

Pengaruh Tanah Ekspansip Pada Pondasi Tiang

Salem P. Sihombing



Sifat ekspansip dari suatu jenis tanah dapat mempengaruhi kestabilan suatu konstruksi misalnya pada gorong-gorong, jalan dan sebagainya. Sifat ini umumnya terjadi pada tanah yang mengandung mineral monmorillonite dan berbutir halus. Tanah yang berbutir halus menarik air lebih banyak karena luas permukaannya lebih besar.

Pondasi tiang yang dimasukkan pada tanah ekspansip ini akan terpengaruh dan menimbulkan gaya angkat (uplift forces) sebagai akibat dari tanah yang mengembang (swelling).

PENDAHULUAN

Pengaruh tanah ekspansip pada berbagai konstruksi perlu diketahui karena dapat menimbulkan hal-hal yang dapat merugikan.

Sifat ekspansip tanah dapat berupa pengembangan (swelling) yang terjadi karena peresapan air dan penyusutan (shrinking) yang terjadi pada musim kering. Air meresap ke dalam tanah melalui permukaan atau melalui retakan-retakan yang terjadi terutama pada waktu musim hujan. Di samping itu air dapat pula meresap dari selokan-selokan atau dari saluran air yang berdekatan.

Tiang yang dimasukkan di dalam tanah ekspansip akan menerima gaya angkat yang apabila tidak diperhitungkan dalam perencanaan akan dapat mengakibatkan retakan-retakan ataupun kerusakan-kerusakan yang lain. Di sini perhatian lebih dipusatkan pada tanah yang bersifat mengembang. Untuk tanah yang bersifat menyusut pendekatan dilakukan dengan metode yang hampir bersamaan.

Hubungan tanah dan tiang ditinjau dalam 2 kondisi:

- 1) Kondisi elastis (elastic soil — pile interface)
Dalam kondisi ini, keadaan mengembang dan menyusut ditinjau dengan cara yang sama kecuali tanda berlainan.
- 2) Kondisi hubungan tanah dan tiang dalam keadaan slip (pile-soil slip).

Untuk lebih memperjelas pengertian, disertakan juga contoh perhitungan.

TANAH EKSPANSIP

1. Batuan induk dan mineral
Batuan induk yang dapat dihubungkan dengan tanah ekspansip menurut G.W. Donaldson (1) terdiri dari 2 golongan yaitu:

- a) Igneous rock seperti bazalt, dolerite, gabbros.
Mineral feldspar dan pyroxene dari batuan ini berubah membentuk mineral monmorillonite serta mineral lainnya.
- b) Batuan sedimen (sedimentary rock) mengandung mineral monmorillonite. Contoh batuan ini adalah shale.
Mineral monmorillonite adalah mineral yang menyebabkan tanah bersifat ekspansip.

2. Pengenalan tanah ekspansip.

Pengenalan tanah ekspansip terdiri dari:

- a) Identifikasi mineral untuk menentukan jenis mineral, jumlahnya serta sifat-sifat yang lain.
- b) Metoda tidak langsung seperti activity, sifat-sifat tanah.
- c) Pengukuran langsung yaitu dengan menggunakan konsolidometer (conventional one dimensional consolidometer).

Activity:

Besarnya activity (A) menurut "Skempton":

$$A = \frac{PI}{c-n}$$

c = persen butiran < 0.002 mm

n = 5% untuk lempung.

Besarnya activity (A) menurut M.A.EL-SOHBY (3) :

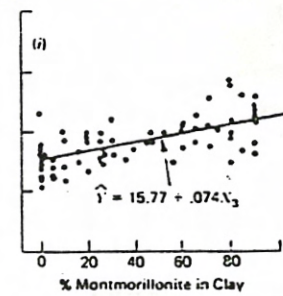
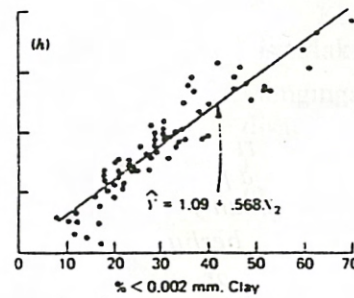
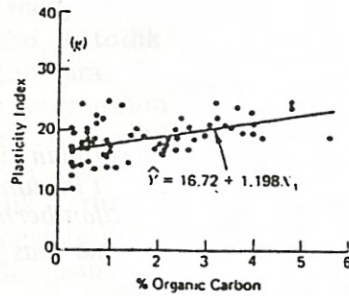
$$A = \frac{PI}{C_E} \text{ dan } C_E = \frac{100(C+n)}{(100 \pm n)}$$

n = -34 (lempung lanauan)

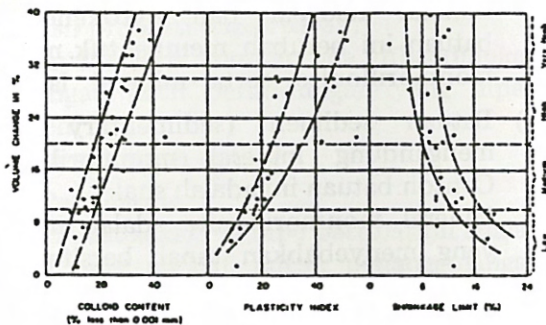
C = persen butiran < 0.002 mm.

Hubungan antara PI dan % organic carbon, butiran < 0.002 mm dan % monmorillonite

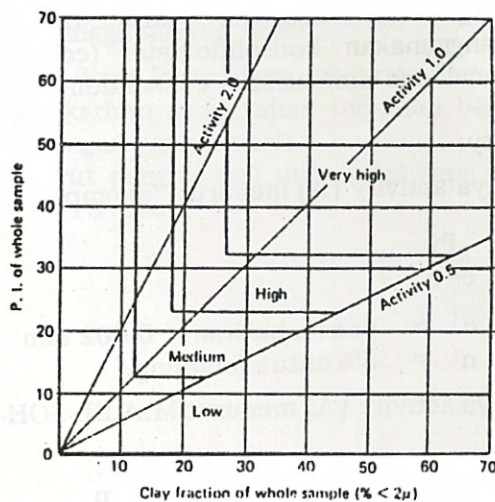
dalam lempung dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini (2) :



Hubungan antara perubahan volume dan butiran < 0.001 mm, PI dan penyusutan dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini (1):



3. Penentuan potential expansiveness (PE) dari tanah dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 1 di bawah ini (4):



Tabel 1

Nilai Potensial Expansiveness.

Tingkat Ekspansip	PE, in/ft
Sangat tinggi	1
Tinggi	0.5
Sedang	0.25
Rendah	0

TANAH EKSPANSIP DAN PONDASI TIANG

1) Menentukan besarnya tension T:

Dengan menganggap terjadi slip penuh (full-slip) antara tiang dan tanah ekspansip, maka besarnya tegangan geser (τ) sepanjang tiang akan sama dengan besarnya adhesi (τ_a) antara tiang dan tanah:

$$\tau_a = c'_a + K_s \sigma'_v \tan \phi'_a$$

τ_a = adhesi antara tiang dan tanah

c'_a = adhesi efektif

K_s = koefisien tekanan horizontal

σ'_v = tegangan vertikal efektif

ϕ'_a = sudut geser efektif antara tiang dan tanah.

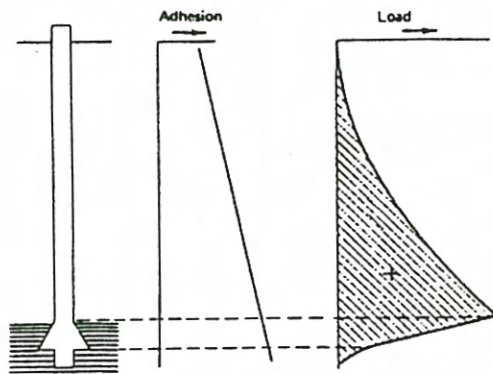
Nilai K_s untuk tanah ekspansip antara 1 – 1,50 dan nilai C lebih baik menggunakan total stress. Untuk tanah yang pada awalnya dalam kondisi tidak jenuh, penggunaan tegangan efektif (effective stress) tidak sesuai (Donaldson).

Dengan anggapan tersebut di atas, besarnya tension T di dalam tiang menurut Collins (1953) adalah:

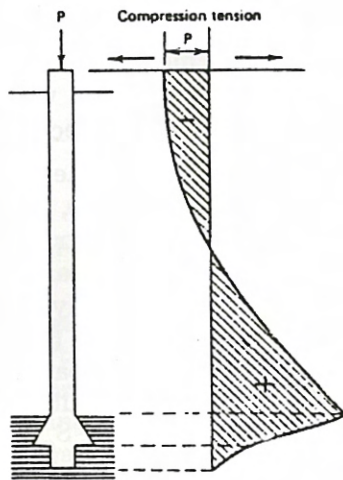
$$T = \int_0^h \pi d \tau_a \dots dz \text{ atau}$$

$$T = \int_0^h \pi d (c'_a + K_s \sigma'_v \tan \phi'_a) dz$$

Gaya dalam tiang bercabang (underreamed pile) pada tanah ekspansip dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini (4);



a) Tiang Tanpa Beban



b) Tiang dengan Beban P.

- 2) Menemukan besarnya gerakan tanah pada tanah ekspansip (total heaving).

$$S = \int_{z_1}^{z_2} F \cdot (FE) dz$$

S = Total heaving

F = Faktor heaving pada kedalaman z dari permukaan tanah.

PE = Potensial expansiveness (lihat Gambar 3 dan Tabel 1).

z_1, z_2 = Kedalaman lapisan dasar dan atas dari tanah ekspansip.

$$F = e^{z/k} \text{ di mana:}$$

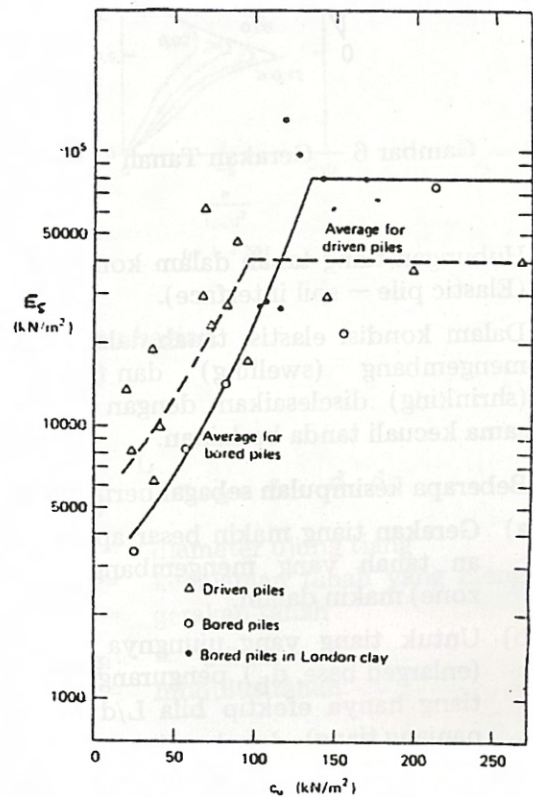
z = Kedalaman tanah ekspansip

k = Kedalaman lapisan tanah mengembang yang sesungguhnya ($k = 6$ meter, Van der Merwe).

- 3) Menentukan besar modulus tanah (E_s).

Menentukan harga E_s yang paling baik dengan melakukan percobaan pembebanan tiang (in situ).

Cara yang agak kasar dengan menggunakan grafik hubungan antara C_u dan E_s (lihat Gambar 5).



Gambar 5 — Hubungan C_u dan E_s (4).

Cara lain yang sangat kasar untuk menentukan E_s dengan rumus seperti di bawah ini:

$$E_s = \frac{(1 - 2V'_s)(1 + V'_s)}{m_v(1 - V'_s)}$$

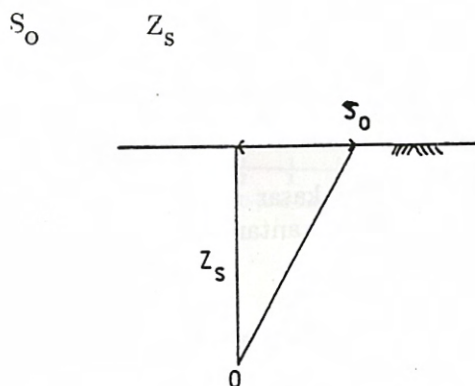
m_v = koefisien perobahan volume (dari oedometer).

V'_s = Poisson's ratio tanah (drained).

$V'_s = 0,3 - 0,4$ (normally consolidated). Untuk over consolidated dikurangi 0,2 atau lebih.

GERAKAN TIANG DAN BEBAN

Secara umum untuk tanah ekspansif, gerakan tanah (soil swelling, S_o) dianggap turun secara linier dari S_o pada permukaan tanah dan 0 pada kedalaman Z_s (lihat Gambar 6).



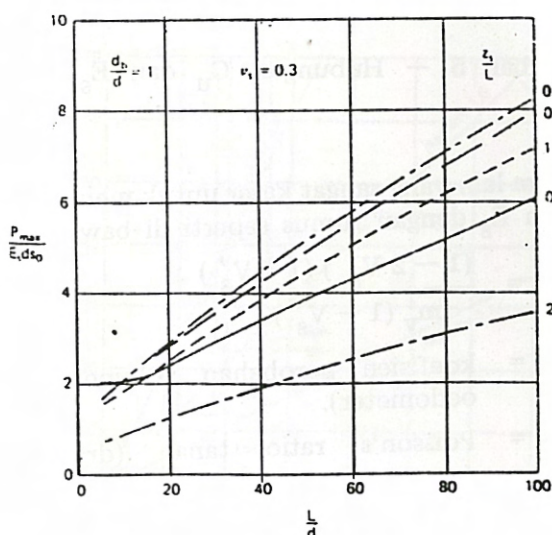
Gambar 6 — Gerakan Tanah

1. Hubungan tiang tanah dalam kondisi elastis. (Elastic pile — soil interface).

Dalam kondisi elastis, tanah dalam keadaan mengembang (swelling) dan menyusut (shrinking) diselesaikan dengan cara yang sama kecuali tanda berlainan.

Beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Gerakan tiang makin besar apabila lapisan tanah yang mengembang (swelling zone) makin dalam.
- Untuk tiang yang ujungnya diperbesar (enlarged base, d_b), pengurangan gerakan tiang hanya efektif bila $L/d \geq 2$ (L = panjang tiang). dan d = diameter



- Beban tiang yang maksimum bekerja apabila $Z_s = 0.75 L$ (Z_s = kedalaman tanah yang mengembang dan L = panjang tiang).
- Beban maksimum (P_{max}) naik apabila L/d makin besar.

Gambar 7 — Hubungan antara beban maksimum dan panjang tiang dalam kondisi elastis (4).

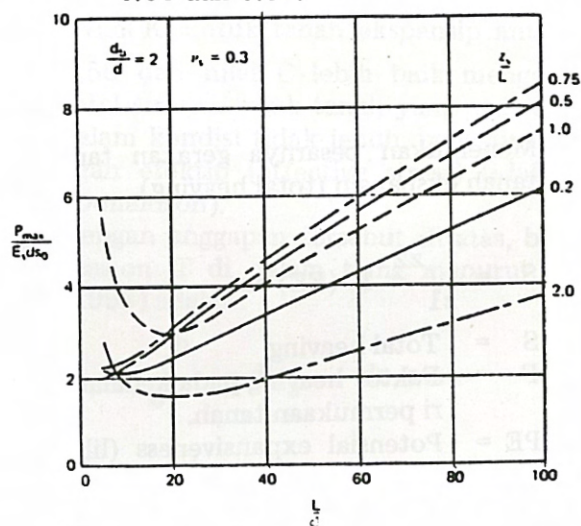
2) Hubungan tanah tiang dalam kondisi slip (pile-soil slip).

Dalam keadaan slip, penyelesaian problema pada tanah yang menyusut dan mengembang harus dibedakan.

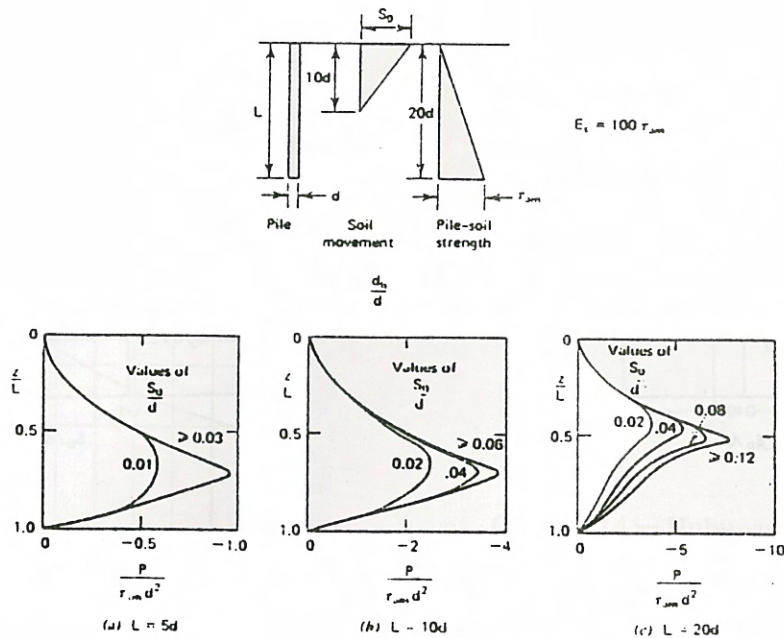
(a) Pengaruh panjang tiang (L) dan diameter ujung bawah (d_b).

- Gerakan tiang (δ_p) berkurang apabila panjang tiang makin besar.
- Pada tiang yang berada seluruhnya pada daerah mengembang (Swelling Zone), gerakan tiang berjalan terus setelah slip penuh (full-slip) terjadi.
- Ujung tiang yang diperbesar (enlarged-base) memungkinkan pengurangan gerakan tiang walaupun pengaruhnya relatif kecil.
- Untuk tiang diameter tetap (uniform diameter pile), grafik pembagian beban (load distributions) ditunjukkan dalam Gambar 8.

Dengan bertambahnya panjang tiang, beban dalam tiang (P) makin besar dan pembagian beban berubah. Untuk $L = 20 d$, perubahan beban tidak terjadi setelah $S_o/d \geq 0.12$ sedang untuk $L = 10$ dan $L = 54$, masing-masing setelah S_o/d mencapai ≥ 0.06 dan 0.03 .



Gambar 7 — Hubungan antara beban maksimum dan panjang tiang dalam kondisi elastis (4)



Gambar 8 — Hubungan antara pembagian beban, Z/L dan S_0/d (4)

(b) Pengaruh diameter tiang dan beban axial.

- Dengan bertambah besarnya diameter tiang, beban maksimum tiang makin besar dan gerakan tiang berkurang.
- Pengaruh beban axial pada tiang akan mengurangi gerakan ke atas dari tiang.

MENENTUKAN BEBAN TIANG MAKSIMUM ($P_{\max}$) DAN GERAKAN TIANG (ℓ).

Untuk menentukan $P_{\max}$ dan ℓ pada tanah yang mengalami pengembangan (soil swelling) dapat digunakan grafik pada Gambar 9 dan 10 untuk kekuatan geser tanah dan tiang naik secara linier dengan kedalaman.

Gambar 11 dan 12 untuk kekuatan geser tanah dan tiang yang tetap dengan kedalaman. Grafik-grafik ini merupakan hubungan antara gerakan tanah maksimum tanpa dimensi:

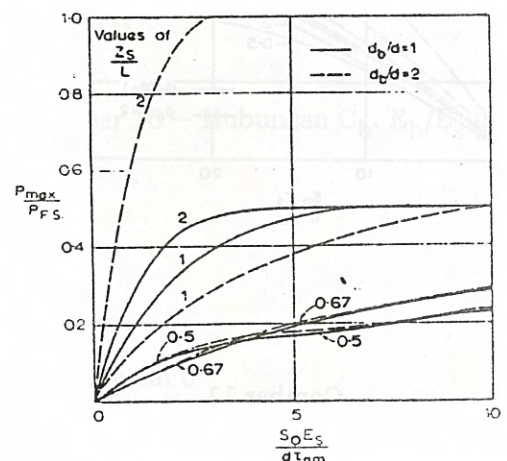
$$\frac{S_0 E_s}{d \tau_{am}}$$

dan kedalaman tanah yang mengembang tanpa dimensi Z_s/L .

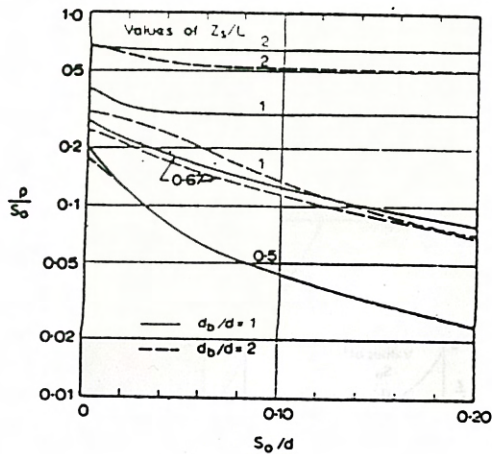
Besarnya $P_{\max}$ dinyatakan dengan besarnya P_{Fs} (= beban jika adhesi penuh terjadi sepanjang keliling tiang).

$$P_{Fs} = \int_0^L \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot dz$$

- d_b = diameter ujung tiang
- Z_s = kedalaman tanah yang mengembang
- S_0 = gerakan tanah
- τ_{am} = adhesi
- E_s = modulus tanah

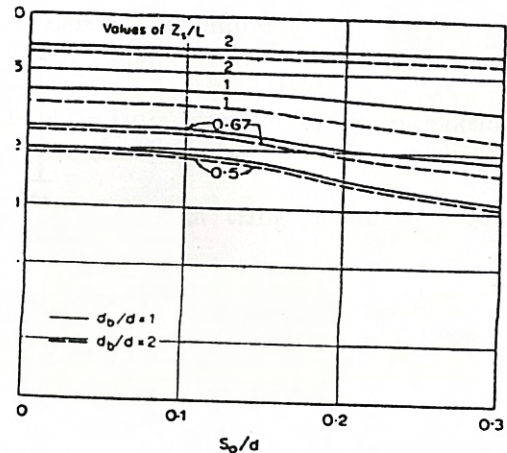


Gambar 9
Beban Tiang Maksimum pada tanah yang mengembang. Kekuatan geser tanah dan tiang naik secara linier dengan kedalaman (4).



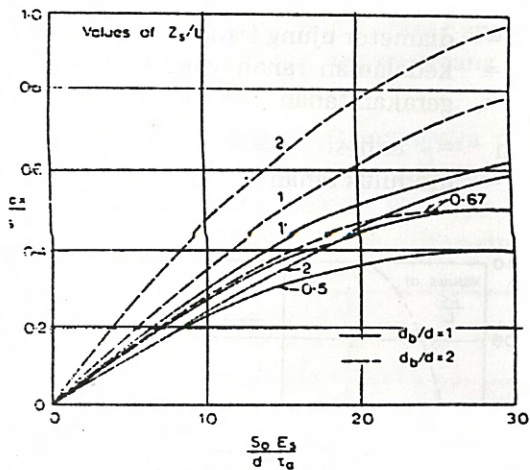
Gambar 10

Gerakan Tiang pada Tanah yang mengembang. Kekuatan geser tanah dan tiang naik secara linier dengan kedalaman (4).



Gambar 12

Gerakan Tiang pada tanah yang mengembang. Kekuatan geser tanah dan tiang tetap dengan kedalaman (4).



Gambar 11

Beban Tiang Maksimum pada Tanah Mengembang. Kekuatan geser tanah dan tiang tetap dengan kedalaman (4).

Menentukan besar beban yang dipindahkan ke ujung (Load transfered to pile tip).

a) Tiang terapung (floating pile)

$$\beta = \beta_o C_k C_v$$

$$\beta = P_b/P$$

P_b = beban pada ujung tiang

P = Beban yang dikenakan pada tiang

β_o = proporsi beban ujung tiang (Poisson ratio = 0.5)

C_k = faktor koreksi kompresibilitas tiang

C_v = faktor koreksi untuk Poisson ratio tanah.

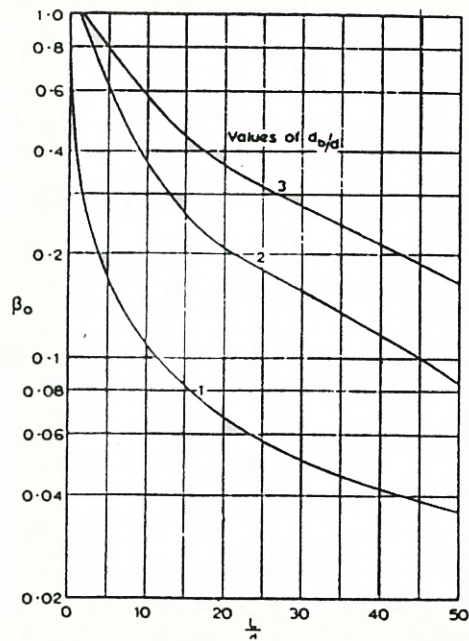
b) Tiang tahanan ujung di atas lapisan kenyal.

$$\beta = \beta_o C_k C_b C_v$$

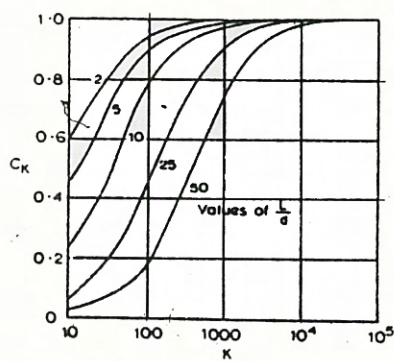
β_o, C_k, C_v sama seperti di atas.

C_b = faktor koreksi untuk lapisan tanah

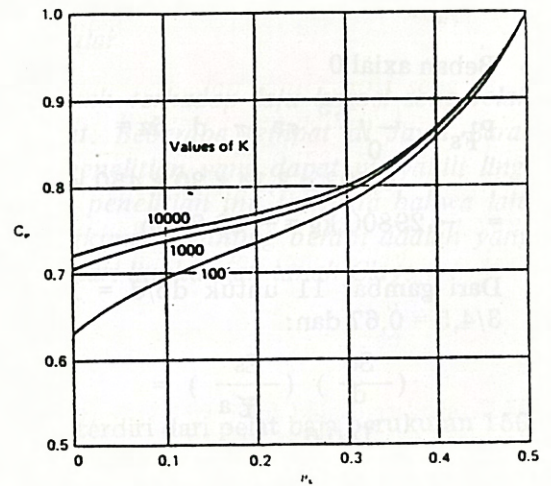
Nilai β_o, C_k, C_v, C_b dapat dilihat pada Gambar 13, 14, 15 dan 16.



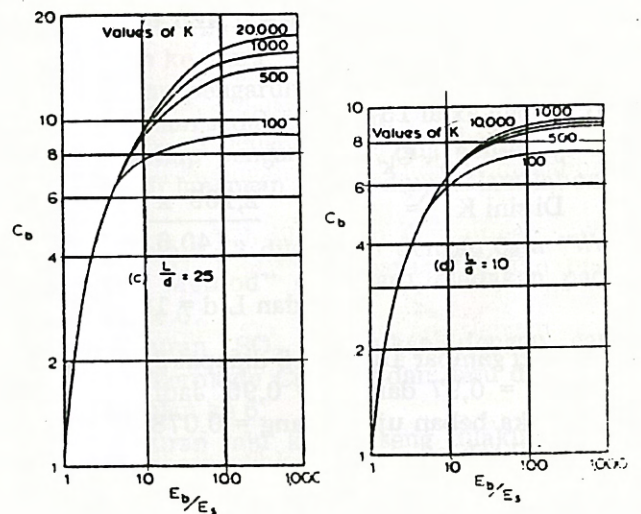
Gambar 13 — Hubungan β_0 , L/d dan d_b/d (4).



Gambar 15 — Hubungan C_K , K dan L/D (4)



Gambar 14 — Hubungan C_v , V_s dan K (4).



Gambar 16 — Hubungan C_b , E_b/E_s dan K (4)

Contoh Perhitungan:

Suatu pondasi tiang dengan panjang 4,5 m dan diameter 0.30 m terletak pada lapisan tanah dengan lapisan atas setebal 3 m terpengaruh gerakan musim (swelling). Heaving tanah maksimum (S_0) sebesar 7,5 cm. Beban maksimum (P_{max}) dan gerakan tiang (ℓ) dihitung atas 2 keadaan.

- Beban axial 0
- Beban axial 15 ton.

Data:

$E_s = 140,6 \text{ kg/cm}^2$ (konstan pada setiap kedalaman)

$$\tau_a = 0,703 \text{ kg/cm}^2$$

$$V_s = 0,48$$

$$E_p = 2,109 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2 \text{ (konstan pada setiap kedalaman).}$$

a) Beban axial 0

$$P_{Fs} = - \int_0^{4,5} \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot dz =$$

$$0,703 \times 3,14 \times 30 \times 450 \text{ kg}$$

$$= -29800 \text{ kg} = -29,8 \text{ ton}$$

Dari gambar 11 untuk $db/d = 1$, $Z s/L = 3/4,5 = 0,67$ dan:

$$\left(\frac{S_o}{d} \right) \left(\frac{E_s}{\tau_a} \right) =$$

$$(3/12) \left(\frac{140,6}{0,703} \right) = 50$$

$$\text{Didapat} = \frac{P_{\text{mak}}}{P_{Fs}} = 0,5. \text{ Jadi } P_{\text{max}}$$

$$= 0,5 \times 29,8 \text{ ton} = -14,9 \text{ ton}$$

Dari gambar 12, didapat $\ell/S_o = 0,19$ jadi $\ell = 0,19 \times 7,5 \text{ cm} = 1,425 \text{ cm}$ (gerakan tiang ke arah atas).

b) Beban axial 15 ton

$$\beta = \beta_o \cdot C_k \cdot C_v$$

$$\text{Di sini } K = \frac{E_p}{E_s} = \frac{2,109 \times 10^5}{140,6} =$$

$$1500 \text{ dan } L/d = 15$$

Dari gambar 13, 14, 15 didapat $\beta_o = 0,085$, $C_k = 0,97$ dan $C_v = 0,95$. Jadi $\beta = 0,078$. Maka beban ujung tiang = $0,078 \times 15 \text{ ton} = 1,17 \text{ ton}$.

Dengan memperhatikan Gambar 8, maka gaya tarik maksimum karena pengembangan tanah terdapat pada kedalaman $\pm 0,6 L$ atau $2,7 \text{ m}$.

Pada kedalaman ini terjadi gaya axial sebesar $7,1 \text{ ton}$. Jadi gaya tarik netto sebesar $14,9 - 7,1 = 7,8 \text{ ton}$.

Gerakan tiang akibat gaya axial (penurunan tiang) sebesar:

$$\rho = \frac{P I}{d E_s} \quad I = 0,107$$

$$= \frac{15000 \times 0,107}{30 \times 140,6} = 0,38 \text{ cm}$$

(arah ke bawah)

Jadi gerakan tiang menjadi $= 1,425 - 0,38 = 1,045 \text{ m}$ (arah ke atas).

DAFTAR PUSTAKA

1. CHEN F. H., Foundations on expansive Soils, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam — Oxford — New York, 1975.
2. Mitchell J. K., Fundamentals of Soil Behaviour, John Wiley & Sons, Inc., New York — London, 1976.
3. El-Sohby M. A., Activity of Soils, Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Volume I, 1981.
4. Poulos H. G. and Davis E. H., Pile Foundation Analysis and Design, John Wiley and Sons New York.
5. Ordemir I, Soydemir C., and Birand A., Swelling Problems of Ankara Clay.

Penulis:

Ir. Salem P. Sihombing M.Sc., Sarjana Teknik Sipil USU 1972, Program S₂ ITB-UCL (University College of London) 1985. Peneliti Bidang Teknik Jalan Puslitbang Jalan.