

Mengidentifikasi Jenis Tanah, Batas Plastis, Batas Cair Tanah Lempung

**Sheila Ananda Putri Pertiwi, Agata Iwan Candra*, Tiara Sherlyta Sari,
Annas Dwi Safi'I, Zaizafun Zakiya**

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kadiri, Jl. Selomangleng No.1 Kediri

*Correspondence email: iwan_candra@unik-kediri.ac.id

Abstrak. Tanah merupakan material yang terdiri dari butiran mineral yang terikat satu sama lain. Tanah sendiri memiliki beragam jenis. Salah satunya adalah tanah lempung. Tanah lempung merupakan butiran tanah berukuran mikroskopik yang berasal dari pelapukan batuan. Kadar air pada tanah lempung cenderung tinggi sehingga memiliki daya dukung yang rendah. Selain itu, juga memiliki daya susut yang tinggi. Oleh karena itu, pengelolaan tanah lempung harus dapat ditangan dengan tepat. Metode yang digunakan adalah Gradasi Ayakan, Liquid Limit, dan Plastic Limit. Ketiga metode ini dianggap sesuai untuk melakukan pengujian pada sampel tanah lempung. Dari pengujian tersebut, diperoleh nilai D10 sebesar 0,14 D30 sebesar 0,5 dan D60 sebesar 1,6. Dan hasil perhitungan Cu dan Cc diperoleh nilai $Cu \geq 4$ dan $1 \leq Cc \leq 3$ sehingga tanah diklasifikasikan ke dalam kelompok GC (well graded gravel with clay). Untuk hasil uji liquid limit (LL) pada sampel tanah yang telah diteliti didapatkan nilai rata-rata batas cair dari 25 pukulan sebesar 41,12%. Untuk hasil uji plastic limit (PL) pada sampel tanah diperoleh nilai batas plastis sebesar 32,42%. Dan hasil pengurangan liquid limit dengan plastic limit diperoleh nilai plastic index sebesar 8,70% sehingga tanah termasuk dalam kriteria rendah indeks plastisitas.

Kata kunci: Lempung, Gradasi Ayakan, Liquid Limit, Plastic Limit

Abstract. Soil is a material consisting of mineral grains bonded to one another. Soil itself has various types. One of them is clay. Clay soil is microscopic soil particles that come from weathering rocks. The water content in clay tends to be high so it has a low bearing capacity. In addition, it also has a high shrinkage. Therefore, the management of clay soils must be handled properly. The method used is Gradation Sieve, Liquid Limit, and Plastic Limit. These three methods are considered suitable for conducting tests on clay samples. From these tests, obtained D10 values of 0.14, D30 of 0.5 and D60 of 1.6. And the results of the calculation of Cu and Cc obtained the values of Cu 4 and 1 Cc 3 so that the soil is classified into the GC group (well graded gravel with clay). For the results of the liquid limit test (LL) on the soil samples that have been studied, the average liquid limit value of 25 strokes is 41.12%. For the results of the plastic limit (PL) test on the soil sample, the plastic limit value of 32.42% was obtained. And the results of reducing the liquid limit with the plastic limit obtained a plastic index value of 8.70% so that the soil is included in the criteria for low plasticity index.

Keywords: Clay, Sieve Gradation, Liquid Limit, Plastic Limit

PENDAHULUAN

Tanah merupakan material yang terdiri dari butiran mineral yang terikat satu sama lain (Das et al., 1985). Segumpal tanah dapat terdiri dari dua atau tiga bagian, yaitu butiran tanah, pori-pori udara dan air pori (Herwandi et al., 2017). Jenis tanah sendiri sangat beragam, salah satunya adalah tanah lempung. Tanah lempung merupakan butiran tanah berukuran mikroskopik yang berasal dari pelapukan batuan. Sifat dari tanah ini adalah plastis jika kadar air didalamnya sedang, dan ketika kering maka sangat keras (Dwi & Ningsih, 2022). Tanah lempung mempunyai sifat kohesif karena antar prtikelnya mudah merekat (Di et al., 2013). Tapi, tanah lempung sendiri salah satu jenis tanah yang sangat jarang digunakan di dunia konstruksi karena tanah lempung dianggap kurang menguntungkan bagi sebagian pengelola konstruksi (Hermansyah & Zebua, 2020). Kandungan kadar air pada tanah lempung cenderung tinggi sehingga memiliki daya dukung yang rendah, pori pori kecil. Selain itu, juga memiliki daya susut yang tinggi. Oleh karena itu, pengelolaan tanah lempung harus dapat ditangani dengan tepat (Padi et al., 2021).

Metode yang digunakan untuk menganalisis suatu tanah lempung yaitu dengan Gradasi ayakan, Plastic Limit (PL), dan Liquid Limit (LL). Uji Plastic Limit dan Liquid Limit adalah parameter paling mendasar yang digunakan dalam pengklasifikasian jenis tanah lempung (Pradhan, 1970). Sedangkan

Gradasi Ayakan sendiri bertujuan untuk mengetahui sampel tanah tersebut terdiri dari berbagai ukuran tanah. Dengan begitu bisa digunakan untuk mengurangi regangan pada suatu konstruksi (Ibrahim, 2014).

Sampel tanah yang digunakan untuk penelitian ini adalah sampel tanah yang diambil dari lahan belakang Universitas Kadiri. Tujuan praktikum ini adalah untuk mengetahui jenis partikel penyusun struktur tanah setelah dilakukan Uji Gradasi ayakan, mengetahui sifat konsistensi Index Plastis tanah setelah dilakukan pengujian Liquid Limit dan Plastic Limit (Fahrriana et al., 2019). Tanah yang telah diuji berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, seperti sebagai pendukung pondasi dari bangunan (Tanjung et al., 2013).

METODE

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen langsung yang dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Kadiri. Penelitian kali ini menggunakan sampel tanah yang di ambil dari area Universitas Kadiri dengan kedalaman 1 meter (Syahreza et al., 2015). Sampel tanah yang digunakan adalah yang lolos saring ayakan nomor 40[9]. Penelitian ini meliputi uji gradasi ayakan, liquid limit, dan plastic limit. Dalam pengujian ada beberapa tahap yang harus dilakukan, pertama menyiapkan alat dan bahan untuk pengujian (Kementrian PUPR & Departemen Pekerjaan Umum, 2021). Pada uji gradasi ayakan menggunakan alat sieve shaker dan ayakan, uji liquid limit menggunakan alat Cassagrande, sedangkan uji plastic limit dilakukan menggunakan pelat kaca.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam uji gradasi ayakan, liquid limit, dan plastic limit adalah tanah lempung.

Tanah Lempung

Tanah lempung adalah agregat partikel-artkel berukuran kecil yang berasal dari pembusukan kimiawi unsur-unsur penyusun batuan dan bersifat plastis (Nasrani et al., 2020). Kelompok utama tanah lempung meliputi illite, montmorilonite, kaolinite, cholirite, dan poligorsity (Fathurrahmi, 2013).



Gambar 1. Sampel tanah lempung

Alat Penelitian Uji Gradasi Ayakan Ayakan

Ayakan pada uji gradasi ayakan digunakan untuk memisahkan tanah kasar dan halus agar bisa menentukan butiran tanah lempung yang sesuai dengan berat tanah yang lolos dan tertahan pada setiap ukuran ayakan. Ayakan yang digunakan dalam pegujian ini adalah nomor 4, 10, 20, 3, 50, 100, dan 200 (Biazzi et al., 2022).



Gambar 2. Set ayakan

Sieve Shaker

Sieve shaker berfungsi untuk menggetarkan ayakan sehingga memisahkan agregat tertahan atau lolos yang ada diayakan sesuai nomor ayakan yang disusun (Arief et al., 2015).



Gambar 3. Shive shaker

Timbangan Digital

Timbangan digital merupakan perangkat elektronik yang berfungsi mengukur massa dengan tingkat ketelitian 0,1% dari berat sampel (Tirtasari, 2017). Dalam pengujian ini timbangan digital digunakan untuk menghitung presentase agregat tertahan masing-masing ayakan (Pujawan et al., 2016).



Gambar 4. Timbangan digital

Alat Penelitian Uji Liquid Limit Cassagrande

Cassagrande merupakan alat untuk menguji batas cair tanah lempung (Klopp & Bleam, 2021). Batas cair tanah lempung adalah kadar air pada kondisi peralihan tanah dari bentuk plastis menjadi cair (Widjaja & Sundayo, 2017). Bila diuji menggunakan alat cassagrande, yang dipisah selebar 3 mm dan menyatu kembali selebar 0,5 inchi pada pukulan lebih dari 15 dan kurang dari 35 pukulan (Joni Putu, 2017).



Gambar 5. Cassagrande

Alat Penelitian Uji Plastic Limit Pelat Kaca

Dalam uji plastic limit pelat kaca digunakan untuk mengetahui batas plastis suatu tanah lempung (Patandean, 2020). Selain itu, dari pengujian ini akan dapat diketahui konsistensi tanah dari plastis menjadi setengah padat (Wardani et al., 2017).



Gambar 6. Pelat kaca

Perhitungan

Gradasi Ayakan

Gradasi ayakan adalah tingkat peralihan suatu sampel tanah kasar ke sampel tanah yang lebih halus (Othman, 2022). Pengujian gradasi ayakan bertujuan menentukan golongan tanah lempung (Rizki, 2003).

Tabel 1. Pengelompokkan Tanah Berdasarkan Diameter Butiran

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

Diameter dalam kurva distribusi ukuran-butiran yang bersesuaian dengan 10% yang lolos ayakan didefinisikan sebagai ukuran efektif, atau D10. Koefisien keseragaman diberikan dengan hubungan sebagai berikut: $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

Keterangan :

Cu = Koefisien Keseragaman

D60 = Diameter yang bersesuaian dengan 60% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran.

D10 = Diameter yang bersesuaian dengan 10% lolos ayakan yang ditentukan dari kurva distribusi ukuran butiran.

Koefisien gradasi dinyatakan sebagai berikut:

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

Keterangan :

Cc = Koefisien Gradasi

D₃₀ = Diameter yang bersesuaian dengan 30% lolos ayakan

Liquid Limit

Liquid Limit adalah keadaan dimana kadar air pada sampel tanah mulai berubah dari keadaan plastis menjadi cair. Liquid limit ditentukan dengan uji casagrande menggunakan casagrande cup (Widjaja & Sundayo, 2017). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa kadar air dari tanah

pada batas yang sudah ditentukan secara berubah-ubah antara keadaan semi cair dan plastis (Ramadhani et al., 2015). Untuk menentukannya digunakan rumus sebagai berikut:

$$W_w = W - W_s$$

$$W_c = \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \times 100 \%$$

Keterangan:

W = Berat tanah basah

W_s = Berat tanah kering

W_w = Berat air

W_c = Kadar air

Plastic Limit

Batas Plastis (PL) adalah kadar air terendah dalam tanah dimana tanah mulai dalam keadaan plastis. Sifat plastis dapat ditentukan dengan sampel tanah yang digulung dengan manual (telapak tangan) hingga retak dengan diameter 3 mm (El Jazouli et al., 2022). Pengujian batas plastis bertujuan untuk mengetahui kadar air tanah dalam persen pada batas antara plastis dan semi padat (Ramadhani et al., 2015). Untuk menentukannya digunakan rumus sebagai berikut:

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

$$W_w = W - W_s$$

$$W_c = W_w - W_s$$

Keterangan:

PL = Plastic Limit

W = Berat tanah basah

W_s = Berat tanah kering

W_w = Berat air

W_c = Kadar air

Indeks Plastis

Indeks plastis adalah selisih batas cair dan batas plastis (interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis), karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah (I Nyoman Hasta Widyatmika¹, I Nyoman Aribudiman², 2014). Indeks plastisitas secara kuantitatif merupakan selisih batas cair dan batas plastis (Hajar & Wibowo, 2014). Untuk menentukan indeks plastisitas digunakan rumus sebagai berikut:

$$PI = LL - PL$$

Keterangan

PI = Indeks Plastisitas

LL = Liquid Limit

PL = Plastic Limit

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Pengambilan Sampel Tanah

Pertama dilakukan pengambilan sampel tanah di lahan belakang Universitas Kadiri dengan kedalaman 1 meter. Setelah itu sampel tanah yang sudah tersedia dikeringkan dengan cara pengovenan. Setelah pengovenan, sampel tanah ditumbuk, kemudian tanah diayak secara manual menggunakan saringan ukuran 40mm. Setelah diayak akan didapat hasil sampel tanah yang lolos ayakan berupa butiran halus tanah yang sesuai untuk melakukan pengujian.



Gambar 7. Proses pengambilan sampel tanah

Proses Uji Gradasi Ayakan

Mula-mula siapkan satu set ayakan lengkap dengan diameter nomor 4, 10, 20,30, 40, 50, 100, 200 dan pan. Kemudian letakan sampel tanah pada alat ayakan. Lalu tutup ayakan dan letakan ayakan pada alat sieve shaker. Nyalakan mesin sieve shaker dengan waktu 7 menit. Setelah itu, pisahkan setiap hasil ayakan yang ada. Kemudian timbang tiap massa tanah yang tertahan pada setiap diameter ayakan. Lakukan pemisahan tanah dan penimbangan massa tanah hingga sampel tanah habis.



Gambar 8. Proses uji gradasi ayakan

Hasil Perhitungan Gradasi Ayakan

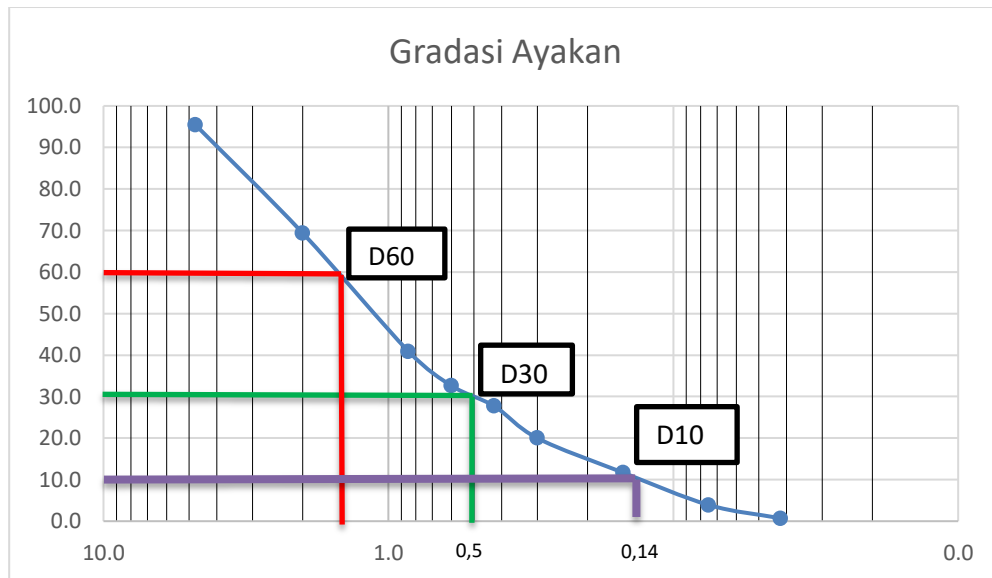
Berdasarkan data perhitungan gradasi ayakan diperoleh total nilai massa tanah yang tertahan pada setiap ayakan sebesar 993, sedangkan total presentase tertahan 99,3% dan presentase lolos sebesar 0,00%.

Tabel 2. Data Perhitungan Gradasi Ayakan

No. Saringan	Diameter Ayakan (mm)	Massa Tanah Yang Tertahan Pada Tiap Ayakan	Persentase Tertahan (%)	Persentase Lolos (%)
			0	100
4	4,750	46	4,6	95,40
10	2,000	260	26	69,40
20	0,850	285	28,5	40,90
30	0,600	83	8,3	32,60
40	0,425	49	4,9	27,70
50	0,300	77	7,7	20,00
100	0,150	83	8,3	11,70
200	0,075	78	7,8	3,90
lengser	0,042	32	3,2	0,70
Jumlah		993	99,3	0,00

Sumber : Hasil olah data

Berdasarkan hasil pengolahan data perhitungan gradasi ayakan diperoleh massa tanah yang tertahan tiap ayakan 993, presentase tertahan 99,3%, dan presentase lolos ayakan 0,00%.



Gambar 9. Grafik hasil perhitungan gradasi ayakan

Nilai grafik:

D60 = 1,6

D30 = 0,5

D10 = 0,14

Perhitungan CU :

$$Cu = \frac{D60}{D10} = \frac{1,6}{0,14} = 11,43$$

Perhitungan CC :

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D10 \times D60} = \frac{(0,5)^2}{0,14 \times 1,6} = 1,12$$

Dari hasil perhitungan disimpulkan bahwa sampel tanah merupakan kelompok GC (well graded gravel with clay) yaitu kelompok gravel yang bergradasi baik dengan penggolongan $Cu \geq 4$ dan $1 \leq Cc \leq 3$.

Proses Uji Liquid Limit

Pertama timbang sampel tanah per 100gr untuk 4 sampel pengujian. Selanjutnya tambahkan air sedikit demi sedikit hingga tanah bercampur sampai homogen. Kemudian tanah yang sudah homogen diletakkan pada alat casagrande secara seimbang antar sisi. Setelah sampel tanah rata, lakukan pembelahan pada bagian tengah sampel tanah menggunakan grooving tool. Selanjutnya nyalakan casagrande, lakukan proses ini sampai dasar alur sampel bersinggungan kira-kira 1 cm dan catat jumlah pukulannya pada waktu bersinggungan. Lakukan sampai sampel tanah habis. Terakhir letakkan sampel tanah yang sudah diuji pada cawan lalu timbang, terakhir masukkan oven selama 1x24 jam.



Gambar 10. Proses uji liquid limit

Hasil Perhitungan Liquid Limit

Tabel 3. Hasil perhitugn liquid limit

Percobaan No		1	2	3	4
Jumlah Pukulan (N)		16	19	26	32
Berat B.Uji basah	W	31,5	31,3	32,5	31,9
Berat B.Uji kering	Ws	21,8	22,2	23,1	22,8
Berat Air	$W_w = (W - W_s)(gr)$	9,7	9,1	9,4	9,1
Kadar Air	$WC = ((W_w / W_s) \times 100\%)$	44,50	40,99	40,69	39,91

Sumber : Hasil olah data

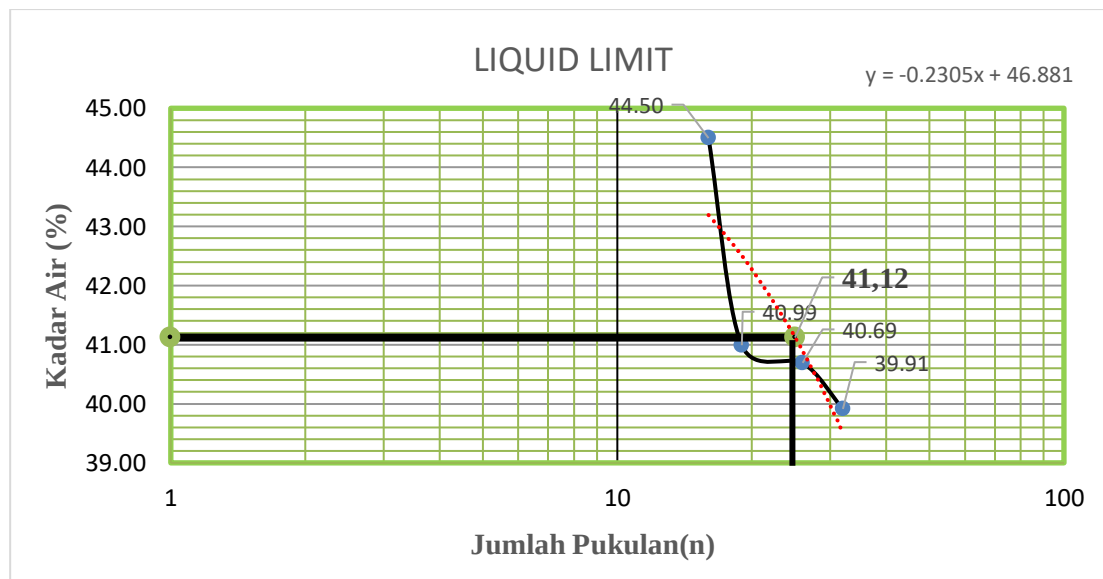
Berdasarkan hasil perhitungan liquid limit pada percobaan ke-1 jumlah pukulan 16 didapatkan berat air sebesar 9,7 dan kadar air sebanyak 44,50. Pada percobaan ke-2 jumlah pukulan 19 didapatkan berat air sebesar 9,1 dan kadar air sebanyak 40,99. Pada percobaan ke-3 jumlah pukulan 26 didapatkan berat air sebesar 9,4 dan kadar air sebanyak 40,69. Pada percobaan ke-4 jumlah pukulan 32 didapatkan berat air sebesar 9,1 dan kadar air sebanyak 39,91.

Tabel 4. Perhitungan Jumlah Pukulan

NO	Jumlah Pukulan	Kadar Air
1	16	44,50
2	19	40,99
3	26	40,69
4	32	39,91

Sumber : Hasil olah data

Berdasarkan hasil jumlah pukulan pada percobaan ke-1 jumlah pukulan 16 didapatkan kadar air sebanyak 44,50. Pada percobaan ke-2 jumlah pukulan 19 didapatkan kadar air sebanyak 40,99. Pada percobaan ke-3 jumlah pukulan 26 didapatkan kadar air sebanyak 40,69. Pada percobaan ke-4 jumlah pukulan 32 didapatkan kadar air sebanyak 39,9.



Gambar 11. Grafik uji liquid limit

Menghitung Kadar Air dengan Jumlah Pukulan 25

Rumus:

$$y = -0,2305 x + 46,881$$

$$= -0,2305 \times 25 + 46,881 = 41,12$$

Tabel 5. Kadar Air pada Jumlah Pukulan 25

NO	JUMLAH PUKULAN	KADAR AIR
1	25	41,12

Dari hasil perhitungan bahwa sampel tanah Liquid Limit yaitu dengan kadar air 41,12 % yaitu kriteria sedang.

Proses Uji Plastic Limit

Mula-mula siapkan sampel tanah yang lolos uji ayakan nomor 40 dengan massa 20 gram. Selanjutnya sampel tanah diberi air sedikit demi sedikit. Lalu aduk sampel tanah hingga homogen. Setelah tanah dalam homogen, timbanglah tanah hingga massa 8 gram. Kemudian pilinlah sampel tanah hingga berdiameter 3 mm. Jika tanah sudah retak sebelum berdiameter 3 mm, percobaan sampel tersebut gagal. Dan apabila belum terjadi retakan saat sampel tanah berdiameter 3 mm, percobaan sampel itu gagal dan harus dibuat baru. Setelah itu letakan sampel tanah kedalam cawan. Lakukanlah pengovenan selama 24 jam agar tanah benar benar kering.



Gambar 12. Proses uji plastic limit

Hasil Perhitungan Plastic Limit

Tabel 6. Hasil perhitungan plastic limits

Percobaan No		1	2
Berat B.Uji basah	W (gram)	6,7	6,8
Berat B.Uji kering	Ws (gram)	5,2	5
Berat Air	$WW = (W - W_s) \text{ (gram)}$	1,5	1,8
Kadar Air	$WC = ((W_w / W_s) \times 100\%)$	28,85	36,00
PL		32,42	

Sumber : Hasil olah data

Dari hasil perhitungan bahwa sampel tanah Plastic Limit yaitu dengan kadar air 32,42 % yaitu kriteria sedang.

Plastic Indeks

Indeks plastis adalah selisih batas cair dan batas plastis (interval kadar air pada kondisi tanah masih bersifat plastis), karena itu menunjukkan sifat keplastisan tanah. [28] Nilai indeks plastis dapat ditentukan dengan cara berikut:

$$PI = LL - PL = 41,12 - 32,42 = 8,70$$

Tabel 7. Tabel Plastic Indeks

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

Sumber : (Buku Mekanika Tanah Braja M. Das)

Dari hasil perhitungan sampel tanah menunjukkan nilai Plastic Index sebesar 8,70% termasuk kriteria rendah.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari uji gradasi ayakan, diperoleh nilai D₁₀ sebesar 0,14 D₃₀ sebesar 0,5 dan D₆₀ sebesar 1,6. Dan hasil perhitungan Cu dan Cc diperoleh nilai $Cu \geq 4$ dan $1 \leq Cc \leq 3$ sehingga tanah diklasifikasikan ke dalam kelompok GC (well graded gravel with clay).
2. Dari hasil uji liquid limit (LL) pada sampel tanah yang telah diteliti didapatkan nilai rata-rata batas cair dari 25 pukulan sebesar 41,12%.
3. Dari hasil uji plastic limit (PL) pada sampel tanah diperoleh nilai batas plastis sebesar 32,42%.
4. Dari hasil pengurangan liquid limit dengan plastic limit diperoleh nilai plastic index sebesar 8,70% sehingga tanah termasuk dalam kriteria rendah indeks plastisitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, F., Muhammad, F., & Besperi. (2015). *ANALISIS SEDIMENTASI PADA BANGUNAN JETTY MUARA SUNGAI KETAHUN, KABUPATEN BENGKULU UTARA* Arief. 7(1), 33–42.
- Biazzi, H. M., Tubin, J. S. B., Conte, R. A., Robazza, W. da S., & Paiano, D. (2022). Different sieving methods for determining the physical characteristics in ground corn. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 44(1955), 1–7. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v44i1.53382>
- El Jazouli, A., Barakat, A., & Khellouk, R. (2022). Geotechnical studies for Landslide susceptibility in the high basin of the Oum Er Rbia river (Morocco). *Geology, Ecology, and Landscapes*, 6(1), 40–47. <https://doi.org/10.1080/24749508.2020.1743527>
- Fathurrahmi. (2013). Identification of Natural Clay ' s Type Using X-Ray Diffraction. *Jurnal Natural*, xxi(xxi), 49–53.
- Hajar, M. S., & Wibowo, D. E. (2014). Pengaruh Bahan Tambah Potongan Limbah Material Plastik Terhadap Kuat Tekan Bebas Pada Tanah Lempung Wates. *Inersia*, 10(2), 197–213.
- I Nyoman Hasta Widyatmika ¹, I Nyoman Aribudiman ², T. G. S. P. ². (2014). *PENGARUH PEMERAMAN TERHADAP TANAH LEMPUNG YANG DICAMPUR DENGAN ASPAL EMULSI*. 18(1), 27–37.
- Joni Putu, G. I. (2017). *STABILISASI TANAH LEMPUNG DENGAN CAMPURAN CANGKANG TELUR TERHADAP NILAI CBR*. L(1494094006), 1–9.
- Klopp, H., & Bleam, W. (2021). The Effects of Soil Solution Electrical Conductivity and Sodium Adsorption Ratio on Soil Liquid Limit and Soil Strength. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(21), 2644–2653. <https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1953060>
- Nasrani, F., Oktovian, L., Sompie, B. A., & Sumampouw, J. E. R. (2020). Analisis Geoteknik Tanah Lempung Terhadap Penambahan Limbah Gypsum. *Jurnal Sipil Statik*, 8(2), 197–204.
- Othman, K. (2022). Prediction of the hot asphalt mix properties using deep neural networks. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, 11(1), 2022. <https://doi.org/10.1186/s43088-022-00221-3>
- Patandean, R. (2020). Pengujian Tanah Menggunakan Metode Plastis dan Batas Cair Untuk Pembangunan Mushola Pada PT. SUCOFINDO Timika. *Jurnal Teknik AMATA*, 1(1), 2–5.
- Pujawan, M., Afandi, A., Novpriansyah, H., & Manik, K. E. S. (2016). Kemantapan Agregat Tanah Pada Lahan Produksi Rendah Dan Tinggi Di Pt Great Giant Pineapple. *Jurnal Agrotek Tropika*, 4(1), 111–115. <https://doi.org/10.23960/jat.v4i1.1915>
- Ramadhani, T., Iswan, & Jafri, M. (2015). Hubungan Batas Cair dan Plastisitas Indeks Tanah Lempung yang Disubstitusi Pasir Terhadap Nilai Kohesi Tanah pada Uji Direct Shear. *Jrsdd*, 3(2), 291–302.
- Rizki. (2003). Bab iii landasan teori 3.1. <Http://E-Journal.Uajy.Ac.Id/7244/4/3TF03686.Pdf>, 15–48.
- Tirtasari, N. L. (2017). Indonesian Journal of Chemical Science Uji Kalibrasi (Ketidakpastian

- Pengukuran) Neraca Analitik di Laboratorium Biologi FMIPA UNNES. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2), 151–155.
- Wardani, S. P., Rustamaji, R. M., & Aprianto. (2017). Pengaruh siklus basah kering pada sampel tanah terhadap nilai atterberg limit. *JeLAST: Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang*, 4(4), 1–14.
- Widjaja, B., & Sundayo, P. (2017). Alternatif Penentuan Batas Cair Dan Batas Plastis Dengan Tiga Variasi Berat Konus Menggunakan Metode Lee Dan Freeman (2009). *Jurnal Teknik Sipil*, 14(1), 62. <https://doi.org/10.24002/jts.v14i1.1018>