

Studi Penelitian Perbaikan Tanah Dengan Metode *Vertical Drains* Untuk Penanggulangan Kerusakan Jalan dan Bangunan Rumah Di Desa Sukodono, Kecamatan Dampit, Kabupaten Malang

Israil¹, Warsito², Eko Noerhayati³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang,

e-mail: ichanisrail92@gmail.com

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang,

e-mail: Warsito@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang,

e-mail: eko.noerhayati@unisma.ac.id

ABSTRAK

Tanah lempung adalah tanah yang termasuk tanah kohesif serta salah satu tanah yang mempunyai daya dukung yang rendah, sifat kembang susut yang besar dan deformasi yang terjadi sangat besar dan waktu proses yang lama. Dengan adanya permasalahan tersebut maka penulis mencoba melakukan penelitian untuk perbaikan dengan usaha stabilitas menggunakan metode *vertical drains* dengan menambahkan pasir lolos saringan no. 4 dan tertinggal di saringan no. 10.

Penelitian ini dilakukan melalui 2 tahap, pertama dengan uji konsolidasi dan kedua dengan metode *vertical drains*. Pada metode *vertical drains* menggunakan pasir sebagai drain dengan 3 sampel benda uji silinder. Sampel pertama dengan drain besar berdiameter 4,75 cm, sampel kedua dengan drain kecil berdiameter 2,54 cm, dan sampel ketiga tanpa tambahan drain. Dengan masing-masing tinggi silinder 17,8 cm dan diameter 15,2 cm. Hasil dari setiap penurunan *vertical drains* ini akan dibandingkan dengan hasil penurunan dari konsolidasi.

Kata kunci : Tanah Lempung, Konsolidasi, *Vertical Drains*

ABSTRACT

Clay soil is a soil that includes cohesive soil and one of the soils that has a low bearing capacity, large swelling shrinkage properties and very large deformation and long processing time. With these problems, the authors try to do research for improvements with stability efforts using the vertical drains method by adding sand that passes filter no. 4 and left in sieve no. 10.

This research was conducted in 2 stages, the first with the consolidation test and the second with the vertical drains method. In the vertical drains method using sand as a drain with 3 samples of cylindrical specimens. The first sample with a large drain diameter of 4.75 cm, the second sample with a small drain diameter of 2.54 cm, and the third sample without additional drains. With each cylinder 17.8 cm high and 15.2 cm in diameter. The result of each decrease in vertical drains will be compared with the settlement result from consolidation.

Keywords: *Clay, Consolidation, Vertical Drains*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pekerjaan konstruksi tentunya sangat memerlukan tanah yang berfungsi untuk menompang terbangunnya suatu bangunan. Untuk membangun sebuah bangunan harus memilih tanah yang memiliki karakteristik yang bagus dan memiliki daya dukung tanah yang bisa menompang terbangunnya sebuah bangunan, sehingga bangunan sesuai dengan yang diharapkan, tetapi semua tanah tidak memiliki kondisi dan sifat yang mendukung terbangunnya sebuah bangunan. Terhitung banyaknya jenis tanah yang beragam yang ada di lingkungan kita, sehingga kami mengambil untuk sampel penelitian adalah tanah yang berjenis tanah lempung. Tanah lempung merupakan salah satu tanah yang mempunyai daya dukung yang rendah dan merupakan tanah yang bersifat cohesive, memerlukan waktu yang cukup lama dengan sifatnya kenbang susut dan perubahan bentuk yang besar pada dimensi..

Mengingat di wilayah Sukodono, Dampit memiliki perbedaan debit air rata-rata dimusin kemarau dan musin hujan yang relatif besar, maka pembangunan diprioritaskan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yang mendesak dan nyata secara teknis layak untuk dibangun.

Rumusan Masalah

1. Dalam penelitian ini hanya meneliti dalam satu dusun yaitu, Dusun Sawur, Desa Sukodono, Dampit, Kabupaten Malang.
2. Peneliti hanya mengambil bahan drain butiran halus lolos saringan no. 4 dan tetinggal saringan no. 10 menurut saringan (ASTM 422 – 72).

Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui indeks pemampatan (C_c), indeks pemampatan kembali (C_r), dan koefisien konsolidasi (C_v), seerta penurunan konsolidasi total (S_c).
2. Untuk mengetahui besar penurunan total (S_t) dan berapa lama waktu penurunan (*settlement*) pada tanah lempung menggunakan bahan drain kecil dengan lubang drain berbentuk silinder ukurab besar $\pm \varnothing 4,75$ cm.
3. Untuk mengetahui besar penurunan total (S_t) dan berapa lama waktu penurunan (*settlement*) pada tanah lempung menggunakan bahan drain kecil dengan lubang drain berbentuk silinder ukurab kecil $\pm \varnothing 2.54$ cm.
4. Untuk mengetahui besar penurunan total (S_t) dan berapa lama waktu penurunan (*settlement*) pada tanah lempung tanpa menggunakan drain.

TINJAUAN PUSTAKA

Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah yaitu himpunan material, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak di atas batuan dsar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. (Hardiyatmo, 2012)

Lempung

Pelapukan tanah akibat reaksi kimia menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran berukuran lebih kecil dari 0,002 mm, yang disebut mineral lempung. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika tetrahedra dan aluminium oktahedra (Hary Christitady Hardiyatmo, 2012:24).

Pengujian Fisik Tanah

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar air tanah. Kadar air tanah yaitu perbandingan antara berat air dalam satuan tanah dengan berat kering tanah tersebut (ASTM D 2216-71, 1989). Kadar air tanah dapat dihitung dengan persamaan 3, dengan rumus sebagai berikut:

$$W = \frac{(w_3 - w_2)}{(w_2 - w_1)} \times 100\% \quad \text{-----} \quad (1)$$

Keterangan:

- W = kadar air tanah (%)
- W1 = berat cawan kosong (gr)
- W2 = berat cawan + tanah basah (gr)
- W3 = berat cawan + tanah kering (gr)

Berat jenis tanah pada suhu t⁰C dapat di hitung dengan persamaan 4, yaitu sebagai berikut:

$$G = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \times 100\% \quad \text{-----} \quad (2)$$

Keterangan:

- G = berat jenis tanah
- W1 = berat piknometer kosong (gr)
- W2 = berat piknometer kosong + tanah kering (gr)
- W3 = berat piknometer kosong + tanah + air (gr)
- W4 = berat piknometer kosong + air (gr)

Berat Jenis tanah pada temperatur 27,50⁰C dapat dihitung dengan persamaan 5, sebagai berikut:

$$G(27,5^\circ) = G(t^\circ) \frac{\text{berat jenis air pada } t}{\text{berat jeni air pada } 27,5 t} \quad \text{-----} \quad (3)$$

Menentukan kadar air tanah pada kondisi batas susut. Batas susut adalah kadar air tanah minimum yang masih dalam dalam keadaan semi *solid*, dan juga merupakan batas antara keadaan semi *solid* dan *solid*(ASTM D 427-74, 1989).

- 1) Bila benda uji telah diketahui nilai berat jenisnya, maka SL dapat dihitung dengan persamaan 7, sebagai berikut:

$$SL = \left\{ \frac{V_0}{W_0} - \frac{1}{G} \right\} \times 100\% \quad \text{-----} \quad (4)$$

Keterangan:

- SL = Berat susut tanah (%)
- W0 = Berat benda uji setelah kering (gr)
- V0 = Volume benda uji setelah kering (cm³)
- G = Berat jenis tanah

- 2) Apabila nilai berat jenisnya belum diketahui, maka SL dapat dihitung dengan persamaan 8, sebagai berikut:

$$SL = W - \frac{v-v_0}{w_0} \times 100\% \quad \text{-----} \quad (5)$$

Keterangan:

SL = Berat susut tanag (%)

W = Kadar air tanah basa yang diisiskan pada cawan

$$= W \frac{w_0}{w_0} \times 100\%$$

W = Berat benda uji basah

W₀ = berat benda uji setelah kering (gr)

V = volume benda uji basah = voluime cawan (cm³)

V = volume benda uji setelah dikeringkan (cm³)

Pengujian Konsolidasi (ASTM D 2435-50)

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui kecepatan konsolidasi dan besarnya penurunan tanah apabila tanah mendapat beban keadaan tanah disamping bertahan dan diberi drainasi pada arah *vertical*. (ASTM D 2435-50, 1989)

Berikut ini merupakan rumus-rumus dalam hitungan konsolidasi:

- a. Koefesien konsolidasi

$$C_v = \frac{0,848 d^2}{t_{90}} \quad \text{-----} \quad (6)$$

- b. Menghitung H_s (tebal bagian padat)

$$H_s = \frac{W_k}{G.A} \quad \text{-----} \quad (7)$$

Keterangan

W_k = Berat tanah kering

H_s = Tebal benda uji pada akhir setelah beban

G = Berat jenis

A = Luas cincin

- c. Menghitung angka pori (e₀)

$$e_0 = \frac{H-H_s}{H_s} \quad \text{-----} \quad (8)$$

Keterangan:

H = Tebal awal

H_s = Tebal benda uji pada akhir setelah beban

- d. Menghitung indeks pemampatan (C_c)

$$C_c = \frac{e_0 - e_b}{\log\left(\frac{P_b}{P_0}\right)} = \frac{e_0 - e_b}{\log\left(\frac{P_b}{P_0}\right)} \quad \text{-----} \quad (9)$$

Keterangan:

e₀ = Angka pori awal

e_b = Angka pori (e₀) × 0.42

P_b = Tekanan titik B

P₀ = Tekanan awal

Pengujian *vertical drains*

Untuk menghitung kecepatan penurunan pada drainase vertikal dapat melalui langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Menghitung factor waktu untuk drainase arah vertical:

$$T_v = \frac{C_v \times t}{H_t^2} \quad \text{-----} \quad (10)$$

- b) Diameter pengaruh drainase

1. Pola bujur sangkar
 $D = 1,13 \times s \quad \text{-----} \quad (11)$

2. Pola segitiga sama sisi
 $D = 1,05 \times s \quad \text{-----} \quad (12)$

- c) Untuk drainase vertikal ada 2 cara, yaitu:

1. Untuk $U_v < 60\%$:
 $T_v = \left(\frac{1}{4}\right) U^2 \quad \text{-----} \quad (13)$

2. Untuk $U_v > 60\%$:
 $T_v = -0,933 \log (1-U) - 0,085 \quad \text{-----} \quad (14)$

$$T_v = 1,781 - 0,933 \log (100 - U\%) \quad \text{-----} \quad (15)$$

METODOLOGI PENELITIAN

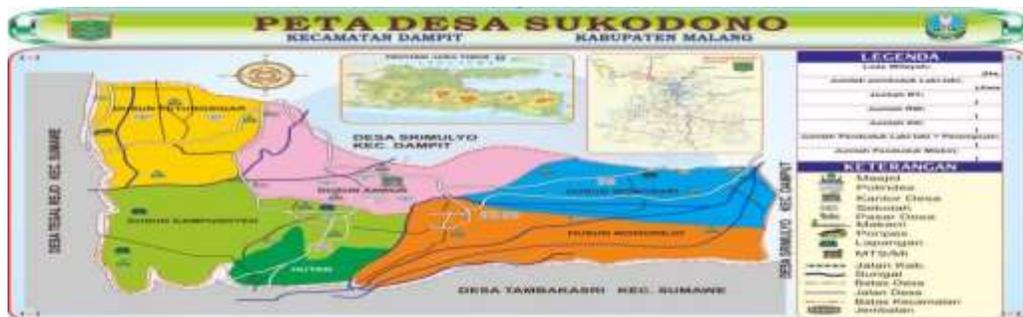
Metode

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode *vertical drains*, yaitu melakukan penelitian dengan melakukan percobaan terhadap benda yang diteliti tanpa drain dibandingkan dengan benda yang diteliti dengan menggunakan drain vertikal, yaitu menggunakan butiran halus yang lolos saringan no. 4 dan tertinggal pada saringan no. 10. Tujuan dari metode *vertical drain* ini adalah untuk menyelidiki sebab akibat dan pengaruh obyek penelitian satu sama lain yang kemudian dibandingkan hasil dari penelitian ini.

Objek Penelitian

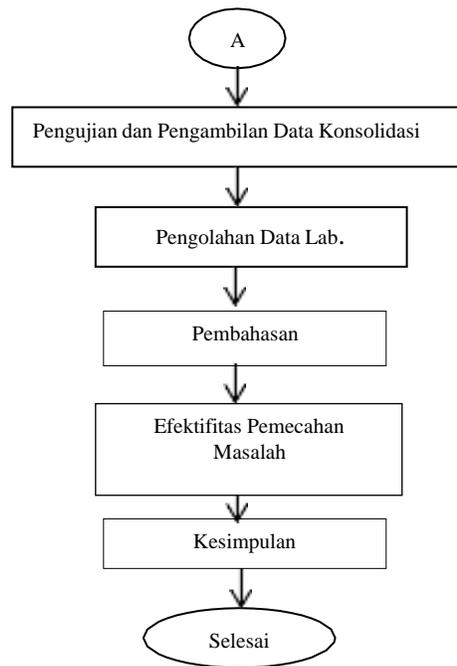
Pada penelitian ini tanah lempung yang digunakan adalah berasal dari: Desa Sukodono, Dampit, Kabupaten Malang, dan bahan drainnya menggunakan butiran halus lolos saringan no. 4 dan tertinggal saringan no. 10.

Lokasi Penelitian



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

Bagan Alur Penelitian



Gambar 2. *flowchart*

PEMBAHASAN

- 1) Sifat Fisik Tanah
 - a. Kadar Air Awal (w)

Dari Pengujian kadar air awal tanah lempung Desa Sukodono, Dampit, Malang, diperoleh nilai kadar air awal sebesar 27,92 %.
 - b. Berat Jenis Tanah (G)

Dari Pengujian berat jenis tanah lempung Desa Sukodono, Dampit, Malang, diperoleh nilai berat jenis tanah sebesar 2,247.
- 2) Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg*)
 - a. Batas Cair (LL)

Hasil pengujian batas cair tanah lempung Desa Sukodono, Dampit, Malang, diperoleh angka batas cair sebesar 37,70%. Sedangkan menghitung menggunakan cara grafik diperoleh hasil yang berbeda sedikit yaitu 37,34%.
 - b. Batas Plastis (PL) dan Indeks Plastis (PI)

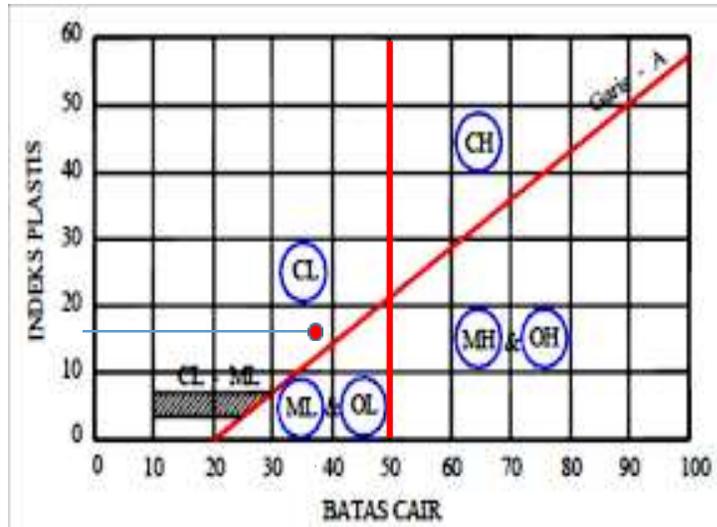
Dari pengujian batas plastis diperoleh angka sebesar 20,59%, untuk mencari Indeks Plastis (PI) menggunakan rumus:
 $PI = LL - PL = 37,70 - 20,59 = 17,11\%$
Sehingga didapatkan harga indeks plastis (PI) sebesar 17,11%.

c. Batas Susut (SL)

Hasil pengujian batas susut tanah lempung Desa Sukodono, Dampit, Malang, diperoleh angka batas susut sebesar 7,48%.

3) Distribusi Ukuran Butir

Distribusi ukuran butir tanah dianalisis dengan dua cara yaitu, analisis *hydrometer* (pengendapan) dan analisis saringan. Berikut ini data-data dan hasil hitungan yang diperoleh dari pengujian distribusi ukuran butir



Gambar 3. Grafik Plastisitas Identifikasi Jenis Tanah

Dalam grafik plastisitas dengan nilai LL 37,70% dan PI sebesar 17,11%, berdasarkan sistem USCS tanah Desa Sukodono diklasifikasikan CL (*clay low-plasticity*) yaitu tanah lempung yang tidak berorganik dengan plastisitas rendah, sampai sedang, lempung kurus, lempung berkerikil, lempung berlanau, lempung berpasir. Untuk identifikasi tanah menurut AASHTO, terlebih dahulu dihitung nilai GI menggunakan persamaan (1).

$$GI = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(PI - 10) \dots \dots (1)$$

$$GI = (58,70 - 35)[0,2 + 0,005(37,70 - 40)] + 0,01(58,70 - 15)(17,11 - 10)$$

$$GI = 7,57 \approx 8$$

Mengingat PL (20,59) < 30%, maka tanah Desa Sukodono, Dampit, Kabupaten Malang diklasifikasikan A-6 (8) yaitu bersifat berlanau sampai buruk.

Pengujian Vertical Drains

a) *Vertical Drains* Untuk Drain Besar (Ø 4,75)

Analisa penurunan drain besar menggunakan rumus :

Data yang diperoleh :

$$q = \frac{\pi}{4}d^2 = 0,49, \text{ maka menggunakan tekanan } 0,5 \text{ pada konsolidasi}$$

$$H = 16,3 \text{ cm}$$

$$S_c = 2,49 \text{ cm}$$

$$C_v = 0,010 \text{ cm}^2/\text{menit}$$

$$d = 4,75 \text{ cm}$$

$$D = 15,2 \text{ cm}$$

- ❖ Faktor waktu untuk drainase arah vertical :

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H t^2} = \frac{0,010 \times 365}{\frac{16,3^2}{2}} = 0,057 \text{ t}$$

- ❖ Diameter pengaruh drainase : $D = 15,2 \text{ cm}$

- ❖ Karena $k_v = kh$, maka $C_v = Ch$ (tanah tidak berlapis)

$$T_v = \frac{Ch \cdot t}{4R^2} = \frac{0,010 \times 365}{4 \times \frac{15,2^2}{2}} = 0,016 \text{ t}$$

- ❖ Untuk drainase arah vertical, dengan menggunakan $U_v < 60\%$, maka berlaku:

$$U_v = \frac{\sqrt{ATv}}{\pi}$$

- ❖ Untuk drainase radical :

$$U_h = 1 - e^{-\left(\frac{8th}{F(n)}\right)}$$

$$\text{Dengan } F(n) = \ln\left(\frac{D}{dw}\right) - 0,75$$

$$\ln\left(\frac{15,2}{4,75}\right) - 0,75 = 0,413$$

- b) *Vertical Drains* Untuk Drain Kecil ($\emptyset 2,54$)

Analisa penurunan drain kecil dengan rumus:

Data yang diperoleh:

$$q = \frac{\pi}{4d^2} = 0,49, \text{ maka menggunakan tekanan } 0,5 \text{ pada komsolidasi.}$$

$$H = 16,3 \text{ cm}$$

$$S_c = 2,49 \text{ cm}$$

$$C_v = 0,010 \text{ cm}^2/\text{menit}$$

$$d = 2,54 \text{ cm}$$

$$D = 15,2 \text{ cm}$$

- ❖ Faktor waktu untuk drainase arah vertical:

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H t^2} = \frac{0,010 \times 365}{\frac{16,3^2}{2}} = 0,057 \text{ t}$$

- ❖ Diameter pengaruh drainase : $D = 15,2 \text{ cm}$

- ❖ Karena $k_v = kh$, maka $C_v = Ch$ (tanah tidak berlapis)

$$T_v = \frac{Ch \cdot t}{4R^2} = \frac{0,010 \times 365}{4 \times \frac{15,2^2}{2}} = 0,016 \text{ t}$$

- ❖ Untuk drainase arah vertical, dengan menggunakan $U_v < 60\%$, maka berlaku :

$$U_v = \frac{\sqrt{ATv}}{\pi}$$

- ❖ Untuk drainase radical :

$$U_h = 1 - e^{-\left(\frac{8th}{F(n)}\right)}$$

$$\text{Dengan } F(n) = \ln\left(\frac{D}{dw}\right) - 0,75$$

$$\ln\left(\frac{15,2}{2,54}\right) - 0,75 = 1,034$$

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi total (St) yang diperoleh adalah sebesar 2,51 cm dengan waktu selama 15 hari. Data perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 15 sebagai berikut :

c) Vertical Drains Tanpa Bahan Drain

Analisa penurunan tanpa drain menggunakan rumus:

Data yang diperoleh:

$$q = \frac{P}{\pi a^2} = 0,49, \text{ maka menggunakan tekanan } 0,5 \text{ pada konsolidasi.}$$

$$H = 16,3 \text{ cm}$$

$$Sc = 2,49 \text{ cm}$$

$$Cv = 0,010 \text{ cm}^2/\text{menit}$$

$$D = 15,2 \text{ cm}$$

❖ Faktor waktu untuk drainase arah vertical:

$$Tv = \frac{Cv \cdot t}{H^2} = \frac{0,010 \times 365}{16,3^2} = 0,057 \text{ t}$$

❖ Untuk drainase arah vertical, dengan menggunakan $Uv < 60\%$, maka berlaku :

$$Uv = \sqrt{\frac{ATv}{\pi}}$$

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi total (St) yang diperoleh adalah sebesar 2,60 cm dengan waktu selama 15 hari. Data perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Perhitungan Penurunan Tanpa Bahan Drain

t (hari)	t (tahun)	St = U × 2,49 (cm)
0	0	0
1	0.003	0.67
2	0.005	0.95
3	0.008	1.16
5	0.014	1.50
10	0.027	2.12
15	0.041	2.60

Sumber: Analisa Data

PENUTUP

Simpulan.

1. Berdasarkan hasil dari identifikasi tanah berdasarkan ukuran butir pada gambar 38, tanah yang berada di Desa Sukodono, Dampit, Kabupaten Malang merupakan tanah berjenis lempung. Sementara kalau dilihat berdasarkan acuan pada sistem klasifikasi USCS tanah lempung Desa Sukodono, Dampit, Kabupaten Malang tergolong tanah berbutir halus (fraksi yang berukuran lebih kecil dari 0,075 mm adalah lebih besar dari 50%). Dalam garafik plastisitas (Gambar39) dengan nilai LL 37,70% dan PI sebesar 17,11%, berdasarakan sistem USCS (Unified Soil Classification System) tanah

Desa Sukodono diklasifikasikan CL (clay low-plasticity) yaitu tanah lempung yang tidak berorganik dengan plastisitas rendah, sampai sedang, lempung kurus, lempung berkerikil, lempung berlanau, lempung berpasir. Untuk identifikasi tanah menurut AASHTO, terlebih dahulu dihitung nilai GI menggunakan persamaan (2.1).

$$GI=(F-35)[0,2+0,005(LL-40)]+0,01(F-15)(PI-10)\dots\dots(2.1)$$

$$GI=(58,70-35)[0,2+0,005(37,70-40)]+0,01(58,70-15)(17,11-10)$$

$$GI=7,57\approx 8$$

Mengingat $PL(20,59) < 30\%$, maka tanah Desa Sukodono, Dampit, Kabupaten Malang diklasifikasikan A-6 (8) yaitu bersifat berlanau sampai buruk.

2. Koefisien konsolidasi (C_v) yang didapat: untuk tegangan $0,5 \text{ kg/cm}^2$ adalah sebesar $0,010 \text{ cm}^2/\text{menit}$, untuk tegangan 1 kg/cm^2 adalah sebesar $0,018 \text{ cm}^2/\text{menit}$, untuk tegangan 2 kg/cm^2 adalah sebesar $0,034 \text{ cm}^2/\text{menit}$, untuk tegangan 4 kg/cm^2 adalah sebesar $0,076 \text{ cm}^2/\text{menit}$. Sedangkan nilai indeks pemampatan (C_c) adalah sebesar $0,238$ dan nilai indeks pemampatan kembali (C_r) adalah sebesar $0,0183$. penurunan total konsolidasi (S_c) di laboratorium adalah sebesar $2,49 \text{ cm}$.
3. Penurunan total (S_t) *vertical drains* pada pengujian laboratorium untuk drain besar ($\emptyset 4,75$) adalah sebesar $0,697 \text{ cm}$ selama 5 hari dan pada metode perhitungan adalah $2,49 \text{ cm}$ selama 15 hari.
4. Penurunan total (S_t) *vertical drains* pada pengujian laboratorium untuk drain kecil ($\emptyset 2,54$) adalah sebesar $0,423 \text{ cm}$ selama 5 hari dan pada metode perhitungan adalah $2,51 \text{ cm}$ selama 15 hari.

Saran

Adapun saran berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap tanah lunak pada ujian konsolidasi dan *vertical drains*, adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian lanjutan dengan menambah jumlah pembuatan sampel benda uji tanah lempung.
2. Untuk pengujian lanjutan bisa juga dirubah variasi ukuran drainnya, supaya data yang diperoleh dapat berbeda dengan pengujian sebelumnya dan bisa dibuat untuk perbandingan lagi.
3. Untuk memperoleh hasil yang memuaskan perlu menguasai peralatan, bahan, cara penelitian dan ketelitian dalam menghitung.
4. Penguasaan teori dan reverensi yang luas sangat diperlukan dalam memecahkan masalah yang timbul dalam melakukan penelitian di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA.

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 422-72. (2007). *Standard Method for Particle-Size Analysis of Soil.*

Hardiyatmo, Hary Christady. (2012). *Mekanika Tanah I. Edisi. Ke-6.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 2216-71. (1989). *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.*

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 427-74. (1989). *Standard Test Method of Test for Shrinkage Limit of Soil*

American Society for Testing and Materials (ASTM) D 2435-50. (1989). *Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils.*