

BAB V

HASIL PENELITIAN

Pada bab ini akan di uraikan hasil yang berupa grafik maupun tabel dari hasil penelitian yang telah dilakukan di laboratorium dimana kapur adalah bahan yang telah dipilih oleh penyusun sebagai perkuatan pada tanah berbutir halus. Pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta memperoleh hasil yang meliputi sifat-sifat fisis dan sifat mekanis tanah.

5.1 Pengujian Pendahuluan

5.1.1 Klasifikasi Tanah

Untuk dapat mengelompokkan/mengklasifikasikan sampel tanah dari Jombor, Klaten, Jawa Tengah, maka dibutuhkan data-data hasil pengujian sifat fisik dan mekanis tanah yang dihasilkan dalam penelitian ini sehingga jenis dan karakteristik tanah akan dapat ditentukan. Ada 3 (tiga) jenis klasifikasi tanah yang akan digunakan yaitu sebagai berikut :

1. Sistem Unified
2. Sistem USCS (*the Unified Soil Classification System*).
3. Sistem AASHTO (*the American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*).

5.1.2 Sifat Fisik Mekanik Tanah Asli

Untuk mengetahui prosentase agregat yang terkandung pada sampel tanah dari Jombor, Klaten, Jawa Tengah maka dilakukan uji Analisa distribusi butiran dan uji Hidrometri yang terdiri dari 2 sampel. Adapun grafik hasil uji dari kedua sampel tersebut dapat kita lihat pada Gambar 5.1 dan 5.2 berikut ini.

Rumus pada tabel Hidrometer :

$$D = K \sqrt{\frac{L}{T}} \dots\dots\dots(5.1)$$

Jika digunakan hidrometer 152 H

$$P = \frac{R \times a}{W} \times 100 \dots\dots\dots(5.2)$$

$$L = HI + 0,5 \left(h - \frac{Vh}{A} \right) \dots\dots\dots(5.3)$$

$$R_c = R_1 - R_2 + Cr \dots\dots\dots(5.4)$$

$$P = K_2 + R \dots\dots\dots(5.5)$$

$$R' = R_1 + m \dots\dots\dots(5.6)$$

Keterangan :

D = Ukuran butiran terbesar (mm)

K = Konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh temperatur (t° C suspensi dan berat jenis butir tanah (GS)

L = Kedalaman efektif

R₂ = Skala hidrometer

Cr = Temperatur correction factors

P = Persentase berat

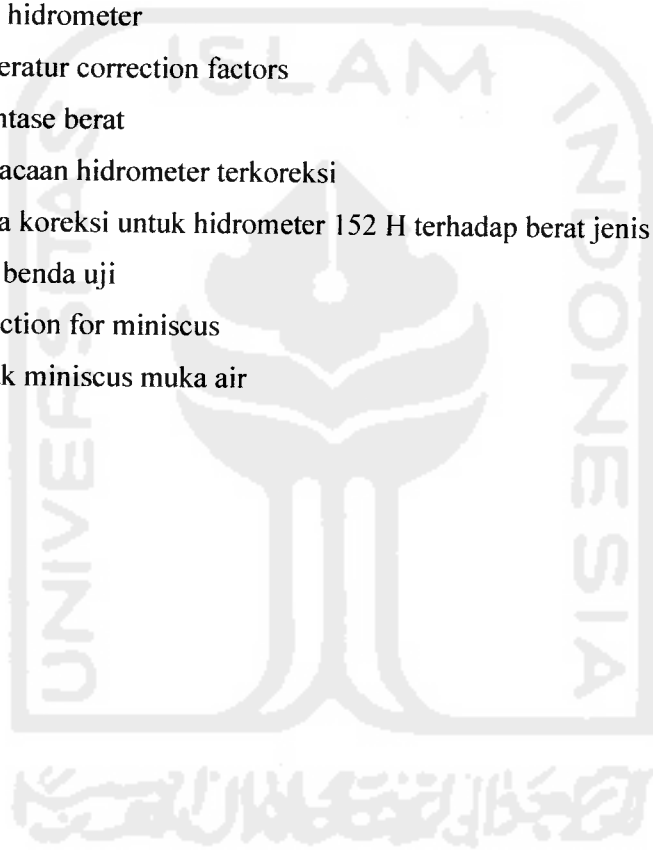
R = Pembacaan hidrometer terkoreksi

A = Angka koreksi untuk hidrometer 152 H terhadap berat jenis butir

W = Berat benda uji

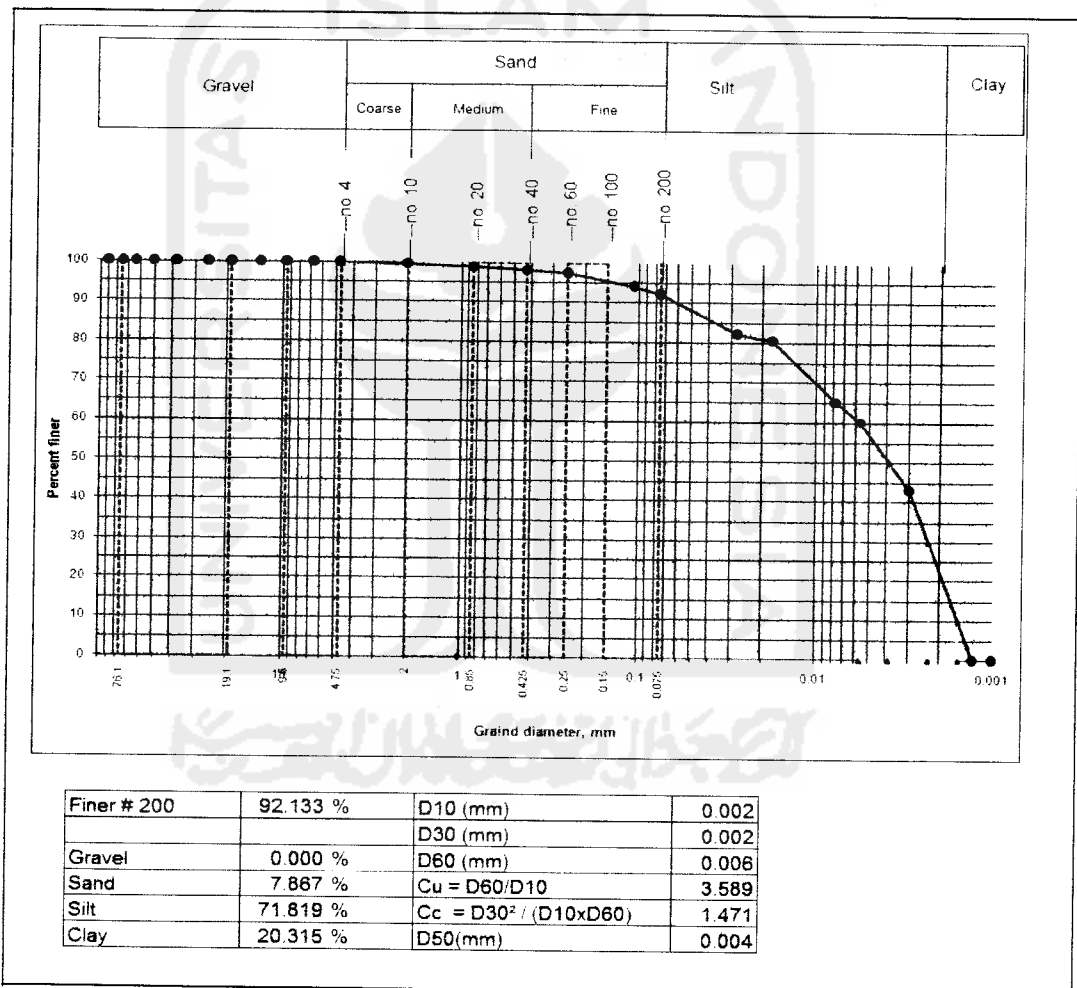
m = Correction for meniscus

R₁ = Puncak meniscus muka air



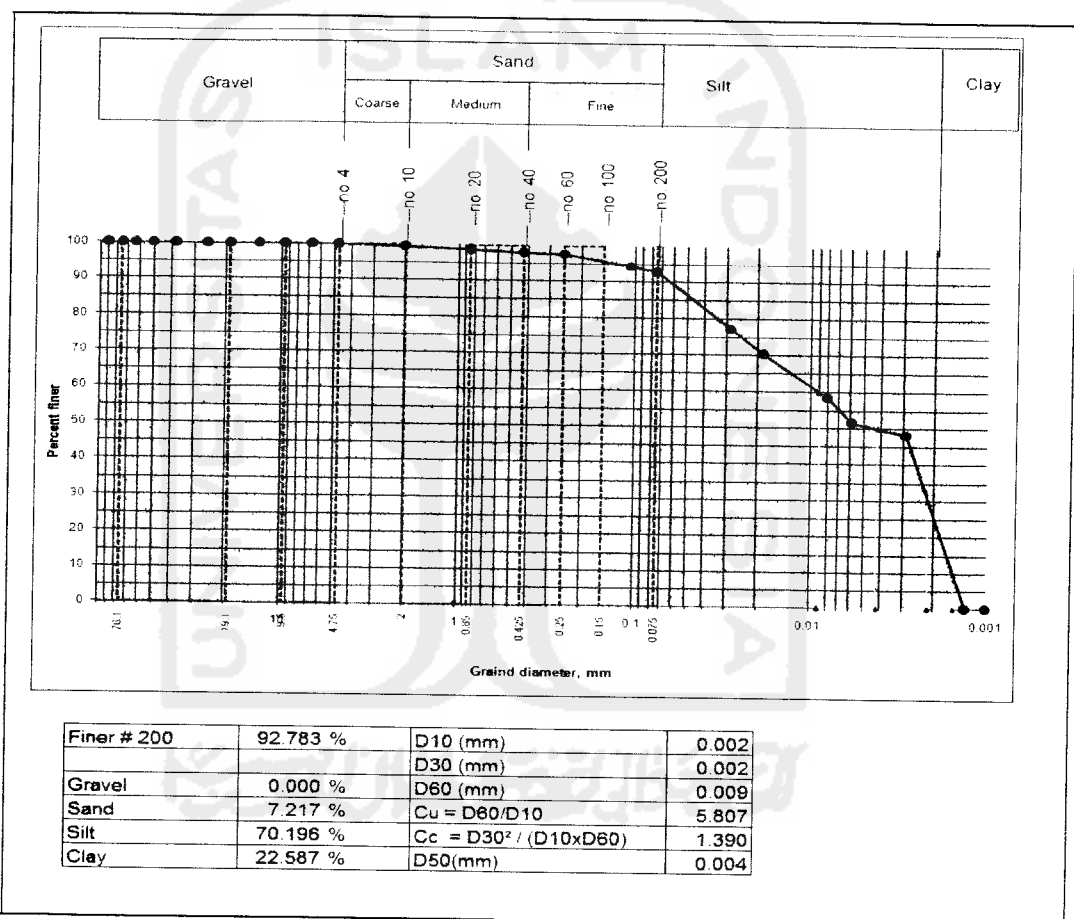
Tabel 5.1 Hasil Uji Hidrometer 1

| Time | elapsed time min. T | R1 | R2 | t | R' | L | K | D | Rc= | P |
|-------|---------------------|----|------|----|--------|--------|--------|----------|----------|--------|
| | | | | | R1 + m | | | (mm) | R1-R2+Cr | K2 x R |
| | | | | | | | | | | (%) |
| 9.47 | | | | | | | | | | |
| 9.49 | 2 | 45 | -2.0 | 25 | 46 | 8.763 | 0.0132 | 0.02768 | 48.3 | 82.25 |
| 9.52 | 5 | 44 | -2.0 | 25 | 45 | 8.927 | 0.0132 | 0.017669 | 47.3 | 80.55 |
| 9.77 | 30 | 35 | -2.0 | 25 | 36 | 10.401 | 0.0132 | 0.007786 | 38.3 | 65.22 |
| 10.47 | 60 | 32 | -2.0 | 25 | 33 | 10.892 | 0.0132 | 0.005634 | 35.3 | 60.11 |
| 13.57 | 250 | 22 | -2.0 | 25 | 23 | 12.529 | 0.0132 | 0.00296 | 25.3 | 43.08 |
| 9.47 | 1440 | 15 | -2.0 | 25 | 16 | 13.675 | 0.0132 | 0.001289 | 0.001 | 0.00 |



Tabel 5.2 Hasil Uji Hidrometri 2

| Time | elapsed time min. T | R1 | R2 | t | R' | L | K | D | Rc= | P |
|-------|---------------------|----|------|----|--------|--------|--------|----------|----------|--------|
| | | | | | R1 + m | | | (mm) | R1-R2+Cr | K2 x R |
| | | | | | | | | | | (%) |
| 9.47 | | | | | | | | | | |
| 9.49 | 2 | 42 | -2.0 | 25 | 43 | 9.254 | 0.0132 | 0.028445 | 45.3 | 77.14 |
| 9.52 | 5 | 38 | -2.0 | 25 | 39 | 9.909 | 0.0132 | 0.018616 | 41.3 | 70.33 |
| 9.77 | 30 | 31 | -2.0 | 25 | 32 | 11.056 | 0.0132 | 0.008027 | 34.3 | 58.41 |
| 10.47 | 60 | 27 | -2.0 | 25 | 28 | 11.710 | 0.0132 | 0.005842 | 30.3 | 51.60 |
| 13.57 | 250 | 25 | -2.0 | 25 | 26 | 12.038 | 0.0132 | 0.002902 | 28.3 | 48.19 |
| 9.47 | 1440 | 12 | -2.0 | 25 | 13 | 14.166 | 0.0132 | 0.001312 | 0.001 | 0.00 |



Gambar 5.2 Grafik hasil uji analisa distribusi butiran sampel II

Dari hasil uji Analisa distribusi butiran kedua sampel diatas maka akan didapatkan prosentase nilai rata-rata dari masing masing agregat yang hasilnya dapat kita lihat pada Tabel 5.3 dibawah ini.

Tabel 5.3 Nilai rata-rata hasil uji analisa distribusi butiran sampel I dan II

| No. Pengujian | Jenis agregat | | | Nilai rata-rata | | |
|------------------|---------------|--------------|----------------|-----------------|--------------|----------------|
| | Pasir (%) | Lanau (%) | Lempung (%) | Pasir (%) | Lanau (%) | Lempung (%) |
| 1 | 7.867 | 71.819 | 20.315 | 7.55 | 71.00 | 21.45 |
| 2 | 7.217 | 70.196 | 22.587 | | | |

5.1.3 Sifat Mekanis Tanah Asli

Pengujian sifat mekanis tanah di Laboratorium meliputi pengujian : Kadar air, Berat jenis, Batas cair, Batas plastis, Batas susut dan Indeks plastisitas.

a) Pengujian Kadar Air Tanah

Sampel tanah diambil dari lokasi pada kedalaman \pm 1 meter dari permukaan tanah, kemudian sampel tanah dibungkus agar kadar air tidak berubah yang kemudian langsung ditimbang di laboratorium. Hasil dari uji kadar air tanah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \dots\dots\dots(5.1)$$

Di bawah ini adalah tabel hasil perhitungan uji kadar air sampel tanah Jombor yang ditunjukkan pada Tabel 5.4 sebagai berikut :

Tabel 5.4 Hasil uji kadar air tanah

| No | No. Pengujian | | 1 | 2 |
|----|---|--|-------|-------|
| 1 | Berat cawan kosong (W ₁) | gram | 21.83 | 21.96 |
| 2 | Berat cawan + tanah basah (W ₂) | gram | 41.95 | 44.12 |
| 3 | Berat cawan + tanah kering (W ₃) | Gram | 38.76 | 40.24 |
| 4 | Berat air (W ₂ - W ₃) | % | 3.19 | 3.88 |
| 5 | Berat tanah kering (W ₃ - W ₁) | Gram | 16.93 | 18.29 |
| 6 | Kadar air (W) | $\frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\%$ | 18.84 | 21.21 |
| 7 | Kadar air rata-rata (W _{rt}) (%) | | 20.03 | |

Contoh perhitungan kadar air (w) :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \%$$

$$w = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \%$$

$$w = \frac{41,95 - 38,76}{38,76 - 21,83} \times 100 \%$$

$$w = 18,84 \%$$

$$\text{Kadar air rata-rata } (w_{rt}), (\%) = \frac{18,84 + 21,21}{2} = 20,03 \%$$

b) Pengujian Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air destilasi di udara dengan volume yang sama pada suhu tertentu, biasanya diambil suhu 27^o C.

Hasil dari pengujian berat jenis tanah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$G_s (t^{\circ}) = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \dots\dots\dots(5.2)$$

$$G_s (27^{\circ}) = G_s (t^{\circ}) \times \frac{B_{\text{jair } t^{\circ}}}{B_{\text{jair } 27,5^{\circ}}} \dots\dots\dots(5.3)$$

Di bawah ini adalah tabel hasil perhitungan uji berat jenis sampel tanah Jombor yang ditunjukkan pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Hasil uji berat jenis tanah

| | No. Pengujian | 1 | 2 | 3 |
|----|--|--------|--------|-------|
| 1 | Berat piknometer kosong (W ₁) gram | 17.25 | 18.51 | 17.36 |
| 2 | Berat piknometer + tanah kering (W ₂) gram | 22.16 | 23.19 | 25.07 |
| 3 | Berat piknometer + tanah + air (W ₃) gram | 44.22 | 45.23 | 47.24 |
| 4 | Berat piknometer + air (W ₄) gram | 41.26 | 42.35 | 42.54 |
| 5 | Temperatur (t°) | 24 | 24 | 24 |
| 6 | BJ pada temperatur (t°) | 0.9973 | 0.9973 | 0.997 |
| 7 | BJ pada temperatur (27,5°) | 0.9964 | 0.9964 | 0.996 |
| 8 | Berat jenis tanah G _s (t°) = $\frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$ | 2.52 | 2.60 | 2.56 |
| 9 | Berat jenis tanah pada 27,5° = $G_s(t^\circ) \frac{B_j \text{ air } t^\circ}{B_j \text{ air } 27,5^\circ}$ | 2.52 | 2.60 | 2.56 |
| 10 | Berat jenis rata-rata G _s rt | 2.56 | | |

Contoh perhitungan berat jenis tanah :

$$G_s(t^\circ) = \frac{(22,16 - 17,25)}{(41,26 - 17,25) - (44,22 - 22,16)}$$

$$= 2,52$$

$$G_s(27,5^\circ C) = 2,52 \times \frac{0,99733}{0,99641}$$

$$= 2,52$$

c) Pengujian Batas-Batas Konsistensi (*Atterberg Limits*)

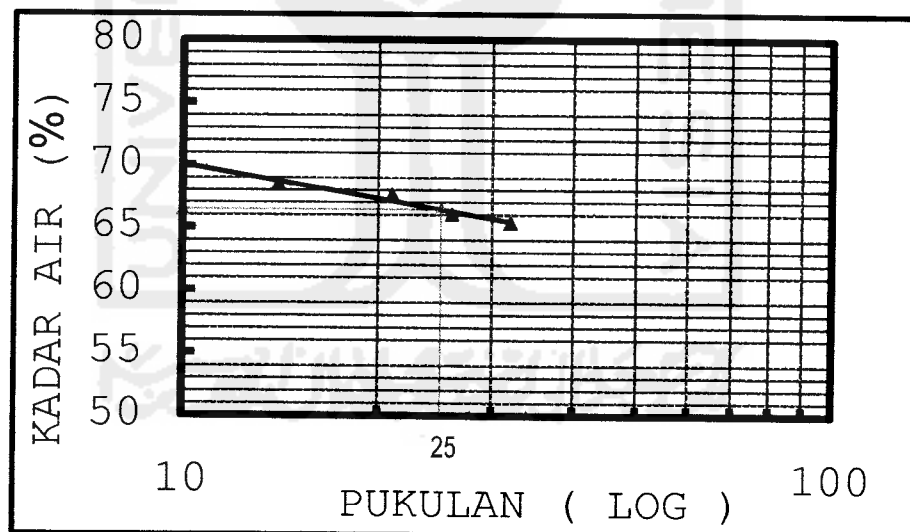
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat konsistensi tanah berbutir halus pada kadar air yang bervariasi. Pengujian batas konsistensi yang dilakukan meliputi : Pengujian batas cair, batas plastis dan batas susut.

1. Batas cair (*liquid limit*)

Maksud dari pengujian ini adalah untuk menentukan batas cair tanah. Batas cair tanah adalah kadar air tanah pada keadaan batas cair dan plastis. Dimana pada pengujian ini digunakan 4 buah sampel. Adapun hasil dari perhitungan batas cair sampel tanah Jombor ditunjukkan pada pada Tabel 5.6 dan akan diposisikan dalam grafik pada Gambar 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.6 Hasil pengujian batas cair

| No | Pengujian | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Kadar air | 68,52 | 67,61 | 66,04 | 65,36 |
| 2 | Pukulan | 14 | 21 | 26 | 32 |



Gambar 5.3 Grafik batas cair

Batas cair didapat dengan menarik garis vertikal pada 25 ketukan sehingga memotong kurva garis lurus, kemudian dari titik tersebut ditarik garis

horizontal sehingga memotong sumbu ordinat. Titik potong pada sumbu ordinat merupakan kadar air pada batas cair sampel tanah tersebut. Dari Gambar 5.3 didapat batas cair sampel tanah dari Jombor sebesar 66,42%.

2. Batas plastis (*plastic limit*)

Maksud dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar air pada kondisi batas plastis. Batas plastis adalah kadar air minimum suatu sampel tanah dalam keadaan plastis. Dari pengujian batas plastis, sampel Jombor mempunyai batas plastis 35,47%. Dengan didapatnya nilai batas cair dan batas plastis maka didapat nilai indeks plastisitas tanah dengan persamaan berikut :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots(5.4)$$

Dari perhitungan didapat nilai indeks plastisitas sampel tanah Jombor sebesar 30,95%.

Tabel 5.7 Hasil Uji Batas Plastis

| No | | | |
|----|---|-------|-------|
| 1 | No. cawan | 1 | 2 |
| 2 | Berat cawan kosong | 21.79 | 21.90 |
| 3 | Berat cawan + tanah basah | 31.37 | 32.33 |
| 4 | Berat cawan + tanah kering | 28.87 | 29.59 |
| 5 | Berat air (3)-(4) | 2.50 | 2.74 |
| 6 | Berat tanah kering (4)-(2) | 7.08 | 7.69 |
| 7 | Kadar Air = $\frac{(5)}{(6)} \times 100 \%$ | 35.31 | 35.63 |
| 8 | Kadar air rata-rata pada batas plastis | 35.47 | |

3. Batas susut (*shrinkage limit*)

Batas susut tanah adalah kadar air maksimum pada sebuah sampel tanah sedemikian rupa, sehingga pengurangan kadar air selanjutnya tidak menyebabkan berkurangnya volume tanah. Dari pengujian batas susut, sampel Jombor mempunyai batas susut sebesar 19,92%.

Tabel 5.8 Hasil Uji Batas Susut

| 1 | No. Pengujian | 1 | | 2 | | 3 | |
|----|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2 | Berat jenis | 2.56 | | 2.56 | | 2.56 | |
| 3 | Berat cawan susut (w1) gram | 40.19 | 41.64 | 45.28 | 46.14 | 43.24 | 40.86 |
| 4 | Berat cawan + tanah basah (w2) gram | 65.69 | 66.64 | 67.99 | 68.99 | 67.23 | 63.72 |
| 5 | Berat cawan + tanah kering (w3) gram | 50.71 | 52.96 | 56.87 | 57.43 | 55.84 | 53.62 |
| 6 | Berat air raksa yg terdesak + gelas ukur (w4) gram | 148.39 | 150.25 | 151.45 | 149.16 | 161.05 | 163.02 |
| 7 | Berat gelas ukur (w5) gram | 60.25 | 60.25 | 60.25 | 60.25 | 60.25 | 60.25 |
| 8 | Berat air raksa (w4 - W5) gram | 88.14 | 90 | 91.2 | 88.91 | 100.8 | 102.77 |
| 9 | Volume tanah kering : $V_o = (w4 - w5)/13,60$ | 6.48 | 6.62 | 6.71 | 6.54 | 7.41 | 7.56 |
| 10 | Batas susut tanah : $SL = [(V_o/(w3 - w1)) - (1/G_s)] \times 100\%$ | 22.54 | 19.40 | 18.80 | 18.84 | 19.76 | 20.16 |
| 11 | Batas susut tanah rata-rata (SL) rata-rata | 19.92 | | | | | |

Hasil pengujian sifat-sifat mekanis sampel tanah Jombor, Klaten, Jawa Tengah dapat dilihat pada Tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.9 Nilai hasil uji sifat-sifat mekanis tanah Jombor

| No. | Sifat mekanis tanah | Hasil |
|-----|---------------------------------------|-------|
| 1 | Kadar air (w), tanah asli disturb (%) | 20,03 |
| 2 | Berat jenis (Gs) | 2,58 |
| 3 | Batas cair (LL) (%) | 66,42 |
| 4 | atas plastis (PL) (%) | 35,47 |
| 5 | Batas susut (SL) (%) | 19,92 |
| 6 | Indeks plastisitas (IP) (%) | 30,95 |

5.1.3 Uji Konsolidasi

Sampel yang digunakan untuk uji konsolidasi ini adalah tanah asli terganggu. Uji konsolidasi dilakukan untuk menentukan tinggi efektif angka pori (e), mendapatkan indek kompresi (Cc), koefisien konsolidasi (Cv)

A. Uji Konsolidasi Tanah Asli

Pengujian konsolidasi untuk sampel benda uji tanah asli pada pengujian pertama (sampel tanah asli I)

Data-data sebelum pengujian :

| | | |
|-----------------------------|-----------|-------------------------|
| Berat jenis tanah (G_s) | (G_s) | = 2,56 |
| Berat ring | (W_0) | = 117,58 gram |
| Diameter ring | (d) | = 7,5 cm |
| Tinggi ring | | = 2 cm |
| Luas ring | (A_0) | = 44,18 cm ² |
| Volume ring | (V_0) | = 88,36 cm ³ |
| Kadar air tanah | (w) | = 32,63 % |

Parameter sebelum pengujian :

| | | |
|--------------------------|-----------|--|
| Berat ring + tanah basah | (W_1) | = 264,38 gr |
| Berat tanah basah | (W_b) | = $W_1 - W_0$ = 264,38 - 117,58 = 146,8 gr |

$$\begin{aligned} \text{Berat volume tanah basah } (\gamma_b) &= \frac{W_b}{V} \\ &= \frac{146,8}{88,36} \\ &= 1,66 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah kering } (W_k) &= \frac{W_b}{1 + w} \\ &= \frac{146,38}{1 + 0,3263} \\ &= 110,367 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume tanah kering } (\gamma_d) &= \frac{W_k}{V} \\ &= \frac{110,367}{88,36} \\ &= 1,249 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi bagian padat } (H_t) = \frac{W_k}{G_s \cdot A_0}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{110,367}{2,56 \cdot 44,18} \\
 &= 0,98 \text{ cm} \\
 \text{Angka pori} \quad (e_0) &= \frac{H_0 - H_t}{H_t} \\
 &= \frac{2,00 - 0,98}{0,98} \\
 &= 1,036 \\
 \text{Derajat kejenuhan} \quad (Sr) &= \left(\frac{w_0 \cdot G_s}{e_0} \right) \times 100 \% \\
 &= \left(\frac{0,3263 \cdot 2,56}{1,036} \right) \times 100 \% \\
 &= 80,33 \%
 \end{aligned}$$

Untuk lebih jelasnya hasil dari perhitungan parameter tanah sebelum pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Nilai parameter tanah sebelum pengujian

| | |
|--|--------------------------|
| Berat ring + tanah basah (W1) | 264,38 gr |
| Berat volume tanah basah (γ_b) | 1,66 gr/cm ³ |
| Berat volume tanah kering (γ_d) | 1,275 gr/cm ³ |
| Tinggi bagian padat (Ht) | 0,996 cm |
| Angka pori (e_0) | 1,036 |
| Derajat kejenuhan (Sr) | 80,33 % |

1. Pengujian konsolidasi dengan beban 0,25 kg/cm²

Perhitungan untuk beban 0,25 kg/cm²

Pembacaan beban 0,00 kg/cm², (H_1) = 0,000 mm

Pembacaan beban 0,25 kg/cm², (H_2) = -0,021 mm

Tinggi bagian padat (Ht) = 0,994 cm

Analisis :

$$\begin{aligned} \text{Perubahan tebal} \quad (\Delta H) &= H_2 - H_1 \\ &= -0,021 - (0,0000) \\ &= -0,0021 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Perubahan angka pori} \quad (\Delta e_1) &= \frac{\Delta H}{H_t} \\ &= \frac{-0,0021}{0,994} \\ &= -0,002 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angka pori} \quad (e_0) &= e_0 - \Delta e_1 \\ &= 1,036 - (-0,002) \\ &= 1,038 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal akhir} \quad (H) &= H_0 - \Delta H \\ &= 2,0 - (-0,0021) \\ &= 2,002 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal rata-rata} \quad (d) &= \left(\frac{H_0 + H}{2} \right) \\ &= \left(\frac{2,0 + 2,0021}{2} \right) \\ &= 2,00105 \text{ cm} \end{aligned}$$

2. Pengujian konsolidasi untuk beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dan beban $0,50 \text{ kg/cm}^2$
Perhitungan untuk beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dan beban $0,50 \text{ kg/cm}^2$

Pembacaan beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$, $(H_1) = -0,021 \text{ mm}$

Pembacaan beban $0,50 \text{ kg/cm}^2$, $(H_2) = 0,0780 \text{ mm}$

$H_1 = 2,002 \text{ cm}$ (tebal akhir beban $0,00 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,25 \text{ kg/cm}^2$)

$H_t = 0,994 \text{ cm}$

$e_0 = 1,038$

Analisis :

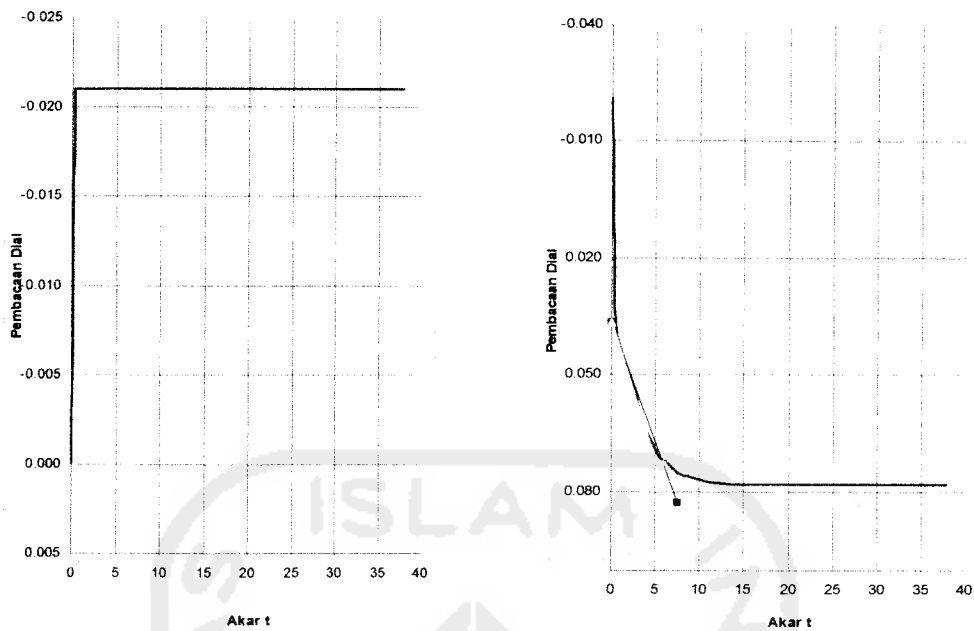
$$\begin{aligned} \text{Perubahan tebal} \quad (\Delta H) &= H_2 - H_1 \\ &= 0,0780 - (-0,021) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0099 \text{ cm} \\
 \text{Perubahan angka pori } (\Delta e_2) &= \frac{\Delta H}{H_t} \\
 &= \frac{0,099}{0,994} \\
 &= 0,010 \\
 \text{Angka pori } (e_2) &= e_0 - \Delta e_2 \\
 &= 1,038 - (0,010) \\
 &= 1,028 \\
 \text{Indeks kompresi } (Cc) &= \frac{\Delta e_2}{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)} \\
 &= \frac{0,010}{\log\left(\frac{0,50}{0,25}\right)} \\
 &= 0,033 \\
 \text{Tebal akhir } (H) &= H_1 - \Delta H \\
 &= 2,002 - 0,0099 \\
 &= 1,992 \text{ cm} \\
 \text{Tebal rata-rata } (d) &= \left(\frac{H_1 + H}{2}\right) \\
 &= \left(\frac{2,002 + 1,992}{2}\right) \\
 &= 1,997 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Pembacaan dial pembebanan dan akar waktu penurunan untuk beban 0,25 kg/cm² dan beban 0,50 kg/cm² dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan pada Gambar 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.10 Pembacaan dial untuk beban 0,25 kg/cm² dan 0,50 kg/cm²

| Waktu Pembacaan | | Pembacaan Dial | |
|-----------------|------------|----------------|--------|
| t | \sqrt{t} | 0.25 | 0.5 |
| 0 | 0 | 0 | -0.021 |
| 5,40" | 0.300 | -0.021 | 0.024 |
| 15,00" | 0.5 | -0.021 | 0.037 |
| 29,40" | 0.7 | -0.021 | 0.042 |
| 1,00" | 1.0 | -0.021 | 0.048 |
| 2,25" | 1.5 | -0.021 | 0.050 |
| 4,00" | 2.0 | -0.021 | 0.055 |
| 6,25" | 2.5 | -0.021 | 0.059 |
| 9,00" | 3.0 | -0.021 | 0.062 |
| 12,25" | 3.5 | -0.021 | 0.066 |
| 16,00" | 4.0 | -0.021 | 0.068 |
| 25,00" | 5.0 | -0.021 | 0.071 |
| 36,00" | 5.8 | -0.021 | 0.076 |
| 49,00" | 6.9 | -0.021 | 0.078 |
| 64,00" | 8.0 | -0.021 | 0.078 |
| 81,00" | 9.6 | -0.021 | 0.078 |
| 100,00" | 10.0 | -0.021 | 0.078 |
| 121,00" | 11.0 | -0.021 | 0.078 |
| 144,00" | 12.0 | -0.021 | 0.078 |
| 225,00" | 15.0 | -0.021 | 0.078 |
| 400,00" | 20.0 | -0.021 | 0.078 |
| 1440,00" | 37.9 | -0.021 | 0.078 |



Gambar 5.4 Grafik hubungan antara penurunan dan akar waktu
Beban $0,25\text{kg/cm}^2$ dan $0,50\text{ kg/cm}^2$

Akar waktu ($\sqrt{t_{90}}$) yang dihasilkan dari pembacaan grafik untuk beban $0,25\text{ kg/cm}^2$ adalah 0 menit, sehingga $t_{90} = 0^2 \cdot 60 = 0$ detik. Tebal rata-rata (d) yang digunakan adalah tebal rata-rata (d) pada pembebanan $0,00\text{ kg/cm}^2$ dan $0,25\text{ kg/cm}^2$ yaitu $2,00105\text{ cm}$.

$$C_v = \frac{0,848 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}{t_{90}}$$

$$= \frac{0,848 \cdot \left(\frac{2,00105}{2}\right)^2}{t_{90}}$$

$$= 0\text{ cm}^2/\text{detik}.$$

Akar waktu ($\sqrt{t_{90}}$) untuk pembebanan $0,50\text{ kg/cm}^2$ adalah 5,9 menit, sehingga $t_{90} = 5,9^2 \cdot 60 = 2088,6$ detik. Tebal rata-rata (d) yang digunakan adalah tebal rata-rata (d) pada pembebanan $0,25\text{ kg/cm}^2$ dan $0,50\text{ kg/cm}^2$ yaitu $1,99715\text{ cm}$.

tebal rata-rata (d) pada pembebanan $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,50 \text{ kg/cm}^2$ yaitu $1,99715 \text{ cm}$.

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{0,848 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}{t_{90}} \\ &= \frac{0,848 \cdot \left(\frac{1,99715}{2}\right)^2}{2088,6} \\ &= 0,001603 \text{ cm}^2/\text{detik}. \end{aligned}$$

3. Pengujian konsolidasi untuk beban $0,50 \text{ kg/cm}^2$ dan beban $1,00 \text{ kg/cm}^2$
Perhitungan untuk beban $0,50 \text{ kg/cm}^2$ dan beban $1,00 \text{ kg/cm}^2$

Pembacaan beban $0,50 \text{ kg/cm}^2$, (H_1) = $0,078 \text{ mm}$

Pembacaan beban $1,00 \text{ kg/cm}^2$, (H_2) = $0,542 \text{ mm}$

$H_2 = 1,992 \text{ cm}$ (tebal akhir beban $0,25 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,50 \text{ kg/cm}^2$)

$H_t = 0,994 \text{ cm}$

$e_2 = 1,028$

Analisis :

Perubahan tebal $(\Delta H) = H_2 - H_1$

$$\begin{aligned} &= 0,542 - (0,078) \\ &= 0,464 \text{ mm} \\ &= 0,0464 \text{ cm} \end{aligned}$$

Perubahan angka pori $(\Delta e_3) = \frac{\Delta H}{H_t}$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,0464}{0,994} \\ &= 0,047 \end{aligned}$$

Angka pori $(e_3) = e_1 - \Delta e_3$

$$\begin{aligned} &= 1,028 - 0,047 \\ &= 0,980 \end{aligned}$$

Indeks kompresi $(C_c) = \frac{\Delta e_3}{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$

$$= \frac{0,047}{\log\left(\frac{1,00}{0,50}\right)}$$

$$= 0,157$$

Tebal akhir (H) = $H_2 - \Delta H$

$$= 1,992 - 0,0464$$

$$= 1,946 \text{ cm}$$

Tebal rata-rata (d) = $\left(\frac{H_2 + H}{2}\right)$

$$= \left(\frac{1,992 + 1,946}{2}\right)$$

$$= 1,969 \text{ cm}$$

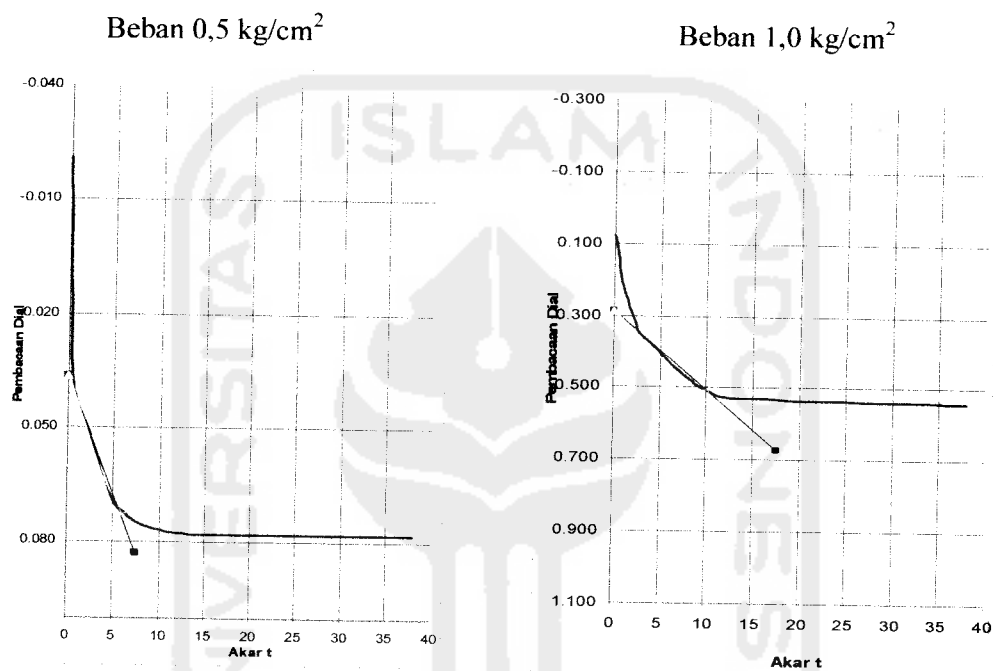
Pembacaan dial pembebanan dan akar waktu penurunan untuk beban 0,50 kg/cm² dan beban 1,00 kg/cm² dapat dilihat pada Tabel 5.11 dan pada Gambar 5.5 berikut ini.

Tabel 5.11 Pembacaan dial untuk beban 0,50 kg/cm² dan beban 1,00 kg/cm²

| Waktu Pembacaan | | Pembacaan Dial | |
|-----------------|------------|----------------|-------|
| t | \sqrt{t} | 0.5 | 1 |
| 0 | 0 | -0.021 | 0.078 |
| 5,40" | 0.300 | 0.024 | 0.102 |
| 15,00" | 0.5 | 0.037 | 0.130 |
| 29,40" | 0.7 | 0.042 | 0.204 |
| 1,00" | 1.0 | 0.047 | 0.276 |
| 2,25" | 1.5 | 0.051 | 0.319 |
| 4,00" | 2.0 | 0.053 | 0.335 |
| 6,25" | 2.5 | 0.055 | 0.354 |
| 9,00" | 3.0 | 0.058 | 0.364 |
| 12,25" | 3.5 | 0.064 | 0.375 |
| 16,00" | 4.0 | 0.071 | 0.413 |
| 25,00" | 5.0 | 0.072 | 0.420 |
| 36,00" | 5.8 | 0.073 | 0.432 |
| 49,00" | 6.9 | 0.073 | 0.439 |
| 64,00" | 8.0 | 0.075 | 0.474 |
| 81,00" | 9.6 | 0.076 | 0.482 |
| 100,00" | 10.0 | 0.076 | 0.492 |

Lanjutan Tabel 5.11

| | | | |
|----------|------|-------|-------|
| 121,00" | 11.0 | 0.077 | 0.507 |
| 144,00" | 12.0 | 0.078 | 0.527 |
| 225,00" | 15.0 | 0.078 | 0.531 |
| 400,00" | 20.0 | 0.078 | 0.537 |
| 1440,00" | 37.9 | 0.078 | 0.542 |



Gambar 5.5 Grafik hubungan antara penurunan dan akar waktu beban 0,50 kg/cm² dan beban 1,00 kg/cm²

Akar waktu ($\sqrt{t_{90}}$) yang dihasilkan dari pembacaan grafik untuk beban 0,50 kg/cm² adalah 5,93 menit sehingga $t_{90} = 5,93^2 \cdot 60 = 2109,894$ detik. Tebal rata-rata (d) yang digunakan adalah tebal rata-rata pada pembebanan 0,5 kg/cm² dan beban 1,0 kg/cm² yaitu 1,99715 cm.

$$Cv = \frac{0,848 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}{t_{90}}$$

$$= \frac{0,848 \cdot \left(\frac{1,99715}{2}\right)^2}{2109,894}$$

$$= 0,000401 \text{ cm}^2/\text{detik.}$$

Akar waktu untuk ($\sqrt{t_{90}}$) untuk pembebanan $1,00 \text{ kg/cm}^2$ adalah 10,24 menit, sehingga $t_{90} = 7,610^2 \cdot 60 = 3474,726$ detik. Tebal rata-rata (d) yang digunakan adalah tebal rata-rata (d) pada pembebanan $0,50 \text{ kg/cm}^2$ dan $1,00 \text{ kg/cm}^2$ yaitu $1,969 \text{ cm}$.

$$C_v = \frac{0,848 \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}{t_{90}}$$

$$= \frac{0,848 \cdot \left(\frac{1,969}{2}\right)^2}{3474,726}$$

$$= 0,000237 \text{ cm}^2/\text{detik.}$$

Selanjutnya dihitung untuk pembebanan $2,00; 4,00; 8,00; 16,00 \text{ kg/cm}^2$ dan beban rebound $4,00$ dan $1,00 \text{ kg/cm}^2$ dengan cara yang sama seperti diatas. Nilai C_c , C_v dan $\sqrt{t_{90}}$ dapat dilihat pada Tabel 5.12 dibawah ini.

Tabel 5.12 Hasil nilai C_c , C_v dan $\sqrt{t_{90}}$ tanah asli I

| Beban (kg/cm^2) | C_c | $\sqrt{t_{90}}$ (menit) | C_v (cm^2/detik) |
|-------------------------------|-------|----------------------------|---|
| 0,25 | 0,033 | 0,000 | 0 |
| 0,5 | 0,157 | 5,930 | 0,000401 |
| 1 | 0,364 | 7,610 | 0,000237 |
| 2 | 0,422 | 8,240 | 0,000186 |
| 4 | 0,378 | 10,630 | 0,000099 |
| 8 | 0,270 | 12,790 | 0,000059 |
| 16 | 0,072 | 12,00 | 0,000060 |

Data dan parameter setelah pengujian :

Pembacaan beban rebound 4,00 kg/cm², (H₁) = 4,574 mm

Pembacaan beban rebound 1,00 kg/cm², (H₂) = 4,266 mm

Berat cincin + tanah basah (W₂) = 273,75 gr

Berat cincin + tanah kering (W₃) = 241,82 gr

Analisis :

$$\begin{aligned} \text{Berat tanah kering } (W_k) &= W_3 - W_0 \\ &= 241,82 - 117,58 \\ &= 124,24 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar air } (w_r) &= \frac{W_2 - W_3}{W_k} \\ &= \frac{273,75 - 241,82}{124,24} \\ &= 25,70 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Perubahan tebal } (\Delta H) &= H_2 - H_1 \\ &= 4,266 - 4,574 \\ &= -0,308 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Perubahan angka pori } (\Delta e_r) &= \frac{\Delta H}{H_t} \\ &= \frac{-0,308}{0,994} \\ &= -0,309 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angka pori } (e_{sp}) &= e_{r1} - \Delta e_r \\ &= 0,5391 - (-0,309) \\ &= 0,870 \end{aligned}$$

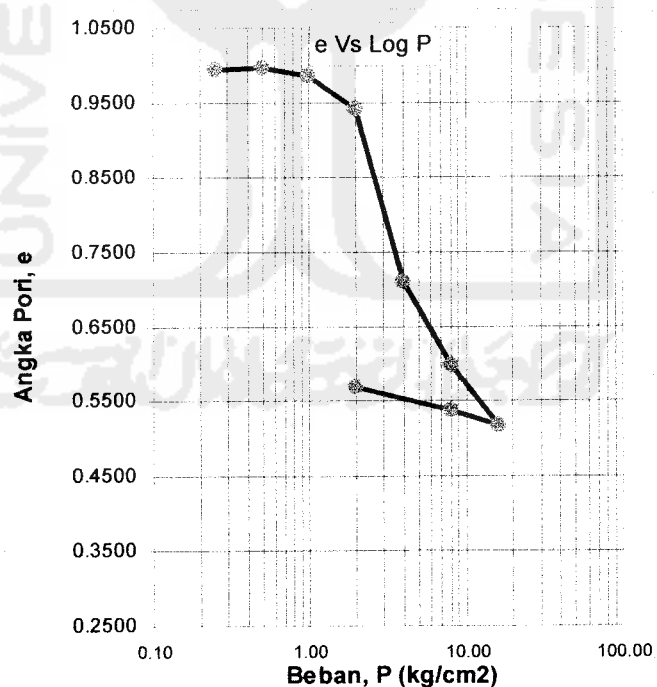
$$\begin{aligned} \text{Derajat kejenuhan } (S_r) &= \left(\frac{w_r \cdot G_s}{e_{sp}} \right) \times 100 \% \\ &= \left(\frac{0,2570 \cdot 2,56}{0,870} \right) \times 100 \% \\ &= 75,622 \% \end{aligned}$$

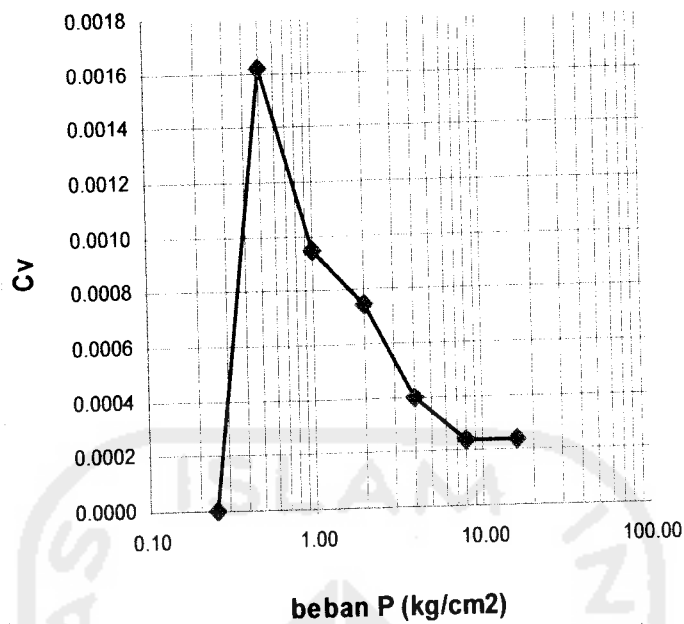
Hasil pengujian parameter tanah sesudah pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Hasil parameter tanah sesudah pengujian

| | |
|---------------------------------------|--------|
| Berat ring + tanah basah, W_2 (gr) | 273,75 |
| Berat ring + tanah kering, W_3 (gr) | 241,82 |
| Kadar air, (w) (%) | 25,70 |
| Angka pori, (e) (%) | 0,870 |
| Derajat kejenuhan, (Sr) (%) | 75,622 |

Grafik hubungan tegangan efektif dan angka pori dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan grafik hubungan pembebanan dan koefisien konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.





Gambar 5.7 Grafik hubungan pembebanan dan koefisien konsolidasi

Angka pori untuk menghitung C_c total

$$\text{Angka pori awal } (e_0) = 1,036$$

$$\text{Angka pori akhir } (e_r) = 0,570$$

Analisis :

$$C_c \text{ total} = \frac{\Delta e}{\log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)}$$

$$= \frac{e_0 - e_r}{\log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)}$$

$$= \frac{1,036 - 0,570}{\log \left(\frac{16}{0,25} \right)}$$

$$= 0,2580$$

Hasil perhitungan-perhitungan untuk sampel tanah asli II untuk pembebanan yang sama (beban 0,25; 0,50; 1,00; 2,00; 4,00; 8,00; 16,00 serta

beban rebound 4,0; dan 1,00 kg/cm²) seperti perhitungan pada tanah sampel I diatas dapat dilihat pada Tabel 5.14 dibawah ini.

Tabel 5.14 Hasil nilai Cc, Cv dan $\sqrt{t_{90}}$ tanah asli II

| Beban (kg/cm ²) | Cc | $\sqrt{t_{90}}$ (menit) | Cv (cm ² /detik) |
|--------------------------------|-------|----------------------------|--------------------------------|
| 0,25 | 0,031 | 0 | 0 |
| 0,5 | 0,158 | 6,19 | 0,000368 |
| 1 | 0,365 | 12 | 0,0000095 |
| 2 | 0,428 | 13,36 | 0,000071 |
| 4 | 0,348 | 14,32 | 0,000054 |
| 8 | 0,344 | 16,75 | 0,000035 |
| 16 | 0,149 | 21,68 | 0,000018 |

Dari hasil nilai Cc, Cv dan $\sqrt{t_{90}}$ tanah asli sampel II diperoleh :

$$\text{Angka pori awal } (e_0) = 1,015$$

$$\text{Angka pori akhir } (e_r) = 0,557$$

Sehingga

$$\begin{aligned} Cc \text{ total} &= \frac{\Delta_e}{\log\left(\frac{P_2}{P}\right)} \\ &= \frac{e_0 - e_r}{\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)} \\ &= \frac{1,015 - 0,557}{\log\left(\frac{16}{0,25}\right)} \\ &= 0,2535 \end{aligned}$$

Nilai Cc total rata-rata dari kedua sampel diatas dapat dilihat pada Tabel 5.15 dibawah ini.

Tabel 5.15 Nilai Cc total rata-rata tanah asli sampel I, dan II

| Jenis sampel | Cc total | Cc rata-rata |
|---------------|----------|----------------|
| Tanah asli I | 0,2580 | 0,25575 |
| Tanah asli II | 0,2535 | |

Selanjutnya hasil nilai Cc, Cv dan $\sqrt{t_{90}}$ dari kedua sampel diatas akan diambil nilai rata-rata yang hasilnya akan dapat kita lihat pada Tabel 5.16 berikut ini.

Tabel 5.16 Nilai Cc, Cv dan $\sqrt{t_{90}}$ tanah asli sampel I, dan II

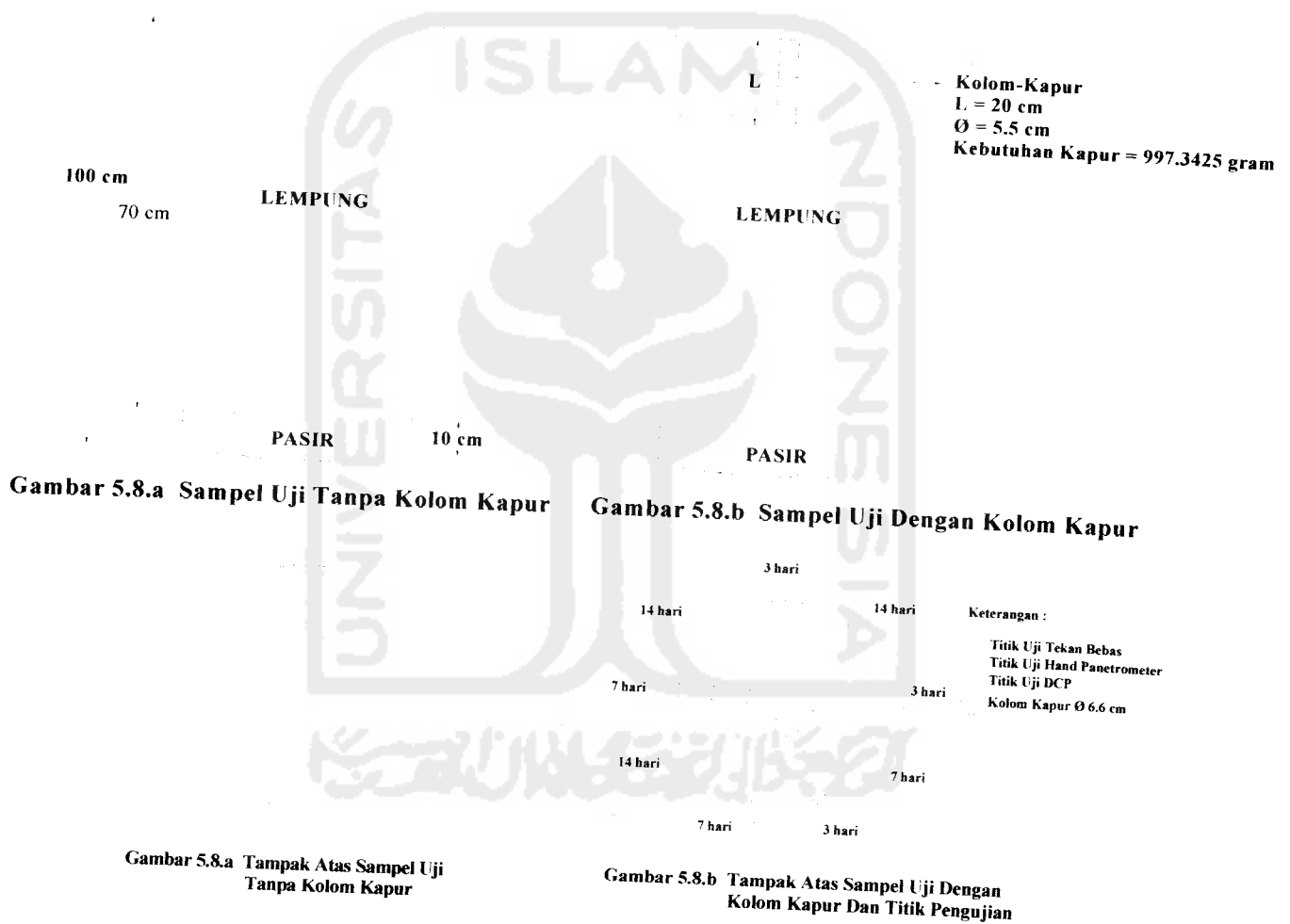
| Beban | Sampel I | | | Sampel II | | | Rata-rata | | |
|-------|----------|-----------------|----------|-----------|-----------------|----------|---------------|-----------------|------------------|
| | Cc | $\sqrt{t_{90}}$ | Cv | Cc | $\sqrt{t_{90}}$ | Cv | Cc | $\sqrt{t_{90}}$ | Cv |
| 0,25 | 0,033 | 0,000 | 0 | 0,031 | 0 | 0 | 0,032 | 0 | 0 |
| 0,5 | 0,157 | 5,930 | 0,000401 | 0,159 | 6,19 | 0,000368 | 0,158 | 6,06 | 0,0003845 |
| 1 | 0,364 | 7,610 | 0,000237 | 0,365 | 12 | 0,000095 | 0,3645 | 9,805 | 0,000166 |
| 2 | 0,422 | 8,240 | 0,000186 | 0,428 | 13,36 | 0,000283 | 0,425 | 10,8 | 0,0001285 |
| 4 | 0,378 | 10,630 | 0,000099 | 0,348 | 14,32 | 0,000071 | 0,363 | 12,475 | 0,0000765 |
| 8 | 0,270 | 12,790 | 0,000059 | 0,344 | 16,75 | 0,000054 | 0,307 | 14,77 | 0,000047 |
| 16 | 0,072 | 12,00 | 0,000060 | 0,149 | 21,68 | 0,000018 | 0,1105 | 16,84 | 0,000039 |

5.2 Pengujian Lanjutan

Pada tahap pengujian lanjutan yang meliputi uji tekan bebas, uji handpenetrometer dan uji penetrasi DPC diperoleh hasil sebagai berikut :

5.2.1 Uji Tekan Bebas

Dari hasil analisis data uji tekan bebas diperoleh hasil berupa tegangan dan regangan sebelum tanah uji diberi kolom-kapur dan setelah diberi kolom kapur yang diuji pada saat kolom-kapur berumur 3 hari, 7 hari dan 14 hari.



- Catatan : Gambar diatas tanpa skala

Table 5.17 Hasil Uji Tekan Bebas Tanpa Kolom-Kapur*

| | |
|---------------------------------------|---------|
| Tegangan q_u (kg/cm ²) | 0,23104 |
| Regangan ϵ (%) | 7,47 |
| α ° | 46 |
| Angle Of Internal Friction, Φ ° | 2 |
| Cohesion, c (kg/cm ²) | 0,112 |

*Hasil untuk semua titik dianggap sama.

Table 5.18 Hasil Uji Tekan Bebas Untuk Umur Kolom-Kapur 3 hari.

| Titik Uji | 1xD | 2xD | 3xD |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|
| Tegangan q_u (kg/cm ²) | 0,24829 | 0,27246 | 0,31414 |
| Regangan ϵ (%) | 9,60 | 9,07 | 10,13 |
| α ° | 49 | 46 | 46 |
| Angle Of Internal Friction, Φ ° | 8 | 2 | 2 |
| Cohesion, c (kg/cm ²) | 0,108 | 0,132 | 0,152 |

Tabel 5.19 Hasil Uji Tekan Bebas Untuk Umur Kolom-Kapur 7 hari.

| Titik Uji | 1xD | 2xD | 3xD |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|
| Tegangan q_u (kg/cm ²) | 0,33059 | 0,35475 | 0,37919 |
| Regangan ϵ (%) | 11,73 | 11,20 | 10,67 |
| α ° | 46 | 52 | 48 |
| Angle Of Internal Friction, Φ ° | 2 | 14 | 6 |
| Cohesion, c (kg/cm ²) | 0,160 | 0,139 | 0,171 |

Tabel 5.20 Hasil Uji Tekan Bebas Untuk Umur Kolom-Kapur 14 hari.

| Titik Uji | 1xD | 2xD | 3xD |
|---------------------------------------|--------|--------|---------|
| Tegangan q_u (kg/cm ²) | 0,4238 | 0,4293 | 0,42886 |
| Regangan ϵ (%) | 10,67 | 9,60 | 9,60 |
| α ° | 63 | 73 | 47 |
| Angle Of Internal Friction, Φ ° | 36 | 56 | 4 |
| Cohesion, c (kg/cm ²) | 0,108 | 0,065 | 0,200 |

5.2.2 Uji Hand Penetrometer

Hasil uji hand penetrometer menunjukkan bahwa kuat dukung tanah sebelum diberi kolom-kapur sangat rendah, hal ini terlihat dengan tidak Bergeraknya jarum manometer saat ditekan sehingga kuat dukung tanah dianggap nol. Adapun hasil uji hand penetrometer setelah diberi kolom-kapur adalah sebagai berikut :

Tabel 5.21 Hasil Uji Hand Penetrometer Untuk Umur Kolom-Kapur 3 Hari

| Kedalaman (cm) | Penetrasi Konus (Kg/cm ²) | | |
|----------------|---------------------------------------|-------|-------|
| | 1 x D | 2 x D | 3 x D |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 51 | 54 | 53 |
| 10 | 63 | 60 | 61 |
| 15 | 70 | 69 | 67 |
| 20 | 77 | 74 | 73 |

Tabel 5.22 Hasil Uji Hand Penetrometer Untuk Umur Kolom-Kapur 7 Hari

| Kedalaman (cm) | Penetrasi Konus (Kg/cm ²) | | |
|----------------|---------------------------------------|-------|-------|
| | 1 x D | 2 x D | 3 x D |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 54 | 56 | 57 |
| 10 | 65 | 67 | 69 |
| 15 | 74 | 78 | 76 |
| 20 | 79 | 81 | 83 |

Tabel 5.23 Hasil Uji Hand Penetrometer Untuk Umur Kolom-Kapur 14 Hari

| Kedalaman (cm) | Penetrasi Konus (Kg/cm ²) | | |
|----------------|---------------------------------------|-------|-------|
| | 1 x D | 2 x D | 3 x D |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 60 | 62 | 64 |
| 10 | 76 | 77 | 74 |
| 15 | 79 | 80 | 81 |
| 20 | 82 | 86 | 89 |

5.2.3 Uji Penetrasi Menggunakan Alat DCP (Dynamic Cone Penetrometer)

Uji penetrasi dimaksudkan untuk mengetahui kedalaman penetrasi tanah lanau yang diuji sehingga dapat diketahui seberapa besar daya dukung tanah. Hasil uji untuk satu kali pukulan seperti terlihat pada Tabel 5.23 berikut :

Table 5.24 Hasil Uji Penetrasi DCP Untuk Satu Kali Pukulan.

| Umur Kolom-Kapur | Kedalaman Penetrasi (cm) | | |
|-------------------|--------------------------|-------|-------|
| | 1 x D | 2 x D | 3 x D |
| Tanpa Kolom-Kapur | 80 | 80 | 80 |
| 3 Hari | 77 | 69 | 64 |
| 7 Hari | 71 | 62 | 58 |
| 14 Hari | 65 | 57 | 53 |

