

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tabel 2.1 Kajian Terdahulu

No	Peneliti	Tahun	Judul	Metode	Hasil
1	Abdul Rahman, Hendra Cahyadi, Fathurahman	2019	Analisis Daya Dukung Pondasi <i>Bore pile</i> Menggunakan Data Sondir Dan Spt Pada Proyek Pembangunan Reservoir Sungai Loban	Peneliti ini menggunakan metode aoki dan de alencar, mayerhoff	Dari hasil penelitian ini untuk metode aoki dan de alencar diketahui daya dukung ultimit pondasi sebesar 72,893 ton dengan faktor keamanan sebesar $1,93 > 1,5$ (aman). Untuk metode maayerhoff dihasilkan daya dukung ultimit sebesar 99,989 ton dengan faktoe keamanan $11,7 > 1,5$ (aman)
2	Firman Al Hakim	2021	Analisis Daya Dukung Pondasi <i>Bore pile</i> Berdasarkan Data Sondir Pada Proyek Pembangunan Intalasi Ibu Kota Kecamatan (Ikk) Perusahaan Air Minum (Pdam) Kabupaten Tanah Laut	Metode van der ween, philiponant, dan metode mayerhoff	Diketahui hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan , untuk metode van der ween diperoleh daya dukung ultimit sebesar 213,20 ton, metode philiponant diperoleh daya dukung ultimit sebesar 136,51 ton, metode mayerhoff diperoleh daya dukung ultimit sebesar 654,37 ton

3	Andre Chandra, Gusneli Yanti, Shanti Wahyuni Megasari	2018	Analisis daya dukung pondasi <i>bore pile</i> pada proyek pembangunan Menara listrik transmisi 500 Kv peranap-perawang	Metode analisis yang digunakan metode aoki dan de alencar, metode schmertman dan Nottingham metode guy sangrelat	Dari hasil penelitian ini metode aoki dan de alencar lebih kritis dan paling minimum dari metode schmertman dan Nottingham dan metode guy sangrelat dengan nilai daya dukung ultimit yaitu 1487,845 Kn
4	Ulfa Jusi	2015	Analisa kuat dukung pondasi <i>bore pile</i> berdasarkan data pengujian lapangan (cone dan spt penetration test)	Metode analisa yang digunakan metode Schmertman dan Nottingham, metode mayerhoff metode o'neil dan reese dan metode coyle dan castello	Dari hasil penelitian ini diambil kesimpulan nilai daya dukung schmertman dan Nottingham optimis $\pm 6,24\%$ dibandingkan dengan metode mayerhoff yang hasilnya bersifat konservatif dalam proses perhitungannya
5	Fatmawati Oemar, Tri Rahmat Utama, Panji Wicaksono	2021	Analisa daya dukung pondasi tiang <i>bore pile</i> pada pembangunan proyek fly over mardatinata kota tanggerang	Metode analisi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode o'neil dan resse	Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode o'neil dan reese diperoleh daya dukung pondasi <i>bore pile</i> sebesar 1134,96 kn dengan fakto aman 2,5

Sumber: Penelitian terdahulu

2.2 Pengertian Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat (tersementasi) secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M Das, 1995.).

Dalam pandangan Teknik sipil tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air dan cuaca. Proses pelapukan kimia dapat terjadi akibat pengaruh dari oksigen, dan proses-proses kimia lainnya (Hardiyatmo, 1996).

2.3 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah (*Soil Investigation*) adalah suatu proses pemeriksaan dan pengambilan (*sample*) tanah dengan tujuan untuk menyelidiki karakteristik suatu tanah. Data yang diperoleh dari proses penyelidikan tanah dapat digunakan sebagai acuan dalam merencanakan suatu pondasi. Oleh karena itu, penting untuk setiap

engineer untuk memahami sifat dan karakteristik tanah setiap lapis tanah. Agar dalam melakukan perancangan suatu pondasi dapat dilakukan secara tepat dan tidak berlebihan. Sehingga dapat disimpulkan proses penyelidikan tanah merupakan langkah awal yang perlu dilakukan sebelum menentukan dan memutuskan jenis dan desain pondasi (Braja M Das,1955).

Ada dua jenis penyelidikan tanah, yaitu penyelidikan tanah di lapangan dan penyelidikan tanah di laboratorium. Pekerjaan penyelidikan tanah di lapangan seperti pengeboran (*hand boring* ataupun *machine boring*), *Standard Penetrasi Test (SPT)*, *Cone Penetrometer Test (Sondir)*, *Dynamic Cone Penetrometer (DCP)*, dan *Sand Cone Test*. Sedangkan untuk pekerjaan penyelidikan di laboratorium terdiri dari uji index propertis tanah (*Water Content, Atterberg Limit, Specific Gravity, Sieve Analysis*) dan *engineer properties* tanah (*direct shear test, triaxial test, consolidation test, compact test, cbr test* dan lain lain) .

2.4 Pondasi

pondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur bangunan (*sub-structure*) yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur bangunan (*upper-structure*) kelapisan tanah yang berada dibagian bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah, dan penurunan (*settlement*) tanah atau pondasi yang berlebihan. Pondasi merupakan bagian dari suatu system rekayasa yang meneruskan beban yang ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah atau batuan yang terletak dibawahnya (Hardiyatmo,2014). Pondasi merupakan bagian dari suatu system rekayasa yang meneruskan beban yag

ditopang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah atau batuan yang terletak di bawahnya (Bowles,1991).

2.5 Macam-macam Pondasi

Pondasi secara umum dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

2.5.1 Pondasi Dangkal

Pondasi dangkal merupakan pondasi yang tidak membutuhkan galian tanah terlalu dalam karena lapisan tanah dangkal sudah cukup keras, apalagi bangunan yang akan dibangun hanya rumah sederhana (Hardiyatmo,2015). Kekuatan pondasi dangkal ada pada luas alasnya, karena pondasi ini berfungsi untu meneruskan sekaligus meratakan beban yang diteruskan ketanah tidak terlalu besar. Misalnya rumah sederhana satu lantai atau dua lantai.

Yang termasuk pondasi dangkal antara lain

- a. Pondasi tapak (*square footing*)
- b. Pondasi menerus (*continuous footing*)

2.5.2 Pondasi Dalam

Pondasi dalam merupakan pondasi yang didirikan dipermukaan tanah dengan kedalaman tertentu dimana daya dukung dasar pondasi dipengaruhi oleh beban structural dan kondisi permukaan tanah. Pondasi dalam biasanya dipasang pada kedalaman lebih dari 3 meter dibawah elevasi permukaan tanah. Pondasi dalam dapat dijumpai dalam bentuk pondasi tiang pancang,sumuran,dan bor. Pondasi dalam dapat digunakan untuk mentransfer beban ke lapisan tanah yang

lebih dalam sampai didapat jenis tanah yang mampu mendukung ststruktur bangunan.

Adapun jenis-jenis pondasi dalam antara lain:

- a. Pondasi sumuran
- b. Pondasi tiang pancang
- c. Pondasi *bore pile*

2.6 Pondasi *Bore pile*

Pondasi *bore pile* adalah jenis pondasi dalam yang pengerjaannya dilakukan didalam tanah dengan kedalaman tertentu menggunakan alat bantu bor. Pondasi ditempatkan sampai kedalaman yang dibutuhkan dengan cara membuat lubang yang dibor. Setelah mencapai kedalaman yang dibutuhkan, kemudian dilakukan pemasangan bekisting yang terbuat dari plat besi, kemudian dimasukan rangka besi pondasi yang dirakit sebelumnya, lalu dilakukan pengecoran terhadap lubang yang sudah dibor tersebut. Pengerjaan pondasi ini tentunya dibantu dengan alat khusus untuk mengangkat *casing* dan rangka besi setelah itu dilakukan pengecoran.

2.7 Metode Pelaksanaan *Bore pile*

Metode pembuatan lubang bor yang digunakan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi lokasi proyek terutama di air atau di darat. Ada tiga metode pelaksanaan pembuatan lubang bor yang umum digunakan.

2.7.1 Metode Kering

Metode ini cocok digunakan pada tanah yang muka air tanahnya rendah yang ketika di bor dinding lubang bor tidak akan terjadi kelongsoran. Metode kering tidak memerlukan pipa pelindung (*casing*) untuk menahan dinding lubang bor. Setelah dilakukan pengeboran tulangan pondasi dimasukkan ke dalam lubang bor dan kemudian dilakukan pengecoran.

2.7.2 Metode Basah

Metode basah akan digunakan apabila pengeboran dilakukan pada tanah dengan muka air yang besar dan biasanya dilakukan pemasangan *casing* sehingga lubang bor tidak terjadi kelongsoran selama proses pengeboran dan biasanya di dalam lubang bor diisi dengan cairan *slurry* yakni dapat berupa air saja atau campuran antara polimer dengan air bersih yang disebut *polymer slurry*.

2.7.3 Metode Casing

Metode ini dapat dipakai apabila dinding tanah rentan terjadi kelongsoran misalnya pada kondisi tanah berpasir. Untuk menahan agar dinding tanah tidak longsor maka di pasang pipa pelindung (*casing*). Pada umumnya *casing* merupakan pipa baja dengan diameter dalam nya sama dengan atau lebih besar dari lubang bor. *Casing* ada yang di pasang secara permanen dan juga sementara. Pemasangan *casing* pada lubang bor dilakukan dengan memancang di tekan sampai pada kedalaman yang di inginkan, kemudian tulangan struktur pondasi di masukan dan di cor .

2.8 Teori Daya Dukung

Analisis daya dukung adalah suatu kegiatan mempelajari kemampuan tanah dalam mendukung beban struktur yang ada di atasnya. Daya dukung menyatakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan yaitu tahanan geser yang di kerahkan oleh tanah di sepanjang bidang-bidang gesernya.

2.8.1 Metode Aoki dan De Alecar

Menurut metode Aoki dan De Alecar, perhitungan kuat dukung ultimit pondasi tiang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q_u = q_t \cdot A_b + f \cdot A_s \dots\dots\dots(2.1)$$

$$q_t = \frac{q_c(\text{tip})}{F_s} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$f = q_{c(\text{side})} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

f =Tahanan selimut tiang (ton/m²)

q_t =Tahanan ujung tiang (ton/m²)

Q_u = Kapasitas dukung tiang (ton)

A_b = Luas penampang tiang (m²)

$q_{c(\text{side})}$ = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan tiang (ton/m²)

$q_{c(\text{tip})}$ = nilai pada ujung tiang (ton/m²)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

α_s = Pada umumnya α_s untuk pasir = 1,4 persen, nilai α_s untuk lanau = 3,0 persen dan nilai α_s untuk lempung = 1,4 persen

d = Dimensi tiang (m)

Tabel 2.2 Faktor Empirik Fb & Fs

Tipe Tiang	Fb	Fs
Tiang Bor	3,5	7
Franki	2,5	5
Baja	1,75	3,5
Beton Precast	1,75	3

Sumber: Aoki dan De Alencar

Tabel 2.3 Adhesi Tanah α_s

Jenis tanah	α_s (%)
Pasir	1,4
Lanau	3,0
Lempung	1,4

Sumber: Aoki dan De Alencar

2.8.2 Schmertman dan Nottingham

Nottingham dan Schmertman menyimpulkan bahwa penemuan bagemann sangat valid untuk menentukan nilai q_b suatu tiang pada tanah dasar granular serta tanah kohesif dengan menggunakan data penetrometer mekanik maupun listrik. berikut merupakan persamaan yang dikemukakan Schmertman dan Nottingham untuk tiang dan jenis tanah yang berbeda.

Menurut metode Schmertman dan Nottingham, perhitungan kuat dukung ultimit pondasi tiang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots\dots\dots(2.4)$$

Pada tanah lempung:

$$Q_s = f_p \cdot A_s \dots\dots\dots(2.5)$$

$$F_p = \alpha_{\text{clay}} \cdot f_s \leq 120 \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.6)$$

α_{clay} = Pembacaan Grafik tanah lempung

Pada tanah pasir :

$$Q_s = \alpha_{\text{clay}} \sum_{y=0}^{8d} \frac{y}{8d} \cdot f_s \cdot A_s + \sum_{y=8d}^L f_s \cdot A_s \dots\dots\dots(2.7)$$

α_{sand} = Pembacaan grafik tanah pasir

$$Q_b = q_{ca} \cdot A_b \dots\dots\dots(2.8)$$

$$q_{ca} = \frac{qc_1 + qc_2}{2} \leq 15 \text{ Mpa untuk sand } 10 \text{ Mpa untuk silty sand} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

f_p = Tahanan selimut tiang (ton/m²)

α = Faktor adhesi

f_s = Bacaan gesekan selimut konus (ton/m²)

Q_u = Kapasitas dukung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

Q_b = Tahanan ujung tiang (ton/m²)

Q_{ca} = Tahanan Korus rata-rata(ton/m²)

q_{c1} = Rata-rata nilai pada jarak 0,7d atau 4d dibawah ujung tiang (ton/m²)

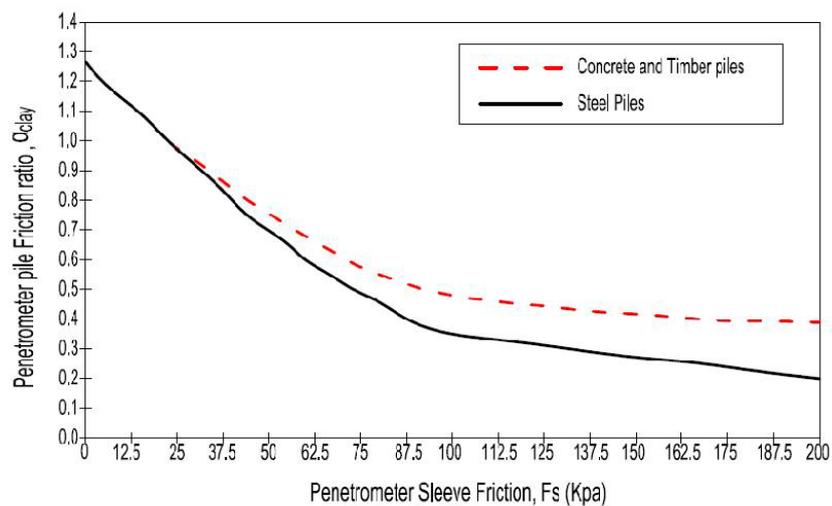
q_{c1} = Rata-rata nilai pada jarak 8d diatas ujung tiang (ton/m²)

L = Panjang tiang (m)

A_b = Luas ujung bawah tiang (m²)

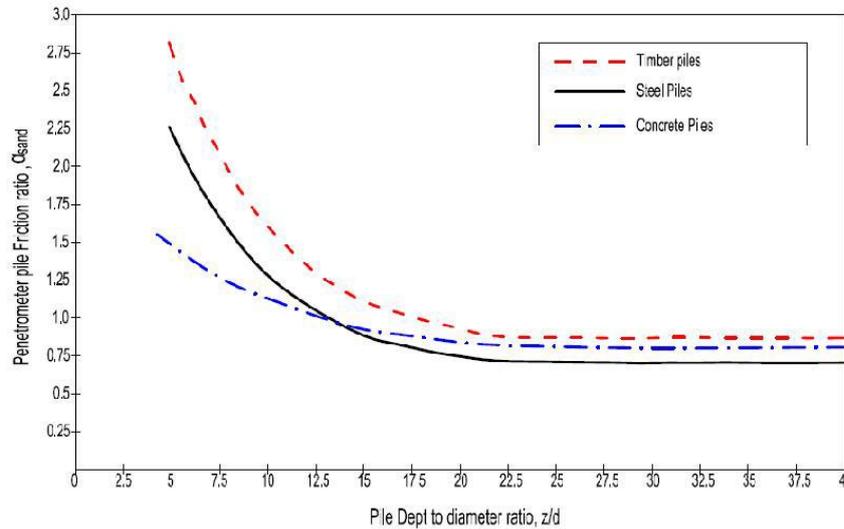
A_s = Luas selimut tiang (m²)

d = Dimensi tiang (m)



Sumber: Schmertman, 1978

Gambar 2.1 Kurva Desain f_p Tiang Pada Tanah Lempung



Sumber: Nottingham dan Schmertman, 1978

Gambar 2.2 Kurva Desain Untuk f_p Tiang Pada Tanah Pasir

2.8.3 Metode Mayerhoff

Menurut metode Mayerhoff, perhitungan kuat dukung ultimit pondasi tiang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$f_b = \omega_1 \cdot \omega_2 \cdot q_{ca} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dengan :

f_b =Tahanan ujung pesatuan luas untuk tiang bore di ambil 70% atau 50%

q_{ca} = q_c rata-rata pada zona $1d$ dibawah ujung tiang dan $4d$ diatas ujung tiang.

ω_1 = $((d+0,5)/2d)$ koefisien modifikasi pengaruh skala, jika $d > 0,5$ m $\omega_1 = 1$

ω_2 = $(L/10d)$ koefisien modifikasi untuk penetrasi tiang dalam lapisan pasir padat saat $L < 10d$, Jika $L > 10d$, $\omega_2 = 1$

d =Diameter tiang (m)

L =Kedalaman penetrasi tiang dalam lapisan tanah padat (m)

n = Nilai eksponensial ((1 untuk pasir longgar ($q_c < 5 \text{ Mpa}$), (2 untuk pasir kepadatan sedang ($5 \text{ Mpa} < q_c < 12 \text{ Mpa}$), (3 untuk pasir padat ($q_c > 12 \text{ Mpa}$))

Untuk Tiang pancang, tahanan gesek satuan diambil salah satu dari:

$f_s = K_f \cdot q_f$ dengan $K_f = 1$

atau bila tidak dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus:

$f_s = K_c \cdot q_c$ dengan $K_c = 0,005$

Dengan:

f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm^2)

K_f = Koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

K_c = Koefisien modifikasi tahanan konus

Untuk tiang bor, mayerhoff menyarankan menggunakan faktor reduksi 70% dan 50% dalam menghitung tahanan gesek tiang.

2.9 Kapasitas Daya Dukung Pondasi Dari Hasil Sondir

Sondir adalah suatu alat berbentuk silinder yang ujungnya berupa kerucut konus. Dalam pengujian sondir mekanisme alat ini akan menekan silinder dan konus kedalam tanah dan kemudian dapat diperoleh nilai perlawanan terhadap ujung sondir dan gesekan pada selimut silinder.

Pengujian sondir dilakukan dengan tujuan untuk dapat mengidentifikasi profil dan karakteristik tanah pada suatu lokasi pengujian, yang mana data itu berupa nilai tahanan konus pada ujung dan selimut silinder yang berguna sebagai data perencanaan suatu *desain* pondasi.

Pada perencanaan pondasi *bore pile* data tanah sangat penting dalam mendesain kapasitas dari daya dukung (*bearing capacity*) sehingga dapat menentukan daya dukung ultimit suatu tiang pondasi. Dalam menghitung daya dukung pondasi *bore pile* berdasarkan data sondir dapat dihitung dengan menggunakan beberapa metode perhitungan seperti metode Mayerhoff. Secara umum nilai daya dukung ultimit pondasi *bore pile* diperoleh dari hasil nilai daya dukung ujung tiang dikali daya dukung selimut tiang.

2.10 Faktor Aman

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang maka daya dukung ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu, fungsi faktor aman adalah :

- a) Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian dari nilai geser dan kompresibilitas yang mewakili kondisi lapisan tanah.
- b) Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.
- c) Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
- d) Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi
- e) Untuk mengantisipasi adanya ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.

Besarnya beban kerja (*working load*) atau kapasitas daya dukung ijin (Q_a) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai.

Tomlinson 1977 menyarankan faktor aman untuk tiang bore:

Untuk dasar tiang yang dibesarkan dengan diameter < 2 m

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots(2.11)$$

Untuk tiang tanpa pembesaran dibagian bawah

$$Q_a = \frac{Q_u}{2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Bila diameter tiang (d) lebih dari 2 m kapasitas ijin tiang perlu dievaluasi dari pertimbangan penurunan tiang. Selanjutnya penurunan struktur harus dicek terhadap persyaratan besar penurunan toleransi yang masih diijinkan.

2.11 Pondasi Tiang Kelompok

Pada umumnya jarang pondasi *bore pile* digunakan sebagai tiang tunggal melainkan berupa gabungan dari beberapa tiang yang disebut dengan tiang kelompok (*pile group*). Di atas *pile group* yang biasanya diletakan suatu konstruksi *poer(footing)* yang mempersatukan kelompok tiang tersebut.

2.12 Kapasitas Tiang Kelompok dan Efisiensi *Bore pile*

2.12.1 Kapasitas Kelompok Tiang

Kapasitas kelompok tiang tidak selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya. Stabilitas suatu kelompok tiang bergantung pada dua hal yaitu:

- a. Kapasitas dukung tanah disekitar dan dibawah kelompok tiang daalam mendukung total struktur bangunan.

- b. Pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak dibawah tiang kelompok tiang (Hardiyatmo,2015).

2.12.2 Efisiensi Tiang *Bore pile*

Efisiensi tiang (E_g) adalah nilai pengali pada daya dukung tiang tunggal dengan memperhatikan pengaruh kelompok tiang (Hardiyatmo,2015). Salah satu dari persamaan efisiensi tiang yang di kemukakan oleh converse labarre yaitu:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n'-1).m+(m-1).n'}{90.m.n'} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana,

E_g = Efisiensi kelompok tiang

m = Jumlah baris tiang

n' = Jumlah tiang dalam satubaris

θ = arc tg d/s , dalam derajat (°)

S = Jarak pusat ke pusat tiang(m)

d = Diameter tiang atau sisi tiang(m)

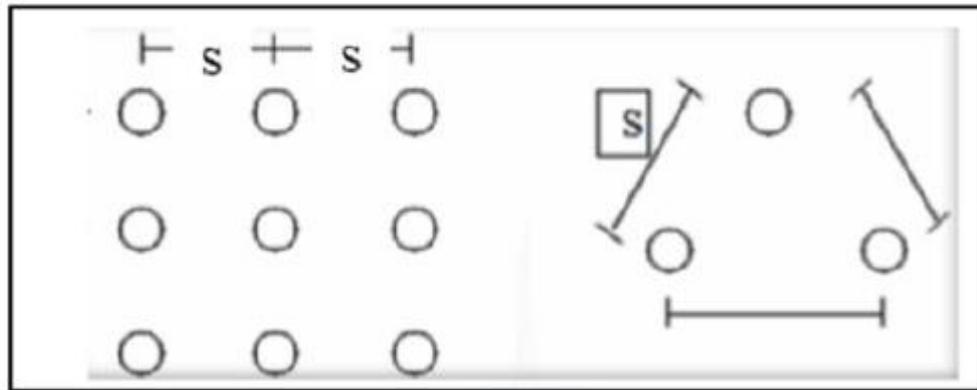
Dalam prakteknya tiang-tiang harus dipasang pada jarak tertentu. Untuk itu dalam Hardiatmo (2015) menyarankan jarak minimum tiang sebagai berikut:

$$S = 2,5.d + 0,02.L \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

d = Diameter tian (m)

L = Panjang tiang/kedalaman tiang (m)



Sumber: Hardiyatmo, 2015

Gambar 2.3 Jarak S Dalam Efisiensi Tiang

2.12.3 Daya Dukung Tiang Kelompok

Daya dukung tiang kelompok tidak selalu sama jika dibandingkan dengan jumlah daya dukung tiang tunggal. Hal ini dapat terjadi karena perbedaan jenis lapisan tanah pada setiap lapisan kedalaman pondasi. Menurut Hardiyatmo (2015) stabilitas kelompok tiang dipengaruhi oleh 2 hal:

- Daya dukung tanah disekitar dan dibawah kelompok tiang dalam mendukung beban struktur
- Pengaruh penurunan konsolidasi tanah yang terletak dibawah kelompok tiang.

Nilai daya dukung kelompok tiang dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (Hardiyatmo, 2015) :

$$Q_g = E_g \cdot n \cdot Q_u \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

Q_g = Daya dukung tiang kelompok

E_g = Efisiensi kelompok tiang

n = Jumlah tiang dalam kelompok

Q_u = Daya dukung tiang tunggal

2.12.4 Daya Dukung Ijin Tiang *Bore pile*

Untuk dapat memperoleh nilai daya dukung ijin tiang kelompok dilakukan dengan membagi daya dukung ultimiy dengan faktor aman tertentu .

$$Q_{ga} = \frac{Q_u}{F} \text{ (untuk } Q_u \cdot n > Q_g) \dots \dots \dots (2.16)$$

Atau

$$Q_{ga} = \frac{Q_u \cdot n}{F} \text{ (untuk } Q_u \cdot n < Q_g) \dots \dots \dots (2.17)$$

Dengan :

Q_{ga} = Daya dukung ijin tiang kelompok

Q_u = Daya dukung ultimit tiang tunggal

n = Jumlah tiang setiap kelompok

F = Nilai faktor aman

2.13 Penurunan Tiang

Penurunan tiang terjadi saat tiang mulai dibebani, Ketika tiang menahan beban maka tiang akan mengalami pemendekan dan tanah disekitar akan mengalami penurunan. Metode perhitungan penurunan yang disarankan untuk penurunan tiang tunggal dan kelompok sebagai berikut:

2.13.1 Penurunan Tunggal

Penurunan pada pondasi tiang tunggal menggunakan persamaan Vesic 1970.

$$S = \frac{D}{100} + Q \frac{L}{A_p \cdot E_p} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

S = Penurunan pondasi tiang tunggal

D = Diameter tiang

Q = Daya dukung tiang tunggal

L = Panjang tiang

A_p = Luas penampang tiang

E_p = Modulus elastisitas bahan tiang

2.13.2 Penurunan Tiang Kelompok

Penurunan pada pondasi tiang tunggal menggunakan persamaan Vesic 1970.

$$S_g = \sqrt{\frac{B_g}{D}} S \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana,

S_g = Penurunan pada kelompok tiang

B_g = Lebar tiang kelompok

D = Diameter tiang

S = Penurunan elastis tiang tunggal

2.13.3 Penurunan Ijin Tiang

Secara umum untuk penurunan ijin tiang kelompok dapat di kontrol melalui persamaan yang aman yaitu :

$$S_{total} \leq S_{ijin}$$

$$S_{ijin} = 10\% \text{ Dimensi tiang} \dots\dots\dots(2.20)$$