

## STUDI PERBANDINGAN NILAI *UNDRAINED SHEAR STRENGTH* TERHADAP NILAI *LIQUID LIMIT* TANAH LEMPUNG

Sherlin Angelina<sup>1\*</sup> dan Aniek Prihatiningsih<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1, Jakarta, Indonesia  
\*sherlin.325210023@stu.untar.ac.id

Masuk: 13-10-2024, revisi: 10-02-2025, diterima untuk diterbitkan: 13-02-2025

### ABSTRACT

The correlation analysis between undrained shear strength ( $S_u$ ) and liquid limit (LL) was conducted on clay soils sampled from North Jakarta to evaluate the potential for predicting  $S_u$  values based on LL parameters. Clay soils are known for their high plasticity, which is influenced by moisture content, making  $S_u$  and LL critical parameters in geotechnical stability analysis. In this research,  $S_u$  values were obtained using the Triaxial UU method, while LL values were determined using the Casagrande method and the fall cone test. Exponential regression analysis was used to measure the correlation between  $S_u$  and LL. Results showed that the Casagrande method generated a coefficient of determination ( $R^2$ ) calculated at 0,9676, indicating a strong correlation for predicting  $S_u$ . In comparison, the fall cone test method produced a lower coefficient of determination, which is 0,5827. These results imply that LL, especially from the Casagrande method, can be used as a preliminary estimate of  $S_u$  values, allowing for time and cost efficiency by reducing the need for Triaxial UU testing. Further studies with varied samples and mineral analysis of clay soils are recommended to enhance the accuracy and reliability of these findings.

Keywords: undrained shear strength; liquid limit; clay soil; correlation

### ABSTRAK

Analisis korelasi antara *undrained shear strength* ( $S_u$ ) dan *liquid limit* (LL) dilakukan pada sampel tanah lempung yang diambil dari Jakarta Utara untuk mengevaluasi potensi prediksi nilai  $S_u$  berdasarkan parameter LL. Tanah lempung dikenal memiliki karakter plastisitas tinggi yang dipengaruhi oleh kadar air, sehingga parameter  $S_u$  dan LL sangat penting dalam analisis stabilitas geoteknik. Pada penelitian ini, nilai  $S_u$  diperoleh menggunakan metode Triaxial UU, sementara nilai LL diperoleh dengan metode Casagrande dan *fall cone test*. Analisis regresi eksponensial digunakan untuk mengukur korelasi antara  $S_u$  dan LL. Hasil menunjukkan bahwa metode Casagrande menghasilkan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,9676 yang mengindikasikan korelasi kuat untuk memprediksi  $S_u$ . Sebaliknya, metode *fall cone test* menghasilkan koefisien determinasi yang lebih rendah, yaitu 0,5827. Hasil ini menyiratkan bahwa LL, terutama dari metode Casagrande, dapat digunakan sebagai estimasi awal nilai  $S_u$ , sehingga memungkinkan efisiensi waktu dan biaya tanpa melakukan pengujian Triaxial UU. Studi lanjutan dengan variasi sampel dan analisis mineral tanah lempung disarankan untuk memperkuat keakuratan hasil ini.

Kata kunci: *undrained shear strength*; *liquid limit*; tanah lempung; korelasi

## 1. PENDAHULUAN

### Latar belakang

Dalam proses perencanaan dan pelaksanaan pembangunan infrastruktur, evaluasi karakteristik parameter tanah merupakan salah satu faktor krusial untuk memastikan kestabilan dan keamanan struktur yang akan dibangun di atasnya. Salah satu jenis tanah yang sering menjadi perhatian adalah tanah lempung karena memiliki karakteristik plastisitas yang tinggi. Tanah lempung sangat dipengaruhi oleh kadar air, yang berpengaruh terhadap kekuatan tanah secara signifikan. Perubahan kekuatan ini menunjukkan pentingnya analisis parameter tanah, seperti *undrained shear strength* ( $S_u$ ) dan *liquid limit* (LL). Hubungan antara  $S_u$  dan LL pada tanah lempung penting untuk dipelajari, karena kedua parameter tersebut memengaruhi perilaku tanah dalam menahan beban. Kedua parameter tersebut tidak hanya mendeskripsikan karakteristik tanah, tetapi juga membantu memprediksi perilaku tanah ketika terjadi perubahan kadar air.

Parameter  $S_u$  menunjukkan kekuatan tanah untuk menahan gaya geser tanpa terjadi drainase air dari pori-pori tanah, sehingga menjadi aspek penting dalam analisis geoteknik. Stabilitas struktur yang dibangun di atas tanah lempung sangat dipengaruhi oleh nilai  $S_u$ . Di sisi lain, LL yang menunjukkan batas kadar air di mana tanah mengalami transisi dari kondisi plastis menjadi cair juga merupakan parameter penting dalam klasifikasi tanah. Pemahaman mengenai

hubungan antara  $S_u$  dan  $LL$  dapat menjadi dasar dalam memprediksi reaksi tanah lempung terhadap perubahan kadar air yang penting untuk keberhasilan sebuah proyek infrastruktur.

Di Indonesia, khususnya di wilayah perkotaan seperti Jakarta, tanah lempung sering ditemukan sebagai lapisan tanah dasar yang mendukung berbagai proyek konstruksi, seperti gedung bertingkat hingga infrastruktur transportasi. Tanah lempung memiliki sifat yang bervariasi tergantung dari kadar air yang memberikan pengaruh terhadap kestabilan dan daya dukung tanah. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman mengenai karakteristik tanah lempung dalam kondisi jenuh untuk memastikan keamanan struktur yang dibangun di atasnya. Dalam kondisi tersebut, parameter  $S_u$  dan  $LL$  dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kekuatan dan reaksi tanah terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Metode pengujian untuk menentukan nilai  $S_u$  dan  $LL$  cukup beragam, seperti *Triaxial Unconsolidated Undrained (UU)*, *Casagrande*, dan *fall cone test* yang umum digunakan di laboratorium geoteknik. Melalui kajian korelasi antara  $S_u$  dan  $LL$ , prediksi kekuatan tanah dapat diidentifikasi dengan efisien. Pendekatan tersebut tidak hanya memungkinkan efisiensi waktu dan biaya, tetapi juga mempermudah proses pengambilan keputusan dalam perencanaan serta pelaksanaan proyek infrastruktur. Dengan demikian, metode prediksi ini dapat membantu memastikan bahwa struktur yang akan dibangun di atas tanah lempung mampu menahan beban dengan stabilitas yang optimal dengan kondisi yang berubah-ubah.

### Rumusan masalah

1. Bagaimana hubungan antara nilai  $LL$  dan  $S_u$  pada tanah lempung?
2. Apakah korelasi  $S_u$  dari  $LL$  dapat menghemat waktu dan biaya dalam konteks analisis geoteknik?
3. Bagaimana perbandingan korelasi nilai  $S_u$  dari  $LL$  yang diperoleh dari 2 (dua) metode pengujian  $LL$ , yaitu *Casagrande* dan *fall cone test*?

### Tujuan penelitian

1. Mengidentifikasi korelasi antara nilai  $LL$  dan  $S_u$  dari hasil pengujian *Triaxial UU* pada tanah lempung.
2. Membandingkan hasil korelasi nilai  $S_u$  dari  $LL$  yang diperoleh dari 2 (dua) metode pengujian  $LL$  dengan metode *Casagrande* dan *fall cone test* untuk menentukan metode yang lebih akurat dalam memprediksi nilai  $S_u$ .
3. Menentukan metode pengujian  $LL$  yang lebih akurat sebagai alternatif untuk memperkirakan nilai  $S_u$  tanpa pengujian *Triaxial UU*.

### Studi pustaka

Holtz dan Kovacs (1981) menyatakan bahwa batas-batas Atterberg merupakan batas kandungan air pada tanah yang memengaruhi perilaku tanah, yaitu mulai dari fase padat, semi padat, plastis, dan cair. Salah satu batas-batas Atterberg yaitu  $LL$  yang merupakan kandungan air pada tanah yang masih mempertahankan sifat plastis dan mulai berperilaku menjadi cair.  $LL$  dapat diperoleh dengan metode *Casagrande* maupun *fall cone test*. Tanah dengan nilai  $LL$  yang tinggi cenderung memiliki karakteristik plastis yang lebih besar dan kekuatan geser tak terdrainasi yang lebih kecil.

Budhu (2000) menjelaskan bahwa pada metode *Casagrande*,  $LL$  dihitung berdasarkan jumlah ketukan yang dibutuhkan untuk menutup alur pada tanah sepanjang 12,5 mm sebanyak 25 ketukan, sedangkan pada *fall cone test*,  $LL$  dihitung dari kedalaman penetrasi *cone* sedalam 20 mm yang jatuh pada sampel tanah selama 5 detik. Nilai  $S_u$  pada  $LL$  sekitar 1,7 kN/m<sup>2</sup> berdasarkan hasil penelitian oleh *Casagrande*, yang kemudian diadopsi oleh *Wroth dan Wood (1978)*. Hal ini menunjukkan bahwa  $LL$  dapat menjadi parameter prediktif untuk  $S_u$ , yang relevan dalam analisis geoteknik, khususnya pada tanah dengan kadar air yang tinggi. Korelasi antara  $LL$  dan  $S_u$  memberikan panduan penting dalam analisis geoteknik, terutama pada kondisi dengan parameter tanah yang terbatas.

Metode *Casagrande* dan *fall cone test* merupakan metode yang valid untuk menentukan parameter  $LL$ , namun hasil pengujian menggunakan metode *fall cone test* cenderung lebih konsisten dibandingkan dengan *Casagrande* karena metode tersebut kurang dipengaruhi oleh teknik pelaksanaan yang digunakan pada pengujian (*Díaz et al., 2021*). Selain dipengaruhi oleh teknik pelaksanaan, nilai  $LL$  juga bergantung pada kandungan mineral tanah. Kandungan mineral tanah memengaruhi plastisitas dan perilaku mekanis tanah yang terlibat pada analisis kekuatan geser dan stabilitas tanah (*Frankovska & Brcek, 2023; Mitchell, 1976*). *Crevelin dan Bicalho (2019)* menyatakan bahwa tanah lempung dengan kandungan kaolinit maupun illit yang tinggi cenderung menghasilkan nilai  $LL_{FC} > LL_C$ , sedangkan untuk tanah dengan kandungan smektit yang tinggi dapat menghasilkan nilai  $LL_C > LL_{FC}$ .

Pada tanah lempung, nilai  $S_u$  berbanding lurus dengan tekanan konsolidasi vertikal. Hal ini berarti tanah yang mengalami proses konsolidasi memiliki ketahanan gaya geser yang tinggi. Parameter  $S_u$  sangat penting dalam perancangan konstruksi geoteknik, seperti stabilitas lereng dan fondasi tiang untuk memastikan keamanan dan stabilitas struktur (*Huang et al., 2023*). *Ayadat (2021)* menyatakan bahwa nilai  $S_u$  dapat diperoleh dari berbagai

metode pengujian di lapangan maupun di laboratorium, seperti *field vane test*, *laboratory vane test*, *triaxial test*, *unconfined compression test*, dan *Swedish cone test*. Pada penelitian ini, digunakan metode triaxial UU karena tidak hanya efisien, tetapi juga mampu menggambarkan keadaan asli di mana tanah lempung lunak menahan beban tanpa adanya air yang keluar dari pori-pori tanah. Metode ini mempertahankan tekanan air pori selama pengujian, sehingga mencerminkan reaksi alami tanah jenuh terhadap tekanan geser dengan akurat. Kondisi *undrained* sesuai untuk tanah lempung lunak dengan kadar air yang tinggi, sehingga hasil yang diperoleh dapat memberikan hasil yang representatif terhadap kekuatan geser tanah dalam kondisi aslinya (Khatrush & El-Gehani, 2021).

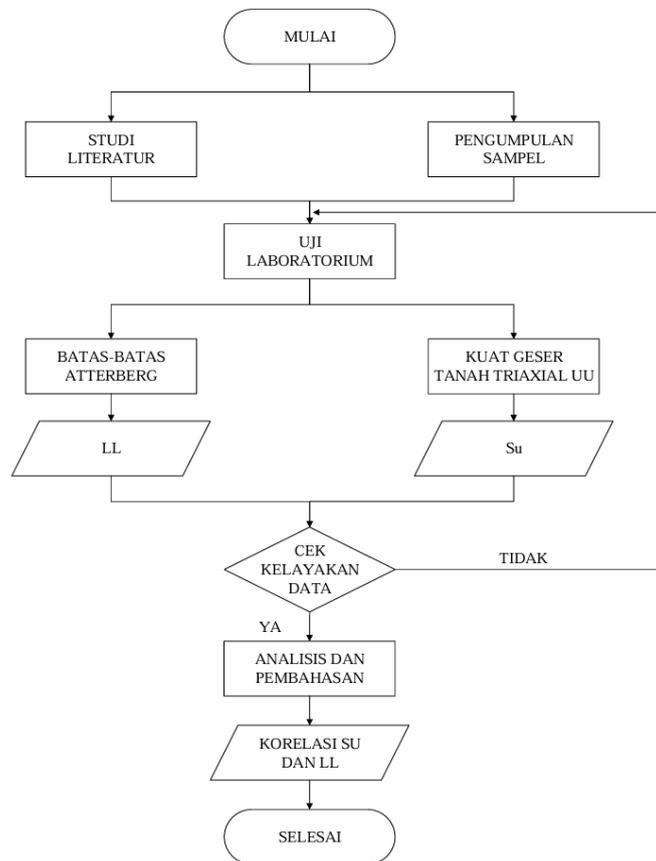
Tabel 1. Batas-batas Atterberg untuk mineral tanah lempung (Mitchell, 1976)

Mineral	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Shrinkage Limit (%)
Montmorillonite	100 – 900	50 – 100	8,5 – 15
Illite	60 – 120	35 – 60	15 – 17
Kaolinite	30 – 110	25 – 40	25 – 29

## 2. METODE PENELITIAN

### Prosedur analisis

Langkah-langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart penelitian

1. Melakukan studi literatur mengenai konsep yang berkaitan dengan LL dan Su dari berbagai sumber yang relevan, serta melakukan pengumpulan sampel tanah lempung dari beberapa lokasi di Jakarta Utara untuk diuji di laboratorium.
2. Melakukan pengujian untuk mendapatkan parameter LL menggunakan metode Casagrande dan *fall cone test*, serta mendapatkan parameter Su menggunakan metode Triaxial UU.
3. Setelah memperoleh data, dilakukan pengecekan kelayakan data. Apabila data tidak memenuhi kriteria kelayakan, dilakukan pengujian ulang atau pengujian pada sampel baru.

- Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis menggunakan regresi yang melibatkan parameter LL sebagai variabel independen dan parameter Su sebagai variabel dependen. Analisis ini bertujuan untuk menentukan apakah terdapat korelasi antara kedua parameter tersebut, sehingga LL dapat digunakan sebagai indikator prediktif untuk memperkirakan nilai Su pada tanah lempung.

### Pengumpulan sampel

Pengambilan sampel tanah untuk penelitian ini dilakukan di wilayah Jakarta Utara dengan menggunakan metode bor mesin. Pemilihan lokasi penelitian di Jakarta Utara didasarkan pada keberagaman karakteristik tanah lempung di daerah tersebut, yang memiliki variasi kadar air dan plastisitas, sehingga relevan untuk tujuan analisis korelasi antara Su dan LL. Sampel tanah diambil dari 2 (dua) lokasi yang berbeda. Dari kedua lokasi tersebut, setiap sampel tanah diambil pada kedalaman yang bervariasi, dengan total 6 (enam) sampel tanah lempung untuk memberikan data yang lebih representatif. Proses pengambilan sampel tanah *undisturbed* menggunakan bor mesin yang dilakukan sesuai standar ASTM D-1587-83. Metode ini bertujuan untuk mempertahankan struktur asli tanah sehingga parameter Su dan LL yang diukur dapat mencerminkan kondisi aslinya. Setiap sampel ditempatkan dalam wadah kedap udara untuk menjaga kelembaban dan karakteristik asli tanah sampai pengujian dilakukan di laboratorium. Jumlah sampel yang diambil dalam penelitian ini dianggap memadai untuk mencapai tujuan analisis korelasi Su dan LL, dengan catatan bahwa penelitian ini merupakan studi awal yang berfokus pada karakteristik tanah lempung di Jakarta Utara, dan studi lanjutan dengan jumlah sampel yang lebih banyak dapat dilakukan untuk memperkuat hasil penelitian.

### Pengujian sampel

Studi perbandingan antara Su dan LL dilakukan menggunakan metode Atterberg Limits Test yang meliputi 2 (dua) metode yaitu *Casagrande* dan *fall cone test*, dan Triaxial UU. Setiap pengujian didasarkan pada *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan *British Standard* (BS EN ISO).

Tabel 2. Standar pengujian

Jenis Pengujian	Standar	Tujuan
<i>Atterberg Limits Test</i>	ASTM D-4318-10 dan BS EN ISO 17892-6	Mengetahui nilai LL
<i>Unconsolidated Undrained Triaxial Test</i>	ASTM D-2850-15	Mengetahui nilai Su pada kondisi <i>undrained</i>

### Pengolahan data

Setelah pengujian laboratorium selesai, data yang diperoleh dari pengujian batas-batas Atterberg dan pengujian kuat geser tanah diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Nilai Su dan LL yang diperoleh dicatat dan dianalisis untuk memastikan akurasi serta kelayakan data sebelum melakukan analisis korelasi. Microsoft Excel digunakan untuk menghitung dan memvisualisasikan data.

### Metode analisis data

Data yang telah diolah kemudian dianalisis menggunakan metode statistik untuk menaksir hubungan antara Su dan LL. Dalam penelitian ini, digunakan 2 (dua) model regresi, yaitu regresi linier dan regresi eksponensial. LL dianggap sebagai variabel independen, sementara Su sebagai variabel dependen, untuk mengevaluasi apakah LL dapat digunakan untuk memprediksi nilai Su. Hasil analisis regresi dari kedua model dibandingkan berdasarkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk mengevaluasi sejauh mana masing-masing model mampu menjelaskan hubungan antara Su dan LL. Regresi eksponensial dipilih karena menunjukkan nilai  $R^2$  yang lebih tinggi dibandingkan regresi linier. Hasil ini kemudian diinterpretasikan untuk menilai efektivitas metode *Casagrande* dan *fall cone test* dalam memprediksi nilai Su.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

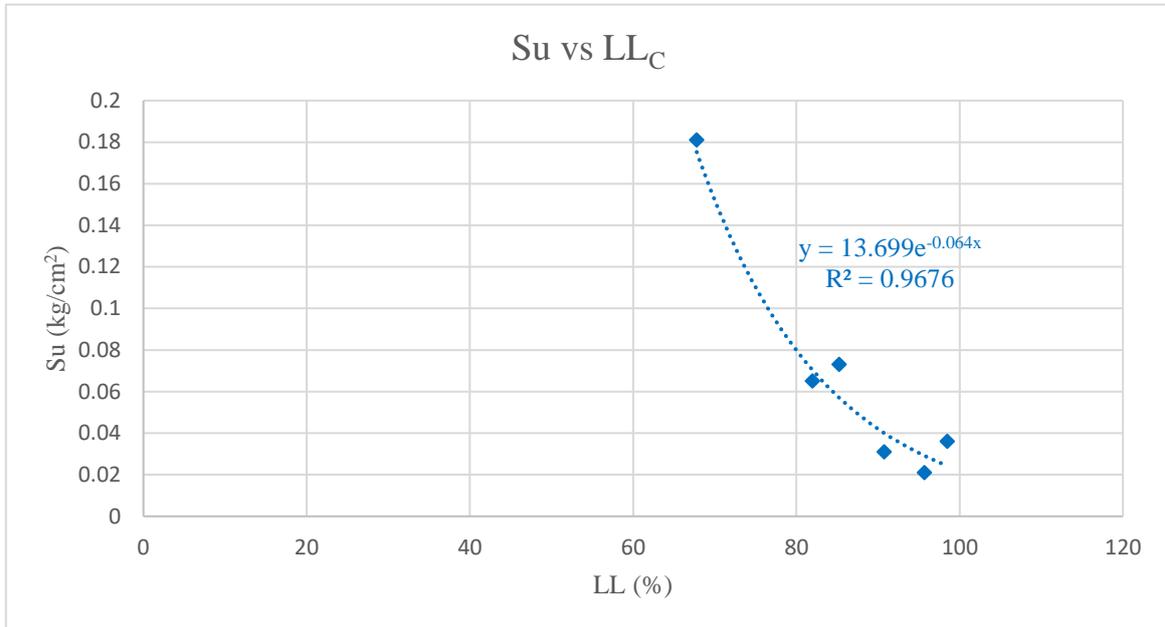
Data hasil pengujian laboratorium pada 6 (enam) sampel dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian laboratorium

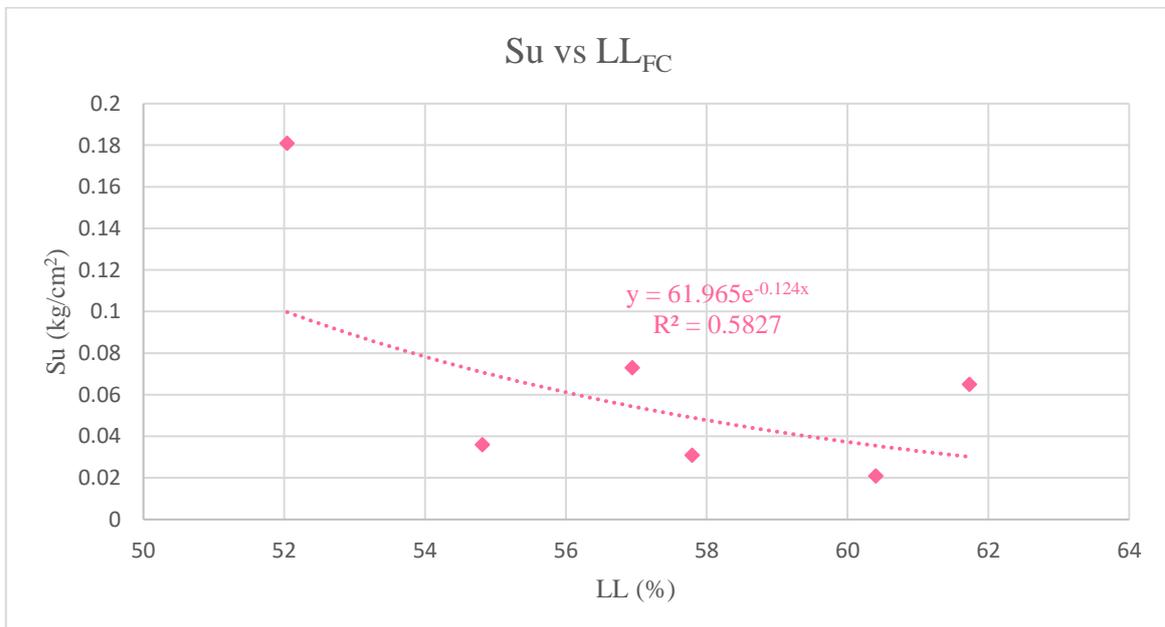
Proyek	Sampel	Kedalaman (m)	Gs	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	LL <sub>C</sub> (%)	LL <sub>FC</sub> (%)
A	1	2.00 – 2.50	2,67	0,021	95,654	60,401
	2	3.50 – 4.00	2,68	0,031	90,751	57,793
	3	6.50 – 7.00	2,67	0,036	98,451	54,811
	4	8.00 – 8.50	2,68	0,073	85,225	56,942

Tabel 3 (Lanjutan). Hasil pengujian laboratorium

Proyek	Sampel	Kedalaman (m)	G <sub>s</sub>	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	LL <sub>C</sub> (%)	LL <sub>FC</sub> (%)
B	5	3.00 – 3.50	2,67	0,181	67,787	52,042
	6	8.00 – 8.50	2,68	0,065	81,941	61,730



Gambar 2. Grafik Su vs LL<sub>C</sub>



Gambar 3. Grafik Su vs LL<sub>FC</sub>

Berdasarkan hasil pengujian, terdapat perbedaan nilai pada LL antara metode Casagrande dan fall cone test. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan teknik pelaksanaan pada kedua metode dan dipengaruhi oleh kandungan mineral tanah. Selain itu, hasil ini juga menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai LL, maka nilai Su cenderung semakin kecil. Hal ini sesuai dengan karakteristik tanah lempung dengan plastisitas tinggi yang memiliki daya tahan geser lebih rendah.

Tabel 4. Nilai R<sup>2</sup> pada regresi linier dan eksponensial

Metode Regresi	R <sup>2</sup> untuk Su vs LL <sub>C</sub>	R <sup>2</sup> untuk Su vs LL <sub>FC</sub>
Linier	0,8815	0,4356
Eksponensial	0,9676	0,5827

Untuk mengevaluasi hubungan antara Su dan LL, dilakukan analisis regresi dengan 2 (dua) model, yaitu regresi linier dan eksponensial. Hasil analisis regresi ini disajikan dalam Tabel 4, yang menunjukkan perbandingan nilai R<sup>2</sup> untuk kedua model. Berdasarkan Tabel 4, regresi eksponensial menunjukkan nilai R<sup>2</sup> yang lebih tinggi dibandingkan regresi linier, baik untuk hubungan Su dengan LL<sub>C</sub> maupun Su dengan LL<sub>FC</sub>. Hal ini menunjukkan bahwa regresi eksponensial lebih akurat dalam menggambarkan hubungan antara Su dan LL. Pemilihan model eksponensial didukung oleh karakteristik hubungan antara LL dan Su yang bersifat non-linier, di mana Su cenderung menurun pada LL yang rendah dan melandai pada LL yang lebih tinggi. Hal ini mencerminkan pola eksponensial, di mana penurunan Su signifikan pada LL rendah dan melambat pada LL tinggi.

Hasil analisis regresi eksponensial menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi antara Su dan LL<sub>C</sub> adalah 0,9676, yang berarti bahwa sekitar 96,76% nilai Su dapat dijelaskan oleh nilai LL<sub>C</sub>. Sementara itu, nilai koefisien determinasi antara Su dan LL<sub>FC</sub> hanya sebesar 0,5827 yang menunjukkan bahwa metode ini kurang akurat dalam memprediksi nilai Su. Oleh karena itu, metode Casagrande lebih andal untuk jenis tanah lempung yang diuji pada penelitian ini.

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh 2 (dua) rumus untuk memperkirakan nilai Su.

$$y = 13,699e^{-0,064x} \quad (1)$$

$$y = 61,695e^{-0,124x} \quad (2)$$

dengan y = Su (kg/cm<sup>2</sup>) dan x = LL (%).

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, terdapat korelasi yang signifikan antara Su dan LL pada tanah lempung yang diambil dari lokasi di Jakarta Utara. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode Casagrande memiliki korelasi yang kuat dalam memprediksi Su dengan R<sup>2</sup> sebesar 0,9676, sementara pada metode *fall cone test* menghasilkan nilai korelasi yang lebih rendah, dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,5827. Korelasi yang diperoleh menunjukkan bahwa pada sampel tanah yang digunakan, nilai Su dapat diprediksi dengan nilai LL, sehingga dapat digunakan sebagai estimasi awal tanpa memerlukan pengujian Triaxial UU yang memakan waktu dan biaya. Hal ini dapat membantu dalam pengambilan keputusan pada tahap awal proyek geoteknik. Namun, hasil ini masih memerlukan validasi lebih lanjut untuk memastikan keandalannya pada kondisi tanah yang berbeda, seperti tanah dengan plastisitas rendah atau lokasi geografis lainnya, serta untuk mengakomodasi variasi kandungan mineral tanah dan kadar air. Penelitian lanjutan dengan sampel yang lebih beragam akan lebih menguatkan hasil temuan ini, khususnya jika melibatkan lokasi dengan karakteristik tanah yang bervariasi.

##### Saran

Untuk meningkatkan keandalan dan akurasi hasil, disarankan penelitian lanjutan dilakukan dengan variasi sampel yang lebih banyak dan mencakup berbagai lokasi yang memiliki tanah lempung dengan karakteristik serupa. Hal ini akan memberikan gambaran yang lebih representatif mengenai hubungan antara LL dan Su pada tanah lempung. Selain itu, analisis mineralogi tanah perlu dilakukan untuk memahami pengaruh kandungan mineral tanah yang memengaruhi nilai LL dan Su. Pengetahuan mengenai kandungan mineral akan mendukung hasil penelitian dan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif. Penelitian lanjutan ini akan memungkinkan pendekatan prediksi yang lebih akurat mengenai penggunaan LL sebagai parameter prediktif dalam menentukan nilai Su.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ayadat, T. (2021). Determination of the Undrained Shear Strength of Sensitive Clay Using Some Laboratory Soil Data. *Studies in Engineering and Technology*, 8(1), 14–27. <https://doi.org/10.11114/set.v8i1.5149>
- Budhu, M. (2000). *Soil Mechanics & Foundations* (1st ed.). John Wiley & Sons Inc.
- Crevelin, L. G., & Bicalho, K. V. (2019). Comparison of the casagrande and fall cone methods for liquid limit determinations in different clay soils. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 43, 1–12. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180105>

- Díaz, E., Pastor, J. L., Rabat, Á., & Tomás, R. (2021). Machine learning techniques for relating liquid limit obtained by Casagrande cup and fall cone test in low-medium plasticity fine grained soils. *Engineering Geology*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106381>
- Frankovska, J., & Brcek, M. (2023). Liquid limit and density of high plastic clays. *Smart Geotechnics for Smart Societies*, 340–343. <https://doi.org/10.1201/9781003299127-32>
- Holtz, R. D., & Kovacs, W. D. (1981). *An Introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice Hall.
- Huang, B., Cai, S., Li, J., Wu, K., & Yang, W. (2023). Undrained strength of clay determined from simple shear test. *Frontiers in Earth Science*, 1–13. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1098846>
- Khatrush, S., & El-Gehani, G. (2021). Laboratory Evaluation of Undrained Shear Strength of a Soft Fine Grained Soils. *INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIES-IJET*, 7(3), 2021.
- Mitchell, J. K. (1976). *Fundamentals of Soil Behavior*. John Wiley & Sons Inc.
- Wroth, C. P., & Wood, D. M. (1978). The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 15, 137–145.