

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penyelidikan Tanah (*Soil Investigation*)

Struktur bawah bangunan terdiri dari fondasi dan tanah pendukung fondasi. Untuk itu hal yang sangat berkaitan dengan fondasi adalah penyelidikan tanah. Fondasi harus diletakkan pada lapisan tanah yang cukup keras dan padat. Dengan dilakukannya penyelidikan tanah dapat diketahui letak atau kedalaman tanah keras yang berfungsi untuk mengetahui sifat-sifat dasar tanah seperti asal-usulnya, penyebaran ukuran butiran, kemampuan mengalirkan air, sifat pemampatan bila dibebani (*compressibility*), kekuatan geser, kapasitas daya dukung terhadap beban dan lain-lain. (Das, 1995).

Adapun *soil investigation* yang biasa dilakukan adalah:

- a. Pemboran (*drilling*): dari hasil pemboran (*bore holes*) yang dilakukan dengan *Standart Penetration Test* (SPT). Diketahui jenis lapisan tanah yang kemudian dikirim ke Laboratorium Mekanika Tanah.
- b. Percobaan penetrasi (*Penetration Test*) dengan menggunakan alat yang disebut *Cone Penetration Test* atau sondir. Ujungnya berupa konus yang ditekan masuk kedalam tanah dan secara otomatis dapat dibaca tegangan tanah.

Untuk mengetahui sifat tanah berdasarkan sifat lekatnya antara lain:

- a. Tanah *kohesif* adalah tanah yang mempunyai sifat lekatan antara butir-butirnya (tanah lempung = mengandung lempung cukup banyak).
- b. Tanah *non kohesif* adalah tanah yang tidak mempunyai atau sedikit sekali lekatan antara butir-butirnya (hampir tidak mengandung lempung misal pasir).
- c. Tanah organik adalah tanah yang sifatnya sangat dipengaruhi oleh bahan-bahan organik (sifat tidak baik).

Penyelidikan tanah dengan SPT informasi tentang kondisi di bawah permukaan tanah dapat diperoleh hingga 85% dengan biaya yang ekonomis. Pada fondasi tiang harga N_{spt} yang diperoleh dari proses pengujian lapangan dapat digunakan untuk perhitungan gesekan selimut yang mana dapat diambil rata-rata pada tiap lapisan begitu juga untuk perhitungan daya dukung ujung fondasi tiang

perataan dilakukan dengan mengambil suatu interval kedalaman sedikit di bawah dan di atas ujung tiang. (Raharjo, 1996).

Adapun keuntungan dari penyelidikan tanah dengan menggunakan SPT adalah:

- a. Dapat menentukan kedalaman dan tebal masing-masing lapisan tanah.
- b. Alat dan cara operasinya relatif sederhana.
- c. Contoh tanah terganggu dapat diperoleh untuk identifikasi jenis tanah, sehingga interpretasi kuat geser dan deformasi tanah dapat diperkirakan dengan baik.

2.2 Fondasi

Fondasi ialah transfer beban dari atas yaitu struktur yang akan diteruskan ke tanah keras. Suatu sistem fondasi harus dihitung untuk menjamin keamanan dan kestabilan struktur bangunan di atasnya dimana tidak boleh terjadi penurunan sebagian atau seluruhnya melebihi batas yang diijinkan. Dalam perencanaan pembangunan fondasi ada beberapa hal yang harus diperhatikan. (Bowles, 1988):

- a. Penentuan fungsi bangunan, beban bangunan, umur pemakaian, jenis perangkaan, profil tanah, cara konstruksi, dan biaya konstruksi.
- b. Penentuan kebutuhan bangunan.
- c. Pembuatan rancangan dengan pertimbangan tidak menurunkan mutu lingkungan dan memakai persyaratan keamanan yang sudah ditentukan dalam peraturan bangunan.

Dari klasifikasi fondasi berdasarkan perbandingan lebar dan kedalaman fondasi dibagi menjadi dua diantaranya: fondasi dangkal $d/b \leq 1$ dengan jenis fondasi telapak, fondasi rakit, dll dan fondasi dalam $d/b \geq 4$ dengan jenis fondasi *bored pile*, tiang pancang, dll. (Bowles, 1997). Fondasi dalam diperuntukan bangunan gedung bertingkat yang memiliki beban besar atau dalam kasus lain tanah kerasnya memiliki kedalaman yang cukup dalam.

Dengan menimbang sekitar lokasi proyek yang terdapat banyak bangunan lain seperti perkantoran, pemukiman penduduk. Dengan pertimbangan tidak menurunkan mutu bangunan sekitar (rusaknya struktur bangunan akibat

pemancangan). Maka jenis fondasi dalam yang tepat untuk digunakan adalah *bored pile*. *Bored pile* pemasangannya dilakukan dengan cara tanah dibor terlebih dahulu. Getaran yang dihasilkan pada saat pemasangan relatif kecil sehingga tidak merusak struktur tanah atau bangunan disekitar lokasi pembangunan.

Penggunaan teknologi dalam metode pelaksanaan pekerjaan konstruksi sangat berperan dalam suatu proyek konstruksi. Penggunaan metode pemasangan pondasi bored pile yang tepat, praktis, cepat dan aman sangat membantu dalam penyelesaian pekerjaan pada suatu proyek konstruksi. Sehingga target percepatan waktu, efisiensi biaya dan peningkatan mutu sebagaimana ditetapkan dapat tercapai. Secara umum tahapan pekerjaan pondasi bored pile sebagai berikut :

1. Persiapan lokasi (*site preparation*), yaitu mengukur area koordinat-koordinat tiang bor yang direncanakan mengacu pada BM (*Bench Mark*) yang ada di lokasi pekerjaan. Kemudian melaksanakan stripping, cut and fill pada lokasi pembuatan tiang bor agar kinerja peralatan yang digunakan efisien dan stabil. Jika diperlukan, mempersiapkan akses yang akan dilalui truk-truk mixer dari batching plant ke lokasi pembuatan tiang bor.
2. Memasang stand pipe. Stand pipe dipasang dengan ketentuan bahwa pusat dari stand pipe harus berada pada titik as bangunan pondasi yang telah disurvei terlebih dahulu. Pemasangan stand pipe dilakukan dengan bantuan alat berat seperti *excavator*.
3. Pembuatan drainase dan kolam air. Kolam air berfungsi untuk penampungan air bersih yang akan digunakan untuk pekerjaan pengeboran sekaligus untuk tempat penampungan air bercampur lumpur hasil dari pengeboran. Ukuran kolam air berkisar 3m x 3m x 2,5m dan drainase penghubung dari kolam ke stand pipe berukuran 1,2m, dan kedalaman 0,7 m (tergantung kondisi lapangan). Jarak kolam air tidak boleh terlalu dekat dengan lubang pengeboran, sehingga lumpur dalam air hasil pengeboran mengendap dulu sebelum airnya mengalir kembali ke lubang pengeboran.
4. Setting mesin bor.
5. Proses pengeboran (*drilling work*).
6. Instalasi tulangan dan pipa tremie (*steel cage and tremie pipe installation*).

7. Pengecoran material beton (*concreting*).
8. Penutupan kembali (*back filling*).

Adapun keuntungan dan kerugian dari penggunaan pondasi dalam jenis *bored pile* dibandingkan dengan penggunaan pondasi dalam jenis lain adalah:

- Keuntungan menggunakan pondasi *bored pile* adalah:
 - a. Pada saat pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
 - b. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan *dowel* pada pelat penutup tiang (*pile cap*) kolom dapat secara langsung diletakkan pada ujung *bored pile*.
 - c. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
 - d. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
 - e. *Bored pile* dapat dipasang menembus batuan sedangkan pada penggunaan tiang pancang akan terjadi kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batu.
 - f. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
 - g. Tidak ada resiko kenaikan muka air tanah.
 - h. Penulangan tidak dipengaruhi oleh tegangan pada waktu pengangkutan dan pemancangan.
- Kerugian menggunakan pondasi *bored pile* adalah:
 - a. Pengecoran *bored pile* dipengaruhi kondisi cuaca.
 - b. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
 - c. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya disepanjang badan *bored pile* mengurangi kapasitas dukung *bored pile*. Terutama bila *bored pile* cukup dalam.
 - d. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
 - e. Air yang mengalir kedalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiangnya.

2.2.1 Kapasitas Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Satu Tiang Arah Aksial

Kapasitas daya dukung *bored pile* diperoleh dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*), yang diperoleh dari tekanan ujung tiang beserta daya dukung geser atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek atau gaya adhesi antara *bored pile* dengan tanah di sekelilingnya. *Bored pile* berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan kapasitas daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga.

Salah satu contoh penyelidikan tanah yang dilakukan untuk menghitung daya dukung fondasi *bored pile* adalah dengan SPT (*standart penetration test*). Pengujian ini merupakan pengujian tanah yang dilakukan dengan cara pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh tanah terganggu dengan teknik penumbukan. Untuk menghitung daya dukung fondasi dengan nilai SPT, maka akan digunakan rumus sebagai berikut

Persamaan 2.1:

$$Q_u = Q_p + Q_s \dots \dots \dots (2.1)$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{FK} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

Q_u = Daya dukung ultimit (kN),

Q_p = Daya dukung ujung (kN),

Q_s = Daya dukung selimut (kN),

Q_a = Daya dukung izin (kN).

FK = Faktor keamanan yang besarnya minimum 2,5 untuk fondasi dalam.

(Sumber : SNI 8460-2017).

Untuk menghitung daya dukung ujung (Q_p), dapat menggunakan

Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3:

Metode Mayerhoff (1976)

a. Daya dukung ujung (Q_p) (Pasir)

$$Q_p = A_p \times \left[0,4 \times P_a \times N_{60} \times \left(\frac{L}{D} \right) \right] \leq A_p \times (4 \times P_a \times N_{60}) \dots (2.3)$$

Dimana:

Q_p = Beban yang ditahan oleh ujung tiang (kN),

A_p = Luas penampang fondasi (m^2),

P_a = Tekanan atmosfer = 100 kN/m^2 ,

N_{60} = Rata-rata nilai SPT 10D di atas dan 4D di bawah dari ujung fondasi,

L = Panjang fondasi (m),

D = Diameter fondasi (m).

b. Daya dukung ujung (Q_p) (Lempung)

$$Q_p = 9 \times c_u \times A_p \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

Q_p = Beban yang ditahan oleh ujung tiang (kN),

c_u = Nilai kohesi (kN/m^2),

A_p = Luas penampang fondasi (m^2).

Untuk menghitung daya dukung selimut (Q_s), dapat menggunakan

Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.5:

Metode Meyerhoff (1976)

a. Daya dukung selimut (Q_s) (Pasir)

$$Q_s = p \times L \times f_{av} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$Q_s = (\pi \times D) \times L \times (0,01 \times P_a \times N_{60}) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

Q_s = Beban yang ditahan oleh gaya gesek antar tiang (kN),

p = Keliling fondasi (m),

L = Panjang fondasi (m),

f_{av} = Average Unit Frictional Resistance (kN/m^2),

D = Diameter fondasi (m),

P_a = Tekanan atmosfer = 100 kN/m^2 ,

N_{60} = Rata-rata nilai SPT sepanjang poros fondasi.

b. Daya dukung selimut (Q_s) (Lempung)

Diperoleh menggunakan metode lambda (λ), alpha (α), dan betha (β).

1. Metode Lambda (λ)

Metode ini didasarkan oleh adanya perpindahan tanah akibat tiang yang dipancang sehingga menghasilkan tekanan lateral pasif pada kedalaman tertentu. Nilai Lambda (λ) didapatkan dengan memasukkan nilai panjang tiang. Untuk mencari nilai tahanan gesek pada metode ini digunakan **Persamaan 2.6**. Untuk mencari nilai kuat geser jenuh lempung dapat menggunakan **Persamaan 2.7**, sedangkan untuk memperoleh nilai tegangan vertikal efektif digunakan **Persamaan 2.8**.

$$f_{s\ ave} = \lambda (\sigma'_v + 2 c_{u\ ave}) \dots \dots \dots (2.7)$$

$$c_{u\ ave} = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ui} L_i}{L} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\sigma'_{v\ ave} = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ui} L_i}{L} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

$f_{s\ ave}$ = Tahanan gesek (kN/m^2),

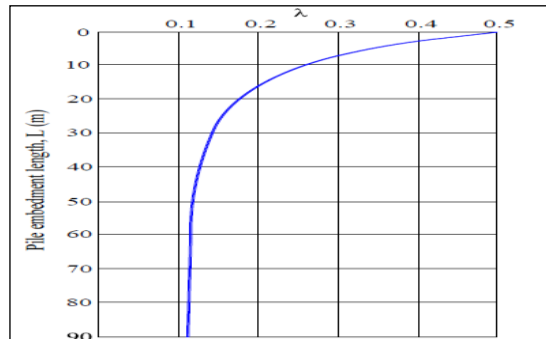
λ = Koefisien lambda (**Gambar 2.1**) (kN),

$\sigma'_{v\ ave}$ = Tegangan vertikal efektif rata-rata (kN/m^2),

$c_{u\ ave}$ = Kuat geser lempung jenuh rata-rata ($\emptyset = 0$) (kN/m^2),

c_{ui} = Kohesi tanah tak teralir lapis ke i (kN/m^2),

- L_i = Panjang segmen tiang pada lapis ke i (m),
 L = Panjang tiang total (m),
 A_i = Luas diagram tegangan vertikal efektif lapis ke i (m^2).



Gambar 2.1 Koefisien λ

(Sumber: Geotechnical Engineering Center, 2013)

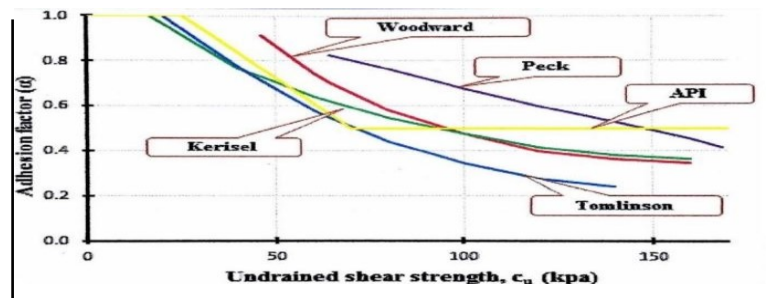
2. Metode Alpha (α)

Faktor Alpha merupakan parameter yang nilainya sulit untuk ditentukan dengan tepat. Perkiraan nilai Alpha untuk fondasi tiang pancang akan didapat dari **Gambar 2.2**. **Persamaan 2.9** yang dapat digunakan pada metode ini adalah:

$$f_s = \alpha c_u \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

- f_s = Tahanan gesek (kN/m^2),
 α = Faktor adhesi/lekatan secara empiris (**Gambar 2.2**),
 c_u = Kuat geser lempung jenuh (kN/m^2).



Gambar 2.2 Nilai Alpha untuk fondasi tiang pada tanah lempung
(Sumber: Alawiah & Yakin, 2016)

3. Metode Betha (β)

Pada metode ini, Persamaan yang digunakan mengacu pada parameter tegangan efektif lempung yang digunakan. **Persamaan 2.10** yang digunakan pada metode ini adalah:

$$f_s = \beta \sigma'_v \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

f_s = Tahanan gesek (kN/m^2),

β = $k \tan \phi'$,

ϕ' = Sudut geser efektif ($^\circ$),

σ'_v = Kuat geser lempung jenuh (kN/m^2).

Untuk nilai k dibedakan atas *normally consolidated* dan *overconsolidated*.

Pada kondisi *normally consolidated* digunakan **Persamaan 2.11**. Untuk mendapatkan nilai tahanan gesek metode ini digunakan **Persamaan 2.12**:

$$k = (1 - \sin \phi') \dots \dots \dots (2.11)$$

Sehingga

$$f_s = (1 - \sin \phi') \tan \phi' \sigma'_v \dots \dots \dots (2.12)$$

Daya dukung izin fondasi diperoleh dari daya dukung ultimit fondasi yang dicari dengan menggunakan metode analitik atau metode empiris tersebut dibagi dengan suatu faktor keamanan yang besarnya minimum 3 untuk fondasi dangkal atau minimum 2,5 untuk fondasi dalam. (Sumber : SNI 8460-2017).

2.2.2 Kapasitas Daya Dukung Fondasi *Bored Pile* Arah Lateral

Pada *Lpile* menyelesaikan persamaan differential non linear yang mencerminkan perilaku sistem interaksi tanah dan tiang pada kondisi beban lateral dengan formula finite difference menggunakan metode p-y yang dikembangkan oleh Reese. Untuk setiap beban yang bekerja, program melakukan iterasi sehingga beban dan defleksi (p dan y) pada setiap elemen mencapai kondisi equilibrium. Formula yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada **Persamaan 2.13** sampai **Persamaan 2.16**:

$$EI \frac{d^4 Y}{dz^4} + Q \frac{d^2 Y}{dz^2} - R - P_q = 0 \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana:

- Q = Beban aksial pada tiang (kN),
- Y = Defleksi lateral pada kedalaman Z (m),
- Z = Kedalaman dari kepala tiang (m),
- R = Reaksi tanah per unit panjang (kN),
- E = Modulus elastis tiang (Mpa),
- I = Momen inersia tiang (m^4),
- P_q = Distribusi beban sepanjang tiang (kN)

$$EI \frac{d^3 Y}{dz^3} + Q \frac{dY}{dz} = P \dots \dots \dots (2.14)$$

$$EI \frac{d^2 Y}{dz^2} = M \dots \dots \dots (2.15)$$

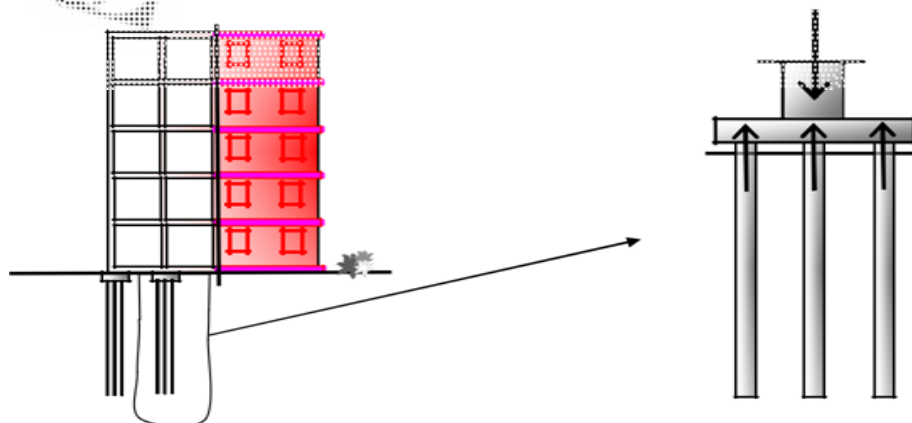
$$EI_{dz}^{dY} = S_t \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana:

- P = geser pada tiang [kN],
- M = momen pada tiang [kN-m],
- S_t = putaran sudut pada tiang [rad].

2.3 Kapasitas Daya Dukung Kelompok Tiang (*Group Pile*)

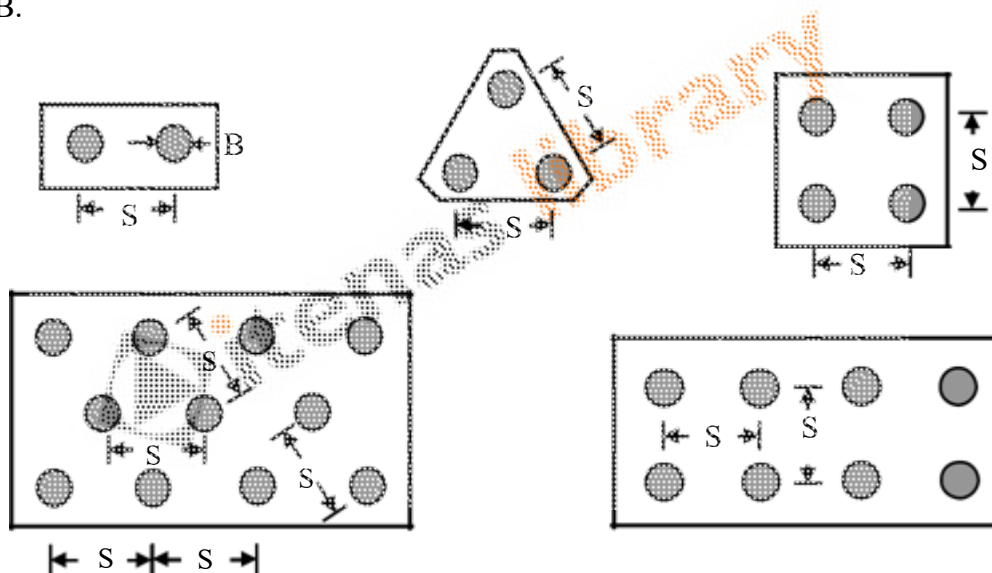
Dalam pemanfaatan sesungguhnya, fondasi tiang lebih sering direncanakan dan dibuat dalam bentuk kelompok tiang. Dalam satu grup tiang, terdiri dari beberapa tiang (lebih dari satu) diikat dengan satu kepala tiang (pile cap). Contoh yang sangat sering dijumpai terdapat pada bangunan bertingkat yang mana pada tiap kolomnya ditopang oleh sebuah grup tiang. **Gambar 2.3** menunjukkan ilustrasi kelompok tiang pada sebuah bangunan bertingkat. Pada gambar tersebut terlihat bahwa untuk menahan beban kolom, seluruh tiang menahan secara bersamaan sebagai sebuah grup yang solid. Dalam bagian ini akan dibahas mengenai tahanan masing-masing tiang dalam menahan beban luar termasuk momen dan beban vertikal serta efisiensi grup tiang (Hakam 2008).



Gambar 2.3 Kelompok Tiang Dibawah Sebuah Bangunan
(Sumber: Hakam, 2008)

Daya dukung fondasi dangkal dan fondasi dalam (tiang). Kedua daya dukung tersebut sangat dipengaruhi oleh parameter tanahnya, disamping faktor-faktor lainnya. Pada daya dukung grup tiang, selain daya dukung masing-masing tiang dalam grup, tata letak dan dimensi dari grup sangat menentukan kapasitas daya dukung grup tersebut.

Dalam sebuah grup tiang, tiap-tiap tiang diletakkan pada posisi tertentu dan berjarak yang disebut spasi (*spacing*) terhadap tiang-tiang lain didekatnya. Bentuk-bentuk susunan tiang yang sering dijumpai dalam sebuah grup tiang dan jarak antar tiang atau spasi dihitung dari pusat tiang dapat dilihat pada **Gambar 2.4**. Jarak spasi antar tiang sangat ditentukan oleh ukuran dari tiap-tiap tiang serta luas daerah yang tersedia. Namun biasanya jarak tiang dalam grup tiang ditentukan berdasarkan lebar atau diameter dari tiang, B yaitu antara $2B$ hingga $5B$.



Gambar 2.4 Bentuk Tipikal Susunan Denah Grup Tiang

(Sumber: Hakam, 2008)

Daya dukung grup tiang ditentukan oleh daya dukung tiap-tiap tiang dan susunan tiang-tiang tersebut dalam sebuah grup. Pada saat beban luar bekerja pada sebuah grup tiang, maka tanah disekitar fondasi tiang dan dasar tiang akan menerima transfer beban dari tiang. Respon tanah yang menerima transfer beban tersebut ditunjukkan dengan terjadinya perpindahan dan meningkatnya tegangan

dalam massa tanah. Pada tanah di daerah-daerah antara tiang, juga akan menerima tranfer beban dari beberapa tiang didekatnya. Hal ini ditunjukkan oleh daerah pengaruh yang overlap. Adanya daerah overlap ini memberikan salah satu alasan berkurangnya daya dukung grup tiang dibanding dengan penjumlahan seluruh daya dukung tiang dalam grup tersebut. Nilai yang menunjukkan perbandingan antara kapasitas daya dukung grup tiang dengan penjumlahan seluruh kapasitas daya dukung tiang-tiang tunggal dikenal dengan efisiensi grup tiang. Untuk sebuah grup tiang yang terdiri dari sejumlah N buah tiang, nilai efisiensi grup tiangnya, nilai E_g didapat dengan menggunakan **Persamaan 2.17**.

$$E_g = \frac{\text{Kapasitas Kelompok}}{\text{Jumlah dari Seluruh Kapasitas Tiang Individu}} = \frac{Q_g}{\sum_{i=1}^N Q_i} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :

E_g = Efisiensi grup tiang (%),

Q_g = Daya dukung ultimit dari grup tiang (kN),

Q_i = Daya dukung ultimit dari tiang tunggal (kN).

Dengan memfokuskan pada daya dukung grup tiang, maka rumusan diatas menjadi **Persamaan 2.18**

$$Q_{u \text{ group}} = Q_{u \text{ tiang}} \times n \times \text{efisiensi kelompok tiang} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

Q_u = Daya dukung ultimit (kN),

n = Jumlah tiang pada satu buah pile cap (buah).

Dari pengertian diatas dapat dilihat bahwa kapasitas daya dukung grup tiang belum tentu sama dengan penjumlahan dari kapasitas masing-masing tiang secara individu. Apabila nilai kapasitas daya dukung dari kelompok tiang adalah sama dengan penjumlahan aritmatik dari masing-masing tiang dalam kelompok tersebut, maka efisiensi kelompok tiang tersebut E_g sama dengan 1 (atau 100%).

Namun dalam perhitungannya, jarang dijumpai nilai efisiensi tiang yang bernilai 100%.

Sebagaimana perhitungan daya dukung tiang, nilai efisiensi grup tiang dapat ditentukan dari beberapa parameter disain berdasarkan jenis tanah disekitar tiang tersebut yaitu tanah kohesif dan non-kehesif.

Efisiensi kelompok tiang akan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jumlah tiang dalam group, panjang tiang, dimensi tiang, susunan tiang, dan jarak antar tiang. Dalam menghitung efisiensi kelompok tiang dapat menggunakan 3 metode berikut:

1. *Simplified Equation*

Metode ini didasarkan pada jumlah daya dukung gesekan dari kelompok tiang sebagai satu kesatuan (blok). Metode ini dihitung dengan menggunakan **Persamaan 2.19**:

$$\eta = \frac{2 \times (n_1 + n_2 - 2) \times D + 4d}{p \times n_1 \times n_2} \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana:

- η = Efisiensi (%),
- n_1 = Jumlah tiang dalam arah horizontal (buah),
- n_2 = Jumlah tiang dalam arah vertikal (buah),
- D = Jarak tiang ke tiang (m),
- p = Keliling fondasi (m),
- d = Diameter tiang (m).

2. *Converse Labarre Equation*

Untuk menentukan nilai *efisiensi kelompok* tiang pada metode ini diperoleh menggunakan **Persamaan 2.20** :

$$\eta = 1 - \frac{(n_1 - 1) \times n_2 + (n_1 - 1) \times n_1}{90 \times n_1 \times n_2} \tan^{-1} \frac{d}{D} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana:

- η = Efisiensi (%),
- n_1 = Jumlah tiang dalam arah horizontal (buah),
- n_2 = Jumlah tiang dalam arah vertikal (buah),
- D = Jarak tiang ke tiang (m),
- p = Keliling fondasi (m),
- d = Diameter tiang (m).

3. Fled Equation

Untuk menghitung efisiensi dengan perhitungan metode Fled equation, digunakan **Persamaan 2.21** untuk fondasi 2 tiang pada baris dan 2 tiang pada kolom sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_g(u)}{\sum \text{tiang} \times Q_u} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana:

- η = Efisiensi (%),
- $Q_g(u)$ = Faktor reduksi,
- $\sum \text{tiang}$ = Jumlah tiang dalam satu pile cap (buah),
- Q_u = Kapasitas ultimit tiang (kN).

Sedangkan kedalaman blok adalah sama dengan panjang rata-rata tiang dalam grup tiang. Jarak antara tiang harus mempertimbangkan antara lain *heave* dan pemadatan yang akan terjadi, dan harus cukup jauh untuk memungkinkan pemancangan terhadap sejumlah tiang dengan tidak merusak tiang itu sendiri ataupun bangunan di sekelilingnya.

Jarak antara tiang umumnya ditentukan oleh:

- a) Metode pemasangan; dipancang atau melalui pengeboran,
- b) Daya dukung kelompok tiang.

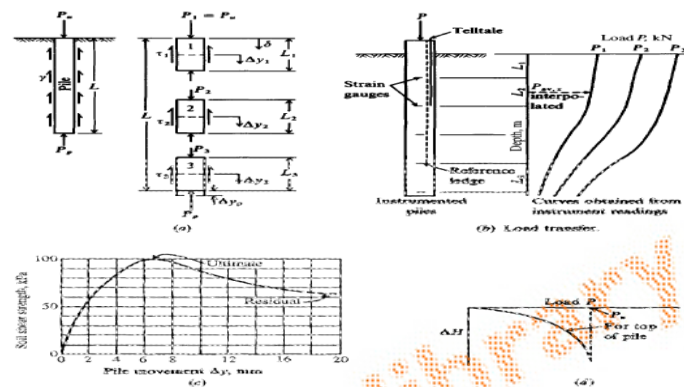
Untuk fondasi tiang jarak antara as ke as tiang tidak boleh kurang dari keliling tiang atau untuk tiang berbentuk lingkaran tidak boleh kurang dari 2,5 kali diameter tiang. (Sumber : SNI 8460-2017).

2.4 Metode Transfer Beban

Kapasitas statis dan penurunan tiang dapat dihitung kembali dari pemindahan beban data yang diperoleh dari satu atau lebih tiang uji yang dilengkapi dengan alat ukur regangan secara memadai dan / atau telltales. Telltales adalah tongkat yang digunakan untuk mengukur gerakan secara akurat dari tepian yang dilas pada jarak yang diketahui dari titik acuan di ujung tiang pancang. Lengan dilas ke poros tiang di atas langkan sehingga batang dapat dimasukkan ke langkan untuk mengukur perpindahan setelah tiang digerakkan dan beberapa penambahan beban diterapkan. Pengukur regangan dikalibrasi untuk memberikan tegangan pada tiang pancang di lokasi pengukur secara langsung. Perbedaan beban terukur ialah dua titik mana pun dianggap sebagai beban dipindahkan ke tanah dengan ketahanan kulit, diasumsikan konstan pada panjang segmen. Itu tahanan geser segera dihitung karena keliling tiang dan panjang segmen diketahui. Deformasi segmen dapat dihitung dengan menggunakan beban aksial rata-rata, dan jika perpindahan titik diketahui atau diasumsikan, pergerakan segmen dianggap slip. Kurva slip sebagai absis x sedangkan tahanan geser sebagai absis y kemudian dapat diplot seperti pada **Gambar 2.5c** untuk kemudian digunakan dalam memperkirakan kapasitas statis untuk tiang di sekitarnya. Perhatikan bahwa beberapa penambahan beban harus diterapkan pada tiang untuk mengembangkan kurva pemindahan beban, dan secara umum, lebih banyak lagi dari satu kurva dari tipe yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5c** diperlukan untuk memodelkan respons tiang dengan tanah secara wajar. Kurva transfer beban dapat dikembangkan untuk setiap segmen tiang AL di atas poros panjang L_p . Segmen ditentukan oleh alat pengukur regangan atau telltales yang terletak di setiap ujung panjang AL. Jika kurva segmen yang berdekatan sangat mirip, komposit dapat digunakan, jika tidak satu akan menggunakan kurva individu. Perhitungan kapasitas tiang dapat dilakukan dengan tangan (Coyle dan Reese (1966)) atau

menggunakan program komputer (Bowles (1974)). Perhitungan tangan praktis tidak lebih dari tiga untuk lima segmen tiang (tiga ditunjukkan pada **Gambar 2.5a**). Hasil yang lebih baik dapat diperoleh dengan menggunakan jumlah segmen yang lebih besar jika ada kurva pemindahan beban yang memadai dan datanya dari kualitas baik.

Metode transfer beban berlangsung seperti berikut ini:



Gambar 2.5 Metode Penghitungan Hubungan Beban Penyelesaian Untuk Tiang yang Dibebani Secara Aksial di Tanah Liat

(Sumber: Joseph E. Bowles, 1997)

Kurva geser dibandingkan dengan slip tiang pada **Gambar 2.5c** atau yang sering disebut kurva t-z ($t = \tau =$ simbol yang kadang digunakan untuk tegangan geser s dan $z =$ slip tiang tiang berhubungan dengan tanah yang berdekatan). (Kraft dkk) (1981) mengusulkan prosedur semi teoritikal untuk mendapatkan t-z kurva. Prosedur ini paling baik dijelaskan sebagai semi teoritikal karena metodenya secara substansial teoritis namun, ketika direduksi menjadi persamaan untuk pengembangan kurva, dibutuhkan asumsi:

- Tegangan geser pada antarmuka tiang dengan tanah
- G (modulus geser tanah)
- Parameter empiris R_f
- Perkiraan tegangan geser puncak (s_{max})

- e. Perkiraan radius pengaruh r_m dimana tegangan geser berkisar dari maksimum di tiang pancang ke nol di r_m dari tiang

Jumlah asumsi ini cukup banyak namun, jika seseorang memiliki keahlian yang bisa digunakan dan metode yang telah diprogram, dengan percobaan dapat diperoleh hasil yang baik antara nilai yang diprediksi dan diukur untuk uji tiang yang sedang ditinjau.

Hasil uji beban sangat spesifik untuk lokasi yang arti hanya merupakan tanggapan tumpukan untuk tumpukan di lokasi itu dan tunduk pada interpretasi. Untuk alasan ini disarankan bahwa di situasi praktis jika kita dapat memperoleh tiga atau empat profil kurva transfer beban, kita dapat melakukannya kemudian buat dua atau lebih kurva transfer geser percobaan dan gunakan prosedur yang lebih sederhana yang telah dijelaskan pada **Gambar 2.5**.

Dalam metode transfer beban ini perhitungan ditinjau menggunakan *software*. Dimana *software* yang digunakan ialah *Lpile* dan *Group pile*. Dalam menganalisis daya dukung lateral satu tiang menggunakan *Lpile*. Dengan input data dimensi fondasi tiang, lapisan tanah, data *properties* tanah, serta beban yang terjadi pada pile cap. Sedangkan Menganalisis daya dukung kelompok tiang menggunakan *Group Pile*. Dengan memodelkan fondasi kelompok tiang menggunakan data input *pile properties*, *pile group properties*, *pile head coordinates*, *loading*, pile cap, serta *soil layer*.

2.5 Studi Terdahulu

Penelitian ini dilakukan dengan dasar atau acuan dari hasil beberapa studi terdahulu yang akan diperlukan sebagai bahan perbandingan dan kajian. Beberapa studi terdahulu yang sebagai acuan untuk menyusun tugas akhir ini:

1. Adrianto (2015) melakukan penelitian membandingkan daya dukung ujung, daya dukung selimut, daya dukung ultimit serta penurunan yang terjadi antara fondasi akibat beban yang dipikul fondasi tiang bor. Penelitian ini menggunakan software PLAXIS 2D serta PLAXIS 3D untuk metode FEM (*Finite Element Method*) dan beberapa metode analisis. Metode analisis yang digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung pada penelitian ini

menggunakan metode Reese & Wright (1977), O'neil & Reese (1999), Kulhawy (1999), Meyerhof (1956) dan Vesic (1977). Hasil dari penelitian disimpulkan yaitu berdasarkan hasil berbagai metode yang digunakan pada perhitungan analisis kinerja fondasi tiang bor menunjukkan hasil yang berbeda-beda, hal itu dikarenakan perhitungan tiap metode-metode memiliki parameter masing-masing.

2. Yumita (2017) melakukan penelitian analisis daya dukung fondasi kelompok tiang pada tanah lempung Cimencrang. Penelitian ini menggunakan metode analitik Mayerhoff dan metode numerik Plaxis 3D, Group8 3D, dan All Pile. Parameter yang diuji yaitu data lapangan SPT, uji laboratorium dan data fondasi. Hasil dari penelitian disimpulkan perbandingan metode yang dilakukan dengan data lapangan pemodelan menggunakan Plaxis 3D memiliki selisih terkecil dengan data lapangan.
3. Diana (2019) melakukan penelitian analisis daya dukung pondasi *bore pile* pada proyek pembangunan gedung Wahid Hasyim apartement Medan. Penelitian ini menggunakan metode analitik Mayerhoff dan Reese & Wright. Parameter yang diuji yaitu data lapangan SPT. Hasil dari penelitian disimpulkan perbandingan jumlah tiang untuk satu kolom beban 776,177 ton antara metode Mayerhoff 6 tiang dengan daya dukung 194,747 ton dan Reese & Wright 7 tiang dengan daya dukung 163,95 ton.