Journal of Infrastructure and Construction Technology (2024), **1(2)**, 45–51
doi:10.56208/jictech.1.2.45-51

ARTICLE

Pengaruh Spasi dan Panjang pada Kelompok Tiang Terbuka di Pasir: Studi Model Kelompok Tiang dan Fondasi Blok

Soewignjo Agus Nugroho,*,[1] Syawal Satibi,[1] Andius Dasa Putra,[2] and Andriani Andriani[3]

[1]Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12.5, Pekanbaru 28293
[2]Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung, Prof Dr Soemantri Brojonegoro 1 Bandar Lampung
[3]Jurusan Teknik Sipil, Universitas Andalas, Limau Manih, Kec. Pauh Padang
*Corresponding author. Email: soewignjo.nugroho@lecturer.unri.ac.id

(Received ; revised 21 Oktober 2024; accepted 14 November 2024; first published online 21 November 2024)

Abstract

Planning for existing construction requires taking consideration of the exact location of the structure; sandy soil is typically found in Indonesia, and pile foundations are a very frequently used type of support. Whenever the stable soil is located at a quite deep depth or when the building's foundation is situated on a relatively high embankment, the pile foundation is utilized to support the structure. Given the quantity of pile foundations utilized in Riau, where soft soil makes up the majority of the soil type, a study on pile foundations is necessary. A possible research approach involves conducting a small-scale pile foundation modeling experiment to determine the group pile's bearing capacity on sand soil, taking into account variations in the pile's length and space. Direct testing on a pile foundation model with length, spacing, and length variations of 20, 30, and 40 cm as well as spacing variations of 2.5D, D, and 5D was used for the research. Pile group length 40 cm has the highest capacity according to the results of a direct loading test conducted with a spacing of 2.5D. According to the findings of the Terzaghi and Peck method interpretation, the pile with length 40cm and 2.5D spaces has the largest Qult of 1.665 kN. A pile with a length of 40cm and 2.5D pile spacing is the pile with the largest Qult of 2.232 kN, followed by a pile with a length of 30cm and a space of 2.5D. Based on the results of the investigation, it's can be stated that Qult will get higher the more closely spaced the pile exists, and that Qult will become higher the longer the pile is on the foundation model.

Keywords: Slope Stability, Finite Element Method, Liquid limit, Safety Factor

1. Pendahuluan

Fondasi adalah konstruksi di bagian dasar bangunan yang meneruskan beban atas bangunan ke lapisan tanah di bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan tanah yang berlebihan. Pemasangan fondasi tiang pada bangunan terjadi ketika tanah dasar di bawahnya tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan atau ketika tanah keras mempunyai daya dukung yang cukup letaknya sangat dalam. Fondasi tiang biasanya digunakan

© 2024. This is an Open Access article, distributed under the terms of the Creative Commons Attribution licence (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted re-use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ketika kondisi tanah dasar fondasi baik atau dengan daya dukung tinggi terletak pada kedalaman yang cukup besar (D/B >10). Jika tanah di atasnya lunak atau tidak mampu menahan beban yang bekerja, fondasi tiang biasanya digunakan. Kapasitas dukung tiang berasal dari kulit dan ujung tiang. Pada tanah kohesif, daya dukung berasal dari lekatan, dan pada tanah non kohesif berasal dari gesekan (Trask 1949).

Tiang kelompok adalah kelompok tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu di bagian atasnya dengan menggunakan pilecap. Jarak minimal antara tiang dalam tiang kelompok adalah dua kali diameter tiang jika ujung tiang tidak mencapai tanah keras; sebaliknya, jika ujung tiang mencapai tanah keras, jarak minimal antara tiang adalah 30 cm ditambah diameter tiang (Suryolelono). Dalam penelitiannya, Roberts dkk (Lance Roberts and Levorson 2008) menjelaskan bahwa keruntuhan tiang pancang kelompok dapat dianggap sebagai keruntuhan blok jika daya dukung tiang pancang kelompok lebih kecil dari daya dukung tiang pancang tunggal dikalikan dengan jumlah tiang kelompok.

Para peneliti sebelumnya telah melakukan banyak penelitian tentang fondasi tiang. Salah satunya, Suhaimi et al. (Muhammad Suhaimi and Rahman 2017) meneliti pengaruh konfigurasi panjang, dan formasi tiang terhadap kapasitas dukung fondasi tiang teoritis dan actual. Mereka menemukan bahwa semakin besar diameter dan panjang tiang, semakin besar kapasitas dukungnya. Manopo (Manoppo 2009) melakukan penelitian tentang pengaruh jarak antar tiang pada daya dukung tiang pancang kelompok pada tanah lempung. Penemuannya menunjukkan bahwa dengan jumlah tiang yang sama, jarak antar tiang berdampak pada daya dukung tiang pancang kelompok, dengan peningkatan jarak dari 1,5D hingga 15D, ada peningkatan daya dukung baik di laboratorium maupun teori. Ridho (2010) melakukan penelitian tentang kapasitas dukung fondasi kelompok ujung tertutup tiang pancang pada tanah pasir berlempung dengan berbagai jumlah tiang. Penelitian ini menemukan bahwa variasi dalam jumlah tiang dalam model fondasi sangat berpengaruh. Hasil uji kapasitas dukung tiang kelompok dengan 9 tiang adalah 3,66 kN, dan tiang kelompok dengan 2 tiang adalah 0,73 kN.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian dan pengujian model dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau. Pengujian pendahuluan berupa uji properties tanah pasir merujuk pada standar ASTM. Alat yang digunakan yaitu model tiang, alat uji tekan, tanah pasir, dan bak container termasuk frame. Model tiang dibuat dari pipa PVC 1/2" berdiameter 22 mm dan panjang 20, 30, atau 40 cm. Pilecap di modelkan dari play wood/multiplex bentuk persegi panjang yang digunakan memiliki panjang 40 cm, lebar 20 cm, dan ketebalan 1,8 cm. Pilecap dalam penelitian ini berjumlah 3 lembar dan dibuat lubang sesuai dengan variasi spasi 2.5D, 3.0D, dan 5.0D (Tabel 1).

Table 1. Length and spacing Variation of pile Group

		1^{st} pile cap				2^{nd} pile cap				3^{rd} pile cap			
	Length (cm)	spacing	n_1	n_2	pile	spacing	n_1	n_2	pile	spacing	n_1	n_2	pile
1.	20	5.0D	2	4	8	3.0D	3	6	18	2.5D	3	7	21
2.	30	5.0D	2	4	8	3.0D	3	6	18	2.5D	3	7	21
3.	40	5.0D	2	4	8	3.0D	3	6	18	2.5D	3	7	21

Gambar 1 memperlihatkan bak container (bak uji), setup Pengujian model fondasi kelompok tiang, dan model tiang yang dipakai. Bak uji yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari balok akrilik berukuran 91.50 cm, lebar 30.0 cm, tinggi 91.0 cm, dan ketebalan 0.5 cm. Untuk pengujian ini, dipilih tanah dengan ukuran butiran kasar (coarse grain). Tanah pasir harus disaring untuk memastikan bahwa kotoran, seperti serpihan kayu, telah dihilangkan dari tanah. Pengujian

pada pasir mendapatkan nilai Gs=2.65; e-max=0.691, dan e-min=0.379. Kepadatan pasir dalam bak container ditetapkan sebesar 10 % (e=0.40).

a. container box b. setup pembebanan c. model pile group

Figure 1. Ukuran model fondasi pilecap tanah pasir yang digunakan

Penelitian dimulai dengan menyiapkan instrumen dan sampel tanah untuk pada bak container. Setelah menimbang berat pasir yang telah disiapkan, bak uji diisikan secara merata dengan tinggi jatuh 30 sentimeter. Pasir harus diisikan sampai setinggi dasar model tiang atau setengah tinggi bak uji. Setelah model fondasi dimasukkan, tanah pasir harus ditambahkan hingga seperempat tinggi tiang. Setelah penyatu kepala model dibuka, bak uji diisi kembali dengan sampel tanah sampai tebal 80 cm diukur dari dasar bak. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 b, alat uji tekan diletakkan di atas pilecap, yang berada tepat di atas pusat susunan tiang. Selanjutnya, pengujian pembebanan dilakukan dengan memutar tuas alat uji tekan dengan kecepatan konstan (constant rate of strain) satu milimeter per menit. Pengujian model dilakukan pada semua variasi panjang dan spasi antar tiang. Beban kerja pada kelompok tiang, dihitung dari bacaan nilai dial gauge pada proving ring. Dial proving ring dibaca tiap settlement yang terjadi bertambah setiap 1 milimeter, dan terus dihitung hingga dial penurunan mencapai 30 milimeter.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian model pengujian model fondasi kelompok tiang tunggal ditampilkan pada Gambar 2 dan untuk uji model tiang kelompok diberikan pada Gambar 3. Jenis tanah pasir yang mendukung kelompok tiang memiliki derajad kepadatan rendah (Dr=10 %), dengan ukuran butiran kasar (lolos saringan # no 4 dan tertahan saringan # no.10). Sehingga tanah yang dimasukkan ke dalam bak pengujian merupakan jenis pasir seragam (uniform graded sand), berbutir kasar (coarse grain sand), dengan kepadatan rendah (loose sand).

Jenis keruntuhan daya dukung tiang tunggal (Gambar 2), termasuk dalam kategori local shear failure, dimana beban ultimit saat terjadi keruntuhan masih bisa terlihat. Ketika penurunan fondasi yang terjadi mencapai sekitar 10 mm, baik pada tiang dengan panjang 20 cm, 30 cm, maupun 40 cm, penambahan sedikit beban akan menimbulkan penurunan yang besar. Pemberian beban fondasi sebesar 30 N sampai dengan 40 N sudah menimbulkan tambahan penurunan lebih besar dari 10persen dari diameter tiang (diameter tiang=22 mm). Pada pemberian beban sebesar 50 N, tiang dengan panjang 20 cm dan 30 cm sudah mengalami keruntuhan, sementara pada tiang dengan panjang 40 cm telah mencapai beban ultimit. Daya dukung tiang tunggal hasil pengujian model tiang tunggal dirangkum pada Tabel 3.

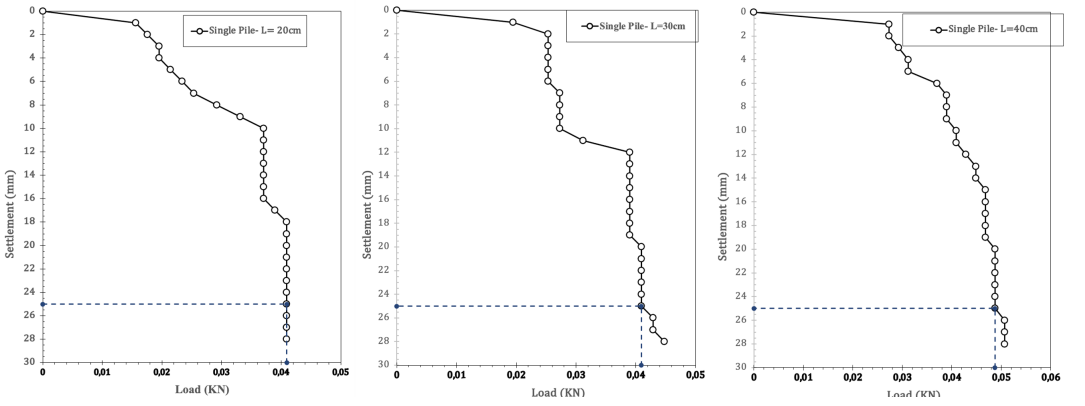

Figure 2. Hasil Pembebanan pada model fondasi tiang tunggal

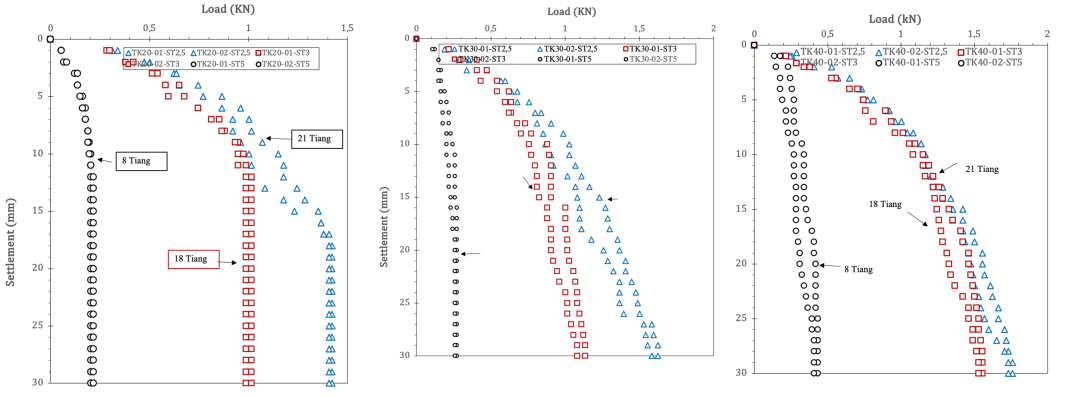

Figure 3. Hasil Pembebanan pada model pile group

Gambar 3 memperlihatkan, group tiang dengan jumlah 8 tiang, terjadi keruntuhan daya dukung jenis punching shear failure. Beban ultimit pada kelompok tiang dengan spasi 5.0D (8 tiang) tidak bisa ditentukan langsung dari kurva hubungan P-y. Kelompok tiang dengan spasi 3.0D dan 2.5D bentuk keruntuhan yang terjadi berupa keruntuhan geser lokal (local shear failure). Tabel 3 merangkum nilai beban ultimit untuk model kelompok tiang dengan spasi 5.0D (8 tiang), 3.0D (18 tiang), dan 2.5D (21 tiang).

Table 2. Pile Bearing Capacity P-y methods (direct methods)

No.	pile cap	length (cm)	single pile	spcing 5.0D pile	P(N)	spacing 3.0D pile	P(N)	spacing 2.5D piles	P(N)
1.	40 x 20 x 1.8	20	41	8	217	18	1015	21	1421
2.	40 x 20 x 1.8	30	45	8	271	18	1083	21	1624
3.	40 x 20 x 1.8	40	51	8	433	18	1556	21	1759

Merujuk Table 2, hasil pengujian tiang kelompok dan individu dengan spasi maupun panjang yang berbeda menunjukkan pola yang sama. Kelompok tiang dengan jumlah 21 tiang (2.5D) memiliki daya dukung yang lebih besar dibandingkan dengan kelompok 18 tiang (3.0D) dan kelompok 8 tiang (5.0D), menunjukkan bahwa daya dukung kelompok tiang semakin besar seiring pertambahan

jumlah tiang. Artinya, dengan luasan block fondasi sama (35,2 cm x 11 cm), semakin banyak jumlah tiang dalam kelompok akan semakin besar daya dukung kelompoknya.

Bentuk kurva P-y hasil pengujian model fondasi, menunjukkan bahwa keruntuhan yang terjadi adalah tipe punching dan local shear. Artinya, batas antara daya dukung fondasi (Q-ultimit) dan daya dukung fondasi tidak jelas sehingga harus ditafsirkan. Metode interpretasi Terzaghi dan Peck dan metode Chin digunakan untuk menentukan nilai Qult model fondasi.

Interpretasi metode Terzaghi dan Peck (Trask 1949) pada kurva P-y adalah dengan melihat besar beban fondasi saat terjadi penurunan sebesar 25 mm (M. Yusuf Agustamar and Satibi 2018). Metode Chin membuat modifikasi dari kurva P-y, yaitu dengan merubah grafik pembebanan (P) dengan penurunan menjadi perbandingan antara penetrasi/penurunan (y/P) dengan penurunan (y). Nilai penurunan/beban (y/P) diwakili sebagai sumbu y dan penurunan (y) sebagai sumbu x (Satria Z and A 2020) .

Gambar 4 adalah interpretasi metode Terzaghi dan Peck (Trask 1949), yaitu nilai beban yang bekerja saat terjadi penurunan sebesar 25 mm. Pada Gambar 4, semakin banyak jumlah tiang dalam kelompok akan semakin besar beban yang menimbulkan penurunan 25 mm. Gambar 4 juga memperlihatkan dengan semakin panjang tiang dalam kelompok, akan semakin besar beban yang diperlukan untuk terjadinya penurunan 25 mm.

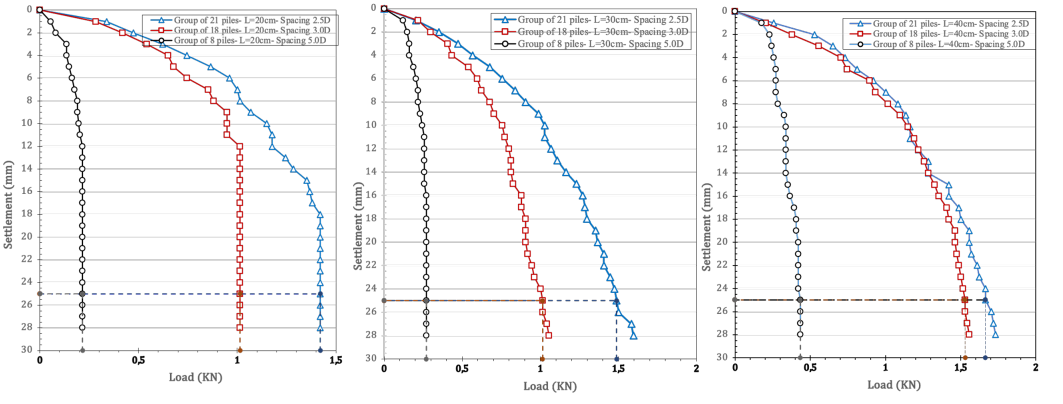

Figure 4. Interpretasi of Pile Bearing Capacity (Terzaghi-Peck)

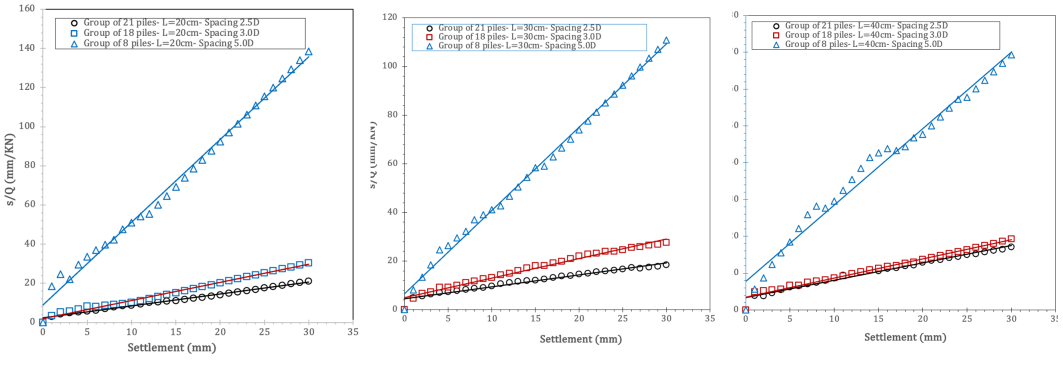

Figure 5. Interpretasi of Pile Bearing Capacity (Chin Method)

Interpretasi metode Terzaghi dan Peck pada pengujian model fondasi kelompok tiang kurang

tepat (akurat), karena terlihat pada tiang dengan panjang 30 cm dan 40 cm (pada spasi 3.0D dan 2.5D) setelah penurunan 25 mm, peningkatan daya dukung fondasi kelompok tiang masih terjadi.

Gambar 5 menunjukkan interpretasi metode Chin untuk model kelompok tiang dengan panjang tiang 20 cm, 30 cm, dan 40 cm dengan spasi 2,5D, 3D, dan 5D. Gambar 11 menunjukkan interpretasi metode Chin untuk model fondasi tiang 30 cm dengan spasi 2,5D, 3D, dan 5D. Daya dukung ultimit (Q ultimit) metode Chin ditentukan dengan membuat persamaan linier dari grafik (y/P) dengan y seperti persamaan (1) sampai dengan persamaan (3)

$$y = ax + b \tag{1}$$

$$\left(\frac{y}{p}\right) = ay + b \tag{2}$$

$$b = \frac{y}{Q_{ult}} \tag{3}$$

dengan y adalah penurunan, p adalah beban, dan Q_{ult} adalah daya dukung ultimit kelompok tiang.

Daya dukung ultimit dari pengujian model fondasi kelompok dari direct test, interpretasi Terzaghi dan Peck, dan Metode Chin dirangkum dalam Tabel 3.

Table 3. Comparation Pile Bearing Capacity (Newton)

No.	Length	Single Pile	Daya dukung kelompok tiang (Qg)											
			nxQs			direct/loading test			Terzaghi-Peck			Chin		
	(cm)	(Qs)	8	18	21	8	18	21	8	18	21	8	18	21
1.	20	41	327	737	860	217	1015	1421	217	1015	1421	240	1121	1689
2.	30	45	359	807	941	271	1083	1624	271	1015	1489	296	1295	2179
3.	40	51	405	912	1064	433	1556	1759	433	1529	1665	495	2008	2232

Merujuk nilai daya dukung ultimit kelompok tiang dibandingkan dengan daya dukung tiang tunggal pada Table 3, dengan semakin panjang tiang maka daya dukung akan semakin naik. Semakin banyak jumlah tiang dalam suatu kelompok akan semakin besar daya dukung fondasi. Dengan luasan block fondasi yang sama (Bg x Lg =35,2 x 11 cm2), pada block dengan jumlah 8 tiang (panjang tiang 20 cm dan 30 cm), daya dukung kelompok tiang lebih rendah daripada jumlah tiang dikalikan daya dukung tiang tunggal (n x Qs). Sementara untuk panjang tiang 40 cm atau jumlah tiang 18 buah dan 21 buah, daya dukung kelompok tiang lebih tinggi dari n x Qs. Artinya tiang berperilaku sebagai tiang block. Metode Chin menghasilkan nilai daya dukung ultimit lebih tinggi dibanding interpretasi metode Terzaghi dan Peck maupun dari interpretasi kurva P-y. Suryadi dkk. (Suryadi R. and Muhardi 2015), juga membuktikan bahwa interpretasi metode Chin paling rational dibanding metode Mankiewicz dan Davidson. Metode langsung (direct loading test) dan Terzaghi dan Peck, melihat langsung penurunan pada grafik hubungan P-y. Pada penurunan 25 mm pada kurva P-y, kondisi tanah sudah runtuh sehingga daya dukung fondasi metode Terzaghi dan Peck dengan direct method menghasilkan nilai yang relatif sama.

4. Kesimpulan

Bertambahnya panjang dan jumlah tiang, baik pengujian langsung, metode Terzaghi-Peck, maupun interpretasi Chin, maka daya dukung tiang akan semakin besar. Interpretasi menggunakan metode Chin, mendapatkan nilai daya dukung yang lebih besar dibandingkan dengan metode Terzaghi dan Peck atau uji pembebanan.

Semakin besar jarak spasi tiang, maka tiang akan berperilaku sebagai tiang individual, sehingga daya dukung tiang-tiang mendekati daya dukung tiang tunggal dikalikan jumlah tiang. Sebaliknya semakin kecil jarak spasi tiang maka tiang-tiang semakin berperilaku sebagai fondasi blok/kelompok tiang.

Variasi dalam jenis kekasaran tiang, diameter tiang dan pembacaan penurunan tiang yang lebih besar dapat digunakan untuk melakukan uji kapasitas fondasi tiang tunggal dan kelompok. Demikian juga dengan media tanahnya bisa diganti ukuran butir, bentuk butiran, maupun jenis tanahnya.

References

Lance Roberts, Anil Misra, and Steven Levorson. 2008. Practical method for load and resistance factor design (lrfd) of deep foundations at the strength and service limit states. *International Journal of Geotechnical Engineering* 2 (4): 355–368. https://doi.org/10.3328/IJGE.2008.02.04.355-368.

M. Yusuf Agustamar, Soewignjo Agus Nugroho, and Syawal Satibi. 2018. Uji kapasitas dukung pondasi tiang kelompok ujung terbuka dengan variasi pengaruh spasi serta panjang tiang. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains* 5 (2): 1–11.

Manoppo, Fabian J. 2009. Pengaruh jarak antar tiang pada daya dukung tiang pancang kelompok di tanah lempung lunak akibat beban vertikal. *Pacific Journal* 1 (4): 542–545.

Muhammad Suhaimi, Fathurrozi Fathurrozi, and Muhammad Aspihani Rahman. 2017. Perbandingan daya dukung ultimit tiang pancang antara metode teoretis dan metode aktual dengan konfigurasi tiang dan kedalaman. *International Journal of Geotechnical Engineering* 1 (2): 70–77. https://doi.org/10.31961/gradasi.v1i2.436.

Satria Z, Fatnanta F, and Nugroho S. A. 2020. Pengaruh waktu terhadap daya dukung fondasi tiang pada tanah lunak dengan variasi kekasaran. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)* 16 (1).

Suryadi R., Nugroho S. A., and Muhardi. 2015. Pengaruh kemiringan pondasi tiang terhadap daya dukung tiang tunggal akibat beban vertikal. In *Proceedings of the 1st annual civil engineering seminar,* 263–271. Pekanbaru, Riau: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau.

Trask, Parker D. 1949. Soil mechanics in engineering practice. karl terzaghi , ralph b. peck. *The Journal of Geology* 57 (6): 622–623. https://doi.org/10.1086/625679.