

# NEGATIVE SKIN FRICTION TIANG PANCANG PADA TANAH LEMPUNG STUDI KASUS PABRIK TEKSTIL, BALE ENDAH

Budijanto Widjaja<sup>(1)</sup>, Anastasia Sri Lestari<sup>(2)</sup>, Agusman<sup>(3)</sup>

## ABSTRAK

Pada pabrik tekstil di Bale Endah terdapat beberapa masalah geoteknik. Masalah utama yang muncul pada pabrik ini adalah masalah penurunan pada tanah lempung lunak yang mengakibatkan terjadinya deformasi pada lantai keramik dan pelengkungan pada dinding sebelah barat pabrik serta retak dan hancurnya gorong-gorong pada sistem drainase di lokasi kolom tengah pabrik. Stratifikasi tanah pada lokasi ini didominasi oleh lapisan lempung lunak hingga kaku dan ditemukan juga lapisan lensa pasir pada kedalaman 9-12 m. Oleh karena itu, penurunan tanah relatif lebih ditentukan oleh penurunan konsolidasi tanah lempung tersebut. Selain masalah penurunan tanah lempung, timbul masalah lain yaitu masalah negative skin friction pada pondasi tiang pancang. Hal ini terjadi karena di atas tanah lempung tersebut terdapat timbunan yang mengakibatkan penambahan beban atas tanah, sehingga penurunan tanah menjadi lebih besar dari pada penurunan pondasi tiang pancang. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan total konsolidasi tanah lempung sebesar 35,60 cm dalam waktu 12,00 tahun dan penurunan total pondasi tiang pancang dengan beban kolom 16,72 ton adalah sebesar 10,44 cm. Akibat gesekan selimut negatif, pondasi tiang pancang yang digunakan kurang kuat menahan beban yang bekerja. Lokasi titik netral berada pada kedalaman 23,25-28 m untuk panjang pondasi tiang pancang sedalam 30 m.

**Kata-kata kunci :** negative skin friction, tiang pancang, penurunan konsolidasi

## 1 PENDAHULUAN

Lokasi penelitian ini terletak di Pabrik Tekstil Bale Endah, Bandung. Pada lokasi tersebut muncul beberapa permasalahan geoteknik seperti penurunan tanah lempung lunak yang mengakibatkan adanya variasi penurunan pada lantai, pelengkungan pada dinding sebelah barat pabrik yang bersebelahan dengan daerah sawah serta retak dan hancurnya gorong-gorong pada sistem drainase di lokasi kolom tengah pabrik. Untuk itu perlu dilakukan kajian-kajian dengan tinjauan ilmu geoteknik untuk mempelajari penyebab dari masalah-masalah tersebut.

Lokasi penelitian dilakukan pada pabrik tekstil di Bale Endah, Ujungberung, Bandung. Daerah Bale Endah secara geologi didominasi oleh endapan danau dengan daerah disekitarnya merupakan hasil gunung api muda dan tua yang tidak teruraikan dan tufa berbatu apung. Gambar peta geologi lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Peta Geologi Lokasi Penelitian (P. H. Silitonga, 1973)

## 2 PARAMETER TANAH

Untuk mengetahui stratifikasi dan parameter tanah, pada lokasi ini dilakukan uji lapangan berupa pemboran teknik sebanyak dua buah titik dan uji sondir sebanyak tiga titik. Pemboran dilakukan hingga kedalaman 30,0 m. Selain pemboran dilakukan juga pengambilan sampel tak terganggu (*undisturbed sample*) dan SPT.

Uji sondir yang digunakan berupa uji sondir mekanik dengan kapasitas maksimum 2,5 ton. Uji sondir ini dilakukan dengan kedalaman penetrasi mencapai 11,40 m, 23,60 m, dan 25,00 m. Berdasarkan pengamatan muka air tanah, muka air tanah berada pada kedalaman 1,0 m dari permukaan *existing*.

### 2.1 Indeks Properti Tanah

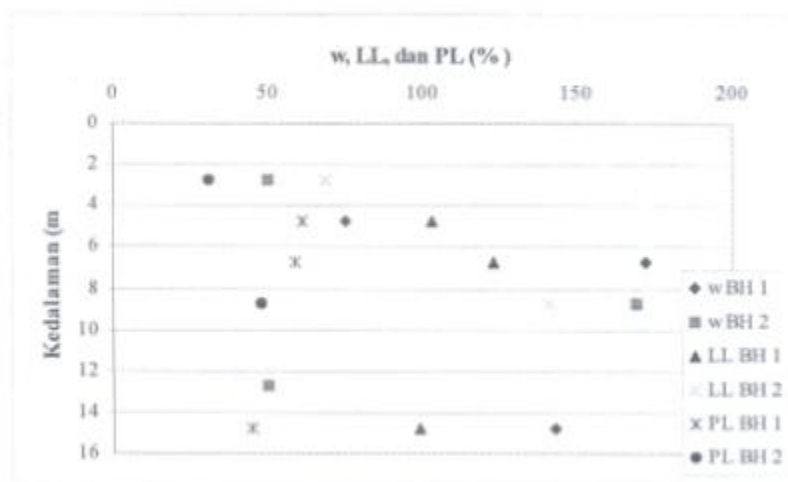
Pada Gambar 2.1, kadar air ( $w$ ) mempunyai rentang nilai 50% - 172%. Nilai ini lebih mendekati nilai batas cair (LL) yang mempunyai nilai 69% - 141% dari pada nilai batas plastis (PL) yang mempunyai nilai 31% - 61%. Hal ini mengindikasikan bahwa tanah dalam kondisi lunak atau memiliki kuat geser relatif rendah.

Pada Tabel 2.1 diberikan beberapa nilai *index properties* yang menunjukkan beberapa sifat-sifat fisik tanah yang diperoleh dari uji laboratorium. Nilai derajat kejenuhan ( $S_v$ ) menunjukkan bahwa tanah dalam keadaan basah (*wet*). Perilaku tanah secara umum didominasi oleh tanah lanau dan lempung berplastisitas tinggi.

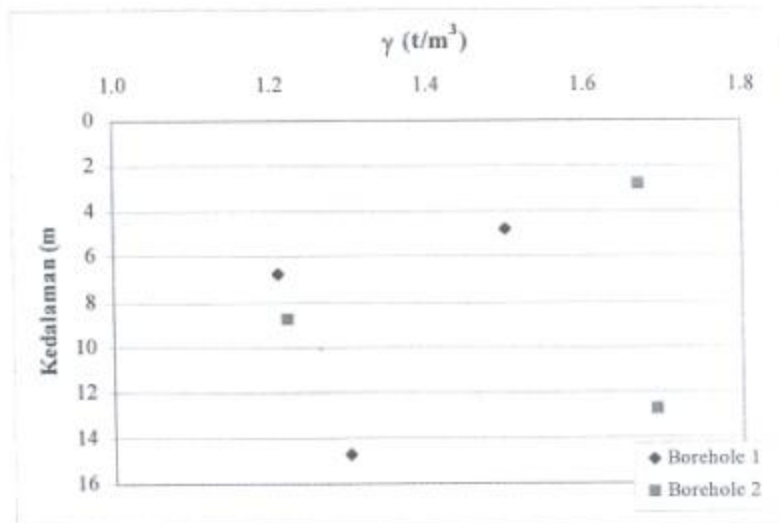
Nilai berat isi ( $\gamma$ ) terhadap kedalaman diambil mengikuti *trend* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Nilai berat isi berkisar antara 1,2 – 1,6 t/m<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan perlapisan tanah yang cenderung berada dalam kondisi sangat lunak hingga lunak.

Tabel 2.1 Nilai-nilai *Index Properties* pada Pabrik Tekstil di Bale Endah

BH	Kedalaman M	m	G <sub>s</sub>	$\gamma$ t/m <sup>3</sup>	$\gamma_d$ t/m <sup>3</sup>	e	S <sub>c</sub> %	w %	LL %	PL %	LI %	PI %	Jenis
1	4,5 – 5,0	4,75	2,48	1,50	0,86	1,90	98	75	103	61	33	42	MH
	6,5 – 7,0	6,75	2,38	1,21	0,45	4,73	94	172	123	59	177	64	MH
	14,5 – 15,0	14,75	2,45	1,30	0,53	3,73	99	143	99	45	181	54	MH
2	2,5 – 3,0	2,75	2,62	1,67	1,11	1,34	95	50	69	31	50	38	CH
	8,5 – 9,0	8,75	2,38	1,22	0,45	4,90	93	169	141	48	130	93	CH
	12,5 – 13,0	12,75	2,66	1,69	1,13	1,36	98	50	-	-	-	-	NP



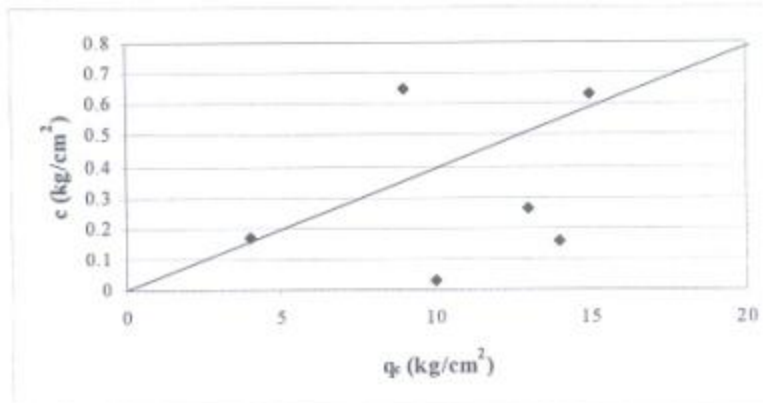
Gambar 2.1 Hubungan w, LL, dan PL terhadap Kedalaman



Gambar 2.2 Hubungan Berat Isi ( $\gamma$ ) terhadap Kedalaman

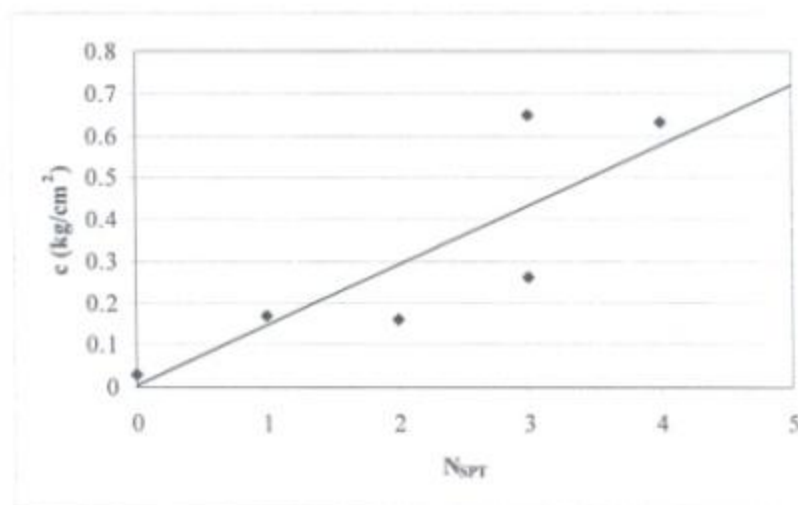
## 2.2 Korelasi $q_c$ dan $N_{SPT}$ terhadap Parameter Tanah

Pada Gambar 2.3 didapat hubungan bahwa  $c = 1/25 q_c$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Hal ini cukup konsisten dengan rekomendasi dari Begemann bahwa  $c = 1/\alpha q_c$  dengan nilai  $\alpha$  bervariasi antara 14 – 21.



Gambar 2.3 Korelasi  $q_c$  terhadap  $c$

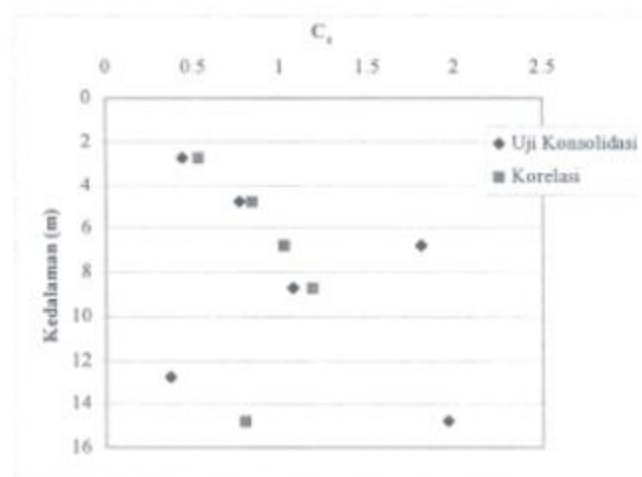
Uji pembooran dilakukan pada dua buah titik masing-masing dengan kedalaman 30 m. Pada Gambar 2.4 didapat hubungan bahwa  $c = 1/7 N_{SPT}$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). Hal ini cukup konsisten dengan rekomendasi dari Terzaghi dan Peck (1967) yaitu  $c = 1/16 N_{SPT} - 1/8 N_{SPT}$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).



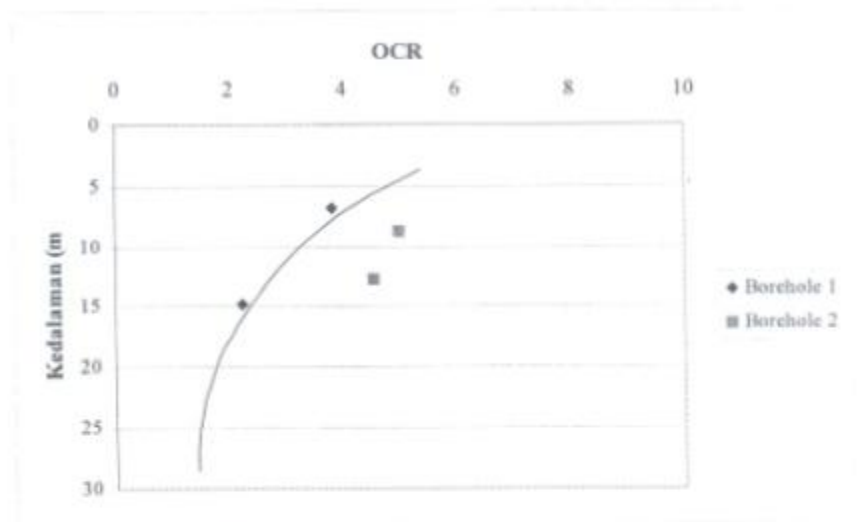
Gambar 2.4 Korelasi  $N_{SPT}$  terhadap  $c$

### 2.3 Kompresibilitas Tanah

Nilai indeks kompresi pada Gambar 2.5 diperoleh dari uji konsolidasi. Nilai ini cukup konsisten dengan nilai korelasi yang direkomendasikan oleh Terzaghi dan Peck (1967) bahwa  $C_c = 0.009(LL - 10)$ . Pada Gambar 2.5 harga OCR ditunjukkan bervariasi antara 1 hingga 4. Hal ini mengindikasikan bahwa tanah berada dalam kondisi terkonsolidasi normal hingga terkonsolidasi lebih.



Gambar 2.5 Korelasi  $C_c$  terhadap Kedalaman

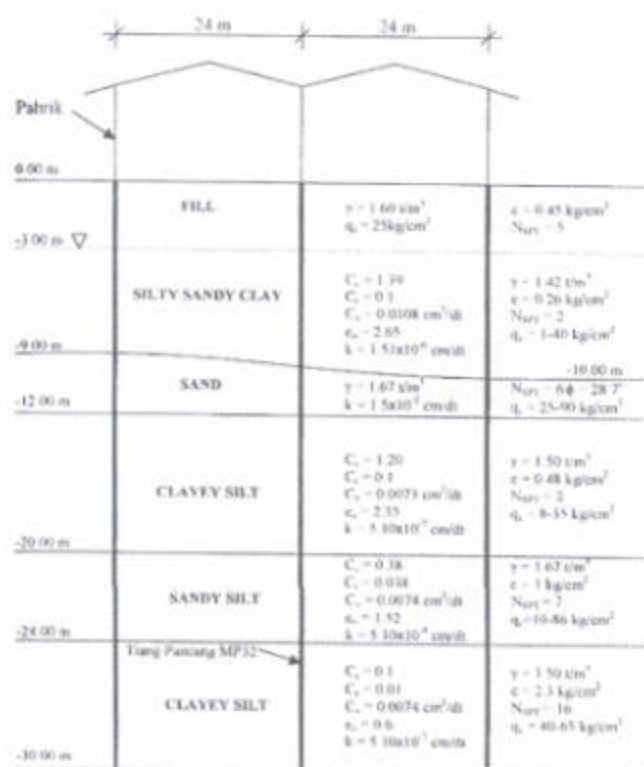


Gambar 2.6 Korelasi OCR terhadap Kedalaman

#### 2.4 Stratifikasi Tanah

Berdasarkan hasil pembaran dan uji laboratorium serta uji lapangan, pelapisan tanah pada lokasi pabrik ini secara umum didominasi oleh lempung lunak dengan terdapat lapisan lensa tipis pada kedalaman sekitar 10,0 – 12,0 m dari permukaan tanah. Pada kedalaman 0,0 – 10,0 m, tanah lempung memiliki nilai  $N_{SPT}$  berkisar antara 2 – 5 dengan harga tahanan ujung sondir  $q_c$  sebesar 1 – 40  $kg/cm^2$ . Kedua uji tersebut cukup konsisten dan memperlihatkan tanah lempung berkonsistensi sangat lunak hingga lunak.

Pada lokasi telah dilakukan konstruksi tiang pancang beton segitiga (mini pile) MP 32 dengan lebar sisi 32 cm. Panjang tiang yang ditanamkan adalah sekitar 30,0 m. Tiang-tiang inilah yang kemudian memunculkan masalah gesekan negatif yang mengakibatkan kerusakan pada bangunan pabrik.



Gambar 2.7 Stratifikasi Tanah di Bale Endah

### 3 NEGATIVE SKIN FRICTION

Bila sebuah tiang berada di dalam tanah timbunan yang cukup tebal dan ditempatkan di atas tanah yang kompresibel, maka tanah akan cenderung bergerak ke bawah. Akibat beban timbunan, terjadi peningkatan tekanan air pori sehingga tanah tersebut mengalami konsolidasi dan penurunan yang cukup besar. Jika penurunan tanah di sekitar tiang lebih besar daripada penurunan tiang, maka akan timbul geseran antara selimut tiang dengan tanah ke arah bawah yang menyebabkan tiang pancang tertarik ke bawah. Gaya geser ke bawah ini dikenal sebagai gesekan negatif (*negative skin friction*) atau *downdrag*.

Pada berbagai kondisi, khususnya pada tanah lempung, distribusi penurunan tanah akan berubah terhadap waktu karena adanya perubahan tekanan pori yang mengakibatkan konsolidasi pada tanah.

Berkaitan dengan penyebab penurunan tanah, besarnya gesekan negatif bertambah dengan besarnya gerakan relatif antara selimut tiang dan tanah. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan penurunan tanah adalah profil tanah dan elevasi muka air tanah, sifat-sifat tanah (kompresibilitas dan konsolidasi), serta besarnya beban dan lamanya pembebanan.

### 3.1 Titik Netral

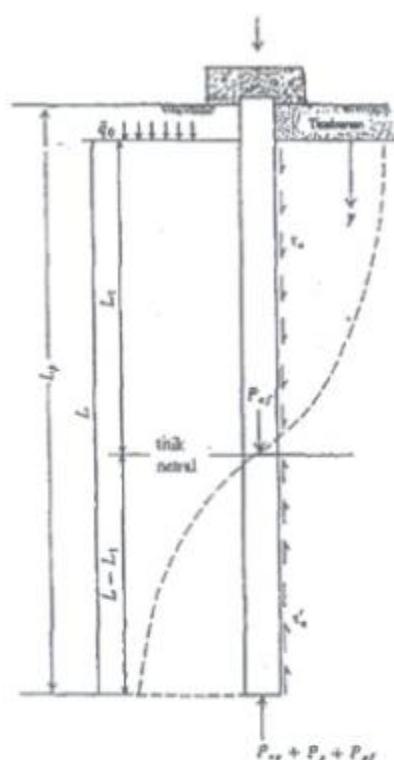
Salah satu cara untuk menentukan titik netral pada pondasi tiang pancang yang mengalami gesekan negatif pada selimut tiang adalah dengan menggunakan metode transfer beban (*load transfer method*) dan penurunan konsolidasi.

Metode transfer beban didasarkan atas mekanisme bahwa kepala tiang mengalami peralihan vertikal saat dibebani. Peralihan ini terjadi baik sebagai akibat perpendekkan elastis tiang maupun penurunan ujung tiang. Tanah mengalami perlawanan geser sepanjang selimut tiang dan tahanan ujung sesuai dengan penetrasi tiang ke dalam tanah. Besarnya perlawanan tersebut tergantung atas karakteristik tegangan-deformasi tanah.

Dengan melakukan perhitungan berdasarkan beberapa perpindahan titik ujung tiang yang berbeda maka akan diperoleh kurva hubungan antara beban dan penurunan di kepala tiang. Dengan cara analisis ini maka pada tiap tahap pembebanan dapat diketahui besarnya beban yang dialihkan pada masing-masing segmen tiang.

Kemudian dibuat kurva hubungan perpendekkan tiang terhadap kedalaman. Titik perpotongan antara kurva ini dengan kurva hubungan penurunan konsolidasi terhadap kedalaman adalah titik netral (*neutral point*) pondasi tiang pancang. Perilaku ini juga terjadi pada daerah endapan lumpur atau lempung akibat terganggunya tanah pada saat pemancangan tiang. Peningkatan tekanan air pori pada saat pemancangan menimbulkan penurunan tanah yang mengakibatkan gesekan negatif.

Akibat utama yang ditimbulkan oleh gesekan negatif adalah penambahan beban aksial pada tiang dan pengurangan tegangan efektif pada ujung tiang yang disertai pengurangan kapasitas daya dukung ultimate. Penambahan beban aksial pada tiang dapat mengakibatkan penambahan penurunan tiang yang disebabkan oleh pemendekan aksial tiang pancang di bawah titik netral. Yang dimaksud dengan titik netral adalah elevasi pada tiang dimana tidak terjadi geseran antara selimut tiang dengan tanah atau suatu titik batas dimana terjadi perubahan menjadi gesekan negatif seperti yang terlihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skematis Gesekan Negatif pada Pondasi Tiang

### 3.2 Metode Evaluasi Gesekan Negatif pada Pondasi Tiang Pancang

Besarnya gesekan negatif merupakan jumlah gaya geser di sepanjang tiang. Pada tiang pancang tunggal besaran tersebut pada kedalaman  $z$  adalah :

$$P = \int_0^z \tau_s \cdot p \cdot dz \quad (1)$$

dengan :

$\tau_s$  = Tegangan geser antara tiang dengan tanah.

$p$  = Keliling tiang.

Tegangan geser diperoleh dari persamaan Coulomb :

$$\tau_s = c^1_s + K_s \cdot \sigma^1_v \cdot \tan \delta \quad (2)$$

dengan :

$c^1_s$  = Adhesi antara tiang dan tanah (*drained soil*).

$K_s$  = Koefisien tekanan tanah.

- $\sigma'_v$  = Tegangan vertikal efektif.  
 $\delta$  = Sudut geser antara tiang dan tanah.

### 3.2.1 Metode $\beta$

Metoda  $\beta$  merupakan metode semi empiris untuk tiang pancang tunggal yang dikembangkan oleh Garlenger (1973). Harga  $\beta$  diambil sebesar  $K_v \tan \phi$  Harga  $\beta$  tergantung atas jenis tanah (Tabel 3.1). Asumsi yang digunakan adalah bahwa gaya geser pada selimut tiang berkaitan dengan tegangan efektif vertikal secara empiris untuk menentukan harga konstanta  $K \tan \delta$  dan gesekan negatif hanya bekerja sampai titik netral.

Tabel 3.1 Nilai  $\beta$  pada Beberapa Jenis Tanah

Jenis Tanah	$\beta$
Lempung	0,20-0,25
Lanau	0,25-0,35
Pasir	0,35-0,50

Langkah-langkah yang dilakukan untuk memperkirakan besarnya gesekan negatif adalah sebagai berikut

1. Memperkirakan penurunan tanah yang akan terjadi setelah pemancangan tiang dan memeriksa apakah penurunan tersebut cukup besar sehingga menyebabkan masalah gesekan negatif yang hebat (lebih besar dari 5 cm),
2. Menentukan dimensi tiang dan elevasi tiang,
3. Menentukan profil dan parameter tanah,
4. Menentukan tegangan efektif vertical  $\sigma'_v$  di tengah setiap lapisan,
5. Menentukan besarnya gesekan negatif maksimum pada setiap tengah lapisan tanah,  

$$f = \beta \sigma'_v$$
6. Menghitung gaya gesekan negatif  $P_N$ , yang merupakan kontribusi dari masing-masing lapisan tanah.

$$P_N = f.p.h \quad (3)$$

dengan :

p = Keliling tiang.

h = Ketebalan lapisan.

### 3.2.2 Metode Prakash & Sharma (1990)

Besarnya *negative skin friction* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$F = \pi D (K \sigma'_v \tan \phi_e) L_e \quad (4)$$

dengan :

- K = Koefisien tekanan lateral tanah =  $1 - \sin \phi_e$
- $\phi_e$  = Sudut geser dalam efektif.
- $\sigma'_v$  = Tegangan vertikal efektif
- $L_e$  = Tebal efektif lapisan tanah yang mengalami konsolidasi.
- D = Diameter tiang.

Prakash & Sharma (1990) mengusulkan tebal efektif lapisan tanah yang mengalami konsolidasi tersebut dengan menggunakan persamaan :

$$L_e = 0.75 L_c \quad (5)$$

dengan :

- $L_c$  = Tebal total dari lapisan tanah yang mengalami konsolidasi.

Untuk mengurangi pengaruh *negative skin friction*, dapat dilakukan hal-hal berikut berupa cara *coated* tiang dengan bitumen (Bjerrum et al., 1969), penginstalasian tiang ke dalam sebuah selubung temporer yang dapat ditarik kembali dimana jarak antara tiang dan selubung diisi dengan material yang mudah melekat (Golder dan Willeimier, 1964), atau penggunaan tiang beton pracetak dimana diameter tiang atas lebih kecil dari bagian bawahnya (Plantema dan Nolet, 1957).

Tabel 3.2 Unit *Skin Friction* untuk Tiang *Coated* dan *Uncoated* (Prakash dan Sharma, 1990)

Kondisi Tanah dan Tiang	Unit <i>Negative Skin Friction</i>
<i>Uncoated pile</i>	
Lapisan lanau dan lempung yang kompresibel, <i>soft</i>	0,15 – 0,30 $\sigma'_v$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Pasir, <i>loose</i>	0,30 – 0,80 $\sigma'_v$ (kg/cm <sup>2</sup> )
<i>Coated pile</i>	
Menggunakan bitumen bentonite	0,01 – 0,05 $\sigma'_v$ (kg/cm <sup>2</sup> )

Negative Skin Friction Tiang Pancang Pada Tanah Lempung.

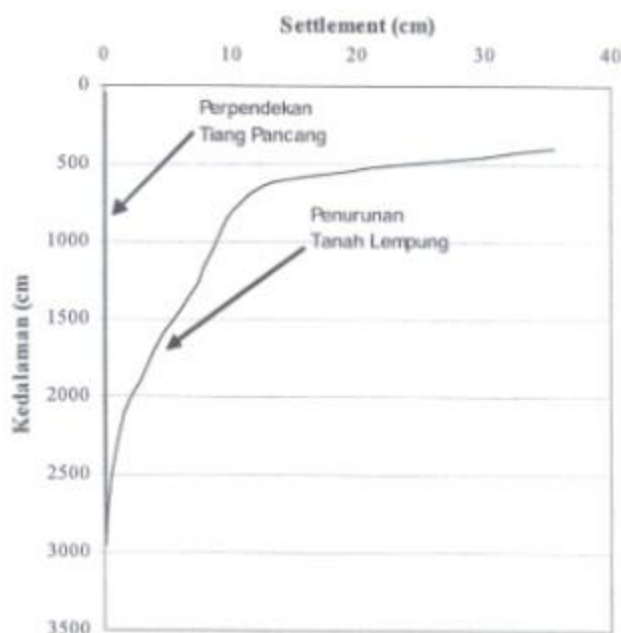
#### 4 HASIL ANALISIS PERHITUNGAN PENURUNAN KONSOLIDASI PADA TANAH LEMPUNG

Berdasarkan data beban struktur atas pabrik berupa rangka baja dilakukan analisis penurunan konsolidasi. Penurunan total yang akan terjadi adalah sebesar 35,6 cm. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan total tersebut adalah 12,0 tahun. Pada perhitungan ini dijumpai adanya lapisan pasir pada kedalaman 10,0 – 12,0 m, sehingga dalam perhitungan penurunan konsolidasi tanah lempung dibagi menjadi dua lapisan yaitu lapisan di atas dan di bawah pasir yang kemudian disuperposisikan besaran penurunannya. Berdasarkan hasil analisis diperoleh penurunan konsolidasi sebesar 31,29 cm. Hasil ini cukup konsisten dengan hasil pengamatan penurunan tanah yaitu antara 20,0 – 28,0 cm.

#### 5 HASIL ANALISIS PERHITUNGAN PENURUNAN PONDASI TIANG PANCANG

Perhitungan gesekan negatif pada pondasi tiang pancang untuk tanah lempung menggunakan metode Prakash & Sharma (1990). Untuk lapisan pasir digunakan metode  $\beta$ . Titik netral pondasi tiang pancang diperoleh pada kedalaman 23,25 m. Friksi selimut ( $f_s$ ) dihitung dengan metode  $\alpha$  (Tomlinson, 1988) untuk tanah lempung dan metode  $\beta$  untuk tanah pasir.

Metode tranfer beban dan penurunan konsolidasi dapat digunakan untuk menentukan lokasi titik netral. Berdasarkan gambar kkk diperoleh titik netral pada kedalaman 28 m (Gambar 5.1). Hal ini menunjukkan pula kekonsistenan hasil dengan metode Prakash & Sharma (1990).



**Gambar 5.1 Hubungan Settlement terhadap Kedalaman**

Berdasarkan analisis, daya dukung ujung ultimit sebesar 92 ton dan daya dukung selimut ultimit adalah 33 ton. Daya dukung ijin diprediksi sebesar 42 ton. Friksi negatif diperoleh sebesar 28 ton. Beban struktur atas terbesar adalah sebesar 16,7 ton sehingga beban total yang bekerja pada tiang pancang adalah sebesar 44,7 ton. Dari hasil ini terlihat bahwa  $Q_w$  jauh lebih besar dari daya dukung ijin dan hal ini menunjukkan bahwa pondasi tiang pancang tersebut kurang kuat dengan faktor keamanan sebesar 0,95.

## 6 KESIMPULAN

1. Penurunan total konsolidasi tanah lempung pada pabrik tekstil di Bale Endah sebesar 35,60 cm. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai penurunan total tersebut adalah 12,00 tahun.
2. Penurunan total pondasi tiang pancang sebesar 10,44 cm dengan beban kolom 16,7 ton.
3. Titik netral pondasi tiang pancang diperoleh pada kedalaman 28,00 m. Nilai ini cukup konsisten dengan rekomendasi dari Prakash dan Sharma (1990), yaitu pada kedalaman 23,50 m.

- 4 Daya dukung pondasi tiang pancang sebesar 42 ton lebih kecil dibandingkan beban yang bekerja padanya sebesar 44,7 ton. Hal ini mengakibatkan pondasi tiang pancang menjadi kurang kuat menahan beban yang bekerja padanya.
- 5 Gesekan negatif pada selimut pondasi tiang pancang mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap daya dukung pondasi tiang pancang. Gesekan negatif ini relatif mengurangi daya dukung dari pondasi tiang pancang tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Agusman (2003), *Kajian Penurunan Tanah Lempung dan Gesekan Negatif pada Selimut Pondasi Tiang Pancang Pabrik Tekstil Bale Endah, Bandung*. Skripsi tidak dipublikasikan, Universitas Katolik Parahyangan
2. Bowles, Joseph E. (1977), *Foundation Analysis and Design*, 2<sup>nd</sup> edition, Mc Graw Hill, New York.
3. Budhu, Muni. (2000), *Soils Mechanics and Foundations*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
4. Carter, Michael., and Bentley, Stephen P. (1991), *Correlations of Soil Properties*, Pentech Press, London.
5. Coduto, D.P. (1994), *Foundation Design Principles and Practices*, Prentice Hall, New Jersey.
6. Garlenger, J.E., 1973, "Prediction of the Downdrag Load at Culter Circle Bridge," *Simposium on Downdrag of Piles*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
7. Irsyam, Masyhur. (2003), *Beberapa Hal yang Perlu Dipertimbangkan dalam Desain Tiang Pancang di Tanah Lunak*, Seminar Geoteknik, *Pile Foundation Analysis, Design and Evaluation*, Testana Engineering, Inc., Surabaya.
8. Mayne, P.W., Christopher, B.R., and Jong J.D. (2001), *Manual on Subsurface Investigations*, Federal Highway Administration, California.
9. Peck, R.B., Hanson and Thornburn, T.H. (1953), *Foundation Engineering*, John Wiley & Son, Inc., New York.
10. Prakash, S., Sharma, H. (1990), *Pile Foundations in Engineering Practice*, John Wiley & Son, Inc., New York.
11. Silitonga, P.H. (1973), *Peta Geologi Lembar Bandung, Djawa*, Direktorat Geologi, Bandung.
12. Simons, N. and Menzies, B. (1999), *A Short Course in Foundation Engineering*, 2<sup>nd</sup> Edition, Thomas Telford, London.

13. Terzaghi, K., dan Peck, R.B., 1967, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons. New York.
14. Tomlinson, M.J., 1988, *Pile Design and Construction Practice*, 4<sup>th</sup> ed., E & FN SPON. London.
15. Whitlow, R. (1995), *Basic Soil Mechanics*, 3<sup>rd</sup> Edition, Addison Wesley Longman Ltd, Essex.
16. Widjaja, B. (2003), *Studi Forensik – Usulan Perbaikan Pabrik Tekstil Bale Endah*, Geotechnical Report No. III-05/GEO/2003

#### RIWAYAT PENULIS

<sup>(1)</sup>Budijanto Widjaja, ST., MT., adalah dosen di Jurusan Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan. Bidang keahlian yang dikuasai adalah geoteknik.

<sup>(2)</sup>Anastasia Sri Lestari, ST., MT., adalah dosen di Jurusan Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan. Bidang keahlian yang dikuasai adalah geoteknik.

<sup>(3)</sup>Agusman, ST. adalah mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

