

## ANALISIS DAYA DUKUNG DAN EFISIENSI TIANG PADA TANAH PASIR PADAT DAN PASIR LEPAS DENGAN KONFIGURASI TIANG 4, 9, 16

Christopher Benjiro<sup>1</sup> dan Alfred Jonathan Susilo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*Christopher.325190034@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*alfred@ftuntar.ac.id*

Masuk: 19-01-2023, revisi: 06-03-2023, diterima untuk diterbitkan: 19-05-2023

### ABSTRACT

*The bigger the building, the more piles on the group pile foundation to support the external load that will work on the group pile foundation. If the distance between the piles in the pile group foundation is too large, the piles may not work as a unit. Meanwhile, if the distance between the piles in the group pile foundation is getting smaller, there will be pressure bulbs or stresses that experience overlap so that the bearing capacity is not maximum. So the purpose of writing this journal is to determine the most effective distance between piles on loose sand and dense sand, as well as with various types of piles such as drilled piles and piles. From the results of this study, the carrying capacity and efficiency values for sandy soils were obtained, the carrying capacity values for sandy soils were greater than loose sand, and the efficiency values for dense sand were greater than the efficiency values for loose sandy soils. On sandy soils, the efficiency of the piles is greater than that of the drilled piles. On sandy soils, the effective spacing of the piles is 4-5 times the pile diameter.*

*Keywords: piles; distance of adjacent pile; pile group; pile capacity; efficiency; sand soils*

### ABSTRAK

Semakin besar bangunan maka jumlah tiang pada fondasi tiang kelompok akan semakin banyak untuk mendukung beban luar yang akan bekerja diatas fondasi tiang kelompok tersebut. Jika jarak antara tiang dalam fondasi tiang kelompok terlalu tiang belum tentu bisa bekerja sebagai satu kesatuan. Sedangkan jika jarak tiang dalam fondasi tiang kelompok semakin kecil maka akan ada *pressure bulbs* atau tegangan yang mengalami *overlap* sehingga daya dukung tidak maksimal. Sehingga tujuan dari penulisan jurnal ini ada untuk menentukan berapa nilai jarak antara tiang yang paling efektif pada tanah pasir lepas dan pasir padat, serta dengan berbagai jenis tiang seperti tiang bor dan tiang pancang sehingga fondasi tiang kelompok dapat mendukung bebannya dengan baik. Dari hasil penelitian ini didapat nilai daya dukung dan efisiensi pada tanah pasir, nilai daya dukung pada tanah pasir pada lebih besar dari pada pasir lepas, nilai efisiensi pada pasir padat lebih besar dari pada nilai efisiensi pada tanah pasir lepas. Pada tanah pasir nilai efisiensi tiang pancang lebih besar dari pada efisiensi tiang bor. Pada tanah pasir jarak tiang yang efektif 4-5 kali diameter tiang.

Kata kunci: tiang; jarak antara tiang; daya dukung; fondasi tiang kelompok; efisiensi tiang kelompok

## 1. PENDAHULUAN

Menurut Hardiyatmo (1996) pada umumnya bangunan terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu bagian struktur atas, dan bagian struktur bawah. Pada bagian bawah dari setiap bangunan membutuhkan fondasi, yang merupakan pendukung dari dasar bangunan tersebut. Fondasi merupakan bagian yang terendah dari bangunan berfungsi untuk meneruskan beban dari bangunan ke tanah atau batuan yang terdapat di bawahnya. Secara garis besar fondasi dibagi menjadi dua, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal dapat didefinisikan sebagai fondasi yang mendukung bebannya secara langsung, sedangkan fondasi dalam merupakan fondasi yang meneruskan beban dari bangunan sampai ketanah keras atau batu yang letaknya jauh dari permukaan.

Menurut Hardiyatmo (1996) fondasi merupakan bagian terendah dari bangunan yang berfungsi untuk meneruskan beban bangunan kedalam tanah atau batuan keras yang berada dibawahnya. Secara umum fondasi diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal dapat didefinisikan sebagai fondasi yang mendukung beban secara langsung, contohnya seperti: fondasi telapak, fondasi memanjang, dan fondasi rakit. Fondasi dalam dapat didefinisikan sebagai fondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak jauh dari permukaan, contoh fondasi dalam seperti fondasi sumuran dan fondasi tiang.

Menurut Das dan Sivakugan (2018) fondasi tiang merupakan bagian struktur yang berfungsi untuk menyalurkan beban bangunan ke dalam tanah pada kedalaman tertentu. fondasi tiang dapat terbuat dari baja, beton, dan kayu. Fondasi tiang memiliki kedalaman yang lebih dalam dan membutuhkan biaya yang lebih besar dari pada fondasi dangkal.

Menurut Chiarli dan Susilo (2021), semakin bertambah besar bangunan maka besar kemungkinan bahwa akan diperlukan lebih banyak tiang untuk menahan beban luar. Namun ada nilai yang menyebabkan reduksi dari kekuatan tiang kelompok tersebut, biasanya reduksi ini juga dapat disebut sebagai efisiensi tiang kelompok.

Menurut Hardiyatmo (2008) jika ditinjau berdasarkan cara mendukung bebannya tiang dapat dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Tiang dukung Ujung (*end bearing pile*)

Tiang dukung Ujung (*end bearing pile*) adalah tiang yang daya dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Pada umumnya tiang dukung ujung atau end bearing pile berada dalam zona tanah yang lunak yang berada diatas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebih, kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan oleh tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang.

2. Tiang geser (*friction pile*)

Tiang geser (*friction pile*) adalah tiang yang kapasitas daya dukungnya ditentukan oleh gaya geser antara dinding tiang dan tanah di sekitarnya.

Menurut Murthy (2002) Tiang kelompok adalah gabungan dari beberapa tiang tunggal yang diikat menjadi satu bagian oleh pile cap. Sangat jarang pada sebuah struktur untuk didirikan diatas tiang tunggal, setidaknya akan ada minimal 3 buah tiang dibawah kolom atau fondasi, hal ini dikarenakan masalah keselarasan dan eksentisitas. Jarak antar kelompok tiang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: *overlap* dari *pressure bulb* pada tiang yang berdekatan, harga dari fondasi, dan efisiensi dari kelompok fondasi tiang.

Alasan mengapa jurnal ini ditulis adalah untuk mengetahui berapakah jarak antara tiang yang paling efisien pada tanah pasir lepas dan pasir padat dengan tiang kelompok bor dan pancang berdasarkan konfigurasinya, yaitu 4, 9, 16 tiang. sehingga dari penelitian ini juga didapat tiang apa yang lebih baik digunakan pada jenis tanah tersebut.

Pada penelitian ini akan dicari daya dukung pada fondasi tiang pancang dan bor pada tanah pasir. Pada tiang pancang daya dukung ujung dihitung berdasarkan metode Meyerhof seperti pada Persamaan 1.

$$Q_p = A_p q_p = A_p 40 N_{60} \quad (1)$$

dengan  $Q_p$  = daya dukung ujung tiang (kN),  $N_{60}$  = rata rata nilai  $N_{spt}$  pada ujung tiang,  $A_p$  = Luas permukaan ( $m^2$ ).

Daya dukung selimut tiang pancang pada tanah pasir dapat dihitung dengan Persamaan 2.

$$Q_s = f_{av} p L = (0.02 p_a \bar{N}_{60}) p L \quad (2)$$

dengan  $Q_s$  = daya dukung selimut tiang (kN),  $p$  = keliling tiang (m),  $p_a$  = tekanan atmosfer ( $100 \text{ kN/m}^2$ ),  $\bar{N}_{60}$  = Nilai  $N_{spt}$  pada kedalaman tertentu,  $L$  = kedalaman tiang (m).

Daya dukung ujung tiang bor pada tanah pasir dapat dihitung dengan metode Reese and Wright pada tahun 1977 seperti pada Persamaan 3.

$$Q_p = q_p A_p \quad (3)$$

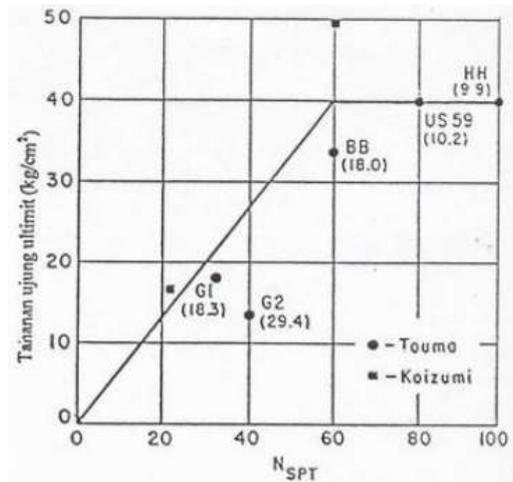
dengan  $Q_p$  = daya dukung ujung tiang (kg),  $q_p$  = tahanan ujung per satuan luas ( $\text{kg/cm}^2$ ),  $A_p$  = Luas permukaan ( $\text{cm}^2$ ).

Daya dukung selimut tiang bor pada tanah pasir dapat dihitung dengan Persamaan 4.

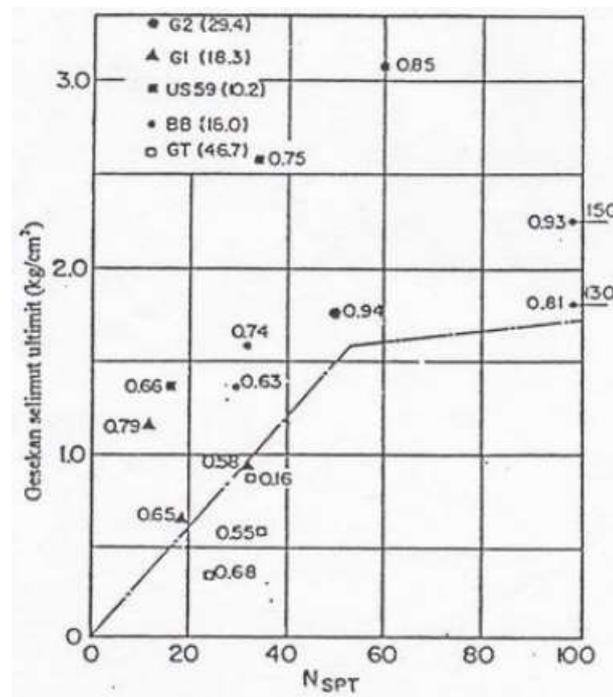
$$Q_s = f L p \quad (4)$$

dengan  $Q_s$  = daya dukung selimut tiang (kg),  $f$  = gesekan selimut tiang per satuan luas,  $L$  = Panjang tiang,  $p$  = keliling penampang tiang.

Perkiraan daya dukung ujung tiang ultimit pada tanah non kohesif dapat dilihat pada Gambar 1. Korelasi antara tahanan selimut ultimit dengan nilai  $N_{spt}$  dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1 Tahanan ujung ultimit pada tanah non kohesif (Paulus P, 2013)



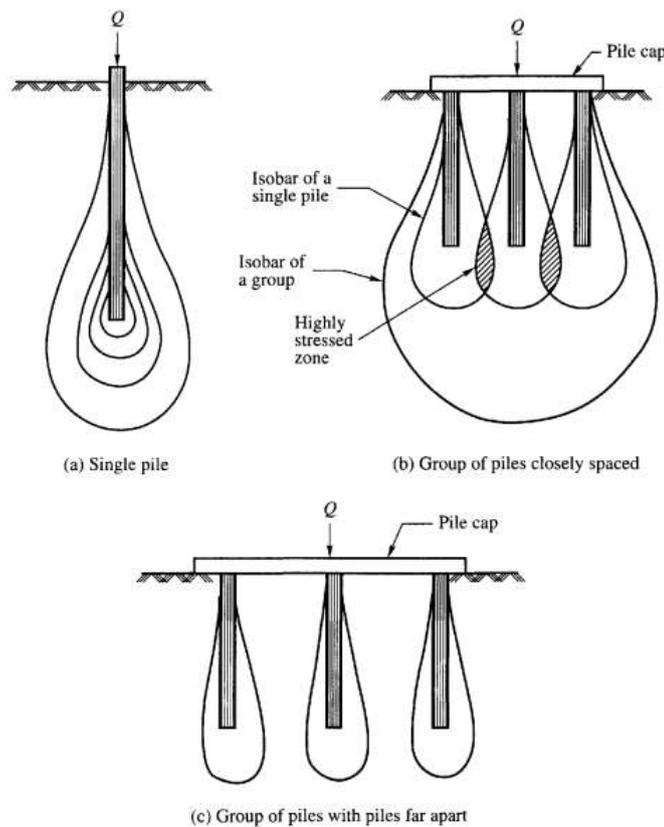
Gambar 2 Korelasi antara tahanan selimut ultimit dengan nilai  $N_{spt}$  (Paulus P, 2013)

### Tiang kelompok

Tiang kelompok merupakan gabungan dari beberapa tiang tunggal yang diikat menjadi satu bagian dengan menggunakan *pile cap*, menurut Murthy (2002) sangat jarang pada sebuah struktur untuk didirikan diatas tiang tunggal, pada umumnya setidaknya ada tiga buah tiang dibawah kolom atau fondasi. Hal ini dikarenakan oleh keselarasan dan eksentrisitas pada fondasi tiang tersebut.

Menurut Murthy (2002) ada beberapa hal yang mempengaruhi jarak antar tiang (Gambar 3), yaitu:

1. *Overlapping pressure bulbs* pada tiang yang berdekatan.
2. Harga dari fondasi.
3. Efisiensi dari tiang kelompok.



Gambar 3. *Pressure bulbs* pada fondasi tiang; (a) tiang tunggal, (b) tiang kelompok yang berdekatan, dan (c) tiang kelompok yang berjauhan (Murthy, 2002)

Dapat dilihat pada gambar (a) merupakan gambar *pressure bulb* pada tiang tunggal akibat beban  $Q$  diatas tiang tunggal, lalu dapat dilihat pada gambar (b) Ketika tiang diletakan sangat berdekatan tegangan pada tiang mengalami *overlapping* sehingga tanah diantara tiang sangat tertekan, dengan adanya *pressure bulbs* yang mengalami *overlapping* fondasi tiang kelompok akan mengalami kegagalan antara tanah yang mengalami kegagalan atau fondasi tiang kelompok yang akan mengalami penurunan yang berlebih. Oleh karena hal ini perlu direncanakan jarak antara tiang yang baik sehingga kegagalan pada fonadsi tiang kelompok tidak terjadi. Dapat dilihat pada gambar (c) ketika tiang diletakan secara berjauhan juga tidak efisien hal ini akan membuat biaya yang dibutuhkan untuk memperkaku pile cap akan semakin besar selain itu juga dengan jarak antar tiang yang terlalu besar tidak akan memberikan daya dukung yang lebih terhadap tiang.

Jarak antara tiang dipengaruhi oleh cara memasang tiang dan jenis tanah tempat fondasi tiang tersebut bertumpu. Pemasangan tiang dapat dilakukan dengan cara pemancangan dan pengeboran. Jika tiang dipasang dengan cara pemancangan maka *pressure bulbs* yang akan mengalami *overlap* akan semakin besar karena perpindahan dari tanah. Jika pada proses pemancangan tiang kelompok memadatkan tanah diantara tiang, contohnya pada tanah pasir yang tidak padat, maka tiang dapat diletakan lebih berdekatan, tetapi jika tiang dipancang pada tanah lempung atau lanau, pemancangan tidak memadatkan tanah disekitarnya. Pemancangan pada tanah lempung akan membuat tanah diantara tiang naik dan mungkin akan mengangkat *pile cap* atau juga tiang yang dipancang lebih dahulu, sehingga tiang dapat diletakan lebih berjauhan untuk menghindari hal tersebut terjadi. Ketika pemasangan tiang dilakukan dengan cara mengebor, tiang dapat diletakan lebih berdekatan karena tanah didekat tiang tidak mengalami tegangan yang berlebihan.

Untuk tiang kelompok jarak antar tiang yang biasa dipakai berkisar antara 2 kali diameter hingga 6 kali diameter tiang, untuk *friction pile* jarak tiang minimum biasanya 3 kali diameter tiang, untuk *end bearing pile* yang melewati tanah keras jarak minimum antar tiang biasanya 2,5 kali diameter tiang, untuk *end bearing pile* yang melewati tanah keras dan bertumpu pada tanah lempung kaku jarak antar tiang minimum biasanya 3,5 kali diameter tiang, untuk compaction pile jarak minimum antar tiang minimum yang biasa diambil 2 kali diameter tiang.

Menurut Badan Standarisasi Nasional (2017) ada beberapa hal yang harus diperhatikan pada saat menentukan jarak antara tiang yaitu heave dan pemadatan yang akan terjadi, dan jarak antara tiang juga harus cukup jauh untuk

memungkinkan pemancangan tidak merusak tiang itu sendiri ataupun struktur bangunan disekitarnya. Jarak antara tiang ditentukan oleh:

1. Metode pemasangan tiang (dipancang atau dibor).
2. Daya dukung kelompok tiang.

Untuk fondasi tiang jarak antara tiang tidak boleh kurang dari keliling tiang atau juga untuk tiang yang berbentuk lingkaran jarak antara tiang tidak boleh kurang dari 2,5 kali diameter tiang. Selain itu juga menurut Budhu (2010) jarak antara tiang tidak boleh kurang dari 2 kali diameter tiang. Berdasarkan jurnal granular, jarak tiang minimum adalah 2,5 kali diameter, tetapi pada umumnya jarak antara tiang yang dipakai 3 kali diameter sampai 3,5 kali diameter tiang. Menurut Sang dan Sentosa (2021), dalam menentukan jarak antara tiang ada beberapa faktor yang menentukan, seperti fungsi tiang, klasifikasi tanah, dan peraturan pembangunan pada setiap daerah.

Rumus penurunan tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$Q_{gu} = E_g n Q_s + n Q_p \quad (5)$$

dengan  $n$  = jumlah tiang,  $Q_s$  = daya dukung selimut tiang tunggal,  $Q_p$  = daya dukung ujung tiang,  $E_g$  = efisiensi tiang kelompok. Nilai  $E_g$  dapat dihitung dengan persamaan Converse Labarere pada Persamaan 6.

$$E_g = 1 - \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right] \theta \quad (6)$$

dengan  $n$  = jumlah tiang pada deretan baris,  $m$  = jumlah tiang pada deretan kolom,  $\theta = \arctan \frac{D}{s}$ ,  $D$  = diameter tiang,  $s$  = jarak antara tiang.

Daya dukung tiang kelompok pada umumnya berbeda dengan jumlah dari daya dukung tiang tunggal (Persamaan 7).

$$E_g = \frac{Q_{gall}}{\Sigma Q_{all}} \quad (7)$$

dengan  $Q_{gall}$  = daya dukung fondasi tiang kelompok,  $\Sigma Q_{all}$  = jumlah dari daya dukung tiang tunggal.

## 2. METODE PENELITIAN

Berikut merupakan tahapan yang dilakukan pada penelitian ini:

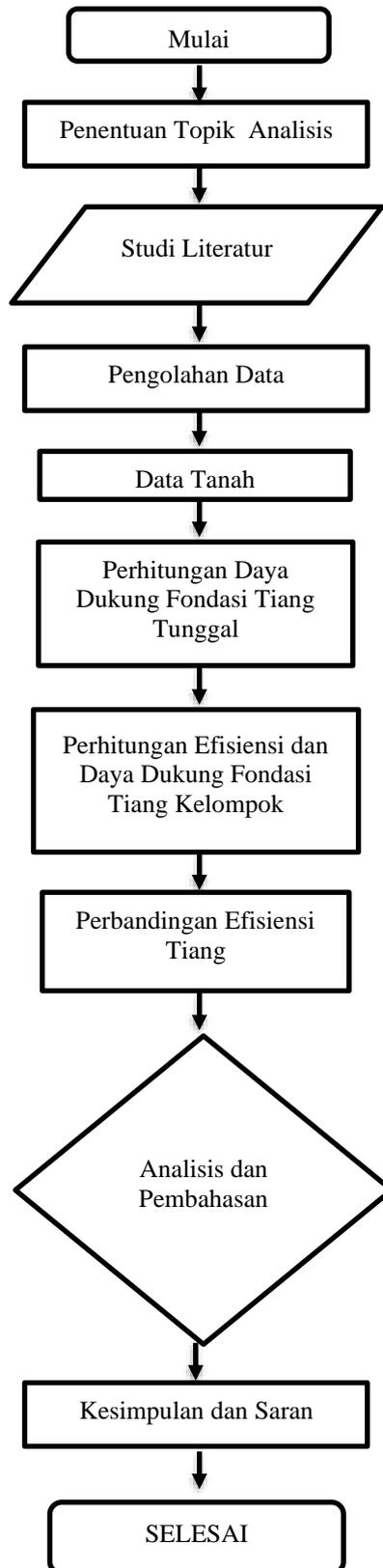
1. Menentukan topik penelitian yang akan dibahas dalam jurnal ini.
2. Mengumpulkan berbagai dasar teori, rumus-rumus, dan hal lainnya dari buku literatur, artikel, jurnal dan lain-lain yang berhubungan dengan penelitian.
3. Menganalisis sifat dari pemasangan tiang pada berbagai jenis tanah.
4. Mengumpulkan parameter tanah yang berguna untuk menghitung daya dukung fondasi tiang.
5. Menghitung daya dukung fondasi tiang berdasarkan jenis tiang dan jenis tanah.
6. Mencari nilai efisiensi tiang kelompok berdasarkan jarak yang telah ditentukan.
7. Melakukan perbandingan dari nilai efisiensi yang telah didapat.
8. Menentukan berapakah jarak antara tiang yang optimal sehingga fondasi tiang kelompok dapat mendukung bebannya dengan baik.
9. Membuat kesimpulan dan saran secara menyeluruh berdasarkan hasil penelitian yang didapat.

Untuk memperjelas metode penelitian dapat dilihat diagram alir pada Gambar 4.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data proyek

Untuk menghitung daya dukung fondasi tiang kelompok dan efisiensinya akan digunakan parameter tanah pada Tabel 1-2.



Gambar 4. Diagram alir

Tabel 1. Parameter desain tanah pasir lepas

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	$\gamma_{sat}(kN/m^3)$	$\gamma_{dry}(kN/m^3)$	$\gamma_{soil}(kN/m^3)$	$\phi (^{\circ})$	Nspt	
0	2	pasir halus	Lepas	17,2	13,2	15,2	25,2	3
2	4	pasir halus	Lepas	17,2	13,2	15,2	25,2	2
4	6	pasir halus	Lepas	17,2	13,2	15,2	25,2	2
6	8	pasir halus	Lepas	17,2	13,2	15,2	25,2	2
8	10	pasir halus	Lepas	17,2	13,2	15,2	25,2	4
10	12	pasir	medium	19,2	15,2	17,2	27,2	18
12	14	pasir	medium	19,2	15,2	17,2	27,2	21
14	16	pasir	medium	19,2	15,2	17,2	27,2	22
16	18	pasir	medium	19,2	15,2	17,2	27,2	26
18	20	pasir	medium	19,2	15,2	17,2	27,2	29
20	22	pasir	Lepas	18,4	14,2	16,4	26,4	8
22	24	pasir halus berlanau	Lepas	18,4	14,2	16,4	26,4	6
24	26	pasir halus	Lepas	18,4	14,2	16,4	26,4	7
26	28	pasir halus	Lepas	18,4	14,2	16,4	26,4	8
28	30	pasir halus	Lepas	18,4	14,2	16,4	26,4	8
30	32	pasir halus	Lepas	17,6	13,6	15,6	25,8	9
32	34	pasir halus	Lepas	17,6	13,6	15,6	25,8	7
34	36	pasir halus	Lepas	17,6	13,6	15,6	25,8	8
36	38	pasir halus	Lepas	17,6	13,6	15,6	25,8	7
38	40	pasir halus	Lepas	17,6	13,6	15,6	25,8	12
40	42	pasir halus	Lepas	20	16	18	28	13
42	44	pasir halus	medium	20	16	18	28	20
44	46	pasir halus	medium	20	16	18	28	24
46	48	pasir halus	medium	20	16	18	28	44
48	50	pasir halus	medium	20	16	18	28	25

Tabel 2. Parameter desain tanah pasir padat

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	$\gamma_{sat}(kN/m^3)$	$\gamma_{dry}(kN/m^3)$	$\gamma_{soil}(kN/m^3)$	$\phi (^{\circ})$	Nspt	
0	2	pasir	padat	18	14	17	38,1	22
2	4	pasir	padat	18	14	17	38,1	32
4	6	pasir	padat	18	14	17	38,1	47
6	8	pasir	padat	18	14	17	38,1	37
8	10	pasir halus	padat	18	14	17	38,1	32
10	12	pasir halus	padat	20	16	18	39	28
12	14	pasir halus	padat	20	16	18	39	31
14	16	pasir halus	padat	20	16	18	39	27

Tabel 2 (lanjutan). Parameter desain tanah pasir padat

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{dry}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{soil}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	Nspt	
16	18	pasir halus	padat	20	16	18	39	30
18	20	pasir halus	padat	20	16	18	39	27
20	22	pasir halus	padat	20	16	18	39	31
22	24	pasir halus	padat	20	16	18	39	30
24	26	pasir halus	padat	20	16	18	39	28
26	28	pasir halus	padat	20	16	18	39	26
28	30	pasir halus	padat	20	16	18	39	30
30	32	pasir halus	padat	18	14	16	38,4	20
32	34	pasir berlempung sisipan kerikil	padat	18	14	16	38,4	45
34	36	pasir	padat	18	14	16	38,4	37
36	38	pasir	padat	18	14	16	38,4	33
38	40	pasir	padat	18	14	16	38,4	53
40	42	pasir kerikil	padat	21	17	19	41	49
42	44	pasir kerikil	padat	21	17	19	41	57
44	46	pasir kerikil	padat	21	17	19	41	37
46	48	pasir kerikil	padat	21	17	19	41	32
48	50	pasir kerikil	padat	21	17	19	41	60
50	52	pasir	padat	20	15	18	39,6	45
52	54	pasir	padat	20	15	18	39,6	52
54	56	pasir	padat	20	15	18	39,6	60
56	58	pasir kerikil	padat	20	15	18	39,6	54
58	60	pasir kerikil	padat	20	15	18	39,6	60

### Hasil perhitungan daya dukung pada tanah pasir lepas

- Tiang Pancang  
 Diameter tiang = 0,6 meter  
 Panjang tiang = 30 meter  
 $Q_p = 79,1681$  Ton  
 $Q_s = 123,0499$  Ton  
 $Q_{p \text{ all}} = \frac{Q_p}{sf} = \frac{79,1681}{2,5} = 31,6672$  Ton  
 $Q_{s \text{ all}} = \frac{Q_s}{sf} = \frac{123,0499}{2,5} = 49,2199$  Ton  
 $Q_{\text{all}} = 31,6672 + 49,2199 = 88,8872$  Ton
- Tiang Bor  
 Diameter tiang = 0,6 meter  
 Panjang tiang = 30 meter  
 $Q_p = 16,9646$  Ton  
 $Q_s = 160,2212$  Ton

### Daya Dukung

$$Q_{p \text{ all}} = \frac{Q_p}{sf} = \frac{16,9646}{2,5} = 6,7858 \text{ Ton}$$

$$Q_{sall} = \frac{Q_s}{sf} = \frac{160,2212}{2,5} = 64,0885 \text{ Ton}$$

$$Q_{all} = 6,7858 + 64,0885 = 70,8743 \text{ Ton}$$

### Hasil perhitungan daya dukung pada tanah pasir padat

- Tiang Pancang  
Diameter tiang = 0,6 meter  
Panjang tiang = 30 meter  
 $Q_p = 282,7433 \text{ Ton}$   
 $Q_s = 349,9231 \text{ Ton}$   
 $Q_{pall} = \frac{Q_p}{sf} = \frac{282,7433}{2,5} = 113,0973 \text{ Ton}$   
 $Q_{sall} = \frac{Q_s}{sf} = \frac{349,9231}{2,5} = 139,9693 \text{ Ton}$   
 $Q_{all} = 113,0973 + 139,9693 = 253,0665 \text{ Ton}$
- Tiang Bor  
Diameter tiang = 0,6 meter  
Panjang tiang = 30 meter  
 $Q_p = 56,5486 \text{ Ton}$   
 $Q_s = 471,2389 \text{ Ton}$   
 $Q_{pall} = \frac{Q_p}{sf} = \frac{56,5487}{2,5} = 22,6195 \text{ Ton}$   
 $Q_{sall} = \frac{Q_s}{sf} = \frac{471,2389}{2,5} = 188,4956 \text{ Ton}$   
 $Q_{all} = 22,6195 + 188,4956 = 211,115 \text{ Ton}$

### Perhitungan daya dukung tiang kelompok

Tabel 3 merupakan hasil efisiensi selimut tiang dengan metode *Converse Labarre*.

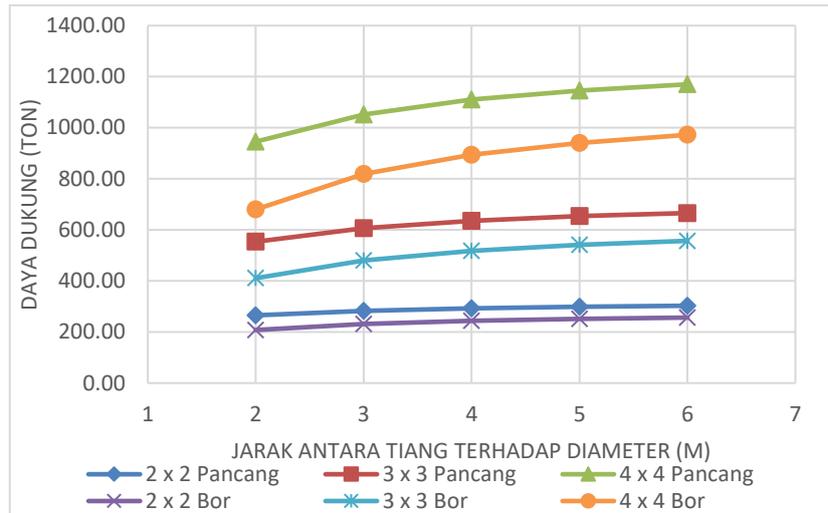
Tabel 3. Efisiensi tiang kelompok dengan metode Converse Labarre

Konfigurasi	Jarak Antara Tiang				
	2D	3D	4D	5D	6D
2x2	0,704833	0,795167	0,844042	0,874334084	0,894863
3x3	0,606444	0,72689	0,792056	0,832445	0,859817
4x4	0,557249	0,692751	0,766063	0,811501	0,842295

Tabel 4 dan Gambar 5 merupakan daya dukung tiang kelompok pada tanah pasir lepas.

Tabel 4. Daya dukung tiang kelompok pada tanah pasir lepas (Ton)

Konfigurasi	Jarak Antara Tiang				
	2D	3D	4D	5D	6D
2x2 (pancang)	265,44	283,22	292,84	298,81	302,85
3x3 (pancang)	553,65	607,00	635,87	653,76	665,89
4x4 (pancang)	945,52	1052,23	1109,97	1145,75	1170,00
2x2 (bor)	207,83	230,99	243,52	251,28	256,55
3x3 (bor)	410,87	480,34	517,93	541,22	557,01
4x4 (bor)	679,99	818,93	894,11	940,70	972,28



Gambar 5. Perbandingan daya dukung tiang pancang dan bor terhadap pada tanah pasir lepas terhadap jarak tiang 2D, 3D, 4D, 5D, 6D pada konfigurasi 2 x 2 2x2, 3x3, dan 4x4

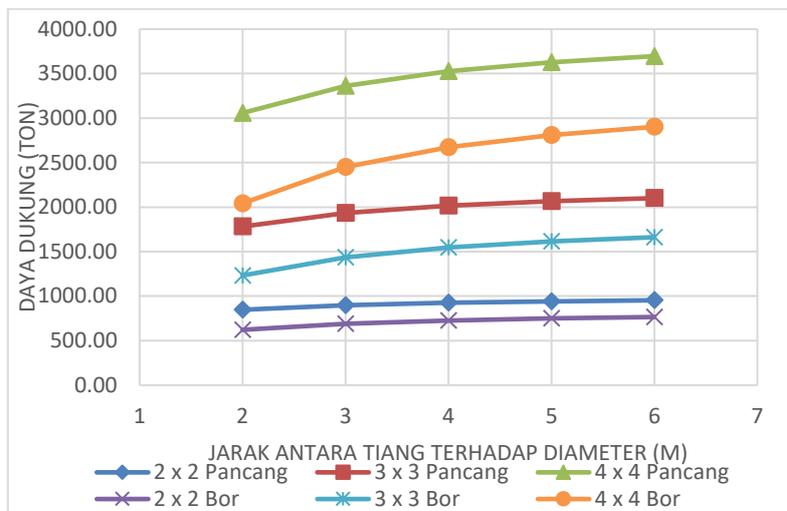
Tabel 5 dan Gambar 6 merupakan daya dukung tiang kelompok pada tanah pasir padat.

Tabel 5. Daya dukung tiang kelompok pada tanah pasir padat (Ton)

Konfigurasi	Jarak Antara Tiang				
	2D	3D	4D	5D	6D
2x2 (pancang)	847,01	897,59	924,95	941,91	953,40
3x3 (pancang)	1781,83	1933,56	2015,65	2066,53	2101,01
4x4 (pancang)	3057,52	3360,98	3525,16	3626,92	3695,88
2x2 (bor)	621,91	690,02	726,87	749,71	765,19
3x3 (bor)	1232,38	1436,71	1547,27	1615,79	1662,22
4x4 (bor)	2042,54	2451,20	2672,30	2809,34	2902,21

### Efisiensi tiang

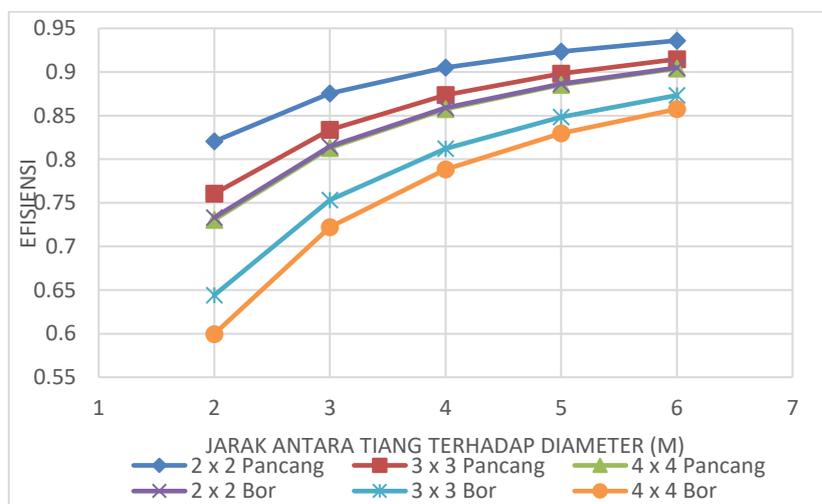
Berdasarkan perhitungan daya dukung didapat nilai efisiensi tiang pada Tabel 6 dan Gambar 7 untuk efisiensi pada tanah pasir lepas, Tabel 7 dan Gambar 8 untuk efisiensi pada tanah pasir padat.



Gambar 6. Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang dan Bor Pada Tanah Pasir Padat Terhadap Jarak Tiang 2D, 3D, 4D, 5D, 6D Pada Konfigurasi 2 x 2 2x2, 3x3, dan 4x4

Tabel 6. Efisiensi Tiang Terhadap Konfigurasi dan Jarak Tiang

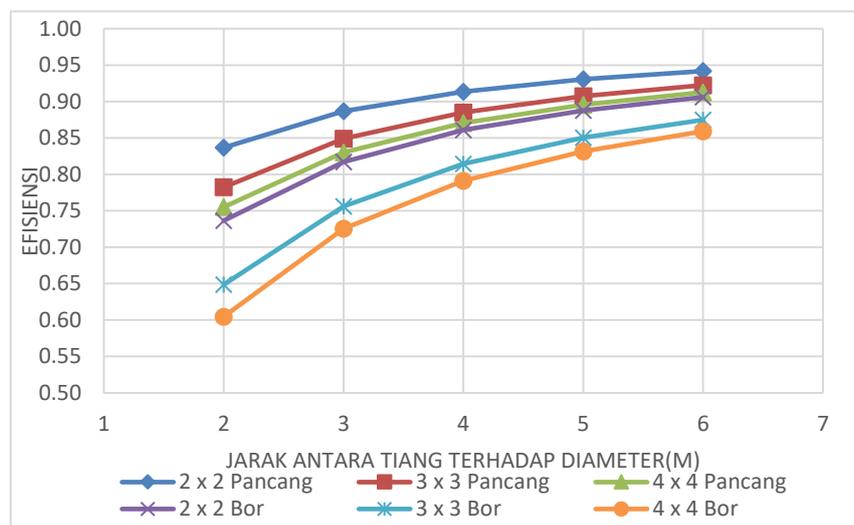
Konfigurasi	Jarak Antara Tiang				
	2D	3D	4D	5D	6D
2x2 (pancang)	0,8204	0,8754	0,9051	0,9235	0,9360
3x3 (pancang)	0,7605	0,8338	0,8735	0,8980	0,9147
4x4 (pancang)	0,7306	0,8130	0,8576	0,8853	0,9040
2x2 (bor)	0,7331	0,8148	0,8590	0,8864	0,9049
3x3 (bor)	0,6441	0,7530	0,8120	0,8485	0,8732
4x4 (bor)	0,5996	0,7222	0,7885	0,8295	0,8574



Gambar 7. Grafik antara nilai efisiensi terhadap jarak tiang 2D, 3D, 4D, 5D, 6D pada konfigurasi 2 x 2 2x2, 3x3, dan 4x4 pada tanah pasir lepas

Tabel 7. Efisiensi tiang terhadap konfigurasi dan jarak tiang

Konfigurasi	Jarak Antara Tiang				
	2D	3D	4D	5D	6D
2x2 (pancang)	0,8367	0,8867	0,9137	0,9305	0,9418
3x3 (pancang)	0,7823	0,8489	0,8850	0,9073	0,9225
4x4 (pancang)	0,7551	0,8301	0,8706	0,8957	0,9128
2x2 (bor)	0,7365	0,8171	0,8608	0,8878	0,9061
3x3 (bor)	0,6486	0,7562	0,8143	0,8504	0,8748
4x4 (bor)	0,6047	0,7257	0,7911	0,8317	0,8592



Gambar 8. Grafik antara nilai efisiensi terhadap jarak tiang 2D, 3D, 4D, 5D, 6D pada konfigurasi 2 x 2 2x2, 3x3, dan 4x4 pada tanah pasir padat

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Daya dukung pada tanah pasir padat lebih besar dari pada tanah pasir lepas dapat dilihat pada tiang pancang pada tanah pasir padat dengan konfigurasi 2x2 dan jarak tiang 2D didapat daya dukung tiang kelompok sebesar 847,01 Ton sedangkan pada tanah pasir lepas dengan konfigurasi dan jarak tiang yang sama didapat daya dukung sebesar 265,44 Ton.
2. Daya dukung tiang pancang pada tanah pasir lebih besar dari pada daya dukung tiang bor, hal ini dapat dilihat dari perhitungan pada tiang pancang di tanah pasir padat dengan konfigurasi 2x2 dengan jarak tiang 3D didapat daya dukung tiang 897,59 Ton, sedangkan pada tiang bor dengan konfigurasi dan jarak tiang yang sama didapat daya dukung 690,02 Ton.
3. Nilai efisiensi pada tanah pasir padat lebih besar dari pada pasir lepas, sebagai contoh dapat dilihat pada tiang pancang dengan konfigurasi 3 x 3 dengan jarak antara tiang 4D pada tanah pasir padat didapatkan hasil efisiensi 0,8850 sedangkan pada tiang pancang dengan konfigurasi 3 x 3 dengan jarak antara tiang 4D pada tanah pasir lepas didapatkan hasil efisiensi 0,8735, sehingga dapat dilihat dari hasil tersebut nilai efisiensi pada tanah pasir padat lebih besar dari pada pasir lepas.
4. Pada tanah pasir nilai efisiensi tiang pancang lebih tinggi dari pada tiang bor, sebagai contoh dapat dilihat pada tanah pasir padat dengan tiang pancang konfigurasi 4x4 dengan jarak antar tiang 6D didapat nilai efisiensi 0,9128 sedangkan pada tiang pancang dengan konfigurasi 4x4 dengan jarak antar tiang 6D didapat

nilai efisiensi 0,8592, sehingga dapat dilihat dari hasil tersebut nilai efisiensi pada tanah pasir nilai efisiensi pada tiang pancang lebih besar dari pada tiang bor.

5. Semakin banyak konfigurasi tiang maka nilai efisiensi akan semakin kecil, sebagai contoh hal ini dapat dilihat pada tanah pasir padat dengan tiang pancang dengan jarak antara tiang 3D, pada konfigurasi 2x2 didapat nilai efisiensi 0,8867, pada konfigurasi 3x3 didapat nilai efisiensi 0,8490, dan pada konfigurasi 4x4 didapat nilai efisiensi 0,8300 sehingga dari perhitungan tersebut dapat dilihat semakin banyak konfigurasi tiang semakin kecil juga nilai efisiensinya
6. Semakin besar jarak antara tiang akan semakin besar juga nilai efisiensinya, sebagai contoh hal ini dapat dilihat pada tanah pasir lepas dengan tiang pancang berkonfigurasi 2x2, pada jarak 2D didapat efisiensi 0,8204, pada jarak 3D didapat efisiensi 0,8753, pada jarak 4D didapat efisiensi 0,9051, pada jarak 5D didapat efisiensi 0,9235, pada jarak 6D didapat efisiensi 0,9360.
7. Pada tanah pasir jarak antara tiang yang paling efektif adalah jarak 4-5D dikarenakan reduksi daya dukungnya sudah kecil sebagai contoh pada tanah pasir padat dengan tiang bor konfigurasi 2x2 persentase reduksinya pada jarak 4D adalah 13,92% dan pada jarak 5D adalah 11,22% dan pada jarak 6D sudah tidak efisien karena perbedaan reduksinya dengan jarak 5D sangat kecil pada 6D persentase reduksinya 9,39% sehingga perbedaan reduksinya hanya 1,83% dari reduksi dengan jarak 5D.

## Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran, yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Agar perhitungan bisa lebih akurat dapat digunakan software atau aplikasi seperti MIDAS GTS NX sehingga hasil perhitungan bisa lebih akurat.
2. Diperlukan pencarian data tanah yang lebih luas lagi sehingga bisa didapatkan hasil yang lebih akurat lagi seperti contohnya pada data tanah pasir lepas ada beberapa kedalaman yang memiliki konsistensi tanah medium sehingga perhitungan bisa lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2017). Sni 8460-2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik, 8460*, 2017.
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations*. Wiley.
- Chiarli, K. T., & Susilo, A. J. (2021). Analisis Kekuatan Sambungan Tiang Pancang Beton Terhadap Gaya Tarik, Lateral, Dan Momen Pada Tanah Kohesif. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 607. <https://doi.org/10.24912/jmts.v0i0.10545>
- Das, B. M., & Sivakugan, N. (2018). *Principles of Foundation Engineering*. Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. (1996). *Teknik fondasi 1*. Gramedia Pustaka Utama.
- Hardiyatmo, H. C. (2008). *Teknik Fondasi 2*. Gramedia Pustaka Utama
- Murthy, V. N. S. (2002). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Taylor & Francis.
- Paulus P, R. (2013). *Manual Pondasi Tiang*. Universitas Pharayanan.
- Sang, R., & Sentosa, G. S. (2021). Pengaruh Jarak Antar Tiang Terhadap Efisiensi Daya Dukung Tiang Kelompok Bor. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(2), 441. <https://doi.org/10.24912/jmts.v0i0.10528>

