

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Gambaran Umum Proyek**

Permasalahan di lapangan pada proyek Bendungan Gondang yang terletak di Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah salah satunya adalah jenis tanah pada proyek tersebut merupakan jenis tanah yang bersifat lempung. Untuk tanah yang bersifat lempung, tanah memiliki permeabilitas yang rendah, kembang susut yang tinggi dan daya dukung tanah yang rendah.

Kondisi jenis tanah di atas dapat menyebabkan penurunan (*settlement*) pada bendungan tersebut, dan penurunan tersebut dapat berlangsung lama. Untuk mencegah penurunan yang terjadi dalam waktu yang lama, maka perlu adanya upaya untuk mempercepat penurunan yang terjadi, agar bendungan tersebut tidak mengalami penurunan saat konstruksi selesai dilaksanakan. Adapun upaya untuk mempercepat penurunan yang terjadi adalah dengan memberikan beban berupa timbunan (*preloading*) pada tubuh bendungan.

Analisis konsolidasi pada proyek bendungan ini menggunakan 2 cara, yaitu analisis manual (*Terzaghi*) dan analisis menggunakan pemodelan pada *software PLAXIS 8.2* dengan tinggi timbunan untuk *preloading* masing-masing 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dan masing-masing ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m.

#### **5.2 Analisis Data**

##### **5.2.1 Analisis Data dengan Metode *Terzaghi***

Dikarenakan data hasil *bore log* tidak ada, maka dibuat pemodelan tanah asli dengan berbagai ketebalan yang berbeda, yaitu 5 m, 35 m dan 70 m. Pada analisa ini timbunan dilakukan secara bertahap dengan tebal masing-masing timbunan adalah 1 (satu) meter. Untuk setiap ketebalan tanah timbunan dilakukan dengan tinggi timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m. Untuk ketebalan tanah 5 m, pemodelan dibuat menjadi 5 lapisan tanah dengan jarak antar lapisan tanah 1 m. Ketebalan tanah 35 m pemodelan dibuat menjadi 7 lapisan tanah dengan jarak

antar lapisan tanah 5 m, dan untuk ketebalan tanah 70 m dibuat menjadi 14 lapisan tanah. Hal ini bertujuan agar didapatkan hasil penurunan yang lebih mendetail per lapisan tanah tersebut. Untuk jarak waktu penimbunan dilakukan selama 100 (seratus) hari. Hasil laboratorium *index properties* tanah, *triaxial test*, dan *consolidation test* dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini.

**Tabel 5.1 Hasil Laboratorium Titik P-7**

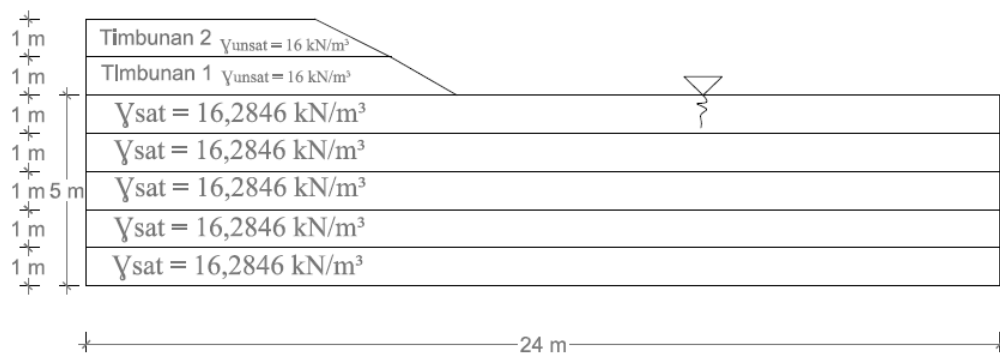
No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian Titik P-7
1	<b>Analisa Pembagian Butir (Gradasi)</b>		
	ASTM D2940-90; SNI 03-6388-2000		
	a. Kerikil	%	5,17
	b. Pasir	%	16,46
	c. Butiran Halus (Lanau + Lempung)	%	78,38
2	<b>Atterberg Limit (LL, PL, IP)</b>		
	ASTM D4318-00; SNI 03-1966-1990		
	SNI 03-1967-1990		
	a. Batas Cair (LL)		60,19
	b. Batas Plastis (PL)		31,01
	c. Index Plastis (IP)		29,18
3	Klasifikasi Menurut Sistem <i>AASHTO</i>		A-7-5
	Klasifikasi Menurut <i>USCS</i>		MH
4	<b>Berat Volume dan Spesific Gravity</b>		
	a. Berat volume tanah ( $\gamma_{wet}$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,585
	b. Berat volume kering ( $\gamma_{dry}$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,058
	c. Berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,66
	d. Kadar air (w)	%	49,9
	e. Derajat kejenuhan ( <i>Sr</i> )	%	86,64
	f. Porositas (n)		60,86
	g. Angka pori (e)		1,556
	h. <i>Spesific gravity</i> ( <i>Gs</i> )		2,703
5	<b>Proctor Standard</b>		
	ASTM D698-00; SNI 03-1742-1990		
	a. <i>Spesific grafity</i> ( <i>Gs</i> )		2,703
	b. Kadar air optimum ( <i>OMC</i> )	%	33,16
	c. Berat/volume tanah kering max ( $\gamma_{dmax}$ )	gr/cm <sup>3</sup>	1,298
	d. Berat volume	gr/cm <sup>3</sup>	1,728

Lanjutan Tabel 5.1 Hasil Laboratorium Titik P-7

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian Titik P-7
6	<i>Triaxial Compression Test</i>		
	ASTM D2850-00; SNI 03-2815-1992		
	a. Nilai sudut geser dalam ( $\phi$ )	.... <sup>0</sup>	15,34
	b. Nilai kohesi (c)	kg/cm <sup>2</sup>	0,148
7	<i>Consolidation Test</i>		
	SNI 03-6473-2000		
	a. Nilai koefisien permeability (k)	cm/det	2,12E-08
	b. Koefisien konsolidasi (Cv)	cm/det	0,0005051

## 1. Besar penurunan tanah

Berdasarkan data-data laboratorium, terlebih dahulu akan dihitung nilai  $C_c$  (*compression index*) dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.2. Besar penurunan tanah dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.16. Dibawah ini akan dilakukan contoh perhitungan untuk geometri timbunan 2 m dengan ketebalan lapisan tanah asli 5 m. Gambar potongan melintang tanah seperti pada Gambar 5.1 dibawah ini.



Gambar 5.1 Potongan Melintang Tanah

Dari data diperoleh parameter nilai sebagai berikut.

$$P1 = 0,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$P2 = 2 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_1 = 1,51$$

$$e_2 = 1,36$$

$$\Delta e = 0,15$$

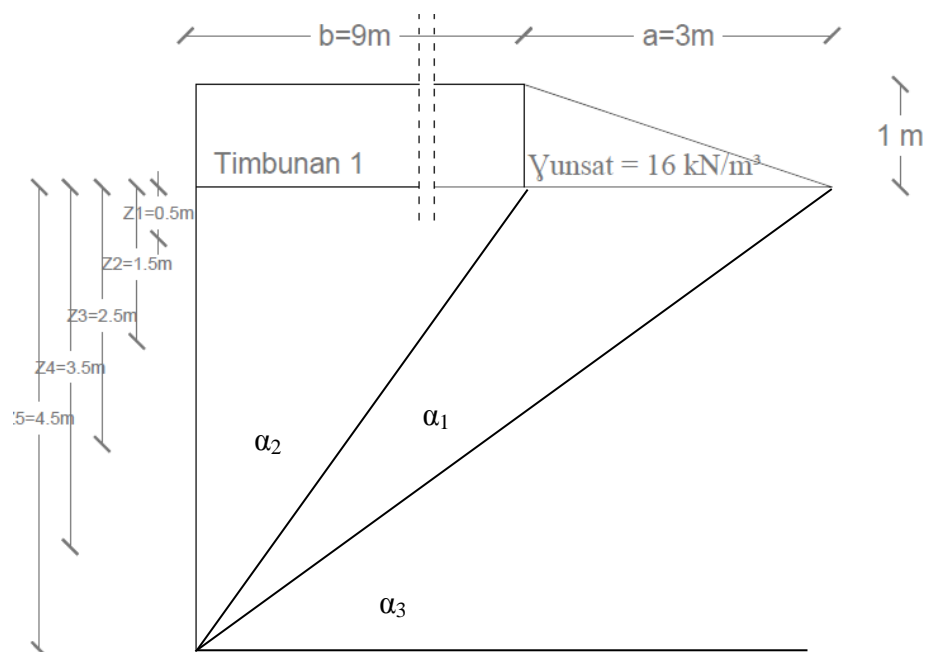
$$e_0 = 1,556$$

maka nilai  $C_c$  diperoleh sebagai berikut.

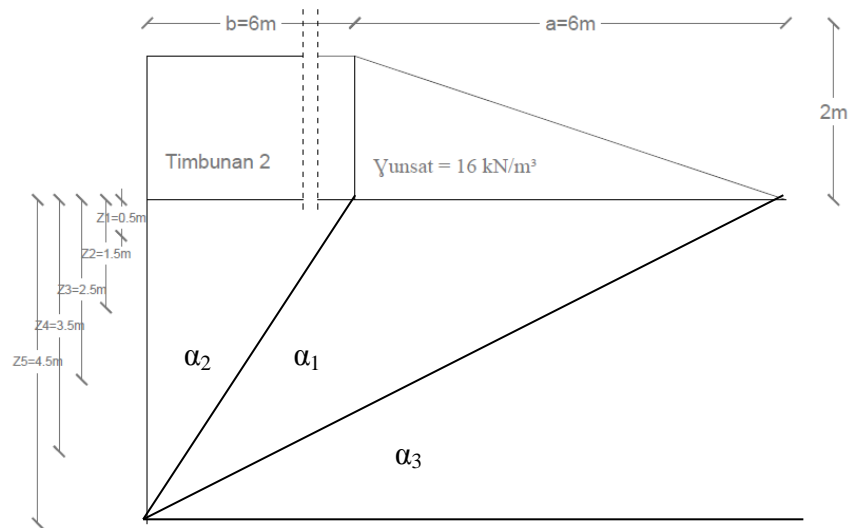
$$C_c = \frac{0,15}{\log\left(\frac{2}{0,5}\right)}$$

$$= 0,2491$$

$\Delta p$  untuk masing-masing lapisan tanah akibat timbunan dihitung menggunakan teori *Boussinesq* menggunakan persamaan pada Persamaan 3.18. Pemodelan untuk tambahan tegangan akibat timbunan ditunjukkan pada Gambar 5.2 dan 5.3. Untuk hasil akhir nilai  $\Delta p$ , hasilnya dikalikan 2. Ini disebabkan karena perhitungan dibawah ini hanya memperhitungkan setengah dari bentuk trapesium yang digunakan dalam pemodelan di *PLAXIS*.



**Gambar 5.2 Pemodelan Tambahan Tegangan Vertikal Timbunan 1 m Ketebalan Tanah 5 m**



**Gambar 5.3 Pemodelan Tambahan Tegangan Vertikal Timbunan 2 m Ketebalan Tanah 5 m**

a. Tahap 1 (akibat timbunan 1 m)

1) Lapis tanah 1 ( $z = 0,5$  m)

$$\Delta\sigma_{z1} = \left( \frac{16}{180} \left( \left\{ \frac{3+9}{3} \right\} (0,794 + 86,820) - \frac{9}{3} \times 86,820 \right) \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z1} = 15,99924 \text{ kN/m}^2$$

2) Lapis tanah 2 ( $z = 1,5$  m)

$$\Delta\sigma_{z2} = \left( \frac{16}{180} \left( \left\{ \frac{3+9}{3} \right\} (2,337 + 80,538) - \frac{9}{3} \times 80,538 \right) \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z2} = 15,97989 \text{ kN/m}^2$$

3) Lapis tanah 3 ( $z = 2,5$  m)

$$\Delta\sigma_{z3} = \left( \frac{16}{180} \left( \left\{ \frac{3+9}{3} \right\} (3,756 + 74,476) - \frac{9}{3} \times 74,476 \right) \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z3} = 15,91096 \text{ kN/m}^2$$

4) Lapis tanah 4 ( $z = 3,5$  m)

$$\Delta\sigma_{z4} = \left( \frac{16}{180} \left( \left\{ \frac{3+9}{3} \right\} (4,990 + 68,749) - \frac{9}{3} \times 68,749 \right) \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z4} = 15,77079 \text{ kN/m}^2$$

5) Lapis tanah 5 ( $z = 4,5$  m)

$$\Delta\sigma_{z5} = \left( \frac{16}{180} \left( \left\{ \frac{3+9}{3} \right\} (6,009 + 63,435) - \frac{9}{3} \times 63,435 \right) \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z5} = 15,5504 \text{ kN/m}^2$$

## b. Tahap 2 (akibat timbunan 2 m)

## 1) Lapis tanah 1 (z = 0,5 m)

$$\Delta\sigma_{z6} = \left( \frac{32}{180} \left( \left\{ \frac{6+6}{6} \right\} (2,378 + 83,236) - \frac{6}{6} \times 83,236 \right) - \Delta\sigma_{z1} \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z6} = 15,99873 \text{ kN/m}^2$$

## 2) Lapis tanah 2 (z = 1,5 m)

$$\Delta\sigma_{z7} = \left( \frac{32}{180} \left( \left\{ \frac{6+6}{6} \right\} (6,911 + 75,964) - \frac{6}{6} \times 75,964 \right) - \Delta\sigma_{z2} \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z7} = 15,94409 \text{ kN/m}^2$$

## 3) Lapis tanah 3 (z = 2,5 m)

$$\Delta\sigma_{z8} = \left( \frac{32}{180} \left( \left\{ \frac{6+6}{6} \right\} (10,852 + 67,380) - \frac{6}{6} \times 67,380 \right) - \Delta\sigma_{z3} \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z8} = 15,76309 \text{ kN/m}^2$$

## 4) Lapis tanah 4 (z = 3,5 m)

$$\Delta\sigma_{z9} = \left( \frac{32}{180} \left( \left\{ \frac{6+6}{6} \right\} (13,99623 + 59,744) - \frac{6}{6} \times 59,744 \right) - \Delta\sigma_{z4} \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z9} = 15,42424 \text{ kN/m}^2$$

## 5) Lapis tanah 5 (z = 4,5 m)

$$\Delta\sigma_{z10} = \left( \frac{32}{180} \left( \left\{ \frac{6+6}{6} \right\} (16,314 + 53,130) - \frac{6}{6} \times 53,130 \right) - \Delta\sigma_{z5} \right) \times 2$$

$$\Delta\sigma_{z10} = 14,94127 \text{ kN/m}^2$$

Untuk timbunan dan ketebalan masing-masing dilakukan perhitungan penambahan tegangan vertikal dengan cara yang sama seperti diatas. Rekapitulasi perhitungan  $\Delta P$  untuk setiap model geometri dapat dilihat pada Lampiran 1.

Nilai tekanan *overburden* efektif dan penurunan yang terjadi dapat dilihat pada perhitungan berikut ini.

## a. Tahap 1 (akibat timbunan 1 m)

## 1) Lapis tanah 1

$$P_{0-1} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times H_{dr}$$

dengan :

$$H_{dr} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 16,2846 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-1} = (16,2846 - 9,81) \times 0,5$$

$$P_{0-1} = 3,2373 \text{ kN/m}^2$$

Besar penurunan akibat timbunan 1 pada lapis tanah 1 adalah :

$$S_1 = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{3,2373+15,99924}{3,2373}\right)$$

$$S_1 = 0,075 \text{ m}$$

2) Lapis tanah 2

$$P_{0-2} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times H_{dr}$$

dengan :

$$H_{dr} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 16,2846 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-2} = (16,2846 - 9,81) \times 1,5$$

$$P_{0-2} = 9,7119 \text{ kN/m}^2$$

Besar penurunan akibat timbunan 1 pada lapis tanah 2 adalah :

$$S_2 = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{9,7119+15,97989}{9,7119}\right)$$

$$S_2 = 0,041 \text{ m}$$

3) Lapis tanah 3

$$P_{0-3} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times H_{dr}$$

dengan :

$$H_{dr} = 2 + \frac{1}{2} = 2,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 16,2846 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-3} = (16,2846 - 9,81) \times 2,5$$

$$P_{0-3} = 16,1865 \text{ kN/m}^2$$

Besar penurunan akibat timbunan 1 pada lapis tanah 3 adalah :

$$S_3 = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{16,1865+15,91096}{16,1865}\right)$$

$$S_3 = 0,029 \text{ m}$$

## 4) Lapis tanah 4

$$P_{0-4} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times H_{dr}$$

dengan :

$$H_{dr} = 3 + \frac{1}{2} = 3,5 \text{ m}$$

$$\gamma_{unsat} = 16 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-4} = (16,2846 - 9,81) \times 3,5$$

$$P_{0-4} = 22,6611 \text{ kN/m}^2$$

Besarnya penurunan akibat timbunan 1 pada lapis tanah 4 adalah :

$$S_4 = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{22,6611+15,77079}{22,6611}\right)$$

$$S_4 = 0,022 \text{ m}$$

## 5) Lapis tanah 5

$$P_{0-5} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times H_{dr}$$

dengan :

$$H_{dr} = 4 + \frac{1}{2} = 4,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 16,2846 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-5} = (16,2846 - 9,81) \times 4,5$$

$$P_{0-5} = 29,1357 \text{ kN/m}^2$$

Besarnya penurunan akibat timbunan 1 pada lapis tanah 5 adalah :

$$S_5 = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{29,1357+15,55040}{29,1357}\right)$$

$$S_5 = 0,018 \text{ m}$$

## b. Tahap 2 (akibat timbunan 2 m)

## 1) Lapis tanah 1

$$P_{0-6} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times H_{dr} + \gamma_{unsat} \times H \text{ timbunan 1}$$

dengan :

$$H_{dr} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$



$$\gamma_{\text{sat}} = 16,2846 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{unsat}} = 16 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-6} = (16,2846 - 9,81) \times 0,5 + (16 \times 1)$$

$$P_{0-6} = 19,2373 \text{ kN/m}^2$$

Besar penurunan akibat timbunan 2 pada lapis tanah 1 adalah :

$$S_6 = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{19,2373+15,99783}{19,2373}\right)$$

$$S_6 = 0,026 \text{ m}$$

2) Lapis tanah 2

$$P_{0-7} = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \times H_{\text{dr}} + \gamma_{\text{unsat}} \times H \text{ timbunan 1}$$

dengan :

$$H_{\text{dr}} = 1 + \frac{1}{2} = 1,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 16,2846 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{unsat}} = 16 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-7} = (16,2846 - 9,81) \times 1,5 + (16 \times 1)$$

$$P_{0-7} = 25,7119 \text{ kN/m}^2$$

Besar penurunan akibat timbunan 2 pada lapis tanah 2 adalah :

$$S_7 = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{25,7119+15,94409}{25,7119}\right)$$

$$S_7 = 0,020 \text{ m}$$

3) Lapis tanah 3

$$P_{0-8} = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \times H_{\text{dr}} + \gamma_{\text{unsat}} \times H \text{ timbunan 1}$$

dengan :

$$H_{\text{dr}} = 2 + \frac{1}{2} = 2,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 16,2846 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{unsat}} = 16 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-8} = (16,2846 - 9,81) \times 2,5 + (16 \times 1)$$

$$P_{0-8} = 32,1865 \text{ kN/m}^2$$

Besar penurunan akibat timbunan 2 pada lapis tanah 3 adalah :

$$S_8 = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{32,1865+15,76309}{32,1865}\right)$$

$$S_8 = 0,017 \text{ m}$$

4) Lapis tanah 4

$$P_{0-9} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times H_{dr} + \gamma_{unsat} \times H \text{ timbunan 1}$$

dengan :

$$H_{dr} = 3 + \frac{1}{2} = 3,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 16,2846 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{unsat} = 16 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-9} = (16,2846 - 9,81) \times 3,5 + (16 \times 1)$$

$$P_{0-9} = 38,6611 \text{ kN/m}^2$$

Besar penurunan akibat timbunan 2 pada lapis tanah 4 adalah :

$$S_9 = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{38,6611+15,42424}{38,6611}\right)$$

$$S_9 = 0,014 \text{ m}$$

5) Lapis tanah 5

$$P_{0-10} = (\gamma_{sat} - \gamma_w) \times H_{dr} + \gamma_{unsat} \times H \text{ timbunan 1}$$

dengan :

$$H_{dr} = 4 + \frac{1}{2} = 4,5 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 16,2846 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{unsat} = 16 \text{ kN/m}^3$$

sehingga :

$$P_{0-10} = (16,2846 - 9,81) \times 4,5 + (16 \times 1)$$

$$P_{0-10} = 45,1357 \text{ kN/m}^2$$

Besar penurunan akibat timbunan 1 pada lapis tanah 5 adalah :

$$S_{10} = \frac{0,2491 \times 1}{1+1,556} \times \log\left(\frac{45,1357+14,94127}{45,1357}\right)$$

$$S_{10} = 0,012 \text{ m}$$

Maka total penurunan tanah yang terjadi pada tanah dengan kedalaman 5 m dengan tinggi timbunan 2 m adalah :

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9 + S_{10}$$

$$S = 0,075 + 0,041 + 0,029 + 0,022 + 0,018 + 0,026 + 0,020 + 0,017 + 0,014 + 0,012$$

$$S = 0,275 \text{ m}$$

Untuk timbunan dan ketebalan tanah masing-masing dilakukan perhitungan dengan cara yang sama seperti di atas, sehingga didapatkan hasil total penurunan tanah untuk masing-masing timbunan dan ketebalan tanah yang ditunjukkan pada Tabel 5.2. Perhitungan penurunan yang terjadi untuk tinggi timbunan dengan tebal lebih dari 1 meter, perhitungan yang diperoleh merupakan hasil kumulatif akibat timbunan sebelumnya. Rekapitulasi perhitungan penurunan untuk setiap model geometri dapat dilihat pada Lampiran 2.

**Tabel 5.2 Hasil Rekapitulasi Total Penurunan Tanah Metode *Terzaghi***

Tanah Asli (m)	Timbunan (m)	Penurunan (m)
5	1	0,185
	2	0,275
	3	0,338
	4	0,386
35	1	0,252
	2	0,438
	3	0,617
	4	0,769
70	1	0,266
	2	0,480
	3	0,672
	4	0,849

2. Lama waktu sampai mencapai konsolidasi 90%

Dari data didapat :

$$C_v = 0,0005051$$

Untuk menghitung lamanya proses konsolidasi digunakan rumus pada Persamaan 3.19, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk proses konsolidasi pada timbunan 2 m dengan tebal tanah asli 5 m adalah :

$$t = \frac{0,848 \times \left(\frac{500}{2}\right)^2}{0,0005051}$$

$$t = 104.929.716,8877 \text{ detik}$$

$$t = 1214,4643 \text{ hari} = 1.215 \text{ hari}$$

Jadi lama besar konsolidasi akibat beban masing-masing timbunan adalah 1.315 hari. Karena timbunan dilakukan selama dua tahap dan jarak waktu masing-masing timbunan 100 hari, maka waktu pengamatan total sampai mencapai konsolidasi 90% adalah :

$$t = 1.215 + 100 = 1.315 \text{ hari}$$

Untuk timbunan 3 m dan 4 m dilakukan perhitungan dengan cara yang sama, sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3 Hasil Rekapitulasi Waktu Konsolidasi Metode *Terzaghi***

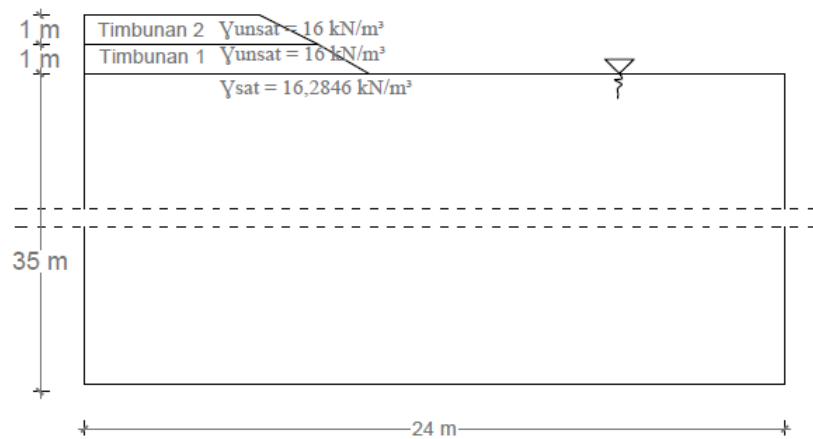
Tanah Asli (m)	Timbunan (m)	Waktu Penurunan (hari)
5	1	1.215
	2	1.315
	3	1.415
	4	1.515
35	1	59.509
	2	59.609
	3	59.709
	4	59.809
70	1	238.035
	2	238.135
	3	238.235
	4	238.335

### 5.2.2 Analisis Data dengan Menggunakan *PLAXIS* 8.2

Langkah-langkah untuk analisis data menggunakan *PLAXIS* 8.2 adalah sebagai berikut ini.

1. Pemodelan tanah dan penentuan parameter yang digunakan.

Adapun tanah yang dianalisis adalah tanah di daerah Proyek Bendungan Gondang dengan hasil pada titik tes P-7. Hasil tes laboratorium yang didapatkan berupa hasil *triaxial test*, *consolidation test*, *index properties*, namun tidak didapatkan hasil *boring log*. Dari hasil tes ini maka dibuat kondisi eksisting yang digunakan untuk analisis program *PLAXIS*, adapun pemodelan tanahnya untuk masing-masing timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan kedalaman tanah asli 5 m, 35 m dan 70 m. Untuk contoh model geometri dengan tinggi timbunan 2 m, kedalaman tanah asli 35 m, dapat dilihat pada Gambar 5.4. Untuk gambar model geometri dengan tinggi timbunan dan kedalaman tanah yang lainnya dapat dilihat pada Lampiran 3.



**Gambar 5.4 Pemodelan Geometri Timbunan 2 m, Tanah Asli 35 m**

Jenis material yang digunakan pada analisis ini adalah model Mohr-Coulomb, dan parameter-parameter tanah yang akan dipakai pada program ini adalah berat isi jenuh dan tak jenuh ( $\gamma_{\text{sat}}$  dan  $\gamma_{\text{unsat}}$ ), permeabilitas ( $k_x$  dan  $k_y$ ), modulus elastisitas (modulus Young), angka *poisson ratio* ( $\nu$ ), besar kohesi ( $c$ ), dan sudut geser ( $\phi$ ). Untuk nilai modulus Young dan *poisson ratio* didapatkan dari buku Mekanika Tanah II (Hary Christandy Hardiyatmo) ditampilkan pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5

**Tabel 5.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Bowless, 1977)**

Macam Tanah	E (kN/m <sup>2</sup> )
Lempung :	
Sangat lunak	300 – 3.000
Lunak	2.000 – 4.000
Sedang	4.500 – 9.000
Keras	7.000 – 20.000
Berpasir	30.000 – 42.500
Pasir :	
Berlanau	5.000 – 20.000
Tidak padat	10.000 – 25.000
Padat	50.000 – 100.000
Pasir dan kerikil :	
Padat	80.000 – 200.000
Tidak padat	50.000 -140.000
Lanau	2.000 – 20.000
Loess	15.000 – 60.000
Cadas	140.000 – 1.400.000

Sumber : Hardiyatmo, 2010

**Tabel 5.5 Perkiraan Angka Poisson Tanah (Bowless, 1977)**

Macam Tanah	M
Lempung jenuh	0,40 – 0,50
Lempung tak jenuh	0,10 – 0,30
Lempung berpasir	0,20 – 0,30
Lanau	0,30 – 0,35
Pasir padat	0,20 – 0,40
Pasir kasar (e = 0,4 – 0,7)	0,15
Pasir halus (e = 0,4 – 0,7)	0,25
Batu	0,10 – 0,40
Loess	0,10 – 0,30

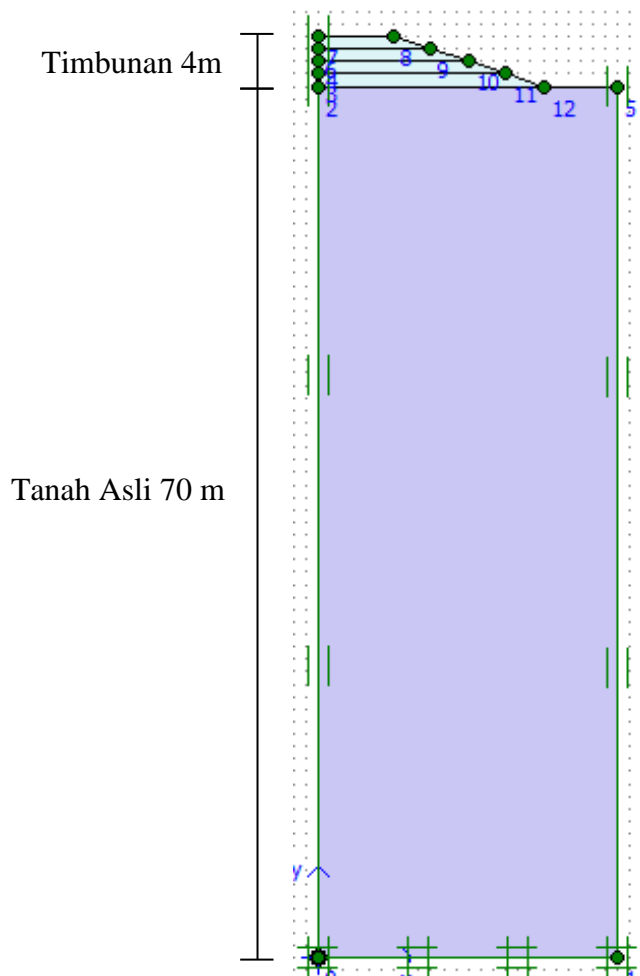
Sumber : Hardiyatmo, 2010

2. *Input* data material yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Model geometri dan kondisi batas (*boundary condition*)

Timbunan dapat dianalisa dengan menggunakan model regangan bidang (*plain strain*) dengan 15 titik nodal. Satuan dasar yang digunakan untuk panjang, gaya, dan waktu adalah m, kN, dan hari. Model geometri mempunyai lebar total yang berbeda sesuai dengan kemiringan timbunan. Kemiringan timbunan yang digunakan pada analisis ini adalah 1:3. Untuk

masing-masing timbunan 2 m, 3 m, dan 4 m dan kedalaman tanah 5 m, 35 m dan 70 m memiliki lebar total yang sama yaitu 24 m. Contoh tampilan dari model geometri dengan tinggi timbunan 4 m dan kedalaman tanah 70 m dapat dilihat pada Gambar 5.5. Untuk tampilan model geometri lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4.



**Gambar 5.5 Model Geometri Timbunan 4 m, Tanah Asli 70 m**

b. Data bahan (material)

Adapun sifat-sifat material yang dimasukkan ke kumpulan data material pada program masukan (*input*) *PLAXIS* dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

**Tabel 5.6 Parameter Desain yang Digunakan untuk Analisis**

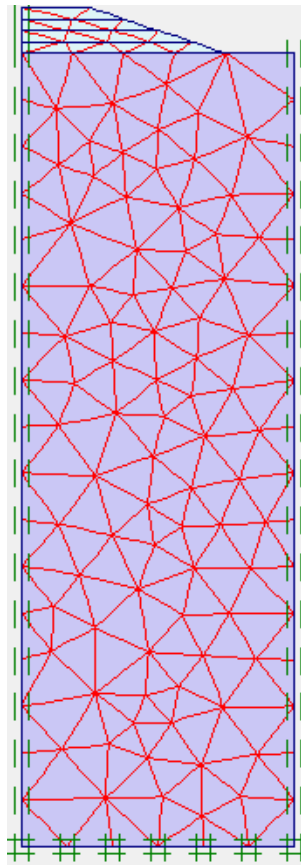
Parameter	Timbunan	Lapisan Tanah
Tebal	1 m	5 m
		35 m
		70 m
	2 m	5 m
		35 m
		70 m
	3 m	5 m
		35 m
		70 m
	4 m	5 m
		35 m
		70 m
Kondisi tanah	Padat	Lunak
Model	<i>Mohr Columb</i>	<i>Mohr Columb</i>
Type	<i>Drained</i>	<i>Undrained</i>
$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	18	15,54885
$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	16	16,2846
Kx (m/hari)	1	0,0000183168
Ky (m/hari)	1	0,0000183168
E (kN/m <sup>2</sup> )	50000	2000
V	0,30	0,35
c (kN/m <sup>2</sup> )	5	14,519
$\phi$ (°)	35	15,34
$\Psi$ (°)	-	-

Kumpulan data material dimasukkan sesuai pada tiap kluster dalam model geometri. Adapun cara memindahkan data material tersebut ialah dengan meng-klik dan *drag* kumpulan ke masing-masing kluster.

c. *Mesh generation*

Setelah memasukkan parameter material, jaring elemen hingga sederhana dapat disusun dengan menggunakan tingkat kekasaran elemen sedang (*medium*). Kemudian dilakukan penyusunan jaring elemen dengan menekan tombol susun jaring elemen (*generate mesh*). Contoh hasil penyusunan jaring elemen untuk geometri timbunan 4 m dengan ketebalan tanah 70 m dapat dilihat pada Gambar 5.6. Untuk hasil penyusunan jaring elemen dengan model geometri lainnya dapat dilihat pada Lampiran 5.

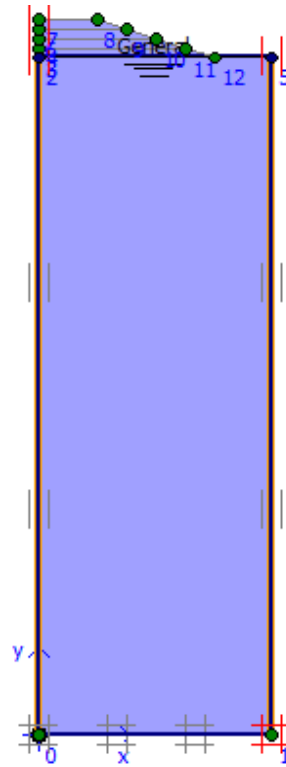




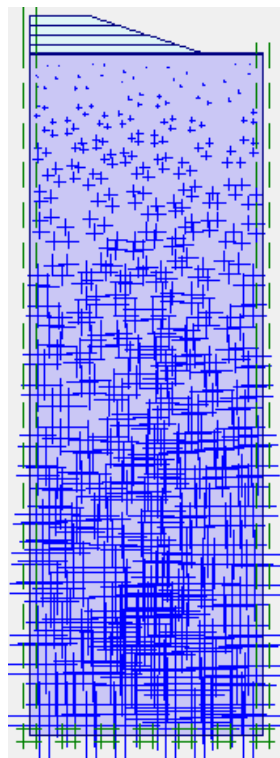
**Gambar 5.6 Jaring Elemen Timbunan 4 m, Tanah Asli 70 m**

d. Kondisi awal (*initial condition*)

Dalam kondisi awal (*initial condition*) ditetapkan berat isi air sebesar  $10 \text{ kN/m}^3$ . Tekanan air sepenuhnya adalah tekanan hidrostatis berdasarkan garis freatik global. Kemudian dibuat kondisi batas untuk analisis konsolidasi pada arah vertikal sebelah kiri dan kanan dengan cara menekan tombol batas konsolidasi tertutup (*closed consolidation boundary*). Kemudian klik tombol hitung tekanan air (*generate water pressure*). Contoh gambar kondisi awal dan tekanan air pori awal pada model geometri timbunan 4 m dengan ketebalan tanah 70 m dapat dilihat masing-masing pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8. Untuk gambar kondisi awal dan tekanan air pori awal pada timbunan dan ketebalan tanah yang lainnya dapat dilihat pada Lampiran 6 dan Lampiran 7.



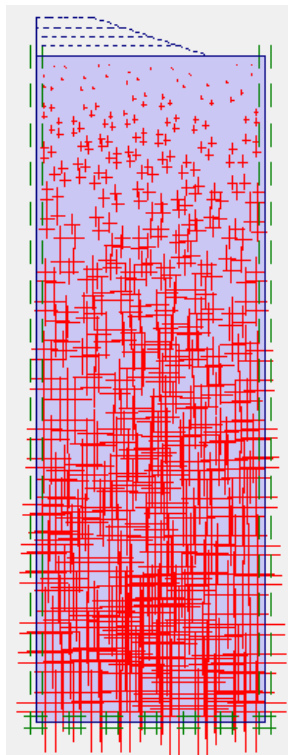
**Gambar 5.7 Kondisi Awal Timbunan 4 m, Tanah Asli 70 m**



**Gambar 5.8 Tekanan Air Pori Awal Timbunan 5 m, Tanah Asli 70 m**

e. Tegangan awal

Setelah perhitungan tekanan air, kembali ke konfigurasi geometri awal. Pada kondisi awal, timbunan belum ada sehingga untuk menghitung tegangan awal dari model maka timbunan harus dinonaktifkan terlebih dahulu. Klik satu kali pada setiap kluster yang memodelkan timbunan. Setelah timbunan dinonaktifkan (kluster yang bersangkutan akan mempunyai warna seperti warna latar belakang), maka geometri yang aktif akan berupa geometri yang horizontal dengan lapisan yang horizontal pula. Kemudian dilakukan perhitungan tegangan awal. Setelah perhitungan tegangan awal dilakukan maka masukan telah selesai dan perhitungan dapat dilakukan. Contoh gambar tegangan awal pada model geometri timbunan 4 m dengan ketebalan tanah 70 m dapat dilihat pada Gambar 5.9. Untuk gambar tegangan awal dengan timbunan dan ketebalan tanah lainnya dapat dilihat pada Lampiran 8.



**Gambar 5.9 Tegangan Awal Timbunan 4 m, Tanah Asli 70 m**

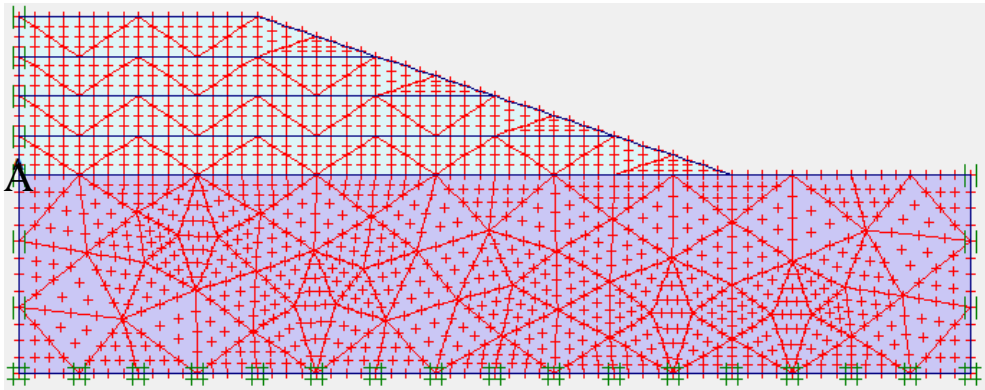
### 3. Melakukan perhitungan (*calculation*)

Konstruksi timbunan terdiri dari dua tahap, masing-masing membutuhkan waktu 5 hari. Setelah tahapan konstruksi pertama, dilanjutkan dengan konsolidasi selama 100 hari agar tekanan air pori berlebih dapat berdisipasi. Setelah tahapan konstruksi kedua, sebuah rentang konsolidasi lain diberikan sehingga penurunan final dapat diperhitungkan. Karena itu, perlu didefinisikan tahapan perhitungan. Berikut langkah-langkah dalam tahap perhitungan sebagai berikut.

- a. Tahap perhitungan pertama adalah analisis *plastic* dari tanah asli sendiri. Dalam lembar tab umum (*general*) dipilih *plastic* dari kotak jenis perhitungan (*calculation type*). Dalam lembar tab parameter dilakukan penonaktifkan timbunan dengan mengklik *define* lalu mengklik satu kali dari tiap lapis timbunan.
- b. Tahap kedua merupakan analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Dalam lembar tab umum (*general*) dipilih konsolidasi (*consolidation*) dari kotak jenis perhitungan (*calculation type*). Dalam lembar tab parameter, dimasukkan interval waktu sebanyak 5 hari. Tahapan konstruksi (*staged construction*) sebagai masukan pembebanan (*loading input*) dipilih dan dilakukan pengaktifkan bagian pertama dari timbunan dalam jendela konfigurasi geometri.
- c. Tahap ketiga juga merupakan analisis konsolidasi, tahapan konstruksi. Kali ini tidak ada perubahan dalam geometri karena hanya diperlukan analisis konsolidasi hingga waktu batas tertentu saja. Dimasukkan interval waktu sebesar 100 hari. Dilakukan hal yang sama untuk masing-masing timbunan sampai pembebanan tiap lapisan timbunan telah diaktifkan semua.
- d. Dan tahap terakhir adalah analisis konsolidasi hingga mencapai tekanan air pori minimum. Dengan demikiany dipilih tekanan air pori minimum (*minimum pore pressure*) dengan nilai sebesar  $1 \text{ kN/m}^2$  untuk tekanan air pori minimum.

Sebelum memulai perhitungan, dilakukan pemilihan titik-titik. Titik A dipilih pada tepat tengah lapisan tanah di bawah timbunan, untuk

mengetahui penurunan total yang terjadi serta tekanan air pori yang terjadi. Untuk letak titik A dapat dilihat pada Gambar 5.10.



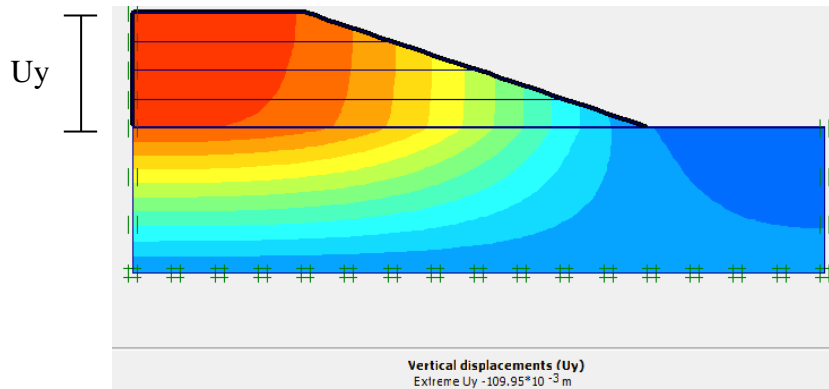
**Gambar 5.10 Letak Titik A**

#### 4. *Output data*

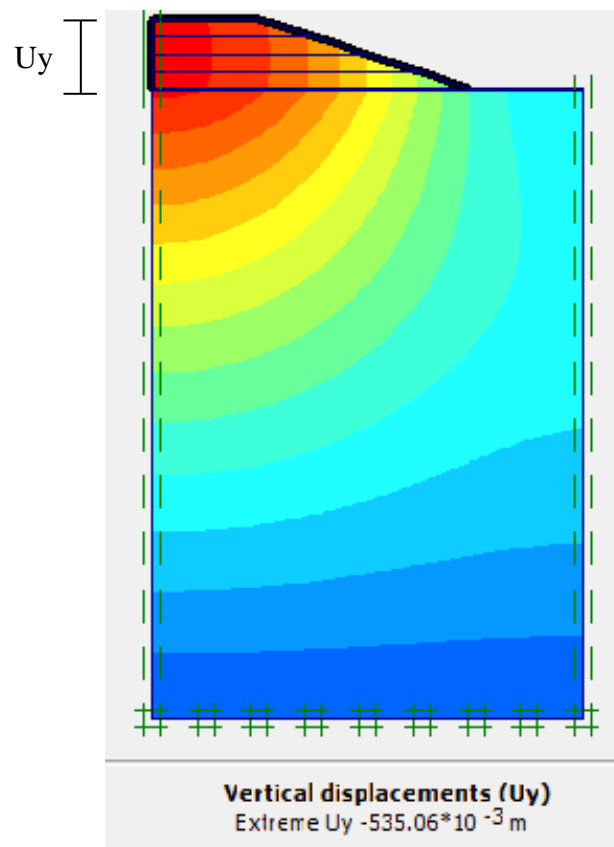
Setelah perhitungan selesai, hasil keluaran dapat dilihat pada program keluaran. Jendela keluaran akan menampilkan jaring elemen terdeformasi pada kondisi setelah konsolidasi secara penuh terjadi. Contoh gambar jaring elemen terdeformasi vertikal untuk model geometri timbunan 4 m dengan ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m dapat dilihat pada Gambar 5.11, Gambar 5.12 dan Gambar 5.13. Untuk gambar jaring terdeformasi vertikal dengan timbunan dan ketebalan tanah yang lainnya dapat dilihat pada Lampiran 9.

Untuk melihat besar angka dari penurunan waktu sampai konsolidasi penuh terjadi dan nilai dari tekanan air pori berlebih dapat dilihat dari program kurva (*curves*). Contoh kurva tersebut ditunjukkan untuk model geometri timbunan 4 m dengan ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m dapat di lihat pada Gambar 5.14, Gambar 5.15, Gambar 5.16, Gambar 5.17, Gambar 5.18 dan Gambar 5.19. Point A pada kurva tersebut menunjukkan hasil penurunan (*displacement*) dan *pore pressure* yang terjadi di titik A, yang mana letak titik A dapat dilihat pada Gambar 5.10. Untuk gambar kurva besar penurunan dan tekanan air pori berlebih dengan timbunan dan ketebalan tanah lainnya dapat dilihat pada Lampiran 10 dan Lampiran 11. Adapun rekapitulasi besar

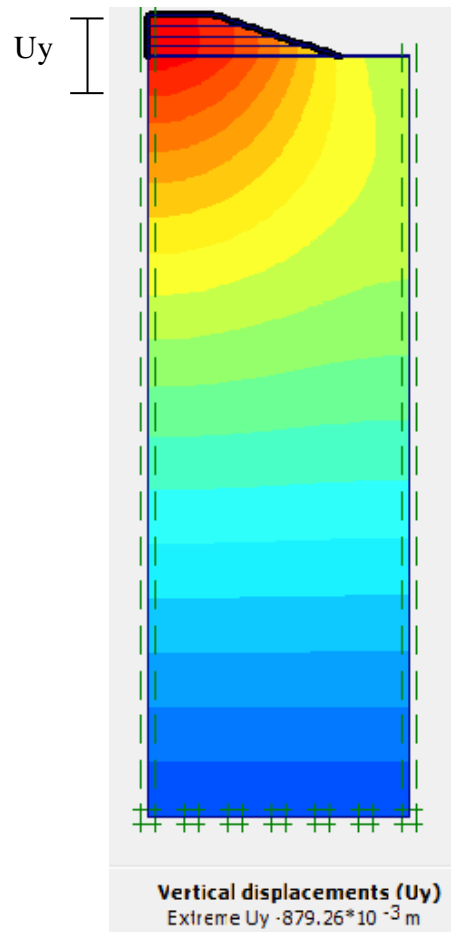
penurunan tanah dan waktu penurunan tanah untuk masing-masing timbunan dan masing-masing kedalaman tanah dapat dilihat pada Tabel 5.7.



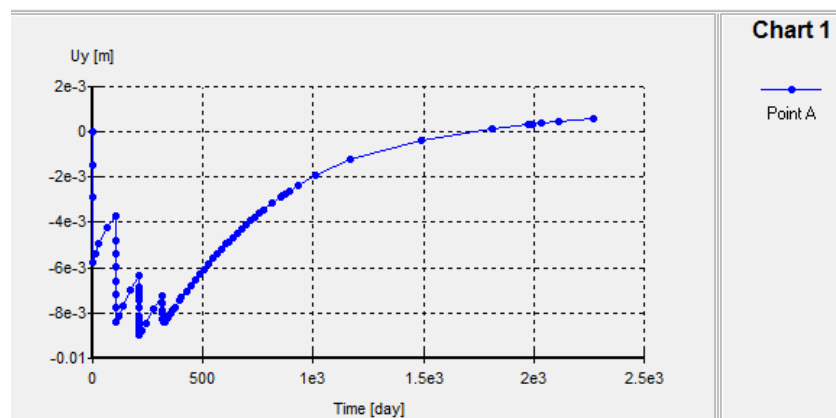
**Gambar 5.11 Jaring Elemen Terdeformasi Vertikal Timbunan 4 m, Tanah Asli 5 m**



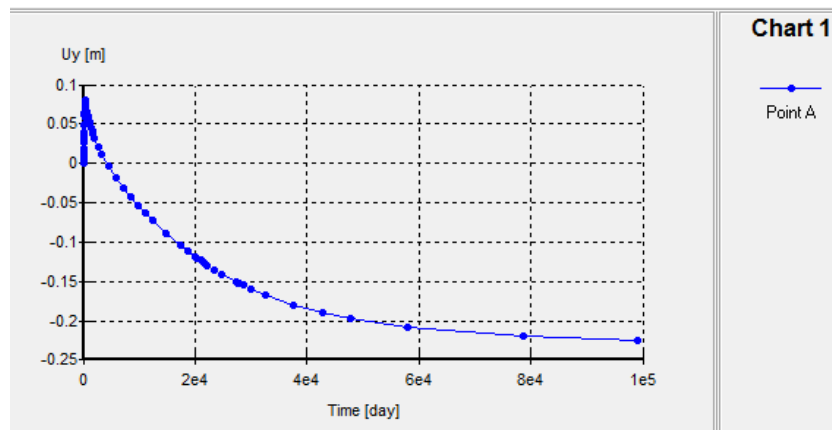
**Gambar 5.12 Jaring Elemen Terdeformasi Vertikal Timbunan 4 m, Tanah Asli 35 m**



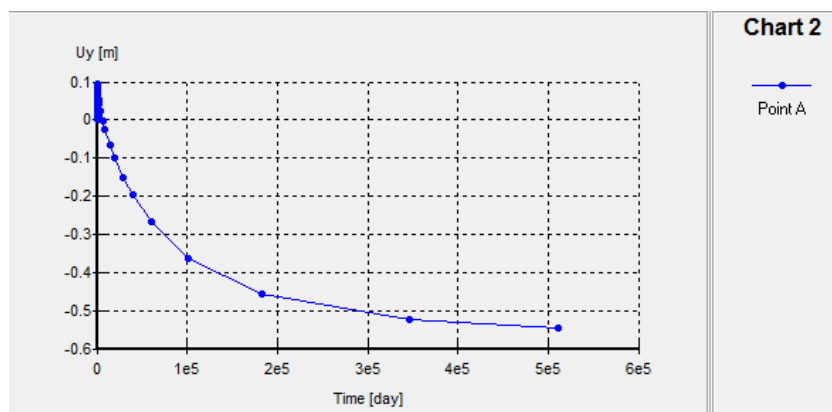
Gambar 5.13 Jaring Elemen Terdeformasi Timbunan 4 m, Tanah Asli 70 m



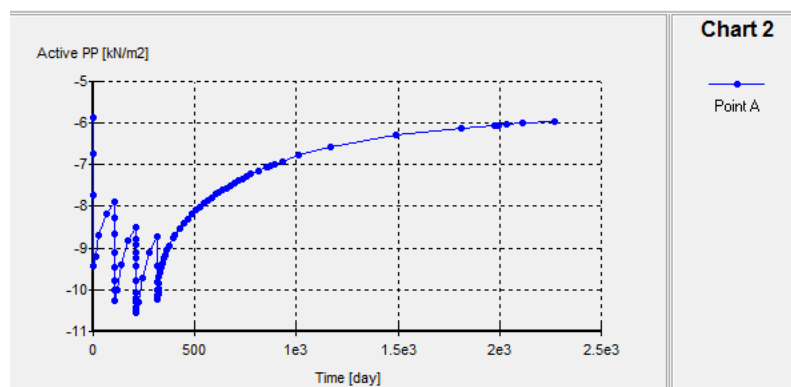
Gambar 5.14 Kurva *Time vs Vertical Displacement* Timbunan 4 m, Tanah Asli 5 m



**Gambar 5.15 Kurva *Time vs Vertical Displacement* Timbunan 4 m, Tanah Asli 35 m**

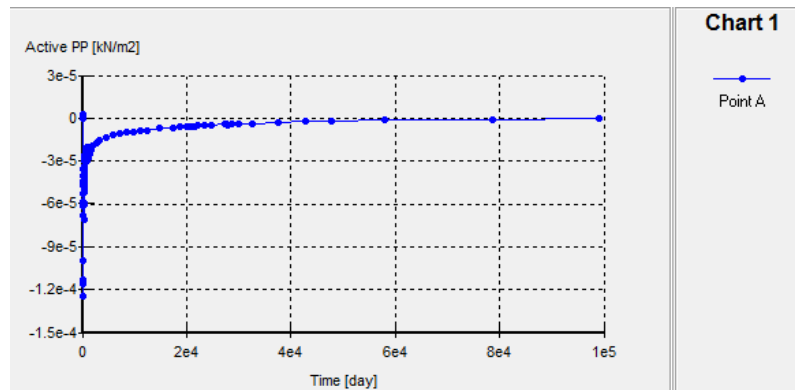


**Gambar 5.16 Kurva *Time vs Vertical Displacement* Timbunan 4 m, Tanah Asli 70 m**

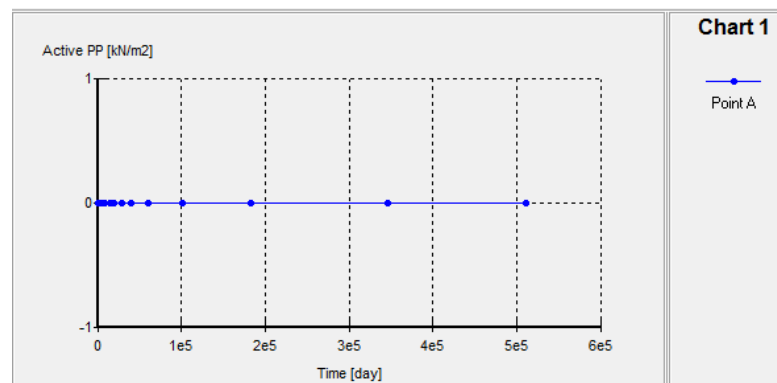


**Gambar 5.17 Kurva *Time vs Pore Pressure* Timbunan 4 m, Tanah Asli 5 m**





**Gambar 5.18 Kurva Time vs Pore Pressure Timbunan 4 m, Tanah Asli 35 m**



**Gambar 5.19 Kurva Time vs Pore Pressure Timbunan 4 m, Tanah Asli 70 m**

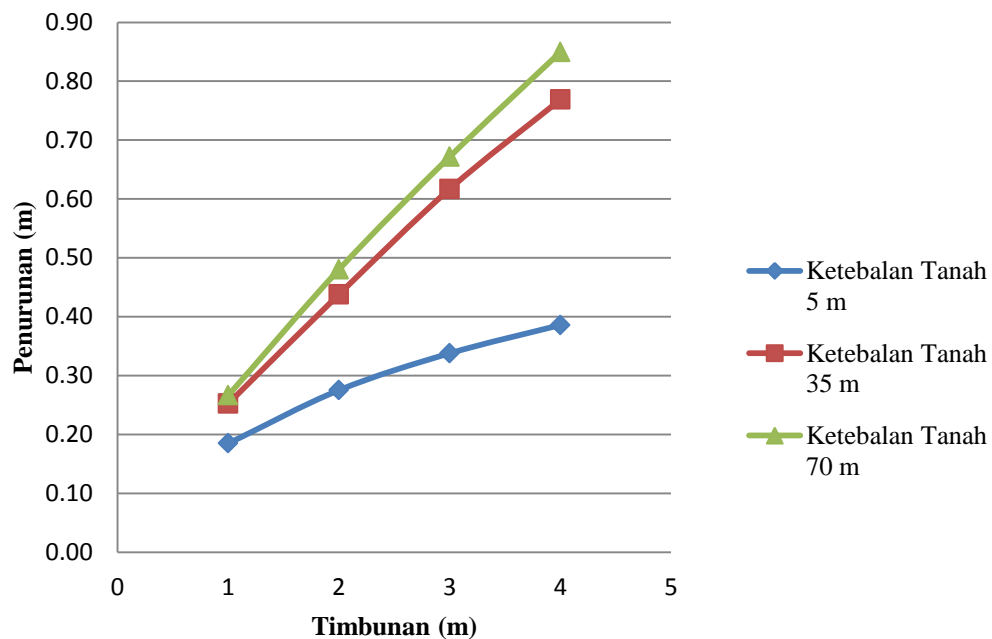
**Tabel 5.7 Rekapitulasi Hasil Analisis PLAXIS**

Tanah Asli (m)	Timbunan (m)	Penurunan Total (m)	Waktu (hari)
5	1	0,026	1.924
	2	0,054	2.310
	3	0,082	2.295
	4	0,110	2.270
35	1	0,113	61.440
	2	0,245	65.550
	3	0,389	101.700
	4	0,535	99.000
70	1	0,165	267.500
	2	0,375	367.900
	3	0,588	292.200
	4	0,879	510.800

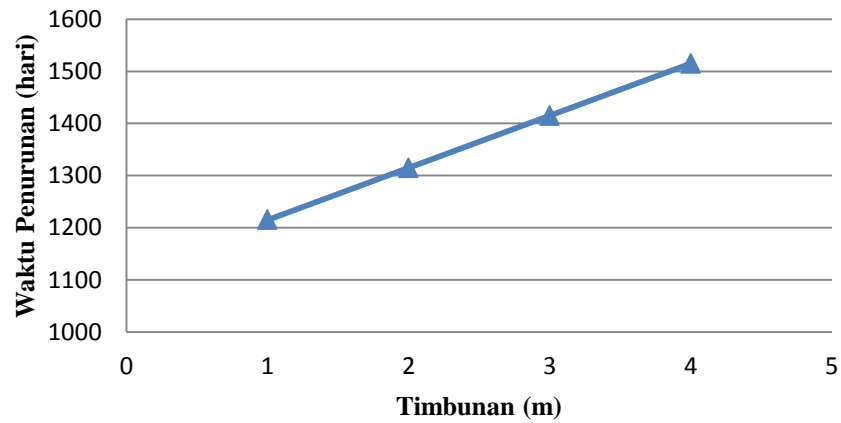
### 5.3 Pembahasan

#### 5.3.1 Hasil Analisis dengan Metode *Terzaghi*

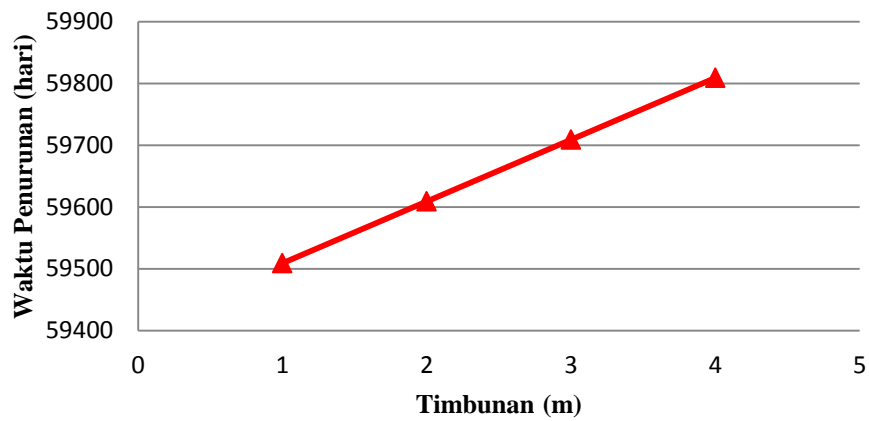
Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Terzaghi* diperoleh hasil penurunan total yang terjadi untuk timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m, dapat dilihat pada Tabel 5.2. Waktu penurunan yang dibutuhkan timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m, dapat dilihat pada Tabel 5.3. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh grafik untuk penurunan total dan waktu penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 5.20, Gambar 5.21, Gambar 5.22 dan Gambar 5.23



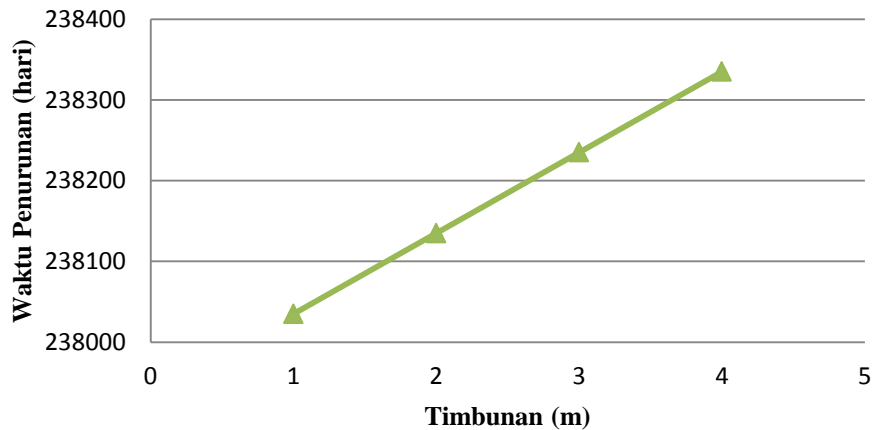
**Gambar 5.20 Grafik Penurunan Metode *Terzaghi* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 5 m, 35 m dan 70 m**



**Gambar 5.21 Grafik Waktu Penurunan Metode *Terzaghi* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 5 m**



**Gambar 5.22 Grafik Waktu Penurunan Metode *Terzaghi* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 35 m**



**Gambar 5.23 Grafik Waktu Penurunan Metode *Terzaghi* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 70 m**

Dari Gambar 5.20 dapat dilihat bahwa penurunan yang terjadi semakin besar untuk tinggi timbunan yang lebih besar dengan ketebalan tanah yang sama. Hal ini disebabkan karena penambahan tegangan vertikal yang terjadi di tanah tersebut semakin besar untuk tinggi timbunan yang lebih besar, sehingga menghasilkan penurunan yang lebih besar. Selain itu, ketebalan tanah yang semakin besar akan menghasilkan hasil penurunan yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena ketebalan tanah untuk ketebalan tanah yang besar semakin tebal, sehingga menghasilkan penurunan yang lebih besar dibandingkan lapisan tanah dengan ketebalan tanah yang kecil. Grafik pada Gambar 5.20 untuk ketebalan tanah 5 m memiliki kemiringan garis/*gradient* sebesar 0,067. Ketebalan tanah 35 m memiliki *gradient* sebesar 0,173 dan ketebalan tanah 70 m memiliki kemiringan garis sebesar 0,194.

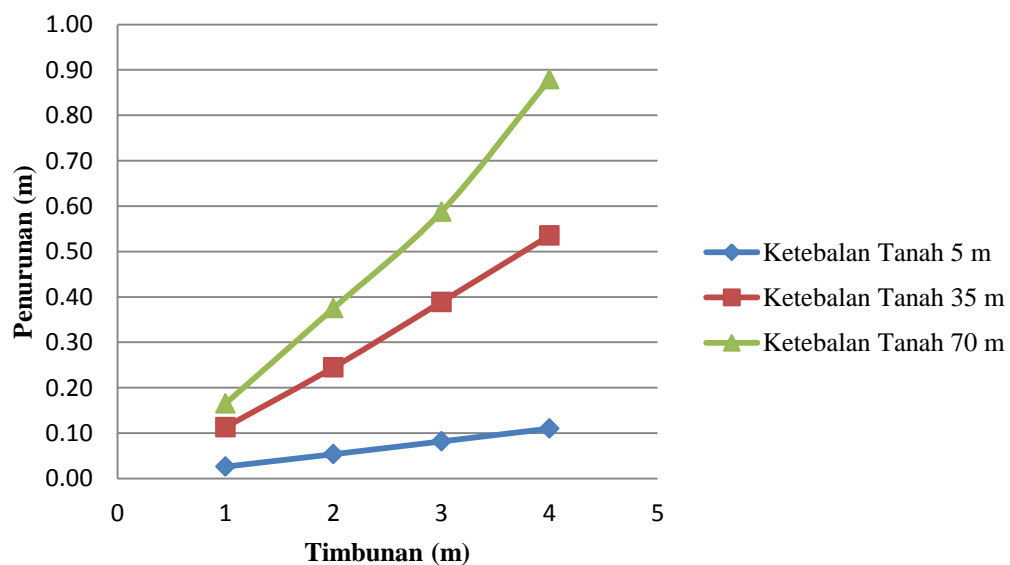
Waktu penurunan yang dibutuhkan untuk mencapai 90% waktu penurunan total didapatkan hasil seperti pada Gambar 5.21, Gambar 5.22 dan Gambar 5.23. Dari grafik pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi timbunan dan tebal lapisan tanah, maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 90% konsolidasi semakin besar. Hal ini disebabkan karena penimbunan untuk tinggi timbunan per 1 meter dilakukan 100 hari terlebih dahulu, sehingga menyebabkan waktu yang dibutuhkan juga semakin besar. Kemiringan garis/*gradient* pada tanah dengan ketebalan 5 m, 35 m dan 70 m adalah 1. Hal ini disebabkan karena

penambahan hari yang dilakukan bersifat tetap/sama sehingga menghasilkan grafik yang *linier*.

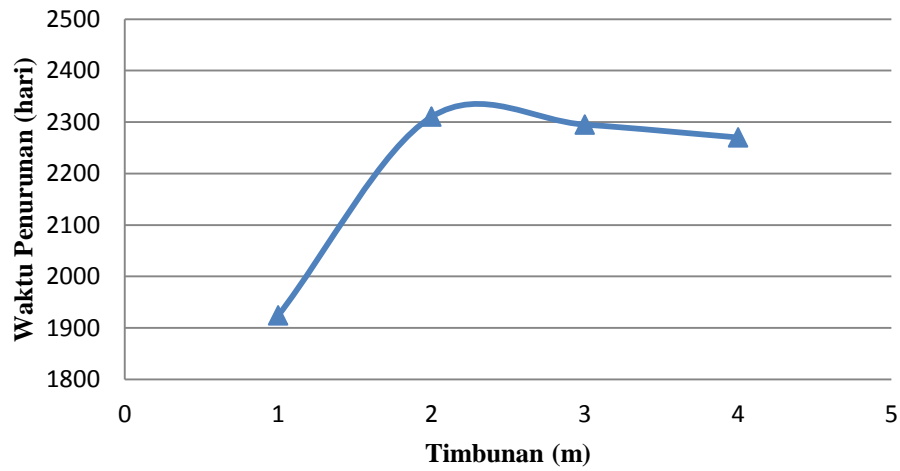
Perhitungan metode *Terzaghi* untuk berbagai macam timbunan dan ketebalan tanah sebelumnya belum pernah dilakukan, sehingga tidak ada perbandingan hasil analisis tersebut dengan analisis terdahulu.

### 5.3.2 Hasil Analisis dengan *Software PLAXIS*

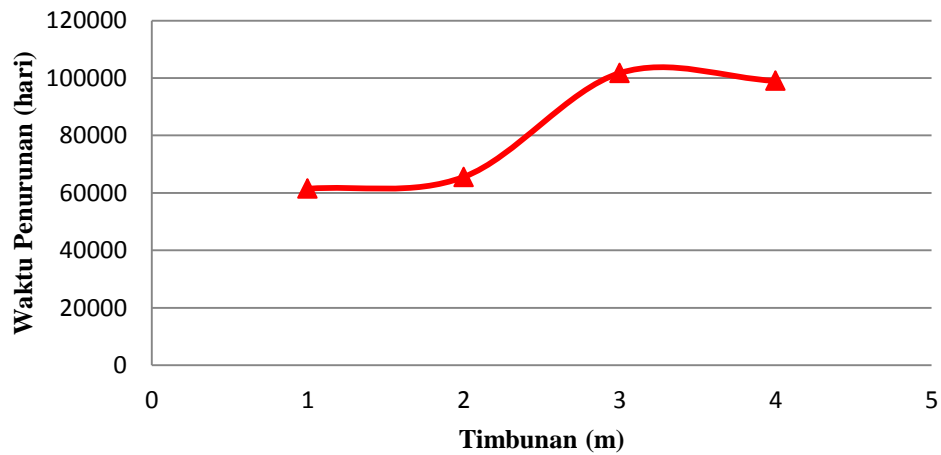
Hasil analisis penurunan dan waktu penurunan yang diperoleh menggunakan *software PLAXIS* dapat dilihat pada Tabel 5.7. Dari hasil tersebut grafik hubungan antara ketinggian timbunan dengan besarnya penurunan pada berbagai ketebalan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.24. Grafik hubungan antara ketinggian timbunan dengan waktu penurunan pada berbagai ketebalan dapat dilihat pada Gambar 5.25, Gambar 5.26 dan Gambar 5.27.



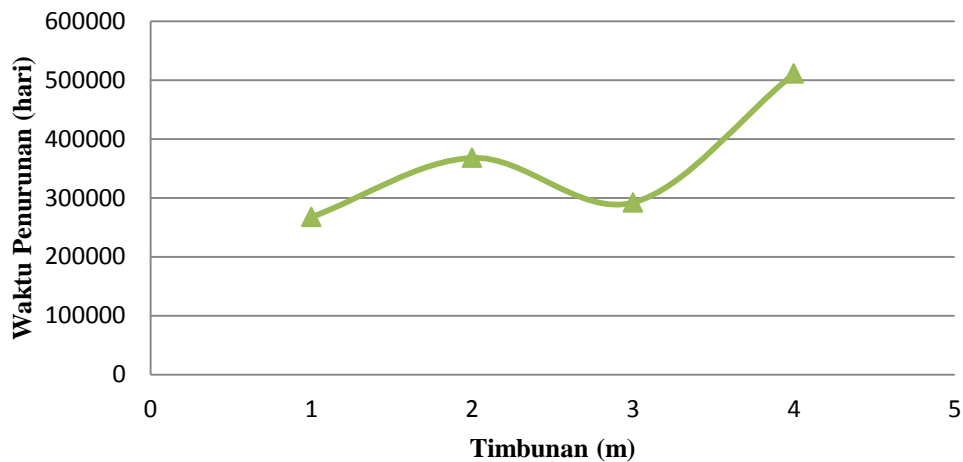
**Gambar 5.24 Grafik Penurunan Analisis *PLAXIS* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 5 m, 35 m dan 70 m**



**Gambar 5.25** Grafik Waktu Penurunan Analisis *PLAXIS* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 5 m



**Gambar 5.26** Grafik Waktu Penurunan Analisis *PLAXIS* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 35 m



**Gambar 5.27 Grafik Waktu Penurunan Analisis *PLAXIS* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 70 m**

Dari Gambar 5.24 dapat dilihat bahwa hasil penurunan yang terjadi pada timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m untuk masing-masing ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi timbunan dan tebal lapisan tanah, maka hasil penurunan yang dihasilkan semakin besar. Kemiringan garis/*gradient* untuk ketebalan tanah 5 m yaitu sebesar 0,028. Garis yang terbentuk dari hubungan ketinggian timbunan dengan besar penurunan pada ketebalan 35 m memiliki kemiringan sebesar 0,141. *Gradient* untuk garis antara hubungan ketinggian timbunan dengan besar penurunan pada ketebalan 70 m yaitu 0,2355.

Hasil waktu penurunan yang terjadi dengan analisis *PLAXIS* merupakan waktu yang dibutuhkan saat konsolidasi mencapai  $P = 1 \text{ kN/m}^2$  atau saat air di dalam tanah mendekati 0. Waktu penurunan yang terjadi untuk timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m dapat dilihat masing-masing pada Gambar 5.25, Gambar 5.26 dan Gambar 5.27. Hasil dari gambar yang ditunjukkan tersebut diperoleh hasil bahwa waktu penurunan yang dibutuhkan untuk ketinggian timbunan yang lebih tinggi tidak selalu lebih besar dibandingkan dengan ketinggian timbunan yang lebih kecil. Hal ini mungkin dikarenakan semakin besar ketebalan tanah, maka timbunan yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi akhir juga semakin tinggi.

Perhitungan dengan *PLAXIS* untuk berbagai macam ketinggian timbunan dan ketebalan tanah sebelumnya belum pernah dilakukan, sehingga tidak ada perbandingan hasil analisis yang dilakukan dengan hasil analisis terdahulu.

### 5.3.3 Perbandingan Hasil Antara Hasil Analisis Metode *Terzaghi* dengan Program *PLAXIS*

Pada sub bab ini dibandingkan antara hasil analisis metode *Terzaghi* dengan hasil analisis program *PLAXIS*. Hasil yang didapat sebagai berikut.

#### 1. Besar penurunan

Penurunan total dari hasil analisis metode *Terzaghi* untuk timbunan 1 m dengan ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m masing-masing sebesar 0,185 m, 0,252 m dan 0,266 m. Dari analisis menggunakan program *PLAXIS* diperoleh penurunan total tanah masing-masing sebesar 0,026 m, 0,113 m dan 0,165 m. Penurunan total tanah dari hasil analisis metode *Terzaghi* untuk timbunan 2 m dengan ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m masing-masing sebesar 0,275 m, 0,438 m dan 0,480 m dan dari analisis *PLAXIS* diperoleh hasil masing-masing sebesar 0,054 m, 0,245 m dan 0,371 m. Timbunan 3 m dengan ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m masing-masing diperoleh hasil penurunan total dengan analisis metode *Terzaghi* berturut-turut 0,338 m, 0,617 m dan 0,672 m. Berdasar analisis dengan *PLAXIS* diperoleh hasil penurunan sebesar 0,082 m, 0,389 m dan 0,588 m. Tanah dengan timbunan 4 m dengan ketebalan tanah masing-masing 5 m, 35 m dan 70 m diperoleh hasil penurunan total dari analisis metode *Terzaghi* yaitu 0,386 m, 0,767 m dan 0,849 m. Untuk analisis *PLAXIS* menghasilkan penurunan sebesar 0,110 m, 0,535 m dan 0,879 m. Rekapitulasi hasil analisis penurunan antara metode *Terzaghi* dengan *PLAXIS* dapat dilihat pada Tabel 5.8.



**Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Analisis Penurunan Metode *Terzaghi* dengan *PLAXIS***

Tanah Asli (m)	Timbunan (m)	Penurunan (m)			% Selisih Penurunan dengan <i>Terzaghi</i>
		<i>Terzaghi</i>	<i>PLAXIS</i>	Selisih Penurunan	
5	1	0,185	0,026	0,159	85,829
	2	0,275	0,054	0,222	80,5355
	3	0,338	0,082	0,256	75,817
	4	0,386	0,110	0,276	71,513
35	1	0,252	0,113	0,139	55,162
	2	0,438	0,245	0,193	44,096
	3	0,617	0,389	0,228	36,933
	4	0,769	0,535	0,234	30,396
70	1	0,266	0,165	0,101	38,011
	2	0,480	0,375	0,105	21,859
	3	0,672	0,588	0,084	12,475
	4	0,849	0,879	0,030	3,508

## 2. Waktu penurunan

Pada program *PLAXIS* waktu penurunan yang diperoleh merupakan waktu saat mencapai *pore pressure* mencapai  $1 \text{ kN/m}^2$  sedangkan waktu dari hasil analisis metode *Terzaghi* merupakan waktu saat konsolidasi telah mencapai 90%. Timbunan 1 m dengan ketebalan tanah masing-masing 5 m, 35 m dan 70 m diperoleh waktu penurunan dengan analisis metode *Terzaghi* sebesar 1.215 hari, 59.509 hari dan 238.035 hari. Berdasarkan analisis *PLAXIS* diperoleh hasil berturut-turut yaitu 1.924 hari, 61.440 hari dan 267.500 hari. Timbunan 2 m dengan ketebalan tanah masing-masing 5 m, 35 m dan 70 m menghasilkan waktu penurunan dengan analisis metode *Terzaghi* sebesar 1.315 hari, 59.609 hari dan 238.135 hari. Berdasarkan analisis *PLAXIS* diperoleh hasil berturut-turut yaitu 2.310 hari, 65.550 hari dan 290.100 hari. Geometri dengan timbunan 3 m menghasilkan waktu penurunan yang dibutuhkan dari analisis metode *Terzaghi* untuk ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m masing-masing 1.415 hari, 59.709 hari dan 238.235 hari. Berdasarkan analisis *PLAXIS* diperoleh hasil berturut-turut sebesar 2.295 hari, 101.700 hari dan 292.200 hari. Timbunan 4 m dengan ketebalan tanah 5 m, 35 m dan 70 m diperoleh waktu

penurunan dengan metode *Terzaghi* sebesar 1.515 hari, 59.809 hari dan 238.335 hari. Berdasar analisis dengan *PLAXIS* diperoleh hasil berturut-turut yaitu sebesar 2.270 hari, 99.000 hari dan 510.800 hari. Rekapitulasi hasil analisis waktu penurunan antara metode *Terzaghi* dan *PLAXIS* dapat dilihat pada Tabel 5.9.

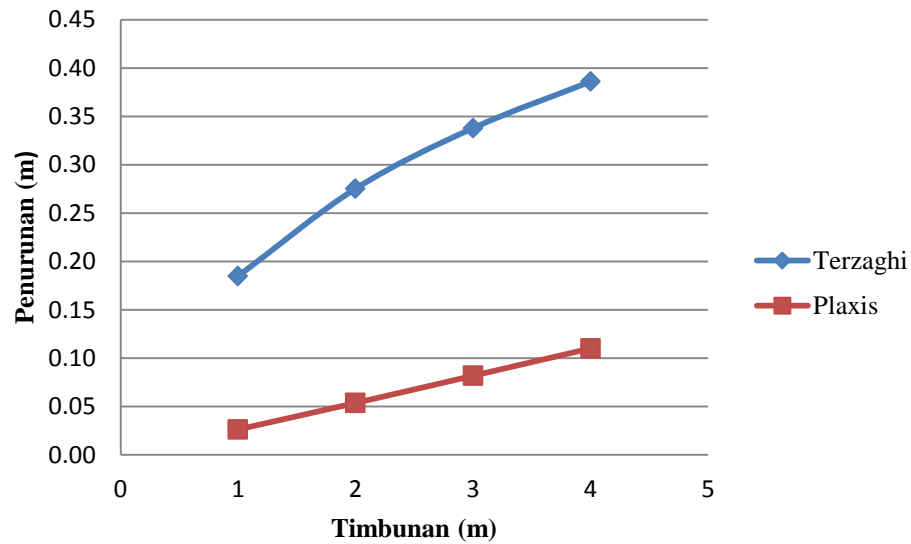
**Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Analisis Waktu Penurunan Metode *Terzaghi* dengan *PLAXIS***

Tanah Asli (m)	Timbunan (m)	Waktu Penurunan (hari)			% Selisih Waktu Penurunan dengan <i>Terzaghi</i>
		<i>Terzaghi</i>	<i>PLAXIS</i>	Selisih waktu (hari)	
5	1	1.215	1.924	709	58,354
	2	1.315	2.310	995	75,665
	3	1.415	2.295	880	62,191
	4	1.515	2.270	755	49,835
35	1	59.509	61.440	1.931	3,245
	2	59.609	65.550	5.941	9,967
	3	59.709	101.700	41.991	70,326
	4	59.809	99.000	39.191	65,527
70	1	238.035	267.500	29.465	12,378
	2	238.135	367.900	129.765	54,492
	3	238.235	292.200	53.965	22,652
	4	238.335	510.800	272.465	114,320

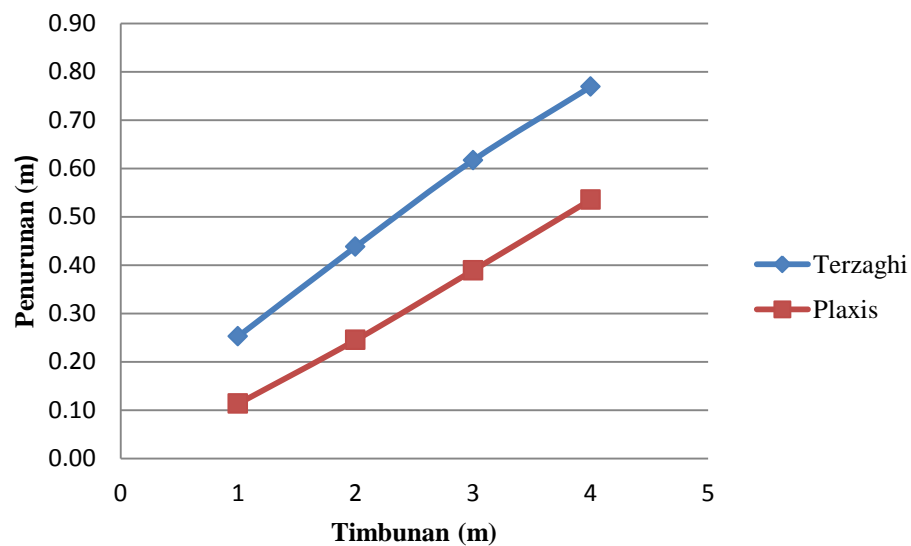
### 3. Selisih besar penurunan dan waktu penurunan

Perbedaan hasil analisis penurunan dengan metode *Terzaghi* dan *PLAXIS* dapat dilihat pada Tabel 5.8. Selisih hasil perhitungan terbesar diperoleh saat ketinggian timbunan 1 m dengan ketebalan tanah 5 m sebesar 85,829%. Selisih hasil perhitungan waktu penurunan antara metode *Terzaghi* dan *PLAXIS* dapat dilihat pada Tabel 5.9. Selisih perhitungan antara analisis menggunakan metode *Terzaghi* dan *PLAXIS* yang terbesar diperoleh saat ketinggian timbunan 4 m dengan ketebalan tanah 70 m sebesar 114,320%.

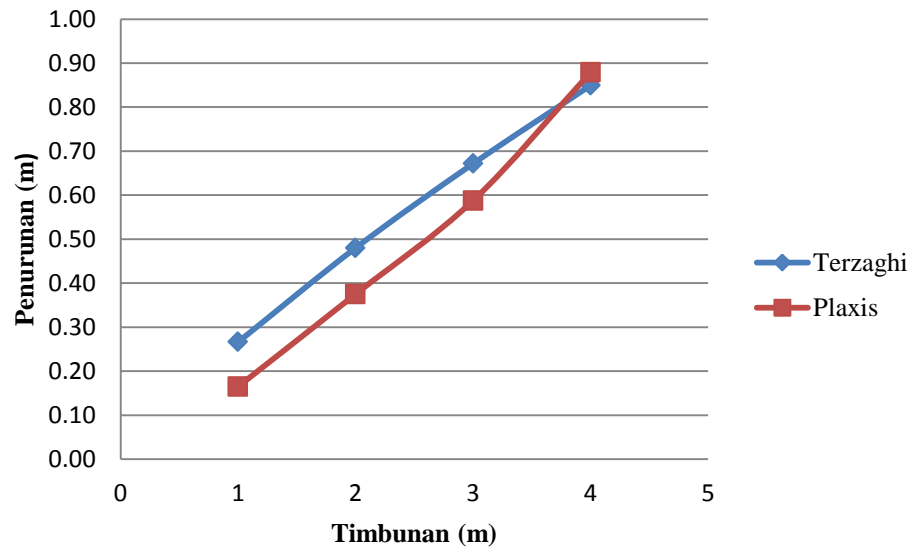
Perbandingan hasil analisis antara metode *Terzaghi* dengan *PLAXIS* dapat dilihat pada grafik pada Gambar 5.28, Gambar 5.29, Gambar 5.30 dan Gambar 5.31.



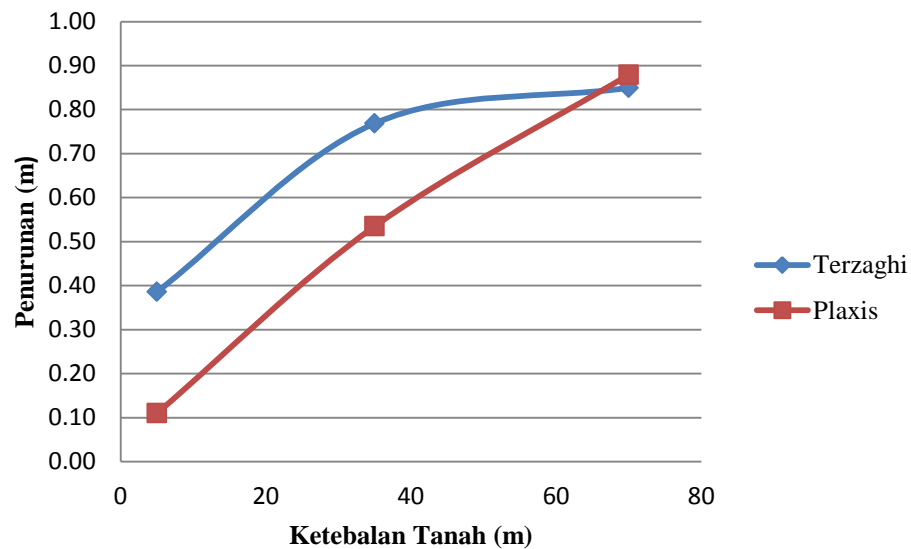
**Gambar 5.28 Grafik Perbandingan Penurunan Metode *Terzaghi* dan *PLAXIS* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 5 m**



**Gambar 5.29 Grafik Perbandingan Penurunan Metode *Terzaghi* dan *PLAXIS* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 35 m**



**Gambar 5.30** Grafik Perbandingan Penurunan Metode *Terzaghi* dan *PLAXIS* Timbunan 1 m, 2 m, 3 m dan 4 m dengan Ketebalan Tanah 70 m



**Gambar 5.31** Grafik Perbandingan Penurunan Total Metode *Terzaghi* dan *PLAXIS* Ketebalan Tanah 5 m, 35 m dan 70 m

Perbedaan hasil antara metode *Terzaghi* dengan *PLAXIS* dapat disebabkan karena beberapa hal. Diantaranya adalah pengaruh nilai permeabilitas tanah ( $k$ ). Nilai permeabilitas ( $k$ ) pada metode *Terzaghi* bersifat konstan mulai dari awal penimbunan sampai konsolidasi selesai terjadi, sedangkan pada program *PLAXIS*

nilai permeabilitas tanah ( $k$ ) diasumsikan seperti keadaan di lapangan dimana akibat dari pembebanan air pori keluar dan tanah akan semakin rapat dan nilai permeabilitas tanah akan menurun (menurun).

Selain itu, perbedaan hasil tersebut dipengaruhi oleh nilai indeks pemampatan ( $C_c$ ) dan nilai koefisien konsolidasi ( $C_v$ ). Selama proses konsolidasi dengan *PLAXIS* nilai tersebut semakin mengecil sedangkan pada analisis metode *Terzaghi* nilai tersebut konstan.

Perbedaan waktu yang cukup besar antara metode *Terzaghi* dan analisis *PLAXIS* disebabkan karena perhitungan dengan metode *Terzaghi* diperoleh saat konsolidasi mencapai 90%, sedangkan analisis *PLAXIS* waktu yang diperoleh merupakan hasil saat tekanan air pori menjadi  $1 \text{ kN/m}^2$  atau air di dalam tanah sudah mendekati 0.

Ketebalan lapisan tanah juga merupakan salah satu pengaruh hasil yang diperoleh. Semakin tebal lapisan tanah, maka semakin besar penurunan dan waktu penurunan yang dibutuhkan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh air tanah, yang mana semakin tebal lapisan tanah maka air tanah yang terkandung di dalam tanah tersebut juga semakin besar, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi yang diinginkan semakin besar dan besar penurunan yang terjadi juga semakin besar.

Ketebalan tinggi timbunan juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil tersebut. Ini disebabkan karena semakin tinggi timbunan maka semakin besar pula penambahan beban yang terjadi di atas tanah tersebut, sehingga dihasilkan penurunan yang lebih besar untuk tinggi timbunan yang lebih tinggi.

Perbedaan hasil analisis metode *Terzaghi* dengan *software PLAXIS* menunjukkan bahwa semakin tebal kedalaman tanah dan semakin tebal tinggi timbunan, selisih hasil dari analisis kedua metode tersebut semakin kecil. Hal ini disebabkan karena perhitungan metode *Terzaghi* untuk tebal lapisan tanah yang lebih besar memiliki pembagian lapisan tanah yang lebih banyak untuk diperhitungkan. Tebal lapisan tanah 5 m memiliki pembagian lapisan tanah menjadi 5 bagian atau menjadi  $1/5$  bagian. Tebal lapisan tanah 35 m dibagi

menjadi 7 lapisan tanah atau menjadi 1/7 bagian. Tebal lapisan tanah 70 m dibagi menjadi 14 bagian lapisan atau menjadi 1/14 bagian nya. Semakin banyak bagian lapisan tanah, maka semakin mendetail perhitungan yang dilakukan, sehingga hasil yang didapatkan akan lebih mendetail dan hasil yang didapatkan akan memiliki selisih yang kecil dengan analisis *software PLAXIS*.

Dari penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Zahara (2009) mengenai Kontrol Penurunan Tanah Akibat Timbunan pada Titik dengan *Bore Log Test* No. BH-II (Area-II) Proyek Bandar Udara Kuala Namu hasil yang didapatkan dari metode *Terzaghi* lebih besar dibandingkan hasil analisis *PLAXIS*. Hal ini serupa dengan analisis yang peneliti lakukan. Namun berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Putra (2014), hasil perhitungan penurunan yang terjadi menggunakan metode *Terzaghi* lebih kecil dibandingkan hasil analisis menggunakan *PLAXIS*. Hal ini mungkin dikarenakan perbedaan pembebanan yang dilakukan serta perbedaan analisis untuk penambahan tegangan akibat pembebanan yang dilakukan. Analisis untuk penambahan tegangan yang peneliti lakukan saat ini menggunakan metode *Boussinesq*, sedangkan analisis yang Putra lakukan tidak menggunakan metode tersebut namun menggunakan analisis yang mana tambahan beban diperhitungkan sebagai tanah asli.