

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pengujian dan Pengklasifikasian Tanah

Pada pengujian tanah yang bersifat fisis bertujuan untuk menentukan karakteristik tanah dalam pengklasifikasi tanah dengan menggunakan sistem USCS, sedangkan untuk pengujian mekanis dilakukan uji konsolidasi tanah pada tanah residu untuk mengetahui parameter pemampatan dan penurunan tanah.

Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2. Adapun rekapan hasil yang diperoleh dari pengujian sifat dasar tanah ini dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pengujian sifat dasar tanah

No.	Parameter	Hasil
1.	Kadar Air, $w$ %	39,83 %
2.	Berat Satuan, $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	17,96 kN/m <sup>3</sup>
3.	Berat Jenis, $G_s$	2,69
4.	Batas Cair, LL	73,00 %
5.	Batas Plastis, PL	29,01 %
6.	Indeks Plastisitas	43,99 %
7.	Analisa Lolos Saringan :	
	a. No. 10	100 %
	b. No. 20	99,33 %
	c. No. 40	95,51 %
	d. No. 60	90,30 %
	e. No. 140	83,53 %
	f. No. 200	63,15 %

Pada Tabel 4.1 pengujian analisa lolos saringan, sampel tanah pada KM. 117+800 ini termasuk ke dalam kelompok tanah berbutir halus. Dengan persentase tanah ukuran butirannya lolos saringan No.200 lebih dari 50%, yaitu sebanyak 63,15%. Grafik gradasi dapat dilihat pada Lampiran 7 (lanjutan).

Diketahui data konsolidasi sebagai berikut :

Tinggi ekuivalen bagian padat ( $H_s$ ) = 0,858 cm

Tinggi benda uji awal (H) = 1,90 cm

Maka :

Mencari angka pori awal (beban = 0 kg)

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{H - H_s}{H_s} \\
 &= \frac{1,90 - 0,858}{0,858} \\
 &= 1,214
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian oedometer untuk memperoleh angka pori secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian *oedometer*

Pembebanan (kg)	tekanan (kPa)	H (cm)	angka pori
0,00	0,00	1,91	1,058
0,50	5,18	1,90	1,052
1,00	10,36	1,89	1,040
2,00	20,72	1,89	1,034
4,00	41,45	1,84	0,981
8,00	82,90	1,78	0,920
4,00	41,45	1,78	0,920
2,00	20,72	1,79	0,923
1,00	10,36	1,79	0,930

Hasil pengujian konsolidasi pada Tabel 4.2 diplot ke dalam grafik hubungan tekanan (skala log) dengan angka pori agar didapat parameter konsolidasi, seperti  $C_c$  dan  $C_r$  yang digunakan dalam perhitungan penurunan.

Sebelum membuat grafik hubungan tekanan dan angka pori pada Gambar 4.2, terlebih dahulu harus menghitung tekanan *overburden* ( $\sigma_0$ ) yang dialami oleh tanah pada saat pengambilan sampel. Pada penelitian ini, sampel diambil pada kedalaman 50 cm. Perhitungan tekanan *overburden* ( $\sigma_0$ ) yang dialami tanah pada saat pengambilan sampel dapat dilihat dibawah ini.

Diketahui :

$$H = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\gamma_d = 12,85 \text{ kN/m}^3$$

$$w_{\text{rata-rata}} = 39,83 \%$$

Maka :

$$\begin{aligned} \gamma &= \gamma_d (1 + w) \\ &= 12,85 (1 + 0,3983) \\ &= 17,96 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \gamma \times H \\ &= 17,96 \times 0,5 \\ &= 8,96 \text{ kN/m}^2 = 8,96 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai  $m_v$  dan  $a_v$ , diperoleh dari grafik hubungan tekanan dan angka pori dapat dilihat pada Gambar 4.3. Contoh perhitungan dapat dilihat dibawah ini dengan persamaan 2.19 dan 2.20.

$$\sigma_1 = 0,179 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 0,85 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_1 = 1,038$$

$$e_2 = 0,920$$

maka

$$\begin{aligned} a_v &= \frac{e_1 - e_2}{\sigma_2 - \sigma_1} \\ &= \frac{1,038 - 0,920}{0,85 - 0,179} \\ &= 0,17 \text{ cm}^2 / \text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_v &= \frac{a_v}{1 + e_1} \\ &= \frac{0,17}{1 + 1,038} \\ &= 0,0860 \text{ cm}^2 / \text{kg} \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan  $a_v$  dan  $m_v$ 

$\sigma_1$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_2$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$e_1$	$e_2$	$a_v$ (cm <sup>2</sup> /kg)	$m_v$ (cm <sup>2</sup> /kg)
0,179	0,85	1,038	0,920	0,1758	0,0860
0,075	0,179	0,075	1,038	0,0385	0,0189
0,041	0,75	0,041	1,042	0,3240	0,1582
0,026	0,041	0,026	1,053	0,0670	0,0326
0,018	0,026	0,018	1,054	0,1251	0,0612
Rata-rata				0,146	0,071

Dari Lampiran 8 dapat diperoleh nilai  $C_c$ ,  $C_r$  dan OCR. Perhitungan dapat dilihat dibawah ini dengan menggunakan persamaan 2.21.

Diketahui :

$$e_0 = 1,058$$

$$e_c = 1,040$$

$$e_b = 0,444$$

$$\sigma_0 = 8,89 \text{ kPa}$$

$$\sigma_c = 29,96 \text{ kPa}$$

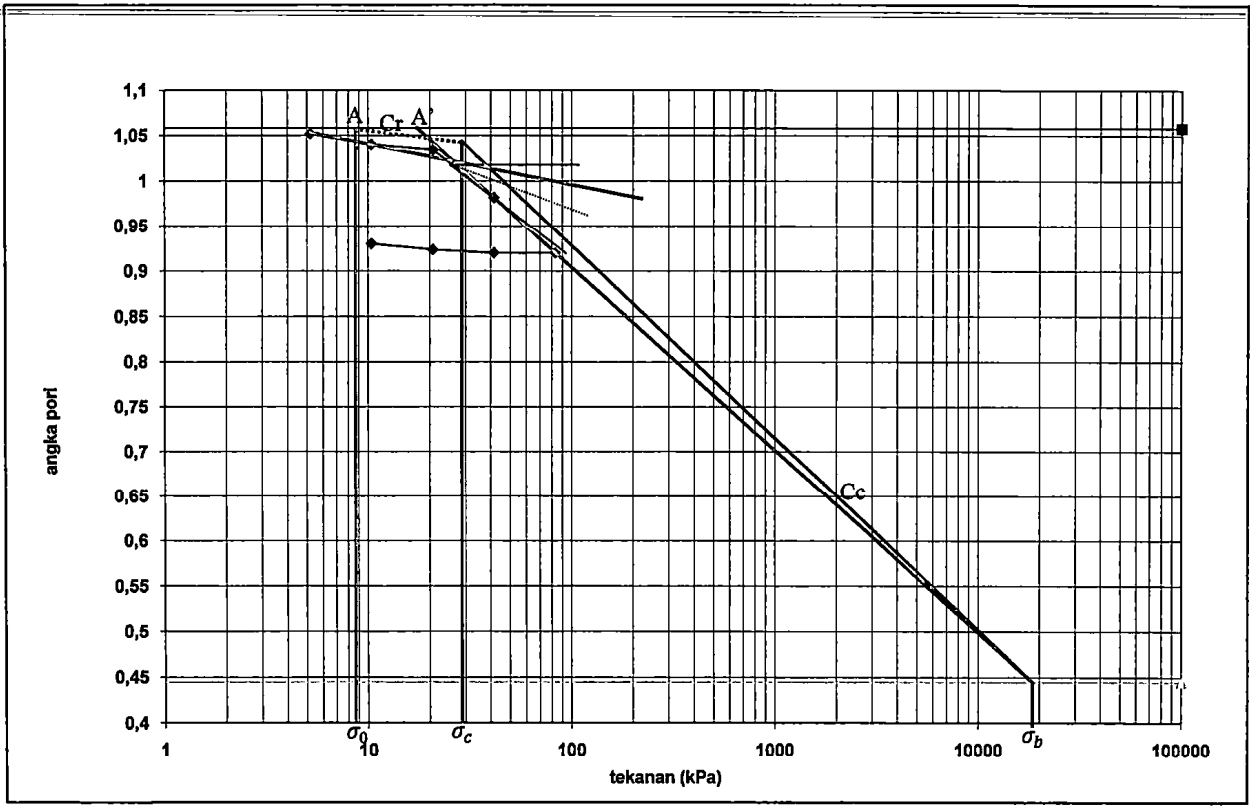
$$\sigma_b = 18302 \text{ kPa}$$

Maka :

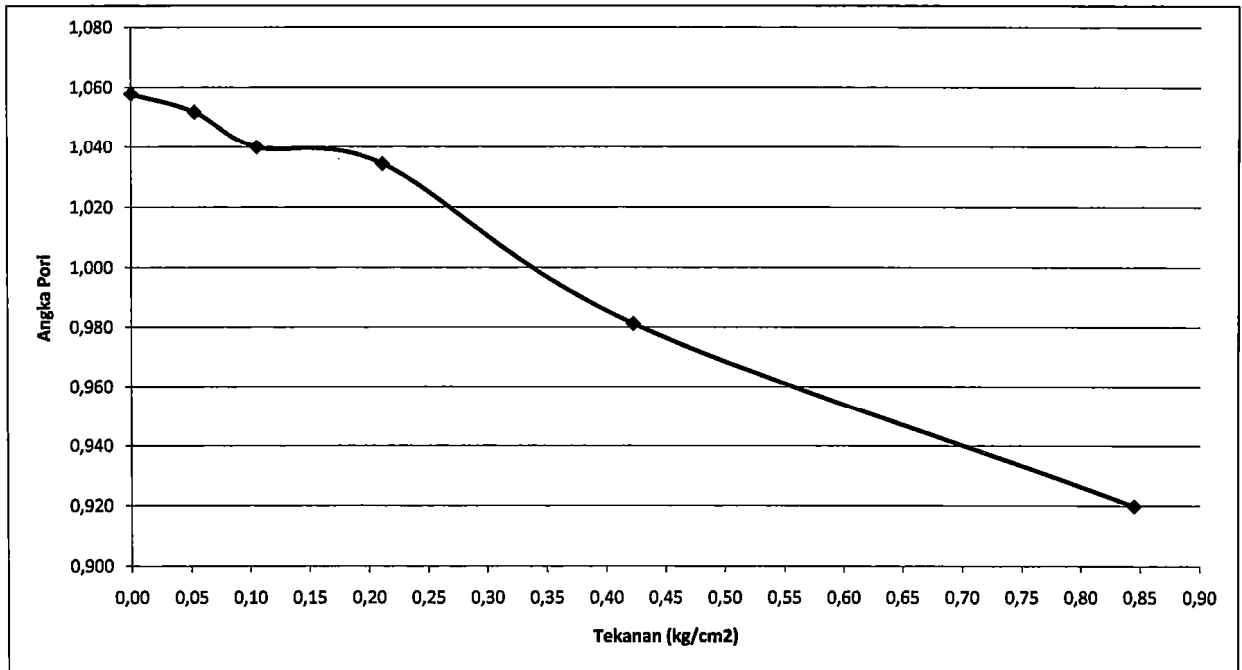
$$\begin{aligned} C_r &= \frac{(e_0 - e_c)}{\log \sigma_c - \log \sigma_0} \\ &= \frac{(1,058 - 1,040)}{\log(29,96) - \log(8,98)} \\ &= 0,03 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c &= \frac{(e_c - e_b)}{\log \sigma_b - \log \sigma_c} \\ &= \frac{(1,040 - 0,444)}{\log(18302) - \log(29,96)} \\ &= 0,21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OCR} &= \frac{\sigma_1}{\sigma_0} \\ &= \frac{29,98}{8,98} \\ &= 3,34 \end{aligned}$$



Gambar 4.2 Hubungan Tekanan (skala-log) dan Angka Pori



Gambar 4.3 Hubungan Tekanan dan Angka Pori

### C. Hasil Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan pada struktur jalan rel merupakan beban dinamis yang kemudian di distribusikan ke bantalan dan menimbulkan tekanan pada permukaan badan jalan rel. Tekanan pada jalan rel akan berkurang seiring dengan bertambahnya ke dalaman lapisannya.

Faktor indeks beban dinamik menurut Talbot dapat dihitung Persamaan 2.2.

Diketahui :

$$V_r = 150 \text{ km/jam}$$

Maka :

$$\begin{aligned} I_d &= 1 + 0,01 \left( \frac{v_r}{1,069} - 5 \right) \\ &= 1 + 0,01 \left( \frac{150}{1,069} - 5 \right) \\ &= 1,88225606 \end{aligned}$$

Untuk menentukan gaya vertikal pada jalan rel sebagai fungsi dari beban statik dapat dihitung dengan Persamaan 2.1.

Berdasarkan Peraturan Menteri No.60 Tahun 2012, diketahui :

Lebar jalan rel	= 1067 mm
Klasifikasi jalan rel	= jalan kelas I
Beban gandar	= 18 ton
Kecepatan rencana ( $V_{maks}$ )	= 120 Km/jam
Tipe rel	= R54
Jarak bantalan	= 600 mm = 60 cm
Momen inersia rel ( $I$ )	= 2346 cm <sup>4</sup>
Modulus jalan rel ( $k$ )	= 180 kg/cm <sup>2</sup>
Modulus elastisitas jalan rel ( $E$ )	= 2100000 kg/cm <sup>2</sup>
Panjang bantalan balok ( $L$ )	= 200 cm
Lebar bantalan balok ( $B$ )	= 25,3 cm
Tebal <i>ballast</i> total ( $d$ )	= 80 cm

Maka :

$$\begin{aligned} V_R &= 1,25 \times V_{maks} \\ &= 1,25 \times 120 \\ &= 150 \text{ Km/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{\text{Beban gandar}}{2} \\ &= \frac{18}{2} \\ &= 9 \text{ ton} \end{aligned}$$

Indeks beban dinamik dihitung menggunakan Persamaan 2.2, yaitu :

$$\begin{aligned} I_d &= 1 + 0,01 \left( \frac{V_R}{1,609} - 5 \right) \\ &= 1 + 0,01 \left( \frac{120}{1,609} - 5 \right) \\ &= 1,8823 \end{aligned}$$

Beban dinamik dihitung menggunakan Persamaan 2.1, yaitu :

$$\begin{aligned} P_d &= I_d \times P_s \\ &= 1,8823 \times 9 \\ &= 16,9403 \text{ ton} \\ &= 16940,3 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dumping faktor ( $\lambda$ ) dihitung menggunakan Persamaan 2.7, yaitu :

$$\begin{aligned} \lambda &= \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4(2100000)(2346)}} \\ &= 0,00978 \end{aligned}$$

Nilai  $x_1$  dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.6, yaitu :

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{1\pi}{4\lambda} \\ &= \frac{1\pi}{4(0,00978)} \\ &= 80,338 \text{ cm} \end{aligned}$$

Beban yang di distribusikan dari rel ke bantalan dihitung menggunakan Persamaan 2.5, yaitu :

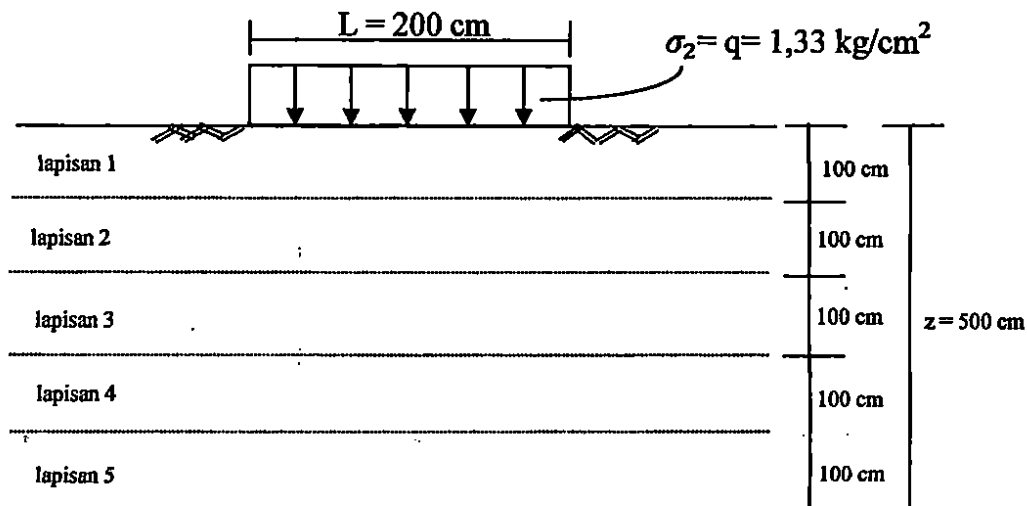


$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 0,786 \frac{P_d \times S}{x_1} \\
 &= 0,786 \frac{16940,3 \times 60}{80,338} \\
 &= 9944,24 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban yang diterima oleh tanah dasar ( $\sigma_2$ ) dihitung menggunakan Persamaan 2.3, yaitu :

$$\begin{aligned}
 \sigma_2 &= \frac{58,87 \times \sigma_1}{d^{1,25}} \\
 &= \frac{58,87 \times \left( \frac{3 \times 9944,24}{25,3 \times 200} \right)}{80^{1,25}} \\
 &= 1,33 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

#### D. Hasil Analisis Tegangan



Gambar 4.4 Analisis Tegangan

Untuk menghitung analisis tegangan vertikal, lapisan tanah dasar sedalam 500 cm dibagi menjadi beberapa lapisan seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.4 lebih kecil. Tegangan vertikal akibat beban yang bekerja di atas, dihitung menggunakan Persamaan 2.8. Contoh perhitungan pada lapisan 1, dapat dilihat di bawah ini.

Diketahui :

$$q = 1,33 \text{ kg/cm}^2$$

$$z = 100 \text{ cm}$$

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$B = 25,3 \text{ cm}$$

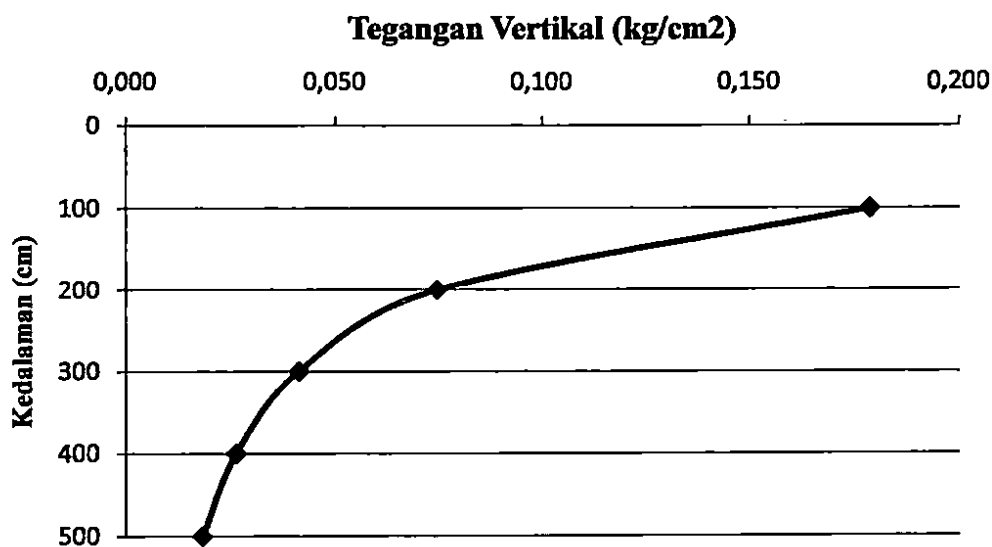
Maka :

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= \frac{qLB}{(L+z)(B+z)} \\ &= \frac{1,33 \times 200 \times 25,3}{(200+100)(25,3+100)} \\ &= 0,179 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Hasil analisis tegangan vertikal yang terjadi pada tanah dasar secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.4 Analisis Tegangan Vertikal

z (cm)	$\Delta\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )
100	0,179
200	0,075
300	0,041
400	0,026
500	0,018



Gambar 4.5 Hubungan Tegangan Vertikal dan Kedalaman

### E. Hasil Analisis Besar Penurunan

Besarnya penurunan tanah akibat beban yang bekerja di atasnya dibagi ke dalam dua kategori, yaitu :

#### 1. Penurunan segera ( $s_e$ )

Analisis perhitungan ini menggunakan persamaan teori elastis, yang didasarkan pada kondisi tanah yang seragam dan kedalaman tak hingga dengan menggunakan nilai tegangan yang diperoleh dari persamaan teori Boussineq dan metode empirik Talbolt. Perhitungan penurunan segera dapat dilihat dari perhitungan di bawah ini dengan menggunakan persamaan 2.24.

Diketahui :

$$z = 100 \text{ cm}$$

$$\Delta\sigma = 0,179 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$B = 25,3 \text{ cm}$$

$$\mu_s = 0,25$$

$$E_s = 20,09 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Lampiran 9)}$$

Maka :

Mencari faktor pengaruh ( $I_p$ ) dengan menggunakan Persamaan 2.25, yaitu :

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{1}{\pi} \left[ m_1 \ln \left( \frac{1 + \sqrt{m_1^2 + 1}}{m_1} \right) + \ln \left( m_1 + \sqrt{m_1^2 + 1} \right) \right] \\ &= \frac{1}{\pi} \left[ \frac{200}{25,3} \ln \left( \frac{1 + \sqrt{\frac{200^2}{25,3} + 1}}{\frac{200}{25,3}} \right) + \ln \left( \frac{200}{25,3} + \sqrt{\frac{200^2}{25,3} + 1} \right) \right] \\ &= 1,197 \end{aligned}$$

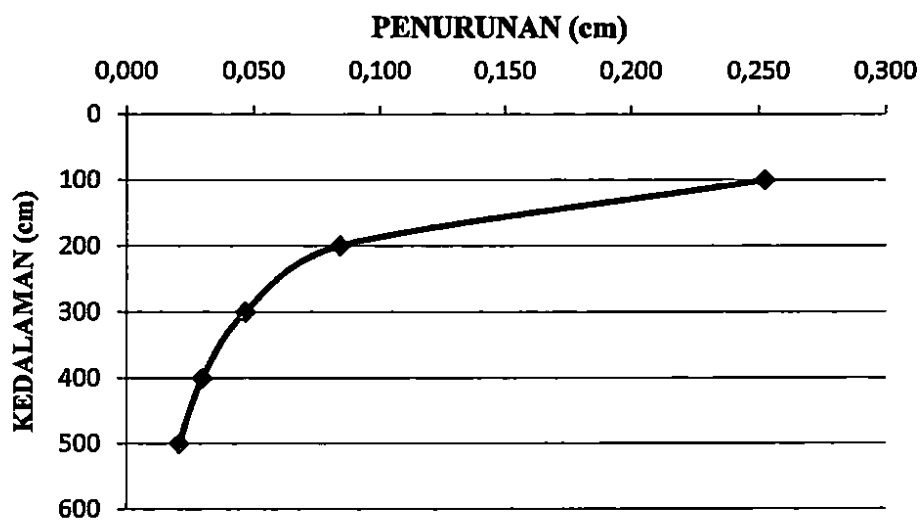
Menghitung besar penurunan segera dengan menggunakan Persamaan 2.24, yaitu :

$$\begin{aligned} S_e &= \Delta\sigma \cdot B \left( \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} \right) I_p \\ &= 0,179 \times 25,3 \left( \frac{1 - 0,25^2}{20,09} \right) 1,197 \\ &= 0,253 \text{ cm} \end{aligned}$$

Hasil analisis penurunan segera yang terjadi pada tanah dasar secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan di plot kedalam Gambar 4.6.

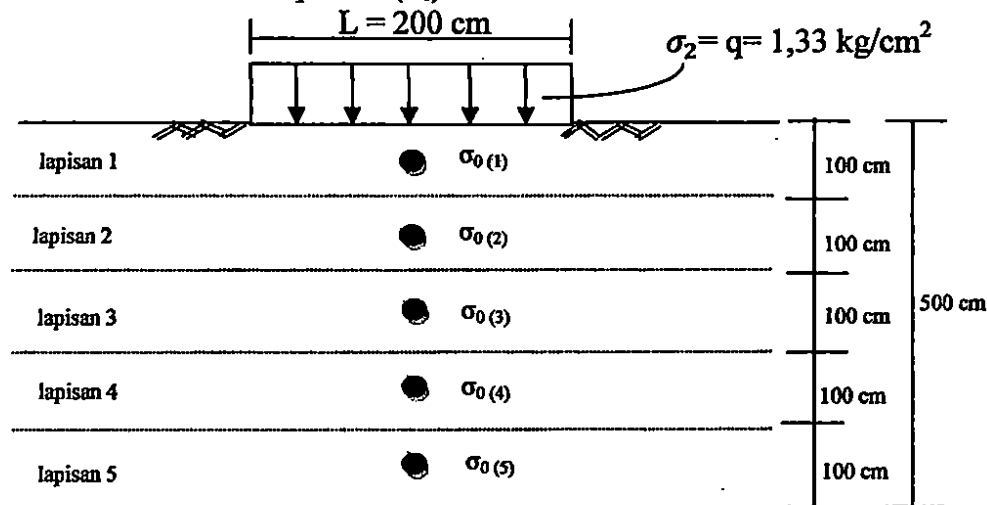
Tabel 4.5 Analisis Besar Penurunan Segera

z (cm)	$\Delta\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$S_e$ (cm)
100	0,179	0,253
200	0,075	0,084
300	0,041	0,047
400	0,026	0,030
500	0,018	0,021
	$S_{total}$	0,435



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Besar Penurunan Segera dan Kedalaman

Dari Tabel 4.5 dan Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa semakin bertambah kedalaman tanah yang ditinjau maka penurunan segera yang terjadi akan semakin berkurang.

2. Penurunan konsolidasi primer ( $S_c$ )

Gambar 4.7 Analisis Besar Penurunan Konsolidasi Primer

Gambar 4.8 merupakan penampang melintang dari analisis penurunan konsolidasi primer. Lapisan tanah dasar sedalam 500 cm dibagi menjadi lapisan-lapisan yang lebih kecil dan menghitung penambahan tegangan *overburden* ( $\sigma_0$ ) ditengah-tengah setiap lapisan. Sedangkan penambahan tegangan akibat beban yang bekerja pada setiap lapisan sama dengan penambahan beban vertikal pada analisis tegangan.

Diketahui :

$$z = 100 \text{ cm}$$

$$\Delta\sigma = 0,179 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c = 0,21$$

$$C_r = 0,03$$

$$e_0 = 1,058$$

$$\gamma = 17,96 \text{ kN/m}^3 = 0,001796 \text{ kg/cm}^3$$

$$H = 100 \text{ cm}$$

$$\sigma_c = 29,98 \text{ kPa} = 0,299 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_v = 0,09 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

Maka :

$$\begin{aligned}\sigma_{0(l)} &= \gamma H \\ &= 0,001796 \times \left(\frac{1}{2} \times 100\right) \\ &= 0,00898 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Karena  $\sigma_0 + \Delta\sigma < \sigma_c$ , maka menghitung besar penurunan konsolidasi primer dengan nilai  $C_c$  dan  $C_r$  menggunakan Persamaan 2.21, yaitu :

$$\begin{aligned}S_c &= \frac{C_r H}{1 + e_0} \log \left[ \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right] \\ &= \frac{0,03 \times 100}{1 + 1,058} \log \left[ \frac{0,0898 + 0,179}{0,0898} \right] \\ &= 0,7885 \text{ cm}\end{aligned}$$

Hasil analisis penurunan konsolidasi primer dengan menggunakan nilai  $C_c$  dan  $C_r$  yang terjadi pada tanah dasar secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan di plot kedalam Gambar 4.9.

Tabel 4.6 Analisis Besar Penurunan Primer ( $C_c$ ,  $C_r$ )

z (cm)	$\Delta\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'_0$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$S_c$ (cm)
100	0,179	0,0898	0,7885
200	0,075	0,2694	0,1758
300	0,041	0,4491	0,0633
400	0,026	0,6287	0,0295
500	0,018	0,8083	0,0161
Sc Total (cm)			1,0733

Sedangkan menghitung besar penurunan konsolidasi primer menggunakan nilai  $m_v$  dengan Persamaan 2.26, yaitu :

$$\begin{aligned}S_c &= m_v \Delta\sigma H \\ &= 0,086 \times 0,179 \times 100 \\ &= 1,536 \text{ cm}\end{aligned}$$

Hasil analisis penurunan konsolidasi primer dengan menggunakan nilai  $m_v$  yang terjadi pada tanah dasar secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Analisis besar penurunan primer ( $m_v$ ,  $a_v$ )

z (cm)	H (cm)	$m_v$ (cm <sup>2</sup> /kg)	$\Delta\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Sc (cm)
100	100	0,086	0,179	1,537
200	100	0,019	0,075	0,141
300	100	0,158	0,041	0,652
400	100	0,033	0,026	0,086
500	100	0,061	0,018	0,111
Sc Total (cm)				2,527

Dari Tabel 4.6 dan 4.7 nilai penurunan total konsolidasi primer yang diperoleh dengan menggunakan nilai  $m_v$  lebih besar dari metode yang menggunakan nilai  $C_c$  dan  $C_r$ .

#### F. Analisis Lama Waktu Penurunan

Hasil analisis lama penurunan dari grafik hubungan akar waktu terhadap pembacaan arloji pada Lampiran 8, diperoleh nilai koefisien konsolidasi  $c_v$  setiap penambahan tekanan dengan metode akar waktu menurut Taylor. Contoh perhitungan nilai  $c_v$  pada pembebanan 0,5 kg, dapat dilihat dibawah ini.

Diketahui :

$$T_v = 0,848 \text{ (untuk derajat konsolidasi } (U) = 90\%)$$

$$\sqrt{t_{90}} = 3,2 \text{ menit (Lampiran 8)}$$

$$H_{dr} = H \text{ benda uji konsolidasi (menggunakan 1 batu pori)} = 1,91 \text{ cm}$$

Maka :

$$c_v = \frac{T_v \times H_{dr}^2}{t_{90}}$$

$$= \frac{0,848 \times 1,91^2}{3,2^2}$$

$$= 0,494 \text{ cm}^2/\text{menit} = 8,2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{detik}$$

Hasil perhitungan Nilai  $c_v$  secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Nilai  $c_v$  untuk Setiap Pembebanan

Pembebanan (kg)	$\sqrt{t_{90}}$	$c_v$ (cm <sup>2</sup> /menit)	$c_v$ (cm <sup>2</sup> /detik)
0,5	3,2	0,967	$0,50 \times 10^{-2}$
1,0	3,4	0,910	$0,45 \times 10^{-2}$
2,0	2,9	1,067	$0,61 \times 10^{-2}$
4,0	1,7	1,820	$1,78 \times 10^{-2}$
8,0	2,1	1,473	$1,17 \times 10^{-2}$

Dari Tabel 4.8 nilai  $c_v$  rata-rata adalah  $0,90 \times 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/detik. Maka lama waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya penurunan adalah :

$$t = \frac{T_v \times H_{dr}^2}{c_v}$$

$$= \frac{0,848 \times 500^2}{0,0090}$$

$$= 23555555,56 \text{ detik} = 272,634 \text{ hari} = 9,088 \text{ bulan} = 0,75 \text{ tahun}$$

Oleh karena itu, penurunan total konsolidasi primer memerlukan waktu penurunan selama 0,75 tahun.