

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Uraian Umum

Fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang berfungsi meletakkan bangunan dan meneruskan beban bangunan atas (*upperstructure / superstructure*) ke dasar tanah yang cukup kuat mendukungnya. Fungsi dari fondasi adalah menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban berguna dan gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi yang tidak boleh terjadi penurunan fondasi setempat atau penurunan fondasi merata lebih dari batas waktu tertentu (Gunawan, 1993).

Semua konstruksi yang direkayasa untuk bertumpu pada tanah harus didukung oleh suatu fondasi. Fondasi ialah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh fondasi dan beratnya-sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya. Tegangan-tegangan tanah yang dihasilkan - kecuali pada permukaan tanah - merupakan tambahan kepada beban-beban yang sudah ada dalam massa tanah dari bobot-sendiri bahan dan sejarah geologisnya.

Pemilihan jenis Fondasi menurut Nazakawa (2000) harus mempertimbangkan hal-hal berikut ini :

- a. Keadaan tanah fondasi.
- b. Batasan-batasan akibat struktur di atasnya (*superstructure*).
- c. Batasan-batasan dari sekelilingnya.
- d. Waktu dan biaya pekerjaan.

2.2. Pembebanan

Pada perencanaan bangunan bertingkat tinggi, komponen struktur direncanakan cukup kuat untuk memikul semua beban kerjanya. Pengertian beban itu sendiri adalah beban-beban baik secara langsung maupun tidak langsung yang mempengaruhi struktur bangunan tersebut. Menurut SNI 1727:2013, pengertian dari beban-beban tersebut sebagai berikut.

2.2.1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati ialah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung dan komponen arsitektural dan structural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran.

2.2.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup ialah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

2.2.3. Beban Angin

Beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Tekanan tiup harus diambil minimum 25 kg/m^2 , dan ditepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimum 40 kg/m^2 .

2.2.4. Beban Gempa

Pembebanan gempa diatur dalam SNI 1727:2012. Menurut SNI tersebut, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen. Faktor-faktor yang disesuaikan dalam perencanaan suatu struktur yang terdiri dari wilayah gempa, percepatan puncak muka tanah, faktor keutamaan gedung, faktor reduksi gempa, dan waktu getar alami.

2.2.5. Beban Khusus

Beban khusus ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang terjadi akibat selisih suhu, pengangkatan dan pemasangan, penurunan fondasi, susut, gaya-gaya tambahan yang berasal dari beban hidup seperti gaya rem yang

berasal dari keran, gaya sentrifugal dan gaya dinamis yang berasal dari mesin-mesin, serta pengaruh-pengaruh khusus lainnya.

2.2.6. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan untuk perencanaan struktur fondasi menggunakan metode *Allowable Stress Design* (ASD) dan metode *Load Resistant Factor Design* (LRFD). Kombinasi beban Fondasi juga meninjau pengaruh gempa serta kombinasi beban dengan meninjau pengaruh gempa dengan faktor kuat lebih.

a. Kombinasi Beban metode *Allowable Stress Design* (ASD)

- 1) D_L
- 2) $D_L + L_L$
- 3) $D_L + (L_r \text{ or } S_L \text{ or } R_L)$
- 4) $D_L + 0.75L + 0.75 (L_r \text{ or } S_L \text{ or } R_L)$
- 5) $D_L + (0.6 W_L \text{ or } 0.7 E_L)$
- 6a) $D_L + 0.75L_L + 0.75(0.6W_L) + 0.75 (L_r \text{ or } S_L \text{ or } R_L)$
- 6b) $D_L + 0.75L_L + 0.75(0.6E_L) + 0.75S_L$
- 7) $0.6D_L + 0.6 W_L$
- 8) $0.6D_L + 0.7E_L$

b. Kombinasi beban metode *Load Resistant Factor Design* (LRFD)

- 1) $1.4D_L$
- 2) $1.2D_L + 1.6L_L + 0.5 (L_r \text{ or } S_L \text{ or } R_L)$
- 3) $1.2D_L + 1.6 (L_r \text{ or } S_L \text{ or } R_L) + (L_L \text{ or } S \text{ or } R_L)$
- 4) $1.2D_L + 1.0W + L_L + 0.5 (L_r \text{ or } S_L \text{ or } R_L)$
- 5) $1.2D_L + 1.0E_L + L_L + 0.2S_L$
- 6) $0.9D_L + 1.0W_L$
- 7) $0.9D_L + 1.0E_L$

c. Kombinasi dasar beban gempa untuk desain tegangan ijin

- 5) $(1.0 + 0.14S_{DS})D_L + H_L + F + 0.7 \rho_L Q_E$
- 6) $(1.0 + 0.10S_{DS})D_L + H_L + F + 0.525 \rho_Q Q_E + 0.75L + 0.75(L_r \text{ atau } R_L)$
- 8) $(0.6 + 0.14S_{DS})D_L + 0.7 \rho_L Q_E + H_L$

- d. Kombinasi dasar beban gempa untuk desain tegangan ijin dengan faktor kuat lebih

$$5) \quad (1.0 + 0.14S_{DS})D_L + H_L + F + 0.7 \Omega_0 Q_E$$

$$6) \quad (1.0 + 0.105S_{DS})D_L + H_L + F + 0.525 \Omega_0 Q_E + 0.75L_L + 0.75(L_r \text{ atau } R_L)$$

$$8) \quad (0.6 + 0.14S_{DS})D_L + 0.7 \Omega_0 Q_E$$

2.3. Fondasi Dangkal

Fondasi dapat digolongkan berdasarkan kemungkinan besar beban yang harus dipikul Fondasi. Fondasi dangkal adalah fondasi yang mendukung beban secara langsung seperti :

- a. Fondasi yang berdiri dalam mendukung kolom atau fondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada lapisan tanah bilamana terdapat lapisan tanah yang cukup tebal dengan kualitas baik yang mampu mendukung bangunan itu pada permukaan tanah atau sedikit dibawah permukaan tanah.
- b. Fondasi memanjang yaitu fondasi yang digunakan untuk mendukung sederetan kolom yang berjarak dekat sehingga bila dipakai fondasi telapak sisinya akan terhimpit satu sama lainnya.

Menurut Budi (2011), beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan fondasi dangkal antara lain; lapisan tanah organik, kedudukan lapisan tanah gambut (*peat*), dan lapisan bahan timbunan (sampah). Merujuk pada lapisan permukaan tanah tersebut, kemampuan daya dukung fondasi sangat ditentukan dari luasan dasar fondasi dangkal.

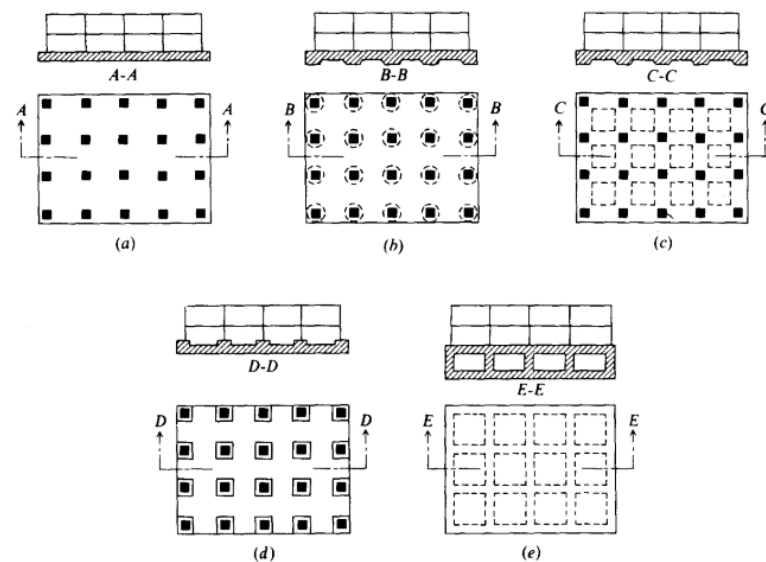
2.3.1. Fondasi Rakit

Fondasi rakit (*raft foundation* atau *mat foundation*), didefinisikan sebagai bagian bawah dari struktur yang berbentuk rakit melebar ke seluruh bagian dasar bangunan. Bagian ini berfungsi meneruskan beban bangunan ke tanah di bawahnya. Fondasi rakit digunakan bila lapisan tanah fondasi berkapasitas dukung rendah, sehingga jika digunakan fondasi telapak akan memerlukan luas yang hampir memenuhi bagian bawah bangunannya. Terzaghi dan Peck (1948) menyarankan

bila 50% luas bangunan terpenuhi oleh luasan fondasi, lebih ekonomis jika digunakan Fondasi rakit karena dapat menghemat biaya penggalian dan penulangan beton.

Fondasi rakit adalah pelat beton besar yang digunakan untuk mengantarai permukaan (*interface*) dari satu atau lebih kolom di dalam beberapa garis atau jalur dengan tanah dasar (Surjandari, 2007). Fondasi rakit terbagi dalam beberapa jenis yang lazim atau sering digunakan (Bowles, 1988) :

- Pelat rata
- Pelat yang ditebalkan di bawah kolom
- Balok dan pelat
- Pelat dengan kaki tiang
- Dinding ruangan bawah tanah sebagai bagian Fondasi telapak.



Gambar 2.1. Jenis Fondasi Rakit

Sumber : Bowles, 1988

Fondasi rakit memiliki bentuk yang beragam bergantung dari beban dan jarak kolom yang ditumpu oleh fondasi rakit. Kondisi tersebut menentukan besaran momen dan gaya geser yang dialami fondasi rakit yang digunakan sebagai acuan perencanaan ketebalan fondasi rakit. Apabila dalam perencanaan fondasi rakit memiliki ketebalan ≤ 400 mm, maka fondasi rakit dapat direncanakan menggunakan fondasi rakit dengan sistem pelat rata. Untuk beban yang lebih besar,

Fondasi rakit dapat dikombinasikan menggunakan sistem pelat rata dengan balok, namun ketebalan balok yang digunakan dibatasi maksimal 900 mm.

2.3.1.1. Ketentuan penggunaan Fondasi rakit

Fondasi rakit digunakan, apabila jumlah luas seluruh telapak melebihi setengah luas bangunan (muatan bangunan cukup besar), lebih ekonomis apabila digunakan fondasi rakit, dan juga untuk mengatasi tanah dasar yang tidak homogen, misal pada tanah dimana bangunan akan didirikan terdapat tanah lunak (daya tanah tidak begitu besar) supaya tidak terjadi penurunan cukup besar.

Pemakaian fondasi rakit dipergunakan apabila penurunan merupakan suatu masalah misalnya pada tanah lunak. Penurunan ini akan dikontrol dengan cara efek apung yaitu berat bangunan diatur supaya kurang lebih sama dengan berat tanah yang digali (Bowles, 1979). Fondasi rakit menjadi alternatif pilihan dilihat dari faktor eksternal yaitu proses pelaksanaan yang tidak memberi dampak pada lingkungan sekitar atau bangunan di sekitarnya.

Sebuah fondasi rakit boleh digunakan di mana tanah dasar mempunyai daya dukung yang rendah atau beban yang begitu besar, sehingga lebih dari 50 persen dari luas, ditutupi oleh fondasi telapak secara konvensional. Fondasi rakit boleh ditopang oleh tiang-pancang, di dalam situasi ini (keadaan) seperti air tanah yang tinggi (untuk mengontrol gaya apung) atau dimana tanah dasar mudah terpengaruh oleh penurunan yang besar.

2.3.1.2. Daya Dukung dari Fondasi Rakit

Fondasi rakit harus dirancang untuk membatasi penurunan sampai jumlah yang dapat ditoleransi. Penurunan ini mungkin :

- a. Konsolidasi
- b. Langsung atau elastis
- c. Suatu kombinasi dari jumlah konsolidasi dan jumlah langsung.

Sebuah fondasi rakit harus stabil terhadap keruntuhan geser yang dalam yang dapat mengakibatkan baik keruntuhan rotasi dan merupakan lambang dari keruntuhan elevator Transcona (White, 1953). Persamaan daya dukung boleh digunakan untuk menghitung kapasitas tanah, yakni:

$$q_{ult} = cN_c S_{c1} d_c + qN_q S_{q1} d_q + \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} S_{\gamma} i_y d_y \quad (2.1)$$

atau,

$$q_{u(net)} = 5.14 C_u (1 + 0.195(\frac{B}{L})) (1 + 0.4(\frac{D_f}{B})) \quad (2.2)$$

Gunakan B = dimensi fondasi telapak yang paling kecil dan Df = kedalaman fondasi telapak.

2.4. Fondasi Dalam

Fondasi dalam adalah fondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan. Menurut Bowles (1991), fondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah fondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya dan tanah kerasnya terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Fondasi tiang umumnya berdiameter lebih kecil dan lebih panjang dibanding dengan fondasi sumuran.

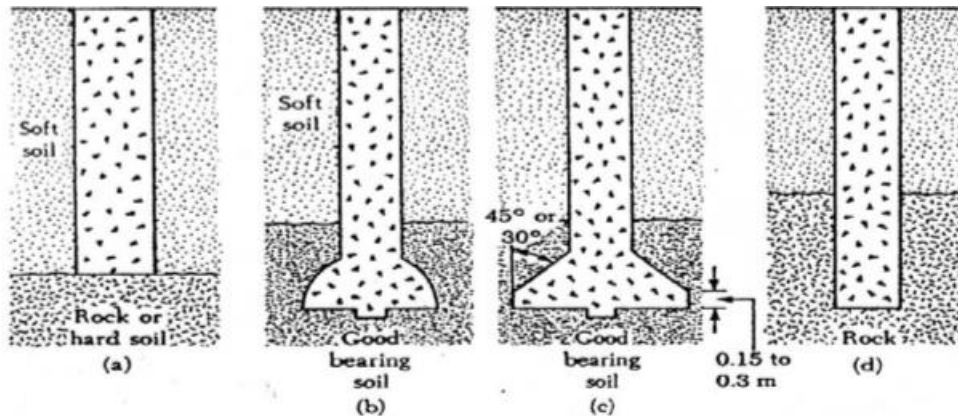
2.4.1. Fondasi Tiang Bor

Fondasi tiang bor adalah fondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hary Christady Hardiyatmo, 2010). Jenis fondasi *bore pile* dipilih untuk mendukung beban bangunan dengan mengandalkan daya dukung fondasi pada tanah keras dan hambatan lekat yang terjadi pada permukaan tiang yang tidak rata akibat dari pengecoran di tempat (*in situ*).

Bore pile dipasang ke dalam tanah dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi tulangan dan dicor beton. Tiang ini biasanya, dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor. Jika tanah mengandung air, pipa besi dibutuhkan untuk menahan dinding lubang dan kemudian pipa ini ditarik keatas pada waktu pengecoran beton (Girsang, 2009).

Ada berbagai jenis Fondasi tiang bor, yaitu :

- Tiang bor lurus untuk tanah keras.
- Tiang bor yang ujungnya diperbesar berbentuk bel.
- Tiang bor yang ujungnya diperbesar berbentuk trapesium.
- Tiang bor lurus untuk tanah bebatuan.



Gambar 2.2. Jenis Fondasi Tiang Bor

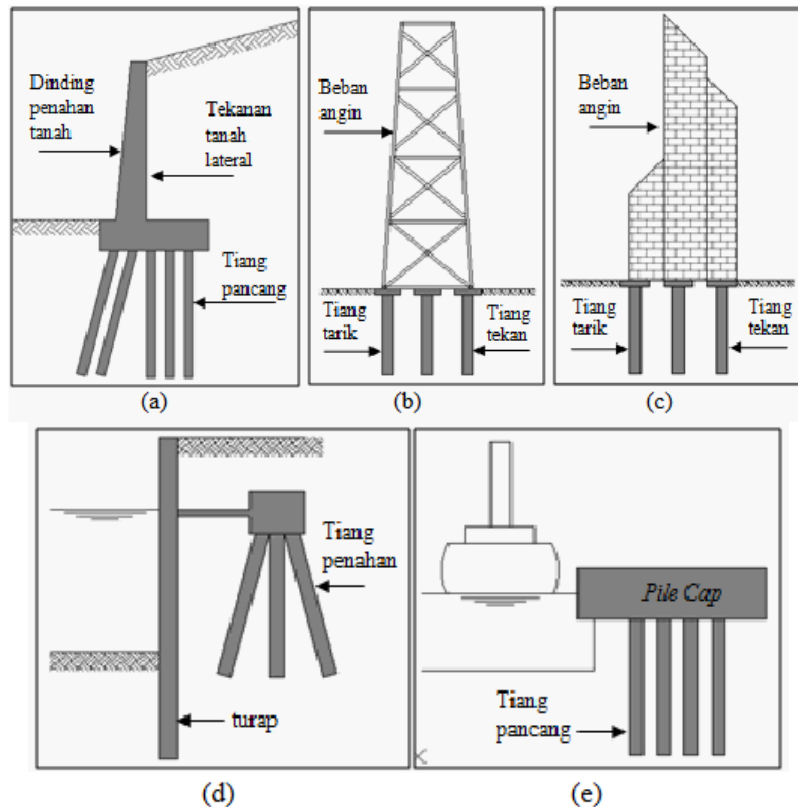
Sumber : Bowles, 1988

2.5. Beban Lateral

Beban lateral merupakan beban yang memiliki arah horizontal. Beban-beban yang memiliki arah horizontal contohnya adalah beban angin, beban gempa, tekanan tanah lateral, beban hempasan ombak atau kapal pada sisi struktur bangunan, dan lain-lain. Beban lateral yang diterima oleh Fondasi tiang akan bergantung pada struktur bangunan yang akan meneruskan gaya lateral yang diterima ke kolom bagian paling bawah dari *upper structure* dan diteruskan kepada kelompok tiang Fondasi

Fondasi tiang memiliki beberapa aplikasi untuk menahan beban lateral pada struktur. Fondasi tiang dapat menahan beban lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah, beban lateral berasal dari tekanan tanah lateral yang mendorongnya seperti yang terlihat pada Gambar (a). Fondasi tiang juga dapat menahan beban lateral seperti beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tingkat tinggi seperti struktur rangka baja atau gedung pencakar langit seperti yang terlihat pada Gambar (b) dan Gambar (c) sehingga fondasi tiang mengalami gaya tarik dan gaya tekan. Fondasi tiang juga dapat menahan dinding turap yang menyangga pada

fondasi tiang seperti Gambar (d). Fondasi tiang juga menanggung beban lateral yang disebabkan gaya eksternal seperti hempasan gelombang air laut, angin, dan benturan kapal pada konstruksi lepas pantai seperti Gambar (e).



Gambar 2.3. Aplikasi Fondasi Tiang dalam Menahan Beban Lateral
Sumber : binus.ac.id

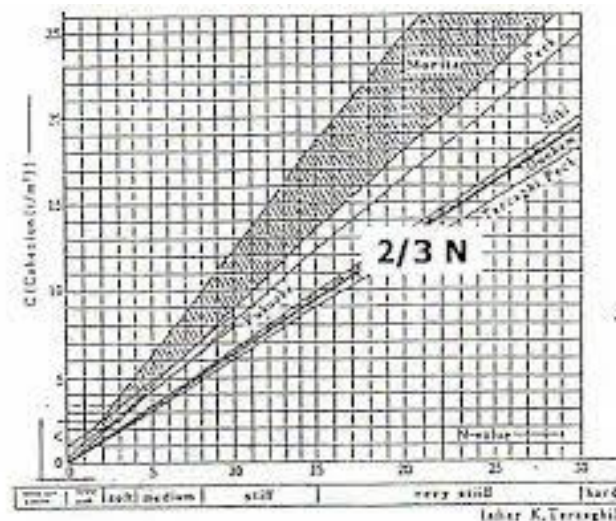
2.6. Korelasi Parameter Tanah

Dalam merencanakan suatu sub struktur, membutuhkan data-data parameter tanah yang di dapat dari hasil penyelidikan tanah baik dilapangan maupun dilaboratorium. Untuk memberikan pedoman secara umum tentang kondisi tanah, maka data-data hasil penyelidikan tanah di lapangan maupun di laboratorium selama bertahun tahun sebagai input data dengan bantuan peta geologi dapat dihasilkan korelasi antar parameter-parameter tanah suatu lokasi. Semakin banyak data yang dihasilkan maka semakin baik koefisien yang di dapan dari pengolahan data sehingga persamaan regresi akan lebih baik. Jadi hasil korelasi anta parameter-parameter tanah dapat sebagai pedoman secara umum dari suatu lokasi (Budi Setiyadi, 1994).

Dalam rekayasa geoteknik, empirisisme memiliki peran besar. Selain memberikan perkiraan awal, korelasi juga dapat digunakan untuk membandingkan nilai yang ditentukan dari pengujian laboratorium dan penyelidikan lapangan. Ada begitu banyak persamaan empiris dan grafik yang tersedia dalam literatur, yang secara teratur digunakan dalam desain di seluruh dunia. Ini berasal berdasarkan data laboratorium atau lapangan, pengalaman masa lalu, dan penilaian yang baik (Ameratunga et al., 2016).

2.6.1. Korelasi untuk Nilai Kohesi (C)

Kohesi dari tanah kohesif yang umumnya berupa tanah lempung dapat diperoleh secara langsung dari uji laboratorium berupa uji triaksial, uji kuat tekan bebas atau dari uji geser langsung. Kohesi dibedakan menjadi kohesi tak terdrainase (c_u) yang digunakan untuk analisis jangka pendek dan kohesi terdrainase (c') yang digunakan untuk analisis jangka panjang. Nilai kohesi juga ditentukan berdasarkan korelasinya dengan hasil uji lapangan seperti sondir atau SPT. Berikut nilai kohesi c_u dapat diperkirakan dari korelasinya dengan N-SPT menurut Terzaghi & Peck, 1967 :



Gambar 2.4. Grafik Hubungan Antara Kohesi (c_u) dan N-SPT pada Tanah Kohesif

Sumber : Terzaghi & Peck, 1967

Berdasarkan grafik yang ada, nilai c_u bisa didapatkan dari $2/3$ N-SPT

$$c_u = 2/3 \times \text{N-SPT (ton/m}^2\text{)} \quad (2.3)$$

$$c_u = 6 \times \text{N-SPT (kN/m}^2\text{)} \quad (2.4)$$

Tabel 2.1. Korelasi Nilai N-SPT dengan Nilai c_u tanah lempung

Konsistensi	N	c_u (kN/m ²)
Sangat Lunak	0 – 24	< 12
Lunak	2 – 4	12 – 25
Sedang	4 – 8	25 – 50
Sangat Kaku	8 – 15	50 – 100
Kaku	> 30	100 – 200

Sumber : Szechy dan Varga, 1978

Nilai kohesi efektif, c' untuk tanah lempung *Overconsolidated* menurut Sorensen dan Okkels (2013) bisa didapatkan dari persamaan berikut:

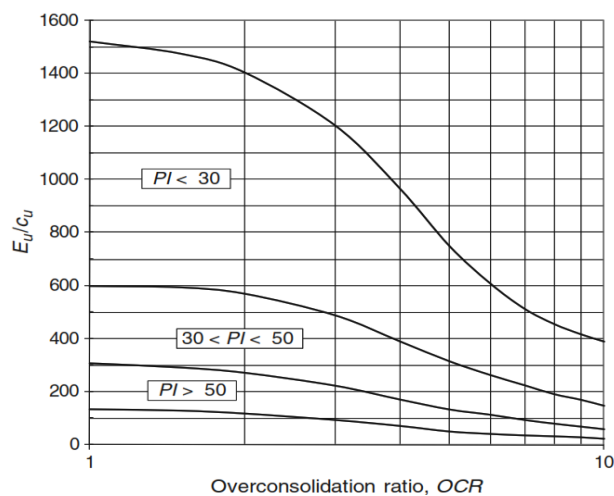
$$c' = 0.1c_u \quad (2.5)$$

2.6.2. Korelasi untuk Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas tanah tak terdrainase (E_u) dari tanah kohesif ditentukan dari uji triaksial atau ditentukan secara empiris berdasarkan nilai kohesi, indeks plastisitas dan nilai OCR. Umumnya berkisar 200 – 400 dari nilai c_u . Nilai parameter dari modulus elastisitas efektif (E') dari tanah lempung didekati dengan menggunakan persamaan elastisitas dengan mengambil parameter modulus geser $G_u = G'$ dan $\nu_u = 0,5$ yang menghasilkan persamaan:

$$E' = 2/3 \times (1 + \nu') \times E_u \quad (2.6)$$

Sehingga dengan memperkirakan nilai ν' yang umumnya berkisar 0.2 – 0.35 maka nilai E' dapat diperkirakan.



Gambar 2.5. Grafik Korelasi Modulus Elastisitas untuk Tanah Lempung Berdasarkan Nilai PI dan OCR

Sumber : Duncan dan Buchignani (1976) dan U.S Army (1994)

Nilai modulus elastisitas untuk tanah pasiran dapat digunakan pendekatan empiris menurut Peck (1974) sebesar 800-1200 kali dari nilai N-SPT yang dinyatakan dalam satuan kPa. Korelasi modulus elastis salah satunya dapat menggunakan nilai N-SPT. Berikut ialah korelasi berdasarkan nilai N-SPT dan jenis tanah yang disajikan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Korelasi Modulus Elastisitas (E) dengan Nilai N-SPT

Jenis Tanah	N-SPT (kN/m ²)
Pasir (Konsolidasi Normal)	$E_s = 500 (N + 15)$
	$E_s = 7000 N^{0.5}$
	$E_s = 6000 N$
Pasir (Jenuh)	$E_s = (1500 - 22000) \ln N$
Pasir, Semua (Konsolidasi Normal)	$E_s = 250 (N + 15)$
Pasir (<i>overconsolidated</i>)	$E_s = 4000 + 1050 N$
	$E_s (ocr) = 600 (N + 6), N < 15$
Pasir Kerikil	$E_s = 1200 (N + 15)$
	$E_s = 600 (N + 6), N < 15$
Pasir Kelempungan	$E_s = 320 (N + 15)$
Lanau, Pasir Kelanauan atau Lanau Kelempungan	$E_s = 300 (N + 6)$

Sumber : Bowles, 1985

2.7. Perencanaan Fondasi Tiang Bor

Untuk memperoleh fondasi tiang yang sesuai maka diperlukan perencanaan sebelumnya. Dalam merencanakan Fondasi tiang biasanya mengikuti prosedur sebagai berikut:

- Melakukan penyelidikan tanah dilokasi pembangunan, penyelidikan bangunan yang ada di sekitarnya, sehingga diameter, jenis dan panjang tiang dapat ditetapkan berdasarkan bor log yang didapat. Jenis dari bahan Fondasi yang diperlukan disesuaikan dengan kondisi tanah misalnya kedalaman tanah keras.
- Menghitung *bearing capacity* diijinkan untuk satu tiang. Daya dukung sebaiknya ditetapkan dengan mempertimbangkan kondisi tanpa gempa dan dengan gempa. *Bearing capacity* juga harus mempertimbangkan tiga arah gaya yang terjadi yaitu arah vertikal tekan dan tarik serta arah lateral.
- Setelah daya dukung satu tiang diketahui maka daya dukung kelompok tiang harus dihitung.

- d. Hitung reaksi yang didistribusikan ke kepala tiang. Hal ini berarti bahwa kelompok tiang yang menjadi satu kesatuan dalam kepala tiang harus mampu memikul beban vertikal, horizontal dan momen.

2.7.1. Daya Dukung Fondasi Tiang Berdasarkan Data N-SPT

Dalam merencanakan fondasi tiang, diperlukannya perhitungan daya dukung ultimit tiang yang dibedakan berdasarkan jenis tiang dan jenis tanah. Daya dukung vertikal fondasi tiang diperoleh dari menjumlahkan daya dukung ujung tiang dan tahanan geser dinding tiang. Besarnya daya dukung diijinkan seperti pada persamaan berikut:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} \quad (2.7)$$

$$= \frac{(Q_s + Q_p)}{SF} \quad (2.8)$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

Q_{all} = Daya dukung izin fondasi

Q_u = Daya dukung ultimit

Q_s = Daya dukung geser dinding tiang (Friksi)

Q_p = Daya dukung ujung tiang

SF = Faktor Keamanan (2.5 – 4)

a. Daya Dukung Aksial Tekan dan Daya Dukung Aksial Tarik

Persamaan daya dukung aksial tekan :

$$Q_u = Q_s + Q_p \quad (2.9)$$

Persamaan daya dukung aksial tarik :

$$Q_u = 0.7 Q_s + W_p \quad (2.10)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

Q_u = Daya dukung ultimit

Q_s = Daya dukung geser dinding tiang (Friksi)

Q_p = Daya dukung ujung tiang

W_p = Berat Tiang = volume tiang x γ_{tiang} (Ton)

b. Daya Dukung Ujung Tiang

Daya dukung ultimit pada ujung tiang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_p = q_p \times A \quad (2.11)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

Q_p = Daya dukung ultimit tiang

q_p = Tahanan ujung per satuan luas (ton/m^2)

A = Luas penampang tiang (m^2)

Perhitungan :

- Mencari A (luas penampang ujung)

$$A_p = \frac{1}{4} \pi D^2$$

- Mencari q_p (tahanan ujung)

Diambil dari N-SPT pada ujung lapisan tanah.

c. Tahanan Ujung Tiang (q_p)

Pada perhitungan daya dukung ujung tiang dibedakan berdasarkan jenis tiang Fondasi yang digunakan dan jenis tanah dasar pada lapisan pekerjaan Fondasi.

1. Tahanan Ujung Tiang pada Tanah Lempung

Daya dukung ujung tiang untuk tanah lempung, baik pada tiang pancang dan tiang bor adalah sama besar berdasarkan nilai kohesi *undrained* nya.

$$q_p = 9c \quad (2.12)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

c = Nilai Kohesi

2. Tahanan Ujung Tiang pada Tanah Pasir

- Tiang Bor (*Bored Pile*)

1. Berdasarkan nilai N-SPT (Reese and Wright, 1977)

$$q_p = 7 \text{ N-SPT (t/m}^2\text{)} < 400 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (2.13)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

$$\text{N-SPT} = (N_1 + N_2) / 2$$

N_1 = Harga Rata-rata dari dasar ke 10D ke atas

N_2 = Harga rata-rata dari dasar ke 4D ke bawah

d. Daya Dukung Selimut Tiang

Daya dukung selimut pada ujung tiang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_s = F_s \times p \times \Delta L \quad (2.14)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

p = Keliling penampang tiang untuk bagian yang ditinjau

F_s = Faktor gesekan antara tiang dengan tanah yang merupakan fungsi kedalaman dari tiang

ΔL = Panjang bagian tiang yang ditinjau

Pada perhitungan daya dukung selimut (friksi) tiang dibedakan berdasarkan jenis tiang Fondasi yang digunakan dan jenis tanah dasar pada lapisan pekerjaan Fondasi.

1. Tahanan Geser Selimut Tiang pada Tanah Lempung

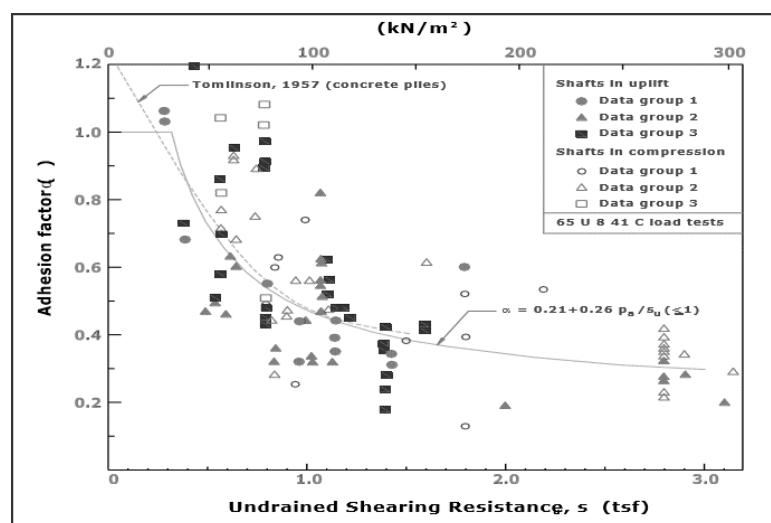
a. Tiang Bor (*Bored Pile*)

Tahanan geser selimut tiang yang merupakan kontribusi dari kohesi tanah, maka dari itu rumus yang digunakan daya dukung selimut tiang pada tiang bor dengan jenis tanah lempung bernilai sama seperti yang ditunjukkan oleh persamaan 2.14 yang membedakan hanya faktor kohesinya saja. Faktor kohesi pada tanah lempung untuk tiang bor dapat dilihat berikut ini :

Reese And Wright, 1977

- Menurut Reese dan Wright, faktor adhesi (koefisien α) ujung tiang bor adalah 0.55.
- Kulhawy, 1984

Menurut Kulhawy faktor adhesi dapat dilihat dari gambar berikut ini:



Gambar 2.6. Faktor Adhesi Kulhawy

Sumber : Kulhawy, 1984

- Reese and O'Neil, 1988

Tabel 2.3. Faktor Adhesi Menurut Reese and O'neil

<i>Undrained Shear Strength Su (tsf)</i>	<i>Value of α</i>
< 2	0.55
2 – 3	0.49
3 – 4	0.42
4 – 5	0.38
<i>Undrained Shear Strength Su (tsf)</i>	<i>Value of α</i>
5 – 6	0.35
6 – 7	0.33
7 – 8	0.32
8 – 9	0.31
> 9	<i>Treat as rock</i>

Sumber : Mashur irsam, catatan kuliah

b. Tahanan Geser Selimut Tiang pada Tanah Berpasir

1. Tiang Bor (*Bored Pile*)

Rumus yang digunakan sama seperti persamaan 2.14 yang membedakan hanya nilai τ .

$$\tau = (0.11 - 0.32) \text{ N-SPT (t/m}^2\text{)}$$

$$\tau_{\text{rata-rata}} = 0.2 \text{ N-SPT (t/m}^2\text{)}$$

(Rata-Rata antara Meyerhof, 1976 dan Reese & Wright, 1977)

2.7.2. Penulangan fondasi Tiang

Penulangan fondasi tiang didasarkan pada jenis tiang yang digunakan, berbeda cara dalam menentukan penulangan pada tiang bor dan tiang pancang. Pada tiang pancang kapasitas lentur dan geser diberikan pada katalog penulangan tiang pancang. Pada tiang bor didasarkan pada penulangan lentur (gaya momen) dan penulangan geser (gaya geser) yang bekerja pada fondasi tersebut.

1. Tulangan Geser

Perhitungan geser *Borpile* didasarkan atas momen dan gaya aksial untuk kombinasi beban yang menentukan dalam perhitungan tulangan aksial tekan dan lentur. Perhitungan tulangan geser sebagai berikut :

a. Gaya geser ultimit akibat momen

$$V_u = \frac{M_u}{L} \quad (2.15)$$

b. Gaya geser ultimit akibat gaya lateral

$$V_u = K \cdot h_{ijin} \quad (2.16)$$

c. Jarak tulangan terhadap sisi luar beton

$$d' = S + D19 + \frac{D22}{2} \quad (2.17)$$

d. Luas penampang tiang bor

$$A_g = \frac{\pi}{4 D^2} \quad (2.18)$$

e. Tebal dan lebar ekivalen penampang

Tebal,

$$h = \sqrt{A_g} \quad (2.19)$$

Lebar,

$$b = h \quad (2.20)$$

f. Tebal Efektif

$$d = h - d' \quad (2.21)$$

$$V_c = \left[\frac{1 + P_u}{(14 \cdot A_g)} \right] \times \left[\frac{(\sqrt{f_c'})}{6 \cdot b \cdot d} \right] \quad (2.22)$$

g. Luas tulangan geser (sengkang)

$$A_{sv} = \frac{n \pi}{4 D^2} \quad (2.23)$$

h. Jarak tulangan yang diperlukan

$$S = \frac{A_{sv} \cdot f_y \cdot d}{V_s} \quad (2.24)$$

2.8. Kelompok Tiang

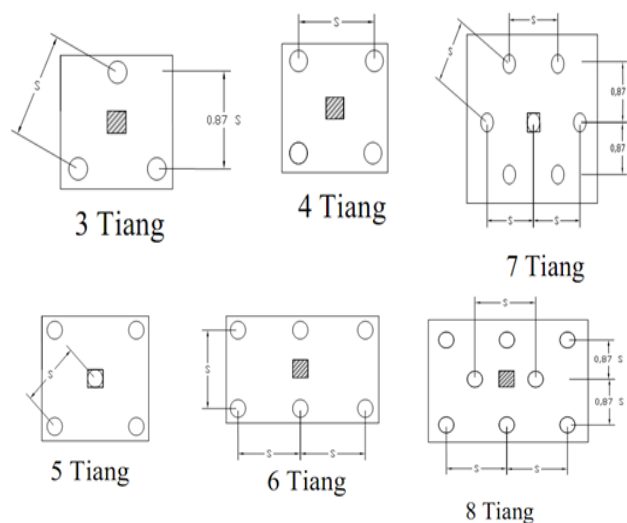
Tiang berkelompok adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu dibagian atasnya dengan menggunakan *pile cap*. Untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan efisiensi kelompok tiang.

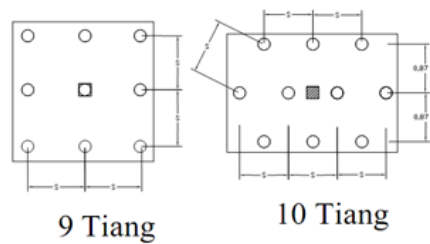
Menurut Hardiyatmo (2010:212) kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Stabilitas kelompok tiang tergantung dari beberapa hal berikut, yaitu:

- Kapasitas dukung tanah di sekitar dan di bawah kelompok tiang dalam mendukung beban total struktur.
- Pengaruh konsolidasi tanah yang terletak di bawah kelompok tiang. Pada tiang tunggal, interaksi yang terjadi hanyalah tiang dengan tanah, sedangkan pada kelompok tiang akan ada interaksi antara tiang dengan tanah dan tiang dengan tiang yang lainnya. Interaksi ini akan lebih besar jika jarak tiang semakin dekat. Jika pada salah satu tiang pada kelompok tiang didesak sehingga terjadi penurunan, maka tiang disekitarnya akan ikut turun akibat tertarik oleh tanah disekitar tiang yang dibebani. Berdasarkan kondisi tersebut, maka akan terjadi penurunan tiang akibat beban yang didukung tiang didekatnya walaupun tiang tersebut tidak terbebani. Hal ini akan mengakibatkan kapasitas dukung tiang menjadi berkurang jika dibandingkan dengan kondisi tiang tunggal. Analisis ini dikembangkan dengan menganggap tidak ada *pile cap*.

2.8.1. Susunan Tiang

Susunan tiang sangat berpengaruh terhadap luas denah *pile cap*, yang secara tidak langsung tergantung dari jarak tiang. Bila jarak tiang kurang teratur atau terlalu lebar, maka luas denah *pile cap* akan bertambah besar dan berakibat volume beton menjadi bertambah besar sehingga biaya konstruksi membengkak (K. Basah Suryolelono, 1994). Gambar 2.7. adalah contoh susunan tiang,





Gambar 2.7. Contoh Susunan Tiang
Sumber : Teknik Fondasi 2, Hary Christady Hardiyatmo

2.9. Efisiensi Aksial Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang adalah perbandingan kapasitas kelompok tiang terhadap jumlah kapasitas masing-masing tiang dalam satu *pile cap*. Kebutuhan tiang mungkin masih belum cukup dikarenakan adanya *group action* yaitu intervensi garis-garis tegangan dari tiang yang berdekatan sehingga mengurangi daya dukung kelompok tiang, yang biasanya dinyatakan dalam angka efisiensi.

Menurut Coduto (1983), efisiensi tiang bergantung pada beberapa faktor, yaitu :

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

Persamaan untuk menghitung efisiensi kelompok tiang adalah sebagai berikut :

- Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan rumus *Converse-Labbarre* dari *Uniform Building Code* AASHTO

$$E_g = 1 - \left[\frac{(m-1)n + (n-1)m}{90mn} \right] \theta \quad (2.25)$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

E_g = Efisiensi Kelompok Tiang

m = Jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

θ = Arc Tgn (D/s) (°)

- b. Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan Los Angeles *Group – Action Formula*

$$E_g = 1 - \frac{D}{\pi S_m} [m(n-1) + n(m-1) + \sqrt{2}(m-1)(n-1)] \quad (2.26)$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

d = Diameter tiang

s = Jarak pusat ke pusat tiang

- c. Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan Seiler-Keeney *equation* (Seiler and Keeney, 1944)

$$E_g = \left\{ 1 - \left[\frac{11s}{7 \times (s^2 - 1)} \right] \left[\frac{m+n-2}{m+n-1} \right] \right\} + \frac{0.3}{m+n} \quad (2.27)$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

m = Jumlah baris tiang

n = Jumlah tiang dalam satu baris

d = Diameter tiang

s = Jarak pusat ke pusat tiang (dalam ft)

- d. Perhitungan efisiensi kelompok tiang berdasarkan Metode Keruntuhan Blok
Pada analisa efisiensi tiang menggunakan metode keruntuhan blok, diasumsikan bahwa tanah disekitar kelompok tiang runtuh secara bersamaan. Perhitungan efisiensi pada metode keruntuhan blok dengan menghitung daya dukung yang sama pada perhitungan tiang tunggal, tetapi yang membedakan yakni nilai luasan ujung tiang dan luas selimut tiang.

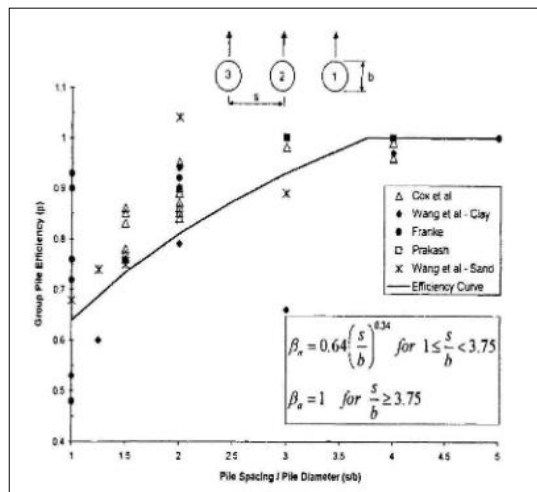
2.10. Efisiensi Lateral Kelompok Tiang

Daya dukung lateral kelompok tiang akan mengalami reduksi yang disebabkan karena konfigurasi beberapa tiang yang berdekatan. Nilai reduksi yang dimaksud disebut faktor modifikasi (fm), fm merupakan tanda terjadinya reduksi reaksi tiang terhadap gaya lateral yang terjadi. Konfigurasi tiang (jarak antar tiang dan jumlah

tiang) memberikan pengaruh terhadap nilai f_m . Selanjutnya nilai f_m digunakan sebagai konstanta pengali untuk mengubah kurva p - y dari tiang tunggal.

a. *Side by Side Effect*

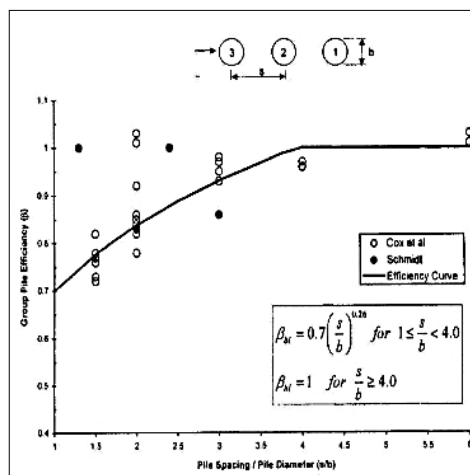
Faktor reduksi ini merupakan fungsi dari jarak antar tiang dibagi dengan diameter tiang yang dipengaruhi oleh arah gaya lateral yang bekerja serta kedudukan tiang yang ditinjau terhadap tiang-tiang disekitarnya. Faktor reduksi ini disebut dengan nilai β .



Gambar 2.8. Faktor *Side by Side Effect*
Sumber : Pan et al., (2000)

b. *Leading Effect*

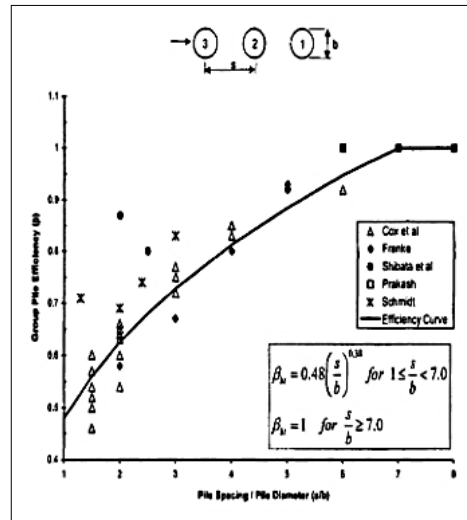
Faktor reduksi ini juga dipengaruhi oleh rasio antara jarak antar tiang dan diameter yang terkena gaya lateral yang bekerja dan konfigurasi tiang terhadap tiang-tiang disekitarnya.



Gambar 2.9. Faktor *Leading Effect*
Sumber : Ensoft (2008)

c. *Trailing Effect*

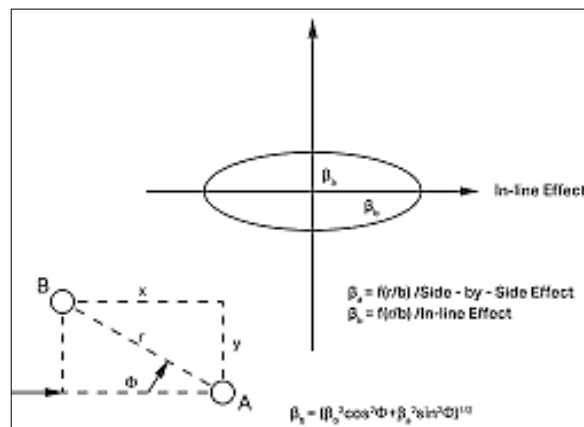
Faktor reduksi ini juga dipengaruhi oleh rasio antara jarak antar tiang dan diameter yang terkena gaya lateral yang bekerja dan konfigurasi tiang terhadap tiang-tiang disekitarnya.



Gambar 2.10. Faktor *Trailing Effect*
Sumber : Ensoft (2008)

d. *Skewed Effect*

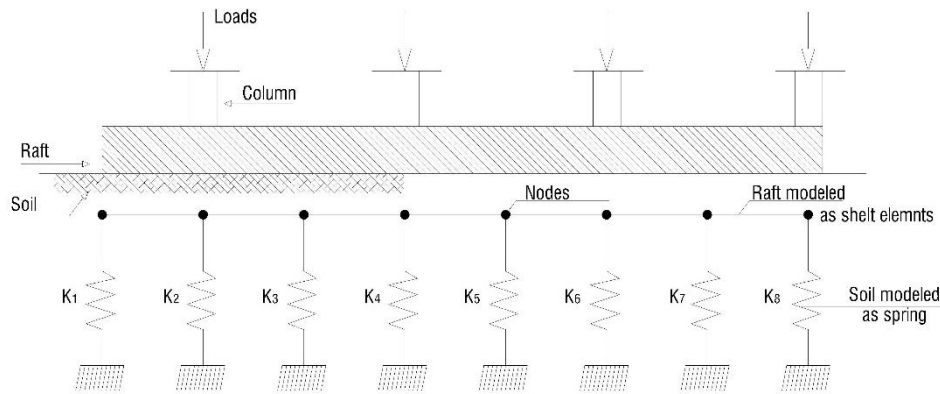
Faktor reduksi ini dipengaruhi oleh tumpukan tiang terhadap arah yang tidak sejajar atau yang berdampingan relative terhadap arah beban yang diterapkan. Faktor reduksi ini berhubungan dengan faktor reduksi yang lain tetapi dipengaruhi oleh kemiringan atau sudut yang terjadi akibat penumpukan tiang.



Gambar 2.11. Faktor *Skewed Effect*
Sumber : Cox et al (1984)

2.11. Interaksi Tanah Fondasi Pada Fondasi Rakit

Pada desain metode konvensional, fondasi rakit di asumsikan sebagai desain yang kaku dan memiliki tekanan tanah distribusi secara garis (linier). Pada desain metode elastis (*approximate flexible method of design*) tanah diasumsikan sebagai gabungan dari pegas yang elastis tak hingga.



Gambar 2.12. Interaksi Tanah Fondasi Pada Fondasi Rakit

Sumber : Structural Engineering Forum of India, -SEFI

Modulus reaksi *subgrade* adalah hubungan konseptual antara tekanan tanah dengan defleksi (Bowles, 1996). Nilai modulus reaksi *subgrade* dapat dilihat pada persamaan 2.28 berikut ini :

$$K = \frac{\text{Tekanan}}{\text{Deformasi}} \quad (2.28)$$

$$K = \frac{q}{\Delta} \quad (2.29)$$

Pada pengaplikasiannya tekanan merupakan daya dukung yang telah diizinkan, dan deformasi adalah penurunan tanah yang telah diizinkan. Persamaan 2.53 merupakan penurunan yang didapatkan dari hukum Hooke yang memiliki persamaan sebagai berikut :

$$F = k \cdot x \quad (2.30)$$

K merupakan kekauan, sedangkan k merupakan gaya atau tekanan dan x adalah perubahan dimensi (panjang). Modulus reaksi *subgrade* pada tanah dapat dijelaskan seperti rumus hokum Hooke disaat kondisi pertemuan beban dan tanah dianggap sebagai *spring* (elastis) atau tidak kaku (*rigid*). Variasi nilak k selalu berbeda di

setiap kondisi tanah. Perbedaan nilai k pada pada setiap jenis tanah adalah sebagai berikut :

a. Tanah Berpasir

$$K = k0.3 \left(\frac{B + 0.3}{2B} \right)^2 \quad (2.31)$$

b. Tanah Lempung

$$K = (kN/m^3) = k0.3 \left(\frac{0.3}{B} \right) \quad (2.32)$$

c. Fondasi Persegi yang memiliki dimensi berbeda (B x L)

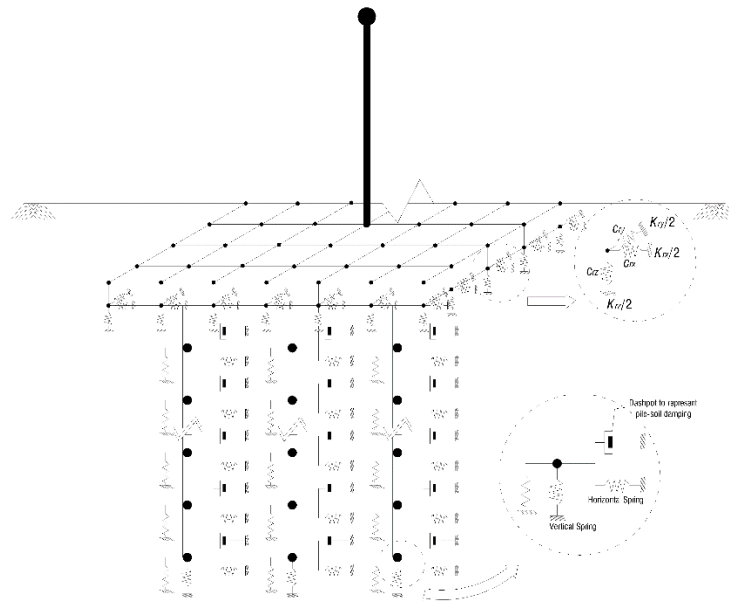
$$K = \frac{k_{(b \times b)} \times \left(1 + 0.5 \frac{B}{L} \right)}{1.5} \quad (2.33)$$

2.12. Interaksi Tanah Fondasi Pada Tiang Group

Interaksi tanah-struktur adalah analisis yang bertujuan menganalisis respon struktur, fondasi, dan tanah akibat *free field motion* tertentu. Terdapat dua jenis interaksi tanah struktur, yaitu interaksi inersial dan interaksi kinematik. Struktur atas (*upper structure*) ditumpu oleh tanah melalui fondasi. Maka interaksi tanah-struktur boleh dikatakan selalu merupakan interaksi tanah-fondasi-struktur atas. Beban struktur atas tersebut harus ditransfer kelapisan tanah yang cukup keras agar fondasi mampu memikul beban tersebut. Jika fondasi grup tiang digunakan untuk mendukung suatu struktur bangunan tinggi maka grup tiang juga diharapkan dapat menahan beban akibat gaya aksial dan lateral yang berasal dari struktur atas. Oleh karena itu, *pile group* dirancang untuk mampu menahan beban aksial dan beban lateral yang bekerja padanya. Dengan demikian, pada perencanaan fondasi tiang, kemampuan menahan beban aksial dan lateral harus diperhitungkan dengan baik agar dapat menghasilkan suatu struktur fondasi yang kuat dan efisien, beban lateral merupakan beban yang bekerja tegak lurus tiang sehingga memungkinkan terjadinya pergeseran bila tiang tidak mampu menahannya. Khusus tahanan tiang terhadap beban lateral, yang berpengaruh adalah kekuatan tiang itu sendiri dan kondisi tanah yang menggenggam sepanjang tiang.

Pada tiang tunggal, interaksi yang terjadi hanyalah tiang dengan tanah, sedangkan pada kelompok tiang akan ada interaksi antara tiang dengan tanah dan tiang dengan

tiang yang lainnya. Interaksi ini akan lebih besar jika jarak tiang semakin dekat. Jika pada salah satu tiang pada kelompok tiang didesak sehingga terjadi penurunan, maka tiang disekitarnya akan ikut turun akibat tertarik oleh tanah disekitar tiang yang dibebani. Berdasarkan kondisi tersebut, maka akan terjadi penurunan tiang akibat beban yang didukung tiang didekatnya walaupun tiang tersebut tidak terbebani.



Gambar 2.13. Interaksi Tanah Fondasi Pada Tiang Group
Sumber : soil Dynamics on Earthquake Engineering, Volume 84

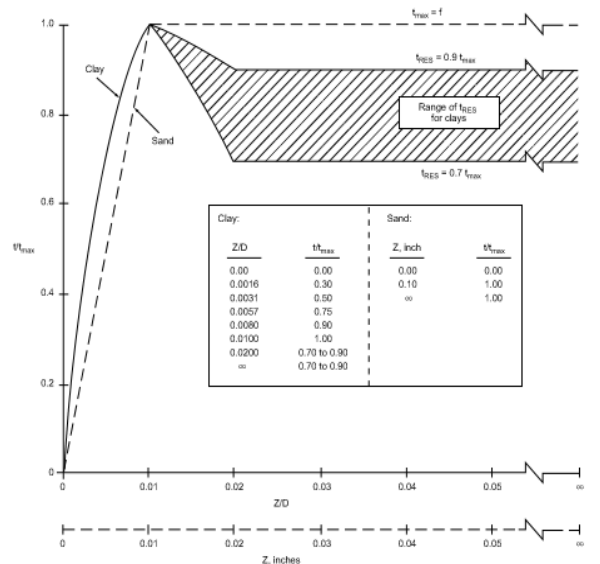
2.12.1. Reaksi Tanah untuk Tiang Dengan Gaya Aksial

Fondasi tiang harus dirancang untuk menahan beban aksial statis dan siklik. Hambatan aksial tanah disediakan oleh kombinasi adhesi tiang-tanah aksial atau transfer beban di sepanjang sisi tiang dan resistansi di ujung tiang. Hubungan yang diplot antara pemindahan tanah-tiang yang dimobilisasi dan refleksi tiang lokal pada kedalaman apa pun dijelaskan menggunakan kurva t-z. Demikian pula, hubungan antara resistensi ujung yang dimobilisasi dan refleksi ujung aksial dijelaskan menggunakan kurva Q-z.

a. Kurva Transfer Beban Aksial (t-z)

Tiang berfungsi meneruskan beban (P) dari struktur atas kedalam lapisan tanah melalui gesekan pada selimut tiang (Q_s) dan ujung bawah tiang (Q_p). Besarnya distribusi pada ujung bawah tiang biasanya terjadi secara seragam,

sedangkan distribusi di sepanjang selimut tiang tidaklah seragam. Distribusi dari selimut tiang berbeda-beda dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya yaitu kondisi tanah yang berada disekeliling tiang. Tujuan dari analisis transfer beban adalah untuk mendapatkan kurva hubungan beban dengan penurunan, juga untuk mengetahui perilaku dari fondasi tiang yang dibebani. Tanah yang berada disekeliling dari fondasi digantikan dengan pegas yang berada disepanjang kedalaman dari fondasi tiang, dimana lokasi pemasangan pegas disesuaikan dengan pelapisan tanah yang ada dilokasi tersebut. Pada ujung bawah fondasi tiang juga dipasang dengan pegas untuk menahan pergerakan aksial dari fondasi. Karakteristik dari model pegas-pegas tersebut dimunculkan dalam bentuk kurva t - z pada segmen-segmen pemasangan pegas di sepanjang selimut tiang.



Gambar 2.14. Pemindahan Beban Tiang Axial - Kurva Pemindahan (t - z)

Sumber : American Petroleum Institute

Bentuk kurva t - z pada perpindahan yang lebih besar dari z_{max} seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15 harus dipertimbangkan dengan cermat. Nilai rasio perlekatan sisa t_{res}/t_{max} pada perpindahan tiang aksial terjadi (z_{res}) adalah fungsi dari perilaku tegangan-regangan tanah, riwayat tegangan, metode pemasangan pipa, urutan beban tiang dan faktor-faktor lainnya. Nilai t_{res} / t_{max} dapat berkisar dari 0.70 hingga 0.90. Dengan keterangan gambar sebagai berikut :

z = Refleksi Tiang Lokal, in (mm)

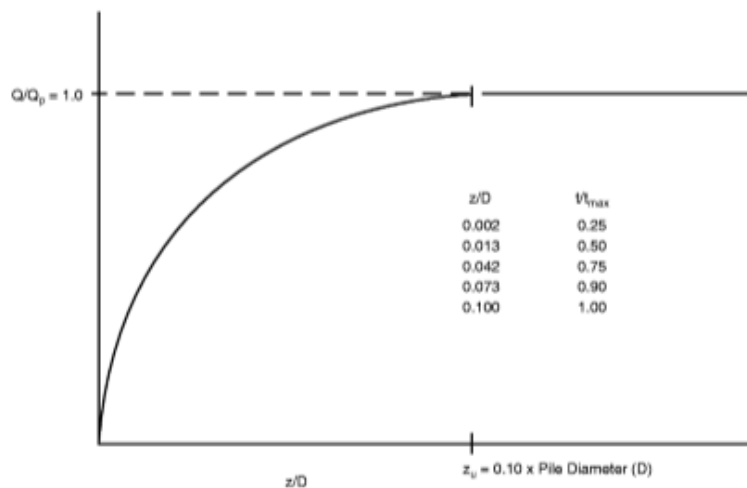
D = Diameter Tiang, in (mm)

t_t = Mobilisasi Tiang Tanah Adhesi, lb / ft² (kPa)

$t_{\max}$ = Daya Rekat Tiang Tanah Maksimum Atau Kapasitas Unit Gesekan
Selimut, lb / ft² (kPa).

b. Refleksi Ujung Aksial - Kurva Perpindahan (Q-z)

Pergerakan ujung tiang yang relatif besar diperlukan untuk memobilisasi resistensi bantalan penuh. Perpindahan ujung tiang hingga 10 persen dari diameter tiang mungkin diperlukan untuk mobilisasi penuh di tanah pasir dan tanah liat. Dalam absrncr kriteria yang lebih pasti kurva berikut direkomendasikan untuk pasir dan tanah liat.



Gambar 2.15. Refleksi Ujung Aksial - Kurva Perpindahan (Q-z)

Sumber : American Petroleum Institute

Dengan keterangan gambar sebagai berikut :

z = Defleksi Ujung Aksial, In. (mm)

D = Diameter Tiang, in (mm)

Q = Kapasitas Dukung Ujung, Lb (Kn)

Q_p = Total ujung Tiang, lb (kN).

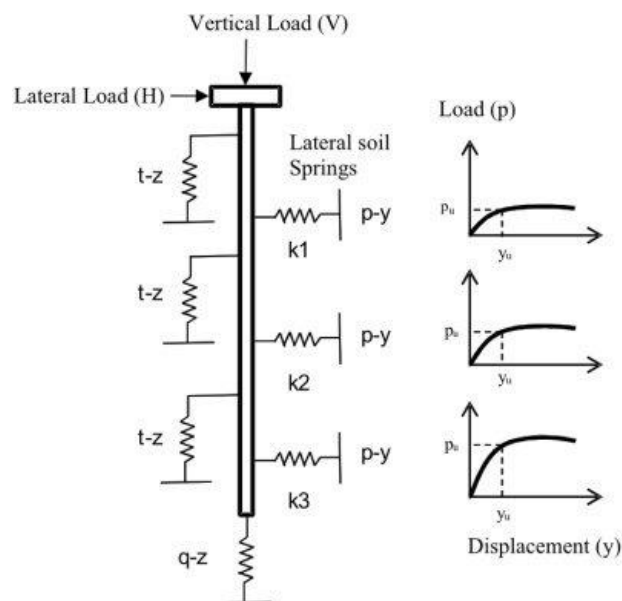
2.12.2. Reaksi Tanah untuk Tiang Dengan Gaya Lateral

Fondasi tiang harus dirancang untuk menopang beban lateral, baik statis atau siklik. Selain itu, perencanaan harus mempertimbangkan kelebihan beban lateral pada fondasi yang ditingkatkan oleh desain faktor keselamatan yang sesuai. Resistensi

lateral tanah di dekat permukaan penting untuk desain tiang, dan efek pada ketahanan gerusan dan gangguan tanah selama pemasangan tiang harus dipertimbangkan. Secara umum, di bawah pembebanan lateral, tanah liat berperilaku sebagai bahan plastik yang diperlukan untuk menghubungkan deformasi dengan ketahanan tanah.

a. Kurva Beban – Lendutan (p-y Curves)

Kurva defleksi resistansi tanah lateral (p-y) harus dibangun menggunakan data tegangan-regangan dari sampel tanah laboratorium. Ordinat untuk kurva ini adalah resistensi tanah, p , dan absis adalah defleksi tanah, y . Dengan prosedur berulang, satu set nilai defleksi beban yang kompatibel untuk sistem tiang-tanah dapat dikembangkan. Analisis dengan metode p-y harus memperhatikan perubahan kurva p-y dengan kedalaman. Kurva p-y dititik tertentu pada tiang bergantung pada: Tipe tanah, Tipe beban, Diameter tiang atau bentuk tampang melintang tiang, Koefisien gesek antara tanah dan tiang, Kedalaman dibawah permukaan tanah, Metode pelaksanaan pemasangan tanah, dan Pengaruh interaksi kelompok tiang.



Gambar 2.16. Interaksi Tiang-Tanah

Sumber : <https://researchportal.port.ac.uk/.pdf>