

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas ("loose"), yang terletak di atas batuan dasar ("bedrock"). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya (Hary Christady H, 1992). Proses terjadinya tanah dari pelapukan batuan dapat terjadi secara fisik maupun kimiawi. Pelapukan secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, dapat terjadi akibat adanya pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel dapat berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbon dioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali).

3.2 Sifat Tanah Lempung

Dari sistem klasifikasi yang ada, baik itu sistem USDA, ASTM, MIT,

terdapat salah satu klasifikasi tanah yaitu lempung. Tanah lempung ini merupakan agregat kristalin berukuran mikroskopis dan mempunyai nilai kohesi yang besar. Kohesi adalah sifat tarik menarik antara partikel atau butiran di dalam tanah. Tanah yang mempunyai nilai kohesi besar seperti tanah lempung, mempunyai sifat sebagai berikut :

1. Kuat geser rendah,
2. Kembang susut tinggi,
3. Kuat geser berkurang jika air bertambah,
4. Material yang sulit meloloskan air,
5. Volume akan berubah seiring dengan bertambahnya waktu akibat beban konstan.

3.2.1 Kuat Geser Tanah

Pengetahuan kekuatan geser tanah diperlukan untuk berbagai macam soal praktis, terutama untuk menghitung daya dukung tanah dan tegangan tanah. Nilai kohesi dan sudut gesek dalam tanah untuk tanah lempung mempunyai banyak variasi. Nilai tersebut didapat dari percobaan triaksial, percobaan tekan bebas.

3.2.2 Kompresibilitas

Bila tanah berbutir halus yang mengandung air dibebani, tanah akan terkompresi dan air pori akan mengalir dari lapisan tersebut dan volume tanah akan lebih kecil. Pengurangan volume tanah ini mengakibatkan penurunan tanah.

3.2.3 Kembang susut

Tanah lempung dalam mendukung beban pondasi sangat tergantung pada sejarah geologi dan kadar air. Pada beban yang sama antara tanah terkonsolidasi normal dan tanah terkonsolidasi berlebihan, maka tanah terkonsolidasi normal akan mengalami penurunan yang lebih besar. Tanah lempung pada saat kering dapat sangat keras dan menyusut disertai dengan retakan, sedangkan saat basah kuat geser akan turun dan lempung menjadi mengembang.

3.3 Pondasi

Pondasi merupakan bagian dari struktur yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang berada di bawahnya (DR. B.C.Punmia, 1981). Perencanaan pondasi dikatakan memenuhi syarat jika beban yang didukung pondasi atau beban yang diteruskan pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan daya dukung izin tanah yang bersangkutan. Jika kekuatan daya dukung izin tanah lebih kecil dari beban yang diterima oleh tanah tersebut, maka kerusakan konstruksi di atas pondasi akan terjadi akibat penurunan yang berlebihan dan keruntuhan tanah.

Didasarkan atas beban yang ditopang oleh tanah, pondasi dibagi menjadi dua, yaitu (J.E.Bowles, 1991) :

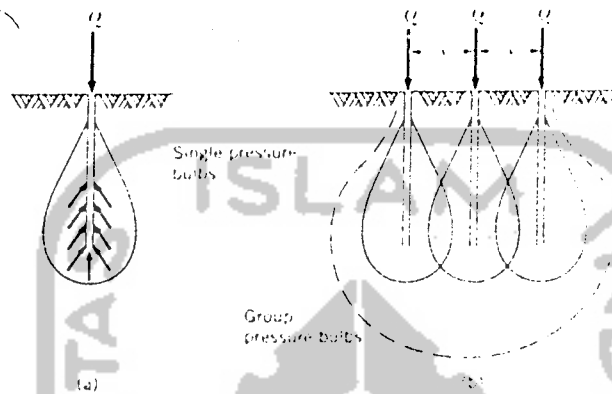
1. Pondasi dangkal, sebagai alas, telapak menerus. Rasio kedalaman (D) dengan lebar (B) adalah $D \leq B$,

Pondasi tiang digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Tiang berfungsi meneruskan beban yang bekerja ke lapisan pendukung yang lebih kuat. Daya dukung pondasi tiang diklasifikasikan menjadi tiang dukungan ujung ("point bearing piles") dan tiang dukungan gesek ("friction piles"). Tiang-tiang yang dimasukkan sampai ke lapisan tanah keras dianggap bahwa seluruh beban tiang dipindahkan ke lapisan keras melalui ujung tiang, sedangkan tiang gesekan mendapat daya dukung dari gesekan antara tanah dengan tiang atau gaya pelekatan antara tanah dengan permukaan badan tiang.

Pada keadaan sesungguhnya sangat jarang dijumpai sebuah tiang tunggal tetapi merupakan kombinasi sebagai kelompok atau group. Tiang yang dipancangkan ke dalam tanah akan selalu mengakibatkan perubahan dalam massa tanahnya. Perilaku kelompok tiang secara langsung tidak dapat dianggap sama dengan perilaku tiang tunggal meskipun tiap tiang menahan beban yang sama dan terletak dalam satu lokasi. Di atas kelompok tiang biasanya diletakkan suatu konstruksi "poer" beton bertulang yang mempersatukan kelompok tiang tersebut. Dalam perhitungan-perhitungan "poer" dianggap kaku sempurna sehingga bila beban-beban yang bekerja pada kelompok tiang menimbulkan penurunan, maka setelah penurunan bidang "poer" akan merupakan bidang datar.

Jarak minimum adalah ketentuan jarak antar masing-masing tiang diukur dari sumbu tiang adalah $2,5D < s \leq 3D$, dengan s adalah jarak antar tiang dan D adalah diameter tiang (Sardjono, 1991). Pengaturan jarak antar tiang ini dimaksudkan

untuk mencegah terjadinya tegangan-tegangan pada lapisan tanah agar tidak “overlap” (gambar 3.1).



Gambar 3.1 Kontribusi tegangan tiang pancang kelompok (S.Prakash,1990)

3.4 Daya Dukung Tiang

Perencanaan pondasi untuk gedung atau bangunan yang lain perlu memperhatikan dua hal utama yaitu daya dukung tanah dan penurunan. Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan beban pondasi tanpa terjadi keruntuhan akibat geser dan penurunan.

Metode yang digunakan untuk menghitung kapasitas ultimit ada dua macam, yaitu metode statis dan metode dinamis. Metode statis menggunakan mekanika tanah untuk menghitung kapasitas dari sifat-sifat tanah dan metode dinamis mengestimasi daya dukung dari data hasil analisis pemancangan tiang. Perhitungan kapasitas tiang statis menggunakan parameter-parameter tanah antara

lain kohesi (C), sudut gesek dalam (ϕ), bila berdasarkan uji laboratorium dan data sondir bila berdasarkan uji lapangan.

Daya dukung pondasi tiang dengan pembebanan statik dapat dihitung berdasarkan data sondir di lapangan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_u = P_{pu} + \sum \psi_i \quad (3.1)$$

$$Q_t = P_u / F_s \quad (3.2)$$

$$Q_t = P_{pu} / F_{sp} + \sum \psi_i / F_{ss} \quad (3.3)$$

dimana : Q_t = daya dukung ijin tiang pancang akhir.

P_u = kapasitas tiang pancang akhir (maksimum).

P_{pu} = kapasitas titik akhir

$\sum \psi_i$ = kontribusi tahanan kulit

F_s = angka keamanan

(J.E. Bowles, 1982)

3.4.1 Daya Dukung Tiang Tahanan Kulit "Friction Pile"

Bila lapisan tanah keras letaknya sangat dalam sehingga pembuatan dan pemancangan tiang sampai ke lapisan tanah keras tersebut sangat sukar dilaksanakan maka dalam hal ini digunakan pondasi tiang yang daya dukungnya berdasar pada kelekatan tanah dengan tiang. Untuk tanah lempung komponen gesekan diperlakukan sebagai adhesi antara badan tiang dengan tanah. Biasanya dihitung sebagai kuat geser tanpa drainase dikalikan luas permukaan.

Besarnya gaya pelekatan antara tiang dengan tanah diperoleh dari percobaan sondir dengan memakai alat "bikonus". Alat "bikonus" ini selain dapat mengukur

perlawanan ujung dapat juga mengukur gaya pelekatan antar "konus" dengan tanah. Gaya ini disebut hambatan pelekatan dan dalam grafik biasanya angka-angka dijumlahkan sehingga didapat jumlah hambatan pelekatan yaitu jumlah pelekatan dari permukaan tanah sampai kedalaman yang bersangkutan.

Secara teoritis berdasarkan hasil sondir kemampuan tiang atau daya dukung tiang dapat dicari dari persamaan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil sondir.

$$Q_t = \frac{O.L.c}{5} \quad (3.4)$$

dimana : Q_t = daya dukung tiang

O = keliling tiang pancang

L = panjang tiang yang masuk ke dalam tanah

c = harga "cleef" rata-rata

5 = angka keamanan

(Sardjono, 1988)

3.4.2 Daya Dukung Tiang Titik Akhir "End Bearing Pile"

Tiang pancang ini dihitung berdasarkan pada tahanan ujung ("end bearing pile") ini dipancang sampai pada lapisan tanah keras, yang mampu memikul beban yang diterima oleh pondasi tiang tersebut.

Lapisan tanah keras ini dapat merupakan lempung keras sampai pada batuan-batuan tetap yang sangat keras. Untuk menaksir gaya perlawanan lapisan tanah keras tersebut terhadap ujung tiang dapat dilakukan dengan alat sondir. Bila lapisan

tanah keras tersebut terdiri dari batuan keras maka penentuan daya dukung tidak akan menjadi soal. Dalam hal ini daya dukung tiang akan tergantung pada kekuatan bahan tiang itu sendiri. Bila lapisan tanah keras tersebut terdiri dari lapisan pasir maka daya dukung tiang tersebut akan sangat tergantung pada sifat-sifat lapisan pasir tersebut terutama mengenai kepadatan pasir ini.

Secara persamaan kemampuan daya dukung tiang berdasarkan kekuatan tanah dapat dihitung sebagai berikut :

1. Berdasarkan data sondir

$$Q_t = \frac{A_t \cdot P}{3} \quad (3.5)$$

dimana : Q_t = daya dukung keseimbangan tiang

A_t = luas penampang tiang pancang

P = nilai konus dari hasil sondir

3 = faktor keamanan.

(Sardjono, 1988)

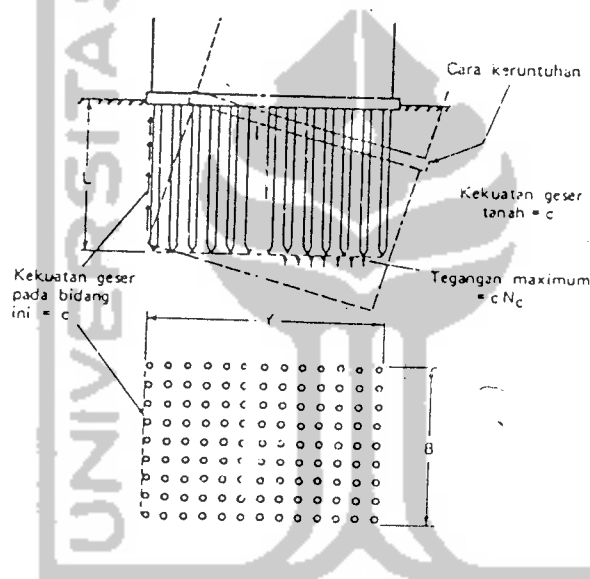
3.4.3 Daya Dukung Kelompok Tiang

Bilamana banyak tiang dipancang saling berdekatan satu dengan yang lain sehingga merupakan kelompok tiang maka perlu diperhatikan adalah daya dukung kelompok tiang ini sama dengan daya dukung sebuah tiang tersendiri dikalikan jumlah tiang dalam kelompok tersebut.

Jika kelompok tiang terdiri dari “point bearing piles” maka memang cukup tepat bilamana daya dukung kelompok dianggap sama dengan daya dukung sebuah

tiang tersendiri dikalikan jumlah tiang. Dalam hal ini boleh dikatakan bahwa hampir tidak ada kemungkinan akan terjadi keruntuhan secara keseluruhan (terkecuali bila ada lapisan yang lembek dibawah lapisan keras tersebut).

Jika kelompok tiang terdiri dari “friction piles” dalam lempung atau lanau maka tetap ada kemungkinan akan terjadi keruntuhan secara keseluruhan (termasuk tanah antara tiang-tiang), dan hal ini harus diperhitungkan. Cara keruntuhan dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Daya dukung kelompok tiang (Sardjono H S,1991)

Daya dukung keseimbangan sendiri terdiri dari dua bagian, yaitu tekanan maksimum yang dapat ditahan pada dasar kelompok ditambah dengan perlawanan geser (“shear resistance”) pada permukaan luar keliling kelompok tersebut.

Jadi daya dukung kelompok tiang yang diijinkan adalah sebagai berikut :

$$Q_t = \frac{C.N_c.A + 2.(B+Y).L.c}{3} \quad (3.6)$$

dimana : C = kohesi tanah.

N_c = Faktor daya dukung.

L = kedalaman tiang.

c = harga "cleef" rata-rata

B = lebar kelompok tiang.

Y = Panjang kelompok tiang.

A = Luas kelompok tiang.

(L.D Wesley, 1977)

3.5 Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi sebuah pondasi tiang kelompok adalah perbandingan kapasitas kelompok terhadap jumlah kapasitas masing-masing tiang. Menurut persamaan "Converse - Labarre" untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \theta \cdot \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \quad (3.7)$$

$$\theta = \arctan(d/s) \quad (3.8)$$

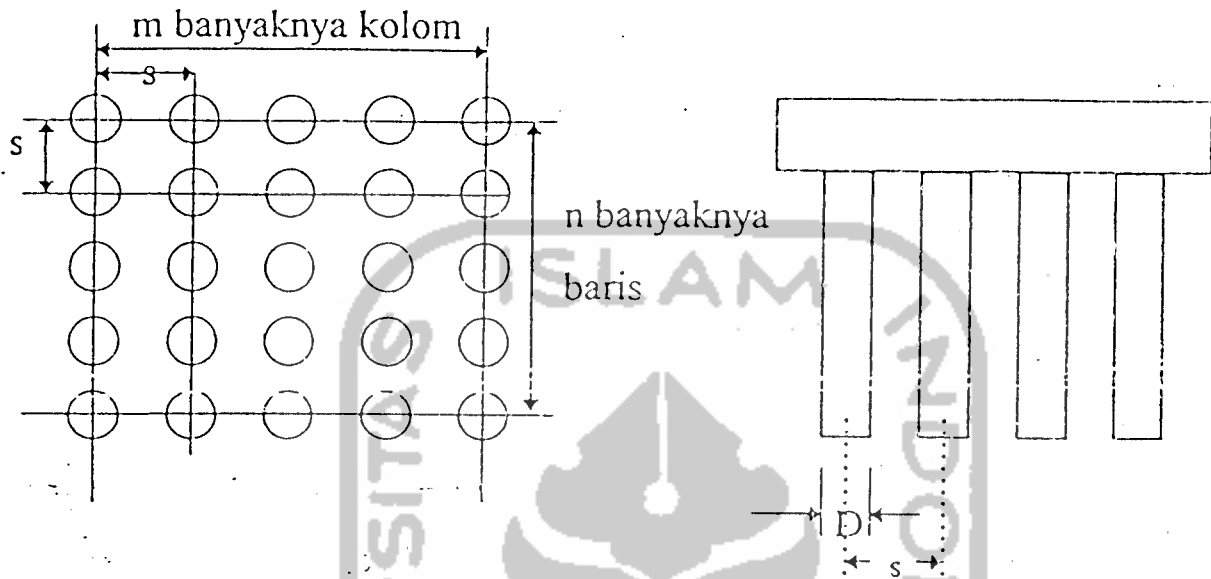
dimana : m = jumlah tiang dalam kolom kelompok.

n = jumlah tiang dalam baris kelompok.

d = diameter tiang.

s = jarak antar tiang dari as ke as.

(J.E. Bowles, 1982)



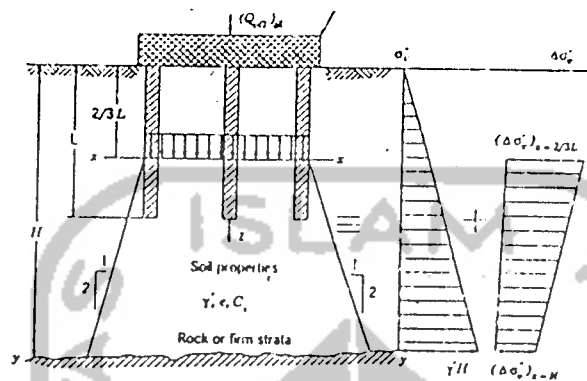
Gambar 3.3 Efisiensi tiang pancang kelompok

3.6 Penurunan Kelompok Tiang

Jika lapisan tanah mengalami pembebanan maka lapisan tanah akan mengalami regangan atau penurunan. Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori didalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total tanahnya. Penurunan akibat beban adalah jumlah total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi.

Untuk tanah lempung perlu diadakan perhitungan penurunan. Tegangan tanah akibat berat bangunan dan muatannya dapat diperhitungkan merata pada

kedalaman $2/3$ dari panjang tiang dan disebarkan dengan sudut 30° . Seperti terlihat dalam gambar 3.4 berikut ini : (Shamsar Prakash, 1990)



Gambar 3.4 Asumsi distribusi tegangan (S.Prakash,1990)

Analisis penurunan tiang kelompok yang terletak pada tanah berbutir halus dapat dilakukan dengan meninjau penurunan yang terjadi dalam jangka waktu dekat (penurunan segera) dan penurunan yang terjadi dalam jangka waktu panjang (penurunan konsolidasi).

Penurunan dalam jangka waktu dekat dapat dicari dengan persamaan Janbu, Bjerrum, Kjaensli berikut ini :

$$S_i = \frac{\mu_1 \cdot \mu_0 \cdot q \cdot B}{E} \quad (3.9)$$

(Hary Christady H, 1994)

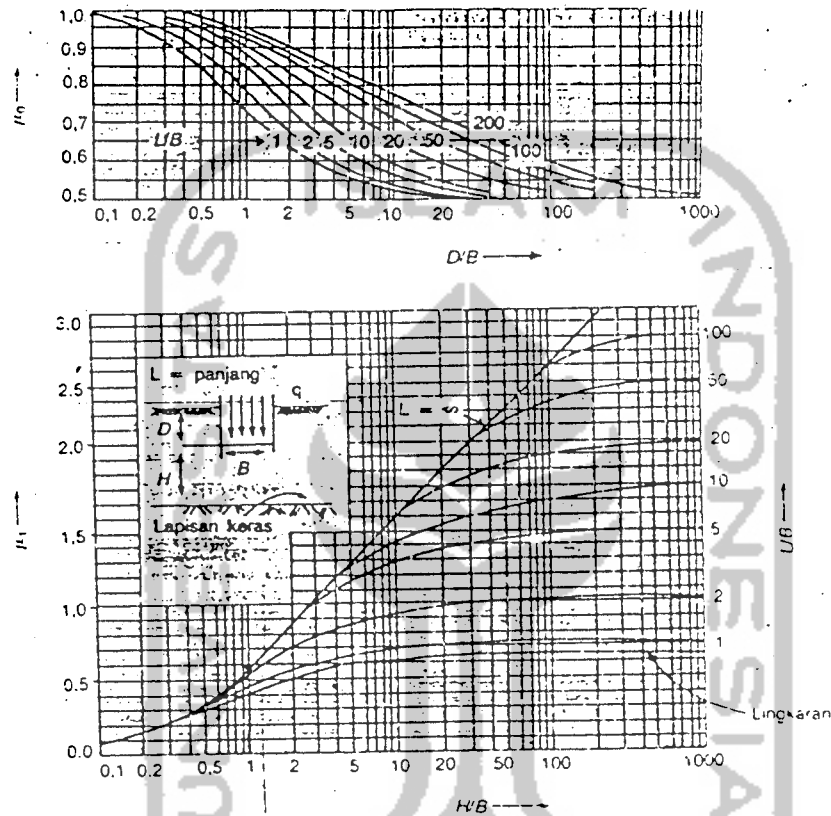
dimana : S_i = penurunan segera

μ_0, μ_1 = Faktor reduksi (gambar 3.5)

q = tekanan pondasi netto

B = lebar pondasi

E = modulus elastis tanah (kg/m^2)



Gambar 3.5 Grafik faktor reduksi μ_0, μ_1 (Hary C.H, 1994)

Penurunan segera dapat pula dihitung dengan menggunakan data hasil sondir di lapangan.

De Beer dan Marten (1957) memberikan persamaan angka kompresi (C) yang dikaitkan dengan persamaan Buisman.

$$C = 1.5 q_c / p_o'$$

(3.10)

C = angka pemampatan (angka kompresibilitas)

q_c = tahanan kerucut statis (sondir)

p_o' = tekanan overbuden efektif

Nilai C ini kemudian disubstitusikan ke dalam persamaan Terzaghi untuk penurunan pada lapisan yang ditinjau.

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'} \quad (3.11)$$

dimana : S_i = akhir penurunan (m) dari lapisan setebal H (m)

p_o' = tekanan overbuden efektif rata-rata

Δp = tambahan tegangan vertikal di tengah-tengah lapisan oleh tegangan akibat beban pondasi netto

(Hary Christady H, 1994)

Penurunan konsolidasi primer dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'} \quad (3.12)$$

(Hary Christady H, 1994)

dimana : S_c = penurunan konsolidasi

C_c = indeks pemampatan

H = tebal lapisan tanah lempung

e_o = angka pori awal

p_o' = tekanan vertikal efektif mula-mula

Δp = tambahan tegangan

Penurunan sekunder terjadi setelah penurunan primer berhenti. Besarnya penurunan konsolidasi sekunder merupakan fungsi waktu dan kemiringan kurva fase konsolidasi sekunder $C\alpha$. Persamaan kemiringan $C\alpha$ diperoleh dari rumus persamaan sebagai berikut :

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\log t_2 - \log t_1} \quad (3.13)$$

(Hary Christady H, 1994)

dimana: Δe = perubahan angka pori dari t_1 ke t_2

$$t_2 = t_1 + \Delta t$$

t_1 = saat waktu setelah konsolidasi primer selesai

Selanjutnya dihitung penurunan konsolidasi sekunder dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_s = H \frac{C\alpha}{1 + e_p} \log \frac{t_2}{t_1} \quad (3.14)$$

(Hary Christady H, 1994)

dimana : S_s = penurunan konsolidasi sekunder

H = tebal tanah lempung

e_p = angka pori saat konsolidasi sekunder selesai

$$t_2 = t_1 + \Delta t$$

t_1 = saat waktu selesai konsolidasi sekunder

Konsolidasi sekunder ini merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, dimana prosesnya berjalan sangat lambat. Penurunannya jarang diperhitungkan karena pengaruhnya sangat kecil. Kecuali pada jenis tanah organik tinggi dan beberapa lempung tak organis yang sangat mudah mampat (Hary Christady H, 1994).

