

## HUBUNGAN EFISIENSI KAPASITAS DUKUNG TERHADAP JARAK ANTAR TIANG PADA KELOMPOK TIANG

Shaq Qorull'Ali Mahmud<sup>1</sup> dan Ali Iskandar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*Shaqruli29@gmail.com*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*Ali.iskandar1999@gmail.com*

Masuk: 03-01-2024, revisi: 12-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 07-02-2024

### ABSTRACT

*This study aims to determine the most effective bored pile spacing to support the load of a structure. This study used a group pile configuration with dimensions 10x10, 30 m long, and 1 m diameter. The distance between the piles plays a role in the bearing capacity of the bored pile group foundation. Therefore, research was conducted with a distance between poles of 1.5D, 2D, 2.5D, and 3D. To determine the efficiency value of each pile spacing, the pile group efficiency was calculated using 6 different methods. This study aims to compare 6 methods of calculating the efficiency of group piles with varying distances between piles. So that it can be known the distance between piles and the most effective method of calculating the efficiency of the pile group based on the 3D finite element method in clay soil. For an economical design, it is necessary to consider the distance between piles in a group of piles.*

*Keywords: Bored pile foundation; pile spacing; pile group efficiency*

### ABSTRAK

Penelitian ini memiliki maksud untuk memahami jarak tiang bor yang tepat dan efektif untuk mendukung beban suatu struktur. Penelitian ini menggunakan konfigurasi tiang kelompok dengan dimensi 10x10, panjang tiang 30 m, dan diameter tiang sebesar 1 m. Jarak antara tiang pada suatu kelompok tiang mempengaruhi daya dukung dari suatu fondasi kelompok tiang. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan jarak antar tiang digunakan 1,5D, 2D, 2,5D, dan 3D. Untuk mengetahui nilai efisiensi dari setiap jarak antar tiang, dilakukan perhitungan efisiensi kelompok tiang menggunakan 6 metode yang berbeda dimana salah satunya menggunakan metode elemen hingga 3D. Hal ini bertujuan untuk membandingkan 6 metode perhitungan efisiensi tiang kelompok dengan jarak antar tiang yang bervariasi. Sehingga dapat diketahui jarak antar tiang dan metode perhitungan efisiensi kelompok tiang yang paling efektif berdasarkan metode elemen hingga 3D pada tanah lempung. Untuk desain yang ekonomis, perlu dipertimbangkan jarak antar tiang pada suatu kelompok tiang.

Kata kunci: Tiang bor; jarak antara tiang; efisiensi tiang kelompok

## 1. PENDAHULUAN

Dalam perencanaan desain fondasi pada bangunan bertingkat, tiang fondasi jarang digunakan sebagai tiang fondasi Tunggal melainkan sebagai suatu kelompok tiang. Untuk meminimalkan biaya *pilecap* dalam suatu tiang kelompok, biasanya tiang dalam kelompok akan dibuat sedekat mungkin dengan jarak yang biasa digunakan berkisar 2.5D dan 3.5D dari sumbu ke sumbu (Viggiani et al., 2012).

Pentingnya penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk memahami bagaimana distribusi beban di antara tiang-tiang kelompok bor dapat dioptimalkan melalui penentuan jarak yang tepat antar tiang. Pengaruh jarak antar tiang menjadi pokok perhatian karena dapat mempengaruhi daya dukung tiang secara keseluruhan, yang pada gilirannya akan mempengaruhi kinerja keseluruhan struktur fondasi. Terdapat berbagai metode perhitungan untuk menghitung nilai efisiensi dari kelompok tiang. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan 6 metode perhitungan efisiensi tiang kelompok dengan jarak antar tiang yang bervariasi. Sehingga dapat diketahui jarak antar tiang dan metode perhitungan efisiensi kelompok tiang manakah yang paling efektif berdasarkan metode elemen hingga 3D pada tanah lempung.

### Tanah lempung

Tanah lempung adalah suatu jenis tanah halus dan memiliki ukuran partikel yang kecil, yaitu kurang dari 0,005 milimeter. Pada tanah lempung terdapat sifat kohesi dan plastisitas yang tidak dimiliki oleh pasir dan kerikil. Sifat kohesi pada tanah lempung memungkinkan partikel-partikelnya saling melekat dan sifat plastisitas menyebabkan

tanah dapat mengalami perubahan bentuk tanpa mengurangi volume atau keretakan dari tanah. Konsistensi dari tanah lempung dapat dikategorikan menjadi 6 jenis, yaitu sangat halus, halus, sedang, kaku, sangat kaku, dan keras. Jenis tanah lempung tersebut dikategorikan berdasarkan nilai N-SPT nya (Terzaghi & Peck, 1996). Nilai konsistensi dari tanah lempung dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsistensi lempung berdasarkan nilai N-SPT (Terzaghi & Peck, 1996)

N Value (blows/ft or 305 mm)	Konsistensi
0 hingga 2	Sangat Halus
2 hingga 4	Halus
4 hingga 8	Sedang
8 hingga 15	Kaku
15 hingga 30	Sangat Kaku
> 30	Keras

### Daya dukung tiang

Pada perhitungan efisiensi tiang kelompok diperlukan nilai dari kapasitas dukung dari sebuah tiang. Perhitungan kapasitas dukung tiang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 yang merupakan akumulasi dari kapasitas dukung selimut tiang & kapasitas dukung ujung tiang. (Rahardjo, 2013):

$$Q_u = \frac{Q_p + Q_s}{SF} \quad (1)$$

Untuk mendapatkan nilai  $Q_p$  dan  $Q_s$  dari suatu tiang, maka dapat digunakan persamaan dari Reese & Wright untuk tanah kohesif dapat dilihat pada Persamaan 2-4.

$$Q_p = 9 \times C_u \times A_p \quad (2)$$

$$Q_s = a \times C_u \times P \times L \quad (3)$$

$$C_u = N_{SPT} \times \frac{2}{3} \times 10 \quad (4)$$

dengan  $Q_u$  = kapasitas dukung maksimum,  $A_p$  = luas permukaan tiang ( $m^2$ ),  $C_u$  = kohesi tanah ( $ton/m^2$ ),  $L$  = kedalaman tiang yang ditinjau,  $P$  = keliling tiang (m),  $Q_p$  = kapasitas dukung ujung dari tiang,  $Q_s$  = kapasitas dukung selimut dari tiang,  $SF$  = safety factor tiang, dan  $a$  = faktor koreksi (0,55).

### Efisiensi tiang kelompok

Efisiensi tiang kelompok adalah perbandingan antara kapasitas dukung tiang kelompok dengan kapasitas dukung tiang tunggal. Nilai dari efisiensi tiang kelompok dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jarak antar tiang, jumlah, diameter, dan panjang dari suatu tiang. Efisiensi tiang kelompok dapat didefinisikan pada Persamaan 5 (Rahardjo, 2013).

$$\eta = \frac{\text{kapasitas dukung tiang kelompok}}{\text{total tiang} \times \text{kapasitas dukung tiang}} \quad (5)$$

dengan  $\eta$  = efisiensi tiang kelompok.

Terdapat beberapa metode untuk mendapatkan nilai dari efisiensi tiang kelompok yang dapat digunakan. Metode-metode untuk menghitung nilai dari efisiensi tiang kelompok dapat diperoleh pada Persamaan 6-10.

### Metode perhitungan das

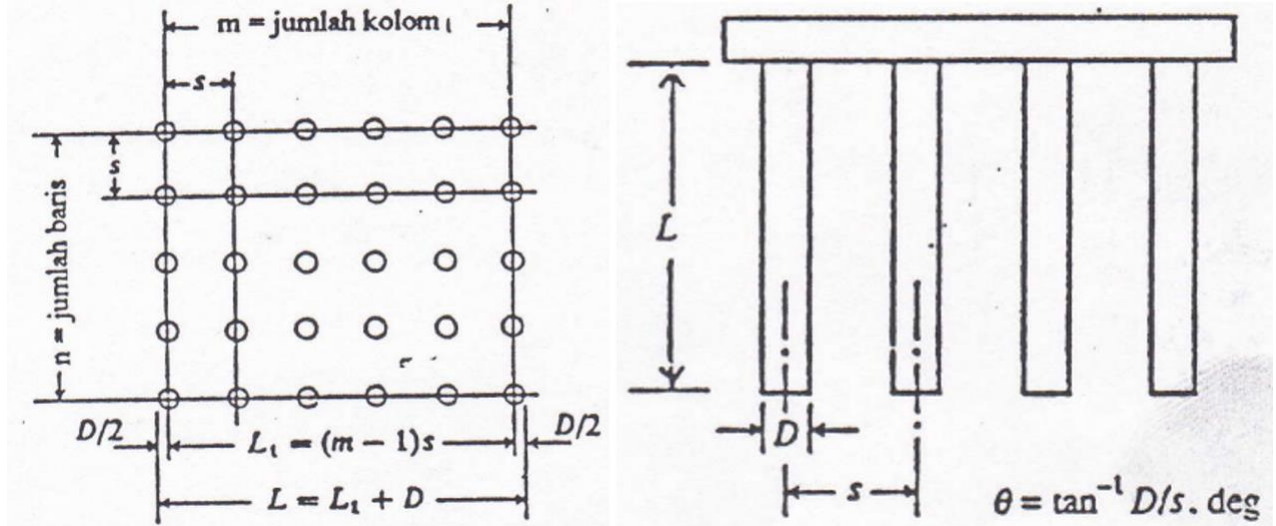
Formula Das berdasarkan dari akumulasi kapasitas dukung gesekan dari tiang kelompok menjadi suatu kesatuan di dalam blok tiang. Metode perhitungan Das dikutip dari buku Das, B. M. (2016) dapat dilihat pada Persamaan 6.

$$\eta = \frac{2 \times (m + n - 2) \times s + 4 \times D}{p \times m \times n} \quad (6)$$

dengan  $D$  = diameter tiang,  $m$  = total tiang di blok baris kelompok,  $n$  = total tiang di blok kolom kelompok,  $p$  = keliling tiang, dan  $s$  = jarak antar tiang.

### Metode perhitungan Converse - Labarre

Metode ini merupakan salah satu metode umum yang digunakan untuk menghitung nilai efisiensi suatu kelompok tiang. Kelebihan dari metode Converse – Labarre adalah mudah untuk dilakukan dan data yang diperlukan tidak terlalu kompleks. Penggambaran dari metode Converse – Labarre dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Efisiensi kelompok tiang menurut Converse - Labarre

Metode perhitungan ini dapat diketahui pada Persamaan 7.

$$\eta = 1 - \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right] \tan^{-1} D/s \quad (7)$$

### Metode perhitungan Los Angeles

Metode Los Angeles adalah salah satu dari sekian banyak metode yang sering dipakai untuk menghitung efisiensi kelompok tiang. Perhitungan ini berdasarkan pada asumsi bahwa tiang kelompok berperilaku sebagai suatu kesatuan yang kaku. Metode perhitungan Los Angeles dapat dilihat pada Persamaan 8.

$$\eta = 1 - \frac{D \times (m \times (n-1) + n \times (m-1) + (m-1) \times (n-1) \times \sqrt{2})}{n \times s \times m \times n} \quad (8)$$

### Metode Seiler – Keeney

Metode Los Angeles adalah salah satu dari sekian banyak metode yang sering dipakai untuk menghitung efisiensi kelompok tiang. Perhitungan ini berdasarkan pada asumsi bahwa kelompok tiang berperilaku sebagai suatu kesatuan yang elastis. Formula perhitungan Seiler - Keeney dapat dilihat pada Persamaan 9.

$$\eta = \left[ 1 - \frac{36 \times s \times (m+n-2)}{(75 \times s^2 - 7) \times (m+n-1)} \right] + \frac{0.3}{m+n} \quad (9)$$

### Metode Terzaghi & Peck

Metode Terzaghi & Peck mengasumsikan tanah yang melingkupi perimeter kelompok tiang bertindak sebagai blok yang kaku ketika kelompok tiang tersebut gagal. Jadi, kapasitas kelompok dihitung sebagai jumlah dari daya dukung ujung dari total luas penampang (penampang blok), dan tahanan kulit ditentukan pada perimeter luar blok (Ahmadi & Mahvelati, 2018). Metode perhitungan ini dapat dilihat pada Persamaan 10-11.

$$\frac{1}{\eta^2} = 1 + \frac{n^2 + P^2}{P_B^2} \quad (10)$$

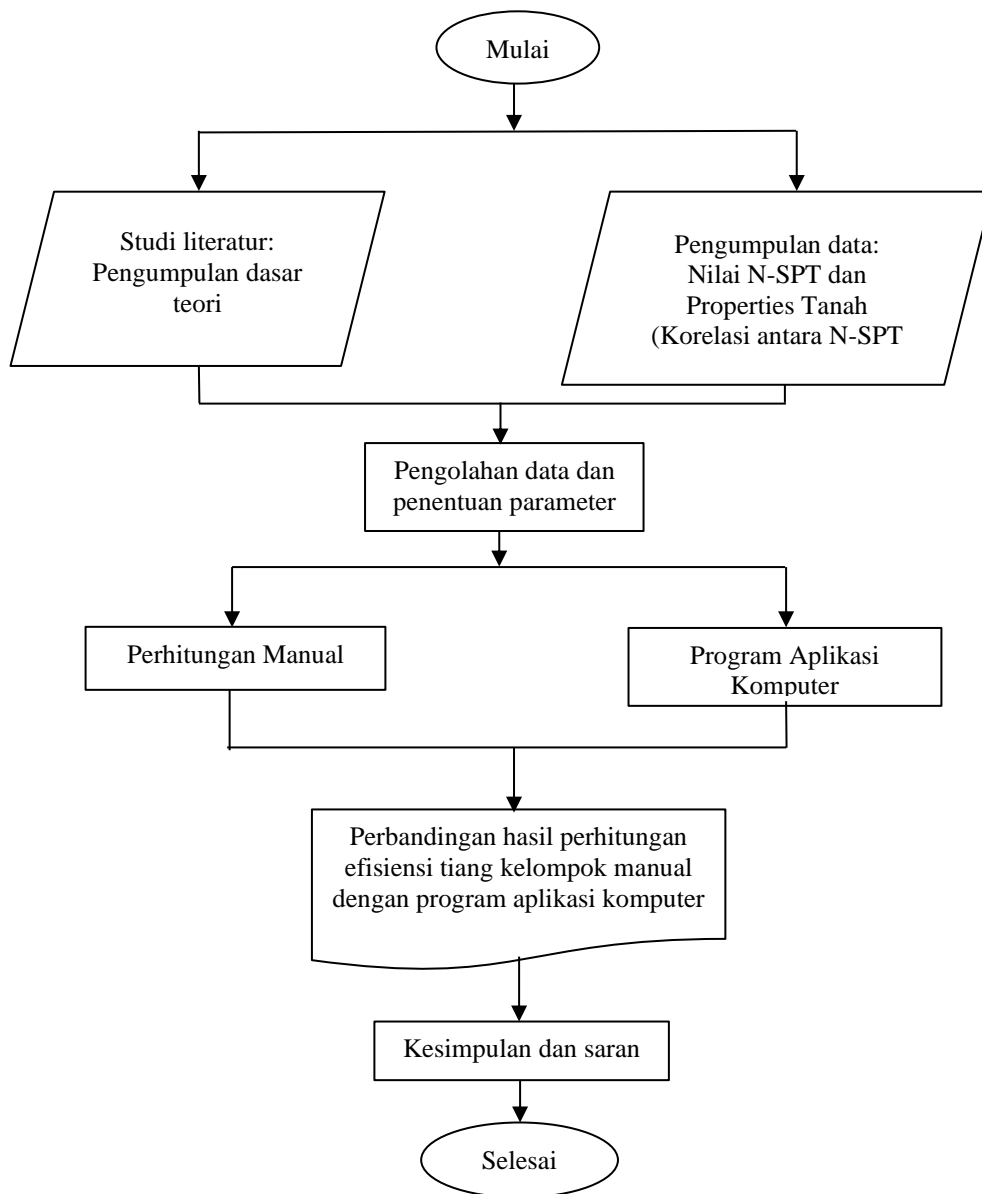
$$P_B = B_r L_r c N_c + (B_r + L_r) L_c \quad (11)$$

denga P = kapasitas ultimit tiang, dan  $P_B$  = kapasitas ultimit blok.

## 2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian (Gambar 2) yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan topik penelitian yang akan dianalisis.
2. Melakukan studi literatur dari berbagai sumber seperti buku dan jurnal yang dapat mendukung penyusunan penelitian ini.
3. Pada penelitian ini, data yang digunakan merupakan nilai tipikal dari parameter tanah.
4. Menghitung daya dukung tiang dilakukan secara manual dan menggunakan program aplikasi komputer. Perhitungan daya dukung tiang secara manual menggunakan metode Reese & Wright. Sedangkan, perhitungan pada program aplikasi komputer berdasarkan metode elemen hingga 3D. Selanjutnya, dilakukan perhitungan efisiensi tiang kelompok dengan rumus-rumus dari buku Rahardjo, P. P. (2013).
5. Melakukan perbandingan hasil perhitungan efisiensi tiang kelompok.
6. Membuat kesimpulan dan saran secara menyeluruh dari hasil penelitian sehingga memiliki dampak positif bagi Masyarakat.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter tanah pada perhitungan ini menggunakan tanah berjenis lempung berkonsistensi medium dengan nilai N-SPT 8. Data tanah yang digunakan merupakan nilai tipikal parameter tanah. Data parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter tanah

Type Of Soil	Consistency	N-SPT	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	E (kN/m <sup>2</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	v
Clay	Medium	8	19	21	10000	50	0,3

#### Daya dukung tiang

Dari nilai parameter tanah yang diperoleh, dapat diperhiungkan daya dukung ujung dan selimut dari tiang. Perhitungan daya dukung tiang menggunakan metode Reese & Wright. Hasil perhitungan daya dukung tiang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Daya dukung tiang

Kedalaman (m)	Daya Dukung Ujung (kN)	Daya Dukung Selimut (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)
30	370	2712	3082	1007

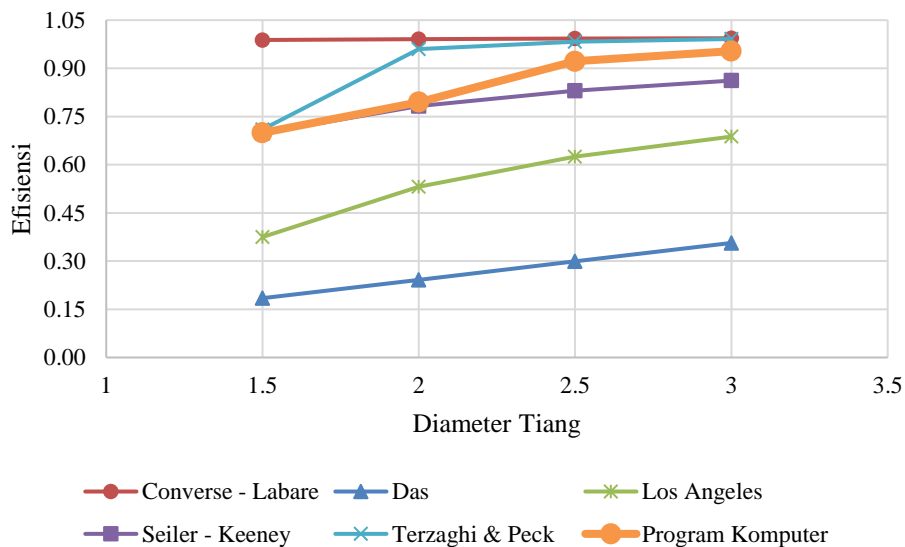
#### Efisiensi tiang kelompok

Efisiensi tiang kelompok dihitung menggunakan 6 variasi metode perhitungan. Hasil perbandingan nilai efisiensi tiang kelompok dari beberapa metode perhitungan memiliki hasil yang berbeda-beda dikarenakan jarak antar tiang dan metode pendekatan yang berbeda di setiap metodenya. Pada Tabel 4 menampilkan hasil perbandingan efisiensi tiang kelompok dari berbagai metode dengan jarak 1,5D, 2D, 2,5D, dan 3D.

Tabel 4. Perbandingan nilai efisiensi

Metode	1,5D	2D	2,5D	3D
Converse - Labarre	0,9882	0,9907	0,9924	0,9936
Formula Das	0,1846	0,2419	0,2992	0,3565
Elemen Hingga 3D	0,6992	0,7946	0,9217	0,9535
Formula Los Angeles	0,3749	0,5312	0,6250	0,6875
Formula Terzaghi & Peck	0,7098	0,9596	0,9825	0,9913
Formula Seiler - Keeney	0,6987	0,7822	0,8303	0,8618

Hasil dari perhitungan nilai efisiensi tiang kelompok diplot ke dalam grafik dan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 3. Perbandingan nilai efisiensi tiang kelompok

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi, dapat diketahui nilai daya dukung tiang kelompok yang memiliki hasil paling optimum untuk digunakan berdasarkan metode elemen hingga 3D. Hasil perbandingan daya dukung tiang kelompok dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Daya dukung tiang kelompok (kN) pada jarak tiang yang bervariasi

Metode	1,5D	2D	2,5D	3D
Converse - Labarre	99511,74	99763,49	99934,68	10005,52
Formula Das	18589,22	24359,33	30129,44	35899,55
Elemen Hingga 3D	70409,44	80016,22	92815,19	96017,45
Formula Los Angeles	37752,43	53491,84	6293,5	69231,25
Formula Terzaghi & Peck	71476,86	96631,72	98937,75	99823,91
Formula Seiler - Keeney	70359,09	78767,54	83611,21	86783,26

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa nilai efisiensi tiang kelompok dengan metode das memiliki nilai yang paling kecil dibandingkan metode-metode lainnya. Dari hasil perhitungan juga dapat dilihat bahwa pada jarak 2,5D – 3D, beberapa metode sudah memiliki hasil yang mendekati nilai 1 sesuai dengan dengan syarat jarak antar tiang yang diusulkan oleh Rahardjo (2013). Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa jarak tiang yang efektif pada suatu kelompok tiang adalah tiang yang memiliki jarak 2,5D & 3D. Hal tersebut disebabkan oleh nilai efisiensi kelompok tiang yang didapat perhitungan efisiensi pada jarak 2,5D & 3D menunjukkan nilai yang paling mendekati 1 (satu). Pada jarak 2,5D dapat digunakan metode Seiler – Keeney sebesar 0,8303 dan pada jarak 3D dapat disarankan menggunakan metode yaitu metode Terzaghi & Peck sebesar 0,9913. Kedua metode ini dipilih karena memiliki hasil yang paling mendekati metode perhitungan elemen hingga 3D.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan manual dan program komputer yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa hasil perhitungan efisiensi kelompok tiang yang didapatkan memiliki hasil yang berbeda-beda pada berbagai metode perhitungan dengan jarak antar tiang yang sama.
2. Berdasarkan hasil perhitungan nilai efisiensi kelompok tiang menggunakan metode Das didapatkan hasil yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan menggunakan metode yang lainnya pada jarak 1,5D, 2D, 2,5D, dan 3D.
3. Berdasarkan hasil penelitian, pada jarak 2,5D dimana jarak tersebut merupakan jarak yang umum digunakan untuk jarak antar tiang. Dapat digunakan metode Seiler – Keeney dimana metode tersebut memiliki hasil yang selisihnya lebih kecil dibandingkan metode lainnya terhadap metode elemen hingga 3D.

##### Saran

1. Pada metode perhitungan elemen hingga menggunakan program komputer, perlu dilakukan *refine size mesh* dengan nilai yang lebih kecil (*very fine*) sehingga hasil perhitungan yang didapatkan menjadi lebih tepat dibandingkan dengan ukuran *mesh* yang lebih besar.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian yang sama terhadap efisiensi tiang kelompok, namun menggunakan konfigurasi tiang dengan bentuk yang tidak umum/tidak beraturan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, M. M., & Mahvelati, S. (2018). A new approach for group efficiency of drilled shafts in sand subjected to axial loading. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 12(2), 172–184. <https://doi.org/10.1080/19386362.2016.1259095>
- Das, B. M. (2016). *Principles Of foundation engineering* (edisi ke 8). Timothy L. Anderson.
- Rahardjo, P. P. (2013). *Manual pondasi tiang* (edisi ke 3). Universitas Parahyangan.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., & Mesri, G. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*. John Wiley & Sons.
- Viggiani, C., Mandolini, A., & Russo, G. (2012). *Piles and pile foundation*. Spoon Press.