JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil
Vol. 6, No. 4, November 2023: hlm 1077-1084

EISSN 2622-545X

ANALISIS EFISIENSI *SETTLEMENT* TIANG GESEK FONDASI *BORED PILE* PADA PROYEK DI PROVINSI ACEH

Ratu Balqis Putri Tarfin[1] dan Alfred Jonathan Susilo[2]

[1]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
ratu.325190108@stu.untar.ac.id

[2]Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
alfred@ft.untar.ac.id

Masuk: 09-07-2023, revisi: 02-08-2023, diterima untuk diterbitkan: 02-10-2023

ABSTRACT

The foundation is a part of the construction to hold up a building and continue the superstructure where the foundation also transmits the load into the ground to determine whether or not the building is sturdy so that it can be said to be stable if the load from the foundation can be stabilized by the supporting soil. In choosing the type of pole, there are 2 types, namely end piles and friction piles where the difference between the two poles is in their placement in the ground, namely poles that are placed at the end or are at the end layer of hard soil for end piles and piles that are placed when hard soil is on the ground. a very deep depth and the pile transmits the load with the frictional force between the pile wall and the surrounding soil. In this journal research what will be analyzed is the drilled pile foundation using friction pile with the aim of analyzing whether the foundation pile will experience a difference in settlement or not and the bearing capacity obtained from the pile.

Keywords: Foundation; bearing capacity; settlement; friction pile; end pile

ABSTRAK

Fondasi merupakan suatu bagian konstruksi untuk menahan suatu bangunan dan meneruskan bangunan atas dimana fondasi tersebut juga menyalurkan beban ke dalam tanah untuk mengetahui kokoh atau tidak bangunan tersebut hingga dapat dikatakan stabil jika beban dari fondasi dapat distabilkan oleh tanah pendukung. Dalam pemilihan jenis tiang tersebut terdapat 2 jenis yaitu tiang ujung dan tiang gesek dimana perbedaan kedua tiang tersebut berada di peletakannya di dalam tanah yaitu tiang yang diletakkan pada ujung atau berada di lapisan ujung tanah keras untuk tiang ujung dan tiang yang diletakkan apabila tanah keras berada di kedalaman yang sangat dalam dan tiang tersebut meneruskan beban dengana danya gaya gesek antar dinding tiang dengan tanah disekitarnya. Dalam penelitian jurnal ini yang akan di analisis adalah fondasi tiang bor menggunakan tiang gesek dengan tujuan menganalisis tiang fondasi tersebut akan mengalami perbedaan penurunan atau tidak dan daya dukung yang diperoleh dari tiang tersebut.

Kata kunci: Fondasi; daya dukung; penurunan; tiang gesek; tiang ujung.

1. PENDAHULUAN

Tanah juga merupakan bahan konstruksi tersedia di lapangan yang sangat ekonomis dan tidak sulit didapatkan, tanah juga harus di uji kualitasnya sebelum digunakan untuk menghindari kegagalan konstruksi (Bowles, 1986). Permasalahan yang terjadi dalam mendirikan suatu konstruksi pada umumnya yaitu sifat-sifat tanah yang tidak sesuai dengan jenis konstruksi yang akan dibangun atau sifat yang buruk diantara lain dilihat dari kekuatan geser tanah yang terlalu kuat, elastistas tanah dan lainnya. Tanah lempung apabila dalam keadaan basah memiliki daya dukung yang sangat rendah, berbutir halus dan plastis yang tinggi, tanah ini terkonsolidasi sangat lama apabila tanah tersebut dalam keadaan basah. sehingga perencanaan konstruksi harus disesuaikan dengan kondisi tanah di lapangan.

Tanah akan mengalami penurunan (*settlement*) apabila lapisan tanah yang digunakan terbebani, maka yang terjadi adalah tanah akan mengalami penurunan atau tanah mengalami regangan diakibatkan dari proses konsolidasi tanah pendukung. Perencanaan bangunan akan dilakukan analisis penurunan yang dapat ditimbulkan dari beban operasional maupun permanen sehingga dapat memastikan stabilitas bangunan untuk membangunnya. Tiang dukung yang digunakan pada proyek ini menggunakan *friction pile* dimana kapasitas daya dukungnya ditentukan oleh perlawanan gesek antara tanah sekitar dengan dinding tiang namun direalisasikan pada tiang bor bukan tiang pancang sehingga dilakukannya percobaan penyelidikan tanah untuk menghasilkan suatu daya dukung yang sangat akurat. Jenis fondasi

dalam yang ditinjau yaitu *bored pile.* Fondasi *bored pile* ini melakukan proses pengeboran dengan sedikit getaran dan kebisingan sehingga dapat meminimalisirkan gangguan efektifitas di lingkungan sekitar gedung.

Fondasi

Fondasi merupakan suatu bagian konstruksi untuk menahan suatu bangunan dan meneruskan bangunan atas dimana fondasi tersebut juga menyalurkan beban ke dalam tanah untuk mengetahui kokoh atau tidak bangunan tersebut hingga dapat dikatakan stabil jika beban dari fondasi dapat distabilkan oleh tanah pendukung. Dalam berdirinya suatu fondasi diperlukannya penyesuaian terhadap daya dukung tanah, kondisi tanah serta beban terpikul di lapangan kemudian dalam pemilihan jenis tiang tersebut terdapat 2 jenis yaitu end bearing pile dan friction pile dimana perbedaan kedua tiang tersebut berada di peletakannya di dalam tanah yaitu tiang yang diletakkan pada ujung atau berada di lapisan ujung tanah keras untuk end bearing pile dan tiang yang diletakkan apabila tanah keras berada di kedalaman yang sangat dalam dan tiang tersebut meneruskan beban dengana danya gaya gesek antar dinding tiang dengan tanah disekitarnya.

Tiang gesek (*friction pile*)

Friction pile biasa digunakan apabila lapisan tanah keras posisinya sangat dalam sehingga dalam merencanakan tiang akan mengalami kesulitan dilaksanakan, maka dari itu *friction pile* yang digunakan daya dukungnya berdasarkan perlekatan antar tiang dan tanah. Karena ini besar gaya perletakan antara tiang dan tanah digunakannya pehitungan tiang daya dukung pada tanah (Sardjono, 1991).

Tiang bor

Tiang bor bisa digunakan sebagai alternatif lain apabila dalam suatu pelaksanaan konstruksi di lokasi cukup sulit atau susah untuk menggunakan jenis tiang pancang, seperti masalah beberapa peralatan yang dapat menimbulkan gangguan terhadap lingkungan di sekitar lokasi dan dapat mengganggu kondisi yang mempengaruhi pekerjaan di lokasi. Pondasi *bored pile* merupakan suatu pondasi tiang yang cara penggunaan atau pemasangan tiang dilakukan dengan cara melakukan pengeboran tanah kemudian Pondasi *bored pile* yang dipergunakan agar dapat mendukung suatu bangunan pada lapisan tanah kuat tersebut mencapai sangat dalam.

Daya dukung O'Neil dan Reese (1989)

Perhitungan daya dukung untuk fondasi tiang bor yang diletakkan pada tanah lunak dapat menggunakan Persamaan 1-2 dengan metode O'Neil dan Reese.

$$Q_b = A_b f_b \tag{1}$$

$$f_b = 0{,}60.\,\sigma_r.\,N_{60} \leq 4500\ \text{kPa} \tag{2}$$

Untuk tahanan gesek pada tiang bor dinyatakan Persamaan 3-5.

$$Q_s = A_s f_s \tag{3}$$

$$f_s = \beta\ \sigma_t{}' \tag{4}$$

$$\beta = K\ tg\delta \tag{5}$$

Penurunan fondasi

Penurunan yang terjadi pada tiang fondasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu tiang tunggal dan tiang kelompok dimana besar penurunan itu sendiri dipengarhui oleh karakteristik tanah dan penyebranan tekanan fondasi dibawahnya (Pamungkas & Harianti, 2013).

Penurunan segera (*immediate settlement*)

Penurunan ini terjadi deformasi elastis setelah beban bekerja pada tanah tanpa ada-nya suatu perubahan kadar dari air. Penurunan ini akan terjadi pada volume yang konstan yang di hasilkan dari hasil distorsi massa tanah yang tertekan. Penurunan ini juga terjadi pada tanah berbutir halus hingga kasar yang tidak jenuh atau derajat kejenuhan < 90% dan terjadi sekitar 0-7 hari. Besar penurunan segera bergantung pada kondisi dari jenis material dan fondasi yang digunakan (Junianto, 2016).

Dalam metode Vesic (1977) yang membagi total penurunan (Persamaan 6) menjadi tiga komponen, sebagai berikut:

1. Penurunan pada batang tiang ($S_{e\,(1)}$)
2. Penurunan pada ujung tiang akibat beban bekerja ($S_{e\,(2)}$)
3. Penurunan akibat gesekan selimut sepanjang tiang akibat beban bekerja ($S_{e\,(3)}$)

$$S_e = S_{e\,(1)} + S_{e\,(2)} + S_{e\,(3)} \tag{6}$$

Untuk penurunan pada batang tiang ini dihitung dengan Persamaan 7.

$$S_{e\,(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \tag{7}$$

Kemudian untuk penurunan pada ujung tiang akibat beban bekerja dengan Persamaan 8.

$$S_{e\,(2)} = \frac{qwp\ D}{E_s}(1 - \mu_s{}^2)I_{wp} = \frac{Q_{wp}C_p}{D\ q_p} \tag{8}$$

Kemudian untuk penurunan pada akibat gesekan selimut tiang akibat beban bekerja dengan Persamaan 9.

$$S_{e\,(3)} = \left(\frac{Qws}{P_p L}\right)\left(\frac{D}{E_{sr}}\right)(1 - \mu_s{}^2)I_{ws} = \frac{Q_{ws}C_s}{L\ q_p} \tag{9}$$

Penurunan konsolidasi

1. Konsolidasi Primer
   Penurunan konsolidasi primer terjadi diakibatkan keluar air dari pori yang dapat merubah suatu volume tanah dengan jangka waktu yang diperlukan dan berlangsung lama.
   Untuk penurunan konsolidasi *normally consolidated* $\sigma'_0 > \sigma'_c$ (Persamaan 10).

$$S_c = r\sum \frac{C_c}{1 + e_o} H_i\ \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right) \tag{10}$$

   Sedangkan untuk penurunan konsolidasi *over consolidated* $\sigma'_0 < \sigma'_c$ sebagai berikut:
   Persamaan 1 jika $\sigma'_1 = \sigma'_0 + \Delta\sigma' < \sigma'_c$ menjadi Persamaan 11.

$$S_c = r\sum \frac{C_c}{1 + e_o} H_i\ \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right) \tag{11}$$

   Persamaan 2 jika $\sigma'_1 = \sigma'_0 + \Delta\sigma' > \sigma'_c$ menjadi Persamaan 12.

$$S_c = r\sum \frac{C_r}{1 + e_o} H_i \log\left(\frac{\sigma'_c}{\sigma'_0}\right) + \frac{C_c}{1 + e_o} H_i\ \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_c}\right) \tag{12}$$

2. Konsolidasi Sekunder
   Penurunan ini terjadi setelah penurunan konsolidasi primer dimana akhir dari penurunan ini tegangan air pori sudah mencapai atau mendekati angka nol.
   Penurunan konsolidasi sekunder dihitung dengan Persamaan 13-15.

$$S_s = \frac{C_\alpha}{1 + e_p} H\ \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \tag{13}$$

$$e_p = e_0 - \Delta e_{primer} \tag{14}$$

$$\Delta e = C_c\ \log\left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0}\right) \tag{15}$$

Penurunan izin

Berdasarkan SNI 8460: 2017 beda penurunan dan besar penurunan total diizinkan berdasarkan fungsinya dan stabilitas struktur dan bangunan sekitar dengan syarat Persamaan 16.

$$\text{Penurunan total ijin} < 15\ \text{cm} + b/600 \tag{16}$$

Studi kasus

Dalam pekerjaan konstruksi memiliki beberapa faktor yang diperlukan agar bangunan tersebut tidak mengalami kegagalan konstruksi. Salah satu kegagalan yang terjadi adalah penurunan tanah yang tidak merata yang bisa disebabkan karena terjadinya konsolidasi.

Pada kasus di banjarmasin, terutama bangunan yang menggunakan *friction pile* dan berlantai dua (Devina & Reta, 2015) tetapi banyak bagunan dikawasan tersebut berlantai 3 s/d 5 yang mengalami *perbedaan penurunan* jika menggunakan fondasi *end bearing pile* yang tidak mampu menahan beban diatasnya dan perencanaan daya dukung yang tidak sesuai dengan kapasistas limit (safety fatori) dan biaya pondasi tiang akan lebih mahal apabila dibandingkan dengan biaya konstruksi disebabkan pondasi tiang mencapai tanah keras sedalam 40m. menurut studi kasus dari jurnal ini, solusi yang dilakukan melakukan perencanaan dengan menggunakan pondasi *friction pile* dengan kondisi tanah lunak yang sangat tebal yang dapat menjamin penurunan merata pada bangunan tingkat 3 s/d 5.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian (Gambar 1) yang dilakukan untuk menyelesaikan jurnal ini yaitu sebagai berikut:

1. Pada tahap awal menentukan topik yang akan dibahas pada jurnal ini.
2. Selanjutnya dilakukan pencarian dan pengumpulan dasar teori yang akan dipakai dalam jurnal ini dari buku bacaan, jurnal, artikel yang berhubungan dengan topik yang dibahas.
3. Selanjutnya menganalisis sifat tanah, daya dukung tanah, dan penurunan fondasi. Dan menentukan parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan.
4. Mencari tipe fondasi yang cocok digunakan untuk *friction pile.*
5. Selanjutnya mulai untuk mendesain fondasi sesuai dengan *friction pile.*
6. Selanjutnya melakukan perhitungan daya dukung tanah dan penurunan fondasi pada *friction pile.*
7. Selanjutnya melakukan analisis dari hasil daya dukung tiang ujung dan *settlement* fondasi pada *friction pile* akan mengalami *differential settlement.*
8. Memberikan kesimpulan dari dasar teori dan hasil perhitungan yang didapat lalu memberi saran dari hasil penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapat data parameter tanah (Tabel 1-2) pada analisis ini menggunakan satu titik *boring log* dari Data tanah yang diteliti pada jurnal ini proyek berada di kawasan Aceh dengan 1 titik borlog.

Pembebanan bangunan

Bangunan merupakan rumah sakit 6 lantai yang memiliki luas 80 m × 371 m dengan luas setiap lantainya 902 m². untuk perhitungan pembeban dengan menghitung beban mati dan beban hidup seperti pada Tabel 3.

Daya dukung fondasi

Dari data tanah tersebut bahwa lapisan keras pada kondisi tanah di lapangan berada pada posisi yang sangat dalam sehingga perencanaan desain ukuran untuk tiang bor *friction pile* terdapat beberapa ukuran diameter yaitu 60 cm, 50 cm, dan 40 cm. Tiang-tiang tersebut akan diperhitungkan dengan rumus O'neil & reese dikarenakan tanah bersifat lunak dan hasil perhitungan terdapat pada Tabel 4.

Tiang kelompok

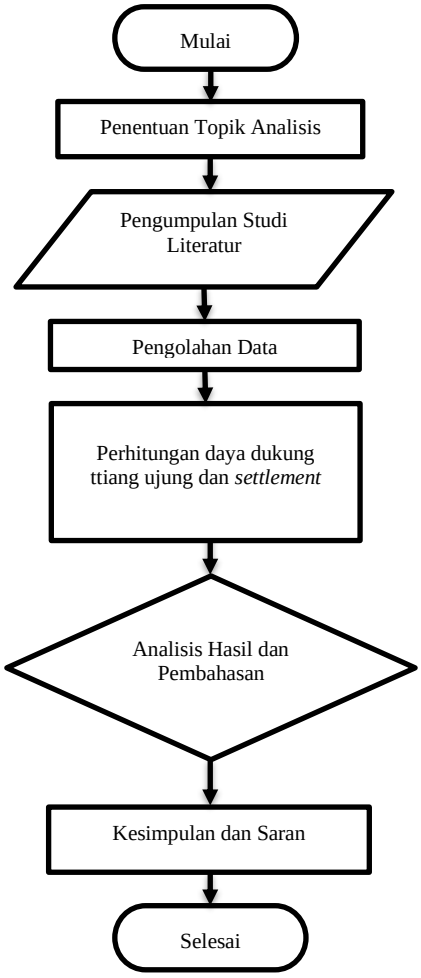
Dikarenakan tiang berada di lapisan tanah lunak maka dasar aksi blok pada tiang gesek yaitu dengan kelompok pada tiang sebagai blok. Pada Tabel 5 merupakan hasil perhitungan kelompok tiang gesek.

Penurunan elastis fondasi tiang

Penuruan elastis atau segera biasa disebut dengan *immediate settlement* dimana penurunan tersebut terjadi setelah beban bekerja yang menyebabkan terjadinya deformasi elastis pada tanah namun tanpa adanya perubahan kadar air. Pada perhitungan penurunan segera dibagi menjadi tiga komponen terdapat pada Tabel 6.

Penurunan konsolidasi primer fondasi tiang

Penurunan Konsolidasi primer ini menyebabkan keluar air dari pori akibat kenaikan tegangan sehingga proses ini berlangsung hingga dalam keadaan keseimbangan dengan tekanan hidrostatis disekitarnya. Beban luar yang digunakan sebesat 3128 kN. Berikut untuk perhitungan tiang ujung diameter 60 cm pada Tabel 7.



Gambar 1. Diagram alir

Tabel 1. Parameter data tanah

Elevation (m)	*Depth* (m)	*Type of Soil*	*Consistency*	γ (kN/m^3)	e0	Cc	Cs
0-5	5	Lempung *Silt*	*Soft*	15	1,2	0,38	0,18
5-11	6	Lempung *Silt*	*Soft*	15	1,2	0,38	0,18
11-21	10	*Silt* Pasir	*Very stiff*	20	0,6	0,14	0,09
21-26	5	Lempung *Silt* Pasir	*Stiff*	19	0,6	0,14	0,09
26-33	7	Lempung *Silt*	*Stiff*	19	0,6	0,14	0,09
33-42	9	Lempung *Silt*	*Stiff*	19	0,6	0,14	0,09
42-47,5	5,5	Lempung *Silt*	*Very Stiff*	20	0,6	0,14	0,09
47,5-50	2,5	*Silt*	*Hard*	20	0,6	0,14	0,09

Tabel 2. Parameter data tanah (lanjutan)

Elevation (m)	φ' (º)	Su (kPa)	c' (kPa)	Pc (kPa)	Eu & E' (MPa)	N-SPT
0-5	20	14	3	91	3	4
5-11	20	11	4	43	4	2
11-21	28	70	14	387	21	29
21-26	25	28	5	103	7	9
26-33	25	32	6	117	10	10
33-42	25	35	7	132	15	12
42-47,5	28	84	17	363	25	24
47,5-50	35	154	31	766	46	44

Tabel 3. Perhitungan pembebanan bangunan

Beban	Nilai (kN)
Beban Mati	208,608
Beban Hidup	312,72
Beban per lantai	521,328
Beban terpusat pada kolom	3128

Tabel 4. Perhitungan daya dukung fondasi

Diameter (m)	Kedalaman (m)	$\mathbf{Q_p}$ (kN)	$\mathbf{Q_s}$ (kN)	$\mathbf{Q_{ult}}$ (kN)	$\mathbf{Q_{all,s}}$(kN)	$\mathbf{Q_{all}}$ (ton)
0,6	21	178,128	866,703	1044,831	348,277	36
0,5	26	49,480	689,894	739,374	246,458	32
0,4	33	36,191	829,380	865,572	288,524	29

Tabel 5. Perhitungan tiang kelompok

Diameter (m)	Kedalaman (m)	$\mathbf{Q_p}$ (kN)	$\mathbf{Q_{all,s}}$ (kN)	**n tiang** (kN)	$\mathbf{Q_{a,g}}$(kN)
0,6	21		348,277	8	2596,7148
0,5	26	3128	246,458	9	2818,1215
0,4	33		288,524	10	3134,4927

Tabel 6. Penurunan elastis fondasi tiang

Kedalaman (m)	Diameter (m)	$\mathbf{n_{tiang}}$ (tiang)	$\mathbf{S_{e\,(1)}}$ (mm)	$\mathbf{S_{e\,(2)}}$ (mm)	$\mathbf{S_{e\,(3)}}$ (mm)	$\mathbf{S_e}$ (mm)	$\mathbf{S_{e,g}}$ (mm)
21	0,6	8	0,7195	2,1769	0,6131	3,5095	7,0190
26	0,5	9	2,611	1,5470	0,7339	5,9420	8,2229
33	0,4	10	4,4094	0,8288	0,8133	6,0515	12,1030

Tabel 7. Penurunan tiang kelompok konsolidasi primer pada *friction pile* diameter 60 cm kedalaman 50 m

Elevasi (m)		ΔH	Δσ	P'o (z)	Δσ + P'o	Cek	e0	Cc	Δsc (mm)
14	21	7	25,5404	140	165,5404	NC	1,2	0,38	87,9926
21	26	5	51,9785	95	146,9785	NC	0,6	0,14	82,9195
26	33	7	13,0204	133	146,0204	NC	0,6	0,14	24,8441
33	42	9	6,4117	171	177,4117	NC	0,6	0,14	12,5890
42	47,5	5,5	4,9118	110	114,9118	NC	0,6	0,14	9,1303
47,5	50	2,5	4,6342	50	54,6342	NC	0,6	0,14	8,4206
Total Penurunan Konsolidasi Primer									116,0394

Penurunan total

Penurunan total tiang kelompok yang terjadi pada tiang ujung dengan diameter sebesar 60 cm, 50 cm, dan 40 cm tertera di Tabel 8.

Tabel 8. Penurunan fondasi total

Diameter (m)	Kedalaman (m)	$S_{e,g}$ (mm)	S_c (mm)	S_{total} (mm)	S_{total} (cm)
0,6	21	7,0190	116,0394	123,0585	12,3058
0,5	26	8,2229	120,2226	128,4455	12,8445
0,4	33	12,1030	125,8962	137,9992	13,7999

Tabel perbandingan

Dari hasil perhitungan didapat perbandingan hasil penggunaan tiang gesek dengan diameter sebesar 60 cm, 50 cm, dan 40 cm pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan tiang ujung

Kategori	*Friction Pile*		
	0,6 m	0,5 m	0,4 m
Daya Dukung (ton)	36	32	29
Penurunan (cm)	12,3058	12,8445	13,7999

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Pada fondasi tiang gesek hasil perhitungan menghasilkan bahwa semakin besar diameter tiang akan semakin kecil nilai *settlement* yang terjadi yaitu sebesar 25 cm karena penggunaan tiang kelompok yang semakin sedikit yaitu 8 tiang.
2. Berdasarkan hasil perhitungan didapat daya dukung pada tiang bor diameter 60 cm kedalaman 21 m sebesar 36 ton, tiang bor diameter 50 cm kedalaman 26 m sebesar 32 ton, dan tiang bor diameter 40 kedalaman 33 m sebesar 29 ton bahwa semakin besar daya dukung maka *settlement* yang terjadi akan semakin kecil.
3. Berdasarkan hasil perhitungan untuk bangunan rumah sakit 6 lantai dengan ukuran bangunan 80 m × 371 m dengan luas setiap lantainya 902 m² memiliki beban perkolom sebesar 3128 kN.
4. Berdasarkan hasil perhitungan *settlement* kedalaman tanah dan diameter tiang menggunakan *friction pile* dengan tiang bor diameter 60 cm sebesar 12,3 cm, tiang bor diameter 50 cm sebesar 12,8 cm, dan tiang bor diameter 40 cm sebesar 13,7 cm yang diletakkan ditanah keras lempung sehingga tiang gesek yang optimum dan efisien berada pada diameter 60 cm di kedalaman 21m.

Saran

1. Hasil dari *settlement* pada tiang gesek *friction pile* pada proyek masih cukup besar meskipun masi dalam kategori *normally consolidated* disarankan untuk memperbesar diameter dari tiang bor tersebut agar lebih efisien dan optimum.
2. Dilakukan perhitungan dengan tiang ujung *end bearing pile* agar dapat membandingkan hasil daya dukung dan *settlement* yang terjadi apakah lebih optimum dan efisien dalam penggunaannya meskipun tanah keras berada sangat dalam yaitu 47,5 m

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik* (SNI 8460: 2017).

Bowles, J. E. (1986). *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah.* PT Erlangga.

Devina, s., & Reta. (2015). *Analisis perbandingan perencanaan pondasi tiang pancang menggunakan metode konvensional dan metode P-Y curve pada lapisan tanah lunak yang tebal: Studi kasus kota banjarmasin dengan kedalaman tanah keras 40 meter.* Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Junianto, E. (2016). Analisa kapasitas daya dukung pondasi tiang bor (bored pile) studi kasus pembangunan rumah sakit pendidikan Universitas Andalas. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University*, *2*(3). https://ejurnal.bunghatta.ac.id/index.php/JFTSP/issue/view/531

Pamungkas, A., & Harianti, E. (2013). *Desain pondasi tahan gempa.* ANDI Yogyakarta.

Sardjono. (1991). *Pondasi tiang pancang jilid I.* Sinar Wijaya.