

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Kapasitas daya dukung dari suatu kelompok tiang fondasi tidak selalu secara otomatis sama dengan total atau jumlah dari kapasitas masing-masing tiang tunggal yang menyusun kelompok tersebut.

Perbedaan ini biasanya terjadi dalam kondisi geoteknik tertentu, terutama ketika tiang-tiang tersebut dipancang atau dipasang pada lapisan tanah pendukung yang memiliki sifat mudah mengalami pemampatan, atau pada kondisi lain di mana tiang dipancang pada lapisan tanah yang relatif kaku dan tidak mudah mampat, tetapi di bawahnya terdapat lapisan tanah lunak yang memiliki sifat kompresibel tinggi.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Stabilitas keseluruhan dari kelompok tiang sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama yang harus diperhitungkan secara cermat, yaitu:

1. Kapasitas daya dukung tanah di sekeliling dan di bawah kelompok tiang, yang bertugas untuk menahan beban total dari struktur bangunan di atasnya.
2. Penurunan (settlement) akibat konsolidasi dari lapisan tanah lunak yang berada di bawah kelompok tiang, yang terjadi secara perlahan seiring waktu akibat beban struktur yang diteruskan ke lapisan tersebut.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Metode pelaksanaan atau cara pemasangan tiang – apakah menggunakan pemancangan, pengeboran, getaran, atau penekanan – ternyata memiliki pengaruh yang relatif kecil terhadap kedua faktor penting tersebut di atas. Dengan kata lain, perbedaan metode pemasangan tidak secara signifikan memengaruhi besarnya kapasitas daya dukung atau besarnya penurunan akibat konsolidasi.

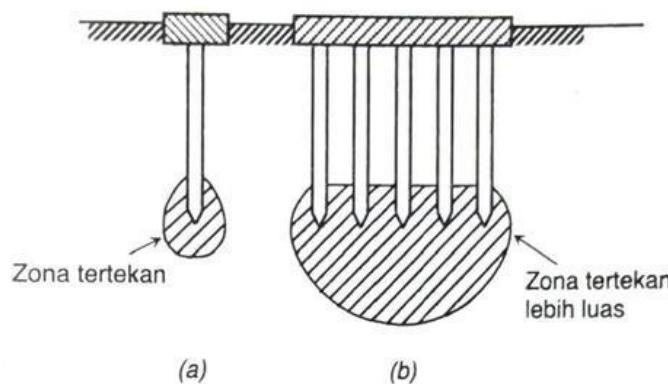
Apabila dasar dari kelompok tiang terletak langsung di atas lapisan tanah keras atau batuan, maka penurunan yang terjadi pada kelompok tiang umumnya sebanding atau hampir sama dengan penurunan yang terjadi pada tiang tunggal. Namun, jika tiang-tiang tersebut justru dipancang pada lapisan tanah yang agak kuat tetapi masih memiliki potensi untuk mengalami pemampatan – contohnya seperti lempung kaku – atau pada lapisan yang relatif tidak mudah mampat seperti pasir padat, namun berada di atas lapisan tanah lunak yang sangat kompresibel, maka kapasitas daya dukung kelompok tiang bisa jadi lebih rendah dibandingkan jumlah gabungan kapasitas dari masing-masing tiang tunggal.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Hal ini disebabkan karena adanya pembatasan pada besar penurunan yang diizinkan (penurunan toleransi), yang menjadi faktor pembatas dalam menentukan daya dukung izin dari pondasi tiang. Artinya, meskipun kapasitas individual tiap tiang cukup tinggi, kapasitas total kelompok harus disesuaikan dengan batas toleransi penurunan struktur agar tidak membahayakan bangunan.

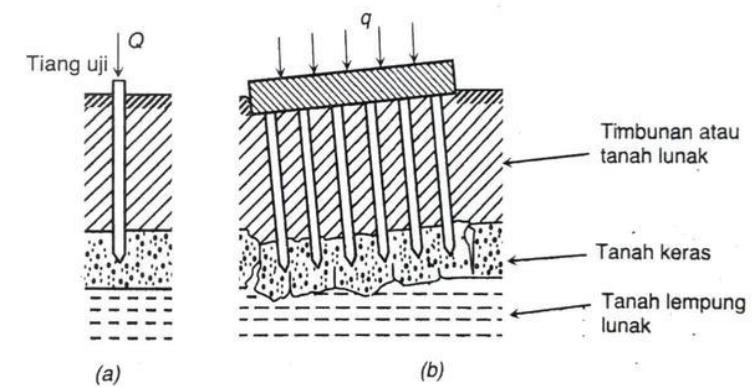
Selain itu, secara umum, penurunan yang dialami oleh kelompok tiang lebih besar jika dibandingkan dengan penurunan yang terjadi pada tiang tunggal meskipun beban struktur yang diteruskan adalah sama. Hal ini disebabkan karena luas zona tanah yang mengalami tekanan akibat kelompok tiang jauh lebih besar dibandingkan zona yang tertekan oleh satu tiang tunggal. Akibatnya, distribusi tegangan ke tanah di bawah kelompok tiang menjadi lebih luas, yang menyebabkan peningkatan penurunan (settlement) secara keseluruhan.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG



Gambar 2.43 Perbandingan zona tanah tertekan (Tomlinson, 1977).

- (a) Tiang tunggal
- (b) Kelompok tiang.



Gambar 2.44 Perbedaan tekanan tiang pada tanah pendukung (Tomlinson, 1977).

- (a) Uji tiang tunggal. Tekanan ke tanah lunak kecil.
- (b) Kelompok tiang. Tekanan pada lapisan tanah lunak sangat besar.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Tomlinson (1977) menjelaskan perbedaan pengaruh tekanan tiang pada tanah pendukung untuk tiang tunggal dan kelompok tiang, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.44. Dalam gambar ini, dibandingkan antara sebuah tiang dari kelompok tiang yang dibebani (dalam uji beban tiang) dengan kelompok tiang saat beban total bangunan telah bekerja (Gambar 2.44). Tiang-tiang didukung oleh lapisan tanah kuat, yang berada di atas lapisan lunak.

Lapisan tanah padat tidak mengalami tekanan yang besar. Pada tiang tunggal, tetapi ketika seluruh tiang pada kelompok tiang dibebani, zona tertekan berkembang sampai tanah lunak sehingga dapat mengakibatkan penurunan yang besar atau bahkan keruntuhan bangunan yang didukung oleh kelompok tiang tersebut.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Situasi geoteknik tertentu di mana seluruh bagian dari sistem fondasi tiang tertanam sepenuhnya dalam lapisan tanah lempung yang lunak, maka peran utama tiang dalam menahan beban vertikal dari struktur yang ada di atasnya sebagian besar bergantung pada **tahanan gesek** yang bekerja di sepanjang permukaan samping tiang.

Kondisi seperti ini dikenal dalam teknik sipil sebagai **fondasi tiang apung** (*floating pile foundation*), karena ujung bawah tiang tidak menumpu langsung pada lapisan tanah keras atau batuan, melainkan menggantung di dalam lapisan tanah lunak.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Menurut panduan dari **Coduto (1994)**, kapasitas daya dukung dari kelompok fondasi tiang apung tersebut dapat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yang tergantung pada konfigurasi jarak antar tiangnya, yaitu:

1. Jika tiang-tiang dalam satu kelompok dipasang dengan **jarak antar tiang yang cukup jauh satu sama lain**, maka kapasitas kelompok tiang secara keseluruhan umumnya dapat dihitung sebagai **jumlah dari kapasitas tiap tiang tunggal**, karena interaksi antar tiang sangat minimal.
2. Namun, apabila **jarak antar tiang terlalu rapat atau dekat**, maka terjadi interaksi yang kuat antar tiang melalui tanah di antaranya, sehingga kapasitas kelompok tiang akan lebih ditentukan oleh **tahanan gesek total yang terjadi antara permukaan luar kelompok tiang secara keseluruhan dan tanah di sekitarnya**.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Pada kondisi di mana jarak antar tiang cukup besar, ketika beban dari atas struktur diteruskan ke bawah dan menyebabkan pergerakan vertikal (penurunan) pada tiang, maka **tanah yang berada di antara tiang-tiang tersebut tidak ikut bergerak**, tetap dalam kondisi stabil. Situasi ini menyebabkan tiang-tiang bekerja secara individual dan tidak saling memengaruhi secara signifikan (seperti yang tergambar dalam Gambar 2.45a).

Sebaliknya, jika **jarak antar tiang terlalu dekat**, maka ketika beban dari struktur menyebabkan tiang-tiang bergerak turun, **tanah di antara tiang-tiang tersebut juga akan ikut bergerak ke bawah bersama-sama**.

Dalam keadaan seperti ini, sistem kelompok tiang dan tanah yang terjebak di antara tiang-tiang tersebut **berperilaku sebagai satu unit massa padat**, atau sering disebut sebagai **blok tiang**. Dalam kondisi ini, sistem tiang dan tanah membentuk semacam "tiang besar tunggal" yang memiliki lebar setara dengan lebar keseluruhan kelompok tiang. Jika kemudian tanah yang menopang beban dari blok tersebut mengalami kegagalan, maka jenis keruntuhan yang terjadi disebut sebagai **keruntuhan blok** (*block failure*), seperti dijelaskan dalam Gambar 2.45b.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Fenomena keruntuhan blok ditandai dengan **pergerakan vertikal yang simultan** antara tiang dan tanah yang berada di antara tiang-tiang tersebut. Artinya, ketika beban bekerja, seluruh sistem – **baik tiang maupun tanah yang berada di dalam kelompok – mengalami penurunan secara bersamaan**. Mekanisme kegagalan semacam ini dapat terjadi baik pada fondasi dengan **tiang pancang** maupun **tiang bor**, tergantung pada kondisi geoteknik dan konfigurasi kelompok tiangnya.

Perlu diketahui bahwa untuk kombinasi tertentu antara **jumlah tiang dalam kelompok dan panjang masing-masing tiang**, terdapat suatu nilai yang disebut **jarak kritis antar tiang**, yaitu suatu batas di mana **mekanisme kegagalan tanah akan berubah**. Jika jarak antar tiang **lebih kecil dari jarak kritis ini**, maka kegagalan tanah akan mengikuti pola **keruntuhan blok**, di mana bidang geser atau bidang gelincir terbentuk mengelilingi seluruh kelompok tiang (lihat Gambar 2.45b). Namun, jika **jarak antar tiang lebih besar dari nilai kritis tersebut**, maka masing-masing tiang akan menembus tanah lunak secara independen, sehingga terjadi **gerakan relatif antara tanah dan tiap tiang**, dan kegagalan tanah terjadi secara individual (seperti pada Gambar 2.45a).

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Menariknya, nilai **jarak kritis antar tiang ini akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah tiang** dalam satu kelompok. Artinya, semakin banyak tiang yang ada dalam kelompok, semakin besar pula jarak minimum antar tiang yang dibutuhkan agar terhindar dari mekanisme keruntuhan blok.

Dalam menghitung kapasitas daya dukung kelompok tiang yang kemungkinan mengalami keruntuhan blok, **Terzaghi dan Peck (1948)** mengajukan beberapa asumsi penting untuk menyederhanakan perhitungan dan menganalisis kondisi tersebut, yaitu:

1. Bahwa **pelat penutup tiang atau pile cap dianggap sangat kaku**, sehingga distribusi beban ke tiang-tiang dianggap merata dan tidak menyebabkan deformasi diferensial yang signifikan di antara tiang-tiang tersebut.
2. Bahwa **tanah yang berada di dalam area kelompok tiang bertindak sebagai satu kesatuan massa padat**, sehingga seluruh volume tanah di dalam kelompok dianggap bergerak dan berinteraksi secara seragam dengan tiang-tiang, membentuk satu blok homogen saat mengalami penurunan atau keruntuhan.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Dengan asumsi-asumsi tersebut, keseluruhan blok dapat dianggap sebagai fondasi-dalam (Gambar 2.46), dengan kapasitas ultimit yang dinyatakan oleh persamaan (Terzaghi dan Peck, 1948):

$$Q_g = 2D(B + L)c + 1,3 c_b N_c BL \quad (2.96)$$

dengan,

Q_g = kapasitas ultimit kelompok, nilainya harus tidak melampaui nQ_u (dengan n = jumlah tiang dalam kelompoknya)(kN)

c = kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang (kN/m^2)

c_b = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m^2)

B = lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang-tiang (m)

L = panjang kelompok tiang (m)

D = kedalaman tiang di bawah permukaan tanah (m)

N_c = faktor kapasitas dukung

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

Faktor pengali 1,3 pada suku persamaan ke-2 adalah untuk luasan kelompok tiang yang berbentuk empat persegi panjang. Untuk bentuk-bentuk luasan yang lain dapat disesuaikan dengan persamaan persamaan kapasitas dukung Terzaghi untuk fondasi dangkal. Dalam hitungan kapasitas kelompok tiang maka dipilih dari hal hal berikut:

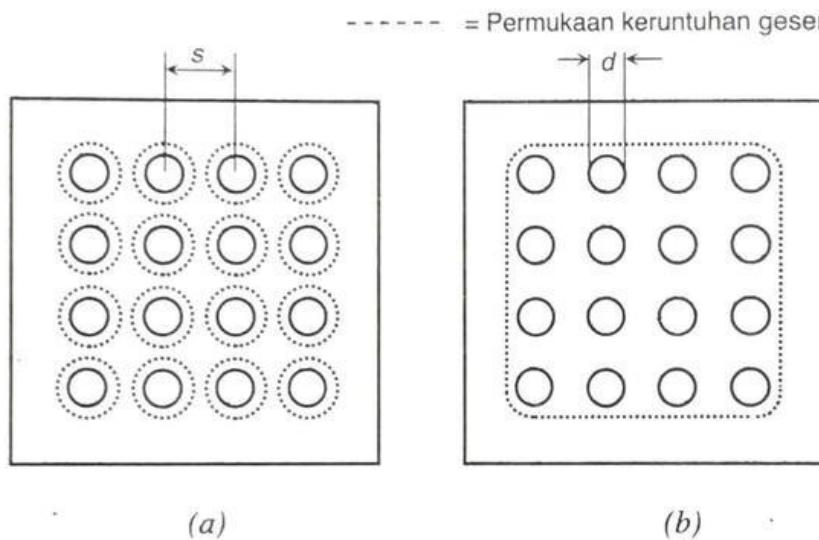
1. Jika kapasitas kelompok tiang (Q_g) lebih kecil daripada kapasitas tiang tunggal kali jumlah tiang (nQ_u). maka kapasitas dukung fondasi tiang yang dipakai adalah kapasitas kelompoknya (Q_g)
2. Sebaliknya. bila dari hitungan kapasitas kelompok tiang (Q_g) lebih besar. maka dipakai kapasitas tiang tunggal kali jumlahnya (nQ_u).

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG

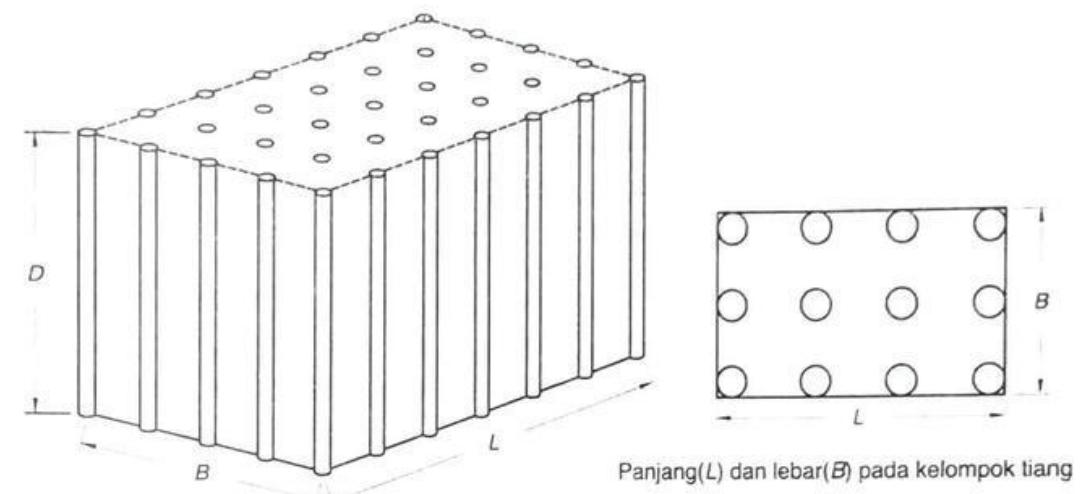
Umumnya, model keruntuhan blok terjadi bila rasio jarak tiang dibagi diameter (s/d) kurang lebih sekitar 2. Whitaker (1957) memperlihatkan bahwa keruntuhan blok terjadi pada jarak 1,5d untuk kelompok tiang yang berjumlah 3 x 3, dan lebih kecil dari 2,25d untuk tiang yang berjumlah 9 x 9.

Untuk jarak tiang yang lebih besar, keruntuhan akan berupa keruntuhan tiang tunggal. Kapasitas kelompok tiang yang disarankan oleh Terzaghi dan Peck (Persamaan 2.96) sering menghasilkan kapasitas dukung ultimit yang terlalu besar.

KAPASITAS DUKUNG KELOMPOK TIANG



Gambar 2.45 Tipe keruntuhan dalam kelompok tiang (Coduto, 1994).
(a) Tiang tunggal.
(b) Kelompok tiang.



Gambar 2.46 Kelompok tiang dalam tanah lempung yang bekerja sebagai blok.