# UJI KAPASITAS DUKUNG PONDASI TIANG KELOMPOK UJUNG TERBUKA DENGAN VARIASI PENGARUH SPASI SERTA PANJANG TIANG

M. Yusuf Agustamar<sup>1)</sup>, Soewignjo Agus Nugroho<sup>2)</sup>, Syawal Satibi<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universita Riau
<sup>2)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293

Email: m.yusuf@student.unri.ac.id

#### **ABSTRACT**

In planning a good structure, it is necessary to consider a geographical factor where the building is built. Soil conditions that generally exist in Indonesia's coastal is soft soil. As well as, that the most widely used foundation type is the pile foundation. The pile foundation is used to support a structure when a good soil lies at a relatively deep and also if the foundation of the building lies on a fairly high embankment. A number of piles used as pile foundation in one pilecap, where the piles working together to support building. Hence the study of pile foundation needs to be done. One of the studies is modeling of pile in pile grup foundation to find out the bearing capacity of the pile group on sand. Notably, Variation of spacing and length of the pile is determined for this study.

The research was done by direct test model on pile foundatio with variation of length 40 cm, 30 cm, and 20 cm and spacing variation with 2.5D, 3D, and 5D also. In brief, the result test in 40 cm length pile with spacing 2,5D has the greatest capacity. Obviously the results of the interpretation with the Chin method found a pile with a length of 40 cm and 2.5D pile spacing is the pile with the largest Qult of 2.232 kN followed by a 30 cm long pile with a space 2.5D, as well as the interpretation of Terzhagi and Peck method, the pile with long 40 cm and 2.5D spaces have the largest Qult that is 1.665 kN. To summarize, based on the results of the research can be concluded that the more tight spaced pile then Qult pile will be bigger, and longer pile on the foundation model then Qult also getting bigger.

Keywords: Loose sand, Foundation, Pile group, Bearing capacity.

#### A. PENDAHULUAN

Fondasi adalah suatu konstruksi pada bagian dasar struktur bangunan (*substruktur*) yang berfungsi meneruskan beban dari bagian atas struktur bangunan (*upper structure*) ke lapisan tanah di bawahnya tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan (*settlement*) tanah atau fondasiyang berlebihan. (Pradoto, 1988).

Secara garis besar, fondasi dibagi dalam dua jenis, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Contoh fondasi dangkal antara lain fondasi telapak, fondasi memanjang, dan fondasi rakit, Contoh fondasi dalam antara lain fondasi tiang dan fondasi sumuran (Setyo, 2011).

Pemakaian fondasi tiang pada suatu struktur bangunan, apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya tetapi letaknya sangat dalam (Sardjono, 1988). Menurut Survolelono (1994), fondasi tiang secara umum digunakan bila dijumpai kondisi tanah dasar fondasi yang baik atau dengan daya dukung tinggi terletak pada kedalaman yang cukup besar (D/B  $\geq$  10), sedang tanah di atas tanah baik kurang mampu mendukung beban yang bekerja merupakan tanah lunak.

Kapasitas daya dukung tiang berasal dari kulit dan ujung tiang, kapasitas daya dukung pada kulit dibagi menjadi dua, pada tanah kohesif terjadi daya dukung kulit yang berasal dari lekatan sedangkan pada tanah non kehesif terjadi daya dukung kulit terhadap gesekan (Terzaghi 1988).

Tiang kelompok adalah kumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya dikat menjadi satu dibagian atasnya dengan menggunakan pilecap (Suryolelono, 1994). Menurut Suryolelono (1994), jarak antar tiang pada tiang kelompok apabila ujung tiang tidak mencapai tanah keras adalah  $\geq 2$  kali diameter tiang, sedangkan jika ujung tiang mencapai tanah keras maka jarak minimum tiang adalah  $\geq$  diameter tiang ditambah 30 cm.

Menurut Terzaghi dkk, (1957) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa jika daya dukung tiang pancang kelompok lebih kecil dari tiang pancang tunggal dikalikan dengan jumlah tiang kelompok maka keruntuhan tiang pancang kelompok tersebut dapat diasumsikan sebagai suatu keruntuhan blok

#### B. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian-penelitian mengenai fondasi tiang telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, salah satunya dilakukan oleh Priarianto, dkk (2002) yang melakukan analisis pengaruh diameter, panjang dan formasi tiang terhadap kapasitas dukung fondasi tiang pancang, dan menyimpulkan bahwa kapasitas dukung tiang akan mengalami peningkatan sejalan dengan semakin besar diameter dan panjang tiang.

Manopo (2009) melakukan penelitian pengaruh jarak antar tiang pada daya dukung tiang pancang kelompok pada tanah lempung. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah dengan jumlah tiang yang sama, jarak antar tiang berpengaruh terhadap daya dukung tiang pancang kelompok dimana semakin besar jarak antar tiang pancang dari 1,5d sampai dengan 15d terjadi kenaikan daya dukung baik teori maupun laboratorium.

Ridho (2010) melakukan penelitian dengan judul kapasitas dukung fondasi tiang pancang kelompok ujung tertutup pada tanah pasir berlempung dengan variasi jumlah tiang. Pada penelitian ini didapatkan hasil uji kapasitas model fondasi dengan variasi jumlah tiang sangat berpengaruh, hasil uji kapasitas dukung tiang kelompok dengan jumlah 9 tiang didapatkan hasil sebesar 3,6588 kN dan pada tiang kelompok dengan jumlah 2 tiang sebesar 0,7318 kN.

Hekmatyar, dkk (2017) melakukan penelitian yang berjudul analisa perilaku daya dukung tiang tunggal dengan rumus statik dan model fisik pada tanah pasir. Pada penelitian ini material model tiang yang digunakan ada dua jenis, yaitu tiang kayu dan besi. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah model tiang dengan material kayu memiliki tahanan dukung yang lebih besar daripada material besi, dan model tiang yang memiliki nilai daya dukung paling mendekati daya dukung metode analitis adalah tiang kayu.

Kondisi tanah pasir akan berpengaruh terhadap nilai properties dan kuat geser tanah pasir. Ukuran dan bentuk butiran berpengaruh terhadap kepadatan (Nugroho, 2016), kuat geser (Nugroho, 2018). Sementara gradasi mempengaruhi kepadatan (Nugroho, 2016) dan Kuat Geser (Wibisono, 2018)

#### C. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian model dengan skala laboratorium dan penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau. Pengujian pendahuluan pada umumnya merujuk pada ASTM.

#### C1. Alat dan Bahan

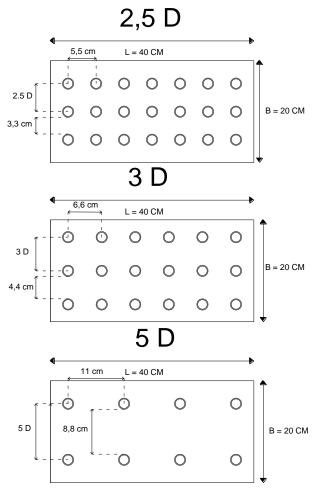
Adapun alat-alat yang digunakan adalah bak uji, *loading frame*, model tiang, alat uji tekan, sampel tanah. Model tiang yang digunakan berupa pipa pvc berdiameter 22 mm, dengan panjang 20, 30, dan 40 cm (Gambar 1).



Gambar 1. Model pondasi

Pilecap yang digunakan terbuat dari multiplek berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 40 cm, lebar 20 cm dengan ketebalan 1,8 cm. Pilecap pada penelitian ini berjumlah 3 lembar dan di buat lubang sesuai dengan variasi spasi yaitu 2,5D, 3D, dan 5D (Gambar 2).

Bak uji yang dalam penelitian ini terbuat dari akrilik berbentuk balok berukuran panjang 91,50 cm, lebar 30 cm, tinggi 91 cm,dan tebal 0,5 cm (Gambar 3).



Gambar 2. Variasi Jarak Tiang

Tanah pasir yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Teratak Buluh Kabupaten Kampar. Penyeragaman butiran pada pengujian ini adalah dengan memilih tanah Pasir berbutir kasar yaitu dengan cara menyaring tanah pasir yang lolos saringan No. #4 (4,75mm) tertahan saringan No. #10 (2mm), setelah penyaringan harus dipastikan pasir telah bersih dari kotoran-kotoran seperti

serpihan kayu pada tanah pasir (Gambar 4). Pengujian properties pada tanah pasir dilakukan sebelum dilakukannya uji tekan pada model pondasi. Hasil pengujian diperoleh nilai *Spesific Gravity* (Gs) sebesar 2,65, angka pori maksimum (emaks) 0.691, angka pori minimum (emin) 0,379, sedangkan nilai kepadatan relatif (Dr) rencana yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 10 %.



Gambar 3. Bak Uji

Sampel tanah pasir diuji di laboratorium untuk mendapatkan karakteristik sifat fisik tanah.



Gambar 4. Tanah Pasir

### **C.2** Persiapan Sampel

Penelitian dimulai dengan mempersiapkan peralatan dan sampel tanah yang akan digunakan. Tanah pasir yang telah dipersiapkan diisikan kedalam bak uji dengan tinggi jatuh konstan 30 cm secara merata sambil menimbang berat pasir dimasukkan kedalam bak, pasir terus diisikan kedalam bak uji sampai setinggi dasar model tiang atau setinggi setengah bak uji kemudian model fondasi dimasukkan kedalam bak uji dan tanah pasir dimasukkan sedikit hingga seperempat tiang lalu penyatu kepala model tiang dibuka kemudian diisi kembali dengan sampel tanah sampai ketinggian 80 cm dari dasar bak selanjutnya penyatu kepala model tiang kembali dipasang diatas tiang dan memastikan model fondasi datar dengan waterpass.

### C.3 Metode Uji Pembebanan

Alat uji tekan diposisikan diatas pilecap yang posisinya tepat diatas pusat susunan tiang seperti pada Gambar 5, kemudian dilakukan pengujian pembebanan dengan memutar tuas alat uji tekan secara konstan, yaitu 1 mm per menit.



Gambar 5. Setup Pengujian

Pembacaan nilai gaya pada manometer yang ada pada proving ring dilakukan ketika *dial* penurunan mencapai 1 mm. Pembacaan dilakukan hingga dial mencapai penurunan 30 mm.

Pengujian ini dilakukan dengan variasi panjang tiang dan spasi antar tiang guna mendapatkan daya dukung masing-masing variasi pondasi.

Tabel 1. Variasi Sampel Pengujian

Variasi	Variasi Spasi Tiang			
Panjang tiang	Tunggal	2.5D	3D	5D
40 cm	✓	✓	✓	✓
30 cm	✓	✓	✓	✓
20 cm	✓	✓	✓	✓

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

# D1. Propertis Tanah Pasir

Hasil pengujian propertis tanah pasir disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Propertis Tanah

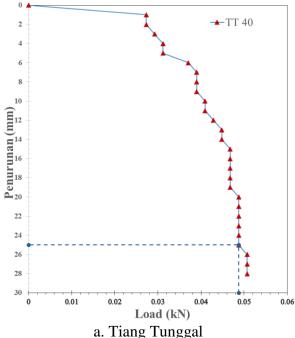
	Pasir	
No	Parameter	Hasil
1	Gs	2.65
2	emaks	0.691
3	emin	0.376
4	γdmaks	1.926
5	γdmin	1.567

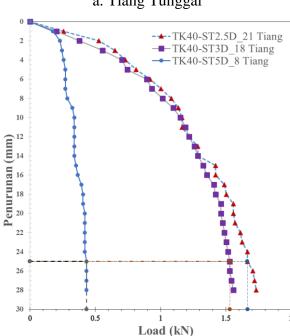
Berdasarkan data propertis pasir yang didapat, kepadatan pasir termasuk kepadatan rendah dan pasir yang dimasukkan ke dalam bak pengujian merupakan jenis pasir kasar dengan butiran seragam.

# D.2 Hasil Pengujian Pada Model Pondasi

Hasil pengujian pembebanan pada model fondasi disajikan pada Gambar 6, 7, dan 8.

# a. Hasil pengujian model fondasi pada tiang panjang 40 cm

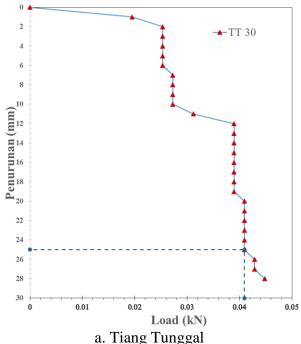


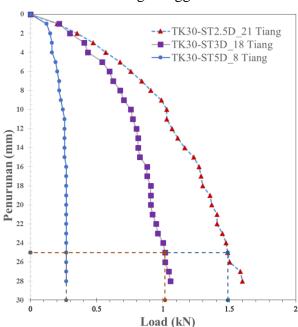


b. Tiang Kelompok Gambar 6. Hasil pengujian tiang dengan panjang tiang 40 cm dengan variasi spasi tiang

Hasil pengujian model fondasi tiang tunggal dan kelompok pada tiang panjang 40 cm pada Gambar 6 menunjukkan daya dukung tiang kelompok 2,5D dengan (21 tiang) memperoleh nilai daya dukung yang paling besar.

# b. Hasil pengujian model fondasi pada tiang panjang 30 cm

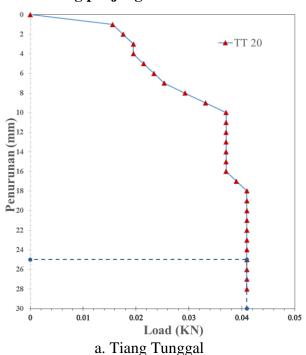


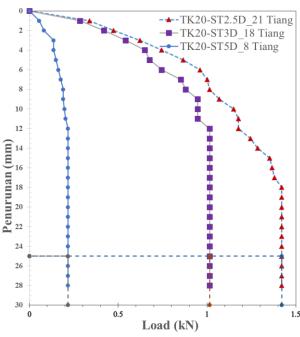


b. Tiang Kelompok Gambar 7. Hasil pengujian tiang tunggal dengan panjang tiang 30 cm dengan varias spasi tiang

Hasil pengujian model fondasi tiang tunggal dan kelompok pada tiang panjang 30 cm pada Gambar 7 memiliki pola yang hampir sama dengan model fondasi panjang 40 cm yang mana daya dukung tiang kelompok 2,5D dengan (21 tiang) memperoleh nilai daya dukung yang paling besar.

# c. Hasil pengujian model fondasi pada tiang panjang 20 cm





b. Tiang Kelompok Gambar 8. Hasil pengujian tiang dengan panjang tiang 20 cm dengan variasi spasi tiang

Rekapitulasi hasil data pengujian bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil Pengujian Model Pondasi

Panjang Tiang	Spasi Tiang	Pengujian langsung (KN)
40 CM	2,5D	1,759
	3 D	1,556
	5D	0,433
	TUNGGAL	0,051
	2,5D	1,624
30 CM	3 D	1,083
30 CM	5D	0,271
	TUNGGAL	0,045
20 CM	2,5D	1,421
	3 D	1,015
	5D	0,217
	TUNGGAL	0,041

Hasil pengujian dari tiang tunggal dan tiang kelompok dengan spasi dan panjang yang berbeda-beda menunjukkan pola yang sama, yaitu tiang dengan spasi 2,5D (21 Tiang) memiliki daya dukung yang lebih besar jika dibandingkan dengan tiang kelompok spasi 3D (18 Tiang) dan tiang kelompok spasi 5D (8 Tiang). Hal ini menunjukkan tiang dalam satu kelompok bekerja secara individu, karena daya dukung kelompok tiang mendekati daya dukung tiang tunggal dikalikan dengan jumlah tiang.

# D3. Interpretasi Hasil Pengujian Pembebanan

Dari hasil pengujian model fondasi yang telah dilakukan disimpulkan bahwa tipe keruntuhan yang terjadi adalah tipe punching sehingga batas antara daerah plasits dan elastis tidak ielas sehingga perlu dilakukan interpretasi untuk menentukan daya dukung Metode interpretasi dalam ultimit tiang. menentukan nilai daya dukung ultimit (Qult) model fondasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode interpretasi terzaghi & peck, dan metode chin.

# a. Interpretasi hasil pengujian pembebanan metode Terzhaghi & Peck

Penentuan daya dukung menurut Terzaghi dan Peck adalah penentuan berapa beban/ gaya yang bekerja pada saat penurunan 2,5cm

Grafik tekanan vs penurunan pada model fondasi diinterpretasi menggunakan metode Terzaghi & Peck untuk mendapatkan nilai daya dukung ultimitnya. Interpretasi dengan metode Terzaghi dan Peck bisa dilihat pada Gambar 6,7,dan 8, rekapitulasi daya dukung tanah berdasarkan hasil interpretasi dengan metode Terzaghi & Peck ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Interpretasi Metode Terzaghi & Peck

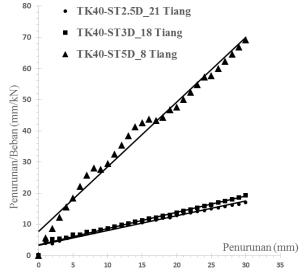
Panjang Tiang		Qult (KN)
	Spasi Tiang	Terzhagi & Peck
40 CM	2,5D	1,665
	3 D	1,529
	5D	0,433
	TUNGGAL	0,049
30 CM	2,5D	1,489
	3 D	1,015
	5D	0,271
	TUNGGAL	0,041
20 CM	2,5D	1,421
	3 D	1,015
	5D	0,217
	TUNGGAL	0,041

Hasil interpretasi dengan metode Terzaghi & Peck pada tiang tunggal dan tiang kelompok dengan spasi dan panjang yang berbeda-beda menunjukkan tiang dengan spasi 2,5D (21 Tiang) memiliki daya dukung yang lebih besar jika dibandingkan dengan tiang kelompok spasi 3D (18 Tiang) dan tiang kelompok spasi 5D (8 Tiang). Interpretasi menurut Terzaghi dan Peck pada pengujian ini kurang akurat karena setelah 2,5cm model

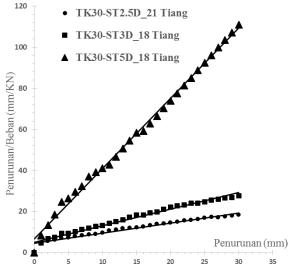
fondasi tiang masih mengalami peningkatan daya dukung.

# a. Interpretasi hasil pengujian pembebanan metode Chin

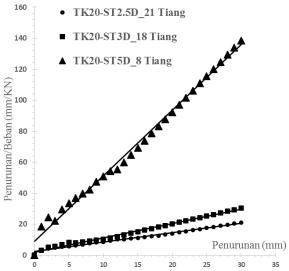
Metode Chin menghubungkan grafik pembebanan dengan penurunan yang digambarkan dengan bentuk penetrasi/ beban  $(\Delta/Q)$  sebagai sumbu -y dan Penurunan sebagai sumbu -x, berikut ini adalah grafik interpretasi metode Chinp



Gambar 9. Grafik Interpretasi Metode Chin untuk Model Fondasi Tiang panjang 40 cm dengan spasi 2,5D, 3D, dan 5D



Gambar 10. Grafik Interpretasi Metode Chin untuk Model Fondasi Tiang panjang 30cm dengan spasi 2,5D, 3D, dan 5D



Gambar 11. Grafik Interpretasi Metode Chin untuk Model Fondasi Tiang panjang 30cm dengan spasi 2,5D, 3D, dan 5D

Rekapitulasi daya dukung tanah berdasarkan hasil interpretasi dengan metode Chin ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Interpretasi Metode Chin

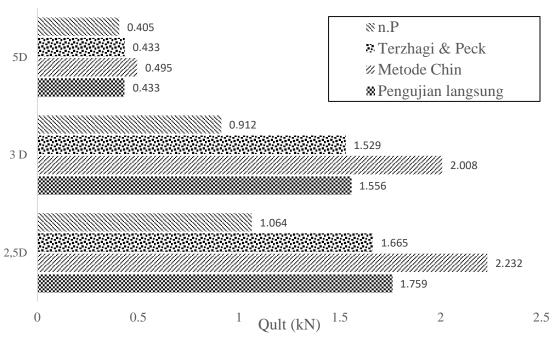
Panjang Tiang		Qult (KN)
	Spasi Tiang	Metode
		Chin
40 CM	2,5D	2,232
	3 D	2,008
	5D	0,495
	TUNGGAL	0,057
30 CM	2,5D	2,179
	3 D	1,295
	5D	0,296
	TUNGGAL	0,050
20 CM	2,5D	1,689
	3 D	1,121
	5D	0,240
	TUNGGAL	0,048

Dari hasil interpretasi dengan metode Chin pada tiang tunggal dan tiang kelompok dengan spasi dan panjang yang berbeda-beda menunjukkan tiang dengan spasi 2,5D (21 Tiang) memiliki daya dukung yang lebih besar jika dibandingkan dengan tiang kelompok spasi 3D (18 Tiang) dan tiang kelompok spasi 5D (8 Tiang).

## D.4 Perbandingan Hasil Pengujian

Perbandingan hasil pengujian berikut ini yaitu perbandingan hasil pengujian langsung, Metode Chin, Metode Terzhagi, dengan n.P. Dimana n.P adalah kapasitas tiang tunggal dikalikan dengan jumlah tiang yang digunakan.

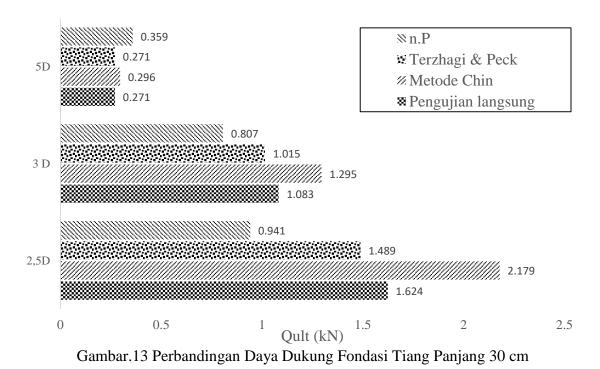
Nilai daya dukung yang terjadi bervariasi untuk masing-masing metode. Nilai-Nilai daya dukung yang didapatkan bisa dilihat pada Gambar 12,13, dan 14.



Gambar 12. Perbandingan Daya Dukung Fondasi Tiang Panjang 40 cm

Untuk tiang dengan panjang 40 cm (Gambar 12), pada model fondasi dengan spasi 5D, susunan tiang menahan beban secara sendiri-sendiri. Artinya tiang berprilaku sebagai tiang tunggal karena hasil pengujian kelompok tiang menghasilkan kapasitas dukung kelompok tiang (Terzaghi & Peck, Chin, dan Uji langsung) yang relatif sama dengan pengujian tiang tunggal dikalikan

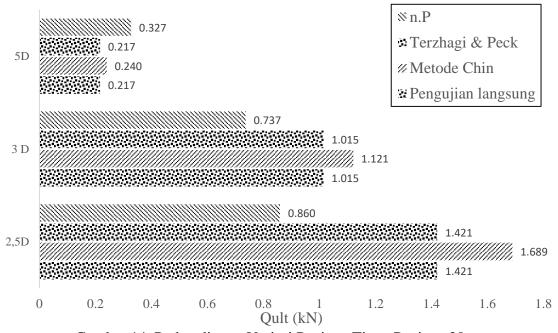
dengan jumlah tiang dalam satu kelompok. Sebaliknya, untuk tiang dengan jarak 3D, dan 2,5D berprilaku sebagai grup karena daya dukung kelompok tiang lebih besar daripada tiang tunggal dikali dengan jumlah tiang. Hal ini terjadi karena luasan kelompok tiang lebih besar daripada tiang tunggal.



Jom FTEKNIK Volume 5 Edisi 2 Juli s/d Desember 2018

Dari Gambar 13, pada tiang panjang 30 cm dengan spasi 5D, daya dukung kelompok tiang lebih kecil dari daya dukung tiang tunggal dikalikan dengan jumlah tiang. Kemungkinan terjadi penurunan kepadatan disekeliling tiang dalam kelompok tiang saat

beban bekerja sehingga terjadi keruntuhan *punching (punching shear failure)*. Hasil yang diperoleh pada uji kelompok tiang dengan spasi 3D dan 2,5D dimana daya dukung kelompok tiang lebih tinggi dari tiang tunggal.



Gambar 14. Perbandingan Variasi Panjang Tiang Panjang 20 cm

Untuk tiang panjang 20 cm pada Gambar 14, perilaku tiang dengan spasi 5D, 3D, dan 2,5D sama dengan tiang dengan panjang 30 cm

Dari hasil pengujian yang ditampilkan pada Gambar 12, 13, dan 14, daya dukung metode interpretasi Chin pada semua variasi panjang tiang dengan spasi 2,5D dan 3D menghasilkan daya dukung yang terbesar.

Tiang dengan panjang 40 cm berprilaku sebagai kelompok tiang karena daya dukung yang dihasilkan lebih besar dari tiang tunggal, sedangkan tiang dengan panjang 30 cm dan 20 cm dengan spasi 5D daya dukung sebagai tiang tunggal lebih besar daripada kelompok tiang, sementara untuk tiang dengan spasi 3D dan 2,5D daya dukung tiang kelompok lebih tinggi daripada tiang tunggal.

### E KESIMPULAN DAN SARAN

### E.1 Kesimpulan

1. Hasil perbandingan uji pembebanan dengan interpretasi data metode Chin

- dan Terzaghi & Peck menunjukkan metode interpretasi Chin mendapatkan nilai kapasitas tiang yang lebih besar jika dibandingkan dengan metode Terzaghi & Peck dan uji pembebanan.
- 2. Kelompok tiang dengan spasi 2,5D dan 3D, hasi pengujian kelompok tiang lebih besar daripada tiang tunggal. Gelembung tegangan (*Bulb Stress*) disekeliling tiang saling beririsan dan menyebabkan tiang saling menyatu membentuk luasan yang lebih besar daripada luasan tiang tunggal. Semakin rapat tiang, semakin besar luasan terbentuk sehingga kapasitas dukung tiang semakin tinggi.
- 3. Pada tiang pendek (20 cm dan 30 cm) spasi 5D, keruntuhan ujung (*Punching shear*) terjadi lebih cepat dalam kelompok tiang dibandingkan dengan tiang tunggal, sehingga kapasitas dukung tiang tunggal lebih besar

daripada kelompok tiang. Tetapi untuk spasi yang lebih rapat tidak berlaku.

### E.2 Saran

Agar penelitian selanjutnya memiliki hasil yang lebih baik, maka penulis memberikan saran sebagai berikut :

- 1. Pada penelitian ini tiang yang digunakan terbuat dari pvc, sehingga hasil penelitian ini tidak relevan dengan kejadian di lapangan, untuk penelitian selanjutnya tiang yang digunakan pada pemodelan sebaiknya terbuat dari bahan yang sama dengan tiang yang digunakan di lapangan, dengan variasi kekasaran dan bahan.
- 2. Tanah yang digunakan bisa diubah gradasi dan bentuk butirannya atau mengganti dengan tanah lempung dengan variasi konsistensi dan kuat geser berbeda.
- 3. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik, maka penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan skala penuh.
- 4. Uji kapasitas fondasi untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan dengan model yang berbeda, dengan variasi diameter dan jenis tiang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (1988). Mekanika Tanah (Prinsipprinsip Mekanika Tanah) Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Hekmatyar, Izzet., Fauzy, Ikhsan., DA, Indrastono., & Sadono, Kresno Wikan. (2017). analisa perilaku daya dukung tiang tunggal dengan rumus statik dan model fisik pada tanah pasir, Jurnal Karya Teknik Sipil, FT, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Nugroho, S.A., Ika Putra, A., & Yusa, M. (2018). Study Gradation and Moisture Content of Sand Embankment on Peat Subjected Vibration Potensial Liquefaction, IOP Conference Series: Material Science Engineering (Vol.316, pp. 1-7)
- Nugroho,S.A., Wibisono, G., & Umam, K. (2016). Effect Gradation and Clay

- Content on Shear Strength of Clayey Sand. In Sriwijaya International Conference on Shear Strength of Clayey Sand (pp. 59-62)
- Nugroho,S.A., & Yusa, M. (2012). Prediction for CBR Unsoaked Value to CBR Soaked and Index Properties of Clay-Sand Mixture of Pekanbaru Soils. In 8<sup>th</sup> International Symposium on Lowland Technology (pp. 59-65)
- Pradoto, S., 1988. Teknik Pondasi, Bandung: Laboratorium Geoteknik Pusat Antar Universitas Ilmu Rekayasa ITB
- Priarianto,Eko dan Sembodo Wahyu Widodo. 2002. analisis pengaruh diameter, panjang dan formasi tiang terhadap kapasitastdukung dan penurunan fondasi tiang pancang, Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipit, FT, UII, Yogyakarta.
- Ridho, R, 2010. uji kapasitas dukung pondasi tiang pancangkelompok ujung tertutup pada tanah pasir berlempung dengan variasi jumlah tiang, Tugas Akhir S-1 Jurusan Teknik Sipil, FT, UNS, Surakarta.
- Sardjono, HS, 1988, Fondasi Tiang Pancang, Penerbit Sinar Wijaya, Surabaya.
- Sosrodarsono, S. & Nakazawa, K., 1984. Mekanika Tanah dan teknik pondasi, Jakarta: Pradnya Paramita
- Suryolelono, K. B., 1994, Teknik Pondasi Bagian II, Yogyakarta : Nafiri
- Roberts, L. A., Misra, A., and Leverson, S. (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
- Terzaghi, Karl dan Peck 1987. Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa Jilid I Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga
- Verhoef, PNW. 1994. Geologi Untuk Teknik Sipil. Jakarta: Erlangga.
- Wibisono, G., Agus Nugroho, S., & Umam, K. (2018). The Influence of Sand's Gradation and Clay Content of Direct Shear Test on Clayey Sand, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 316, pp. 1-8)