

ANALISIS EFEKTIVITAS *MICROPILE* DAN *STRAUSS PILE* UNTUK MEMPERBESAR DAYA DUKUNG FONDASI

Marco Chandra Winata¹, Alfred Jonathan Susilo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Marco.325180106@stu.untar.ac.id

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

Masuk: 19-01-2022, revisi: 11-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 22-02-2022

ABSTRACT

The bearing capacity of the foundation is an important thing in a building that functions to withstand the load transmitted from the superstructure of the building. The bearing capacity of the foundation must be designed so that the building is safe. In calculating the bearing capacity of the foundation, it is necessary to know the effectiveness of the foundation piles. The case discussed is the addition of a building floor so that it requires additional carrying capacity and the poles used to increase the carrying capacity are different from the main pillars. The piles that will be used as inserts are micropile and strauss pile. The two inserts will be compared if they are inserted at a distance of 1.5D from the main pile. In determining this additional carrying capacity, the efficiency is recalculated to determine which pile is best used as an insertion pile. The result of the analysis is that the use of one micropile pile has been able to achieve the desired bearing capacity while the strauss pile needs 7 piles to achieve the desired bearing capacity. So that when compared to micropile, it is more effective to be used as an insert pole.

Keywords: axial bearing capacity, pile efficiency, micropile, strauss pile, effectiveness

ABSTRAK

Daya dukung fondasi merupakan hal penting dalam bangunan yang berfungsi untuk menahan beban yang tersalurkan dari struktur atas bangunan. Daya dukung fondasi harus didesain agar bangunan aman. Dalam memperhitungkan daya dukung dari fondasi perlu diketahui efektivitas tiang fondasi. Kasus yang dibahas adalah penambahan lantai bangunan sehingga membutuhkan tambahan daya dukung dan tiang yang digunakan untuk menambah daya dukung inipun berbeda dari tiang utamanya. Tiang yang akan digunakan untuk menjadi tiang sisipan adalah micropile dan strauss pile. Kedua tiang sisipan tersebut akan dibandingkan jika disisipkan dengan jarak 1,5D dari tiang utama. Dalam menentukan daya dukung tambahan ini diperhitungkan kembali efisiensi untuk mengetahui tiang yang paling baik dijadikan tiang sisipan. Hasil dari analisis adalah penggunaan satu tiang micropile sudah mampu untuk mencapai daya dukung yang diinginkan sedangkan strauss pile butuh 7 tiang untuk mencapai daya dukung yang diinginkan. Sehingga jika dibandingkan micropile lebih efektif digunakan menjadi tiang sisipan.

Kata kunci: daya dukung aksial, efisiensi tiang, micropile, strauss pile, efektivitas.

1. PENDAHULUAN

Fondasi adalah struktur bagian bawah dari suatu konstruksi yang memiliki fungsi untuk menahan beban yang disalurkan dari struktur atas. Kemampuan untuk menahan beban yang disalurkan dari struktur atas disebut juga daya dukung fondasi. Daya dukung fondasi perlu diperhitungkan dengan baik dikarenakan daya dukung fondasi ini bisa saja terjadi efisiensi tiang kelompok dimana akan terjadi reduksi dari tiang fondasi tersebut akibat jarak antar tiang fondasi terlalu dekat. Meskipun perencanaan telah memperhitungkan jumlah tiang fondasi serta daya dukung yang aman namun dapat terjadi berbagai kasus seperti penambahan lantai yang membutuhkan daya dukung tambahan. Dalam hal penambahan daya dukung ini tidak harus menambah jumlah tiang utama karena bisa saja penambahan tidak terlalu besar. Alternatif yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan tiang yang memiliki diameter lebih kecil seperti *micropile* dan *strauss pile*. Penambahan tiang sisipan ini sudah pasti memiliki jarak yang dekat antar tiap tiang fondasi lainnya. Dekatnya tiang fondasi tersebut akan menimbulkan *bulb influence area* yang bertabrakan sehingga akan menimbulkan reduksi dari tiap tiang fondasi tersebut. Semakin banyak tiang yang dipasang dengan jarak yang dekat akan membuat reduksi suatu tiang semakin besar.

Fondasi

Fondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang merupakan struktur bawah dari suatu bangunan. Seluruh bangunan di proyek manapun pasti bertumpu dengan tanah yang didukung oleh fondasi. Fondasi ini memiliki tugas untuk meneruskan beban bangunan struktur atas ke dasar tanah yang kuat untuk mendukungnya. Dalam merencanakan fondasi maka harus diperhatikan agar beban yang diteruskan dari struktur atas tidak melebihi dari kekuatan tanah tersebut. Jika penurunan beban tersebut tetap melebihi kemampuan daya dukung tanah maka dapat terjadi penurunan tanah sehingga akan beresiko terhadap keruntuhan bangunan. Keruntuhan tersebut dapat merusak segala konstruksi bangunan yang berada di atas fondasi tersebut.

Dalam mencegah terjadinya kerusakan atau keruntuhan pada bangunan maka perlu dilakukan perhitungan dalam penggunaan fondasi yang tepat. Daya dukung dari suatu fondasi harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan, gaya yang bekerja seperti gaya angin, gaya gempa, dan lainnya. Daya dukung fondasi juga harus selalu memperhatikan beban yang bekerja pada bangunan di atasnya. Pemilihan fondasi yang efektif juga mengklasifikasikan berdasarkan kedalaman tiang fondasi sampai tanah padat atau tanah keras, bahan serta struktur fondasi, bangunan yang akan didukung oleh fondasi. Dengan adanya perhitungan terhadap daya dukung serta klasifikasi tersebut maka dapat ditentukan jenis fondasi yang cocok digunakan pada bangunan tersebut.

Daya dukung fondasi secara umum dilihat berdasarkan buku Braja M. Das (2014) sebagai berikut:

$$Q_U = Q_p + Q_s \quad (1)$$

$$Q_p = C \times N_c \times A_p \quad (2)$$

$$Q_s = q_s \times A_s \quad (3)$$

dengan Q_u = ultimate load (kN), Q_p = point load capacity atau daya dukung ujung (kN), Q_s = frictional (skin) resistance atau daya dukung selimut (kN), A_p = luas fondasi ujung (m^2), q_s = unit tahanan selimut tiang, N_c , N_q = faktor daya dukung atau bearing capacity factors, A_s = luas selimut tiang (m^2)

Efisiensi Tiang Kelompok

Dalam memperhitungkan efisiensi tiang kelompok maka dapat menggunakan beberapa rumus dan diambil yang terkecil. Rumus efisiensi tiang kelompok diambil dari buku Joseph E. Bowles (1991) dengan persamaan sebagai berikut:

Converse-labarre:

$$1 - \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{90 \times m \times n} \times \theta \quad (4)$$

Los-angeles:

$$1 - \frac{D}{\pi \times S \times m \times n} [m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)\sqrt{2}] \quad (5)$$

Seller-keeney:

$$1 - \frac{36 \times S \times (m+n-2)}{(75 \times S^2 - 7) \times (m+n-1)} + \frac{0.3}{m+n} \quad (6)$$

Sederhana:

$$\frac{2S \times (m+n-2) + 4 \times D}{P \times m \times n} \quad (7)$$

dengan η = efisiensi grup, m = jumlah tiang arah x, n = jumlah tiang arah y, S = jarak (m), D = diameter (m), P = keliling tiang (m)

Micropile

Micropile merupakan tiang yang memiliki diameter kecil (lebih kecil dari 300 mm), konstruksi pada *micropile* adalah dengan cara melakukan pengeboran pada tanah lalu melakukan injeksi semen pada lubang tersebut kemudian diperkuat dengan menggunakan tulangan seperti pada gambar dibawah ini. *Micropile* ini dapat menahan beban seperti beban vertikal, beban lateral. *Micropile* ini dapat digunakan sebagai pengganti fondasi atau juga dapat memperkuat fondasi jenis lain yang sudah ada. *Micropile* ini dapat dipasang di akses proyek yang terbatas dan di lingkungan yang berdekatan serta di berbagai jenis tanah.

Kapasitas Dukung *Micropile*

Analisis kapasitas dukung *micropile* menggunakan persamaan yang dirumuskan oleh *Federal Highway Administration* (FHWA). Kapasitas dukung *micropile* terbagi atas *allowable compression load for cased length*, *allowable tension load for cased length*, *allowable compression load for uncased length*, *allowable tension load for uncased length*.

allowable compression load for cased length menggunakan persamaan :

$$P_{c-allowable} = [0.4 f'_{c-grout} \times A_{grout} + 0.47 F_{y-steel} (A_{bar} + A_{casing})] \quad (8)$$

allowable tension load for cased length menggunakan persamaan :

$$P_{t-allowable} = 0.55 F_{y-steel} \times (A_{bar} + A_{casing}) \quad (9)$$

allowable compression load for uncased length menggunakan persamaan :

$$P_{c-allowable} = (0.4 f'_c \times A_{grout} + 0.47 F_{y-steel} \times A_{bar}) \quad (10)$$

allowable tension load for uncased length menggunakan persamaan :

$$P_{t-allowable} = 0.55 F_{y-steel} \times A_{bar} \quad (11)$$

dengan $P_{c-allowable}$ = gaya tekan yang diijinkan (N), $f'_{c-grout}$ = kuat tekan beton (MPa), A_{grout} = luas area beton (m²), $F_{y-steel}$ = tegangan leleh baja (MPa), A_{bar} = luas area tulangan (m²), dan A_{casing} = luas area casing (m²).

Strauss Pile

Strauss pile adalah salah satu jenis tiang fondasi yang pengerjaannya dilakukan secara manual dan dibantu dengan penggunaan bor auger. Peralatan yang digunakan untuk fondasi ini juga digerakkan oleh manusia secara manual dan tidak membuat kebisingan terhadap lingkungan sekitar. Fondasi ini mirip dengan fondasi tiang bor hanya saja fondasi ini tergolong fondasi dangkal karena penggunaannya hanya untuk kedalaman 6 meter sampai 10 meter dengan kondisi tanah lunak. Diameter untuk *strauss pile* ini hanya sekitar 30 cm.

Kapasitas Dukung *Strauss Pile*

Analisis kapasitas dukung *strauss pile* menggunakan persamaan yang dirumuskan oleh Freitas (2014) sebagai berikut:

Kapasitas dukung ujung per satuan luas :

$$q_b = \frac{q_{ca}(base)}{F_b} \quad (12)$$

Kapasitas daya dukung *ultimate* :

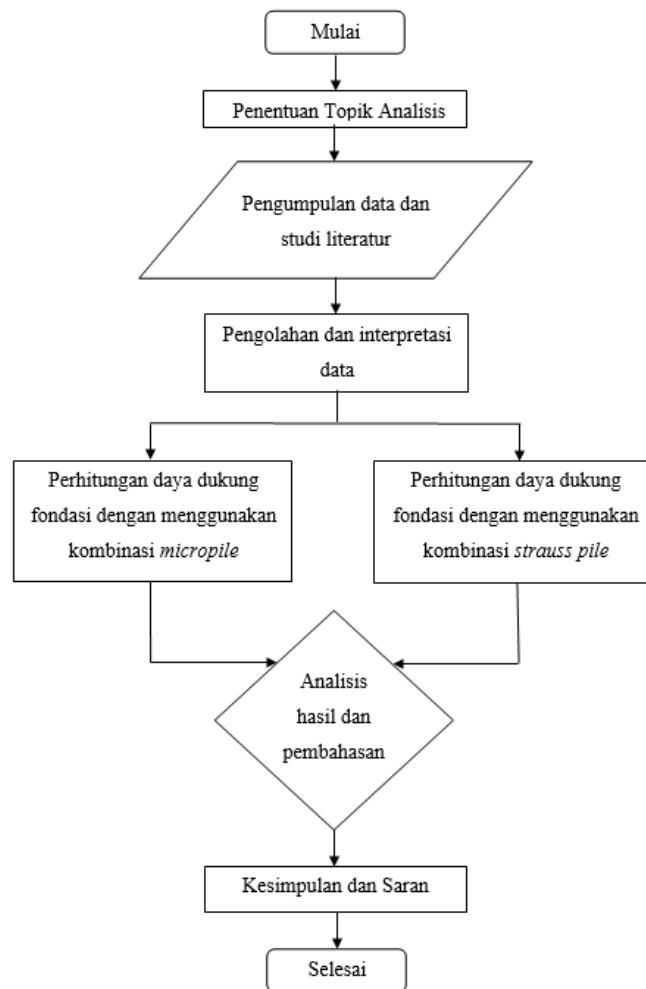
$$Q_{ult} = q_b \times A_p \quad (13)$$

dengan $q_{ca}(base)$ = perlawanan ujung konus, F_b = faktor empirik, A_p = luas penampang (m²).

2. METODE PENELITIAN

Sumber data berasal dari data primer yang tidak disebutkan namanya dan studi pustaka yang berasal dari buku, jurnal, dan internet yang berhubungan dengan studi kasus yang akan dianalisis. Adapun dilakukan studi pustaka untuk dapat mengetahui teori-teori yang membantu dalam pekerjaan analisis. Data tanah yang diberikan berupa data N-SPT dan

Sondir yang kemudian didapatkan data lainnya menggunakan korelasi. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Tanah Desain

Parameter tanah desain diperoleh dari grafik hasil plot parameter tanah yang diperoleh dari data penyelidikan tanah di lapangan yaitu sondir, borlog, dan data laboratorium. Kemudian dibuat rekapitulasi data tanah berdasarkan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 1.

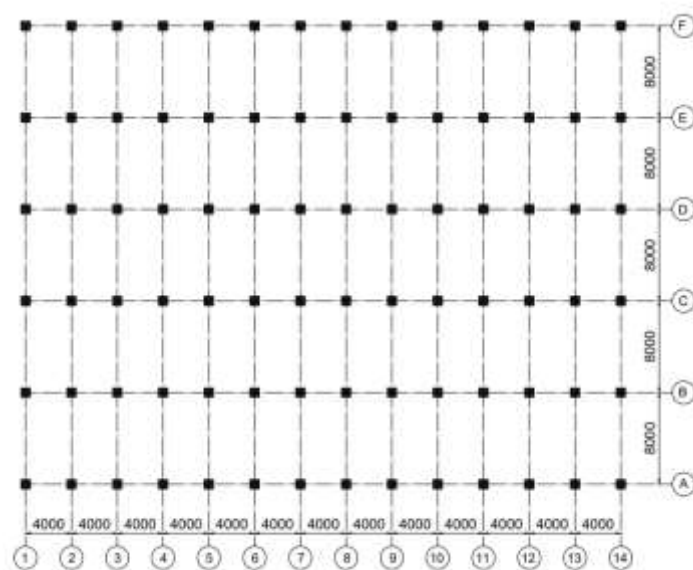
Tabel 1. Parameter tanah desain

Parameter	Simbol	Unit	Kedalaman (m)						
			0-13,5	13,5-15	15-30	30-40,5	40,5-43	43-58	58-80
Jenis Tanah	-	-	<i>Silty</i>	<i>Silty</i>	<i>Clayey</i>	<i>Clayey</i>	<i>Sand</i>	<i>Silty</i>	<i>Clayey</i>
			<i>Clay</i>	<i>Sand</i>	<i>Silt</i>	<i>Silt</i>		<i>Clay</i>	
Konsistensi	-	-	<i>Soft</i>	<i>Very Dense</i>	<i>Stiff</i>	<i>Stiff</i>	<i>Very Dense</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

<i>Plasticity Index</i>	PI	%	46	-	56	52	-	54	52
Berat Jenis	γ_{Sat}	kN/m ³	18,2	19,5	19	19,2	20,5	19	19,8
Berat Jenis Tanah Basah	γ_{wet}	kN/m ³	18	21	19	20	22,5	19	20
Angka Pori	e ₀	-	0,7	-	2	1,5	-	1	1,1
Indeks Kompresi	C _c	-	0,48	-	0,75	0,6	-	0,51	0,55
Indeks Rekompresi	C _s	-	0,11	-	0,2	0,19	-	0,13	0,13
Sudut Geser	ϕ	°	27	43	24	22,7	43	20	20
Kuat Geser Undrained	Su	kPa	40	-	120	140	-	140	190
Tekanan Prakonsolidasi	C'	kPa	7	-	25	30	-	30	40
<i>Overconsolidation</i>	OCR	-	4	3	2	1	1	1	1
<i>Resilient Modulus</i>	Eu	kPa	13	-	24	14,5	-	20	26

Denah Bangunan

Bangunan pada penelitian ini merupakan bangunan Apartemen yang memiliki denah *typical floor plan*. Denah ini akan digunakan sebagai perhitungan beban pada perhitungan daya dukung fondasi. Bangunan ini memiliki 25 tingkat dengan ukuran 52 m x 40 m dengan luas untuk setiap lantainya adalah 2080 m². Denah bangunan apartemen dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Denah Bangunan

Pembebanan

Pembebanan yang dihitung adalah dengan menghitung *dead load* dan *live load* seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel pembebanan

Beban		Nilai (kN/m ²)
<i>Dead Load</i>	<i>Self-Load</i>	3
	Pelat Lantai	
	Keramik dan Spesi	0,66
	Dinding	1,5
	Plafon	0,07
	Penggantung Plafon	0,1
<i>Super Imposed Dead Load (SDL)</i>		
Mekanikal dan Elektrikal		0,3
<i>Live Load</i>		1,95

$$\begin{aligned}\text{Total Dead Load} &= 3 + 0,66 + 1,5 + 0,07 + 0,1 + 0,3 \\ &= 5,63 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Total Live Load} = 1,95 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Pembebanan Total} &= 1,2D + 1,6L \\ &= 1,2(5,63) + 1,6(1,95) \\ &= 6,756 + 3,12 \\ &= 9,876 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Beban per lantai dijadikan beban terpusat yang menjadi beban dari kolom. Diasumsi bahwa semua kolom memiliki beban yang sama sehingga beban terpusat akan dikalikan seluruh lantai kemudia beban tersebut akan dibagi dengan jumlah kolom sehingga menjadi beban struktur atas.

Perhitungan:

$$\begin{aligned}\text{Konversi ke beban terpusat} &= 9,876 \times \text{Luas Pelat} \times \text{Jumlah Lantai} \\ &= 9,876 \times 2080 \times 25 \\ &= 513552 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban terpusat pada kolom} &= 513552 / \text{Jumlah Kolom} \\ &= 513552 / 84 \\ &= 6113,7142 \text{ kN} \\ &= 611,37142 \text{ ton}\end{aligned}$$

Daya Dukung Tiang Bor

Untuk perhitungan tiang bor menggunakan tiang bor ber diameter 80 cm dengan perhitungan daya dukung *ultimate* seperti Tabel 3.

Tabel 3. Daya dukung tiang bor

Daya Dukung Tiang Bor (kN)	
Qp	180.9557

Qs	11397.03
Qu	3859.3301

Efisiensi Tiang Kelompok

Efisiensi tiang kelompok digunakan untuk mencari jarak terpasangnya tiap tiang. Efisiensi tiang dicari menggunakan 3 persamaan dan diambil efisiensi terkecil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Efisiensi tiang kelompok

Efisiensi Tiang Kelompok	
<i>Converse-labarre</i>	0,8976
<i>Los-angeles</i>	0,9469
<i>Seller-keeney</i>	0,9983

Efisiensi yang digunakan adalah *converse-labarre* karena paling kecil yaitu 0,8976.

Perhitungan:

$$\begin{aligned}\text{Cek Aksial} &= \text{Asumsi tiang} \times \text{efisiensi} \times Q_u \\ &= 2 \times 0.8976 \times 3859,33016 \\ &= 6928,27\end{aligned}$$

Cek Aksial > Beban Aksial

$$6928,27 > 6113,7142$$

Maka penggunaan 2 tiang tersebut memenuhi pengecekan aksial dan aman.

Penambahan Lantai

Bangunan 25 lantai tersebut akan menjadi 30 lantai sehingga membutuhkan tambahan beban 1222,7358 kN. Maka diketahui kekurangan daya dukung adalah 408,18 kN dari setiap tiang.

Kapasitas Dukung Micropile

Berikut merupakan spesifikasi *micropile* yang digunakan untuk analisis kapasitas *micropile* yaitu

1. f'_c = 25 MPa
2. $f_{y \text{ casing}}$ = 235 MPa
3. $f_{y \text{ bar}}$ = 400 MPa
4. Diameter luar (OD) = 165.2 mm
5. t_w = 6 mm
6. D_{tulangan} = 13 mm
7. Diameter bor = 200 mm

Berdasarkan Spesifikasi yang dipakai tersebut setelah dilakukan analisis data, didapati nilai kapasitas dukung vertikal sebagai berikut. Pada bagian *cased length micropile* didapati bahwa nilai $P_c\text{-allowable}$ adalah sebesar 52.91 ton dan $P_t\text{-allowable}$ adalah sebesar 40.50 ton. Pada bagian *uncased length micropile* didapati bahwa nilai $P_c\text{-allowable}$ adalah sebesar 33.91 ton dan $P_t\text{-allowable}$ adalah sebesar 2.92 ton.

Kombinasi Micropile

Dalam menyisipkan tiang *micropile* ini diatur jarak antar tiang sebesar 1,5D. Karena ada dua diameter yaitu diameter tiang utama dan tiang sisipan maka dicari efisiensi dari kedua diameter tiang tersebut dengan *converse-labarre*. Efisiensi tiang ini didapatkan melalui buku Joseph. E. Bowles (1997). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Efisiensi tiang kelompok dengan *micropile*

Efisiensi Tiang	
Diameter 0,8 meter	0,7504
Diameter 0,1652 meter	0,9419

Digunakan efisiensi yang paling besar, sehingga perhitungan total sebagai berikut:

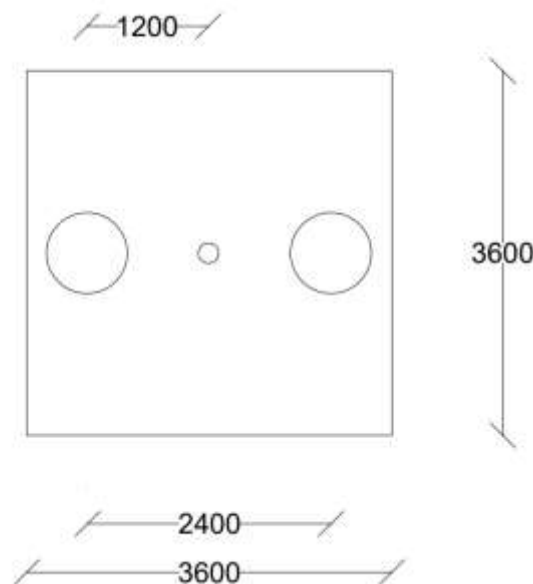
$$\text{Total Daya Dukung} = (3859,33016 \times 2 \times 0,9419) + (529,11160 \times 0,9419)$$

$$\text{Total Daya Dukung} = 7270,2061 + 498,3702$$

$$\text{Total Daya Dukung} = 7768,57 \text{ kN}$$

$$\text{Cek Aksial} = 7768,57 > 7336,45 \text{ (memenuhi)}$$

Hasil dari perhitungan didesain seperti Gambar 3.



Gambar 3. Kombinasi tiang bor dengan *micropile*

Kapasitas Dukung *Strauss Pile*

Berikut merupakan spesifikasi *strauss pile* yang digunakan untuk analisis kapasitas *strauss pile* yaitu

1. Diameter tiang = 30 cm
2. Panjang tiang = 10 meter
3. Luas penampang = 706,85 cm²

Berdasarkan Spesifikasi yang dipakai tersebut setelah dilakukan analisis data, didapati nilai kapasitas dukung vertikal sebagai berikut. Kapasitas dukung ujung per satuan luas adalah sebesar 32,14 kg/cm² dan kapasitas daya dukung *ultimate* adalah sebesar 227,18 kN.

Kombinasi *Strauss Pile*

Dalam menyisipkan tiang *strauss pike* ini diatur jarak antar tiang sebesar 1,5D. Karena ada dua diameter yaitu diameter tiang utama dan tiang sisipan maka dicari efisiensi dari kedua diameter tiang tersebut dengan *converse-labarre*. Efisiensi tiang ini didapatkan melalui buku Joseph. E. Bowles (1997). Hal ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Efisiensi tiang kelompok dengan *strauss pile*

Efisiensi Tiang	
Diameter 0,8 meter	0,5008
Diameter 0,3 meter	0,79

Digunakan efisiensi yang paling besar, sehingga perhitungan total sebagai berikut:

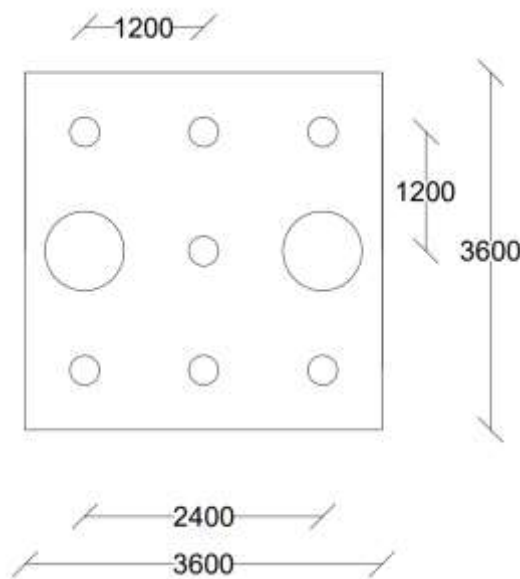
$$\text{Total Daya Dukung} = (3859,33016 \times 2 \times 0,792) + (227,18 \times 7 \times 0,79)$$

$$\text{Total Daya Dukung} = 6113,1789 + 1256,3054$$

$$\text{Total Daya Dukung} = 7369,4843 \text{ kN}$$

$$\text{Cek Aksial} = 7369,48 > 7336,45 \text{ (memenuhi)}$$

Hasil dari perhitungan didesain seperti Gambar 4.



Gambar 4. Kombinasi tiang bor dengan *strauss pile*

Tabel Perbandingan

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan untuk *Micropile* dan *Strauss Pile* maka dapat dibandingkan sesuai dengan Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan *micropile* dengan *strauss pile*

Kategori	<i>Micropile</i>	<i>Strauss Pile</i>
Besar Reduksi	5,81 %	21%
Jumlah Tiang Tambahan	1 tiang	7 tiang
Tambahan Daya Dukung	498,3702 kN	179,4722 kN

Estimasi Biaya Jasa	Rp. 510.000/meter	Rp. 75.000/ meter
Estimasi Waktu Pengerjaan	4 hari	1 minggu

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah diperoleh, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan, didapati bahwa penelitian ini sebelumnya akan didirikan bangunan apartemen dengan pembebanan 6113,7142 kN sehingga dari perhitungan hanya membutuhkan 2 tiang bor dengan daya dukung 3859,3301 kN tiap tiang.
2. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui terjadi kasus dalam penambahan lantai bangunan sehingga daya dukung dari 2 tiang bor tersebut kurang sehingga peneliti memberikan solusi dalam menambahkan titipan tiang kecil yaitu *micropile* dan juga *strauss pile*.
3. Berdasarkan hasil pengolahan data, didapati bahwa dalam melakukan kombinasi dengan *micropile* hanya membutuhkan 1 tiang tambahan, sedangkan saat melakukan kombinasi dengan *strauss pile* membutuhkan 7 tiang tambahan.
4. Berdasarkan hasil perhitungan, maka didapatkan 1 tiang *micropile* tersebut memiliki daya dukung sebesar 529,11160 kN. Namun karena jarak yang dipasang terhadap 2 tiang bor tersebut terlalu dekat yaitu 1,5D maka tentu saja akan menciptakan *influence area* yang mereduksi daya dukung dari 2 tiang bor dan 1 *micropile* tersebut. Dari penelitian ini juga diketahui bahwa reduksi dari *micropile* adalah sebesar 5,81% yang membuat daya dukung dari *micropile* menjadi 479,18 kN.
5. Berdasarkan hasil perhitungan, maka didapatkan 1 tiang *strauss pile* tersebut memiliki daya dukung sebesar 227,18 kN. Dalam 1 *pile cap* ini dihitung terdapat 7 *strauss pile* dan 2 tiang bor. Jarak yang dipasang pun dekat yaitu 1,5 D sehingga hasil reduksi dari 1 tiang *strauss pile* adalah sebesar 21% yang membuat daya dukung dari 1 *strauss pile* menjadi 179,4722 kN.
6. Dari penelitian ini, peneliti menyimpulkan juga bahwa penggunaan tiang *micropile* lebih baik daripada *strauss pile*. Hal ini dikarenakan lebih banyak kelebihan yang dapat dilakukan seperti pengerjaan yang lebih cepat, daya dukung yang dihasilkan pun lebih besar, serta jumlah tiang hanya sedikit dalam 1 *pile cap*. Kekurangan dari *micropile* ini hanya biaya yang lebih mahal saja, namun jika terjadi kasus seperti ini efisiensi dalam mengejar waktu selesai proyek lebih diutamakan.

Saran

1. Perancang dalam mendirikan suatu fondasi bangunan harus mampu memperkirakan masalah yang mungkin terjadi baik yang terjadi secara disengaja ataupun tidak.
2. Perancang harus mengetahui bahwa dalam melakukan penyisipan tiang fondasi dapat dilakukan dengan tiang fondasi yang ukurannya lebih kecil.
3. Perancang harus mampu memilih tiang sisipan yang tentunya tetap aman serta harus memperhitungkan efisiensi baik dari segi waktu, segi biaya, dan segi lokasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E. (1991). *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design*. Singapore: McGraw-Hill Companies.
- Das, B. M. (2014). *Principles of Foundation Engineering*. Global Engineering: Christopher M.Shortt.
- Federal Highway Administration. (2005). *Micropile Design and Construction*. Washington, D.C.
- Freitas, M. (2014). Perencanaan Pondasi Strauss Pada Gedung Baru Pascasarjana Fakultas Hukum Universitas Brawijaya. *Institut Teknologi Nasional Malang*.