

## MENGLASIFIKASIKAN TANAH LEMPUNG MENGUNAKAN USCS

Agata Iwan Candra<sup>1</sup>, Yuzy Melia Adi Putri<sup>2</sup>, Onie Wardani<sup>3</sup>, Zaizafun Zakiya<sup>4</sup>,  
Annas Dwi Safi'i<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kediri

Email: iwan\_candra@unik-kediri.ac.id

**Abstrak:** Tanah lempung merupakan salah satu jenis tanah yang terdiri dari butiran yang sangat kecil dan berwarna coklat. Untuk mengetahui identitas tanah lempung sangat diperlukan pengujian agar dapat mengklasifikasikannya. Metode yang digunakan adalah metode USCS. Sampel tanah yang diambil berada di Desa Pojok, Kota Kediri. Pengujian tersebut berdasarkan uji Gradasi Ayakan, Liquid Limit, dan Plastis Limit. Dalam pengujian gradasi ayakan ditemukan koefisien keseragaman(Cu) sebesar 3 dan koefisien gradasi(Cc) sebesar 0,96. Pengujian batas cair menghasilkan kadar air 36,556% merupakan kriteria sedang. Batas plastis menghasilkan kadar air 24,15% merupakan kriteria sedang. Sedangkan pengujian indeks plastisitas menghasilkan 12,41%. Berdasarkan pengujian ini, sampel tanah tergolong kelompok SP(POORLY GRADED SAND) yaitu kelompok gravel yang bergradasi baik dengan penggolongan  $Cu < 6$  dan  $1 > Cc > 3$ . Karakteristik agregat tanah lempung yang ada di Desa Pojok memiliki sifat fisik berwarna coklat, teksturnya halus dan lengket, menunjukkan sifat-sifat plastis dan juga memiliki sifat kohesi. Agregat tanah lempung yang ada di Desa Pojok ini pun sudah memenuhi spesifikasi untuk penyerapan air agregat kasar, penyerapan air agregat halus, keausan agregat kasar, dan agregat alamnya juga sudah memenuhi spesifikasi. Selain itu, manfaat dari pengujian untuk mengklasifikasikan jenis tanah ini dapat digunakan sebagai dasar untuk pengujian tanah selanjutnya.

**Kata kunci:** Tanah lempung, Analisa ayakan, Liquid limit, Plastis limit

**Abstract:** : Clay soil is a type of soil that consists of very small grains and is brown in color. To determine the identity of clay, it is necessary to test in order to classify it. The method used is the USCS method. Soil samples taken were in Pojok Village, Kediri City. The test is based on the Sieve Gradation, Liquid Limit, and Plastic Limit tests. In testing the gradation of the sieve found a uniformity coefficient (Cu) of 3 and a gradation coefficient (Cc) of 0.96. The liquid limit test results in a water content of 36.556% which is a medium criterion. The plastic limit produces a moisture content of 24.15% which is a moderate criterion. Meanwhile, the plasticity index test yielded 12.41%. Based on this test, the soil sample belongs to the SP (POORLY GRADED SAND) group, namely the gravel group with good grades with the classification of  $Cu < 6$  and  $1 > Cc > 3$ . The characteristics of clay aggregates in Pojok Village have physical properties of brown color, smooth and sticky texture, exhibit plastic properties and also have cohesion properties. The clay aggregates in Pojok Village have also met the specifications for coarse aggregate water absorption, fine aggregate water absorption, coarse aggregate wear, and the natural aggregate has also met the specifications. In addition, the benefits of testing to classify this soil type can be used as a basis for further soil testing

**Keywords:** clay soil, sieve analysis, liquid limit, plastic limit

## PENDAHULUAN

Tanah lempung adalah salah satu jenis tanah yang tersusun dari partikel yang sangat kecil, berwarna coklat, memiliki ukuran kurang dari 0,002 mm dan menunjukkan sifat-sifat plastis dan juga memiliki sifat kohesi. Sifat plastis pada tanah lempung menunjukkan bahwa tanah tersebut dapat diubah-ubah bentuknya tanpa terjadi retakan atau pecah-pecah, sedangkan sifat kohesi menunjukkan bahwa partikel tanah melekat antara butir-butirnya. [1][2] Tanah lempung terbentuk secara alami di atas permukaan bumi dan terdiri dari air, alumina, silika dan batuan lapuk. [3] Tanah lempung memiliki sifat plastis jika diberi air dan mengeras saat dikeringkan atau dibakar. [4] Lempung juga memiliki beberapa sifat antara lain: permeabilitas rendah, kenaikan air kapiler tinggi, dan proses konsolidasinya sangat lambat, selain itu lempung juga mempunyai daya dukung yang rendah terhadap kondisi muka air yang tinggi serta memiliki sifat kembang susut yang besar. [5]

Tanah yang mengandung kadar air tinggi biasanya akan berpengaruh terhadap kestabilan dan kekuatan tanah tersebut, tanah lempung yang mempunyai inkonsistensi kembang susut tinggi disebut lempung ekspansif. Tanah lempung ekspansif memiliki beberapa mineral yang terkandung di dalamnya antara lain: kaolinite, illite dan montmorillonite, di mana ketiganya memiliki sifat-sifat dan struktur yang berbeda. [6] Lempung ekspansif biasanya sering menyebabkan kerusakan pada bidang konstruksi. [7][8] Tanah lempung ekspansif memiliki sifat kembang susut yang besar tergantung jumlah air yang terkandung didalamnya. Proses kembang susut dari tanah lempung dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: cuaca yang berbeda, curah hujan, ketidaktetapan muka air. [9]

Untuk mengetahui klasifikasi tanah maka dilakukan pengujian tanah di laboratorium Teknik Sipil Universitas Kadiri dengan melakukan pengujian Gradasi ayakan, Liquid Limit dan Plastis Limit. Alat yang digunakan adalah satu set ayakan dan sieve shaker pada uji Gradasi ayakan, *Cassagrande* pada uji Liquid limit, dan pelat kaca pada uji Plastis limit. Pengujian ini menggunakan sistem klasifikasi USCS untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah, batas cair dan indeks plastisitas tanah. [6] Hasil penelitian ini berupa penggolongan jenis tanah berdasarkan distribusi ukuran partikel tanah yang diuji, nilai indeks cair tanah dan nilai indeks plastisitas tanah. [10]

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Kadiri. Pada pengujian kali ini menggunakan sampel tanah yang diambil menggunakan cangkul dengan kedalaman 100cm di Desa Pojok, Kota Kediri. Pengujian yang dilakukan adalah Uji Gradasi Ayakan, Liquid Limit dan Plastis Limit.

### Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah lempung, air sebagai sampel Uji Gradasi ayakan, Liquid limit, dan Plastis limit.

### Tanah Lempung

Tanah lempung merupakan tanah yang terdiri dari partikel yang sangat kecil dan menunjukkan sifat plastis dan kohesi. [2][11] Tanah lempung umumnya memiliki ukuran kurang dari 2 mikron. [1]

### Alat Penelitian Gradasi Ayakan

Ayakan digunakan pada pengujian gradasi ayakan untuk menentukan butiran tanah lempung yang sesuai dengan melihat berat tanah yang lolos dan tertahan pada setiap ukuran ayakan. [12] Dalam pengujian ini digunakan ayakan nomor 4, 10, 20, 30, 50,

100, 200. [13]

### **Sieve Shaker**

Mesin sieve shaker berfungsi untuk menggetarkan ayakan sehingga dapat memisahkan antara agregat yang tertahan maupun yang lolos sesuai nomor ayakan yang telah disusun. [14]

### **Timbangan Digital**

Timbangan atau neraca merupakan sistem pengukuran massa secara elektronik dengan tingkat ketelitian 0,1% dari berat sampel, timbangan ini menggunakan tenaga listrik yang memiliki arus lemah dan angka digital yang berada pada layar baca. [15]

### **Alat Penelitian Uji Liquid Limit Cassagrande**

Cassagrande adalah alat yang digunakan untuk penelitian uji batas cair pada tanah lempung. Uji batas cair merupakan indikator untuk mengetahui kapan tanah berubah dari keadaan plastis ke keadaan seperti cair dimana tanah memiliki stabilitas yang lebih rendah. [16]

### **Alat Penelitian Plastis Limit Pelat Kaca**

Pengujian batas plastis dengan pelat kaca bertujuan untuk mengetahui batas plastis pada tanah lempung.[17] Selain itu, dari pengujian ini dapat diketahui perubahan konsistensi tanah dari plastis menjadi setengah padat.[16]

### **Pelaksanaan Penelitian Gradasi Ayakan**

Gradasi ayakan ini dapat dilakukan dengan beberapa proses yaitu diantaranya :

1. Mengambil sampel tanah
2. Mengeringkan tanah dengan suhu 110°
3. Menghaluskan tanah dengan cara menumbuk tanah tersebut agar gumpalan-gumpalan tanah hancur.
4. Menimbang tanah yang sudah ditumbuk dengan berat 1kg.
5. Menggetarkan tanah selama 7 (menit) menggunakan alat sieve shaker untuk

mendapatkan hasil distribusi lempung. Alat sieve shaker ini sendiri berfungsi untuk mendapatkan distribusi ukuran agregat [25]. Alat ini berisi tumpukan ayakan yang memiliki ukuran berbeda-beda [26].

### **Liquid Limit**

Metode pengujian batas cair atau liquid limit ini dapat dilakukan dengan beberapa proses yaitu sebagai berikut :

1. Siapkan mangkuk batas cair dan bersihkan dengan eather agar bebas dari minyak dan noda.
2. Atur ketinggian jatuhnya mangkuk, dengan cara :
  - Kendurkan sekrup penjepit, lalu putar tuas pemutar sampai tinggi jatuh 10 mm.
  - Untuk menentukan ketinggian jatuhnya mangkok, kendurkan sekrup belakang, angkat, masukkan bagian ujung tungkai pemutar alur ASTM tepat di antara bagian bawah dan dasar mangkuk, kemudian kencangkan kembali.
3. Masukkan sampel tanah sebanyak kurang lebih 100gram yang lolos saringan no.40 ke dalam mangkuk porselin.
4. Tambahkan air aduk hingga merata.
5. Kemudian ambil sampel tanah dan masukkan ke dalam mangkuk alat batas cair. Ratakan permukaannya sehingga sejajar dengan dudukan alat. Bagian yang paling tebal harus  $\pm 1$  m. Belah sampel dalam mangkuk menggunakan alat pembuat alur (grooving tool) dengan posisi tegak lurus permukaan mangkuk.
6. Putarlah tuas pemutar dengan kecepatan 2 putaran per detik. Catat jumlah pukulan.
7. Masukkan sebagian sampel uji ke dalam cawan, dan tentukan kadar air tanah. Setelah itu oven dengan suhu 110° selama 24 jam.

**Plastis Limit**

Metode pengujian plastic limit ini dapat dilakukan dengan beberapa proses yaitu sebagai berikut :

1. Ambil sampel tanah sekitar 20 gram lolos saringan 40, letakkan di atas plat kaca, lalu tambahkan air dan aduk hingga merata.
2. Buatlah bola-bola dengan berat 8 gram.
3. Kemudian rolling bola di atas plat kaca dengan kecepatan 80-90 rolling per menit.
4. Rolling sampai benda uji membentuk batang silinder berdiameter 3mm. Kemudian timbang untuk diperiksa kandungan airnya.
5. Lalu masukkan ke dalam cawan, kemudian oven dengan suhu 110° selama 24 jam.

**Perhitungan Gradasi Ayakan**

Analisis ayakan merupakan cara prosedur yang digunakan untuk mendapatkan distribusi ukuran butiran tanah. [18] Cara pengujian dengan menggunakan mesin shieve shaker, timbangan dan satu set ayakan yang bernomor semakin besar kebawah dan disusun secara berurutan.

Tabel 1. Pengelompokan tanah berdasarkan diameter butiran

Jenis Tanah	Diameter Butiran
Lempung	0,075 – 0,0005 mm
Lempung	<0,0005 mm
Pasir	4,75 mm – 0,075 mm
Kerikil	> 4,75

Koefisien keseragaman dinyatakan dengan:

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Keterangan :

Cu = Koefisien keseragaman

D<sub>60</sub> = Ditentukan dari kurva, diameter yang sesuai dengan 60%.

D<sub>10</sub> = Ditentukan dari kurva, diameter yang sesuai dengan 10%.

Koefisien gradasi dinyatakan sebagai.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

Dimana :

Cc = Koefisien gradasi

D<sub>30</sub> = Ditentukan dari kurva, diameter yang sesuai dengan 30%.

**Liquid Limit**

Liquid limit adalah sifat tanah dalam batas dari keadaan cair menjadi plastis. [19] Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui berapa persen kandungan air dari tanah, pada suatu batas yang ditentukan secara berubah-ubah sela keadaan semi cair dan plastis. [20] Batas cairnya ditentukan dengan melakukan uji coba di mana sebagian dari spesimen disebarkan dalam cangkir kuningan, dibagi menjadi dua oleh alur alat, dan kemudian dibiarkan mengalir bersama dari guncangan yang disebabkan dengan berulang kali menjatuhkan cangkir dalam mekanik standar. [20] Telah diketahui dengan baik bahwa batas cair suatu tanah terutama dikendalikan oleh kandungan liatnya dan jenis mineral lempung.[21]

Cara menentukan kadar air digunakan rumus:

$$W_w = W - W_s$$

$$W_c = (W_w / W_s) \times 100\%$$

Keterangan :

W = Berat tanah basah

W<sub>s</sub> = Berat tanah kering

W<sub>w</sub> = Berat air

W<sub>c</sub> = Kadar air

**Plastis Limit**

Plastic limit merupakan tingkat keplastisan suatu tanah dengan batas rendah. [22] Pada pengujian ini bertujuan untuk memperoleh persentase kandungan air dalam tanah, pada batas antara plastis dan semi padat.[20] Batas plastis memiliki korelasi yang baik dengan karakteristik pemadatan, yaitu kelembaban optimal konten dan berat unit kering maksimum, jauh lebih baik daripada batas cair atau indeks plastisitas. [23] Untuk menentukan batas plastis digunakan rumus:

$$PL = \frac{\text{penjumlahan } W_c \text{ setiap percobaan}}{\text{jumlah percobaan}}$$

W<sub>w</sub> = W - W<sub>s</sub>

W<sub>c</sub> = W<sub>w</sub> - W<sub>s</sub>



Keterangan :

- PL = Plastis Limit
- W = Berat tanah basah
- Ws = Berat tanah kering
- Ww = Berat air
- Wc = Kadar air

### Indeks Plastisitas

Indeks plastisitas adalah besarnya kisaran kadar air di mana tanah tetap dalam keadaan plastis. Indeks plastisitas secara kuantitatif merupakan perbedaan antara batas cair dan batas plastis.[20] Secara numerik sama dengan perbedaan antara cairan dan batas plastis kandungan air tanah.[24] Untuk menentukan indeks plastisitas digunakan rumus:

$$PI = LL - PL$$

Keterangan :

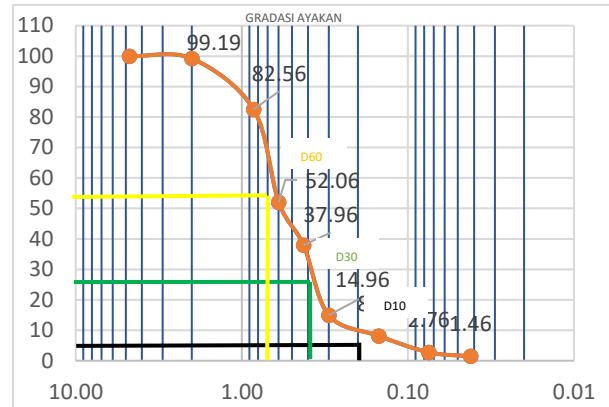
- PI = Indeks Plastisitas
- LL = Liquid Limit
- PL = Plastis Limit

### HASIL DAN PEMBAHASAN Perhitungan Gradasi Ayakan

Tabel 2. Tabel Data Gradasi Ayakan

No. Saringan	Diameter Ayakan (mm)	Massa Tanah Yang Tertahan Pada Tiap Ayakan (gr)	Persentase Tertahan (%)	Persentase Lolos (%)
			0	100
4	4,750	8	0,81	99,19
10	2,000	164	16,63	82,56
20	0,850	305	30,50	52,06
30	0,600	141	14,10	37,96
40	0,425	230	23,00	14,96
50	0,300	68	6,80	8,16
100	0,150	54	5,40	2,76
200	0,075	13	1,30	1,46
lengser	0,042	3	0,30	1,16
<b>Jumlah</b>		<b>986</b>	<b>98,84</b>	0,00

Dari hasil diatas diketahui hasil persentase yang kemudian dibuatkan grafik dari diameter ayakan sebagai sumbu x dan persentase lolos sebagai sumbu y.



Gambar 1. Grafik Data Gradasi Ayakan

$$D_{10} = 0,23$$

$$D_{30} = 0,39$$

$$D_{60} = 0,69$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 3,00$$

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 0,96$$

Dari hasil perhitungan disimpulkan bahwa sampel tanah merupakan kelompok SP (POORLY GRADED SAND) yaitu kelompok gravel yang bergradasi baik dengan penggolongan  $Cu < 6$  dan  $1 > Cc > 3$ .

### Data Perhitungan Liquid Limit

Tabel 3. Tabel Data Perhitungan Liquid Limit

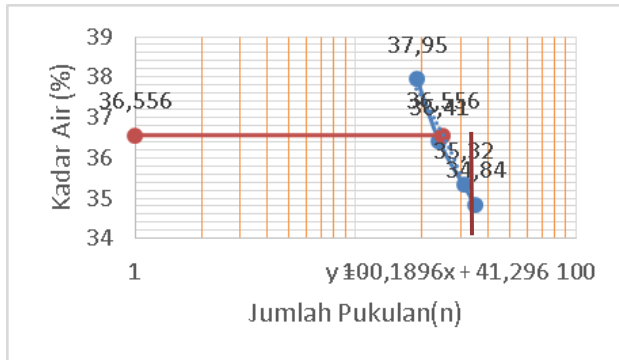
Percobaan No	1	2	3	4	
Jumlah Pukulan (N)	19	24	31	35	
Berat B.Uji basah	W	30,9	28,1	29,5	32,9
Berat B.Uji kering	Ws	22,4	20,6	21,8	24,4
Berat Air	WW = (W-Ws)(gr)	8,5	7,5	7,7	8,5
Kadar Air	WC = ((Ww/Ws)x100%)	37,9	36,4	35,3	34,8
		5	1	2	4

### Perhitungan Jumlah Pukulan

Tabel 4. Tabel Data Jumlah Pukulan Liquid Limit

NO	Jumlah Pukulan	Kadar Air
1	19	37,95
2	24	36,41
3	31	35,32
4	35	34,84

**Grafik Liquid Limit**



Gambar 2. Grafik Data Liquid Limit

**Menghitung Kadar Air Dengan Jumlah 25 Pukulan**

Rumus :

$$y = -0,1896 \times 25 + 41,296$$

$$= 36,556$$

Tabel 5. Kadar Air

NO	Jumlah Pukulan	Kadar Air
1	25	36,556

Tabel 6. Tabel Presentase Batas Cair & Indeks Plastis

Kriteria	Batas Cair (%)	Indeks plastisitas (%)
Sangat Rendah	<20	0 - 5
Rendah	20 – 30	5 -- 10
Sedang	31 – 45	10 -- 17
Tinggi	46 – 70	17 - 30
Sangat Tinggi	71 – 100	30 - 43
Ekstrem Tinggi	-	> 43

Dari hasil perhitungan bahwa sampel tanah Liquid Limit dengan kadar air 36,556% merupakan kriteria sedang.

**Data Perhitungan Plastic Limit Test**

Tabel 7. Tabel Perhitungan Plastic Limit Test

Percobaan No		1	2
Berat B.Uji basah	W (gram)	7,7	7,8
Berat B.Uji kering	Ws (gram)	6,2	6,3
Berat Air	WW = (W-WS)	1,5	1,5

	(gram)		
Kadar Air	WC = ((Ww/Ws) x 100%)	24,19355	23,809 52
PL		24,15%	

Dari hasil perhitungan bahwa sampel tanah Plastic Limit dengan kadar air 24,15% merupakan kriteria sedang.

**Plastic Indeks**

Berikut ini adalah cara perhitungan indeks plastis :

Tabel 1. Tabel Perhitungan Plastic Indeks

Indeks Plastic	LL	-	PL
PI	36,55%	-	24,15%
(Plastic Index)	12,41%		

**KESIMPULAN**

Pengujian gradasi ayakan ditemukan koefisien keseragaman (Cu) sebesar 3 dan koefisien gradasi (Cc) sebesar 0,96. Pengujian batas cair menghasilkan kadar air 36,556% merupakan kriteria sedang. Batas plastis menghasilkan kadar air 24,15% merupakan kriteria sedang. Pengujian indeks plastisitas menghasilkan 12,41%. Berdasarkan pengujian ini, sampel tanah tergolong kelompok SP (POORLY GRADED SAND) yaitu kelompok gravel yang bergradasi baik dengan penggolongan  $Cu < 6$  dan  $1 > Cc > 3$ . Karakteristik agregat tanah lempung yang ada di Desa Pojok memiliki sifat fisik berwarna coklat, teksturnya halus dan lengket, menunjukkan sifat-sifat plastis dan juga memiliki sifat kohesi. Agregat tanah lempung yang ada di Desa Pojok ini pun sudah memenuhi spesifikasi untuk penyerapan air agregat kasar, penyerapan air agregat halus, keausan agregat kasar, dan agregat alamnya juga sudah memenuhi spesifikasi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] B. M. Das, “Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik,” *Penerbit Erlangga*, pp. 1–300, 1995.
- [2] N. Fahrriana, Y. Ismina, E. N. Lydia, and H. Ariesta, “Analisis Klasifikasi Tanah Dengan Metode Uscs ( Meurandeh Kota Langsa ),” *J. Ilm. Jurutera*, vol. 6 (2), pp. 005–013, 2019, [Online]. Available: <https://ejurnalunsam.id/index.php/jurutera/article/view/1622/1284>.
- [3] S. Gu, X. Kang, L. Wang, E. Lichtfouse, and C. Wang, “Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater: a review,” *Environ. Chem. Lett.*, vol. 17, no. 2, pp. 629–654, 2019, doi: 10.1007/s10311-018-0813-9.
- [4] A. Kausar *et al.*, “Dyes adsorption using clay and modified clay: A review,” *J. Mol. Liq.*, vol. 256, pp. 395–407, 2018, doi: 10.1016/j.molliq.2018.02.034.
- [5] M. K. Uddin, “A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade,” *Chem. Eng. J.*, vol. 308, pp. 438–462, 2017, doi: 10.1016/j.cej.2016.09.029.
- [6] P. R. Rangan and A. T. Arrang, “Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Limbah Keramik,” *J. Dyn. Saint*, vol. 5, no. 2, pp. 945–950, 2021, doi: 10.47178/dynamicsaint.v5i2.1098.
- [7] N. Tiwari, N. Satyam, and S. Kumar Shukla, “An experimental study on micro-structural and geotechnical characteristics of expansive clay mixed with EPS granules,” *Soils Found.*, vol. 60, no. 3, pp. 705–713, 2020, doi: 10.1016/j.sandf.2020.03.012.
- [8] Y. Zhou, M. Li, Q. He, and K. Wen, “Deformation and Damping Characteristics of Lightweight Clay-EPS Soil under Cyclic Loading,” *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/8093719.
- [9] Ş. Öncü and H. Bilsel, “Effect of zeolite utilization on volume change and strength properties of expansive soil as landfill barrier,” *Can. Geotech. J.*, vol. 54, no. 9, pp. 1320–1330, 2017, doi: 10.1139/cgj-2016-0483.
- [10] A. C. D.-18 on Soil and Rock, “Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) 1,” vol. i, 2017.
- [11] R. Li, X. Hu, F. Chen, X. Wang, H. Xiong, and H. Wu, “A systematic framework for DEM study of realistic gravel-sand mixture from particle recognition to macro- and micro-mechanical analysis,” *Transp. Geotech.*, vol. 34, no. July 2021, p. 100693, 2022, doi: 10.1016/j.trgeo.2021.100693.
- [12] S. Iino, S. Tatsuichi, and K. Miyawaki, “Characterization of metal concentration, heavy metal elution, and desalination behavior of municipal solid waste incineration bottom and grate sifting deposition ash based on particle size,” *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 23, no. 1, pp. 341–357, 2021, doi: 10.1007/s10163-020-01136-w.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, “Cara uji analisis ukuran butir tanah SNI 3423:2008,” *Sni*, pp. 1–27, 2008.

- [14] S. A. EL-Sayed and M. E. Mostafa, "Analysis of Grain Size Statistic and Particle Size Distribution of Biomass Powders," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 5, no. 6, pp. 1005–1018, 2014, doi: 10.1007/s12649-014-9308-5.
- [15] Y. Liu, R. Gao, and J. Chen, "A new DEM model to simulate the abrasion behavior of irregularly-shaped coarse granular aggregates," *Granul. Matter*, vol. 23, no. 3, pp. 1–16, 2021, doi: 10.1007/s10035-021-01130-5.
- [16] H. Klopp and W. Bleam, "The Effects of Soil Solution Electrical Conductivity and Sodium Adsorption Ratio on Soil Liquid Limit and Soil Strength," *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, vol. 52, no. 21, pp. 2644–2653, 2021, doi: 10.1080/00103624.2021.1953060.
- [17] B. Sharma and A. Sridharan, "Liquid and plastic limits of clays by cone method," *Int. J. Geo-Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 1–10, 2018, doi: 10.1186/s40703-018-0092-0.
- [18] B. A. B. Iii and M. Penelitian, "Gisela Adelita, 2019 ANALISIS NILAI RESISTIVITAS TANAH BERDASARKAN VARIASI KADAR AIR Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu 3.2," pp. 23–33, 2019.
- [19] Badan Standardisasi Nasional, "Cara uji penentuan batas cair tanah," *Sni 19672008*, p. 25, 2008.
- [20] D. 4318-00 ASTM, "ASTM Standards, for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils This c of soils, ASTM D 4318-00," *ASTM Int.*, vol. 04, pp. 1–14, 2000.
- [21] P. V. Sivapullaiah and A. Sridharan, "Liquid Limit of Soil Mixtures.," *Geotech. Test. J.*, vol. 8, no. 3, pp. 111–116, 1985, doi: 10.1520/gtj10521j.
- [22] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1966:2008 Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah," p. 15, 2008.
- [23] A. Sridharan and H. B. Nagaraj, "Plastic limit and compaction characteristics of fine-grained soils," *Gr. Improv.*, vol. 9, no. 1, pp. 17–22, 2005, doi: 10.1680/grim.9.1.17.58544.
- [24] A. Sridharan, H. B. Nagaraj, and K. Prakash, "Determination of the Plasticity Index from Flow Index," *Geotech. Test. J.*, vol. 22, no. 2, pp. 175–181, 1999, doi: 10.1520/gtj11276j.
- [25] E. Ali, E. I. Ekwue bΨ, J. Bridge, and R. Birch, "E. Ali et al.: A Three-Stack Mechanical Sieve Shaker for Determining Aggregate Size Distribution of Soils A Three-Stack Mechanical Sieve Shaker for Determining Aggregate Size Distribution of Soils," *West Indian J. Eng.*, vol. 35, no. 2, pp. 36–44, 2013.
- [26] C. E. Ubani, G. O. Ani, and T. T. Womiloju, "Permeability Estimation Model from Grain Size Sieve Analysis: Data of Onshore Central Niger Delta," *Eur. J. Eng. Res. Sci.*, vol. 3, no. 12, pp. 119–125, 2018, doi: 10.24018/ejers.2018.3.12.503.