

II. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam pembangunan suatu struktur perlu dilakukan suatu analisis ataupun desain dengan dibatasi berbagai kriteria yang digunakan sebagai ukuran terhadap struktur yang akan didirikan. Dalam proses perancangan perlu dicari derajat kedekatan antara sistem struktural yang digunakan dengan tujuan desain (tujuan yang dikaitkan dengan masalah arsitektural, efisiensi, *serviceability*, kemudahan pelaksanaan dan biaya).

- a. Aspek arsitektural adalah aspek yang berkaitan dengan denah dan bentuk struktur yang dipilih dikaitkan dari segi arsitektur.
- b. Aspek fungsional, hal yang berkaitan dari kegunaan dan fungsi dari struktur yang dibangun
- c. Kekuatan dan stabilitas struktur, hal yang berkaitan dengan kemampuan struktur untuk menerima beban-beban yang bekerja baik beban lateral maupun vertikal, dan stabilitas struktur.
- d. Faktor ekonomi dan kemudahan pekerjaan, biasanya dalam perancangannya suatu struktur terdapat berbagai alternatif pembangunan, maka salah satu faktor yang berperan didalamnya adalah masalah biaya dan kemudahan pelaksanaan pembangunan dilapangan

A. Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral - mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan - bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel - partikel padat tersebut (Das, 1995). Adapun menurut R.F. Craig (dalam buku Mekanika Tanah Edisi ke - 4), tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan.

Tanah diklasifikasikan menjadi 3, yaitu tanah berbutir kasar seperti kerikil dan pasir, tanah berbutir halus seperti lempung (*clay*) dan lanau (*silt*) dan tanah yang memiliki kadar organik tinggi seperti gambut. Dalam penelitian ini, pembahasan dibatasi hanya untuk tanah yang tergolong dalam kriteria tanah lunak yang sesuai dengan jenis tanah dilokasi penelitian.

Tanah lunak adalah tanah yang umumnya terdiri dari tanah yang sebagian besar terdiri dari butir-butir yang sangat kecil seperti lempung atau lanau yang memiliki nilai penetrasi standar (N) yang lebih kecil dari 4. Sifat tanah lunak adalah gaya gesernya kecil, kemampuan yang besar, dan koefisien permeabilitas yang kecil. Selain itu tanah yang dapat dikategorikan sebagai tanah lunak adalah tanah organik seperti gambut yang mempunyai kadar air alamiah yang sangat tinggi dan lapisan tanah berpasir yang dalam keadaan lepas mempunyai harga N yang kurang dari 10.

B. Klasifikasi Pondasi

Pondasi dapat didefinisikan sebagai suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar pondasi yang cukup kuat menahannya tanpa terjadinya keruntuhan geser tanah dan *differential settlement* pada sistem strukturnya. Persyaratan umum yang harus dipenuhi oleh pondasi antara lain :

- 1) Pondasi harus mempunyai bentuk, ukuran dan struktur sedemikian rupa sehingga tanah dasar mampu memikul gaya-gaya yang bekerja.
- 2) Penurunan yang terjadi tidak boleh terlalu besar dan tidak merata.
- 3) Bangunan tidak boleh bergeser atau berguling.
- 4) Struktur pondasi harus cukup kuat sehingga tidak pecah akibat gaya yang bekerja

Pemilihan jenis pondasi yang digunakan sebagai struktur bawah (sub struktur) dipengaruhi beberapa faktor antara lain kondisi tanah dasar, beban yang diterima pondasi, peraturan yang berlaku, biaya, kemudahan pelaksanaannya dan sebagainya. Secara umum pondasi dapat dibagi menjadi 2 macam yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*).

1. Pondasi Dangkal (*Shallow Foundation*)

Jika kedalaman dasar pondasi dari muka tanah adalah kurang atau sama dengan lebar pondasi ($D < B$). Pondasi dangkal digunakan bila bangunan yang berada di atasnya tidak terlalu besar, rumah sederhana misalnya.

Yang termasuk dalam pondasi dangkal ialah pondasi setempat (*single footing*), pondasi menerus (*continuous footing*), pondasi pelat (*plate foundation*), pondasi cakar ayam, pondasi *strouspile*, pondasi konstruksi sarang laba - laba, pondasi rakit (*raft foundation*), pondasi *grid* dan pondasi gasing.

2. **Pondasi Dalam (Deep Foundation)**

Menurut Dr.Ir.L.D. Wesley dalam bukunya mekanika Tanah I, pondasi dalam sering diidentikkan sebagai pondasi tiang yaitu suatu struktur pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal kesumbu tiang dengan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

3. **Pondasi Pelat / Rakit (Raft/Mat Foundation)**

Merupakan pondasi gabungan yang sekurang-kurangnya memikul tiga kolom yang tidak terletak pada satu garis lurus. Jadi seluruh bangunan menggunakan satu telapak bersama. Jika jumlah luas seluruh telapak melebihi setengah luas bangunan, lebih ekonomis menggunakan pondasi rakit. Selain itu penggunaan pondasi rakit bertujuan mengatasi tanah dasar yang tidak homogen, sehingga tidak terjadi perbedaan penurunan yang cukup besar.

Secara struktur pondasi rakit merupakan pelat beton bertulang yang mampu menahan momen, gaya lintang dan gaya pons yang terjadi pada pelat beton, tetapi masih aman dan ekonomis.

C. Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian - bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan / atau baja, yang digunakan untuk meneruskan (mentransmisikan) beban - beban permukaan ke tingkat - tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah (Bowles, 1993). Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*), yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam (Sardjono HS, 1996).

Dalam pelaksanaan pemancangan, pada umumnya dipancangkan tegak lurus dalam tanah, tetapi ada juga dipancangkan miring (*battle pile*) untuk dapat menahan gaya - gaya horizontal yang bekerja. Hal seperti ini sering terjadi pada dermaga, dimana terdapat tekanan ke samping dari kapal dan perahu. Sudut kemiringan yang dapat dicapai oleh tiang tergantung dari alat yang dipergunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaannya.

Tiang pancang pada umumnya digunakan :

1. Untuk membawa beban - beban konstruksi di atas tanah, ke dalam atau melalui sebuah lapisan tanah. Di dalam hal ini beban vertikal dan beban lateral dapat terlihat.
2. Untuk menahan gaya desakan ke atas, atau gaya guling, seperti untuk telapak ruangan bawah tanah di bawah bidang batas air jenuh atau untuk kaki - kaki menara terhadap guling.

3. Memampatkan endapan tak berkoheisi yang bebas lepas melalui kombinasi perpindahan isi tiang pancang dan dorongan. Tiang pancang ini dapat ditarik keluar kemudian.
4. Mengontrol penurunan bila kaki - kaki yang tersebar atau telapak berada pada tanah tepi atau didasari oleh sebuah lapisan yang kemampatannya tinggi.
5. Membuat tanah di bawah pondasi mesin menjadi kaku untuk mengontrol amplitudo getaran dan frekuensi alamiah dari sistem tersebut.
6. Sebagai faktor keamanan tambahan di bawah tumpuan jembatan dan / atau pir (tiang), khususnya jika erosi merupakan persoalan yang potensial.
7. Dalam konstruksi lepas pantai untuk meneruskan beban - beban di atas permukaan air melalui air dan ke dalam tanah yang mendasari air tersebut. Hal seperti ini adalah mengenai tiang pancang yang ditanamkan sebagian dan yang terpengaruh baik oleh beban vertikal (dan tekuk) maupun beban lateral (Bowles, 1993).

Pondasi tiang pancang dapat digolongkan berdasarkan mobilitas tanah, cara pemindahan beban tiang pancang, dan menurut bahan yang digunakan.

Berikut akan dijelaskan satu per satu.

1. Berdasarkan Mobilisir Tanah

Tiang pancang akan mendesak tanah untuk berpindah. Semakin besar tanah yang dipindahkan, maka akan mempengaruhi besar gaya geser tanah dan akan berpengaruh terhadap besar daya dukung geser (friksi).

Dilihat dari besar mobilisir tanah, tiang dapat dibedakan menjadi:

- a. Tiang Perpindahan Tanah Besar (*Large Displacement Pile*)
- b. Tiang Perpindahan Tanah Kecil (*Small Displacement Pile*)
- c. Tiang Tanpa Perpindahan (*Non Displacement Pile*)

2. Menurut Cara Pemindahan Beban Tiang Pancang

Menurut cara pemindahan beban tiang pancang dibagi 2 (dua), yaitu :

- a. Tiang Pancang Dengan Tahanan Ujung (*End Bearing Pile*)

Tiang pancang dengan tahanan ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung. Tiang ini meneruskan beban melalui tahanan ujung ke lapisan tanah keras. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang. Untuk tiang tipe ini harus diperhatikan bahwa ujung tiang harus terletak pada lapisan keras. Lapisan keras ini boleh dari bahan apapun, meliputi lempung keras sampai batuan keras.

- b. Tiang Pancang Dengan Tahanan Gesekan (*Friction Pile*) Kadang-kadang ditemukan keadaan tanah dimana lapisan keras sangat dalam sehingga pembuatan tiang sukar sampai lapisan tersebut sukar dilaksanakan. Maka untuk menahan beban yang diterima tiang, kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya (*skin friction*). *Friction Pile* pada tanah dengan butir - butir tanah kasar (*coarse grained*) sangat mudah melalukan air (*very permeable soil*) dan disebut *compaction pile* karena telah memadatkan tanah diantara tiang - tiang tersebut. Sedangkan *friction pile* pada tanah dengan butir - butir yang sangat

halus (*very fine grained*) sukar melalukan air. Tiang ini juga meneruskan beban ke tanah melalui kulit, namun tiang ini disebut *floating pile foundation* karena tidak menyebabkan tanah diantara tiang menjadi *compact*.

3. Menurut Bahan Yang Digunakan

Pondasi tiang pancang dapat dibagi kedalam beberapa kategori (Bowles, 1993), antara lain:

a. Tiang Pancang Kayu

b. Tiang Pancang Beton

Tiang pancang beton dapat dikategorikan menjadi 2 (dua) macam, yaitu:

1) Tiang Beton Pracetak (*Precast Reinforced Concrete Pile*)

2) Tiang Pancang yang Dicor Langsung di Tempat (*Cast In Place*).

c. Tiang Bor (*Bored Pile*)

d. Tiang Pancang Baja

e. Tiang Pancang Komposit (*Composite Pile*)

Macam - macam tiang pancang komposit adalah :

- *Water proofed Steel pipe and woodpile*
- *Composite dropped in shell and wood pile*
- *Composite ungasd concrete and wood pile*
- *Composite dropped in shell and pipe pile*
- *Franky composite pile*

D. Tiang Pancang Kelompok (*Pile Group*)

Kemungkinan konstruksi terdiri dari sebuah tiang pancang tunggal pondasi sangat jarang. Umumnya, paling sedikit dua atau tiga tiang pancang di bawah elemen pondasi atau kaki pondasi, dikarenakan masalah penjajaran dan eksentrisitas yang kurang baik. Kode Bangunan Chicago (Pasal 70,4) telah menetapkan jumlah minimum dari tiang pancang di bawah sebuah elemen bangunan.

Di atas *pile group*, biasanya diletakkan suatu konstruksi *poer – footing* yang mempersatukan kelompok tiang tersebut.

Dalam perhitungan – perhitungan *poer* dianggap/dibuat kaku sempurna, sehingga :

- Bila beban – beban yang bekerja pada kelompok tiang tersebut menimbulkan penurunan maka setelah penurunan bidang *poer* tetap akan merupakan bidang datar.
- Gaya – gaya yang bekerja pada tiang berbanding lurus dengan penurunan tiang – tiang tersebut.

E. Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang

Dalam beberapa jenis penyelidikan tanah yang paling praktis sampai saat ini, dimana datanya langsung diperoleh adalah dari hasil *Standard Penetration Test* (SPT) adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan suatu alat yang dinamakan *split spoon* kedalam tanah. Dengan percobaan ini akan diperoleh kepadatan relatif (*relative density*), sudut geser tanah (ϕ)

berdasarkan nilai jumlah pukulan (N). Hubungan kepadatan relatif, sudut geser tanah dan nilai N.

Didalam perencanaan pondasi tiang pancang (*pile*), data tanah sangat diperlukan dalam merencanakan kapasitas daya dukung (*bearing capacity*) dari tiang pancang sebelum pembangunan dimulai.

1. Tahanan Ujung dan Tahanan Gesek Tiang

Adapun persamaan untuk daya dukung ujung tiang (menurut Meyerhof), yaitu :

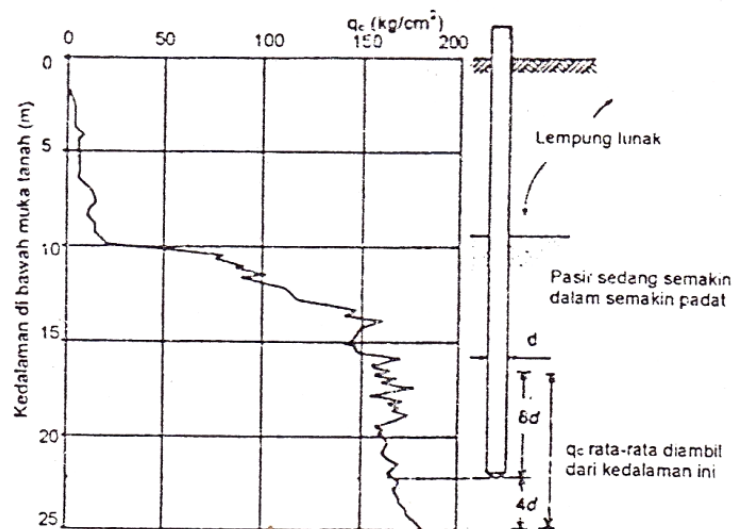
$$Q_p = 40 \times N_b \times A_p \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

A_p = Luas penampang ujung tiang (m^2)

N_b = Nilai N – SPT pada elevasi dasar tiang



Gambar 1. Tahanan Ujung Tiang Cara Meyerhof

Gesekan selimut tiang per satuan luas dipengaruhi oleh jenis tanah parameter kuat geser tanah. Untuk tanah berbutir kasar gesekan selimut tiang dapat diambil dari grafik berdasarkan nilai $N - SPT$, dengan rumus :

$$Q_s = 0,2 N \times A_s \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

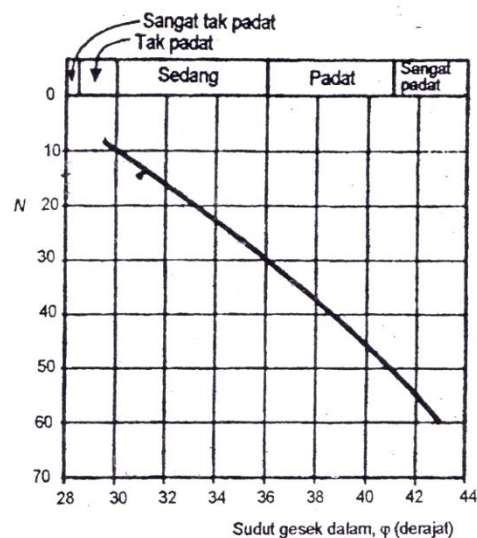
Q_s = Kapasitas daya dukung selimut tiang (ton)

N = Harga $N - SPT$ rata – rata

A_s = Luas selimut tiang (m^2)

P = Keliling tiang (m)

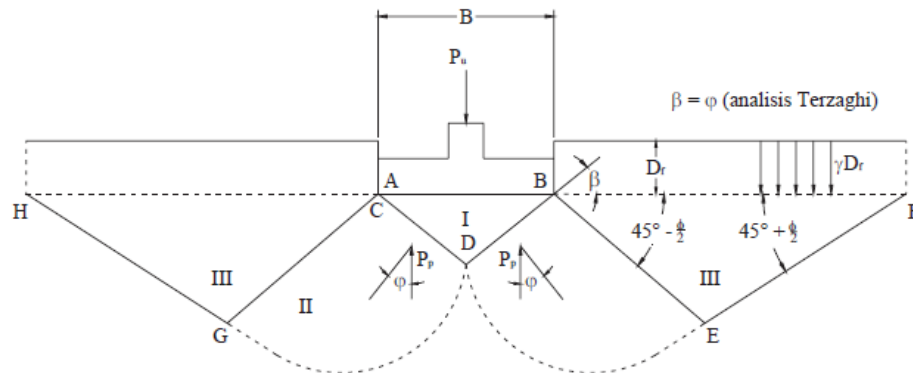
ΔL = Panjang segmen tiang (m)



Gambar 2. Hubungan ϕ dan $N-SPT$

Oleh Meyerhof faktor – faktor yang berpengaruh, disamping faktor sifat – sifat tanah dan bentuk pondasi itu, ditambah dengan faktor kedalaman pondasi dan faktor pembebanan. Dibedakan kapasitas daya dukung pondasi dangkal akibat beban vertikal dan akibat beriklinasi. Sehingga kapasitas daya

dukung Meyerhof ditinjau dari faktor yang berpengaruh pada analisis kapasitas daya dukung, lebih lengkap dibandingkan dengan metode yang lain.



Gambar 3. Bentuk keruntuhan dalam analisis kapasitas dukung

Kapasitas daya dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan :

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

Q_b = Tahanan ujung tiang

Q_s = Tahanan gesek tiang

W_p = Berat sendiri tiang

2. Penentuan Jumlah Tiang

Jumlah tiang Dihitung dengan Terlebih dahulu Mengetahui jumlah berat beban yang akan didukungnya. Dinyatakan oleh persamaan :

$$\text{Jumlah tiang (n)} = \frac{W_{total}}{Q_u} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

W_{total} = Berat total keseluruhan beban mati yang bekerja

Q_u = Kapasitas daya dukung ultimit tiang

3. Jarak Antar Tiang Dalam Kelompok

Jarak minimum antara tiang pancang yang disarankan oleh beberapa peraturan bangunan adalah sebagai berikut :

Peraturan BOCA menetapkan bahwa jarak antar tiang pancang gesekan (*friction pile*) pada pasir lepas atau pasir kerikil lepas dinaikkan 10 % untuk tiap – tiap tiang pancang interior menjadi maksimum 40 %. Untuk kelompok tiang pancang yang memikul beban – beban lateral dan/atau beban dinamis, jarak antara tiang pancang yang lebih besar, biasanya lebih efisien. Jarak maksimum antara tiang pancang tidak diberikan dalam peraturan bangunan, tetapi jarak antara sebesar 8 atau 10 D pernah juga dipakai. Untuk beban – beban vertikal jarak antara yang optimal berkisar antara 2,5 D sampai 3,5 D atau 2 – 3 H

Tabel 1. Jarak Minimum Antara Tiang Pancang

Tipe tiang Pancang	BOCA, 1984 (pasal 1013.8)	NBC, 1976 (pasal 912.11)	Chicago, 1987 (pasal 70.4)
Gesekan	2D atau $1,75 H \geq 30 \text{ in}$	2D atau $1,75 H \geq 30 \text{ in}$	1D atau $1,75 H \geq 30 \text{ in}$
Ujung Dukung	2D atau $1,75 H \geq 24 \text{ in}$	2D atau $1,75 H \geq 24 \text{ in}$	

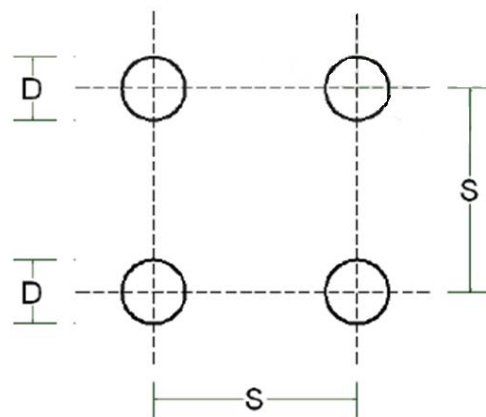
Sumber : Bowles, 1993

Dimana :

D = diameter tiang pancang

H = diagonal 4 (empat) persegi panjang atau tiang pancang H

Selain itu, Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L juga mensyaratkan :



$$S \geq 2,5 D$$

$$S \geq 3 D$$

Dimana :

S = jarak masing –

Masing tiang dalam
kelompok (*spacing*)

D = diameter tiang

Gambar 4. Jarak tiang

- Bila $s < 2,5 D$

Pada pemancangan tiang no. 3 akan menyebabkan :

- a. Kemungkinan tanah di sekitar kelompok tiang akan naik terlalu berlebihan karena terdesak oleh tiang – tiang yang dipancang terlalu berdekatan.
- b. Terangkatnya tiang – tiang di sekitarnya yang telah dipancang terlebih dahulu.

- Bila $s > 3 D$

Disini tidak ekonomis sebab akan memperbesar ukuran/dimensi dari poer (*footing*), sehingga memperbesar biaya.

F. Kapasitas Kelompok dan Efisiensi Tiang Pancang

1. Kapasitas Kelompok Tiang

Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya.

Stabilitas kelompok tiang tergantung dari 2 (dua) hal, yaitu :

- a. Kemampuan tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang untuk mendukung beban total struktur.
- b. Pengaruh konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang.

Jika kelompok tiang dalam tanah lunak, pasir tidak padat, atau timbunan, dengan dasar tiang yang bertumpu pada lapisan kaku, maka kelompok tiang tersebut tidak mempunyai resiko akan mengalami keruntuhan geser umum (*general shear failure*), jika diberikan faktor aman yang cukup terhadap bahaya keruntuhan tiang tunggalnya. Akan tetapi, penurunan kelompok tiang masih tetap harus diperhitungkan secara keseluruhan ke dalam tanah lempung lunak.

2. Efisiensi Tiang Pancang

Efisiensi tiang pancang bergantung pada beberapa faktor, antara lain :

- a. Jumlah, panjang, diameter, susunan dan jarak tiang.
- b. Model transfer beban (tahanan gesek terhadap tahanan dukung ujung).
- c. Prosedur pelaksanaan pemasangan tiang.
- d. Urutan pemasangan tiang.
- e. Macam – macam tanah.
- f. Waktu setelah pemasangan tiang.
- g. Interaksi antara pelat penutup tiang (*pile cap*) dengan tanah.
- h. Arah dari beban yang bekerja.

Persamaan dari efisiensi tiang pancang menurut *Converse – Labarre Formula* adalah sebagai berikut :

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n' - 1)m + (m - 1)n'}{90 mn'} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan :

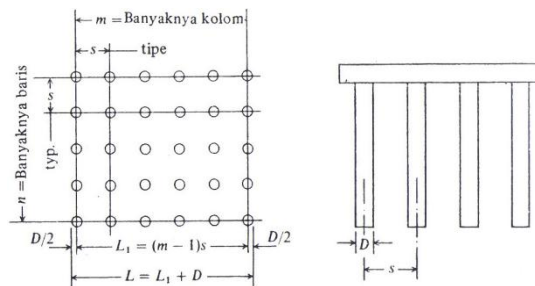
- E_g = efisiensi kelompok tiang
- m = jumlah baris tiang
- n' = jumlah tiang dalam satu baris
- θ = arc tg *d/s*, dalam derajat
- s = jarak pusat ke pusat tiang
- d = diameter tiang

Efisiensi kelompok tiang didefinisikan sebagai :

$$E_g = \frac{Q_g}{nQ_u} \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan,

- E_g = efisiensi kelompok tiang
- Q_g = beban maksimum kelompok tiang yang mengakibatkan keruntuhan
- Q_u = beban maksimum tiang tunggal yang mengakibatkan keruntuhan
- n = jumlah tiang dalam kelompok



Gambar 5. Efisiensi Tiang Pancang Kelompok

3. Kapasitas Izin Kelompok Tiang

Kapasitas kelompok tiang izin menggunakan persamaan :

$$\text{Kapasitas kelompok tiang izin} = E_g \times n \times Q_u \dots\dots\dots(2.8)$$

G. Penurunan (*settlement*)

Deformasi tanah atau penurunan terjadi apabila suatu beban dikerjakan pada benda yang elastis, kemudian akan dihasilkan suatu regangan. Panjang regangan yang terjadi akibat tegangan disebut deformasi atau penurunan (*settlement*). Secara umum penurunan diartikan sebagai perpindahan vertikal permukaan tanah sehubungan dengan pengurangan volume pori yang berakibat bertambahnya berat volume kering akibat beban yang bekerja dalam periode tertentu.

Dalam pekerjaan geoteknik, penurunan dapat dibedakan dalam jenis-jenis sebagai berikut:

1. penurunan segera (*immediate settlement*), Penurunan segera terjadi pada tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus kering (tidak jenuh) terjadi segera setelah beban bekerja. Penurunan ini bersifat elastis, terjadi pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai derajat kejenuhan (S_r) < 90%. Penurunan ini terjadi dalam beberapa jam sampai satu bulan setelah beban bekerja tanpa mengakibatkan perubahan kadar air.

Adapun persamaan penurunan segera menurut de beer dan marten adalah sebagai berikut :

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_o' + \Delta p}{P_o'} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$C = 1,5 \frac{q_c}{P_{o'}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

H = Kedalaman tekanan tanah vertikal (m)

Δp = Tambahan tegangan rata-rata (kN/m²)

P_{o'} = Tekanan overbuden (kN/m²)

q_c = Nilai penetrasi conus (kg/cm²)

2. Konsolidasi adalah proses pengecilan volume secara perlahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah karena pengaliran sebagian air pori. Dengan kata lain, konsolidasi adalah proses terperasnya air tanah akibat bekerjanya beban, yang terjadi sebagai fungsi waktu karena kecilnya permeabilitas tanah. Proses ini berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan kenaikan total telah hilang, perkiraan waktu penurunan sekitar beberapa bulan hingga beberapa ratus tahun.

Untuk penurunan konsolidasi terjadi terbagi menjadi dua, yaitu :

a. Penurunan Konsolidasi Primer

Penurunan yang terjadi ketika gradien tekanan pori berlebihan akibat perubahan tegangan didalam stratum yang ditinjau. Pada akhir konsolidasi primer kelebihan tekanan pori mendekati nol dan perubahan tegangan telah beralih dari keadaan total ke keadaan efektif. Penurunan tambahan ini disebut penurunan sekunder yang terus berlanjut untuk suatu waktu tertentu, Penurunan konsolidasi

primer dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu tanah normal konsolidasi dan tanah over konsolidasi.

1) Tanah Normal Konsolidasi

Apabila lengkungan bertambah secara tajam (patah) mendekati tekanan tanah efektif akibat beban yang berada di atasnya (P_o), maka dapat dianggap bahwa tanah tersebut terkonsolidasi normal. Artinya struktur tanah terbentuk akibat akumulasi tekanan pada saat deposit yang ada bertambah dalam

2) Tanah over konsolidasi

Sedangkan apabila patahan yang terjadi pada tekanan yang lebih besar dari P_o , maka dapat dianggap tanah tersebut mengalami over konsolidasi. Tanah over konsolidasi adalah tanah yang pernah menderita beban tekanan efektif yang lebih besar daripada tegangan yang sekarang.

Adapun persamaan penurunan akibat konsolidasi primer adalah sebagai berikut :

$$S_{cp} = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

C_c = Koefisien pemampatan

e_o = Angka pori

P_o = Tekanan overbuden pada kedalaman n (kN/m^2).

Δp = Tambahan tegangan rata-rata pada kedalaman (kN/m^2).

b. Penurunan konsolidasi sekunder

Penurunan sekunder didefinisikan sebagai tekanan yang terjadi pada saat terdapatnya tekanan pori yang berlebih pada lapisan yang ditinjau (atau pada contoh di laboratorium). Pada tanah yang jenuh tidak akan mungkin terdapat pengurangan angka pori tanpa terbentuknya sejumlah tekanan pori yang berlebih. Tingkat penurunannya sangat rendah sehingga tekanan pori yang berlebih tidak dapat diukur. Tekanan sekunder merupakan penyesuaian kerangka tanah yang berlangsung beberapa saat sesudah tekanan pori yang berlebih menghilang. Dinyatakan dengan persamaan

$$S_{cs} = \frac{C_{\alpha} H (\log t_{total} + t_{primer})}{t_{primer}} \dots\dots(2.12)$$

Dimana :

S_{cs} = penurunan sekunder / *Settlement* (cm)

C_{α} = indeks pemampatan sekunder

e_o = angka pori

H = tebal lapisan tanah

3. Penurunan Rangkap, Penurunan jangka panjang cenderung terjadi pada akhir penurunan konsolidasi, dapat juga terjadi setelah penurunan segera.

Penurunan Total adalah jumlah total penurunan mulai dari penurunan segera (*immediate settlement*), penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder.

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} \dots\dots\dots(2.13)$$

Beberapa penyebab settlement adalah sebagai:

- a. *Capacity Bearing*, kegagalan atau ketidakstabilan Tanah yang mencakup tanah longsor.
- b. Kegagalan atau defleksi struktur pondasi.
- c. Elastis atau penyimpangan tanah atau batu.
- d. Konsolidasi (*kompresi*) tanah atau batu.
- e. Penyusutan sehubungan dengan pengeringan.
- f. Perubahan pada kepadatan sehubungan dengan guncangan atau getaran.
- g. Perubahan Kimia yang mencakup peluruhan.
- h. Erosi Bawah tanah.
- i. Kehancuran pembukaan bawah tanah seperti gua atau tambang.
- j. Kehancuran Struktural sehubungan dengan melemah dari sementasi.

Penurunan Tiang Pancang

Jika tiang dipancang ke dalam lapisan pendukung yang relatif keras dan tidak mudah mampat, penurunan yang terjadi adalah akibat pemendekan badan tiangnya sendiri ditambah penurunan tanah yang berada di bawah dasar tiang.

Problem utama dalam menghitung penurunan kelompok tiang, antara lain:

- Dalam memprediksi besarnya tegangan di dalam tanah akibat beban tiang dan sifat – sifat tanah yang berada di bawah ujung tiang.
- Dalam menentukan besarnya beban yang di dukung oleh tiang di dalam kelompoknya dan beban aksial yang terjadi di sepanjang tiang – tiang tersebut, untuk menghitung perpendekan tiang.

Dalam kelompok tiang pancang (*pile group*) ujung atas, tiang – tiang tersebut dihubungkan satu dengan yang lain dengan poer yang kaku, sehingga merupakan satu kesatuan yang kokoh.

H. Konstruksi Sarang Laba – Laba

Pondasi KSSL merupakan kombinasi konstruksi bangunan bawah konvensional yang merupakan perpaduan pondasi plat beton pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak yang pipih tinggi dan sistem perbaikan tanah di antara rib-rib. Kombinasi ini menghasilkan kerja sama timbal balik yang saling menguntungkan sehingga membentuk sebuah pondasi yang memiliki kekakuan (*rigidity*) jauh lebih tinggi dibandingkan sistem pondasi dangkal lainnya.

Dinamakan sarang laba-laba karena pembesian plat pondasi di daerah kolom selalu berbentuk sarang laba-laba. Juga bentuk jaringannya yang tarik-menarik bersifat monolit yaitu berada dalam satu kesatuan. Ini disebabkan plat konstruksi didesain untuk multi fungsi, untuk septic tank, bak reservoir, lantai, pondasi tangga, kolom praktis dan dinding. Rib (tulang iga) KSSL berfungsi sebagai penyebar tegangan atau gaya-gaya yang bekerja pada kolom. Pasir pengisi dan tanah dipadatkan berfungsi untuk menjepit rib-rib konstruksi terhadap lipatan puntir.

Sesuai dengan definisinya, maka Konstruksi Sarang Laba-Laba terdiri dari 2 bagian konstruksi, yaitu

1. Konstruksi beton

a Konstruksi beton pondasi KSSL berupa pelat pipih menerus yang

dibawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak yang pipih tetapi tinggi.

- b Bentuknya bisa digambarkan sebagai kotak raksasa yang terbalik (menghadap kebawah).
- c Ditinjau dari segi fungsinya, rib-rib tersebut ada 3 macam yaitu rib konstruksi, rib settlement dan rib pengaku.
- d Penempatan / susunan rib-rib tersebut sedemikian rupa, membentuk petak-petak segitiga dengan hubungan yang kaku (rigid).

2. Perbaikan tanah / pasir

- a Rongga yang ada diantara rib-rib / di bawah pelat diisi dengan lapisan tanah/pasir yang memungkinkan untuk dipadatkan dengan sempurna.
- b Untuk memperoleh hasil yang optimal, maka pemadatan dilaksanakan lapis demi lapis dengan tebal tiap lapis tidak lebih dari 20 cm, sedangkan pada umumnya 2 atau 3 lapis teratas harus melampaui batas 90% atau 95% kepadatan maksimum (Standart Proctor). Adanya perbaikan tanah yang dipadatkan dengan baik tersebut dapat membentuk lapisan tanah seperti lapisan batu karang sehingga bisa memperkecil dimensi pelat serta rib-ribnya. Sedangkan rib-rib serta pelat KSSL merupakan pelindung bagi perbaikan tanah yang sudah dipadatkan dengan baik.

Pada dasarnya pondasi KSSL bertujuan untuk memperkaku sistem pondasi itu sendiri dengan cara berinteraksi dengan tanah pendukungnya. Seperti diketahui bahwa jika pondasi semakin fleksibel, maka distribusi tegangan/stress tanah yang timbul akan semakin tidak merata, terjadi

konsentrasi tegangan pada daerah beban terpusat. Dan sebaliknya, jika pondasi semakin kaku / rigid, maka distribusi tegangan/stress tanah akan semakin merata. Hal ini mempengaruhi kekuatan pondasi dalam hal penurunan yang dialami pondasi. Dengan menggunakan pondasi KSSL, berarti pondasi mempunyai tingkat kekakuan yang lebih tinggi, maka penurunan yang terjadi akan merata karena masing-masing kolom dijepit dengan rib-rib beton yang saling mengunci.

Menurut Lokakarya yang diadakan di Bandung pada pertengahan tahun 2004 oleh Puslitbang Depkimpraswil yang dihadiri oleh para pakar gempa dan tanah, disimpulkan kelebihan-kelebihan pondasi KSSL adalah sebagai berikut:

1. Memiliki kekakuan yang lebih baik dengan penggunaan bahan bangunan yang hemat dibandingkan dengan pondasi rakit (*raft foundation*).
2. Memiliki kemampuan memperkecil *differential settlement* dan mengurangi *irregular differential settlement*.
3. Mampu membuat tanah menjadi bagian dari struktur pondasi karena proses pemadatannya akan meniadakan pengaruh lipatan atau *lateral buckling* pada rib.
4. Berpotensi untuk digunakan sebagai pondasi untuk bangunan bertingkat rendah (2 lantai) yang dibangun di atas tanah lunak dengan mempertimbangkan total *settlement* yang mungkin terjadi.
5. Pelaksanaannya tidak menggunakan alat-alat berat dan tidak mengganggu lingkungan sehingga cocok diterapkan baik di lokasi padat penduduk maupun di daerah terpencil.

6. Mampu menghemat penggunaan baja tulangan maupun beton.
7. Waktu pelaksanaan yang diperlukan relatif lebih cepat dan dapat dilaksanakan secara padat karya.
8. KSSL lebih ekonomis dibandingkan pondasi konvensional rakit atau tiang pancang, lebih-lebih dengan pondasi dalam, hal ini dikarenakan murah dalam pembuatannya, padat karya dan sederhana

I. Keistimewaan Sistem Konstruksi Dan Bentuk Pondasi Sarang Laba-Laba

Keistimewaan pondasi KSSL dapat dilihat dari aspek teknis, ekonomis dan dari segi pelaksanaan.

1. Aspek Teknis

- a. Pelat pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh rib-rib tegak, pipih dan tinggi. Bentuk konstruksi seperti ini, dengan bahan yang relatif sedikit (tb) akan diperoleh pelat yang memiliki kekakuan/tebal ekuivalen (te) yang tinggi. Pada umumnya $te = 2.5 - 3.5 tb$, dengan variasi tergantung desain. Bentuk ketebalan ekuivalen tersebut tidak berbentuk merata, melainkan bergelombang.
- b. Penempatan pelat di sisi atas rib dan sistem perbaikan tanah.dengan susunan konstruksi akan dihasilkan penyebaran beban di mana untuk mendapatkan luasan pendukung pada tanah asli cukup dibutuhkan lebar pelat efektif. Hal ini disebabkan karena proses penyebaran beban dimulai dari bawah pelat yang berada pada sisi atas lapisan perbaikan tanah.

c. Susunan rib-rib yang membentuk titik-titik pertemuan dan penempatan kolom/titik beban pada titik pertemuan rib-rib. Dengan susunan rib diperoleh ketebalan ekuivalen yang tidak merata. Pada titik pertemuan rib-rib diperoleh ketebalan maksimum, sedangkan makin jauh dari titik pertemuan rib-rib ketebalan ekuivalen makin berkurang. Dalam perencanaan pondasi KSSL sebagai pondasi bangunan gedung arus sedemikian rupa sehingga titik pertemuan rib-rib berimpit dengan titik kerja beban / kolom-kolom tersebut. Susunan rib yang membentuk petak-petak segitiga dengan hubungan yang kaku menjadikan hubungan antar rib menjadi hubungan yang stabil terhadap pengaruh gerakan / gaya horizontal.

d. Rib-Rib Settlement Yang Cukup Dalam

Penempatan rib yang cukup dalam diatur sedemikian rupa sehingga membagi luasan konstruksi bangunan bawah dalam petak-petak segitiga yang masing-masing luasnya tidak lebih dari 200 m^2 . Adanya rib-rib settlement memberi keuntungan-keuntungan yaitu mereduksi total penurunan, mempertinggi kestabilan bangunan terhadap kemungkinan terjadinya kemiringan, mampu melindungi perbaikan tanah terhadap kemungkinan bekerjanya pengaruh-pengaruh negatif dari lingkungan sekitar, misalnya kembang susut tanah dan kemungkinan timbulnya degradasi akibat aliran tanah dan yang terakhir yaitu menambah kekakuan pondasi dalam tinjauannya secara makro.

- e. Kolom mencengkeram pertemuan rib-rib sampai ke dasar rib. Hal ini membuat hubungan konstruksi bagian atas (*upper structure*) dengan konstruksi bangunan bawah (*sub structure*) menjadi lebih kokoh. Sebagai gambaran, misal tinggi rib konstruksi 120 cm, maka hubungan antara kolom dengan pondasi KSSL juga akan setinggi 120 cm. Untuk perbandingan, pada pondasi tiang pancang, hubungan antara kolom dengan pondasi hanya setebal pondasinya (kisarannya antara 50 - 80 cm).
- f. Sistem perbaikan tanah setelah pengecoran rib-rib. Pemadatan tanah baru dilakukan setelah rib-rib selesai dicor dan berumur sedikitnya 3 hari. Pemadatan sendiri harus dilaksanakan lapis demi lapis dan harus dijaga agar perbedaan tinggi antara petak yang sedang dipadatkan dengan petak petak yang bersebelahan tidak lebih dari 25 cm, sehingga mudah untuk mencapai kepadatan yang tinggi. Di samping hasil kepadatan yang tinggi pada lapisan tanah di dalam petak rib-rib, lapisan tanah asli di bawahnya akan ikut terpadatkan walaupun tidak mencapai kepadatan setinggi tanah yang berada dalam petak rib-rib. Hal itu pun sudah memberikan hasil yang cukup memuaskan bagi peningkatan kemampuan daya dukung dan bagi ketahanan kestabilan terhadap penurunan (*settlement*).
- g. Adanya kerja sama timbal balik saling menguntungkan antara konstruksi beton dan sistem perbaikan tanah. Rib-rib beton, di samping sebagai pengaku pelat dan *sloof*, juga sebagai dinding penyekat dari sistem perbaikan tanah, sehingga perbaikan tanah

dapat dipadatkan dengan tingkat kepadatan yang tinggi (mencapai 100 % kepadatan maksimum Standar Proctor), dan setelahnya rib-rib akan berfungsi sebagai pelindung bagi perbaikan tanah terhadap pengaruh- pengaruh dari banjir, penguapan dan degradasi. Perbaikan tanah akan memberi dampak lapisan tanah menjadi seperti lapisan batu karang sehingga dapat memperkecil dimensi ribnya.

2. Aspek Ekonomis

Di atas telah dijelaskan aspek-aspek teknis yang juga memberi keuntungan dilihat dari aspek ekonomis, seperti dimensi rib yang relatif kecil, penggunaan tanah sebagai bagian dari konstruksi yang menghemat pemakaian beton dan sebagainya.

Aspek ekonomis yang juga dapat dilihat pada pondasi KSSL adalah pengerjaan pondasi yang memerlukan waktu yang singkat karena pelaksanaannya mudah dan padat karya serta sederhana dan tidak menuntut keahlian yang tinggi. Selain itu pembesian pada rib dan plat, cukup dengan pembesian minimum, pada umumnya, hanya diperlukan volume beton 0,2 - 0,35 m³ beton/m² luas pondasi, dengan pembesian 90 - 120 kg/m³ beton. Pondasi KSSL memanfaatkan tanah hingga mampu berfungsi sebagai struktur bangunan bawah dengan komposisi sekitar 85 persen tanah dan 15 persen beton.

J. Model *SOFT SOIL*

Soft Soil atau yang lebih dikenal dengan model PLAXIS (Finite Element Code For Soil and Rock Analysis) adalah program pemodelan dan

postprocessing metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa masalah-masalah geoteknik dalam perencanaan sipil. PLAXIS menyediakan berbagai analisa teknik tentang displacement, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, dan lain-lain. Program ini dirancang untuk dapat melakukan pembuatan geometri yang akan dianalisa.

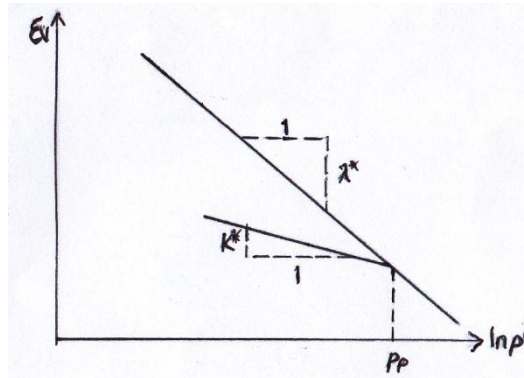
Untuk menekankan pentingnya model *Soft Soil* Dalam Versi 6, model material dalam PLAXIS telah terdiri dari model Mohr-Coulomb, model *Soft Soil* dan model *Hard Soil*. Namun dalam versi 7, ide penggunaan model yang terpisah untuk tanah lunak dan tanah keras ditinggalkan. Sebagai gantinya, model *Hard Soil* telah dikembangkan lebih jauh hingga menjadi model *Hardening Soil*. Pada saat yang sama model *Soft Soil Creep* juga dikembangkan untuk memodelkan beberapa sifat utama dari tanah lunak. Hasilnya, model *Soft Soil* dapat digantikan oleh model *Hardening Soil* yang baru atau model *Soft Soil Creep*. Walaupun demikian agar pengguna tetap dapat menggunakan model yang telah dikenal dengan baik, maka diputuskan bahwa model *Soft Soil* tetap ada dalam PLAXIS Versi 8.

Beberapa sifat model *Soft Soil* adalah :

- Kekakuan bergantung pada tegangan
- Perbedaan antara pembebanan primer dan pengurangan pembebanan kembali
- Tekanan prakonsolidasi
- Perilaku keruntuhan mengikuti kriteria Mohr-Coulomb

1. Kondisi Isotropis Tegangan dan Regangan

Dalam model *Soft Soil*, diasumsikan bahwa hubungan antara regangan volumetrik (ϵ_v) dan tegangan efektif rata – rata (p') berupa hubungan logaritmik seperti yang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Logaritmik Antara Regangan Volumetrik dan Tegangan Rata – Rata

2. Parameter Model *Soft Soil*

Parameter model *Soft Soil* serupa dengan parameter dalam model *Soft Soil Creep*. Namun demikian, karena model *Soft Soil* tidak melibatkan waktu, maka indeks rangkai termodifikasi μ^* tidak diikutsertakan. Karena itu, model *Soft Soil* membutuhkan konstanta – konstanta material berikut :

λ^* : Indeks kompresi termodifikasi

k^* : Indeks muai termodifikasi

C : Kohesi [KN/m²]

\emptyset : Sudut geser [°]

Ψ : Sudut dilatasi [°]

a. Indeks muai termodifikasi dan indeks kompresi termodifikasi

Parameter – parameter ini dapat diperoleh dari uji kompresi isotropis termasuk pengurangan beban secara isotropis. Saat menggambarkan logaritma dari tegangan rata – rata sebagai fungsi dari regangan volumetrik untuk material yang bersifat seperti lempung, hasil penggambaran dapat didekati dengan dua buah garis lurus. Kemiringan dari garis pembebanan primer memberikan indeks kompresi termodifikasi, dan kemiringan dari garis pengurangan beban akan memberikan indeks muai termodifikasi. Perhatikan bahwa terdapat perbedaan antara indeks – indeks termodifikasi k^* dan λ^* terhadap parameter – parameter k dan λ^* dari model asli Cam-Clay, yang didefinisikan dalam angka pori (e) dan bukan dalam regangan volumetrik (\mathcal{E}_v).

b. Kohesi

Kohesi mempunyai dimensi tegangan. Setiap nilai kohesi efektif dapat digunakan, termasuk kohesi sebesar nol. Saat menggunakan pengaturan standar, kohesi ditetapkan sebesar 1 kPa. Memasukkan suatu nilai kohesi akan menghasilkan daerah elastis yang sebagian berada di daerah tegangan tarik. Hal ini berarti bahwa dengan memasukkan kohesi yang lebih besar dari nol dapat mengakibatkan kondisi konsolidasi yang berlebih, tergantung dari besarnya nilai kohesi dan kondisi tegangan awal. Penentuan kuat geser tak terdrainase tidak mungkin dilakukan pada kohesi yang tinggi dan

sudut geser nol. Masukan parameter model harus selalu didasarkan pada nilai – nilai efektifnya.

c. Sudut Geser

Sudut geser dalam efektif menyatakan peningkatan kuat geser terhadap tingkat tegangan efektif, dan dinyatakan dalam derajat. Sudut geser nol tidak diperbolehkan. Sebaliknya, pengguna harus berhati – hati dengan penggunaan sudut geser yang tinggi. Seringkali disarankan untuk menggunakan ϕ_{cv} , yaitu sudut geser *critical state*, dan bukan nilai yang lebih tinggi yang ditentukan berdasarkan regangan kecil.

Selain itu, penggunaan sudut geser yang tinggi akan secara signifikan meningkatkan kebutuhan komputasi.

d. Sudut Dilatansi

Untuk jenis material, yang dapat dideskripsikan oleh model *Soft Soil*, sudut dilatansi umumnya dapat diabaikan. Sudut dilatansi sebesar nol derajat digunakan dalam pengaturan standar dari model *Soft Soil*.

e. Angka Poisson

Dalam model *Soft Soil*, angka Poisson murni merupakan konstanta elastisitas dan bukan konstanta pseudo-elastisitas seperti digunakan dalam model Mohr-Coulomb. Nilai angka Poisson umumnya berkisar antara 0,1 dan 0,2. Jika dipilih pengaturan standar untuk parameter model *Soft Soil*, maka $\nu_{ur} = 0,15$ akan digunakan secara

otomatis. Untuk pembebanan material yang terkonsolidasi secara normal, angka Poisson hanya memegang peranan yang kecil, tetapi akan menjadi penting dalam masalah pengurangan beban. Sebagai contoh, untuk pengurangan beban dalam uji kompresi 1 dimensi (*konsolidasi*), angka Poisson yang relatif kecil akan menghasilkan penurunan tegangan lateral yang kecil dibandingkan dengan penurunan tegangan vertikal. Hal ini akan menyebabkan peningkatan rasio tegangan horisontal terhadap tegangan vertikal, yang merupakan suatu fenomena yang telah dikenal dengan baik pada material yang terkonsolidasi secara berlebih.

K. Metode Analisis Kekakuan Pondasi Pelat

1. Metode Pondasi Kaku (*rigid footing method*) yaitu metode analisis suatu pondasi yang didasarkan pada anggapan bahwa distribusi reaksi tanah yang terjadi sepanjang penampang bawah pondasi adalah linier. Menurut *Bowles* (1983), konsep dasar untuk menganalisis pondasi kaku, baik untuk pondasi pelat tunggal (kolom tunggal) maupun pondasi pelat gabungan dengan dua kolom adalah :
 - a. Pondasi Pelat Tunggal
Pondasi pelat tunggal bisa dianggap sebagai balok fleksibel, dengan beban kolom sebagai beban terpusat.
 - b. Pondasi Pelat Gabungan
Pondasi pelat gabungan termasuk dalam kategori balok terHINGGA dengan ujung bebas yang dibebani dua buah beban terpusat.

2. Metode pondasi fleksibel (*flexible footing method*) yaitu metode analisis yang didasarkan pada distribusi reaksi tanah yang terjadi di bawah pondasi tidak linier atau bervariasi sepanjang bidang kontak pondasi.

Ada 2 metode untuk menyelesaikan masalah pondasi fleksibel pada penelitian ini, yaitu metode *Hetenyi* dan metode elemen hingga dengan SAP 2000.

- a. Metode *Hetenyi*

Metode *Hetenyi* disebut juga metode eksak adalah metode penyelesaian masalah balok fleksibel dengan asumsi dasar bahwa material balok mengikuti hukum Hooke, penampang prismatis, gaya geser di sepanjang permukaan bidang kontak antara pondasi dan tanah dianggap kecil dan diabaikan.

- b. Metode Elemen Hingga

Pada pemecahan numerik khususnya dengan metode elemen hingga, sistem struktur merupakan rangkaian yang dibangun dari sejumlah elemen hingga, dimana satu dengan lainnya terhubung hanya pada nodal – nodalnya (*Bowles*, 1983). Hubungan gaya dan lendutan pada nodal dimulai dengan mencari hubungan antara gaya – gaya luar pada nodal { P } dengan gaya – gaya element { F } berdasarkan prinsip kesetimbangan.

Umumnya pemecahan masalah analisis dengan metode elemen hingga dilaksanakan dengan bantuan *software*. Ada dua *software* yang dapat dipakai untuk memecahkan masalah pondasi fleksibel yaitu SAP 2000 dan program dari *Linchi Lu*.

L. Balok Pada Pondasi Elastis

Aspek penting dalam desain elemen struktur fleksibel yang berhubungan dengan tanah adalah dengan cara dimana reaksi tanah, yang menunjuk secara mutu sebagai tekanan reaktif tanah (p), yang diasumsikan atau diperhitungkan dalam analisis. Besar dan distribusi p harus diasumsikan terlebih dahulu, dan ini adalah keuntungan penting untuk menentukan nilai parameter dasar secara acak karena nilai – nilai ini dapat dihitung dari sifat – sifat material (modulus perubahan bentuk, E_o , Rasio Poisson, V_s dan kedalaman daerah yang mempengaruhi H disepanjang balok) untuk tanah.

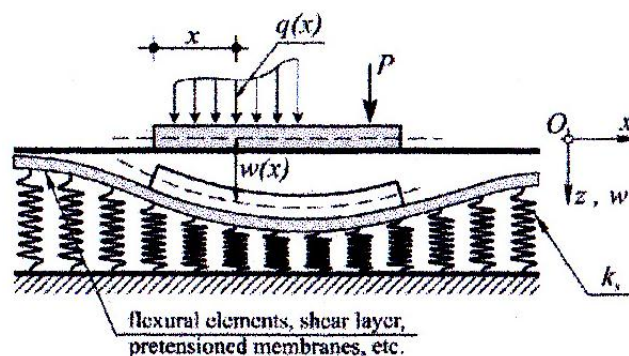
Secara umum analisis pembengkokan balok pada sebuah pondasi elastis dikembangkan asumsi bahwa gaya reaksi pondasi adalah sebanding pada setiap titik untuk defleksi balok pada titik itu. Karakteristik perubahan bentuk variabel pondasi didefinisikan berdasarkan pemahaman terhadap yang serupa, bebas, berjarak dekat dan elastis. Konstanta untuk keseimbangan hal ini dikenal sebagai modulus reaksi tanah dasar, K_s . Gambaran mekanis yang sederhana dan relatif keras mengenai pondasi tanah ini pertama kali diperkenalkan oleh Winkler pada 1867.



Gambar 7. Defleksi Pondasi Elastis Di Bawah Tekanan Yang Seragam;
a = Winkler, b = Pondasi Tanah Praktis

Didalam model yang diusulkan oleh Hetenyi pada 1950, hubungan antara elemen bebas diselesaikan dengan menggabungkan lapisan elastis pada permasalahan 3D atau sebuah balok elastis dan permasalahan 2D yang dapat berubah bentuk hanya karena tekukan. Model pondasi lainnya diusulkan oleh Pasternak pada 1954 memperoleh hubungan geser antara pegas dengan menghubungkan ujung pegas dengan sebuah lapisan yang mengandung elemen vertikal tidak termampatkan yang berubah bentuk hanya dengan pemotongan melintang.

Pendekatan lainnya untuk mengembangkan dan juga memperbaiki model pondasi bermula dengan tiga rangkaian kompleks persamaan diferensial dengan penurunan sebagian (kesesuaian, menurut peraturan dan keseimbangan) menentukan perilaku tanah sebagai rangkaian semi tidak terhingga dan kemudian memperkenalkan asumsi yang sederhana dengan mematuhi pemindahan atau tekanan untuk memberikan persamaan yang tersisa untuk menyelesaikan dengan tepat, bentuk tertutup dan beragam. Ini merupakan rangkaian model sederhana.



Gambar 8. Balok Istirahat Pada Pondasi Elastis