geser Tanah, (b) Nilai *Void Ratio* dengan Sudut Geser Tanah, (c) Nilai *Void Ratio* dengan Nilai Kohesi Tanah, (d) Nilai *Liquid Limit* dengan Nilai Kohesi Tanah



Gambar 3. Grafik Hubungan antara Nilai Sudut Geser Kondisi Utuh (ϕ) dengan Nilai Sudut Geser Kondisi 100% Cracked (ϕ_{cr})

Gambar 2c menunjukkan pengaruh nilai *void ratio* terhadap nilai kohesi tanah yang cukup konstan. Gambar 2d menunjukkan pengaruh nilai liquid limit terhadap nilai kohesi tanah. Pengaruh nilai *liquid limit* kurang begitu konstan sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *liquid limit* kurang memengaruhi nilai kohesi tanah. Sehingga didapatkan hubungan untuk mendapatkan nilai kohesi tanah adalah sebagai berikut:

$$C_u = -0.1791e + 0.4199 \quad (4)$$

C. Hubungan antara Sudut Geser Tanah pada Kondisi Utuh dengan 100% Cracked

Pada penelitian ini didapatkan nilai sudut geser tanah pada kondisi utuh dan 100% cracked beberapa mengalami kenaikan dan penurunan. Gambar 3 menunjukkan hubungan nilai sudut geser tanah pada kondisi utuh dan 100% cracked

Pada penelitian yang dilakukan Hutagamissufardal, 2018 didapatkan nilai sudut geser tanah pada kondisi cracked sama dengan nilai sudut geser tanah pada kondisi utuh. Namun, dari studi ini didapatkan hasil nilai sudut geser tanah pada kondisi 100% cracked sebesar 0.8-1.3 kali sudut geser tanah pada kondisi utuh. Hal ini disebabkan karena pada proses pemotongan benda uji untuk kondisi 100% cracked cukup sulit dilakukan sehingga benda uji mengalami kehilangan area geser setelah dipotong atau ketidak tepatan pemotongan sehingga menyebabkan adanya sudut pada benda uji.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan penelitian adanya hubungan antara nilai sudut geser tanah dengan nilai *liquid limit* dan *void ratio* tanah. Nilai *plasticity index/liquid limit* pada tanah berpengaruh signifikan pada nilai sudut geser tanah. Nilai *void ratio* pada tanah berpengaruh pada nilai sudut geser tanah yang diujikan dari regresi yang didapat dengan nilai R^2 sebesar 99.60% maka, disimpulkan korelasi empiris untuk

mendapatkan nilai sudut geser tanah sebagai berikut:

$$\phi = (-0.144LL - 20.456e + 50.463)$$

(LL tidak dalam persentase)

Adanya hubungan antara nilai kohesi tanah dengan nilai *void ratio* tanah. Hal ini disebabkan oleh jarak antar butiran tanah yang semakin dekat (semakin kecil nilai *void ratio*) sehingga meningkatkan daya lekatan antar butiran dan menaikkan nilai kohesi tanah. Sementara, pengaruh nilai liquid limit tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai kohesi tanah. Sehingga, dapat disimpulkan korelasi empiris dengan nilai R^2 sebesar 83.25% untuk mendapatkan nilai kohesi tanah sebagai berikut:

$$C_u = -0.1791e + 0.4199$$

Nilai kohesi tanah yang didapatkan dalam studi untuk tanah kondisi 100% cracked sangat kecil (bisa diasumsikan tidak mempunyai nilai kohesi tanah) dan hanya tersisa nilai sudut geser tanahnya saja. Rentang nilai sudut geser tanah pada kondisi 100% cracked adalah Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa rentang nilai sudut geser tanah kondisi 100% cracked adalah 0.8-1.3 kali sudut geser pada kondisi utuh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. B. Mochtar, "A new method of perceiving slope stability concept based on field evidences," in *Proc. HATTI Semin*, 2011.
- [2] Hutagamissufardal, I. B. Mochtar, and N. E. B. Mochtar, "The effect of cracks propagation on cohesion and internal friction angle for high plasticity clay," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 13, no. 5, pp. 2504–2507, 2018.
- [3] J. M. Hvorslev, *Physical Components of the Shear Strength of Saturated Clays*. Mississippi: U.S. Army, 1961.
- [4] ASTM D653-14, "Standard Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids." ASTM International, West Conshohocken, 2014.
- [5] M. D. W. Ardana, "Pengaruh Tegangan Overburden Efektif Dan Plastisitas Tanah Terhadap Kekuatan Geser Undrained Tanah Lempung Berkonsistensi Sangat Lunak Sampai Kaku Yang Terkonsolidasi Normal," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 1999.