

# **ANALISIS SISTEM PENURUNAN KONSOLIDASI *MULTI-LAYER***

**Rofika Ratna Ardiansyah**

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau,  
Pekanbaru-Riau, E-mail : fikaardiansyah@gmail.com

**Syawal Satibi**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru-Riau

**Soewignjo Agus Nugroho**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru-Riau

## **ABSTRACT**

*Construction on thick soft soils is often faced by settlement problems, which need particular concern. In order to reduce settlement friction piles are often used. However the effectiveness of group friction piles related to their dimension has not been fully understood. Therefore settlement analysis need to be conducted. In addition, in practice one-point settlement is generally used for preliminary assignment. This approach is considered to be very rough analysis. This research will show the comparison between one-point method and multi-layer method. For group friction pile analysis, simplified boussinesq stress distribution (2 verticals : 1 horizontal stress distribution) is applied in settlement calculation. This research shows that multi-layer settlement calculation is recommended for preliminary settlement assignment.*

*Keywords: friction pile, settlement, multi-layer, stress distribution*

## **PENDAHULUAN**

Persoalan penurunan pada tanah lunak atau bila muka air tanah turun di suatu lapisan lempung, masih menjadi masalah yang perlu perhatian dan penanganan khusus. Penurunan semacam ini akan menimbulkan perpindahan tanah secara vertikal dan horizontal. Penurunan konsolidasi adalah perpindahan vertikal permukaan tanah sehubungan dengan perubahan volume pada suatu tingkat proses konsolidasi. (Craig, 1987)

Penelitian penurunan konsolidasi pada grup tiang pada tanah lunak sudah dilakukan oleh beberapa peneliti, namun belum ada pembahasan secara mendetail. Penelitian ini lebih ditekankan pada optimalisasi kedalaman dan dimensi grup tiang. Oleh sebab itu, diperlukan suatu penelitian melakukan analisis terhadap pengaruh kedalaman dan dimensi grup tiang terhadap pengurangan penurunan konsolidasi pada tanah lunak yang tebal dengan menggunakan Metode Distribusi Tegangan 2:1. Metode ini dipilih untuk digunakan dalam penelitian karena merupakan metode analisis sederhana yang sering digunakan dalam praktek untuk menghitung penurunan konsolidasi.

### **Penurunan Konsolidasi**

Bila tanah lempung jenuh terendam air dibebani mendadak, tekanan akibat beban tersebut ke tanah selain menyebabkan kompresi elastik yang menyebabkan penurunan segera, juga menyebabkan kelebihan tekanan air pori. Pengurangan kelebihan tekanan air pori hanya dapat terjadi jika air meninggalkan rongga pori lapisan tanah tertekan. Pengurangan volume air di dalam rongga pori menyebabkan pengurangan volume tanah.

Karena permeabilitas lempung rendah, perubahan volume tersebut berlangsung lama dan merupakan fungsi dari waktu. Tanah yang sedang mengalami proses yang demikian disebut sedang berkonsolidasi dan perubahan volume ke arah vertikalnya disebut penurunan konsolidasi primer. Proses konsolidasi primer terjadi sampai tekanan air pori dalam keseimbangan dengan tekanan hidrostatik air tanah di sekitarnya (Hardiyatmo, 2002).

### Hitungan Penurunan Konsolidasi

Penurunan konsolidasi primer dapat dihitung berdasarkan persamaan-persamaan berikut ini (Hardiyatmo, 2007):

- a. Penurunan untuk lempung *normally consolidated* ( $p_c' = p_0$ ) dengan tegangan efektif sebesar  $p_1'$ .

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0}$$

Untuk lempung *overconsolidated* ( $p_c' > p_0$ ) penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan yang bergantung nilai  $p_1'$ .

1. Bila,  $p_1' < p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0}$$

2. Bila,  $p_1' > p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_c'}{p_0} + C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_c'}$$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} ; \text{ pada kurva penambahan beban atau pada } p' > p_c'$$

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'} ; \text{ pada kurva pelepasan beban atau pada } p' < p_c'$$

dimana:

$$p_1' = p_0 + \Delta p$$

$C_r$  = indeks pemampatan kembali

$C_c$  = indeks pemampatan

$H$  = tebal lapisan tanah

$p_c'$  = tekanan prakonsolidasi

$e_0$  = angka pori awal

$p_0$  = tekanan *overburden* efektif mula-mula sebelum dibebani

$S_{ci}$  = penurunan konsolidasi pada lapisan  $i$

### Penurunan Konsolidasi Kelompok Tiang

Terzaghi dan Peck (1967) melaporkan bahwa pada bagian 2/3 panjang tiang bagian atas, kadar air tanah lempung tidak berubah oleh akibat beban struktur, sedang di bagian bawahnya, kadar air berubah oleh adanya konsolidasi. Karena itu, dapat dianggap bahwa tanah di bagian 2/3 panjang tiang tersebut sebagai material yang tidak mudah mampat. Dari pengamatan ini, Terzaghi dan Peck menyarankan penyebaran beban pondasi tiang pada tipe tiang gesek dianggap berawal dari 2/3 panjang tiang ke arah bawah.

Salah satu cara pendekatan kasar yang sangat sederhana untuk menghitung tambahan tegangan akibat beban di permukaan untuk menghitung penurunan diusulkan oleh Boussinesq, caranya dengan membuat garis penyebaran beban 2V:1H (2 Vertikal berbanding 1 Horizontal). Dalam cara ini, dianggap beban pondasi  $q$  didukung oleh piramid yang mempunyai kemiringan sisi 2V:1H.

Penurunan konsolidasi kelompok tiang di tanah lempung yang dihitung dengan menggunakan Metode Distribusi Tegangan 2:1 dengan persamaan rumus yang digunakan sebagai berikut.

Peningkatan tegangan yang timbul di tengah-tengah setiap lapisan tanah dengan beban P:

$$\Delta p = \frac{P}{B' \cdot L'}$$

dimana,

- $\Delta p$  = peningkatan tegangan di tengah lapisan  $i$
- $B', L'$  = panjang dan lebar tiang kelompok di kedalaman  $z$
- $B'$  =  $(B+z)$
- $L'$  =  $(L+z)$
- $z_i$  = jarak dari  $z = 0$  ke tengah lapisan  $i$

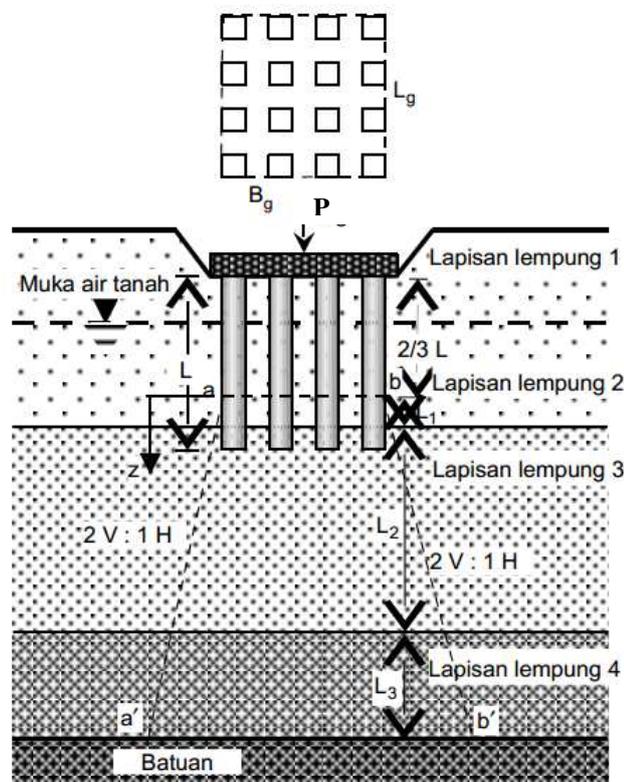
Sebagai contoh, dalam Gambar 1 untuk Lapisan No. 2,  $z_i = L_1/2$ . Sama juga halnya dengan Lapisan No. 3,  $z_i = (L_1 + L_2) / 2$ ; dan untuk Lapisan No. 4,  $z_i = (L_1 + L_2 + L_3) / 2$ . Namun tidak akan ada peningkatan tegangan pada Lapisan No.1, karena berada di atas bidang horizontal ( $z = 0$ ) dimana distribusi tegangan pada tanah dimulai.

Penurunan untuk lempung *normally consolidated* ( $p_c' = p_0$ ) dengan tegangan efektif sebesar  $p_1'$ .

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{p_1'}{p_0}$$

Penurunan konsolidasi total tiang kelompok menjadi:

$$\Delta s(c) = \sum \Delta S_{ci}$$



Gambar 1. Penurunan Konsolidasi Tiang Kelompok  
(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

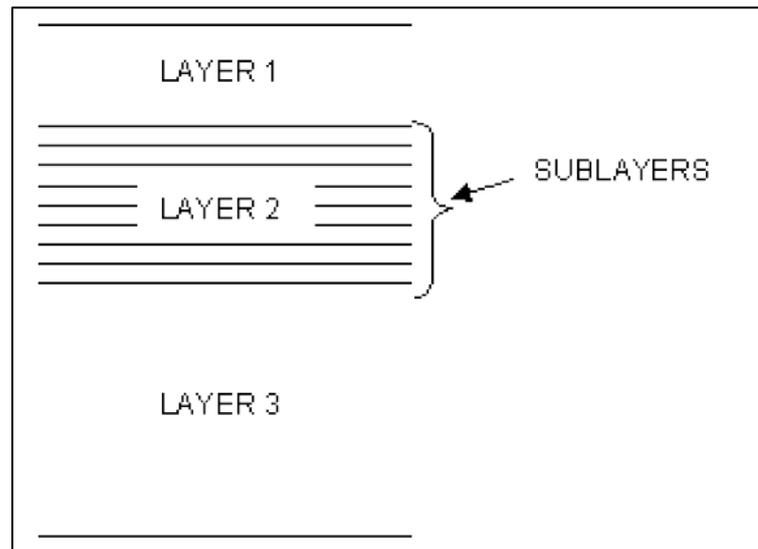
## Metode *One-point* dan Metode *Multi-layer*

Pada Metode *One-point*, tanah liat dianggap sebagai satu lapisan (*one layer*) dan penambahan tekanan diambil pada tengah-tengah lapisan, sedangkan pada Metode *Sub-layer* tanah diasumsikan terdiri dari beberapa lapisan yang tipis (Gambar 2).

Perhitungan penurunan masing-masing lapisan pada Metode *Multi-layer*, akibat penambahan tegangan (yang sesuai dengan bentuk distribusi  $\Delta p$ ), dilakukan menggunakan perumusan yang sama dengan Metode *One-point*. Secara matematis, perumusan umum penurunan pada Metode *Multi-layer* dapat dilihat sebagai berikut:

$$\delta c = \frac{Cc}{1 + e_0} \sum_{i=1}^n H_i \log \left( \frac{p_{0'} + \Delta p}{p_{0'}} \right)$$

dimana,  $n$  adalah jumlah lapisan, dan  $i$  adalah nomor lapisan.



Gambar 2. Pembagian Lapisan Tanah pada Metode *Multi-layer*  
(Sumber: Budi, G. S., Susanto, H., dan Condro, S. R., 2003)

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan 2 tahap, yaitu :

### 1. Teknik Pengumpulan Data

#### a. Pengambilan Data Parameter Tanah

Parameter tanah yang digunakan seperti angka pori ( $e_0$ ),  $C_c$ , dan berat volume tanah ( $\gamma$ ) ditentukan dengan asumsi jenis tanah adalah lempung lunak. Besarnya nilai parameter-parameter tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Parameter Tanah yang Digunakan

No.	Parameter	Nilai
1.	Angka pori ( $e_0$ )	1
2.	Berat volume ( $\gamma$ )	17 kN/m <sup>3</sup>
3.	Indeks pemampatan ( $C_c$ )	0,4

#### b. Pemilihan Jenis Tiang

Jenis tiang yang digunakan dalam penelitian ini adalah tiang friksi. Asumsi diameter tiang friksi adalah 20 cm atau 0,2 meter dengan spasi 3d. Dalam analisa perhitungan

panjang tiang divariasikan menjadi 10%, 20%, 40%, 60%, 80%, 90%, 95%, dan 100% terhadap ketebalan tanah (H).

c. Metode Pemilihan Beban

Metode pengambilan beban dilakukan secara langsung, besarnya beban (q) yang diambil adalah 100 kN. Untuk kebutuhan analisis, dihitung resultant gaya yang berasal dari beban q (beban merata) sehingga menjadi beban terpusat (P). Resultant gaya (P) dihitung dengan mengalikan besarnya beban q dengan luasan grup tiang (luas yang diperoleh dari jarak sisi kali sisi terluar grup tiang).

2. Langkah Analisis Perhitungan

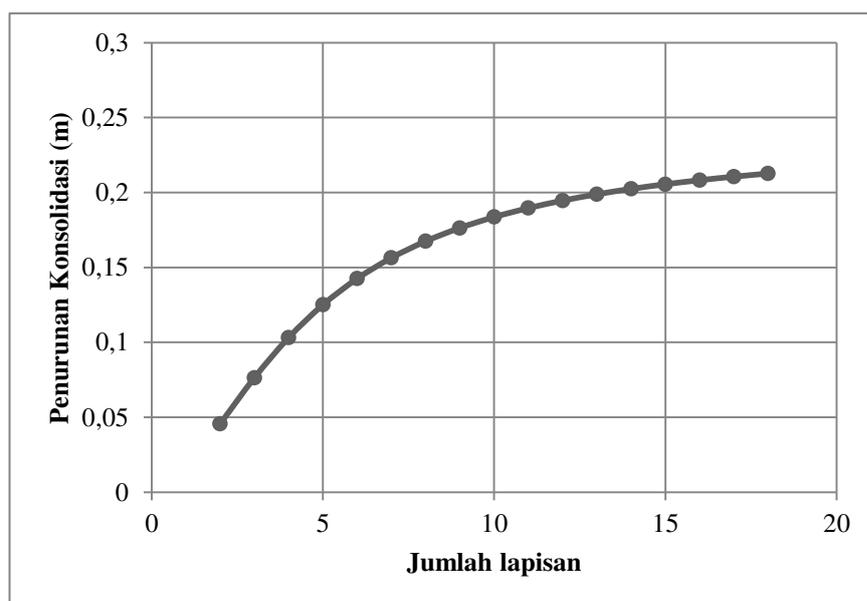
Penurunan konsolidasi dianalisis dengan menggunakan Metode *Multi-layer*. Sedangkan penurunan konsolidasi kelompok tiang dianalisis menggunakan Metode Distribusi Tegangan 2:1. Beban akan disalurkan ke tanah mulai dari permukaan tanah sampai pada  $\frac{2}{3} L$  dari puncak tiang dengan penyebaran beban sepanjang garis 4 vertikal : 1 horizontal. Kemudian mulai dari  $\frac{2}{3} L$  dari puncak tiang dilanjutkan penyebaran beban sepanjang garis 2 vertikal : 1 horizontal. Penelitian dianalisis dengan memvariasikan ketebalan tanah, panjang tiang, dan dimensi grup tiang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hubungan Besarnya Nilai Penurunan Konsolidasi dengan Jumlah Lapisan Tanah

Dari grafik pada Gambar 3 dapat dijelaskan, antara lain sebagai berikut:

1. Nilai penurunan konsolidasi semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan.
2. Dapat terlihat dari grafik bahwa semakin bertambahnya jumlah lapisan diiringi dengan bertambahnya besar penurunan konsolidasi dapat diperoleh kurva yang semakin mendekati garis lurus (horizontal).
3. Semakin bertambahnya jumlah lapisan akan diperoleh selisih penurunan yang semakin kecil, hal ini kelihatan pada grafik yang menunjukkan jarak titik-titik penurunan konsolidasi yang semakin mendekat.

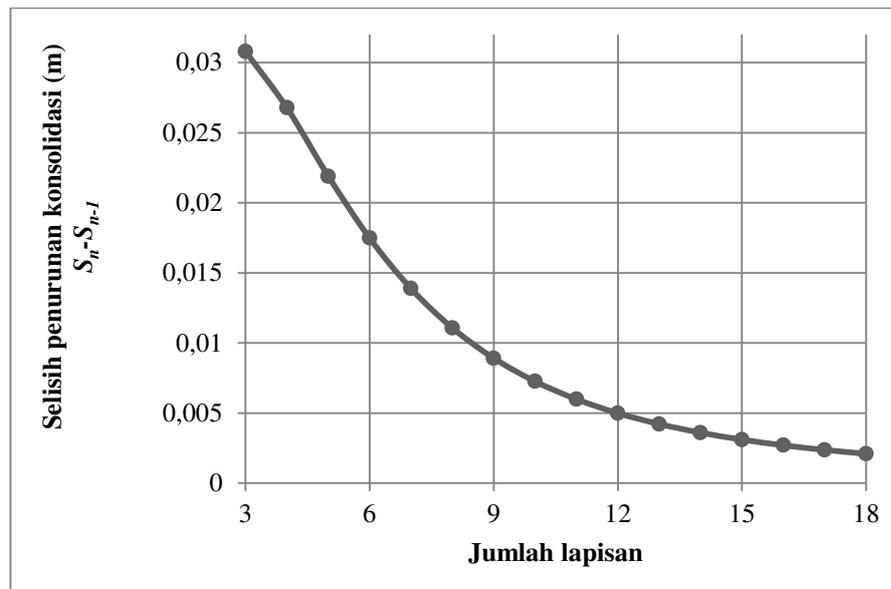


Gambar 3. Hubungan Besarnya Penurunan Konsolidasi dengan Jumlah Lapisan Tanah

### Hubungan Selisih Penurunan Konsolidasi dengan Jumlah Lapisan Tanah

Hubungan selisih penurunan konsolidasi dengan jumlah lapisan tanah dapat dilihat pada Gambar 4. Dari grafik pada Gambar 4 dapat dijelaskan, antara lain sebagai berikut:

1. Nilai selisih penurunan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan.
2. Dapat terlihat dari grafik bahwa semakin bertambahnya jumlah lapisan diiringi dengan semakin mengecilnya selisih penurunan dapat diperoleh kurva yang semakin mendekati garis lurus pula (horizontal).



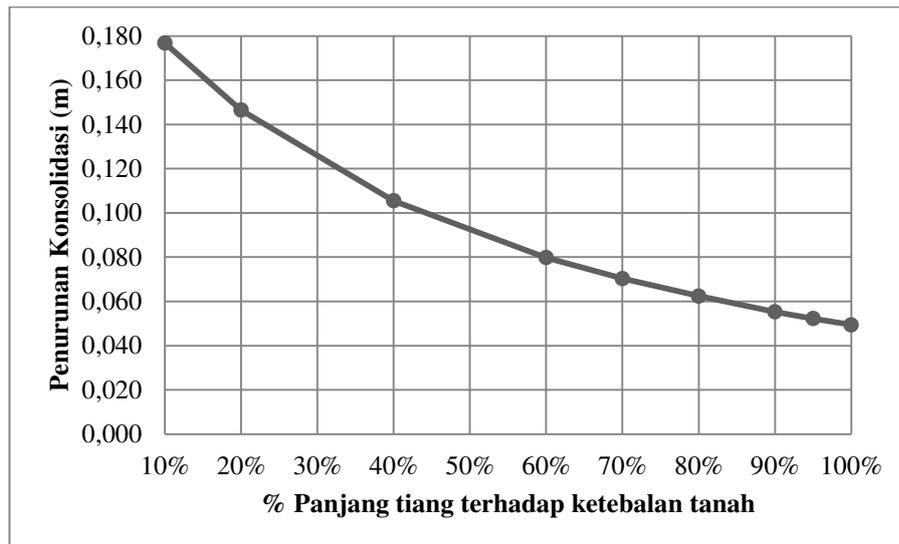
Gambar 4. Hubungan Selisih *Consolidation Settlement* dengan Jumlah Lapisan Tanah

### Hubungan Besarnya Nilai Penurunan Konsolidasi dengan Persentase Panjang Tiang terhadap Ketebalan Tanah

Hubungan besarnya penurunan konsolidasi dengan persentase panjang tiang terhadap ketebalan tanah, diambil dari salah satu group pile, ketebalan tanah, dan persentase panjang tiang, karena semua grup tiang mempunyai perilaku yang sama. Dalam hal ini, diambil satu contoh yaitu grup tiang 2 x 2 dengan tebal tanah 10 meter. Grafik hubungan besarnya penurunan konsolidasi dengan persentase panjang tiang ini dapat dilihat pada Gambar 5.

Dari grafik pada Gambar 5 dapat dijelaskan, antara lain sebagai berikut:

1. Nilai penurunan konsolidasi semakin berkurang seiring dengan bertambahnya panjang tiang.
2. Semakin bertambahnya panjang tiang akan diperoleh selisih penurunan yang semakin kecil, hal ini kelihatan pada grafik yang menunjukkan jarak titik-titik penurunan konsolidasi yang semakin mendekat.



Gambar 5 Hubungan Penurunan Konsolidasi dengan Persentase Panjang Tiang terhadap Ketebalan Tanah

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang diambil dari penelitian pengaruh kedalaman dan dimensi grup tiang terhadap pengurangan penurunan konsolidasi pada tanah lunak yang tebal antara lain sebagai berikut.

1. Nilai penurunan konsolidasi akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan. Penelitian dengan menggunakan Metode *Multi-layer*.
2. Dengan menggunakan Metode Distribusi Tegangan 2:1, maka dengan semakin bertambahnya panjang tiang dan semakin bertambahnya jumlah lapisan akan mengakibatkan selisih penurunan konsolidasi yang semakin kecil.
3. Metode Distribusi Tegangan 2:1 efektif digunakan untuk tanah lunak yang tebal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Boussinesq, J. 1872. *Theorie des ondes et des remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal, en communiquant au liquide contenu dans ce canal des vitesses sensiblement paralleles de la surface au fond*, J. Math. Pure Appliques, Ser.2, Vol.17, 55-108.
- Budi, G. S., Susanto, H., & Condro, S. R. 2003. *Jurnal Evaluasi Penurunan Tanah Liat dengan Metode Sub-layer*. Dimensi Teknik Sipil Vol. 5 No. 1, 14-19.
- Craig, R. F. 1987. *Mekanika Tanah*. Edisi ke Empat. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Teknik Pondasi 1*. Edisi kedua. Yogyakarta: Beta Offset.
- Hardiyatmo, H. C. 2007. *Mekanika Tanah 2*. Edisi keempat. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Terzaghi, K. & Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2 nd. Ed. John Wiley and Sons, New York.