

Studi Analisis Daya Dukung Aksial Fondasi Tiang Berdasarkan Kurva *Load-Settlement* Hasil Static Loading Test (SLT) dan TZPILE

*Helmy Darjanto¹, Himatul Farichah², Rosy Lumintang³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Narotama, Surabaya

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Surabaya

³HDA, Surabaya

*Email: hdarjanto@gmail.com

Abstract

One of the methods has been used to identify the behavior of pile foundation while receiving axial load is t-z method. By using T-z method, the behavior of pile foundation while transferring the axial load (load transfer, t) and settlement (z) which is called load-settlement curve could be quantified. In this research, driven pile is used with the soil is predominantly clay. TZPILE is employed to generate load-settlement curve. That load-settlement curve which were generated by TZPILE is then compared with that of Static Loading Test (SLT). According to that comparison, a load-settlement curve has been predicted (predicted SLT) if downdrag condition is applied. On the other hand, the methods of Davisson (1972), Van Der Veen (1953), and Mazurkiewicz (1972) are utilized to calculate ultimate bearing capacity (Qult) and allowable bearing capacity (Qall) by interpreting the data of SLT and predicted SLT. Thereafter, evaluation of working load has been carried out by considering the settlement of load-settlement curve. The results of TZPILE show that the load-settlement curve is well predicted so then it can be adopted to predict load-settlement curve of SLT in downdrag condition. Three methods of interpreting of SLT and predicted SLT show that Qall are greater than working load, otherwise predicted SLT. Evaluations of Qall by considering the settlement show that Qall is greater than the results of Davisson (1972), Van Der Veen (1953), and Mazurkiewicz (1972). Surprisingly, all the results show that Qall is greater than working load.

Keywords: pile foundation, t-z curve, static loading test

Abstrak

Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui perilaku fondasi tiang dalam menerima beban aksial (*axial load*) adalah *t-z method* atau metode t-z. Melalui metode t-z didapatkan perilaku fondasi dalam penyaluran beban aksial (*load transfer*, t) dan *displacement* (z) yang terjadi atau dikenal sebagai kurva *load-settlement*. Pada penelitian ini digunakan tiang pancang (driven pile) dengan data tanah yang didominasi oleh lempung. Pemodelan menggunakan program bantu TZPILE dilakukan untuk mendapatkan kurva *load-settlement*. Kemudian dilakukan perbandingan kurva *load-settlement* dari TZPILE dan *Static Loading Test* (SLT). Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk memprediksi kurva *load-settlement* SLT (SLT prediksi) jika pada kondisi *downdrag*. Perhitungan daya dukung ultimit (*Qult*) dan daya dukung ijin (*Qall*) dilakukan dengan menginterpretasi data SLT dan SLT prediksi menggunakan 3 (tiga) metode yang berbeda yaitu metode Davisson (1972), Van Der Veen (1953), dan Mazurkiewicz (1972). Evaluasi *working load* dilakukan dengan mempertimbangkan penurunan pada kurva *load-settlement*. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa TZPILE bias memprediksi kurva *load-settlement* dengan baik sehingga bias digunakan untuk memprediksi kurva *load-settlement* hasil SLT jika terdapat pengaruh *downdrag*. Hasil interpretasi kurva *load-settlement* dari SLT dan SLT prediksi dengan ketiga metode menunjukkan nilai *Qall* diatas *working load*, kecuali untuk SLT prediksi. Evaluasi *Qall* dengan mempertimbangkan penurunan menghasilkan nilai *Qall* yang lebih besar dari hasil interpretasi dengan ketiga metode. Bahkan semuanya menunjukkan *Qall* yang lebih besar dari *working load*.

Kata Kunci: fondasi tiang, kurva t-z, *static loading test*

PENDAHULUAN

Fondasi tiang (pile foundation) memiliki fungsi utama yaitu untuk meneruskan beban kerja ke lapisan tanah yang lebih dalam. Beban tersebut diharapkan dapat dipikul dengan faktor keamanan yang cukup agar tidak terjadi keruntuhan dan penurunan yang dapat mengurangi fungsi struktur yang dipikulnya.

Dalam hal perancangan fondasi ilmu geoteknik terus mengalami kemajuan. Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui perilaku fondasi tiang dalam menerima beban aksial (*axial load*) adalah t-z method atau metode t-z, Seed dan Reese (1957). Dalam metode t-z, fondasi tiang dibagi menjadi segmen yang mana pada setiap segmennya terdapat pegas nonlinear (*nonlinear springs*). Sehingga melalui metode t-z didapatkan perilaku fondasi dalam penyaluran beban aksial (*load transfer*, t) dan *displacement* (z) yang terjadi. Hubungan antara t dan z tersebut digambarkan melalui kurva t-z dapat memprediksi

respon *load-settlement*. Hal yang mempengaruhi t-z adalah diameter tiang, kekakuan tiang aksial, panjang tiang, dan distribusi kekuatan dan kekakuan tanah di sepanjang tiang (Aswin dkk. 2013).

Kurva t-z bisa didapatkan dengan perumusan empiris atau pengujian di lapangan seperti uji beban statik atau *Static Loading Test* (SLT) (Kevin dkk. 2016). Dari hasil uji tersebut, dapat dilakukan interpretasi untuk menentukan besarnya daya dukung ultimit (*Qu*). Ada beberapa metode interpretasi umum yang sering digunakan yaitu Metode Davisson (1972), Vander Veen (1953), Mazurkiewicz (1972). Interpretasi dari data SLT dilakukan untuk mendapatkan daya dukung ijin (*Qall*) dengan angka keamanan atau *safety factor* (SF) yang sudah ditentukan. Selain itu, kurva t-z bisa didapat melalui program computer Ensoft TZPile (Ensoft. 2014). TZPILE (Hyeong 2007) adalah perangkat lunak yang menentukan daya dukung fondasi tiang dengan analisis kurva transfer beban nonlinier empiris yang kompleks menjadi model satu

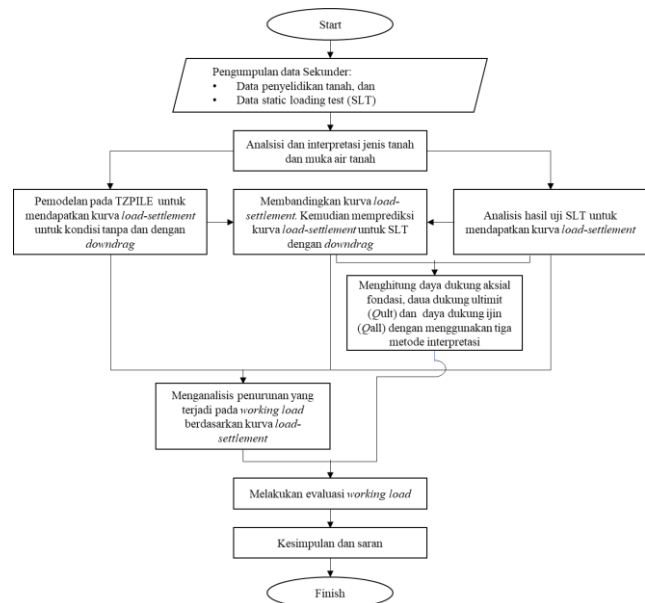
dimensi. Dalam model one-dimensional, tanah di sekitar tiang digantikan oleh pegas di sepanjang tiang, dan dengan pegas terkonsentrasi di ujung yang menahan perpindahan aksial tiang (Mosher dan Dawkins, 2000).

Oleh karena itu, dalam studi ini dilakukan pemodelan pada program komputer TZPILE untuk mendapatkan kurva load-settlement yang akan dibandingkan dengan SLT hasil dari pengujian di lapangan perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang (driven pile) menggunakan tiga metode interpretasi SLT untuk mendapatkan Q_u dan Q_{all} . Kemudian dilakukan pemodelan pada program komputer TZPILE untuk mendapatkan kurva load-settlement yang akan dibandingkan dengan SLT hasil dari pengujian di lapangan. Kurva load-settlement yang didapat dari TZPILE dan SLT dibandingkan untuk kemudian dipergunakan untuk memprediksi kurva load-settlement hasil dari SLT jika memperhitungkan downdrag atau *negative skin friction*.

METODE

Penelitian ini dengan mengambil data penyelidikan tanah dan SLT di Surabaya, Jawa Timur. Langkah-langkah atau rancangan penelitian pada studi ini sebagai berikut sesuai dengan diagram alir pada Gambar 1.

1. Pengumpulan data sekunder (penyelidikan tanah dan SLT).
2. Analisis dan interpretasi data poin 1 (SLT, jenis tanah dan muka air tanah).
3. Menggunakan program bantu TZPILE untuk menghasilkan kurva *load-settlement*.
4. Membandingkan kurva *load-settlement* hasil dari SLT dan TZPILE. Kemudian memprediksi kurva *load-settlement* dengan mengkalibrasi hasil TZPILE dengan *downdrag* dan SLT untuk kondisi muka air tanah tinggi (menghasilkan kurva SLT-Prediksi).
5. Hitung daya dukung aksial fondasi (Q_u , SF dan Q_{all}) dengan menggunakan tiga metode interpretasi hasil SLT dan SLT Prediksi.
6. Menganalisis penurunan yang terjadi pada *working load* berdasarkan kurva *load-settlement* dari SLT dan TZPILE.
7. Melakukan evaluasi *working load* berdasarkan hasil analisis poin 5 dan poin 6.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Sekunder

Pada penelitian ini, diperlukan data Standard Penetration Test (SPT) dan Static Load Test (SLT) yang digunakan untuk analisis pada program TZPILE. Data SPT dan SLT yang digunakan diambil pada lokasi yang ditinjau.

Terdapat dua data tanah SPT yang digunakan pada penelitian ini. Data tanah yang pertama (SPT-01) berlokasi di jalan Puri Widya Kencana Kota Surabaya, diambil hingga kedalaman 30 m yang didominasi tanah lempung dengan nilai NSPT antara 4-24. Konsistensi pada SPT-01 adalah lunak (soft) dan sangat kaku (very stiff) dengan muka air tanah rendah. Sedangkan untuk data tanah yang kedua (SPT-02) berlokasi di jalan Puri Widya Kencana Kota Surabaya juga diambil hingga kedalam 30 m yang didominasi tanah lempung dengan nilai NSPT antara 2 – 25. Konsistensi pada SPT-02 adalah lunak (soft) dan sangat kaku (very stiff) dengan muka air tanah tinggi. Adapun data SPT 01 dan SPT 02 terdapat pada Tabel 1.

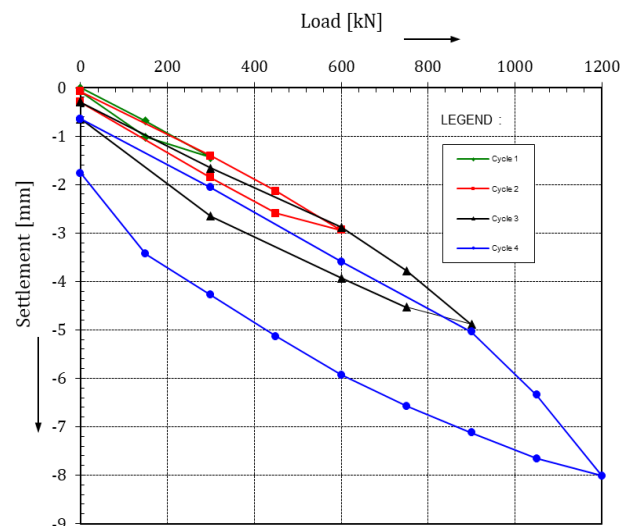
Data SLT diambil pada pengujian tiang pancang (*driven pile*) skala penuh. Pengujian tersebut dilaksanakan pada dua tipe tiang pancang dengan masing-masing data tanah. Tiang pancang yang pertama adalah *square pile* dengan Panjang sisinya adalah 0.35 m dan Panjang tiang 18 m. Tiang pancang yang pertama digunakan untuk uji SLT pada lokasi SPT-01 sehingga didapatkan data SLT-01. Sedangkan tiang pancang yang kedua adalah *spun pile* dengan diameter 0.35 m dan Panjang tiang 19 m. Tiang pancang yang kedua digunakan untuk uji SLT pada lokasi SPT-02 sehingga didapatkan data SLT-02. Data SLT-01 didapatkan dengan melakukan *loading* dan *unloading* untuk *working load* 600 kN. Sedangkan untuk data SLT-02 untuk *working load* 500 kN. Kedua data tersebut didapatkan dengan 4 siklus pembebanan, yaitu 0.5 x, 1x, 1.5x, dan 2x *working load*. Sehingga didapatkan hasil beban dan penurunan untuk SLT-01 dan SLT-02 sesuai dengan Tabel 2 dan kurva *load-settlement* seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2, berurutan.

Tabel 1 Data penyelidikan tanah

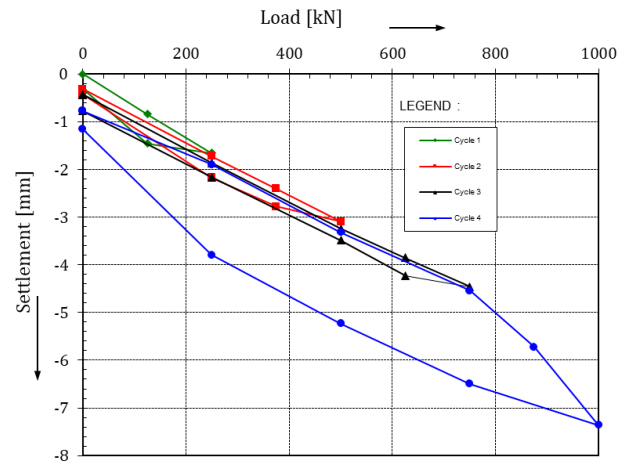
Data tanah 1 (SPT-01)				Data tanah 2 (SPT-02)			
Dept h (m)	Jenistana h	γ (kN/m ³)	NSPT	Dept h (m)	Jenis Tanah	γ (kN/m ³)	NSPT
1	Clay	16	5	7	Clay	4.8	2
3	Clay	17	15	13	Clay	7.1	16
5	Clay	17.5	20	14	Clay	7.5	19
7	Clay	17.5	20	15	Clay	7.5	19
9	Clay	18	22	17	Clay	7.5	24
11	Clay	18	22	20	Clay	7.5	24
13	Clay	18	22	22	Clay	7.5	24
15	Clay	18	24	24	Clay	8.4	25
18	Clay	18	24	27	Clay	8.4	25
22	Clay	18	24	30	Clay	8.4	25

Tabel 2 Data hasil SLT

SLT-01		SLT-02	
Load (kN)	Displacement (mm)	Load (kN)	Displacement (mm)
150	0.7	125	0.84
300	1.4	250	1.65
450	2.1	375	2.4
600	2.9	500	3.09
750	3.7	625	3.85
900	4.9	750	4.66
1050	6.3	875	5.72
1200	8	1000	7.36



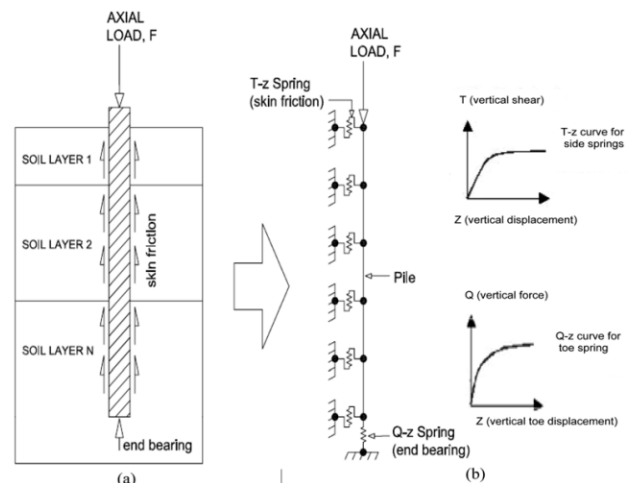
Gambar 2 kurva *load-settlement* hasil SLT-01
Sumber: Hasil olahan (2020)



Gambar 2 Kurva *load-settlement* hasil SLT-02
Sumber: Hasil olahan (2020)

Analisis pemodelan menggunakan TZPILE

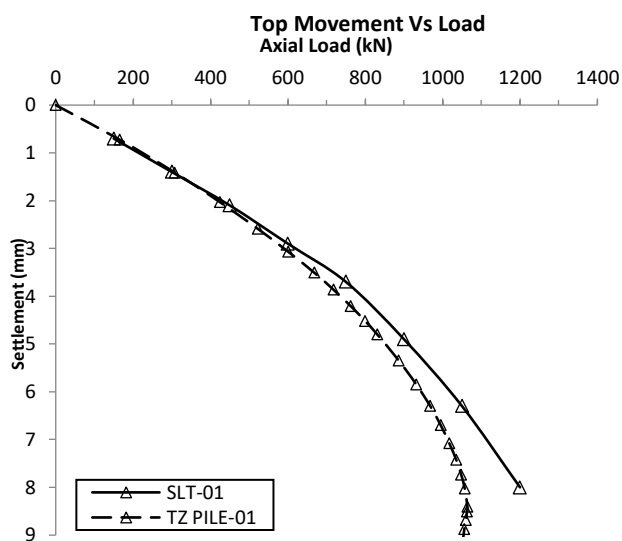
Untuk mendapatkan kurva *t-z* digunakan program bantu komputer TZPILE. Melalui TZPILE dilakukan pemodelan numerik 1D (dimensi). Seperti pada Gambar 3, sesuai dengan mekanisme transfer beban, tiang dimodelkan sebagai elemen yang dikenai pegas *nonlinear* disepanjang tiang untuk merepresentasikan *skin friction*. Total *skin friction* yang dialami setiap segmen tergantung dari parameter kuat geser tanah dan antar muka tanah dan tiang. Sehingga didapatkan kurva *t-z* sebagai hubungan *anantaravertical displacement* dan *skin friction* yang dapat memprediksi respon *load-settlement* yang dialami tiang.



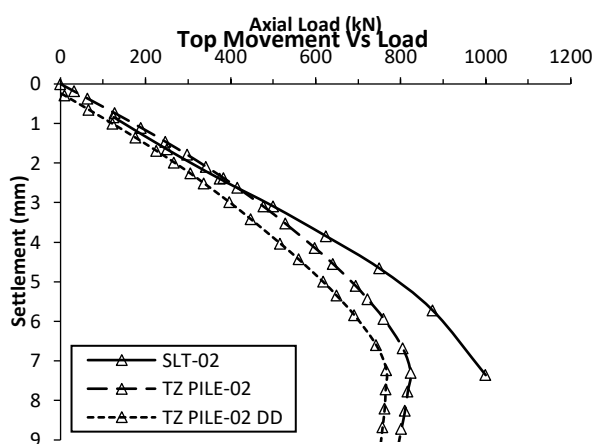
Gambar 3. Mekanisme transfer beban
Sumber: Rocscience (2018)

Setelah dilakukan pemodelan pada program TZPILE dengan melakukan input yaitu property tiang (panjang, diameter, dan kekakuan tiang) dan data tanah (γ , kuat geser tanah, e_{50} , tegangan ultimit selimut dan tegangan ultimit ujung). Maka didapatkan *output* berupa kurva *load-settlement* seperti pada Gambar 4 untuk SPT-01. Pada Gambar 4 terlihat bahwa kurva dengan garis putus-putus adalah untuk kurva *load-settlement* tanpa *down drag* karena disimula air yang rendah. Dengan menggunakan cara yang sama, kurva *load-settlement* untuk

SPT-02 dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5 terlihat bahwa kurva dengan yang garis yang putus-putus adalah untuk kurva *load-settlement* tanpa *downdrag*. Sedangkan untuk kurva dengan titik adalah untuk kurva *load-settlement* dengan *downdrag* yang besarnya 2.5 cm pada kedalaman 0 m dan berkurang secara linier hingga 0 cm pada kedalaman 7m. Asumsi tersebut berdasar pada konsistensi tanah mampu mampat pada SPT-02 yaitu pada kedalaman 0-7m. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 dapat kita lihat bahwa kurva *load-settlement* yang dihasilkan dari TZ-PILE tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Sehingga kurva *load-settlement* yang dihasilkan dari TZPILE bias digunakan untuk memprediksi kurva SLT jika terjadi *downdrag* seperti yang akan dibahas pada sub bab berikutnya.



Gambar 4 Kurva *load-settlement* dari hasil SLT dan TZPILE untuk SPT-01
Sumber: Hasil analisis (2020)



Gambar 5 Kurva *load-settlement* dari hasil SLT dan TZPILE untuk SPT-02
Sumber: Hasil analisis (2020)

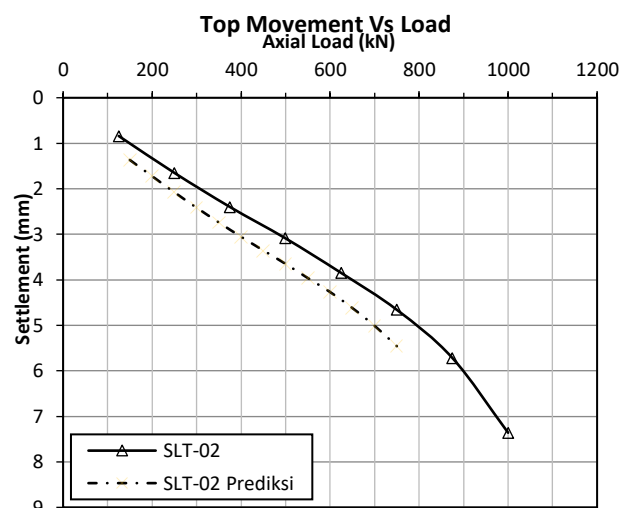
Analisis kurva *load-settlement*

Kurva *load-settlement* yang didapatkan dengan pemodelan adanya *downdrag* dimaksudkan untuk

memodelkan jika tanah sudah mengalami pemampatan karena beban eksternal (bangunan atau beban konstruksi) setelah tiang dipasang. Dengan adanya *downdrag* tersebut akan membebani tiang, sehingga penurunan yang terjadi lebih besar jika dibandingkan tanpa adanya *downdrag*. Kurva *load-settlement* dari TZPILE dengan *downdrag* dan tanpa *downdrag* tersebut dimanfaatkan untuk memprediksi bagaimana kurva *load-settlement* yang akan dihasilkan oleh SLT jika memperhitungkan pengaruh *downdrag* sebagaimana yang disimulasikan pada TZPILE. Kurva *load-settlement* yang dihasilkan disebut sebagai SLT-02 prediksi. SLT-02 prediksi ini hanya untuk data kedua (SLT-02) dimana terdapat muka air tanah yang tinggi. Tabel perhitungan dan kurva *load-settlement* SLT-02 Prediksi sebagaimana Tabel 3 dan Gambar 6.

Tabel 3 Tabel perhitungan mendapatkan SLT prediksi untuk SPT-02

Axial Load (kN)	SLT-02 (mm)	Settlement TZPILE tanpa DD (mm)	Settlement TZPILE DD (mm)	% e= b/cx100%	Δ f = d-c (mm)	SLT Prediksi with DD g=b+e*f (mm)
a	b	c	d			
150	1.00	0.87	1.19	115%	0.32	1.37
200	1.33	1.17	1.52	113%	0.35	1.72
250	1.65	1.48	1.86	112%	0.38	2.08
300	1.95	1.79	2.22	109%	0.43	2.42
350	2.25	2.14	2.61	105%	0.47	2.74
400	2.54	2.50	3.01	101%	0.51	3.06
450	2.81	2.88	3.44	98%	0.55	3.35
500	3.09	3.29	3.88	94%	0.60	3.65
550	3.39	3.72	4.34	91%	0.62	3.96
600	3.68	4.16	4.83	88%	0.67	4.27
650	4.01	4.64	5.35	86%	0.70	4.62

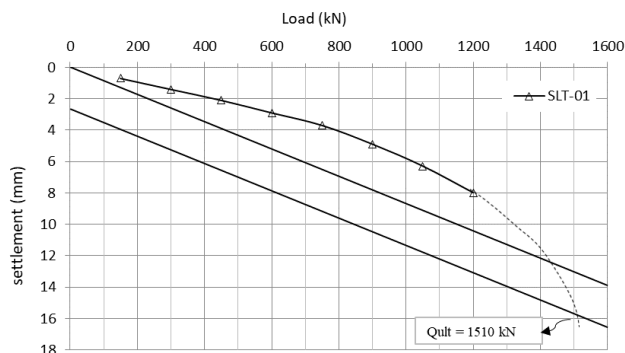


Gambar 6 Kurva *load-settlement* SLT-02 prediksi
Sumber: Hasil analisis (2020)

Interpretasi hasil SLT

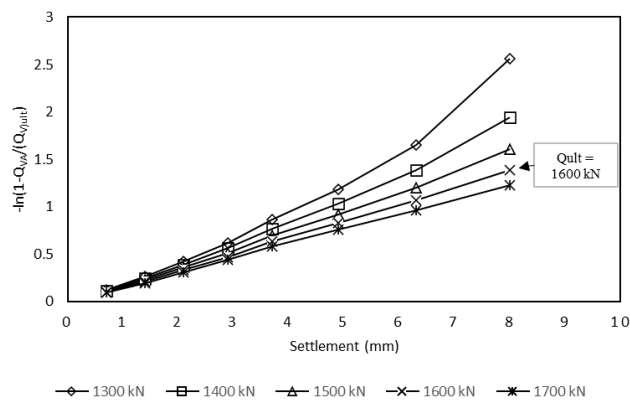
Perhitungan daya dukung fondasi dengan melakukan interpretasi hasil SLT menggunakan 3 (tiga)

metode yang berbeda, yaitu Metode Davisson (1972), Van Der Veen (1953), dan Mazurkiewicz (1972). Hasil interpretasi SLT dari Gambar 2 dan Gambar 3 disajikan dalam bentuk gambar untuk tiga metode yaitu Metode Davisson (1972), Vander Veen (1953), Mazurkiewicz (1972). Sebagai contoh hanya disajikan gambar hasil interpretasi dari data SLT-01 menggunakan ketiga metode tersebut pada Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9, berurutan. Sedangkan untuk interpretasi SLT dalam mendapatkan Qult and Qall akan disajikan pada Tabel 4. Pada Tabel4 juga diberikan hasil interpretasi untuk SLT-Prediksi dimana SF untuk semua perhitungan Qall adalah 2.5 sesuai SNI 8460 – 2017.



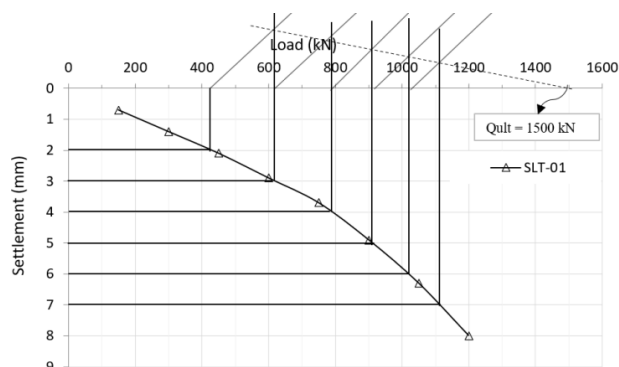
Gambar 7 Interpretasi daya dukung ultimit dengan metode Davisson

Sumber: Hasil analisis (2020)



Gambar 8 Interpretasi daya dukung ultimit dengan metode Van Der Veen

Sumber: Hasil analisis (2020)



Gambar 9 Interpretasi daya dukung ultimit dengan metode Mazurkiewicz

Sumber: Hasil analisis (2020)

Tabel 4 Interpretasi daya dukung ultimit dengan metode Mazurkiewicz

Metode	SLT-01		SLT-02		SLT-02 Prediksi	
	Qult (kN)	Qall (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)	Qult (kN)	Qall (kN)
	SF = 2.5		SF = 2.5		SF = 2.5	
Davisson	1510	604	1300	520	980	392
Vander Veen	1600	640	1300	520	1100	440
Mazurkiewicz	1500	600	1400	560	1050	420

Analisis penurunan terhadap kurva load-settlement

Pada sub bab ini dilakukan analisis penurunan yang terjadi pada masing-masing tiang untuk masing-masing working load. Berdasarkan SNI Geoteknik 8460 – 2017 bahwa penurunan yang terjadi tidak boleh melebihi 25 mm. Dari kurva *load-settlement* pada Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6 didapatkan data *settlement* yang terjadi ketika working load 600 kN dan 500 kN sebagaimana pada Tabel5. Untuk SLT-01 dan TZPILE-01 dengan *working load* 600 kN *settlement* yang terjadi tidak lebih dari 3mm. Sedangkan untuk SLT-02, TZPILE-02, TZPILE-02 DD, dan SLT-02 prediksi dengan *working load* 500 kN *settlement* yang terjadi tidak lebih dari 4mm. Untuk kedua *working load* tersebut, baik dari SLT maupun dari TZPILE menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi masih jauh dari penurunan batasyaitu 25 mm. Selain itu, menurut Braja M. Das dan Nagaratman Sivakugan (2019) jika beban yang bekerja meningkat secara bertahap maka dayadukung selimut tiang akan termobilisasi penuh jika penurunan yang terjadi adalah 5 – 10mm tanpa mempertimbangkan Panjang tiang. Sedangkan daya dukung ujung tiang tidak akan termobilisasi hingga terjadi penurunan pada ujung tiang sebesar 10-20% diameter tiang. Berdasarkan hal tersebut, jika pada Tabel5 menunjukkan bahwa *settlement* yang terjadi tidak ada yang lebih dari 4mm, maka daya dukung yang bekerja adalah daya dukung selimut tiang. Meskipun pada perhitungan Qall untuk SLT-02 Prediksi sudah tidak memenuhi, tetapi dari analisis penurunan masih memenuhi. Jika penentuan Qall berdasarkan penurunan 5 mm maka, untuk SLT-01, SLT-02, dan SLT-02 prediksi secara berurutan adalah 900 kN, 800 kN, dan 700 kN. Ketiganya masih memenuhi untuk *working load* 600 kN dan 500 kN.

Tabel5 *Settlement* yang terjadi ketika *working load*

Working load (kN)	Settlement (mm)					
	SLT -01	TZPILE -01	SLT -02	TZPILE-02	TZPILE -02 DD	SLT-02 prediksi
600	2.9	3	-	-	-	-
500	-	-	3.09	3.25	3.85	3.65

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan dari studi ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk analisis daya dukung aksial fondasi-dalam (driven – drilled), kurva *load – settlement* dari TZPILE mampu memprediksi dengan baik kurva *load – settlement* yang hasilnya mendekati hasil uji beban statis (SLT) skala penuh.
2. Kurva *load – settlement* dari hasil SLT jika terjadi *downdrag* bisa diprediksi dengan mengkalibrasi kurva *load – settlement* dari hasil SLT dan TZPILE.
3. Hasil interpretasi daya dukung ultimit menggunakan metode Davisson (1972), Vander Veen (1953), Mazurkiewicz (1972) menunjukkan bahwa dengan menggunakan SF=2.5 nilai *Qall* masih lebih besar dari *working load*. Kecuali untuk kondisi dengan *downdrag*.
4. Hasil analisis penurunan dari kurva *load-settlement* menunjukkan bahwa daya dukung yang bekerja pada saat *working-load* adalah daya dukung selimut.
5. Hasil analisis penurunan dari kurva *load-settlement* menunjukkan bahwa daya dukung (*Qall*) yang dihasilkan lebih besar dari *working-load*.

Saran

Saran untuk studi selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan data SLT yang lebih banyak pada suatu lokasi tertentu sehingga bias dikaji angka keamanan yang seharusnya digunakan.
2. Menggunakan data penyelidikan di lapangan yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Aswin Lim, Aksan Kwanda and Paulus P. Rahardjo (2013), "The Study of t-z and q-z curves on Bored Pile Based on The Results of Instrumented Pile Load Test in Medium and Stiff Clays", *Proceedings of Pile*.
- Budijanto Widjaja, dan Sri Ratna Wahyuningsih (2017), "Perbandingan Daya Dukung Fondasi Akibat Perbedaan Metode Konstruksi Fondasi Dalam", *Jurnal Spektran*, Hal. 192-198.
- Braja M. Das and Nagaratman Sivakugan (2019) "Principle of Foundation Engineering 9th Edition" Cengage Learning, Boston.
- Helmy Darjanto (1996-1997), "Laporan Hasil Uji Beban Statis", PT. Sunway Yasa PMI Pile.
- Hyeong Joo Kim, Jose Leo C. Mission, and Il Sang Park (2007), "Analysis of Static Axial Load Capacity of Single Piles and Large Diameter Shafts using Nonlinear Load Transfer Curves", *KSCE Journal of Civil Engineering*, pp. 285-292.
- J. J. Crispin, P. J. Vardanega, G. Mylonakis (2019), "Prediction of Pile Settlement Using Simplified Models", *Proceedings of the XVII ECSMGE*.
- Kevin Stanton, Kirk Ellison, Ramin Motamed, Sherif Elfass (2015), "An Evaluation of T-Z Analysis Methods", *Conference Paper*.
- Reese LC., Isenhower WM., Wang ST (2006), "Analysis and Design of Shallow and Deep Foundations", John Wiley & Sons, Inc.

Rocscience (2018), "Axially Loaded Piles", *Manual Program*.
Standar Nasional Indonesia/SNI 8460 – 2017.