

## EVALUASI PENURUNAN TANAH LIAT DENGAN METODE SUB-LAYER

**Gogot Setyo Budi**

Dosen Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil - Universitas Kristen Petra

**Hery Susanto, Sugeng Raharjo Condro**

Alumni Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil - Universitas Kristen Petra

### ABSTRAK

Penurunan akibat konsolidasi pada umumnya dihitung dengan memakai metode *one-point*, dimana lapisan tanah liat dianggap satu lapisan, dan penambahan tegangan akibat beban dari pondasi hanya ditinjau pada tengah-tengah lapisan. Cara ini kurang teliti terutama untuk menghitung penurunan lapisan tanah liat yang tebal.

Makalah ini mengemukakan metode *sub-layer* untuk menghitung penurunan akibat konsolidasi. Metode ini mengasumsikan bahwa suatu lapisan tanah liat terdiri dari beberapa lapisan tipis (*sub-layer*) dan perhitungan penurunannya dilakukan pada setiap lapisan tersebut. Hasil perhitungan dari kedua metode dibandingkan dengan penurunan yang diperoleh dari tiga percobaan pada model pondasi dengan ukuran panjang 10 cm dan lebar 10 cm, yang diletakkan di atas lapisan tanah liat. Ketebalan lapisan tanah yang dipakai adalah 24 cm, 39 cm, dan 50 cm, atau masing masing sebesar  $2.4 B$ ,  $3.9 B$ , dan  $5 B$ , dimana  $B$  adalah lebar pondasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan yang dihitung dengan metode *sub-layer* selalu lebih besar dari penurunan yang dihitung dengan metode *one-point*, dan lebih mendekati penurunan hasil percobaan. Jumlah *layer* minimal untuk mendapatkan penurunan yang cukup akurat adalah 10 lapisan.

Kata kunci: konsolidasi, penurunan, *sub-layer*.

### ABSTRACT

*Consolidation settlement is commonly computed using one-point method, where a clay deposit is assumed as one layer and the stress increase from foundation is taken at the middle of the layer. This method is not accurate for determining consolidation settlement of a thick clay deposit.*

*This paper presents sub-layer method to compute consolidation settlement, which assumes that a clay layer is composed of several thinner layers. The results of both methods were compared to the settlement observed from the three experiments using a model of square footing with dimension of 10 cm by 10 cm, which was laid on a layer of clay. The thickness of the clay layer were 24 cm, 39 cm, and 50 cm or  $2.4 B$ ,  $3.9 B$ ,  $5 B$ , respectively, where  $B$  is the width of the foundation.*

*The result shows that the consolidation settlement calculated using sub-layer method is always greater than that computed using the one-point method and it has a better agreement to the settlement of the models. Minimum number of layers that gives sufficient accuracy of settlement is 10.*

*Keywords: consolidation, settlement, sub-layer.*

---

**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2003. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil Volume 5 Nomor 2 September 2003.

## PENDAHULUAN

Penurunan pondasi akibat konsolidasi diperoleh dari integrasi regangan vertikal sepanjang ketebalan lapisan tanah yang kompresibel. Dalam praktek, integrasi ini sering disederhanakan dengan hanya memperhitungkan penambahan tekanan di tengah-tengah lapisan tanah, tanpa menghiraukan bentuk geometri dari distribusi tegangan (*stress bulb*) yang terjadi akibat beban pondasi. Hal ini dapat menimbulkan ketidaktepatan dalam perhitungan penurunan, karena hubungan antara penyebaran tekanan tidak berbanding linear dengan kedalaman. Metode pendekatan ini sering disebut metode *one-point*.

Pada penelitian ini akan dibahas perhitungan penurunan akibat konsolidasi dengan memakai metode *sub-layer*, yang mengasumsikan suatu lapisan tanah terdiri dari beberapa lapisan yang lebih tipis, dan kemudian membandingkan dengan penurunan yang diperoleh dari percobaan dengan model pondasi. Model pondasi dibuat dari kayu dengan lebar 10 dan panjang 10 cm, dan diletakkan di atas tanah liat. Tanah liat yang dipakai diambil dari daerah industri Margomulyo, Surabaya, yang memiliki *liquid limit* (LL) 117% dan *plasticity index* (PI) 74%.

## TEORI KONSOLIDASI

Konsolidasi (*consolidation settlement*) adalah proses berkurangnya volume tanah yang disebabkan keluarnya air pori akibat penambahan tekanan. Metode yang sangat umum dipakai untuk menghitung besarnya penurunan akibat konsolidasi adalah perumusan yang diturunkan oleh Terzaghi [1], yaitu: Untuk tanah lempung yang *normally consolidated*:

$$\delta_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_0' + \Delta p}{p_0'} \quad (1)$$

Sedangkan untuk tanah lempung yang *overconsolidated*:

- Bila  $p_0' + \Delta p < p_c'$ :
 
$$\delta_c = C_\alpha \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_0' + \Delta p}{p_0'} \quad (2)$$

- Bila  $p_0' + \Delta p > p_c'$ :
 
$$\delta_c = C_\alpha \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_c'}{p_0'} + C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_0' + \Delta p}{p_c'} \quad (3)$$

di mana :

$C_c$  = indeks kompresi primer (*coefficient of compressibility*)

$C_\alpha$  = indeks kompresi elastik (*coefficient of elastic rebound*)

H = tebal lapisan

$e_0$  = angka pori pada tekanan awal  $p_0'$

$p_0'$  = tekanan efektif awal (*effective overburden pressure*)

$p_c'$  = tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*)

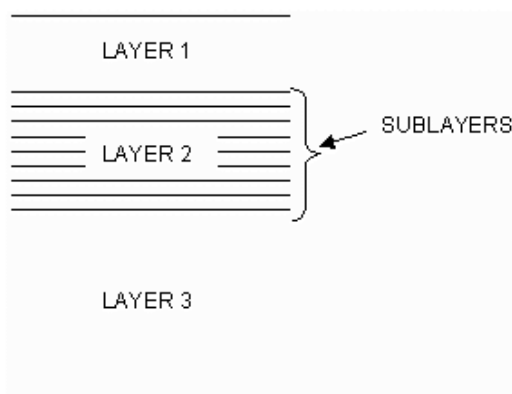
$\Delta p$  = penambahan tekanan

## METODE ONE-POINT DAN METODE SUB-LAYER

Perbedaan pada metode perhitungan *one-point* dan *sub-layer* terletak pada asumsi dalam menentukan penambahan tekanan ( $\Delta p$ ) dan tebal lapisan (H) pada perumusan penurunan di atas. 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 1). Perhitungan penurunan masing-masing lapisan pada metode *sub-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 *sub-layer* dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\delta_c = \frac{C_c}{1+e_0} \sum_{i=1}^n H_i \log \left( \frac{p_0' + \Delta p}{p_0'} \right)_i \quad (4)$$

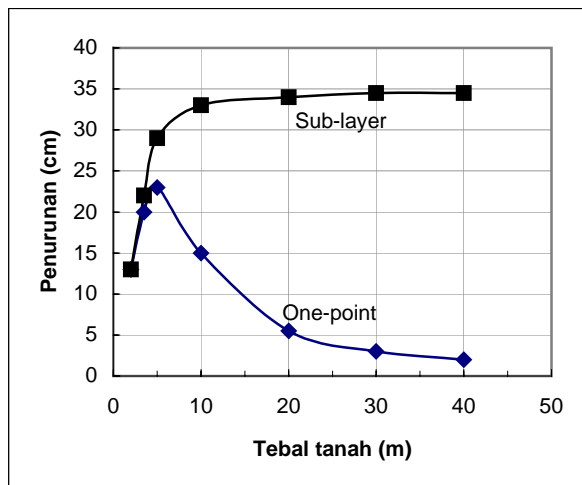
di mana  $n$  adalah jumlah lapisan, dan  $i$  adalah nomor lapisan



Gambar 1. Pembagian Lapisan Tanah pada Metode *Sub-layer*

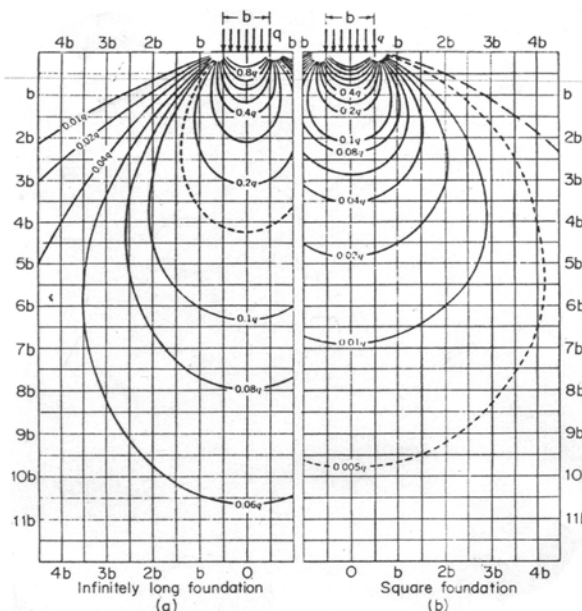
Menurut Mc Phail et al. [2], metode *sub-layer* memberikan hasil yang lebih akurat dibanding dengan metode *one-point*, dan semakin banyak jumlah lapisan yang dipakai, semakin akurat hasil yang didapat. Hal ini dapat dilihat pada penurunan dari kedua metode perhitungan (Gambar 2) pada pondasi bujur sangkar dengan ukuran 2 m di atas lapisan tanah lempung

( $e_0 = 1.2$ ,  $C_c = 0.33$ ,  $\gamma_{sat} = 1840 \text{ kg/m}^3$ ) dan menerima beban vertikal sentris sebesar 50 ton.



Gambar 2. Perhitungan Penurunan Dengan Metode **One-Point** dan **Sub-layer**

Gambar 2 menunjukkan bahwa kedua metode menghasilkan penurunan yang relatif sama pada ketebalan lapisan sampai 5m ( $2-3B$ ); namun pada lapisan yang lebih tebal, metode *one-point* memberikan penurunan yang cenderung mengecil bahkan mendekati nol pada ketebalan lapisan di atas 40 m.



Gambar 3. Penyebaran Tekanan Menurut Boussinesq

Hal ini tidak sesuai dengan teori penyebaran beban oleh Boussinesq [3] seperti terlihat pada Gambar 3, bahwa penyebaran/distribusi tegangan pada tanah yang homogen tidak tergantung dari total ketebalan lapisan tanah. Tegangan yang timbul di dalam tanah akibat beban pondasi semakin ke dalam semakin kecil,

dan akhirnya dianggap nol (sangat kecil). Oleh karena penurunan akibat konsolidasi tergantung pada penambahan tegangan, maka penurunan tanah tidak pernah mengecil seiring dengan bertambahnya ketebalan lapisan.

### PERCOBAAN DENGAN MODEL

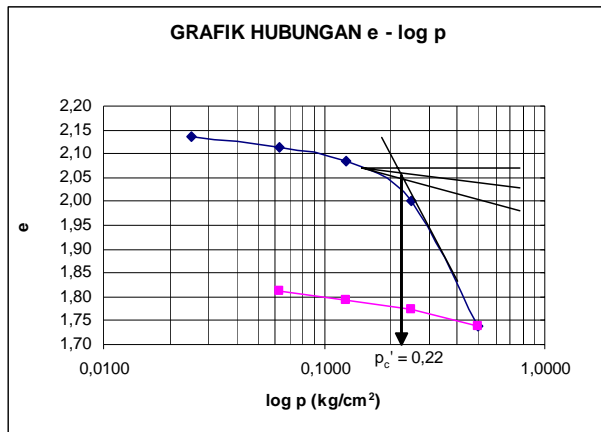
Percobaan dilakukan dengan cara membebani model pondasi, yang terbuat dari papan kayu dengan ukuran panjang 10 cm dan lebar 10 cm, dan diletakkan pada satu lapis tanah liat dengan ketebalan berbeda-beda, masing-masing 24 cm, 39 cm, dan 50 cm. Upaya yang dilakukan agar kepadatan tanah yang dipergunakan dalam percobaan seragam, tanah liat dipersiapkan dalam keadaan *liquid limit* kemudian dilakukan pra-pembebanan sebesar  $0.0875 \text{ kg/cm}^2$  selama 3 hari. Parameter tanah yang diperlukan dalam perhitungan penurunan (indeks kompresi primer  $C_c$ , indeks kompresi elastik  $C_\alpha$ , dan tekanan prakonsolidasi  $p_0'$ ) diperoleh dari uji laboratorium tanah setelah dilakukan pra-pembebanan.

### HASIL DAN ANALISA PERCOBAAN

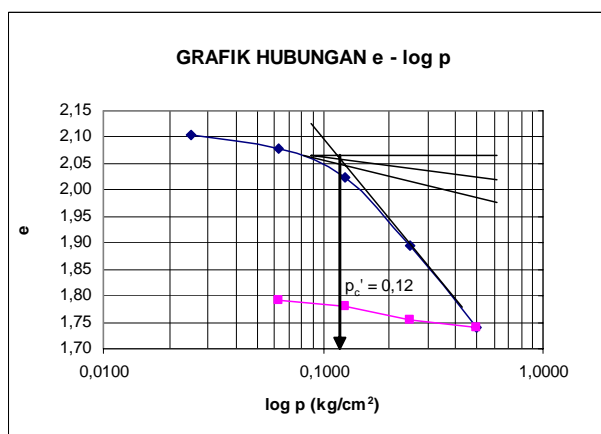
Salah satu kesulitan yang dialami pada saat percobaan adalah bahwa tanah yang dipergunakan agak lembek, sehingga beban maksimum yang dapat diberikan terbatas hanya 9 kg atau ekuivalen dengan  $0.09 \text{ kg/cm}^2$  (hampir sama dengan  $p_c'$  yang diberikan). Apabila beban yang diberikan melebihi 9 kg, model pondasi mengalami penurunan yang sangat besar (runtuh) segera setelah beban diberikan. Berdasarkan kenyataan yang ada, perhitungan penurunan lebih mendekati pada kasus penurunan untuk tanah yang *over-consolidated* dari pada *normally consolidated*.

#### Penentuan Indeks Kompresi Primer ( $C_c$ ), Indeks Kompresi Elastik ( $C_\alpha$ ), dan Tekanan Prakonsolidasi ( $p_c'$ )

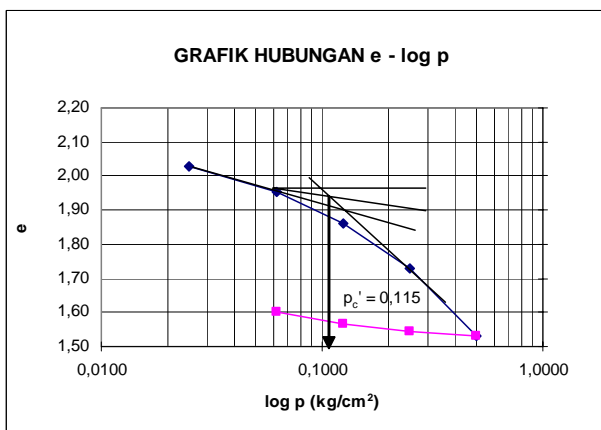
Hubungan antara angka pori ( $e$ ) dan beban dari ketiga percobaan, yaitu percobaan (P-1) dengan tebal lapisan 24 cm, percobaan (P-2) dengan tebal lapisan 39 cm, dan percobaan (P-3) dengan tebal lapisan 50 cm, masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4, 5, dan 6. Besarnya  $C_c$  dan  $C_\alpha$  ditentukan secara visual, sedangkan tekanan prakonsolidasi  $p_c'$  ditentukan dengan menggunakan metode Casagrande [4].



Gambar 4. Hubungan  $e - \log p$  pada Percobaan 1 (P-1) dengan Ketebalan Lapisan 24 cm



Gambar 5. Hubungan  $e - \log p$  pada Percobaan 2 (P-2) dengan Ketebalan Lapisan 39 cm



Gambar 6. Hubungan  $e - \log p$  pada Percobaan 3 (P-3) dengan Ketebalan Lapisan 50 cm

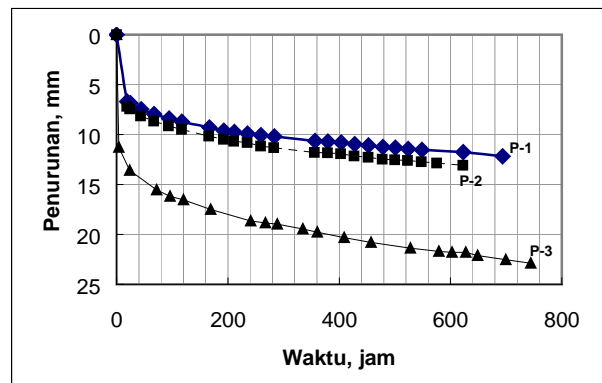
Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata nilai  $C_c$ ,  $C_\alpha$  dan  $p_c'$  yang didapat dari percobaan P-2 dan P-3 hampir sama, yaitu masing-masing sekitar 0.54, 0.10, dan 0.018  $\text{kg/cm}^2$ . Berdasarkan nilai tersebut, selanjutnya untuk perhitungan penurunan dipakai  $C_\alpha$  sebesar 0.10.

Tabel 1. Nilai  $C_c$ ,  $C_\alpha$ , dan  $p_c'$

Percobaan	$C_c$	$C_\alpha$	$p_c'$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
P-1	0.35	0.15	0.22
P-2	0.51	0.10	0.12
P-3	0.57	0.10	0.12

### Penurunan Pada Model Pondasi

Hubungan antara waktu dan penurunan pada ketiga percobaan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hubungan antara Penurunan dengan Waktu P-1, P-2, dan P-3

Ketiga percobaan menunjukkan bahwa penurunan yang besar (primer) terjadi segera setelah beban diberikan, kemudian diikuti oleh penurunan sekunder yang mempunyai kecepatan relatif konstan. Apabila penurunan primer (dianggap sebagai *elastic settlement*) ditentukan satu hari setelah pembebanan, besarnya penurunan dari ketiga percobaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Penurunan Primer dan Kecepatan Penurunan Sekunder

Percobaan	Penurunan dalam 1 Hari	Kecepatan Penurunan Sekunder ( $\text{mm/jam}$ )
P-1	6.8 mm	0.005
P-2	7.5 mm	0.006
P-3	13.3 mm	0.007

### Perhitungan dengan Metode One-point dan Sub-layer

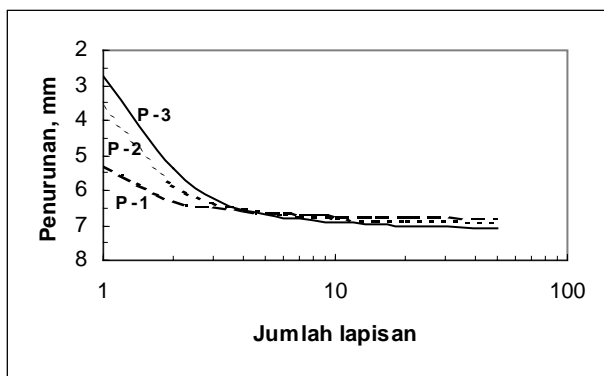
Hubungan antara jumlah lapisan dan besarnya penurunan untuk masing-masing percobaan dapat dilihat pada Gambar 8 atau pada Tabel 3.

Gambar 8 menunjukkan bahwa penurunan yang dihitung dengan metode *one-point* (dengan jumlah lapisan 1) selalu lebih kecil dari pada metode *sub-layer* (jumlah lapisan lebih dari 1). Perbedaan penurunan antara metode *one-point* dan *sub-layer* dengan 50 lapisan pada per-

cobaan 1, 2, dan 3 berturut turut sebesar 23%, 47%, dan 55%. Perbandingan kedua metode perhitungan dan hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4 atau Gambar 9.

**Tabel 3. Perhitungan dengan Metode One-point dan Sub-layer**

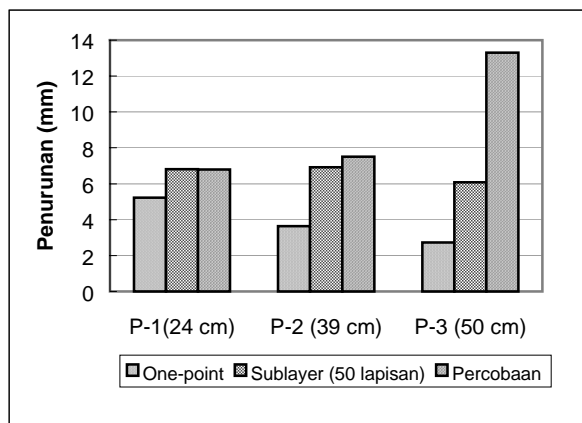
Metode	Jumlah Lapisan	Penurunan (mm)		
		P-1	P-2	P-3
One-point	1 lapisan	5.23	3.64	2.73
Sub-layer	2 lapisan	6.27	5.82	5.40
	5 lapisan	6.61	6.62	6.70
	10 lapisan	6.72	6.78	6.91
	15 lapisan	6.76	6.84	6.99
	20 lapisan	6.77	6.87	6.03
	50 lapisan	6.81	6.92	6.09



Gambar 8. Hubungan Antara Penurunan dan Jumlah Lapisan

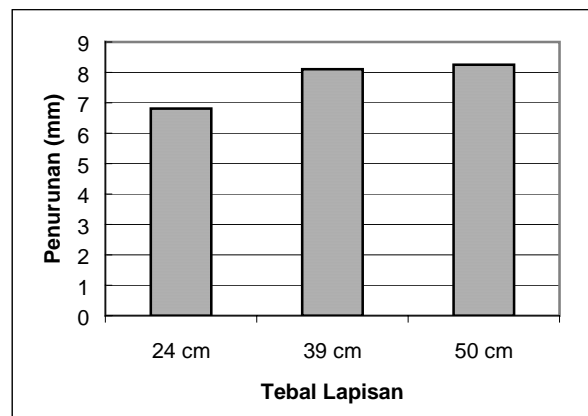
**Tabel 4. Perbandingan Hasil Perhitungan dan Hasil Percobaan**

Metode	Penurunan (mm)		
	P-1 (24 cm)	P-2 (39 cm)	P-3 (50 cm)
One-point	5.23	3.64	2.73
Sub-layer (50 lapis)	6.81	6.92	6.09
Percobaan	6.80	7.50	13.30



Gambar 9. Perbandingan Penurunan Antara Perhitungan dan Percobaan

Metode *sub-layer* pada ketiga percobaan (Gambar 9) menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan tanah liat (P-3) menghasilkan penurunan yang semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh pemakaian ketebalan *sub-layer* yang berbeda. Pada P-1 tebal *sub-layer* adalah 0.48 cm (24/50 cm). sedangkan pada P-3 ketebalan *sub-layer* nya lebih dari dua kalinya yaitu 1 cm (50/50 cm). Apabila ketebalan *sub-layer* pada ketiga percobaan disamakan yaitu sebesar 0.48 cm, hasilnya menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan semakin besar penurunannya, seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Perhitungan Metode Sublayer Dengan Ketebalan Lapisan 0.48 cm

### KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Penurunan yang didapat dengan metode *sub-layer* lebih mendekati penurunan pada hasil percobaan, khususnya percobaan P-1 dan P-2.
2. Metode *sub-layer* menghasilkan penurunan yang lebih akurat, terutama pada lapisan tanah kompresibel yang tebal (lebih dari 2.5 B).
3. Jumlah lapisan minimum yang disarankan pada metode *sub-layer* agar diperoleh hasil yang cukup akurat adalah 10 lapis.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Terzaghi. K., and R. Peck, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley, and Sons. 1948.
2. Mc Phail, Jennifer, et al., Evaluation of Consolidation Settlement Using The Sublayer Method, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2000.

3. Hardiyatmo, Hary Christady, *Mekanika Tanah 2*, Jakarta, Gramedia Pustaka Utama, 1994.
4. Coduto, D.P., *Geotechnical Engineering—Principles and Practices*, Prentice-Hall, 1994.