

## Pengaruh Konfigurasi Kelompok Tiang Terhadap Daya Dukung Pondasi Di Tanah Lunak

Widayat Amariansah<sup>1\*</sup>, Apriyanto<sup>2</sup>, M. Doni Febriansah<sup>3</sup>, Sasmito Sari<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Dosen Prodi Teknik Sipil Universitas Pandanaran

<sup>3,4</sup>Mahasiswa Prodi Teknik Sipil Universitas Pandanaran

Jalan Banjarsari Barat no.1, Pedalangan, Banyumanik, Semarang

\*Email : widayat@unpand.ac.id

### Abstract

*Commonly, building structure on soft soil used deep foundation. The foundation must be laid in hard soil with end bearing or shear resistance principle calculation if the hard soil have no significant change with soil's depth. If the new building constructed in existing unremovable foundation, so can make such typical pile cap and differences pile configurations. This will be applied if depth of pile, pile's diameter, shape of pile and pile's material are same. In this analysis there are 11 pile cap variations which support the different vertical force, lateral force and moment. Final calculation shown that allowable pile group capacity is greater than actuating tension, prediction off immediate and consolidation is 0,07 m in more than 50 years building service life, heave is 0,03 m and the value of foundation block failure is  $4,50 > 1,00$ .*

**Keywords:** configuration, pile group, bearing capacity, soft soil

### ABSTRAK

Bangunan di tanah lunak umumnya menggunakan pondasi dalam. Kedalaman pondasi diupayakan mencapai tanah keras dengan prinsip *end bearing* atau menggunakan *shear resistance* jika lapisan tanah keras sangat dalam dan perubahan sifat kekakuan tanah menjadi *hard soil* tidak signifikan dengan kedalaman tanah. Jika bangunan baru berdiri di atas pondasi tiang bangunan eksisting yang tidak bisa dibongkar maka akan menimbulkan variasi bentuk pile cap dan konfigurasi titik tiang pancang yang berbeda-beda. Pemodelan konfigurasi ini harus tetap memperhatikan nilai efisiensi kelompok tiang minimal 0,60 dan jarak tiang efektif minimal dua kali diameter tiang agar daya dukung tiang kelompok menjadi optimal. Semakin tinggi nilai efisiensi dan jarak antar tiang maka daya dukung ijin tiang semakin besar sehingga dapat menghemat jumlah tiang namun tetap memperhatikan kelonggaran ruang antar pile cap. Hal ini berlaku jika kedalaman tiang, diameter tiang, bentuk tiang dan bahan tiang pada semua pile cap pada suatu bangunan adalah sama. Hasil analisis menunjukkan dengan 11 variasi pile cap yang memikul beban vertikal, lateral dan momen yang berbeda-beda, menghasilkan kapasitas daya dukung ijin kelompok tiang yang baik sehingga melebihi beban maksimum yang bekerja, prediksi penurunan 0,07 m dalam kurun waktu lebih dari 50 tahun, nilai heave 0,03 m dan angka keruntuhan blok  $4,50 > 1,00$ .

**Kata kunci :** konfigurasi, kelompok tiang, daya dukung, tanah lunak.

Info Artikel :

Masuk : 22 November 2022 Revisi : 15 Desember 2022 Diterima : 17 Desember 2022 Terbit : 31 Desember 2022

### PENDAHULUAN

Pada umumnya tanah lunak seperti lumpur, gambut, endapan alluvial, tanah rawa dan sejenisnya mempunyai lapisan tanah keras yang terletak jauh di bawah muka tanah sehingga daya

dukung tiang lebih mengandalkan gaya gesek tanah dengan dinding tiang daripada kuat tekan tanah pada ujung tiang. Hal ini disebabkan kohesi butiran tanah lunak masih berfungsi namun rongga antar butir terisi air sehingga ikatan antar massa tanah lunak menjadi lemah terhadap penetrasi tiang. Oleh sebab

itu untuk mendapatkan daya dukung tiang yang memadai, umumnya dipasang lebih dari satu tiang pada sebuah pile cap bisa 2, 3, 4, 5 sampai belasan buah sesuai kebutuhan. Menurut Hardiyatmo (2006), penyebaran pengaruh daya dukung tiang mengikuti pola bulb pressure sehingga ada jarak tertentu antar tiang yang paling efisien agar sebuah tiang dapat menghasilkan daya dukung yang optimal. Hal ini dinyatakan sebagai efisiensi kelompok tiang yang akan mempengaruhi konfigurasi jumlah tiang pada suatu pile cap.

Tanah lunak mempunyai diameter butir < 0,006 cm yang lolos saringan no. 200, kuat geser antar butiran yang rendah < 40 kPa, kadar air tinggi 80-100%, kompresibilitas tinggi, permeabilitas rendah, nilai CBR lapangan < 2, mudah menyusut saat kering dan mengembang saat basah (Susy S, 2018). Karakteristik ini menyebabkan tekanan air pori dalam tanah mudah berfluktuasi. Apalagi jika di atas muka tanah lunak ditimbun tanah untuk pembangunan suatu struktur, maka akan terjadi peningkatan tekanan air pori yang menyebabkan tanah lunak mengalami konsolidasi dan penurunan.

Perubahan bentuk penampang tiang, pembesaran penampang tiang, penambahan jumlah tiang dan perpanjangan tiang merupakan solusi yang lazim dipakai untuk memperbesar daya dukung tiang di tanah lunak (Amariansah, 2021). Logika ilmiah ini dapat diterima karena dengan memperbanyak luasan bidang kontak antara tiang dengan tanah, maka akan memperbesar cakupan gaya gesek tiang tiang dengan massa tanah lunak di sekitarnya sehingga efek lekatan yang ditimbulkan dapat dimaksimalkan oleh tiang sebagai reaksi untuk memikul beban yang bekerja. Pada kenyataannya, jika nilai ke empat parameter tadi diperbesar maka tidak selalu secara bersamaan dan signifikan memperbesar daya dukungnya, bahkan satu atau beberapa parameter dapat memperlemah kekuatan tiang. Hal ini disebabkan adanya faktor efisiensi kelompok tiang dan penambahan berat sendiri tiang yang tidak linier dengan kenaikan total friction (tf) atau Jumlah Hambatan Pelekat (JHP) yang menjadi andalan kemampuan dukung tiang (SNI 8640-2017). Oleh sebab itu perlu dicari pendekatan empiris pada suatu kondisi optimal yang memungkinkan ke empat parameter tersebut bekerja secara bersamaan dan signifikan memperbesar kuat dukung tiang.

Suatu jenis tanah dikatakan lunak jika hasil uji sondir menunjukkan tekanan konus  $q_c < 10 \text{ kg/cm}^2$ , nilai N-SPT hasil uji bor < 5, nilai CBR lapangan < 2, batas cair > 60%, persentase butiran lolos saringan no. 200 (diameter 0,075 mm) > 50%, kadar air  $w > 80\%$ , indeks plastis  $IP > 80\%$  (Hardiyatmo, 2006).

Pondasi dalam dapat berupa tiang pancang (beton, baja, kayu, bambu), tiang bor dan sumuran (Sardjono, 1991). Perhitungan daya dukung pondasi dalam dapat menggunakan data tekanan konus ( $q_c$ ) dan jumlah tahanan gesek (tf) atau jumlah hambatan pelekat (JHP) yang diperoleh dari uji sondir dengan formula Bagemann (1965) yang lazim dipakai yaitu :

$$P = \frac{q_c \cdot A}{FS1} + \frac{tf \cdot O}{FS2} \dots (1)$$

P = daya dukung ijin satu tiang (ton)  
 $q_c$  = tekanan konus ujung tiang (t/m<sup>2</sup>)  
 A = luas penampang ujung tiang (m<sup>2</sup>)  
 tf = tahanan gesek sepanjang tiang (t/m)  
 O = keliling sepanjang dinding tiang (m)  
 FS1 = angka keamanan ujung tiang  
 FS2 = angka keamanan sepanjang dinding tiang  
 Jika memakai nilai N-SPT dari hasil uji bor maka dipakai rumus Meyerhoff (1976) :

$$P_{ult} = 380 \cdot N_b \cdot A_b + 0,02 \cdot N_{rata} \cdot A_s \dots (2)$$

$$P = \frac{P_{ult}}{FS} \dots (3)$$

$P_{ult}$  = daya dukung batas satu tiang (ton)  
 P = daya dukung ijin satu tiang (ton)  
 FS = angka keamanan = 2-3  
 $N_b$  = nilai N-SPT di ujung tiang  
 $A_b$  = luas penampang ujung tiang (m<sup>2</sup>)  
 $N_{rata}$  = nilai N-SPT rerata sepanjang tiang  
 $A_s$  = luas selimut/dinding sepanjang tiang.  
 Berdasarkan hasil uji kalendering pemancangan di lapangan, daya dukung ijin tiang yang sudah terpasang di site dihitung dengan rumus dinamik berdasarkan berat hammer, tinggi jatuh hammer dan penetrasi tiang pada 10 pukulan terakhir saat pemancangan. Daya dukung hasil perhitungan dinamik dikatakan aman jika menghasilkan kuat dukung 150-200% dari daya dukung ijin rencana (SNI 8640-2017).

Single Acting Hammer :

$$Q_u = \left\{ \left( \frac{\alpha \cdot W \cdot H}{S + C} \right) - \left( \frac{W + (P \cdot e^2)}{W + P} \right) \right\} \dots (4)$$

Double Acting Hammer :

$$Q_u = \left\{ \left( \frac{\alpha \cdot E \cdot h}{S + C} \right) - \left( \frac{W + (P \cdot e^2)}{W + P} \right) \right\} \dots (5)$$

Single and Double Acting Hammer :

$$Qr = \frac{Qu}{6} \dots (6)$$

- Qu = daya dukung batas satu tiang (ton)
- Qr = daya dukung ijin satu tiang (ton)
- $\alpha$  = efisiensi alat/hammer
- W = berat hammer sesuai alat pancang (ton)
- H = tinggi jatuh hammer sesuai alat pancang
- Eh = energi pukulan alat pancang (ton.cm)
- S = penetrasi pukulan terakhir, diambil rata-rata dari 10 pukulan terakhir (cm)
- C = koefisien temporary elastic compression
- P = berat tiang pancang (ton)
- e = koefisien restitusi

Pada kondisi tanah lunak, umumnya dipakai lebih dari 1 tiang dalam sebuah pile cap/pad (Setiawan, 2020). Untuk mendapatkan overlapping bulb pressure kuat dukung tiang yang sesedikit mungkin dan efektif, maka perlu dipertimbangkan efisiensi kelompok tiang menurut Converse-Labarre :

$$E = 1 - \Theta \cdot \frac{(m-1) \cdot n + (n-1) \cdot m}{90 \cdot m \cdot n} \dots (7)$$

- E = efisiensi kelompok tiang
- $\Theta$  = arc tg d/s (°)
- d = diameter atau lebar tiang (m)
- s = jarak antar pusat tiang (m)
- m = jumlah baris tiang dalam arah sumbu x
- n = jumlah baris tiang dalam arah sumbu y

Kuat dukung tiang yang diperoleh dari persamaan (1) dan (6) harus lebih kecil dari kuat tekan bahan tiang (allowable compression) dari pabrikan atau dapat dihitung secara empiris :

$$P_{bahan} = \phi \cdot f_c' \cdot A_{pile} \dots (8)$$

- P bahan = kuat dukung tekan tiang berdasarkan kekuatan bahan tiang (ton)
- $\phi$  = faktor reduksi = 0,80
- $f_c'$  = kuat tekan beton (kg/cm<sup>2</sup>)
- $A_{pile}$  = luas penampang tiang (cm<sup>2</sup>)

Beban yang bekerja pada kelompok tiang menurut SNI 2847-2013 berupa gaya vertikal (P), horisontal (H) dan momen (M).

Beban vertikal (P) terdiri dari berat sendiri pile cap, berat sendiri tiang pancang, reaksi dukung (support reaction) struktur atas, tanah timbunan, berat benda di muka tanah di atas pondasi seperti kendaraan yang berhenti, blok mesin, dsb, gaya tarik akibat kabel tower listrik putus, angin puyuh, dsb, gaya angkat akibat kenaikan muka air tanah, gaya tarik ke bawah akibat negative skin friction. Beban horisontal/lateral (H) berupa tekanan tanah aktif, tekanan akibat beban merata/terpusat di muka tanah seperti kendaraan yang berhenti, mesin, dsb, tekanan air tanah, gaya gempa, gaya benturan akibat kendaraan bergerak, gaya benturan akibat air banjir, gaya getar akibat mesin dan peralatan lainnya. Sedangkan momen ada yang bekerja pada arah sumbu X (M<sub>x</sub>) dan atau sumbu Y (M<sub>y</sub>). Semua beban di atas, diakumulasi dan didistribusikan secara proporsional ke setiap tiang dalam pile group dengan cara :

$$P_i = \left( \frac{\sum V}{m \cdot n} \right) + \left( \frac{M_x \cdot x}{\sum x_i^2} \right) + \left( \frac{M_y \cdot y}{\sum y_i^2} \right) \dots \dots \dots (9)$$

- P<sub>i</sub> = beban vertikal pada tiang ke-i (ton)
- $\sum V$  = akumulasi beban luar vertikal P (ton)
- m = jumlah kolom tiang dalam pile group
- n = jumlah baris tiang dalam pile group
- M<sub>x</sub> = akumulasi momen arah x (tm)
- x = jarak horisontal dari as pile group ke as tiang ke-i (m)
- $\sum x_i$  = akumulasi jarak horisontal dari as setiap tiang ke as pile group (m)
- M<sub>y</sub> = akumulasi momen arah y (tm)
- y = jarak vertikal dari as pile group ke as tiang ke-i (m)
- $\sum y_i$  = akumulasi jarak vertikal dari as setiap tiang ke as pile group (m).

Adaapun syarat kestabilan pile group :

$$P_{maks} \leq P_{bahan} \leq P \dots \dots \dots (10)$$

- P<sub>maks</sub> = beban vertikal terbesar pada tiang yaitu yang terletak terjauh dari pusat pile group.
- P<sub>bahan</sub> = kuat dukung tekan tiang berdasarkan kekuatan bahan tiang (ton)
- P = daya dukung tiang yang diijinkan sesuai kondisi tanahnya (ton)

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode analisis kuantitatif yaitu perhitungan kestabilan daya dukung tiang pancang pada arah vertikal akibat beban luar atau support reaction yang berupa gaya vertikal P, gaya lateral/horisontal H dan momen arah x maupun y. Lokasi penelitian di daerah urugan tambak di kawasan PLTU Tambak Lorok Semarang yang akan dibuat gedung kontrol GIS 150 kV. Pengumpulan data tanah berupa hasil uji sondir, uji bor, uji *soil properties* dan *engineering properties* di laboratorium. Lalu dilanjutkan simulasi input pembebanan, pembuatan model dua dimensi, uji coba kestabilan kelompok tiang sampai memperoleh konfigurasi, kedalaman dan dimensi yang memenuhi syarat keamanan, kemudahan dalam pelaksanaan dan terjangkau secara kontraktual.

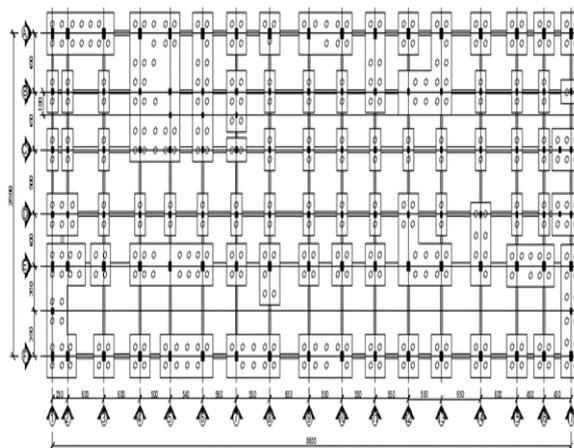
Perhitungan dilakukan dengan MS Excel 2013 yang dikontrol dengan cara membandingkannya terhadap catatan rekam data deformasi bangunan sejenis yang sudah dibangun di sekitarnya. Variasi *support reaction* yang berbeda pada setiap kolom menghasilkan beragam tipe pile group. Dengan demikian konfigurasi tiang dalam setiap kelompok tiang bervariasi pula. Untuk tidak menimbulkan variasi *pile group* yang banyak, beberapa nilai *support reaction* yang berdekatan, akan dikelompokkan dalam satu tipe pile group. Setiap tipe pile group mempunyai jumlah tiang, kedalaman tiang, jarak antar tiang, posisi tiang dan ukuran pile cap yang berbeda, namun semua tipe pile group mempunyai diameter tiang yang sama untuk kemudahan perhitungan dan pemesanan di pabrik. Hasil akhirnya diharapkan memunculkan pilihan dimensi kelompok tiang yang efisien, stabil dan aman.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji tanah menunjukkan jenis tanah mayoritas lempung dengan sebaran lapisan pada kedalaman 0-25 meter mayoritas merupakan lempung konsistensi lunak-sangat lunak setengah padat, ada sisipan pasir kelanauan, warna dengan nilai N-SPT 1-12, tekanan konus 2-12 kg/cm<sup>2</sup>, jumlah hambatan pekat 4-590 kg/cm<sup>2</sup>, kadar air  $w = 58-69\%$ , berat jenis  $\gamma = 1,59-1,62 \text{ t/m}^3$ , porositas  $n = 61-63\%$ , kadar pori  $e = 1,56-1,77$ . Sedangkan di kedalaman 25-50 meter mayoritas merupakan lempung konsistensi setengah padat, teguh dan keras, warna abu-abu kecoklatan, dengan nilai N-SPT 13-45, tekanan konus dan jumlah hambatan pekat tidak ada data karena uji sondir sampai kedalaman 20 meter, kadar air  $w = 30-40\%$ , berat jenis  $\gamma = 1,66-1,69 \text{ t/m}^3$ , porositas

$n = 51-55\%$ , kadar pori  $e = 1,06-1,25$  (Lab.Mektan Undip, 2019).

Hasil running perhitungan struktur atas dengan program bantu SAP 2000, besaran *support reaction* dikelompokkan menjadi 11 tipe *support reaction* berdasarkan kedekatan nilai nominalnya, sebab itu dirancang 11 tipe *pile group* dengan konfigurasi tiang yang berbeda (Citicon, 2019).

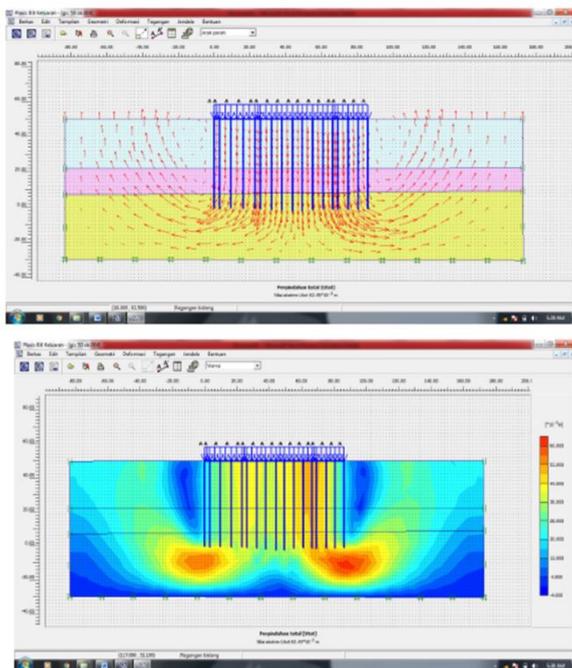


Gambar 1. Sebelas tipe pile

Sebelas tipe pondasi dalam ini pada umumnya mempunyai bentuk pile cap persegi atau persegi panjang atau huruf L dengan penyebaran titik-titik pancang pada setiap pile capnya simetris atau tidak simetris. Hal ini disebabkan sejumlah titik pancang pada beberapa lokasi pile cap, merupakan area *switchyard tower* dan *HV equipment 150 kV* lama yang dibongkar *steel structure*nya namun pilenya masih tertanam di dalam tanah karena sulit dibongkar. Oleh sebab itu letak beberapa titik pancang pada satu pile cap bisa tidak simetris, namun kedalaman semua pile pada semua pile cap adalah sama yaitu 50 m untuk memperkecil resiko penurunan tidak seragam pada bangunan. Penentuan panjang 50 m dan tebal semua pile cap 0,70 m ini dihitung berdasarkan nilai daya dukung ijin terhadap *support reaction* terbesar pada pile cap tipe P.11 yang memiliki 26 titik tiang. Dipilih tiang spun pile K-500 dengan diameter 0.60 m yang tertanam di lapisan lempung keras warna coklat dengan N-SPT = 45 sesuai data BH-3. Daya dukung ijin tiang tunggal dengan faktor reduksi  $\phi = 0,85$  menggunakan rumus Meyerhoff adalah 180 ton > P yang bekerja maksimum pd tiang tunggal = 132 ton. Sedangkan tahanan lateral ijin dengan faktor reduksi  $\phi = 0,75$  adalah 70,00 ton > gaya lateral maksimum yang bekerja = 24,02 ton.

Sedangkan untuk kestabilan kelompok tiang mempunyai efisiensi 0,60 sehingga beban vertikal yang bekerja pada pile group tipe P.2 =  $E \times \sum \text{tiang} \times P_{ijin} = 0,60 \times 5 \times 180 = 540 \text{ ton} > P_{maks} = 132 \text{ ton}$ . Beban vertikal yang bekerja pada pile group tipe P.11 =  $E \times \sum \text{tiang} \times P_{ijin} = 0,60 \times 26 \times 180 = 2808 \text{ ton} > P_{maks} = 368,9 \text{ ton}$ . beban vertikal yang bekerja pada pile group tipe P.1 =  $E \times \sum \text{tiang} \times P_{ijin} = 0,60 \times 3 \times 180 = 324 \text{ ton} > P_{maks} = 68,74 \text{ ton}$ . Adapun penurunan terbesar pada pile group tipe P.11 sebesar 0,01 m saat penurunan segera dan 0,06 m ketika penurunan konsolidasi, sehingga penurunan total 0,07 m yang diprediksi terjadi lebih dari 50 tahun sejak bangunan beroperasi. Adapun angka keruntuhan blok pondasi  $4,50 > 1,00$  dengan nilai *heave* 0,03 m.

**Deformasi Penurunan**



Terjadi penurunan total maximum 0,062 m

Gambar 2. Prediksi penurunan terbesar pada pile group dengan kedalaman tiang 50 m

$n$	$V_{piles}$ (m <sup>3</sup> )	$V_{preauger}$ (m <sup>3</sup> )	$D$ (m)	$L$ (m)	$\alpha$ (m)	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
1	12,717	0	0,3	0,3	45	1	1	0

$$x = \frac{1(12,717 - 0)}{45 \left( (1 + 1) \left( \frac{1}{2} + \frac{45}{0} \right) + (0 + 0) \left( \frac{0,3}{2} + \frac{45}{0} \right) + \frac{0,3 - 0,3}{45} \right)}$$

$x = 0,028 \text{ m}$

Gambar 3. Prediksi heave terbesar pada pile group dengan kedalaman tiang 50 m

Berdasarkan analisis dan hasil perhitungan di atas, maka konfigurasi tiang pancang yaitu angka efisiensi dan spasi antar tiang, berpengaruh signifikan pada perubahan daya dukung ijin kelompok tiang. Semakin banyak tiang dalam satu kelompok, akan semakin tinggi daya dukungnya ketika nilai efisiensi minimal 0,60 dan jarak antar tiang minimal 2 kali diameter tiang. Hal ini berlaku untuk kedalaman tiang, diameter tiang, bentuk tiang dan bahan tiang yang sama.

**SIMPULAN**

Besar kecilnya daya dukung ijin kelompok tiang dipengaruhi oleh angka efisiensi dan spasi antar tiang, dengan catatan bahwa hal ini berlaku untuk kedalaman tiang, diameter tiang, bentuk tiang dan bahan tiang yang sama. Penurunan kelompok tiang dipengaruhi jenis tanah, tebal lapisan tanah lunak yang berpotensi mengalami penurunan, nilai soil dan engineering properties tanah, panjang dan lebar pile cap kelompok tiang. Nilai heave, nilai N-SPT, konsistensi tanah, modulus elastisitas tanah, poisson ratio, parameter teknis hasil uji laboratorium, ukuran bangunan. Menurut Olsson dan Helm (1993), pengaruh heave pemancangan kelompok tiang dibatasi seluas keliling tiang terluar dalam kelompok tiang ditambah jarak ke arah lateral sama dengan kedalaman tiang.

Penelitian ini merupakan dasar bagi pengembangan pengetahuan perilaku daya dukung kelompok tiang sehingga dapat dikembangkan pemahaman pada penelitian berikutnya tentang variasi kedalaman tiang, diameter tiang, bentuk tiang dan bahan tiang yang berbeda; pemilihan model heave yang lain sebagai pembanding sesuai dengan beban yang bekerja; dan variasi bentuk pile cap dan konfigurasi tiang terhadap daya dukung ijin kelompok tiang.

**DAFTAR PUSTAKA**

Amariansah, Widayat dkk. 2021. Optimalisasi Daya Dukung Kelompok Tiang di Tanah Lunak. Jurnal Neo Teknika Volume 7 Nomor 2. Semarang

Badan Standarisasi Nasional. 2013. SNI 2847 Persyaratan Beton Struktural untuk Gedung.

Bowless, 1993. *Analisa dan Desain Pondasi I*, Erlangga, Jakarta

Citicon Adhi Nugraha, PT. 2019. Perhitungan Struktur Tambak Lorok GIS Control Building. PLN UIP JBT II Yogyakarta

Hardiyatmo, H.C.2006. Teknik Pondasi II. Beta Offset. Yogyakarta

- Laboratorium Mekanika Tanah FT Undip, 2019.  
Laporan Penyelidikan Tanah Proyek  
Pembangunan GIS 150 kV Tambak Lorok  
III. SemarangHardiyatmo, Hary Christady,  
2006, *Teknik Fondasi II*, Beta Offset,  
Yogyakarta
- Sardjono, HS, 1991, *Pondasi Tiang Pancang*,  
Sinar Wijaya, Surabaya
- Setiawan, Bambang dkk, 2020, *Pengaruh  
Perkuatan Tiang terhadap Stabilitas  
Timbunan di Atas Tanah Lunak  
Menggunakan Metode Elemen Hingga*,  
Jurnal Riset Rekayasa Sipil UNS Volume 3  
Nomor 2, Surakarta
- SNI 8640-2017, Persyaratan Perancangan  
Geoteknik, BSN, Jakarta
- Srihandayani, Susy, dkk, 2018, *Pondasi Super  
Ringan pada Tanah Lunak*, Prosiding 5<sup>th</sup>  
ACE Conference, Padang