

STUDI MANFAAT DAYA DUKUNG *BELLED PILE* DAN *MULTI-BELLED PILE*

Kevin Septiadi¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
kevin.325160130@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
aniekp@ft.untar.ac.id

Masuk: 04-07-2020, revisi: 20-07-2020, diterima untuk diterbitkan: 04-08-2020

ABSTRACT

Foundation is a part of a structure which has a function for to resist and distribute the structure load on it to the soil. In the pile foundation the bearing capacity be affected by skin friction of the pile and end-bearing resistance, therefore one of the alternative for increase bearing capacity of the pile foundation is enlarged base of pile or called belled pile or multi-belled pile. In multi-belled pile enlarge size happen more than once, the enlarge size happen in the hard layer soil so this alternative will be suitable to applied in the soil that have a thin layer hard soil in the middle. In this research will discuss about increase of bearing capacity using belled pile and multi-belled pile and comparisson of bored pile with diameter D with belled pile and multi-belled pile with bell diameter D and shaft diameter $\frac{3}{4}D$. Result of research show the increase of bearing capacity biggest happened in multi-belled pile with big diameter, bearing capacity increase 42,5% with the increase of concrete volume 3,3%. Multi-belled pile with bell diameter 1600 mm and shaft diameter 1200 mm more efficient compared bored pile without enlarged base with diameter 1600 mm.

Keywords: belled pile; multi-belled pile; bore pile; bearing capacity; enlarged base

ABSTRAK

Fondasi adalah sebuah bagian dari stuktur yang berfungsi untuk menahan dan menyalurkan beban bangunan yang ada diatasnya ke tanah. Pada fondasi tiang daya dukung fondasi dipengaruhi oleh gesekan selimut tiang dan tahanan ujung tiang sehingga salah satu cara untuk meningkatkan daya dukung fondasi adalah dengan memperbesar ujung tiang atau disebut *belled pile* atau *multi-belled pile*. Pada *multi-belled pile* perbesaran penampang terjadi lebih dari satu kali yaitu pada lapisan tanah keras sehingga sangat cocok untuk diaplikasikan pada lapisan tanah yang memiliki lapisan keras tipis di bagian tengah. Pada penulisan ini akan dibahas mengenai peningkatan daya dukung tiang menggunakan *belled pile* dan *multi-belled pile* serta perbandingan daya dukung tiang bor diameter D dengan *belled pile* dan *multi-belled pile* yang memiliki diameter bel sebesar D dan diameter tiang sebesar $\frac{3}{4}D$. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan daya dukung terbesar terjadi pada *multi-belled pile* dengan diameter besar, daya dukung meningkat sebesar 42,5% dengan peningkatan volume beton sebesar 3,3%. Penggunaan *multi-belled pile* dengan diameter bel sebesar 1600 mm dan diameter selimut sebesar 1200 mm lebih efisien dibandingkan tiang bor tanpa pembesaran dengan diameter 1600 mm.

Kata kunci: *belled pile; multi-belled pile; tiang bor; daya dukung; ujung tiang diperbesar*

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia membuat peningkatan kebutuhan infrastruktur seperti jembatan, jalan raya, rumah tinggal dan lain-lain sehingga membuat pemerintah terus meningkatkan infrastruktur yang ada agar dapat memenuhi kebutuhan semua penduduk. Untuk memenuhi kebutuhan infrastruktur tersebut maka pembangunan infrastruktur harus dilakukan dengan baik dan benar sesuai dengan standar yang ada.

Fondasi merupakan salah satu dari pekerjaan tanah yang sangat penting dalam sebuah struktur bangunan karena memiliki fungsi untuk menopang dan menyalurkan beban bangunan yang ada di atasnya. Secara umum fondasi dibagi menjadi dua, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Untuk bangunan tinggi fondasi yang umumnya dipakai adalah jenis fondasi dalam yaitu fondasi.

Berdasarkan pelaksanaan di lapangan fondasi tiang dibagi menjadi fondasi tiang pancang dan fondasi tiang bor. Tiang pancang dan fondasi tiang bor memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing sehingga pemilihan

jenis fondasi tiang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Tiang yang digunakan harus mampu menahan beban bangunan yang ada di atasnya. Kemampuan fondasi menahan beban bangunan disebut daya dukung fondasi, sehingga daya dukung fondasi tidak boleh lebih kecil dari beban bangunan yang ditahan fondasi.

Semakin besar beban bangunan yang ditahan fondasi maka semakin besar daya dukung fondasi tiang yang dibutuhkan. Daya dukung tiang dipengaruhi oleh gesekan selimut dan tahanan ujung tiang. Sehingga untuk meningkatkan daya dukung tiang, alternatif yang dapat digunakan adalah dengan memperbesar ukuran penampang ujung tiang atau yang dikenal dengan *belled pile*.

Dalam penelitian ini, penulis akan meneliti mengenai manfaat penggunaan *belled pile* dan *multi-belled pile* terhadap daya dukung tiang. Selain itu penulis akan membandingkan efisiensi penggunaan *belled pile* dan *multi-belled pile* dengan fondasi tiang bor biasa.

Batasan-batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter tanah yang digunakan berdasarkan hasil uji laboratorium dan uji lapangan,
2. Kekuatan bahan tiang diabaikan,
3. Gaya lateral dan gaya gempa diabaikan,
4. Pembahasan tidak mencakup pembesian fondasi,
5. Fondasi dianggap tidak memiliki kemiringan,
6. Pembahasan tidak mencakup penurunan fondasi.

Berdasarkan uraian yang sudah disebutkan sebelumnya, masalah yang harus diselesaikan yaitu:

1. Daya dukung tiang menggunakan fondasi tiang bor tanpa pembesian,
2. Daya dukung tiang menggunakan fondasi tiang dengan pembesian (*belled pile*),
3. Daya dukung tiang menggunakan fondasi tiang dengan lebih dari satu pembesian (*multi-belled pile*),
4. Efisiensi penggunaan *belled pile* dan *multi-belled pile* dibandingkan dengan fondasi tiang bor biasa.

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

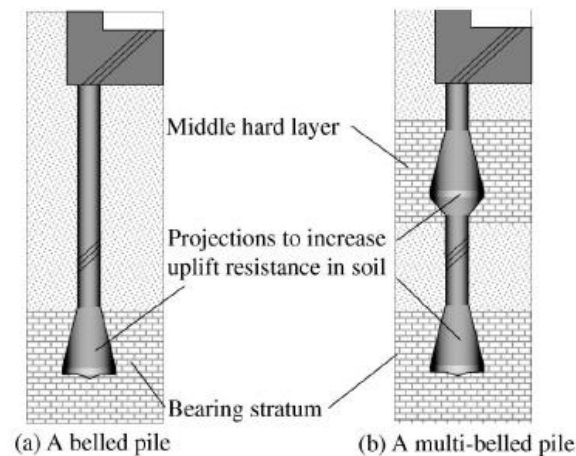
1. Mengetahui perilaku daya dukung fondasi tiang bor tanpa pembesian,
2. Mengetahui perilaku daya dukung fondasi tiang dengan pembesian (*belled pile*),
3. Mengetahui perilaku daya dukung fondasi tiang dengan lebih dari satu pembesian (*multi-belled pile*),
4. Mengetahui seberapa efisien penggunaan *belled pile* dan *multi belled pile* dibandingkan dengan fondasi tiang bor biasa.

Fondasi tiang bor

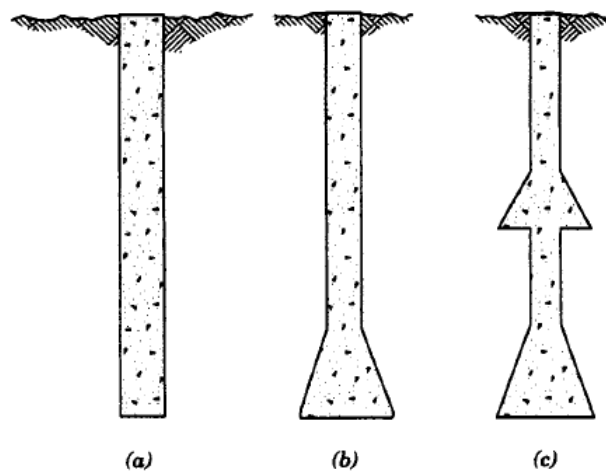
Fondasi Tiang bor merupakan fondasi tiang yang dibuat dengan melakukan pengeboran pada tanah sehingga berbentuk seperti cetakan tiang lalu memasukkan tulangan baja dan beton siap cetak ke dalamnya. Pada pelaksanaannya fondasi tiang bor tidak menimbulkan getaran dan kegaduhan sehingga cocok untuk digunakan pada daerah yang padat penduduk tetapi waktu yang dibutuhkan untuk membuat fondasi tiang bor lebih lama dibandingkan menggunakan tiang pancang.

Belled pile

Belled pile didefinisikan sebagai sebuah konstruksi yang terbuat dari beton yang didesain untuk meningkatkan daya dukung pada sebuah fondasi tiang bor. Peningkatan diameter dari pile secara efektif dapat meningkatkan daya dukung dari *pile*. *Belled pile* berbentuk tiang lurus dengan bagian bawah berbentuk bel. *Belled pile* juga didefinisikan sebagai konstruksi tiang beton yang dicetak di lapangan dengan satu atau lebih pembesian pada lapisan tanah kohesif keras seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Tiang yang memiliki lebih dari satu pembesian disebut dengan *multi-belled pile*. Kekurangan dari *belled pile* adalah instalasi yang lebih rumit dibandingkan dengan tiang bor biasa. Pada saat dilakukan pengeboran untuk bagian bel perlu digunakan bentonit agar tanah yang sudah dibor tidak mengalami keruntuhan. Perbedaan fondasi tiang lurus dengan *belled pile* dapat dilihat pada Gambar 2.



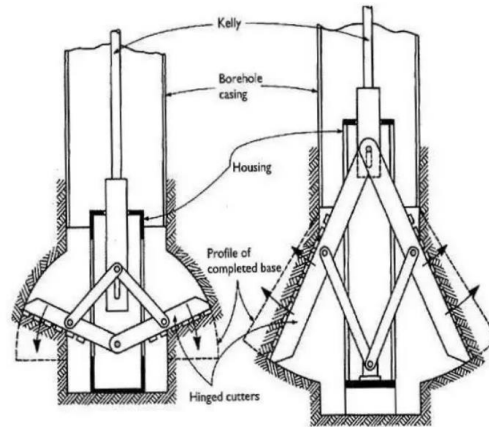
Gambar 1. *Belled pile* dan *multi-belled pile* (Sumber: Honda, 2011)



Gambar 2. Tipe tiang bor: (a) tiang lurus; (b) *belled pile*; (c) *multi-belled pile*
(Sumber: Prakash dan Sharma, 1898)

Selama beberapa tahun sebelumnya, banyak penelitian yang sudah dilakukan mengenai *belled pile*. (Yang, dkk. 2018) mengatakan peningkatan panjang tiang membuat pengaruh bel menjadi lebih kecil. (Lin, dkk, 2015) mengatakan semakin padat tanah pada dasar fondasi maka semakin besar daya dukung *belled pile*. (Kong, 2011) mengatakan bahwa pada *wedge belled pile* dan *belled pile* penurunan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan tiang jenis lainnya serta daya dukung dari *wedge belled pile group* meningkat berdasarkan jarak, diameter bel dan kekakuan tanah.

Pada instalasi *belled pile* digunakan mata bor khusus yang biasa disebut *belling bucket*. Instalasi *belled pile* dilakukan dengan melakukan pengeboran tanah sampai kedalaman yang diinginkan. Setelah itu *belling bucket* digunakan untuk memperluas lebar ujung tiang sesuai yang diinginkan. Setelah lebar yang diinginkan tercapai alat bor diangkat dan dimasukkan tulangan baja ke dalam lubang lalu beton siap cetak dituang ke dalam lubang. Bentuk dari *belling bucket* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Belling bucket* (sumber: Franki Foundation (2020))

Daya dukung fondasi tiang

Daya dukung tiang dapat dihitung dengan menjumlahkan tahanan ujung tiang dengan gesekan selimut tiang. Sehingga daya dukung tiang dapat didefinisikan seperti pada persamaan berikut.

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{SF} + \frac{Q_s}{SF} - W_p \quad (1)$$

dengan Q_{all} = daya dukung izin, Q_p = daya dukung ujung tiang, Q_s = daya dukung selimut tiang, SF= faktor keamanan, W_p = berat tiang.

Tahanan ujung tiang dapat dihitung dengan mengembangkan persamaan fondasi dangkal. Dengan mengganti notasi lebar fondasi menjadi diameter tiang maka persamaan tahanan ujung fondasi tiang adalah sebagai berikut.

$$Q_p = A[S_u N'_c + \eta q N'_q + \frac{1}{2} \gamma D N'_\gamma] \quad (2)$$

dengan Q_p = daya dukung ujung tiang, S_u = *undrained shear strength*, N'_c , N'_q , N'_γ = faktor kapasitas dukung, q = tekanan *overburden* pada dasar fondasi, γ = berat jenis tanah, D = diameter tiang.

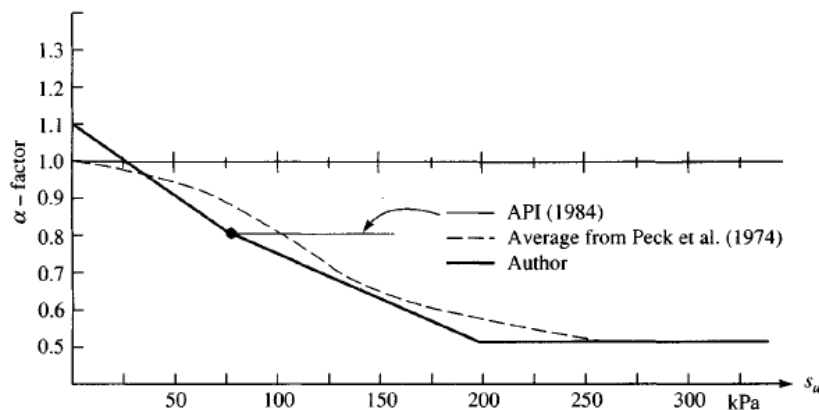
Sedangkan daya dukung selimut tiang dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$Q_s = P \Sigma \Delta L f_s \quad (3)$$

Dengan,

$$f_s = \alpha S_u \quad (4)$$

dengan Q_s = daya dukung selimut, P = keliling tiang, ΔL = panjang tiang, f_s = gesekan selimut, α = koefisien adhesi tanah dan tiang (Gambar 4), S_u = *undrained shear strength*.



Gambar 4. Hubungan koefisien α dan S_u (Sumber: Bowles, 1996)

Daya dukung belled pile

Sama halnya dengan tiang bor biasa, daya dukung *belled pile* didapatkan berdasarkan daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang. Apabila pembesaran tiang terjadi di ujung tiang maka daya dukung ujung tiang *belled pile* dapat dihitung menggunakan persamaan (5) sedangkan apabila pembesaran terjadi pada bagian tengah tiang, daya dukung akibat pembesaran (bel) dapat dihitung menggunakan persamaan (6).

$$Q_p = \frac{1}{4} \pi D_b^2 [S_u N'_c + \eta q N'_q + \frac{1}{2} \gamma D_b N'_\gamma] \quad (5)$$

$$Q_p = \frac{1}{4} \pi (D_b^2 - D_s^2) [S_u N'_c + \eta q N'_q + \frac{1}{2} \gamma (D_b - D_s) N'_\gamma] \quad (6)$$

dengan Q_p = daya dukung ujung tiang, S_u = *undrained shear strength*, N'_c , N'_q , N'_γ = faktor kapasitas dukung, q = tekanan *overburden* pada dasar fondasi, γ = berat jenis tanah, D_b = diameter bel, D_s = diameter selimut tiang.

Daya dukung selimut tiang dapat dihitung dengan menjumlahkan daya dukung selimut tiang dan daya dukung selimut bel. Parameter desain untuk gesekan selimut bel dapat dilihat pada tabel 1. Daya dukung selimut *belled pile* dapat dihitung menggunakan persamaan (7).

$$Q_s = \sum \pi D_s \Delta L f_s + \sum \pi \left(\frac{D_b + D_s}{2} \right) \Delta L f_s \quad (7)$$

dengan Q_s = daya dukung selimut, D_b = diameter bel, D_s = diameter selimut tiang, ΔL = panjang tiang, f_s = gesekan selimut.

Tabel 1. Parameter desain gesekan selimut bel

Desain Category	C_A/C
Belled shaft installed dry or by slurry displacement methods with no soil of exceptional stiffness below the base	0,3
Belled Shaft installed with drilling mud along some portion of the hole possible below the base	0,15
Belled shaft with the base resting on soil significantly stiffer than soil around stem	0

(Sumber: NAFVAC, 1986)

Apabila tiang memiliki lebih dari satu pembesaran (*multi-belled pile*) maka daya dukung tiang didapatkan berdasarkan total daya dukung tiap pembesaran dan daya dukung selimut tiang seperti yang tunjukkan pada persamaan (8).

$$Q_{all} = \frac{Q_{p1} + Q_{p2} + Q_s}{SF} - W_p \quad (8)$$

Dengan Q_{all} = daya dukung izin, Q_{p1} = daya dukung ujung tiang, Q_{p2} = daya dukung akibat pembesaran pada bagian tengah tiang, Q_s = daya dukung selimut, SF= faktor keamanan.

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data

Pada kajian teknis kali ini data yang digunakan pada penelitian berasal dari data tanah sebuah proyek yang ada di Jakarta. Data yang dikumpulkan berdasarkan hasil dari uji lapangan dengan uji SPT (*Standart Penetration Test*) dan hasil uji laboratorium.

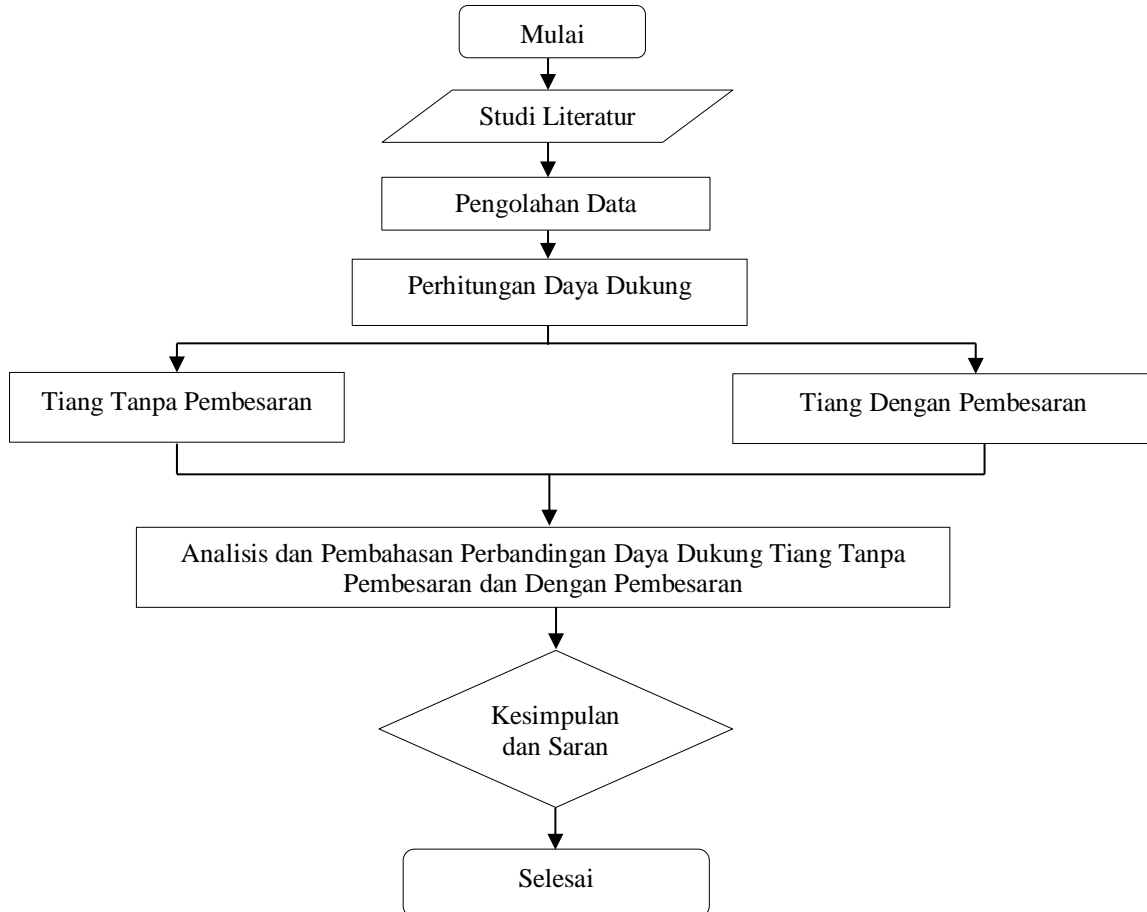
Pengolahan data

Setelah data-data yang diperlukan sudah terkumpul, selanjutnya dilakukan pengolahan data. Pada tahap ini data diolah untuk mendapatkan berbagai parameter yang digunakan berdasarkan studi literatur yang sudah dilakukan sehingga dapat dilakukan analisis daya dukung pada fondasi tiang bor biasa, *belled pile* dan *multi-belled pile*. Setelah analisis daya dukung dilakukan maka dilanjutkan dengan membandingkan hasil analisis daya dukung dan

volume beton yang digunakan pada fondasi tiang bor biasa, *belled pile* dan *multi-belled pile* untuk mengetahui bagaimana peningkatan daya dukung pada *belled pile* dan *multi-belled pile* dan melihat apakah *belled pile* dan *multi-belled pile* dengan diameter bel sebesar D dan diameter selimut bel sebesar $3/4 D$ lebih efisien dibandingkan dengan tiang bor tanpa pembesaran dengan diameter sebesar D .

Diagram alir penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian kali ini ditunjukkan pada Gambar 5.



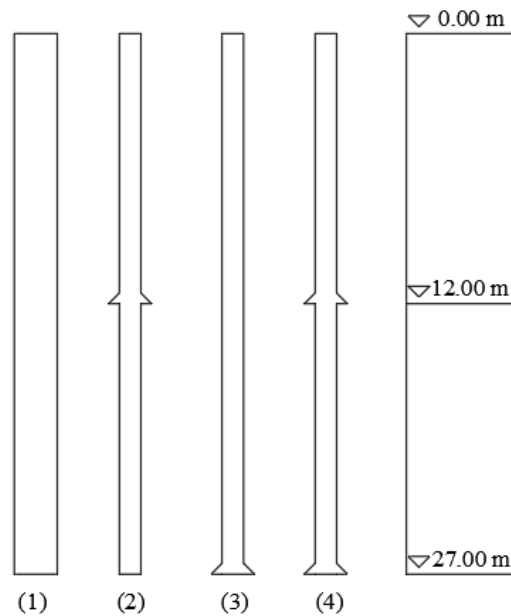
Gambar 5. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tiang yang digunakan pada penelitian ini adalah tiang bor. Tiang bor yang digunakan dibagi menjadi empat jenis yaitu:

1. Tiang bor tanpa pembesaran,
2. *Belled pile* (pembesaran di tengah tiang),
3. *Belled pile* (pembesaran di ujung tiang),
4. *Multi-belled pile* (pembesaran di ujung dan tengah tiang).

Pada penelitian ini tiang dipasang sampai kedalaman 27 meter. Pada tiang dengan *belled pile* dengan pembesaran di tengah tiang, perbesaran terjadi pada kedalaman 12 meter. Sketsa gambar empat jenis tiang yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sketsa jenis tiang bor

Analisis daya dukung empat jenis tiang bor tersebut menggunakan 3 kategori ukuran tiang. Kategori ukuran tersebut adalah tiang dengan diameter kecil, tiang dengan diameter sedang dan tiang dengan diameter besar. Tiang tanpa pembesaran pada masing-masing kategori menggunakan diameter sebesar D sedangkan pada tiang bor dengan pembesaran (*belled pile*) menggunakan diameter selimut tiang sebesar $3/4D$ dan diameter bel sebesar D .

Parameter tanah

Untuk melakukan analisis daya dukung tiang diperlukan data parameter tanah. Penentuan parameter tanah dilakukan dengan melakukan korelasi berdasarkan data tanah dan mengacu pada tinjauan pustaka. Adapun parameter tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

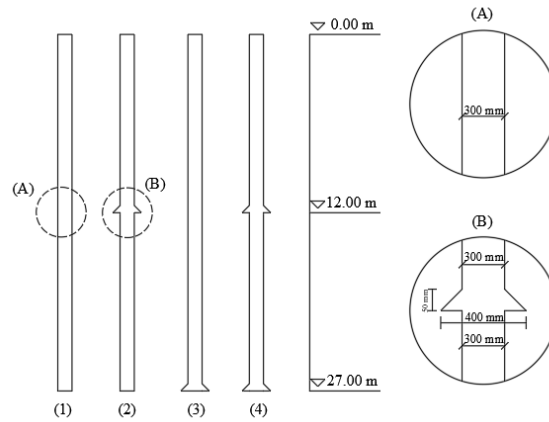
Tabel 2. Parameter tanah yang digunakan

Kedalaman (m)	Jenis tanah	S_u (kN/m ²)	c (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	e	E_s (kN/m ²)
0-4	<i>Silty clay</i>	42	83	16,3	0	0,65	28000
4-7	<i>Clayey Silt</i>	32	63	14,7	0	0,90	19000
7-11	<i>Silty Sand</i>	45	90	15,6	0	0,65	15000
11-13	<i>Clayey Silt</i>	152	304	16,1	0	0,60	50000
13-19	<i>Clayey Silt</i>	85	169	14,0	0	0,60	43000
19-23	<i>Sandy Silt</i>	330	660	17,7	31	0,63	75000
23-26	<i>Silty Sand</i>	218	435	17,0	0	0,65	38000
26-29	<i>Silt</i>	330	660	17,9	0	0,60	75000
29-37	<i>Clayey Silt</i>	291	582	17,5	0	0,60	70000
37-43	<i>Sandy Silt</i>	270	540	18,2	31	0,40	52000
43-45	<i>Sand</i>	338	677	18,8	31	0,45	71000

Analisis peningkatan daya dukung tiang diameter kecil

Pada kategori tiang diameter kecil, peningkatan daya dukung tiang akibat pembesaran ujung tiang dilakukan dengan membandingkan daya dukung tiang bor tanpa pembesaran diameter 300 mm dengan *belled pile* dan *multi-*

belled pile yang memiliki diameter bel sebesar 400 mm dan diameter selimut bel sebesar 300 mm. Sketsa ukuran tiang diameter kecil dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Sketsa ukuran tiang diameter kecil

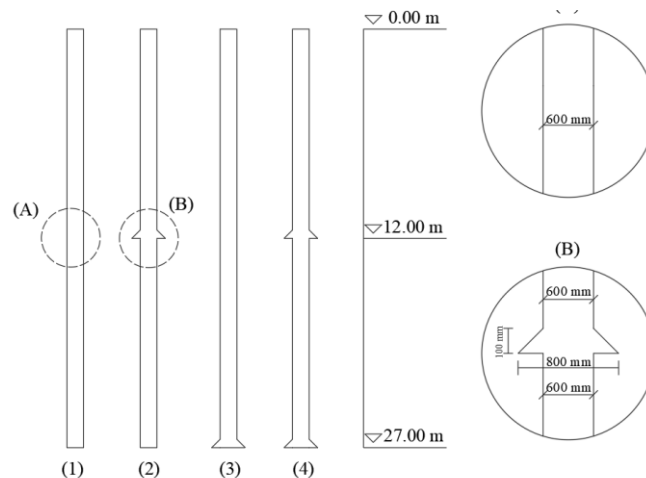
Hasil analisis peningkatan daya dukung *belled pile* dan *multi-belled pile* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis peningkatan daya dukung *belled pile* dan *multi-belled pile* tiang diameter kecil

Jenis tiang	Volume beton (m ³)	Daya dukung (kN)	% Daya dukung tercapai	% Beton yang digunakan
Tiang Tanpa Pembesaran	1,9093	742,402	100,0	100
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di tengah tiang)	1,9099	766,578	103,3	100,031
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di ujung tiang)	1,9099	794,671	107,0	100,031
<i>Multi-Belled Pile</i>	1,9147	819,035	110,3	100,280

Analisis peningkatan daya dukung tiang diameter sedang

Pada kategori tiang diameter kecil, peningkatan daya dukung tiang akibat pembesaran ujung tiang dilakukan dengan membandingkan daya dukung tiang bor tanpa pembesaran diameter 600 mm dengan *belled pile* dan *multi-belled pile* yang memiliki diameter bel sebesar 800 mm dan diameter selimut bel sebesar 600 mm. Sketsa ukuran tiang diameter kecil dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Sketsa ukuran tiang diameter sedang

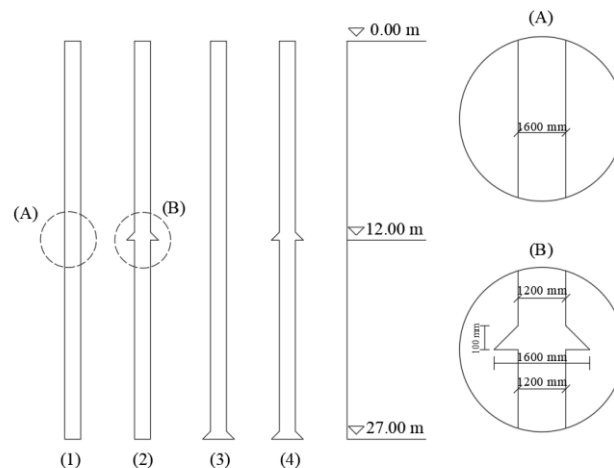
Hasil analisis peningkatan daya dukung *belled pile* dan *multi-belled pile* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis peningkatan daya dukung *belled pile* dan *multi-belled pile* tiang diameter sedang

Jenis tiang	Volume beton (m ³)	Daya dukung (kN)	% Daya dukung tercapai	% Beton yang digunakan
Tiang Tanpa Pembesaran	7,64	1537,5859	100,0	100
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di tengah tiang)	7,6451	1635,811	106,4	100,066
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di ujung tiang)	7,6451	1751,746	113,9	100,066
<i>Multi-Belled Pile</i>	7,6984	1848,881	120,2	100,8

Analisis peningkatan daya dukung tiang diameter besar

Pada kategori tiang diameter kecil, peningkatan daya dukung tiang akibat pembesaran ujung tiang dilakukan dengan membandingkan daya dukung tiang bor tanpa pembesaran diameter 1200 mm dengan *belled pile* dan *multi-belled pile* yang memiliki diameter bel sebesar 1600 mm dan diameter selimut bel sebesar 1200 mm. Sketsa ukuran tiang diameter kecil dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Sketsa ukuran tiang diameter kecil

Hasil analisis peningkatan daya dukung *belled pile* dan *multi-belled pile* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis peningkatan daya dukung *belled pile* dan *multi-belled pile* tiang diameter besar

Jenis tiang	Volume beton (m ³)	Daya dukung (kN)	% Daya dukung tercapai	% Beton yang digunakan
Tiang Tanpa Pembesaran	30,54	3463,427	100,0	100
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di tengah tiang)	30,6242	3914,013	113,0	100,3
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di ujung tiang)	30,6242	4475,620	129,2	100,3
<i>Multi-Belled Pile</i>	31,5396	4934,888	142,5	103,3

Analisis perbandingan daya dukung tiang diameter kecil

Analisis perbandingan daya dukung tiang dilakukan dengan membandingkan daya dukung tiang bor tanpa pembesaran diameter sebesar D dengan *belled pile* dan *multi-belled pile* yang memiliki diameter bel sebesar D dan selimut tiang sebesar $\frac{3}{4}$ D. Pada kategori ukuran diameter kecil, tiang tanpa pembesaran menggunakan diameter 400 mm sedangkan pada tiang dengan pembesaran (*belled pile*) menggunakan diameter selimut tiang sebesar 300 mm dan diameter bel sebesar 400 mm. Hasil analisis dan perbandingan daya dukung tiang diameter kecil dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil analisis dan perbandingan daya dukung tiang diameter kecil

Jenis tiang	Volume beton (m ³)	Daya dukung (kN)	% Daya dukung tercapai	% Beton yang digunakan
Tiang Tanpa Pembesaran	3,943	993,371	100,0	100
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di tengah tiang)	1,9099	766,578	77,2	56,3
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di ujung tiang)	1,9099	794,671	80,0	56,3
<i>Multi-Belled Pile</i>	1,9147	819,035	82,5	56,4

Analisis perbandingan daya dukung tiang diameter sedang

Analisis perbandingan daya dukung tiang dilakukan dengan membandingkan daya dukung tiang bor tanpa pembesaran diameter sebesar D dengan *belled pile* dan *multi-belled pile* yang memiliki diameter bel sebesar D dan selimut tiang sebesar $\frac{3}{4}$ D. Pada kategori tiang diameter sedang, tiang bor tanpa pembesaran menggunakan diameter sebesar 800 mm sedangkan tiang dengan pembesaran menggunakan diameter selimut tiang sebesar 600 mm dan diameter bel sebesar 800 mm. Hasil analisis dan perbandingan daya dukung tiang diameter sedang dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil analisis dan perbandingan daya dukung tiang diameter sedang

Jenis tiang	Volume beton (m ³)	Daya dukung (kN)	% Daya dukung tercapai	% Beton yang digunakan
Tiang Tanpa Pembesaran	13,58	2099,1316	100,0	100
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di tengah tiang)	7,65	1635,811	77,9	56,3
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di ujung tiang)	7,65	1751,746	83,5	56,3
<i>Multi-Belled Pile</i>	7,70	1848,881	88,1	56,7

Analisis perbandingan daya dukung tiang diameter besar

Analisis perbandingan daya dukung tiang dilakukan dengan membandingkan daya dukung tiang bor tanpa pembesaran diameter sebesar D dengan *belled pile* dan *multi-belled pile* yang memiliki diameter bel sebesar D dan selimut tiang sebesar $\frac{3}{4}$ D. Kategori ukuran tiang terakhir yaitu tiang diameter besar. Tiang bor tanpa pembesaran yang digunakan memiliki diameter 1600 mm sedangkan pada tiang bor dengan pembesaran menggunakan diameter selimut tiang sebesar 1200 mm dan diameter bel sebesar 1600 mm. Hasil analisis dan perbandingan daya dukung tiang diameter sedang dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil analisis dan perbandingan daya dukung tiang diameter besar

Jenis tiang	Volume beton (m ³)	Daya dukung (kN)	% Daya dukung tercapai	% Beton yang digunakan
Tiang Tanpa Pembesaran	54,29	4909,64534	100,0	100
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di tengah tiang)	30,62	3914,013	79,7	56,4
<i>Belled Pile</i> (Pembesaran di ujung tiang)	30,62	4909,620	91,2	56,4
<i>Multi-Belled Pile</i>	31,54	4934,888	100,5	58,1

Hasil perbandingan

Pada *belled pile* (pembesaran di tengah tiang) peningkatan daya dukung tiang untuk kategori ukuran diameter kecil, sedang dan besar adalah sebesar 3,3%, 6,4% dan 13%. Perbandingan *belled pile* (pembesaran di tengah tiang) dengan tiang bor tanpa pembesaran dengan diameter sebesar D pada kategori tiang ukuran diameter kecil, diameter sedang dan diameter besar menunjukkan persentase daya dukung sebesar 77,2%, 77,9% dan 79,7%. Hal ini dikarenakan konsistensi tanah pada kedalaman 12 meter kurang keras dan kekuatan ujung tiang hanya diperoleh dari selisih diameter bel dan diameter selimut tiang.

Pada *belled pile* (pembesaran di ujung tiang) peningkatan daya dukung tiang untuk kategori ukuran diameter kecil, sedang dan besar adalah sebesar 7%, 13,9% dan 29,2%. Perbandingan *belled pile* (pembesaran di ujung tiang) dengan tiang bor tanpa pembesaran dengan diameter sebesar D pada kategori tiang ukuran diameter kecil,

diameter sedang dan diameter besar menunjukkan persentase daya dukung sebesar 80%, 83,5% dan 91,2%. Hal ini dikarenakan konsistensi tanah pada kedalaman 27 meter sangat keras dan kekuatan ujung tiang diperoleh tanpa mengurangi diameter bel dan diameter selimut tiang.

Pada *multi-belled pile* peningkatan daya dukung tiang untuk kategori ukuran diameter kecil, sedang dan besar adalah sebesar 10,3%, 20,2% dan 42,5%. Perbandingan *multi-belled pile* dengan tiang bor tanpa pembesaran dengan diameter sebesar D pada kategori tiang ukuran diameter kecil, diameter sedang dan diameter besar menunjukkan persentase daya dukung sebesar 82,5%, 88,1% dan 100,5%. Hal ini dikarenakan pada *multi-belled pile* mendapatkan daya dukung dari pembesaran yang ada di tengah tiang dan pembesaran yang ada di ujung tiang.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan daya dukung tiang maka dapat disimpulkan bahwa:

1. *Belled Pile* dan *Multi-Belled Pile* terbukti mampu meningkatkan daya dukung secara efektif. Dimana daya dukung *belled pile* dan *multi-belled pile* meningkat dengan hanya meningkatkan volume beton yang digunakan kurang dari 4%.
2. Pada *belled pile* (pembesaran di tengah tiang), peningkatan ukuran tiang dari diameter kecil, diameter sedang sampai diameter besar dapat berpengaruh pada persentase daya dukung tercapai. Pada tiang diameter kecil daya dukung tercapai adalah 103,3 %, pada tiang diameter sedang daya dukung tercapai adalah 106,4% dan pada tiang diameter besar daya dukung tercapai adalah 113%.
3. Pada *belled pile* (pembesaran di ujung tiang), peningkatan ukuran tiang dari diameter kecil, diameter sedang sampai diameter besar meningkatkan persentase daya dukung tercapai. Pada tiang diameter kecil daya dukung tercapai adalah 107%, pada tiang diameter sedang daya dukung tercapai adalah 113,9% dan pada tiang diameter besar daya dukung tercapai adalah 129,2%.
4. Pada *multi-belled pile*, peningkatan ukuran tiang dari diameter kecil, diameter sedang sampai diameter besar meningkatkan persentase daya dukung tercapai. Pada tiang diameter kecil daya dukung tercapai adalah 110,3%, pada tiang diameter sedang daya dukung tercapai adalah 120,2% dan pada tiang diameter besar daya dukung tercapai adalah 142,5%.
5. *Belled Pile* (pembesaran di ujung tiang) lebih efektif dibandingkan dengan *Belled Pile* (pembesaran di tengah tiang). Hal ini dapat dilihat dengan membandingkan persentase daya dukung tercapai dan volume beton yang digunakan. *Belled Pile* (pembesaran di ujung tiang) memiliki daya dukung lebih besar dibandingkan dengan *Belled Pile* (pembesaran ditengah tiang) meskipun volume beton yang digunakan sama.
6. *Multi-Belled Pile* memiliki peningkatan daya dukung paling besar dibandingkan dengan *belled pile*. Dimana peningkatan daya dukung *belled pile* pada kategori ukuran tiang diameter kecil, sedang dan besar adalah 10,3%, 20,2% dan 42,5% sedangkan pada *belled pile* (pembesaran di ujung tiang) adalah sebesar 7%, 13,9% dan 29,2%.
7. Pada kategori ukuran tiang diameter kecil dan sedang, *belled pile* dan *multi-belled pile* dengan diameter sebesar D dan diameter selimut sebesar $\frac{3}{4}$ D tidak mampu mencapai daya dukung tiang bor tanpa pembesaran dengan diameter sebesar D. *Belled pile* (pembesaran di tengah tiang) mempunyai persentase daya dukung tercapai sekitar 77%. *Belled pile* (pembesaran di ujung tiang) memiliki persentase daya dukung tercapai 80% dan 83,5%. *Multi-belled pile* memiliki persentase daya dukung tercapai sebesar 82,5% dan 88,1%. Dengan volume beton yang digunakan pada ketiga jenis tiang tersebut sekitar 56%.
8. Pada kategori ukuran tiang diameter besar, hanya *multi-belled pile* dengan diameter sebesar D dan diameter selimut sebesar $\frac{3}{4}$ D mampu mencapai daya dukung tiang bor tanpa pembesaran dengan diameter sebesar D. *Belled pile* (pembesaran di tengah tiang) memiliki persentase daya dukung tercapai sekitar 79,7%. *Belled pile* (pembesaran di ujung tiang) memiliki persentase daya dukung tercapai 91,2%. Sedangkan *multi-belled pile* memiliki persentase daya dukung tercapai sebesar 100,5%. Dengan volume beton yang digunakan pada ketiga jenis tiang tersebut sekitar 58%.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran untuk melengkapi kekurangan-kekurangan yang ada, antara lain:

1. Melakukan analisis daya dukung menggunakan *software* sebagai pembanding hasil analisis yang telah dilakukan.
2. Perlu adanya data hasil uji laboratorium secara lengkap agar parameter tanah lebih spesifik dan hasil analisis menjadi lebih akurat.

3. Melakukan analisis terhadap perilaku daya dukung pembesaran tiang pada tiang kelompok.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1*. Penerj. Pantur Silaban. 5th. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1996.
- Franki Foundations. <https://www.ffgb.be/en/techniques/piles/large-diameter-bored-piles/large-diameter-bored-pile-with-enlarged-base>. t.thn. 6 February 2020.
- Honda, T., Yoshio Hirai dan Eiji Sato. "Uplift Capacity Of Belled And Multi-Belled Piles In Dense Sand." *SOIL AND FOUNDATIONS* 51.3 (2011): 483-496.
- Kong, Gangqiang. "Performances Of Compressive Capacity for Belled Wedge Pile Group." *Advance Material Research* 261-263 (2011): 1084-1088.
- Lin, J., Shih-Yu Hsu dan San-Shyan Lin. "The New Method to Evaluate The Uplift Capacity of Belled Pile in Sandy Soil." *Journal of Marine Science and Technology* 23.4 (2015): 523-533.
- Naval Facilities Engineering Command. *Foundations & Earth Structures Design Manual 7.2*. Virginia, 1986.
- Prakash, Shamsher dan Hari D. Sharma. *Pile Foundation In Engineering Practice*. Wiley, 1990.
- Yang, B., dkk. "Uplift Behavior of Belled Short Pile in Weathered Sandstone." *Mathematical Problems in Engineering* Volume 2018 (2018): 1-8.