

SKRIPSI

**VERIFIKASI TAHANAN SELIMUT PADA PROSES
PEMANCANGAN TIANG SKALA KECIL DI
LABORATORIUM MENGGUNAKAN
MODEL MATEMATIKA TAHANAN
ALIRAN TANAH**



**DOMINICO SAVIO STEVEN S.
NPM : 2014410175**

PEMBIMBING: Budijanto Widjaja, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNI 2018**

SKRIPSI

**VERIFIKASI TAHANAN SELIMUT PADA PROSES
PEMANCANGAN TIANG SKALA KECIL DI
LABORATORIUM MENGGUNAKAN
MODEL MATEMATIKA TAHANAN
ALIRAN TANAH**



**DOMINICO SAVIO STEVEN S.
NPM : 2014410175**

PEMBIMBING: Budijanto Widjaja, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNI 2018**

SKRIPSI

**VERIFIKASI TAHANAN SELIMUT PADA PROSES
PEMANCANGAN TIANG SKALA KECIL DI
LABORATORIUM MENGGUNAKAN
MODEL MATEMATIKA TAHANAN
ALIRAN TANAH**



**DOMINICO SAVIO STEVEN S.
NPM : 2014410175**

**BANDUNG, 26 JUNI 2018
PEMBIMBING:**



Budijanto Widjaja, Ph.D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNI 2018**

SURAT PERNYATAAN ANTI PLAGIAT

Saya yang bertandatangan di bawah ini

Nama Lengkap : Dominico Savio Steven S.

NPM : 2014410175

Dengan ini menyatakan skripsi saya yang berjudul **VERIFIKASI TAHANAN SELIMUT PADA PROSES PEMANCANGAN TIANG SKALA KECIL DI LABORATORIUM MENGGUNAKAN MODEL MATEMATIKA TAHANAN ALIRAN TANAH** adalah karya ilmiah yang bebas dari plagiat. Jika kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Bandung, Juni 2018



Dominico Savio Steven S.

VERIFIKASI TAHANAN SELIMUT PADA PROSES PEMANCANGAN TIANG SKALA KECIL DI LABORATORIUM MENGGUNAKAN MODEL MATEMATIKA TAHANAN ALIRAN TANAH

**Dominico Savio Steven S.
NPM: 2014410175**

Pembimbing: Budijanto Widjaja, Ph. D.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNI 2018**

ABSTRAK

Pada proses pemancangan tiang, tanah akan mencapai titik kritis sehingga tanah akan mengalir layaknya elemen cair. Hal tersebut disebabkan oleh tahanan statik permukaan yang diberikan oleh tanah terlampaui. Pada saat mencapai keruntuhan, tanah akan memberikan tahanan dinamik untuk melawan gaya penetrasi yang diberikan oleh tiang. Model reologi merupakan model yang dinilai cukup baik untuk menggambarkan keadaan tanah yang mengalir sehingga pada model matematika tahanan aliran tanah pada proses pemancangan dengan mekanisme *drop-hammer* digunakan 2 jenis tahanan tanah yaitu tahanan statik dan tahanan dinamik. Adapun besarnya tahanan dinamik dipengaruhi oleh nilai viskositas geser dari tanah dengan menggunakan model Bingham dan model Casson. Hasil analisis yang dihasilkan berdasarkan model matematika tahanan aliran tanah dan hasil pemancangan aktual memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada hasil penurunan sehingga diperlukan faktor koreksi untuk menyesuaikan hasil analisis terhadap hasil simulasi pemancangan aktual. Hasil error rata-rata yang dihasilkan pada tanah kaolin dan lempung berfase plastis adalah sebesar 13% sedangkan pada fase batas cair adalah sebesar 14%. Pada analisis tahanan aliran tanah dengan data *Pile Driving Record* sebagai data pembandingan digunakan faktor koreksi pada tanah berfase plastis sehingga dihasilkan rata-rata error sebesar 16.2% sehingga selisih error antara simulasi pemancangan dan hasil lapangan adalah sebesar 1%.

Kata Kunci: Reologi, Model Matematika, *Drivability*, *Pile Driving Record*, Tiang Pancang

**VERIFICATION OF SLEEVE FRICTION ON A SMALL-
SCALED DRIVEN PILE IN A LABORATORY BASED
ON A MATHEMATICAL MODEL OF SOIL
FLOW RESISTANCE**

**Dominico Savio Steven S.
NPM: 2014410175**

Advisor: Budijanto Widjaja, Ph. D.

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING DEPARTMENT OF CIVIL
ENGINEERING
(Accredited by SK BAN-PT Number: 227/SK/BAN-PT/Ak-XVI/S/XI/2013)
BANDUNG
JUNE 2018**

ABSTRACT

When a pile is driven, the soil underneath the pile will reach a critical condition resulting soil is determined to reach the failure condition and will flow as the fluid element. The flow is caused by the external driving force exceeded the static resistance of the soil. When the failure condition is reached, the dynamic resistance of the soil will also contribute to counter the penetrating force of the pile. The rheology model is valuated quite accurate to represent the soil flow when the critical condition is reached because the parameters used for the mathematical model of soil flow resistance represent static resistance and dynamic resistance. The dynamic resistance is influenced by the shear viscosity of the soil used the Bingham model and the Casson model to determine the shear viscosity of the soil. There are some differences between the analytical output used the mathematical model of soil flow resistance and the actual result so the correction factor is needed to calibrate the displacement of the pile. The average error between driving pile simulation and analytical calculation are 13% for soil in plastic state and 14% for soil in transition state of plastic and semiliquid. Moreover, the driving pile situated in Marunda Center (North Jakarta) is modelled use drilling log and laboratory data to obtain the rheology parameters. The mathematical model and the pile driving record are compared and result 16.2% of average error. Comparing to the simulation in the laboratory, there is 1% difference of the average error between the pile driving record and the simulation in the laboratory.

Keywords: Rheology, Mathematical Model, Drivability, Pile Driving Record, Driven Piles

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, kasih, dan penyertaannya sehingga skripsi dengan judul *Verifikasi Tahanan Selimut pada Proses Pemancangan Tiang Skala Kecil di Laboratorium Menggunakan Model Matematika Tahanan Aliran Tanah* ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini merupakan tugas prasyarat untuk menyelesaikan jenjang studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Selama penyusunan skripsi ini penulis memperoleh banyak dukungan dari banyak pihak sehingga segala kendala dapat teratasi dan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Budijanto Widjaja, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dengan memberikan ide, saran, dan bantuan selama proses pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ph.D., Bapak Aswin Lim, Ph.D., Ibu Anastasia Sri Lestari, Ir., MT., dan Ibu Siska Rustiani, Ir., MT. selaku dosen-dosen geoteknik yang telah memberikan saran dan masukan pada pembuatan skripsi ini.
3. Bapak Aksan Kawanda selaku direktur utama PT. Geotech Efathama yang telah memberikan data pendukung kepada penulis.
4. Bapak Andra Ardiana, ST. selaku laboran Laboratorium Geoteknik Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan saran dan bantuan selama penelitian di laboratorium.
5. Seluruh dosen Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan ilmu kepada penulis selama masa studi penulis di Universitas Katolik Parahyangan.
6. Seluruh karyawan Tata Usaha dan segenap keluarga besar Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan yang telah membantu penulis dari segi administrasi selama proses perkuliahan.
7. Orang tua penulis yang telah memberikan dukungan dan motivasi sehingga skripsi penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

8. Raymond Utama, ST. yang telah meluangkan waktunya untuk membantu dalam pengambilan sampel dan memberikan masukan kepada penulis ketika penulis mengalami permasalahan dalam melakukan analisis.
9. Raymond Nicander Salim yang telah meluangkan waktunya untuk membantu pengerjaan uji laboratorium dan pengambilan sampel.
10. Teman-teman (Stieven Qurrie, Garry Collins, dan Enrico) yang telah memberikan dukungan moral selama penyusunan berlangsung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca. Skripsi ini diharapkan dapat berguna bagi pembaca dan perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam ranah disiplin ilmu teknik sipil.

Bandung, 26 Juni 2018



Dominico Savio Steven S.

2014410175

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1-1
1.1 Latar Belakang.....	1-1
1.2 Inti Permasalahan	1-1
1.3 Maksud dan Tujuan	1-1
1.4 Lingkup Penelitian.....	1-2
1.5 Metode Penelitian	1-2
1.6 Sistematika Penulisan	1-3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	2-1
2.1 Alat Uji Penetrometer	2-1
2.2 Reologi.....	2-2
2.3 Model Tanah.....	2-6
2.4 Kuat Geser Tanah	2-8
2.5 Pondasi Tiang Pancang	2-11
2.6 Tahanan Tanah Statik	2-16
2.7 Tahanan Tanah Dinamik.....	2-19
2.8 Model Matematika Tahanan Aliran Tanah Pada Proses Pemancangan Tiang	2-21

2.9	Model Matematika Tahanan Aliran Tanah Pada Proses Pemancangan Tiang dengan Mekanisme <i>Drop-hammer</i>	2-24
2.10	Karakteristik Geoteknis Tanah.....	2-29
BAB 3	METODE PENELITIAN	3-1
3.1	Diagram Alir Penelitian	3-1
3.2	Karakteristik Geoteknis dari Material Tanah yang Akan Digunakan....	3-2
3.3	Pengujian Parameter Reologi Berdasarkan Metode Mahajan dan Budhu (2008).....	3-4
3.4	Perhitungan Daya Dukung dengan Metode Konvensional	3-6
3.5	Simulasi Pemancangan Tiang.....	3-7
3.6	Verifikasi Besaran Tahanan Selimut	3-8
3.7	Interpretasi hasil	3-8
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	4-1
4.1	Parameter Geoteknis dan Parameter Reologi Material Kaolin	4-1
4.2	Simulasi Pemancangan Tiang pada Tanah Kaolin	4-6
4.3	Hasil Analisis dan Verifikasi Penetrasi Tiang pada Tanah Kaolin.....	4-7
4.4	Hasil Analisis dan Verifikasi Tahanan Aliran Tanah Kaolin pada Proses Pemancangan Tiang	4-10
4.5	Faktor Koreksi Model Matematika Tahanan Aliran Tanah Pada Proses Pemancangan dengan Mekanisme <i>Drop-hammer</i>	4-21
4.6	Parameter Geoteknis dan Parameter Reologi Tanah Lempung Marunda Center	4-25
4.7	Simulasi Pemancangan Tiang pada Tanah Lempung Marunda Center	4-30
4.8	Hasil Analisis dan Verifikasi Penetrasi Tiang pada Tanah Lempung Marunda Center	4-31
4.9	Hasil Analisis dan Verifikasi Tahanan Aliran Tanah Lempung Marunda Center pada Proses Pemancangan Tiang.....	4-33

4.10	Verifikasi Faktor Koreksi Model Matematika Tahanan Aliran Tanah Pada Proses Pemancangan dengan Mekanisme <i>Drop-hammer</i>	4-44
4.11	Verifikasi Model Matematika Tahanan Aliran Tanah di Lapangan....	4-47
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	5-1
5.1	Kesimpulan.....	5-1
5.2	Saran	5-1
DAFTAR PUSTAKA	xxi

DAFTAR NOTASI

α	:	Faktor Adhesi
a	:	Akselerasi Konus (m^2/s)
β	:	Sudut Konus ($^\circ$)
β_0	:	Parameter yang Menunjukkan Besarnya Zona CS
B_q	:	Rasio Tekanan Air Pori
c_u	:	Kohesi (N/m^2)
D	:	Diameter Konus Sondir (cm)
δ_0	:	Besar Penurunan Akibat Tiang Dipasang Mula-Mula (mm)
δ_c	:	Sudut Inklinasi (radian)
δ_i	:	Besar Penurunan Akibat Pukulan ke-i (mm)
e	:	Efisiensi Tiang Pancang
ϕ	:	Sudut Geser Dalam ($^\circ$)
F	:	Faktor Tidak Berdimensi Konus
F_s	:	Tahanan Aliran Tanah Statik (N)
F_{sq}	:	Tahanan Aliran Tanah Statik Ujung (N)
F_{ss}	:	Tahanan Aliran Tanah Statik Selimut (N)
F_v	:	Tahanan Aliran Tanah Dinamik (N)
F_z	:	Tahanan Aliran Tanah Total (N)
F_{z0}	:	Tahanan Aliran Tanah Total saat Tiang Dipasang Mula-Mula (N)
F_{zi}	:	Tahanan Aliran Tanah Total saat Pukulan ke-i (N)
f_v	:	Tahanan Tanah Dinamik per Satuan Panjang (N/m)
f_z	:	Total Tahanan Tanah per Satuan Panjang (N/m)
f_s	:	Tahanan Tanah Statik per Satuan Panjang (N/m)
$\dot{\gamma}$:	Laju Regangan Geser (1/s)
η	:	Viskositas Geser (Pa·s)
η_B	:	Viskositas Geser dari Model Bingham (Pa·s)
η_C	:	Viskositas Geser dari Model Casson (Pa·s)
H	:	Kedalaman Penetrasi Tiang (mm)
H_c	:	Panjang Konus Tiang (mm)
H_r	:	Panjang Badan Tiang (mm)

h	:	Kedalaman Penetrasi Konus (m)
h_{eq}	:	Kedalaman Penetrasi Konus Saat Keseimbangan Dinamik (m)
h_f	:	Kedalaman Penetrasi Konus Akhir (m)
K	:	Faktor <i>Fall Cone</i> Untuk Menentukan Kuat Geser Tanah
k	:	Faktor Koreksi Untuk Saat Proses Pemancangan Tiang
λ_0	:	R_0/r_0
LL	:	Batas Cair
L	:	Tinggi Jatuh <i>Drop-Hammer</i> (m)
M	:	Massa Model Tiang (g)
m	:	Massa <i>Drop-Hammer</i> (g)
N_{ch}	:	Faktor Daya Dukung Konus dengan Mempertimbangkan <i>Heave</i>
N_{kt}	:	Faktor Daya Dukung Ujung Konus Empirik (<i>tip cone resistance</i>)
N_{ke}	:	Faktor Daya Dukung Ujung Konus Empirik (<i>effective cone resistance</i>)
$N_{\Delta u}$:	Faktor Daya Dukung Ujung Konus Empirik (<i>excess pore water pressure</i>)
n	:	Faktor Koreksi Untuk Saat Proses Pemancangan Tiang
PL	:	Batas Plastis
q_c	:	Tahanan Ujung Konus (MPa)
q_s	:	Tahanan Selimut (MPa)
FR	:	Rasio Friksi (%)
R_0	:	Radius Silinder Tanah Terganggu (m)
r_0	:	Radius Tiang Pancang (m)
s	:	Panjang Sisi Tiang (cm)
σ	:	Tegangan Normal (N/m ²)
σ_{vo}	:	Tegangan Vertikal Tanah Total (N/m ²)
σ'_{vo}	:	Tegangan Vertikal Tanah Efektif (N/m ²)
τ	:	Tegangan Total Tahanan Tanah (N/m ²)
τ_{cs}	:	Tegangan Tahanan Tanah Saat <i>Critical State</i> (N/m ²)
τ_v	:	Tegangan Tahanan Tanah Dinamik (N/m ²)
τ_y	:	Tegangan Tahanan Tanah Statik (N/m ²)
u_0	:	Tekanan Air Pori pada Saat Keteimbangan (kPa)

- u_2 : Tekanan Air Pori pada Ujung Konus (kPa)
 V_{0z} : Kecepatan Tiang Sesaat Setelah Tumbukan (m/s)
 V_m : Kecepatan Jatuh *Hammer* (m/s)
 V_z : Kecepatan Penetrasi Tiang (m/s)
 V_{zi} : Kecepatan Penetrasi Tiang saat Pukulan ke-i (m/s)
 V_{z0} : Kecepatan Penetrasi Tiang saat Tiang Dipasang Mula-Mula (m/s)
 v : Kecepatan Penetrasi Konus (m/s)
 W : Berat Konus (N)
 w : Kadar Air
 x : Faktor Koreksi Untuk Penetrasi Awal Tiang
 $\Sigma\delta_i$: Penurunan Kumulatif Tiang hingga Pukulan ke-i
 $\Sigma\delta_{i-1}$: Penurunan Kumulatif Tiang hingga Pukulan ke-i-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat uji penetrometer	2-1
Gambar 2.2 Ilustrasi sifat mekanis material pada model piringan parallel (RheoTech, 2006)	2-2
Gambar 2.3 Kurva hubungan laju rengangan geser terhadap tegangan geser dan viskositas geser material <i>Newtonian</i> (RheoTech, 2006).....	2-3
Gambar 2.4 Kurva hubungan laju rengangan geser terhadap tegangan geser dan viskositas geser material <i>pseudoplastic</i> (RheoTech, 2006)	2-3
Gambar 2.5 Kurva hubungan laju rengangan geser terhadap tegangan geser dan viskositas geser (RheoTech, 2006).....	2-4
Gambar 2.6 Kurva aliran model Bingham (RheoTech, 2006)	2-5
Gambar 2.7 Kurva aliran model Herschel-Bulkley dan model Casson (RheoTech, 2006)	2-5
Gambar 2.8 Kurva perilaku tegangan geser terhadap regangan geser pada material <i>elastoplastic</i> (Budhu, 2010)	2-6
Gambar 2.9 Kurva perilaku tegangan terhadap regangan pada material <i>elastoplastic</i> (Das, 2008)	2-6
Gambar 2.10 Kurva perilaku tegangan terhadap regangan non-linier dan modulus kekakuan tanah yang tidak konstan (Gouw, 2014).....	2-7
Gambar 2.11 Interpretasi keadaan tanah berdasarkan kurva tegangan geser terhadap tegangan normal (Budhu, 2010)	2-7
Gambar 2.12 Interpretasi keadaan tanah berdasarkan kurva tegangan geser terhadap regangan geser (Budhu, 2010).....	2-8
Gambar 2.13 <i>Coulomb's failure envelope</i> (Budhu, 2010)	2-8
Gambar 2.14 Grafik Mohr kondisi <i>undrained</i> pada (kiri) saat awal dan (kanan) setelah mengalami peningkatan tegangan keliling (Budhu, 2010).....	2-10
Gambar 2.15 Kriteria kegagalan Mohr-Coulomb (Budhu, 2010)	2-10
Gambar 2.16 Kondisi-kondisi diperlukannya pondasi tiang (Das, 2011).....	2-11
Gambar 2.17 Jenis Tiang baja beserta sambungan (a) <i>H-section</i> (b) <i>pipe piles</i> (c) <i>H-section</i> menggunakan sambungan <i>rivets</i> dan baut (d) ujung datar (e) ujung tajam (Das, 2011)	2-12

Gambar 2.18 Potongan melintang tiang pracetak dan potongan memanjang tiang (Das, 2011).....	2-13
Gambar 2.19 Ilustrasi tiang <i>cast-in situ</i> menggunakan <i>case</i> (Das, 2011).....	2-13
Gambar 2.20 Ilustrasi tiang <i>cast-in situ</i> tanpa menggunakan <i>case</i> (Das, 2011).	2-14
Gambar 2.21 Ilustrasi tiang kayu beserta sambungan antar tiang (Das, 2011)..	2-15
Gambar 2.22 Ilustrasi <i>point bearing piles</i> pada (a) dan (b) serta <i>friction piles</i> pada (c) (Das, 2011).....	2-15
Gambar 2.23 Mekanisme transfer beban (Das, 2011)	2-16
Gambar 2.24 Kondisi tanah pada proses pemancangan (Mahajan, 2006)	2-19
Gambar 2.25 Perilaku aliran tanah pada proses pemancangan (Mahajan, 2006).....	2-20
Gambar 2.26 Ilustrasi pemodelan tiang pancang (Utama, 2018)	2-22
Gambar 2.27 Faktor adhesi untuk tiang pancang pada tanah lempung (Semple dan Rigden, 1984)	2-23
Gambar 2.28 Ilustrasi pemancangan tiang dengan mekanisme <i>drop-hammer</i> (Utama, 2018).....	2-25
Gambar 2.29 Definisi batas Atterberg (Das, 2011)	2-29
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	3-1
Gambar 3.2 Lokasi pengambilan sampel tanah lempung	3-3
Gambar 3.3 Contoh sampel tanah lempung lunak Marunda, Bekasi, Jakarta Utara, Indonesia	3-3
Gambar 3.4 Skema keadaan tanah yang mencapai kondisi kritis (Koumoto dan Houlsby, 2001)	3-6
Gambar 3.5 Skema simulasi pemancangan tiang	3-7
Gambar 4.1 Klasifikasi tanah kaolin berdasarkan nilai <i>PI</i> dan <i>LL</i>	4-2
Gambar 4.2 Hubungan kedalaman penetrasi konus terhadap waktu pada kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-4
Gambar 4.3 Hubungan kedalaman penetrasi konus terhadap waktu pada kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-4
Gambar 4.4 Hubungan kedalaman penetrasi konus terhadap kecepatan penetrasi konus pada kaolin dengan variasi kadar air 69%.....	4-5

Gambar 4.5 Hubungan kedalaman penetrasi konus terhadap kecepatan penetrasi konus pada kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-5
Gambar 4.6 Hasil pengujian aktual pada kaolin dengan variasi kadar air	4-7
Gambar 4.7 Simulasi pemancangan pada tanah kaolin	4-7
Gambar 4.8 Kurva hubungan jumlah pukulan terhadap penetrasi pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-8
Gambar 4.9 Kurva hubungan jumlah pukulan terhadap penetrasi pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-8
Gambar 4.10 Kondisi tanah kaolin yang mengalami perpindahan.....	4-9
Gambar 4.11 Perpindahan pada tanah akibat penetrasi tiang (Budhu, 2010)	4-10
Gambar 4.12 Perbandingan hasil analisis tahanan dinamik pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-12
Gambar 4.13 Perbandingan hasil analisis tahanan dinamik pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-13
Gambar 4.14 Hubungan gaya tahanan total terhadap kedalaman pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-13
Gambar 4.15 Hubungan gaya tahanan total terhadap kedalaman pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-14
Gambar 4.16 Total tahanan tanah menggunakan model Bingham pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-15
Gambar 4.17 Total tahanan tanah menggunakan model Casson pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-15
Gambar 4.18 Total tahanan tanah menggunakan model Bingham pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-16
Gambar 4.19 Total tahanan tanah menggunakan model Casson pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-16
Gambar 4.20 Hubungan gaya tahanan statik terhadap kedalaman pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-17
Gambar 4.21 Hubungan gaya tahanan statik terhadap kedalaman pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-17
Gambar 4.22 Pengaruh viskositas geser pada proses pemancangan	4-18

Gambar 4.23 Hubungan kecepatan penetrasi tiang terhadap kedalaman pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-19
Gambar 4.24 Hubungan kecepatan penetrasi tiang terhadap kedalaman pada tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-20
Gambar 4.25 Hubungan percepatan penetrasi tiang terhadap waktu penetrasi tiang untuk tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-20
Gambar 4.26 Hubungan percepatan penetrasi tiang terhadap waktu penetrasi tiang untuk tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-21
Gambar 4.27 Hasil koreksi model Bingham untuk tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-22
Gambar 4.28 Hasil koreksi model Casson untuk tanah kaolin dengan variasi kadar air 69%	4-23
Gambar 4.29 Hasil koreksi model Bingham untuk tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-23
Gambar 4.30 Hasil koreksi model Casson untuk tanah kaolin dengan variasi kadar air 78%	4-24
Gambar 4.31 Klasifikasi tanah lempung Marunda berdasarkan nilai <i>PI</i> dan <i>LL</i>	4-26
Gambar 4.32 Hubungan kedalaman penetrasi konus terhadap waktu pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-28
Gambar 4.33 Hubungan kedalaman penetrasi konus terhadap waktu pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-28
Gambar 4.34 Hubungan kedalaman penetrasi konus terhadap kecepatan penetrasi konus pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-29
Gambar 4.35 Hubungan kedalaman penetrasi konus terhadap kecepatan penetrasi konus pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-29
Gambar 4.36 Hasil pengujian aktual pada tanah lempung dengan variasi kadar air	4-31
Gambar 4.37 Simulasi pemancangan pada tanah lempung Marunda Center.....	4-31
Gambar 4.38 Kurva hubungan jumlah pukulan terhadap penetrasi pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-32
Gambar 4.39 Kurva hubungan jumlah pukulan terhadap penetrasi pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-32

Gambar 4.40 Perbandingan hasil analisis tahanan dinamik pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-35
Gambar 4.41 Perbandingan hasil analisis tahanan dinamik pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-35
Gambar 4.42 Hubungan gaya tahanan total terhadap kedalaman pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-37
Gambar 4.43 Hubungan gaya tahanan total terhadap kedalaman pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-37
Gambar 4.44 Total tahanan tanah menggunakan model Bingham pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-38
Gambar 4.45 Total tahanan tanah menggunakan model Casson pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-38
Gambar 4.46 Total tahanan tanah menggunakan model Bingham pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-39
Gambar 4.47 Total tahanan tanah menggunakan model Casson pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-39
Gambar 4.48 Hubungan gaya tahanan statik terhadap kedalaman pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-40
Gambar 4.49 Hubungan gaya tahanan statik terhadap kedalaman pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-40
Gambar 4.50 Hubungan kecepatan penetrasi tiang terhadap kedalaman pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-42
Gambar 4.51 Hubungan kecepatan penetrasi tiang terhadap kedalaman pada tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-42
Gambar 4.52 Hubungan percepatan penetrasi tiang terhadap waktu penetrasi tiang untuk tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-43
Gambar 4.53 Hubungan percepatan penetrasi tiang terhadap waktu penetrasi tiang untuk tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-43
Gambar 4.54 Hasil koreksi model Bingham untuk tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-45
Gambar 4.55 Hasil koreksi model Casson untuk tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 67%	4-45

Gambar 4.56 Hasil koreksi model Bingham untuk tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-46
Gambar 4.57 Hasil koreksi model Casson untuk tanah lempung Marunda Center dengan variasi kadar air 79%	4-46
Gambar 4.58 Lokasi titik-titik pengujian <i>in-situ</i> proyek Gedung Sewa Blok K – Marunda Center	4-48
Gambar 4.59 Tahanan ujung (q_c) dan rasio friksi (FR) pada titik pengujian CPTu-6	4-49
Gambar 4.60 Korelasi indeks kecairan terhadap viskositas geser model Bingham	4-50
Gambar 4.61 Korelasi indeks kecairan terhadap viskositas geser model Casson	4-50
Gambar 4.62 Estimasi nilai c_u berdasarkan data pengujian <i>in-situ</i>	4-53
Gambar 4.63 Komparasi <i>drivability</i> jumlah pukulan model tahanan aliran tanah terhadap hasil <i>PDR</i> per kedalaman 0.5 m	4-54
Gambar 4.64 Komparasi <i>drivability</i> jumlah pukulan kumulatif terhadap kedalaman dari model tahanan aliran tanah dan hasil <i>PDR</i>	4-55
Gambar 4.65 Hasil koreksi <i>drivability</i> model matematika tahanan aliran tanah	4-56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Variasi nilai α yang diinterpolasi berdasarkan Terzaghi <i>et al.</i> , 1996 (Das, 2011)	2-17
Tabel 2.2 Perkiraan nilai β' (Fellenius, 1991, Manual Pondasi Tiang edisi ke-4)	2-18
Tabel 2.3 Nilai N_{ch} berdasarkan kekasaran permukaan dan sudut konus (Koumoto dan Houlsby, 2001).....	2-22
Tabel 3.1 Parameter geoteknis kaolin	3-2
Tabel 3.2 Parameter geoteknis tanah lempung Marunda Center.....	3-4
Tabel 4.1 Hasil pengujian batas Atterberg material kaolin.....	4-2
Tabel 4.2 Konstanta dan parameter konus yang digunakan.....	4-3
Tabel 4.3 Hasil analisis parameter viskositas geser dan kohesi tanah <i>undrained</i> pada kaolin.....	4-6
Tabel 4.4 Faktor koreksi yang digunakan pada tanah kaolin	4-24
Tabel 4.5 Hasil pengujian batas Atterberg material tanah lempung Marunda Center	4-26
Tabel 4.6 Hasil analisis parameter viskositas geser dan kohesi tanah <i>undrained</i> pada tanah lempung Marunda Center, Jakarta Utara, Indonesia	4-30
Tabel 4.7 Faktor koreksi yang digunakan pada tanah lempung Marunda Center	4-47
Tabel 4.8 Parameter geoteknis berdasarkan hasil uji laboratorium.....	4-48
Tabel 4.9 Parameter reologi berdasarkan hasil korelasi indeks kecairan (LI) terhadap viskositas geser (η)	4-51
Tabel 4.10 Perbandingan tingkat <i>error</i> model matematika tahanan aliran tanah pada proses pemancangan dengan mekanisme <i>drop-hammer</i> pada tanah berfase plastis	4-56

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil Analisis Uji Penetrometer
- Lampiran 2 Hasil Analisis Parameter Reologi
- Lampiran 3 Tabel Hasil Analisis Gaya Tahanan Aliran Tanah
- Lampiran 4 Hasil Analisis Model Matematika Tahanan Aliran Tanah
Terkoreksi
- Lampiran 5 Hasil Analisis Parameter Geoteknis
- Lampiran 6 Hasil Analisis Tahanan Statik Konvensional
- Lampiran 7 Hasil Analisis Model Matematika Berdasarkan Data Lapangan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada proses pemancangan berlangsung, tanah disekitar tiang pancang tersebut mengalami keruntuhan dan berdeformasi. Tanah yang mengalami keruntuhan tersebut memberikan tahanan di sekitar tiang pancang layaknya benda cair. Analisis daya dukung tiang pancang lazimnya hanya mempertimbangkan tahanan ujung dan tahanan selimut yang mengalami kontak langsung dengan tanah di sekitar tiang sedangkan pada kenyataannya terdapat tahanan dinamik yang diakibatkan oleh kekentalan dari tanah (*viscous soil resistance*) tersebut. Selain itu terdapat gaya kekentalan tanah (*viscous drag force*) yang turut berperan pada daya dukung tiang pancang tersebut. Dua parameter yang telah dipaparkan di atas berasal dari metode reologi di mana pemancangan dilakukan menggunakan mekanisme *drophammer* dengan pendekatan hidrodinamik yang telah dikembangkan sebelumnya oleh Mahajan dan Budhu (2008) untuk digunakan pada model matematika tahanan aliran tanah yang telah dikembangkan sebelumnya oleh Utama (2018).

1.2 Inti Permasalahan

Model matematika tahanan dinamik dan gaya kekentalan tanah pada proses pemancangan pondasi tiang belum terverifikasi secara sempurna sehingga metode tersebut dikembangkan untuk menjelaskan mekanisme pemancangan tiang.

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah melakukan verifikasi besaran tahanan selimut pada proses pemancangan tiang skala kecil serta mempelajari lebih mendalam mengenai pengaruh tahanan selimut dengan menggunakan metode konvensional dan metode tahanan aliran tanah (reologi). Selain itu, dilakukan prediksi nilai jumlah pukulan kumulatif terhadap kedalaman menggunakan model matematika tahanan aliran tanah berdasarkan data sekunder berupa uji laboratorium. Output berdasarkan analisis model matematika tahanan aliran tanah

dikoreksi dan diverifikasi terhadap data lapangan berupa *Pile Driving Record* untuk menghasilkan tingkat *error* dari model matematika tahanan aliran tanah berdasarkan data lapangan.

1.4 Lingkup Penelitian

Lingkup penelitian meliputi :

1. Jenis tanah yang dibahas pada penelitian ini hanya meliputi tanah lempung yang berlokasi di Marunda, Bekasi, Jakarta Utara, Indonesia dan kaolin.
2. Analisis tahanan dinamik dan gaya kekentalan selama proses pemancangan tiang menggunakan model reologi *Bingham* dan *Casson*.
3. Mekanisme pemancangan tiang yang dilakukan menggunakan *drophammer* di mana model tiang pancang dan *drophammer* terbuat dari material aluminium.
4. Analisis difokuskan pada tahanan selimut di sekitar tiang pancang.
5. Kriteria tiang yang digunakan adalah tiang panjang berdasarkan definisi Bowles (1996) dengan perbandingan antara panjang tiang dan diameter tiang lebih dari 4.
6. Tiang dikategorikan sebagai *friction piles*.
7. *Set* ditetapkan ketika *reading* pada alat ukur penurunan sudah mencapai titik maksimum atau tiang tidak mengalami penurunan setelah dipukul sebanyak 10 kali.

1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah :

1. Studi Pustaka
Studi pustaka dilakukan dengan tujuan untuk mengumpulkan data-data yang dapat digunakan untuk menunjang analisis tahanan aliran tanah pada proses pemancangan tiang.
2. Pengujian laboratorium
Pengujian laboratorium dilakukan untuk menentukan parameter-parameter tanah lempung yang akan digunakan dalam pemancangan tiang pancang skala kecil. Parameter-parameter utama yang digunakan dalam model

reologi adalah viskositas geser (η) dan kuat geser tak-teralir (c_u). Parameter lain dari tanah lempung yang berupa berat isi (γ), kadar air (w), dan berat jenis (G_s) merupakan parameter kontrol dari tanah yang akan diuji.

3. Pemancangan tiang pancang skala kecil

Pengujian atau simulasi tiang pancang menggunakan tiang pancang dengan bahan dasar metal aluminium dimana gaya impak mengacu pada desain beban yang telah ditentukan sebelumnya.

4. Pengambilan data lapangan

Data lapangan diambil dengan mengutamakan lokasi proyek yang stratifikasi tanahnya didominasi oleh tanah lempung. Tujuan dari hal tersebut adalah untuk mendapatkan karakteristik geoteknis yang mendekati material tanah yang digunakan dalam pemancangan tiang skala kecil.

5. Analisis

Analisis dilakukan menggunakan model matematika yang telah dikembangkan sebelumnya (Utama, 2018) untuk model tanah dengan kombinasi tahanan statik dan dinamik serta metode konvensional yang terdiri atas tahanan ujung dengan metode Meyerhof (Meyerhof, 1976) dan tahanan selimut dengan metode α (Terzaghi *et al.*, 1996) di mana keduanya merupakan tahanan statik.

6. Interpretasi hasil

Melakukan perbandingan antara analisis dengan metode tahanan aliran tanah dan metode konvensional.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN meliputi latar belakang permasalahan, inti permasalahan, maksud dan tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penelitian, sistematika penulisan, dan diagram alir penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA berisi tentang tinjauan literatur mengenai model tahanan aliran tanah, daya dukung tanah, dan friksi selimut.

BAB 3 METODE PENELITIAN membahas mengenai metode yang digunakan dalam penelitian yang meliputi metode analisis tahanan aliran tanah

berdasarkan model reologi, metode analisis metode konvensional, metode pengujian parameter tanah, dan metode pemancangan tiang skala kecil.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN membahas mengenai hasil tahanan aliran tanah dengan model reologi, hasil analisis dengan metode konvensional, hasil pengujian parameter reologi, hasil simulasi pemancangan tiang skala kecil, dan interpretasi hasil.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis yang telah dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.