

Pengaruh Kedalaman Dan Bentuk Penampang Terhadap Daya Dukung Dan Pengaruh Pondasi Tiang

^{*)}Nurul Fauzia Ulfa¹, Isnaniati¹, Himatul Farichah²

¹⁾ Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya

^{*)}fauzianurul28@gmail.com; ^{*)} isnaniati@ft.um-surabaya.ac.id

²⁾ Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

^{*)}himatul_farichah.ts@upnjatim.ac.id

Abstract

In general, the soil in Sidoarjo has a clay type soil. Clay soil has a low bearing capacity, large compression and lasts a long time. Pile foundation is part of the structure used to receive and transmit loads from the upper structure to the ground at a certain depth, it is necessary to analyze the bearing capacity of the foundation. By comparing the shape of square, circle and triangle cross sections to determine the bearing capacity of the foundation that is able to support the building above it using CPT and SPT data. Observed at the variation of the depth of 20 m, 25 m and 35 m, so that it can be seen the magnitude of the permit bearing capacity ($Q_{allowed}$) and the amount of consolidation reduction (S_c) at each depth and each shape of the square, circle and triangle sections. The results showed that % of the permit bearing capacity ($Q_{allowed}$) from the largest to the smallest at a depth of 20 m was 100% for square, 78.49% for circle, 70.55% for triangle, at a depth of 25 m was 100% for square, 78.52% for circle, 70.67% for triangle, and at a depth of 30 m it is a 100% for square, 78.50% for circle, 70.21% for triangle. The amount of settlement (S_c) on the pile at a depth of 20 m at 100% for square, 59.55% for circle, 59.55% for triangle, at 25 m depth is 100% for square, 88.48% for circle, 88.48 % for triangle, and at a depth of 30 m it is 100% for square, 43.34% for circle, 36.02% for triangle.

Keywords : Pile bearing capacity, CPT, SPT, group pile, settlement

Abstrak

Pada umumnya tanah yang terdapat di Sidoarjo memiliki jenis tanah lempung. Tanah Lempung memiliki daya dukung yang rendah, pemampatan yang besar dan berlangsung cukup lama. Pondasi tiang adalah bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah pada kedalaman tertentu, maka perlu dilakukan analisa daya dukung pondasi. Dengan membandingkan bentuk penampang persegi, lingkaran dan segitiga untuk menentukan besarnya daya dukung pondasi yang mampu menopang bangunan di atasnya dengan menggunakan data CPT dan SPT. Ditinjau pada variasi kedalaman 20 m, 25 m dan 35 m, sehingga dapat diketahui besarnya daya dukung ijin (Q_{ijin}) dan besarnya penurunan konsolidasi (S_c) pada masing-masing kedalaman dan masing-masing bentuk penampang persegi, lingkaran dan segitiga. Hasil penelitian diperoleh bahwa % daya dukung ijin (Q_{ijin}) dari yang terbesar sd terkecil di kedalaman 20 m adalah bentuk persegi 100%, bentuk lingkaran 78.49%, bentuk segitiga 70.55%, pada di kedalaman 25 m adalah bentuk persegi 100%, bentuk lingkaran 78.52%, bentuk segitiga 70.67%, dan di kedalaman 30 m adalah bentuk persegi 100%, bentuk lingkaran 78.50%, bentuk segitiga 70.21%. Besarnya penurunan (S_c) pada tiang di kedalaman 20 m pada bentuk persegi 100%, bentuk lingkaran 59.55%, bentuk segitiga 59.55%, di kedalaman 25 m adalah bentuk persegi 100%, bentuk lingkaran 88.48%, bentuk segitiga 88.48%, dan di kedalaman 30 m adalah bentuk persegi 100%, bentuk lingkaran 43.34%, bentuk segitiga 36.02%.

Kata Kunci : Daya dukung pondasi, CPT, SPT, tiang kelompok, penurunan

PENDAHULUAN

Sidoarjo adalah salah satu Kabupaten yang termasuk dalam kawasan Metropolitan di Provinsi Jawa Timur, yakni kawasan Gerbangkertosusila. (Wikipedia, Gerbangkertosusila). Sidoarjo merupakan kabupaten di Jawa timur yang terkenal dengan sebutan kota delta. Pada umumnya tanah yang terdapat di Sidoarjo memiliki jenis tanah lempung, yang mana dapat menimbulkan beberapa permasalahan dalam mendirikan bangunan di atas tanah tersebut.

Tanah Lempung memiliki daya dukung yang rendah, pemampatan yang besar dan berlangsung cukup lama. Hal ini dikarenakan tanah lempung mempunyai koefisien rembesan tanah yang kecil, sehingga

membutuhkan waktu yang lama dalam proses pemampatannya.

Daya dukung tanah yang diharapkan untuk mendukung fondasi adalah daya dukung yang mampu memikul beban struktur agar penurunan yang terjadi masih berada dalam batas toleransi. Pada dasarnya syarat utama dalam mendirikan bangunan adalah perencanaan pondasinya.

Data yang digunakan dalam menentukan perhitungan daya dukung pondasi yaitu data CPT dan data SPT, Penyelidikan tanah dibutuhkan untuk keperluan desain pondasi, salah satu metode pelaksanaan adalah dengan metode *sondir*. Pengujian ini dilakukan untuk memperkirakan kedalam tanah keras. Uji penetrasi standar

(SPT) adalah tes penetrasi dinamis in-situ yang dirancang untuk memberikan informasi tentang sifat-sifat geoteknik tanah. Standard Penetration Test (SPT) dilakukan untuk mengestimasi nilai kerapatan relatif dari lapisan tanah yang diuji.

Dalam perhitungan daya dukung pondasi, menggunakan persamaan rumus dari Meyerhoff. Meyerhoff menyarankan suatu persamaan daya dukung yang mirip dengan Terzaghi. Persamaan ini dapat digunakan untuk menghasilkan kurva yang serupa yang diusulkan Terzaghi dan Peck.

Adanya hasil penelitian menggunakan data CPT ataupun SPT yang menghasilkan bentuk penampang tiang persegi memberikan perhitungan jumlah tiang yang paling sedikit dibanding bentuk penampang lainnya (Isnaniati, 2016). Penelitian tersebut diperkuat dengan hasil penelitian (Isnaniati, 2017) bahwa bentuk penampang tiang persegi memberikan kontribusi beban max (Q_{max}) yang paling besar dibandingkan bentuk penampang lainnya (lingkaran, segitiga).

Dari latar belakang diatas, pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis perhitungan daya dukung pondasi tiang dengan menggunakan variasi bentuk penampang tiang, yaitu lingkaran, persegi dan segitiga dengan dimensi pondasi 500 mm pada kedalaman yang bervariasi.

METODE

Dalam proses perencanaan, diperlukan analisis yang teliti, semakin rumit permasalahan yang dihadapi maka semakin kompleks pula analisis yang akan dilakukan. Perhitungan daya dukung tanah menggunakan data CPT dan SPT menggunakan metode Konvensional.

Data yang digunakan untuk menganalisis data berupa data Sekunder, yakni data CPT (Sondir) dan data SPT. Dari data dan latar belakang diatas dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh besarnya daya dukung tanah akibat variasi kedalaman tiang dengan menggunakan data CPT dan SPT ?
2. Bagaimana pengaruh besarnya daya dukung tanah akibat variasi bentuk penampang tiang (lingkaran, persegi dan segitiga) dengan menggunakan data CPT dan SPT ?
3. Bagaimana pengaruh variasi kedalaman dan bentuk tiang terhadap besarnya daya dukung dan penurunan?

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisa Data Tanah

Data tanah yang digunakan adalah data dari Konsultan Testana Engineering, Inc. untuk proyek Perencanaan Pembangunan Sarana Prasarana Penunjang Kawasan Sidoarjo Community Center. Lokasi proyek

Perencanaan Pembangunan Sarana Prasarana Penunjang Kawasan Sidoarjo Community Center sendiri berada di Jl. Lingkar Timur, Sidoarjo. Hasil dari data tanah CPT dan SPT, kapasitas daya dukung ultimate ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (1)$$

2. Perhitungan Daya Dukung Dari Data CPT

Perhitungan daya dukung dilakukan dikedalaman 20 m, 25 m dan 30 m. Hasil dari data tanah sondir atau CPT, ditentukan dengan menggunakan metode Philliponat sebagai berikut :

(Philliponat, 1980) .

$$Q_u = (Q_p) + (Q_s) \quad (2)$$

Daya dukung ujung tiang, sbb :

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

$$q_p = \alpha_p \cdot \bar{R}_p \quad (4)$$

$$\text{dengan,} \quad \bar{R}_p = \frac{1}{6B} \int_{Z_{p,3B}}^{Z_{p,3B}} R_p(z) dz \quad (5)$$

Daya dukung lekatan, sbb:

$$(Q_s) = P \sum f_{ui} \cdot h_i \quad (6)$$

Tabel 1. Koefisien α_p

Jenis Tanah	α_p
Lempung dan kapur	0,50
Lanau	0,45
Pasir	0,40
Kerikil	0,35

Sumber : Herman Wahyudi (1999)

Unsur Lekatan (Frotterment)

$$F_u = \alpha_f \cdot \frac{R_p}{\alpha_s} \quad (7)$$

Tabel 2. Koefisien α_s

Jenis Tanah	α_s
Lempung dan kapur	50
Lanau, lempung berpasir	60
Pasir berlempung	
Pasir lepas	100
Pasir sedang	150
Pasir padat	
Kerikil	200

Sumber : Herman Wahyudi (1999)

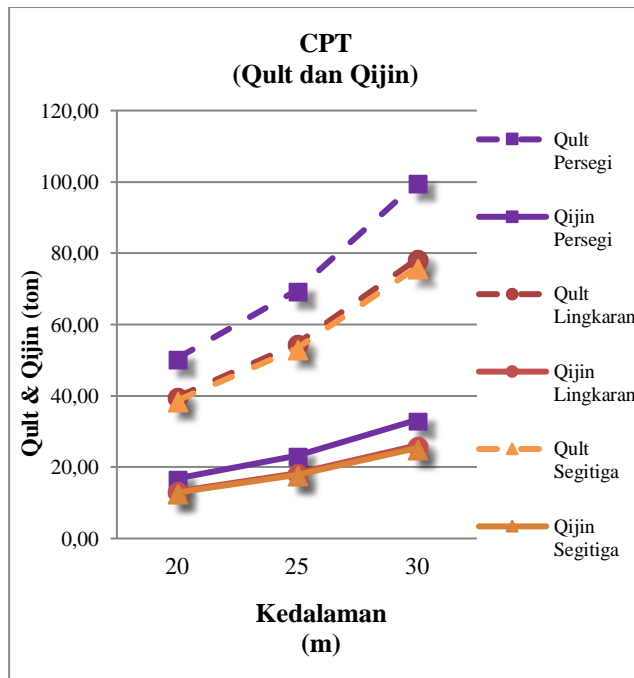
Tabel 3. Koefisien α_f

Bahan Tiang	Type Tiang	α_f
Beton	Tiang Pancang	1.25
	Tiang dibor dan divibrasi	1
	Tiang diinjeksi	0.85
	Tiang dibor untuk 1.50 m	
Baja	Tiang dibor dengan 1.50 m	0.75
	Tiang profil H	0.10
	Tiang baja dipancang	0.60
	Tiang baja terbuka dipasang dengan cara Benoto	0.30

Sumber : Herman Wahyudi (1999)

Tabel 4. Analisa perhitungan Qult dan Qijin dari data CPT

Ked.	Qult	Qijin	Qult	Qijin	Qult	Qijin
(m)	Persegi (ton)	Lingkaran (ton)	Segitiga (ton)			
20	50,48	16,83	39,63	13,21	38,66	12,89
25	69,54	23,18	54,59	18,20	53,33	17,77
30	99,75	33,25	78,30	26,10	76,04	25,35



Gambar 1. Grafik Qult dan Qijin dari data CPT

2. Perhitungan Daya Dukung Dari Data SPT

Perhitungan daya dukung berdasarkan data SPT dengan formula Mayerhoff dan Bazaara. Seperti halnya perhitungan dari data CPT, kita juga menghitung dari data SPT untuk mendapatkan daya dukung tanah di kedalaman 20 m, 25 m, dan 30 m. Dari data SPT tidak langsung digunakan dalam perencanaan, sebelumnya dilakukan koreksi terlebih dahulu, sebagai berikut :

a. Koreksi muka air tanah

Untuk tanah pasir halus, pasir berlanau, dan pasir berlempung yang berada dibawah muka air tanah dan $N > 15$:

$$- N_1 = 15 + \frac{1}{2} (N - 15) \quad (8)$$

(Terzaghi dan Peck, 1960)

$$- N_1 = 0,6 N \quad (9)$$

(Bazaraa., 1967)

Apabila di bawah muka air tanah nilai $N < 15$ maka tidak ada koreksi.

b. Koreksi terhadap overburden pressure (Bazaraa, 1967)

$$N_2 = \frac{4 \cdot N_1}{1 + 0,4 p'_o} \quad ; \text{ bila } p'_o \leq 7,5 \text{ ton/m}^2 \quad (10)$$

$$N_2 = \frac{4 \cdot N_1}{3,25 + 0,1 p'_o} \quad ; \text{ bila } p'_o > 7,5 \text{ ton/m}^2 \quad (11)$$

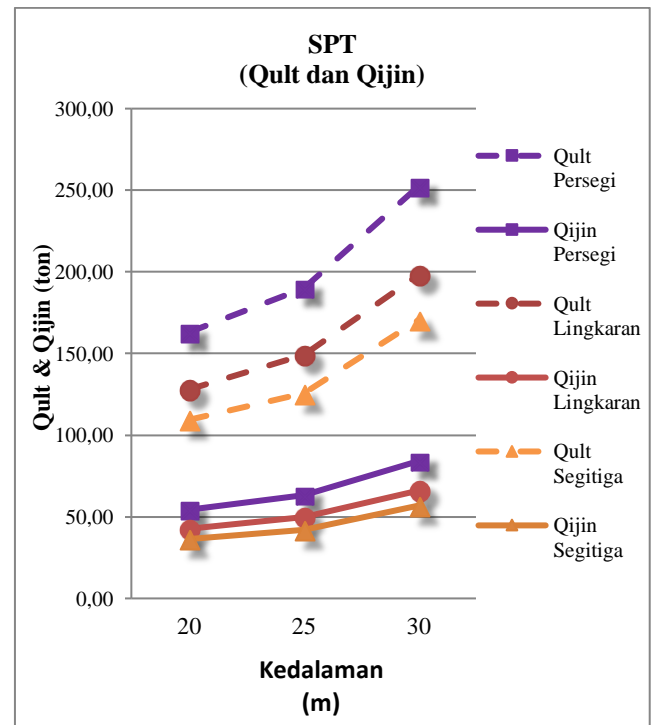
$N_2 \text{ harus } \leq 2 N_1$

Bila dari koreksi didapat $N_2 > 2 N_1$ dibuat $N_2 = 2 N_1$

$$Qult = C_n \cdot A \text{ ujung} + \sum C_{li} \cdot A_{si} \quad (12)$$

Tabel 5. Analisa perhitungan Qult dan Qijin dari data SPT

Ked.	Qult	Qijin	Qult	Qijin	Qult	Qijin
(m)	Persegi (ton)	Lingkaran (ton)	Segitiga (ton)			
20	163,01	54,34	127,97	42,65	109,38	36,36
25	189,94	63,31	149,10	49,70	125,59	41,86
30	252,37	84,12	198,11	66,04	170,52	56,84



Gambar 2. Grafik Qult dan Qijin dari data SPT

3. Perhitungan Daya Dukung Ijin

Menentukan daya dukung ijin tiang (Qijin) dilakukan dengan membagi daya dukung ultimate terhadap safety factor (Angka keamanan).

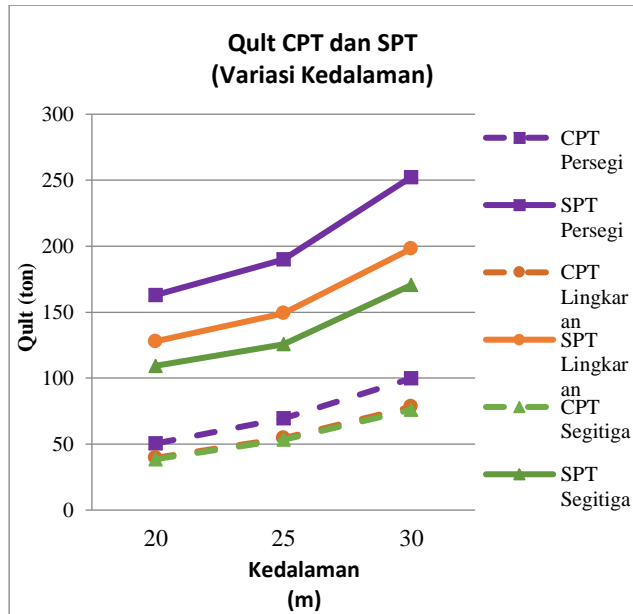
$$Q_{V \text{ ijin}} = \frac{Q_{ult}}{SF} \quad (13)$$

4. Perbandingan Daya Dukung Pondasi

Perbandingan daya dukung pondasi tiang menggunakan data CPT dan SPT, dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 3, berikut :

Tabel 6. Perbandingan Qijin dengan variasi bentuk

Bentuk Penampang	Qijin					
	Ked. 20 m		Ked. 25 m		Ked. 30 m	
	CPT	SPT	CPT	SPT	CPT	SPT
Persegi	16,83	54,34	23,18	63,31	33,25	84,12
Lingkaran	13,21	42,65	18,20	49,70	26,10	66,04
Segitiga	12,89	36,46	17,76	41,86	25,35	56,84



Gambar 3. Grafik perbandingan daya dukung pondasi tiang bentuk persegi, lingkaran dan segitiga

5. Kapasitas Kelompok Tiang

Untuk menghitung nilai kapasitas dukung kelompok tiang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, yaitu jumlah tiang dalam satu kelompok, jarak tiang, susunan tiang dan efisiensi kelompok tiang.

a. Repartisi Beban-Beban diatas Tiang Kelompok:

- Tiang Yang Menerima Beban Vertikal, horisontal dan Momen ,maka besarnya vertikal ekuivalen yang bekerja pada sebuah tiang, sbb:

$$Q_{max} = \frac{\sum V}{n} \pm \frac{M_y \cdot X_{max}}{\sum X^2} \pm \frac{M_x \cdot Y_{max}}{\sum Y^2} \quad (14)$$

b. Kontrol Beban Maksimum Terhadap Daya Dukung Ijin Tiang

$$\frac{Q_{max}}{C_c} \leq Q_{ijin} \quad (15)$$

Tabel 6. Kapasitas Jumlah Tiang Kelompok bentuk Persegi

Ked (m)	n	Persegi			Qmax	Kor. Jml. Tiang Qmax<Qijin
		L	B			
20,0	3,12	4,00	2,4	2,4	14,031	OK
25,0	2,26	3,00	3,9	2,4	18,526	OK
30,0	1,58	2,00	2,4	0,9	28,551	OK

Tabel 7. Kapasitas Jumlah Tiang Kelompok bentuk Lingkaran

Ked (m)	n	Lingkaran			Qmax	Kor. Jml. Tiang Qmax<Qijin
		L	B			
20,0	3,97	5,00	3,9	3,9	10,859	OK
25,0	2,88	4,00	2,4	2,4	14,031	OK
30,0	2,01	3,00	3,9	2,4	18,526	OK

Tabel 8. Kapasitas Jumlah Tiang Kelompok bentuk Segitiga

Ked (m)	n	Persegi			Qmax	Kor. Jml. Tiang Qmax<Qijin
		L	B			
20,0	3,12	4,00	2,4	2,4	14,031	OK
25,0	2,26	3,00	3,9	2,4	18,526	OK
30,0	1,58	2,00	2,4	0,9	28,551	OK

6. Penurunan Tiang Pondasi

Penurunan pada pondasi tiang dipengaruhi oleh mekanisme pengalihan beban dari tiang ke tanah. Dasar – dasar perhitungan penurunan dan analisa penyebaran tegangan digunakan metoda “Analisa sederhana”

Penurunan konsolidasi terdapat 2 kondisi tanah:

Untuk tanah “Normally Consolidated” dirumuskan sebagai berikut:

$$S_c = \left[C_c \frac{H_o}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo'} + \Delta P}{\sigma_{vo'}} \right] \quad (16)$$

Untuk tanah “Overconsolidated”, penurunan konsolidasi terdapat 2 kondisi sbb:

1. $\sigma_{vo'} + \Delta P \leq \sigma'_c$, dengan besarnya penurunan konsolidasi S_c ,

$$S_c = \left[C_r \frac{H_o}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo'} + \Delta P}{\sigma_{vo'}} \right] \quad (17)$$

2. $\sigma_{vo'} + \Delta P \geq \sigma'_c$, dengan besarnya penurunan konsolidasi S_c ,

$$S_c = \left[C_r \frac{H_o}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo'} + \Delta P}{\sigma_{vo'}} \right] + \left[C_c \frac{H_o}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo'} + \Delta P}{\sigma_{vo'}} \right] \quad (18)$$

Tahapan Perhitungan Penurunan Konsolidasi dengan metoda “Analisa Sederhana” untuk Tanah Normally Consolidation sbb:

1. Menghitung besarnya penambahan beban ($\delta\sigma_v$):

$$(\Delta p) = \frac{P}{B' \cdot L'} \quad (19)$$

2. Tegangan efektif awal ($\sigma_{vo'}$) setiap lapisan tanah

$$(\sigma_{vo'}) = (h_1 + z) \cdot (\gamma_{tanah} - \gamma_{air}) \quad (20)$$

$$(\sigma_{vo'}) = (h_1 + \frac{1}{2} \cdot H_1) \cdot (\gamma_{tanah} - \gamma_{air}) \quad (21)$$

3. Penurunan konsolidasi (S_c)

Untuk tanah lempung yang terkonsolidasi normal, digunakan persamaan:

$$S_c = \sum \left[C_c \frac{H_1}{1+e_o} \cdot \log \frac{\sigma_{vo'} + \Delta P}{\sigma_{vo'}} \right] \quad (22)$$

Tabel 9. Hubungan kedalaman, bentuk penampang Persegi dan penurunannya

L (m)	2/3.L (m)	$\Delta\sigma_{1-4} = \frac{\Delta p}{t/m^2}$	Cc	Cr = 1/7.Cc	H (m)	eo	Sc (m)
20	13,33	0,12	0,49	0,07	16,47	1,94	0,012
25	16,67	0,20	0,49	0,07	13,13	1,94	0,015
30	20	0,67	0,49	0,07	9,8	1,94	0,038

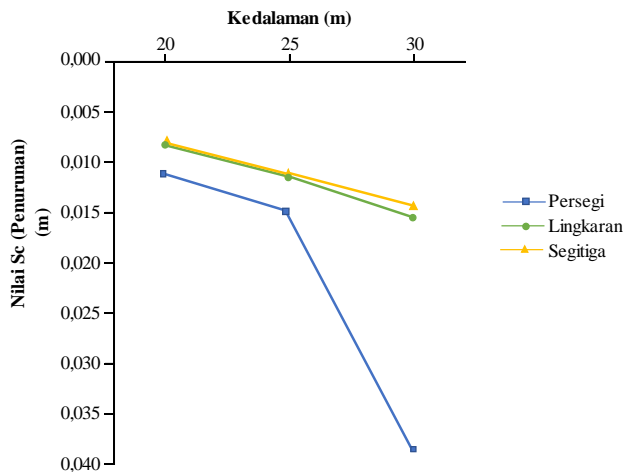
Tabel 10. Hubungan kedalaman, bentuk penampang Lingkaran dan penurunannya

L (m)	2/3.L (m)	$\Delta\sigma_{1-4} = \Delta p$ (t/m ²)	Cc	Cr = 1/7.Cc	H (m)	eo	Sc (m)
20	13,33	0,07	0,49	0,07	16,47	1,94	0,007
25	16,67	0,17	0,49	0,07	13,13	1,94	0,013
30	20	0,29	0,49	0,07	9,8	1,94	0,016

Tabel 11. Hubungan kedalaman, bentuk penampang Lingkaran dan penurunannya

L	2/3.L	$\Delta\sigma_{1-4} = \Delta p$	Cc	Cr = 1/7.Cc	H	eo	Sc
20	13,33	0,07	0,49	0,07	16,47	1,94	0,007
25	16,67	0,17	0,49	0,07	13,13	1,94	0,013
30	20	0,24	0,49	0,07	9,8	1,94	0,014

Berikut grafik hubungan kedalaman, bentuk penampang dan penurunannya :



Gambar 4. Grafik Hubungan Kedalaman, Bentuk Penampang dan Penurunan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan daya dukung ultimate (Q_{ult}) dan daya dukung ijin (Q_{ijin}) menggunakan data CPT dan SPT, diperoleh bahwa semakin dalam pondasi, semakin bertambah besar pula daya dukung ultimate (Q_{ult}) yang diperoleh. Berikut hasilnya :

Depth (m)	Q_{ult}					
	CPT			SPT		
	Persegi	Lingkaran	Segitiga	Persegi	Lingkaran	Segitiga
20	50,48	39,63	38,66	163,01	127,96	109,38
25	69,54	54,59	53,33	189,94	149,10	125,59
30	99,75	78,30	76,04	252,37	198,11	170,52

Hal ini dikarenakan tiang pondasi yang semakin dalam, berpengaruh terhadap daya dukung bangunan diatasnya.

2. Hasil perhitungan daya dukung ultimate (Q_{ult}) dan daya dukung ijin (Q_{ijin}) menggunakan data CPT dan SPT, diperoleh bahwa pondasi tiang dengan penampang berbentuk persegi memiliki daya dukung yang lebih besar dibandingkan dengan penampang pondasi berbentuk lingkaran dan segitiga. Berikut hasilnya :

Bentuk Penampang	Q_{ijin}					
	Ked. 20 m		Ked. 25 m		Ked. 30 m	
	CPT	SPT	CPT	SPT	CPT	SPT
Persegi	16,83	54,34	23,18	63,31	33,25	84,12
Lingkaran	13,21	42,65	18,20	49,70	26,10	66,04
Segitiga	12,89	36,46	17,76	41,86	25,35	56,84

Hal ini dikarenakan bahwa bentuk penampang persegi, memiliki luas penampang tiang (A_p) dan keliling tiang (P) paling besar.

3. Hasil perhitungan penurunan pondasi tiang diperoleh bahwa pondasi tiang persegi memiliki total penurunan konsolidasi yang paling besar dibandingkan dengan penampang bentuk lingkaran dan segitiga pada kedalaman 20 m, 25 m, dan 30 m. Berikut hasilnya :

L	$\Delta\sigma_{1-4} = \Delta p$			Sc		
	Persegi	Lingkaran	Segitiga	Persegi	Lingkaran	Segitiga
20	0,12	0,07	0,07	0,012	0,007	0,007
25	0,20	0,17	0,17	0,015	0,013	0,013
30	0,67	0,29	0,24	0,038	0,016	0,014

Hal ini dikarenakan pondasi persegi memiliki penambahan tegangan (Δp) paling besar sehingga berakibat Sc yang terjadi besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto, A. 2017. Analisa Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Berbagai Macam Metode Pada Proyek Apartemen The Frontage Surabaya. *Tugas Akhir*. Tidak dipublikasikan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ardiansyah, R.R. dkk. 2014. Analisis Sistem Penurunan Konsolidasi-Multi-Layer. *Jurnal Online Mahasiswa Bidang Teknik dan Sains*. <http://docplayer.info/31472191-Analisis-sistem-penurunan-kondolidasi-multi-layer.html>.
- Bowles, J. E. 1986. *Analisa dan Desain Pondasi 1*. Terjemahan Pantur Silaban, Ph. D. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Das, B. M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Terjemahan Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hartono. 2016. Perencanaan Pondasi Rakit Dan Pondasi Tiang Dengan Memperhatikan Differential Settlement “Studi Kasus Gedung Fasilitas Umum

- Pendidikan Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya (UNTAG)”. *Tugas Akhir*. Tidak dipublikasikan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Hilmi, A. 2018. Perancangan Taman Kota berbasis Community Development Di Tarik, Sidoarjo. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Surabaya : Universitas 17 Agustus 1945.
- Isnaniati, 2016. Minimalisasi Jumlah Tiang dalam Group Pile Melalui Pemilihan Bentuk Dasar Penampang Pondasi Tiang pada Tanah Lempung. *Jurnal Agregat*. 1(1).
<http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/Agregat/article/view/326>.
- Isnaniati. 2017. Kontribusi Bentuk Penampang Tiang Terhadap Beban Maximum yang Diterima Pondasi Untuk Perencanaan Pondasi Pada Tanah Lempung dengan Data CPT Surabaya. *Jurnal Agregat* .2 (1). <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/Agregat/article/view/612>
- Jusi, U., dkk. 2017. Evaluasi Data Uji Lapangan dan Laboratorium Terhadap Daya Dukung Pondasi Tiang Bor. Makalah dalam *Seminar Nasional Strategi Pengembangan Infrastruktur ke-3 (SPI-3)*. Institut Teknologi Padang, 27 Juli 2017.
- Morin, dkk. 2015. Makalah Penurunan Pondasi.
<https://dokumen.tips/documents/makalah-penurunan-pondasi-tiangmorinmonajosuaigbal.html>
- Nakazawa, K., dkk. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Terjemahan Ir. L. Taulu, dkk. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Prayogo, K. dkk. Penyelidikan Struktur Dan Karakteristik Tanah Untuk Desain Pondasi Iradiator Gamma Kapasitas 2 Mci. *Jurnal Perangkat Nuklir*. 10 (1). 201. <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jpn/article/download/3367/2980>
- Utami, G.S. 2013. Perbandingan Daya Dukung Tanah Berdasarkan Data Sondir dan SPT. *Jurnal ITATS*.
<https://jurnal.itats.ac.id/wpcontent/uploads/2016/05/PROSIDING-SEMNAS-20131.pdf>