

**ANALISIS EFEK KONSOLIDASI VAKUM
TERHADAP FONDASI TIANG PANCANG
EKSISTING
TESIS**



Oleh:

Zakwan Gusnadi

8101801017

Pembimbing 1:

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Pembimbing 2:

Aswin Lim, Ph.D.

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
FEBRUARI 2021**

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS EFEK KONSOLIDASI VAKUM
TERHADAP FONDASI TIANG PANCANG EKSTISTING**



Oleh:

Zakwan Gusnadi

8101801017

Disetujui Untuk Sidang Tesis pada Hari/Tanggal:

Rabu, 10 Februari 2021

Pembimbing 1:

Prof. Paulus Pramono Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Pembimbing 2:

Aswin Lim, Ph.D.

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
BANDUNG
FEBRUARI 2021**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Yang bertanda tangan dibawah ini, saya dengan data diri sebagai berikut:

Nama : Zakwan Gusnadi

NPM : 8101801017

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

Analisis Efek Konsolidasi Vakum Terhadap Fondasi Tiang Pancang Eksisting adalah benar-benar karya saya sendiri dibawah bimbingan dosen pembimbing. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini, saya siap menanggung segala resiko, akibat, dan/atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya, termasuk pembatalan gelar akademik yang saya peroleh dari Universitas Katolik Parahyangan.

Dinyatakan: di Bandung

Tanggal: 4 Februari 2021



Zakwan Gusnadi

ANALISIS EFEK KONSOLIDASI VAKUM TERHADAP FONDASI TIANG PANCANG EKSISTING

Zakwan Gusnadi (NPM: 8101801017)

Pembimbing 1: Prof. Paulus P. Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Pembimbing 2: Aswin Lim, Ph.D.

Magister Teknik Sipil

Bandung

Februari 2021

ABSTRAK

Teknologi perbaikan tanah metode prapembebanan vakum yang dikombinasikan dengan *prefabricated vertical drain (PVD)* telah banyak dilakukan dalam upaya reklamasi lahan pada tanah lunak. Metode ini memanfaatkan tekanan atmosfer dari pompa dan didistribusikan dengan *PVD* sehingga menciptakan tekanan air pori negatif pada area perbaikan. Dalam masa konstruksi tekanan vakum tidak hanya terdistribusi pada area perbaikan, melainkan hingga jarak tertentu disekitar area perbaikan. Distribusi tekanan vakum disekitar area perbaikan dapat berdampak buruk pada struktur disekitarnya. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis efek tekanan vakum terhadap fondasi tiang pancang terpasang. Metode analisis untuk mengetahui efek tekanan vakum terhadap fondasi tiang pancang ini adalah dengan metode elemen hingga menggunakan program bantu ABAQUS. Tekanan negatif vakum dimodelkan sebagai kondisi batas tekanan air pori sesuai histori pembebanan dilapangan. Validasi model dilakukan dengan komparasi terhadap data pemantauan lapangan. Hasil analisis menunjukkan pola yang mendekati hasil pemantauan lapangan. Pengaruh tekanan vakum pada area sekitar perbaikan terjadi hingga 33 m dari batas area perbaikan. Pergerakan lateral tiang pancang mengakibatkan besar gaya yang terjadi pada tiang pancang melebihi kapasitas strukturalnya.

ANALYSIS VACUUM CONSOLIDATION EFFECT TO EXISTING DRIVEN PILE

Zakwan Gusnadi (NPM: 8101801017)

Advisor: Prof. Paulus P. Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D.

Co-Advisor: Aswin Lim, Ph.D.

Magister of Civil Engineering

Bandung

February 2021

ABSTRACT

Vacuum preloading method is used on a soft clay reclamation project. It used atmosphere pressure from vacuum gauge then flow through PVD and created negative pressure in the treated area. Vacuum pressure not only distributed within treated area, it may have an impact beyond the area. Vacuum pressure distribution may affect existing structure around it. This research aims to analysis vacuum pressure effect to existing driven pile. Analysis method used finite element method (ABAQUS). The negative pressure is modeled as a pore pressure boundary based on stage construction history. Model is validated by comparing it to monitoring instrument data in the field. This research showed a pattern closed to monitoring instrument. Effect of vacuum pressure is up to 33 meters from boundary treated area. Driven pile movement created lateral displacement and made force is greater than its structural capacity.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat dan ridhoNya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “**Analisis Efek Konsolidasi Vakum Terhadap Fondasi Tiang Pancang Eksisting**”. Penelitian ini merupakan salah satu syarat kelulusan dalam penyelesaian pendidikan tingkat Magister di Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam proses penelitian penulis mendapat banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu penulis ingin berterimakasih kepada:

1. Prof. Pulus P. Rahardjo, Ir., MSCE., Ph.D. dan Aswin Lim, Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 dan 2 yang telah memberi banyak masukan, arahan, dan pengetahuan yang sangat bermanfaat bagi penulis dalam penyelesaian penelitian.
2. Dr. Ir. Rinda Karlinasari dan Dr. Eddy Trianto selaku pembahas yang telah berkenan memberikan kritik dan saran demi keberhasilan penelitian.
3. Mak, Bak, Woh, Dang, Babang, dan Amel yang selalu memberi support dan mendoakan penulis.
4. Seluruh staf GEC yang telah membantu penulis dalam mengumpulkan data-data untuk penelitian tesis.
5. Asrinia Desilia yang selalu bersedia diajak berdiskusi mengenai penelitian tesis dan selalu mengingatkan disaat penulis mulai lalai dalam mengerjakan penelitian.

Penulis menyadari bahwa di dalam penelitian ini masih terdapat kekurangan-kekurangan. Tentu saja penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang membangun agar penelitian ini dapat lebih baik dan berbuah kebermanfaatan bagi banyak pihak.

Bandung, Februari 2021

Zakwan Gusnadi

8101801017

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.4. Ruang Lingkup Penelitian	5
1.5. Metode Penelitian.....	5
1.5.1. Studi literatur.....	6
1.5.2. Pengumpulan Data Sekunder	6
1.5.3. Interpretasi Data dan Analisis	6
1.5.4. Penarikan Kesimpulan	6
1.6. Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 STUDI PUSTAKA	9
2.1. Tanah Lunak.....	9
2.2. Konsep Pemampatan Tanah	10

2.2.1.	Konsolidasi Primer	12
2.2.2.	Waktu Konsolidasi	16
2.2.3.	Tegangan Vertikal Efektif	20
2.3.	Perbaikan Tanah Lunak	22
2.3.1.	<i>Prefabricated Vertical Drain</i>	23
2.3.2.	<i>Preloading</i> Dengan Beban Timbunan	35
2.3.3.	Vakum <i>Preloading</i>	36
2.4.	Deformasi Lateral Tanah	40
2.5.	Model Konstitutif Material Tanah	45
2.5.1.	Modified Cam Clay (MCC).....	45
2.5.2.	Mohr-Coloumb	49
2.6.	Sistem Monitoring Lapangan Metode Vakum PVD.....	50
2.7.	Penelitian Terdahulu	54
2.7.1.	Tianjin Port (Indraratna et al, 2008)	54
2.7.2.	Soil Improvement Anami PIK2 (Wijaya dan Rahardjo, 2019)	59
BAB 3 METODE PENELITIAN		63
3.1.	Diagram Alir Penelitian	63
3.2.	Ekuivalensi Pemodelan Kondisi <i>Plane Strain</i> (2D Model)	64
3.3.	Model Konsolidasi Vakum (Abaqus)	65
3.4.	Tahapan Pemodelan Konsolidasi Vakum Dengan Abaqus	66
3.4.1.	Penentuan Satuan Pemodelan	66

3.4.2.	Membuat Geometri Model.....	67
3.4.3.	Membuat Properti Material Tanah.....	68
3.4.4.	Diskretisasi Element (<i>Meshing</i>).....	69
3.4.5.	Tahapan Analisis Konsolidasi Vakum.....	72
3.5.	Validasi Model Terhadap Penelitian Terdahulu.....	77
3.5.1.	Indraratna et al. (2008), Tianjin Port Beijing.....	77
3.5.2.	Wijaya dan Rahardjo (2019), Anami PIK2 Jakarta.....	80
BAB 4 STUDI KASUS PENELITIAN.....		83
4.1.	Latar Belakang Studi.....	83
4.2.	Kondisi Geologi.....	85
4.3.	Spesifikasi Perbaikan Tanah dan Tiang Pancang Eksisting.....	86
4.4.	Data Monitoring Area Perbaikan dan Tiang Pancang Eksisting.....	88
4.5.	Interpretasi Data Penyelidikan Tanah.....	92
4.6.	Penentuan Parameter Tanah dan Parameter Tanah Analisis.....	94
4.6.1.	Index Properties Parameter.....	94
4.6.2.	Strength Parameter.....	96
4.6.3.	Compressibility Parameter.....	98
4.6.4.	Permeability Parameter.....	101
4.7.	Hasil Analisis dan Pembahasan.....	104
4.7.1.	Pemodelan Analisis.....	104
4.7.2.	Validasi Hasil Pemodelan.....	107

4.7.3. Hasil Analisis.....	112
BAB 5 STUDI PARAMETRIK PENELITIAN.....	119
5.1. Pengaruh Variasi Tebal Perbaikan Tanah Dasar Terhadap Lateral Displacement Tiang Pancang	119
5.1.1. Simplifikasi Parameter Lapisan Tanah Studi	119
5.1.2. Pembagian Case Studi	120
5.1.3. Hasil Analisis Studi	121
5.2. Pengaruh Beban Vakum, Beban Platform, dan Smear Area Terhadap Perubahan Tekanan Air Pori	133
5.3. Pengaruh Tiang Pancang Terhadap Perubahan Tekanan Air Pori Disekitar Area Perbaikan	134
5.4. Pengaruh Unloading Vakum Terhadap Area Perbaikan dan Tiang Pancang	136
BAB 6 PENUTUP.....	139
6.1. Kesimpulan	139
6.2. Rekomendasi.....	140
DAFTAR PUSTAKA.....	143

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2. 1 Sebaran Tanah Lunak Indonesia (Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia ISBN.978-602-9105-80-3)	10
Gambar 2. 2 Grafik Deformasi Terhadap Waktu Saat Pembebanan (Braja M. Das, 2014)	12
Gambar 2. 3 Ilustrasi Proses Konsolidasi (Braja M. Das, 2014)	13
Gambar 2. 4 Hubungan Kenaikan Tegangan Tanah Akibat Disipasi Air Pori Pada Proses Konsolidasi (Bishop dan Bjerrum, 1960)	13
Gambar 2. 5 Penentuan Tegangan Prakonsolidasi Dari Uji Konsolidasi (Braja M. Das, 2014)	15
Gambar 2. 6 Variasi u_z , T_v , dan z/H_{dr}	18
Gambar 2. 7 Variasi Derajat Konsolidasi Rata-Rata Terhadap Faktor Waktu	19
Gambar 2. 8 Tegangan Efektif Tanah Kondisi Jenuh Air (Braja M. Das, 2014)..	20
Gambar 2. 9 Gaya Kerja Pada Titik Kontak Antar Partikel Tanah (Braja M.Das, 2014)	21
Gambar 2. 10 Manfaat Potensial Pengaruh PVD (Lau dan Cowland, 2000).....	23
Gambar 2. 11 Diameter Pengaruh PVD (Barron, 1948) dan (Hansbo,1981)	26
Gambar 2. 12 Konsep Ekuivalensi Bentuk Persegi Panjang Menjadi Lingkaran (Indraratna, 2015).....	26
Gambar 2. 13 Ekuivalensi Diameter <i>Vertical Drain</i> (Indraratna, 2015).....	27
Gambar 2. 14 Tipe Deformasi pada PVD (Holtz et al., 1991).....	28
Gambar 2. 15 Rekomendasi Kapasitas Pengaliran Berdasarkan Pengaruh Tegangan Lateral Untuk Berbagai Jenis PVD (Indraratna, 2015).....	28

Gambar 2. 16 Kapasitas Aliran Minimum (Indraratna, 2015)	29
Gambar 2. 17 Konversi unit <i>Axysimmteric</i> ke <i>Plane Strain</i> dengan penyesuaian permeabilitas atau geometri (Hird dan Redana, 1992) dan (Indraratna dan Redana, 1997).....	33
Gambar 2. 18 Permeabilitas Ekuivalen, k_{ve} (Jie Han, 2015).....	35
Gambar 2. 19 Aplikasi <i>Preloading</i> (jie Han, 2015)	35
Gambar 2. 20 Ilustrasi Proses Konsolidasi (a) Preloading Timbunan (b) Vakum Preloading (Chu dan Yan, 2015).....	36
Gambar 2. 21 Perubahan Tegangan Air Pori dan Tegangan Vertikal Efektif (a) Preloading Timbunan (b) Vakum Preloading (Jie Han, 2015).....	38
Gambar 2. 22 Vakum Preloading dengan Sistem Membran (Geng et al., 2005) ..	38
Gambar 2. 23 Vakum Preloading dengan Sistem Tanpa Membran (Geng et al., 2005).....	39
Gambar 2. 24 Sambungan Pipa dan PVD Dalam Sistem Tanpa Membran (Seah, 2006).....	39
Gambar 2. 25 Skema Deformasi Lateral Tanah (a) Dengan Beban Timbunan (b) Vakum Preloading (c) Kombinasi Timbunan dan Vakum Preloading (Man Duc Nguyen, 2017)	41
Gambar 2. 26 Ilustrasi Deformasi Tanah Vakum Preloading (a) Kondisi Tegangan Awal (b) Sebelum Terjadi Deformasi Lateral (c) Deformasi Lateral (Chai, 2005)	42
Gambar 2. 27 Ilustrasi Tegangan dan Deformasi Vakum Preloading (a) Potongan Melintang (b) Pada Kedalaman Tension Crack (c) Dibawah Kedalaman Tension Crack (Chai, 2005)	43

Gambar 2. 28 Tipikal Hasil Uji (a) Konsolidasi Satu Dimensi (b) Konsolidasi Isotropik (Sam Helwany, 2007)	46
Gambar 2. 29 e vs $\ln p'$ dibawah tegangan isotropic (Sam Helwany, 2007).....	46
Gambar 2. 30 Definisi Kondisi Critical-State (Sam Helwany, 2007).....	47
Gambar 2. 31 State Boundary Surface MCC (Sam Helwany, 2007).....	47
Gambar 2. 32 Yield Surface MCC Dalam Bidang p' dan q (Sam Helwany, 2007)	48
Gambar 2. 33 Kriteria Keruntuhan Mohr-Coloumb (J.F. Labuz et al, 2012)	50
Gambar 2. 34 Tipikal Sistem Monitoring Pekerjaan Vakum Preloading (Rinxer et al., 1986).....	51
Gambar 2. 35 Contoh Vakum Gauge	51
Gambar 2. 36 Contoh Settlement Plate	52
Gambar 2. 37 Contoh Extensometer	52
Gambar 2. 38 Contoh Piezometer	53
Gambar 2. 39 Perlengkapan Baca untuk Inklinometer :(a) Torpedo	54
Gambar 2. 40 Profil dan Properties Tanah Area Reklamasi Tianjin Port (Indraratna et al., 2008).....	54
Gambar 2. 41 Plan Profil Instrumentasi Tianjin Port (Indraratna et al., 2008).....	55
Gambar 2. 42 Tipikal Potongan Melintang Area Perbaikan Tianjin Port (Indraratna et al., 2008).....	56
Gambar 2. 43 Histori Pembebanan Section III (Indraratna et al., 2008)	56
Gambar 2. 44 Mesh Elemen 2D Section II, (a) Case A (b) Case B (Indraratna et al., 2008)	58

Gambar 2. 45 Hasil Penelitian (a) settlement (b) pore water pressure dan (c) lateral displacement (Indrarnatna et al., 2008)	59
Gambar 2. 46 Lokasi Penelitian dan Tipikal Potongan Melintang Perbaikan (Wijaya dan Rahardjo, 2019)	60
Gambar 2. 47 Stratifikasi dan Geometri Pemodelan (Wijaya dan Rahardjo, 2019)	61
Gambar 2. 48 Hasil Analisis Penurunan (Wijaya dan Rahardjo, 2019)	61
Gambar 2. 49 Hasil Analisis Lateral Displacement (Wijaya dan Rahardjo, 2019)	62
Gambar 2. 50 Pengaruh Tekanan Vakum Pada Area Sekitar (Wijaya dan Rahardjo, 2019).....	62
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	63
Gambar 3. 2 Ilustrasi Pemodelan Tekanan Vakum Sepanjang PVD (Indrarnatna, 2015).....	66
Gambar 3. 3 Tampilan Awal Software Abaqus.....	67
Gambar 3. 4 Pemilihan Partisi dan Penggambaran Geometri	67
Gambar 3. 5 Contoh Jendela Input Material Tanah.....	68
Gambar 3. 6 Contoh Jendela Input Section dan Input Pada Geometri	68
Gambar 3. 7 Contoh Jendela Pilihan Instansi	69
Gambar 3. 8 Contoh Jendela Kontrol Mesh	70
Gambar 3. 9 Contoh Jendela Tipe Element	70
Gambar 3. 10 Tipe Element Untuk Analisis Konsolidasi, Hibbit dan Sorensen (2004)	71

Gambar 3. 11 Contoh Geometri yang Sudah Dilakukan Meshing.....	71
Gambar 3. 12 Contoh Jendela Input Kondisi Batas dan Pore Pressure	72
Gambar 3. 13 Contoh Jendela Input Initial Stress dan Angka Pori Awal.....	73
Gambar 3. 14 Contoh Jendela Input Geostatic Stress	73
Gambar 3. 15 Contoh Jendela Input <i>Deactive</i> Timbunan	74
Gambar 3. 16 Contoh Jendela Input Beban Timbunan	75
Gambar 3. 17 Contoh Jendela Input Tekanan Vakum	76
Gambar 3. 18 Contoh Jendela Input Masa Tunggu Perbaikan.....	76
Gambar 3. 19 Geometri Pemodelan Ulang	77
Gambar 3. 20 Hasil Analisis Penurunan Lapisan Tanah (a) Penelitian Terdahulu (b) Pemodelan Ulang	78
Gambar 3. 21 Perbandingan Hasil Analisis Ulang Terhadap Penelitian Terdahulu (a) Excess Pore Pressure (b) Lateral Displacement	79
Gambar 3. 22 Geometri Pemodelan Ulang	80
Gambar 3. 23 Perbandingan Hasil Penurunan	81
Gambar 3. 24 Perbandingan Hasil Lateral Displacement	81
Gambar 4. 1 Lokasi Studi	83
Gambar 4. 2 Kondisi Geologi Lokasi Studi (Kementerian ESDM)	85
Gambar 4. 3 Plan Profile Area Perbaikan Tanah dan Tiang Pancang Eksisting	86
Gambar 4. 4 Tipikal Cross Section Area Perbaikan (A-A')	87
Gambar 4. 5 Hasil Monitoring Area Perbaikan Tanah Sibuya 2 (a) Tekanan Vakum, (b) Settlement Plate, (c) Extensometer, dan (d) Piezometer	90

Gambar 4. 6 Hasil Monitoring Pergerakan Lateral pada Hari ke 80 Tekanan Vakum Diaplikasikan	91
Gambar 4. 7 Potongan Memanjang Pelapisan Tanah Dasar (Potongan B-B')	93
Gambar 4. 8 Lapisan Tanah Analisis	94
Gambar 4. 9 Index Properties Tanah Berdasarkan Hasil Uji Laboratorium (a) Berat Isi Tanah, (b)Angka Pori, (c) Plastisitas	95
Gambar 4. 10 Penentuan <i>Effective Angle of Internal Friction</i> Lempung	96
Gambar 4. 11 Verifikasi Sebaran Data Laboratorium	97
Gambar 4. 12 Grafik Hubungan B_q dan OCR (Rahardjo, 2015)	98
Gambar 4. 13 Hasil Uji PCPT-10	98
Gambar 4. 14 Nilai OCR Sepanjang Kedalaman Uji	99
Gambar 4. 15 Kompresibilitas Tanah Berdasarkan Hasil Uji Laboratorium (a) c_c , (b) c_r , dan (c) c_s	100
Gambar 4. 16 Plotting Nilai t_{50}	101
Gambar 4. 17 Geometri Pemodelan <i>Single Drain</i> (a) Kondisi <i>Axysymmetric</i> dan (b) Kondisi <i>Plane Strain</i>	105
Gambar 4. 18 (a) Geometri dan (b) <i>Meshing Full Scale Plane Strain</i>	106
Gambar 4. 19 Grafik Perbandingan <i>Monitoring</i> Penurunan Terhadap Hasil Analisis	107
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Monitoring Tekanan Air Pori Ekses Terhadap Hasil Analisis	108
Gambar 4. 21 Pergerakan Lateral Tiang (a) pada Hari ke-80 dan (b) pada Hari ke-217 Setelah Vakum Dinyalakan	109

Gambar 4. 22 Perbandingan Pergerakan Lateral Tiang Lapangan dan Hasil Analisis pada Hari ke-80 Setelah Pompa Vakum dinyalakan, (a) Perbandingan Terhadap Semua Data Monitoring Tiang (b) Perbandingan Terhadap INK-06	110
Gambar 4. 23 Pergerakan Lateral Tanah Lapangan Terhadap Hasil Analisis pada Hari ke-80 Setelah Pompa Vakum Dinyalakan	111
Gambar 4. 24 (a) Kontur Penurunan Permukaan dan (b) Grafik Besar Penurunan Permukaan pada 217 Hari Setelah Pompa Vakum Dinyalakan	112
Gambar 4. 25 Lateral Displacement Tiang Disekitar Area Perbaikan	113
Gambar 4. 26 Hasil Analisis Tekanan Air Pori Hari ke-217 Setelah Vakum Dinyalakan	114
Gambar 4. 27 Hasil Analisis Peningkatan Tegangan Vertikal Efektif	115
Gambar 4. 28 Gaya Kerja pada Tiang Pancang (a) Gaya Axial, (b) Gaya geser, dan (c) Momen	116
Gambar 4. 29 Gaya Kerja Maksimum Satu Tiang (a) <i>Axial Force</i> , (b) <i>Shear Force</i> , dan (c) <i>Bending Moment</i>	117
Gambar 5. 1 Pembagian Case Studi	120
Gambar 5. 2 Lateral Displacement Tiang Case 1: (a) 80 Hari Setelah Vakum Dinyalakan (b) 217 Hari Setelah Vakum Dinyalakan	121
Gambar 5. 3 Gaya yang Bekerja Pada Tiang Case 1: (a) Axial Force (b) Shear Force (c) Bending Moment	122
Gambar 5. 4 Lateral Displacement Tiang Case 2: (a) 80 Hari Setelah Vakum Dinyalakan (b) 217 Hari Setelah Vakum Dinyalakan	123

Gambar 5. 5 Gaya yang Bekerja Pada Tiang Case 2: (a) Axial Force (b) Shear Force (c) Bending Moment	124
Gambar 5. 6 Lateral Displacement Tiang Case 3: (a) 80 Hari Setelah Vakum Dinyalakan (b) 217 Hari Setelah Vakum Dinyalakan	125
Gambar 5. 7 Gaya yang Bekerja Pada Tiang Case 3: (a) Axial Force (b) Shear Force (c) Bending Moment	126
Gambar 5. 8 Lateral Displacement Tiang Case 4: (a) 80 Hari Setelah Vakum Dinyalakan (b) 217 Hari Setelah Vakum Dinyalakan	127
Gambar 5. 9 Gaya yang Bekerja Pada Tiang Case 4: (a) Axial Force (b) Shear Force (c) Bending Moment	128
Gambar 5. 10 Lateral Displacement Tiang Case 5: (a) 80 Hari Setelah Vakum Dinyalakan (b) 217 Hari Setelah Vakum Dinyalakan	129
Gambar 5. 11 Gaya yang Bekerja Pada Tiang Case 5: (a) Axial Force (b) Shear Force (c) Bending Moment	130
Gambar 5. 12 Komparasi Lateral Displacement Tiang Terhadap <i>Monitoring Inclinometer</i>	131
Gambar 5. 13 Gaya Maksimum Studi Parametrik: (a) Axial Force (b) Shear Force (c) Bending Moment	132
Gambar 5. 14 Perubahan Tekanan Air Pori Parametrik Studi	133
Gambar 5. 15 Kontur Tekanan Air Pori: (a)Case 1 (b)Case 2 (c)Case 3 (d)Case 4	135
Gambar 5. 16 Tinjauan Tekanan Air Pori Ekses Pada Arah Melintang di Kedalaman -9m	136
Gambar 5. 17 Penurunan Setelah Unloading Vakum	137

Gambar 5. 18 Pore Water Pressure Setelah Unloading Vakum	137
Gambar 5. 19 Perbandingan Lateral Displacement Tiang	138

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kuat Tekan Tanah Kohesif (Braja M. Das, 2014).....	9
Tabel 2. 2 Kapasitas Pengaliran Beberapa Penelitian (Indrarnatna, 2015)	28
Tabel 2. 3 Rekomendasi Parameter Smear Zone (Indrarnatna, 2015).....	31
Tabel 2. 4 Parameter Tanah Desain (Indrarnatna et al., 2008).....	57
Tabel 2. 5 Parameter Input Deformasi (Wijaya dan Rahardjo, 2019).....	60
Tabel 2. 6 Parameter Input Permeabilitas (Wijaya dan Rahardjo, 2019)	60
Tabel 4. 1 Spesifikasi PVD.....	88
Tabel 4. 2 Spesifikasi Tiang Pancang.....	88
Tabel 4. 3 Resume Penyelidikan Tanah Lapangan dan Laboratorium.....	92
Tabel 4. 4 Tabel Tipikal <i>Angle of Internal Friction</i> Pasir	97
Tabel 4. 5 Hasil Plotting Nilai t_{50}	101
Tabel 4. 6 Parameter Tanah Analisis.....	102
Tabel 4. 7 Parameter Permeabilitas Kondisi <i>Plane Strain</i>	103
Tabel 4. 8 Tahapan Konstruksi Pemodelan	106
Tabel 5. 1 Parameter Studi	119

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan akan ketersediaan lahan yang semakin meningkat membuat ilmu rekayasa sipil semakin berkembang pesat. Tak terkecuali dalam hal perbaikan tanah lunak untuk keperluan pematangan lahan. Masalah pada tanah lunak adalah daya dukung yang rendah dan kompresibilitas tanah yang sangat tinggi. Proses konsolidasi pada tanah lunak membutuhkan waktu yang sangat lama sehingga diperlukan metode perbaikan yang tepat untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Teknologi perbaikan tanah lunak yang sering dilakukan untuk mengatasi masalah konsolidasi ini adalah dengan memasang drainase vertikal (PVD). Metode ini sering dikombinasikan dengan pra pembebanan yang diaplikasikan pada tanah dasar untuk mempercepat proses konsolidasi dengan derajat konsolidasi yang diharapkan. Selain itu berkembang teknologi yang mengkombinasikan drainase vertikal (PVD) dengan tekanan vakum sebagai pra bebannya. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Kjellman (1952). Konsep dari metode ini adalah mempercepat proses konsolidasi dengan memanfaatkan tekanan atmosfer melalui pompa vakum sehingga air pori tanah terhisap (*suction*) yang mengakibatkan tekanan air pori menjadi negatif dan tanah bergerak kearah dalam area perbaikan. Namun pada kenyataannya tekanan vakum tidak hanya terdistribusi di area perbaikan saja, melainkan hingga jarak tertentu di sekitar area yang dilakukan

perbaikan. Hal ini dapat berakibat buruk jika terdapat struktur lain di sekitar area selama perbaikan.

Metode elemen hingga digunakan untuk memodelkan kondisi yang terjadi di lapangan. Dalam banyak literatur analisis dengan metode elemen hingga sudah cukup powerful dalam memodelkan vakum konsolidasi. Rujikiatkamjorn et al. (2008) dalam penelitiannya memodelkan vakum konsolidasi secara 2D dan 3D dengan metode elemen hingga (Abaqus). Hasilnya dapat merepresentasikan kondisi lapangan secara lebih akurat baik dari penurunan, tekanan air pori eksese, dan *lateral displacement* akibat vakum konsolidasi.

Penelitian ini menganalisis pengaruh distribusi tekanan vakum terhadap fondasi tiang eksisting di sebelah area perbaikan dengan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*). Hasil analisis berupa penurunan dan tegangan air pori selama proses perbaikan tanah serta deformasi lateral pada tanah dan fondasi tiang. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pemodelan dengan data monitoring lapangan. Kemudian pengaruh distribusi vakum konsolidasi di sekitar area perbaikan dapat diketahui.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang perlu diperhatikan dalam analisis pengaruh tekanan vakum pada fondasi tiang eksisting adalah:

1. Identifikasi Parameter Tanah.

Parameter adalah hal yang sangat penting dalam melakukan analisis sehingga penentuan parameter harus dilakukan dengan sebaik mungkin agar hasil analisis dapat mendekati kondisi lapangan. Dalam penelitian

ini parameter tanah ditentukan berdasarkan data pengujian lapangan dan laboratorium serta beberapa korelasi parameter.

2. Analisis Konsolidasi dengan Tekanan Vakum

Untuk mendekati kondisi lapangan perlu dilakukan perbandingan hasil analisis kondisi eksisting dengan data monitoring lapangan berupa settlement, tegangan air pori, dan *lateral displacement*.

3. Analisis Pengaruh Tekanan Vakum pada fondasi Tiang

Pengaruh tekanan vakum pada fondasi tiang dapat dilihat dengan melakukan analisis pada kondisi tiang yang telah terpancang.

4. Analisis Pengaruh Tebal Lapisan Perbaikan Terhadap *Lateral Displacement* Tiang.

Pengaruh tebal lapisan perbaikan terhadap pergerakan tiang pancang eksisting dapat dilihat dengan melakukan studi parametrik beberapa model dengan ketebalan lapisan perbaikan yang berbeda.

5. Analisis Pengaruh Beban Vakum, *Platform*, dan *Smear Area* Terhadap Perubahan Tekanan Air Pori.

Pengaruh beban vakum, *platform*, dan *smear* dapat dilihat dengan melakukan studi menggunakan platform dan *smear*, tanpa platform, dan tanpa *smear*.

6. Analisis Pengaruh Tiang Pancang Eksisting Terhadap Perubahan Tekanan Air Pori.

Pengaruh tiang pancang eksisting terhadap perubahan tekanan air pori dapat dilihat dengan melakukan studi dengan model dengan tiang dan tanpa tiang di sekitar are perbaikan.

7. Analisis Pengaruh Unloading Beban Vakum pada Area Perbaikan dan Tiang Pancang.

Pengaruh unloading beban vakum pada area perbaikan dan tiang pancang dapat diketahui dengan menonaktifkan atau membuat tekanan pada kondisi batas menjadi 0.

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan dilakukannya penelitian adalah:

1. Mengetahui dan memahami efek vakum terhadap fondasi tiang pancang eksisting.
2. Menganalisis penurunan yang terjadi selama waktu perbaikan tanah dengan membandingkan terhadap data monitoring *settlement plate*.
3. Menganalisis tegangan air pori akibat pembebanan vakum dengan membandingkan terhadap data pembacaan *piezometer*.
4. Menganalisis lateral displacement yang terjadi akibat tekanan vakum pada kaki timbunan dan fondasi eksisting dengan membandingkan data pemantauan *inclinometer*.
5. Menentukan perkiraan jarak aman area perbaikan terhadap fondasi eksisting.
6. Menganalisis pengaruh tebal lapisan perbaikan terhadap *lateral displacement* tiang pancang eksisting.
7. Mengetahui pengaruh beban vakum, *platform*, dan *smear area* terhadap perubahan tekanan air pori.
8. Mengetahui pengaruh tiang pancang terhadap perubahan tekanan air pori.

9. Mengetahui Pengaruh unloading beban vakum pada area perbaikan dan tiang pancang.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah menganalisis penurunan, tegangan air pori, dan deformasi lateral akibat tekanan vakum. Uraian ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Analisis studi kasus yang dilakukan dimulai dari pompa vakum bekerja sampai akhir monitoring dilapangan.
2. PVD yang digunakan sedalam 18.5 m, spasi 1m, dan pola pemasangan segiempat.
3. Horizontal drain dan membran tidak dimodelkan dalam analisis.
4. Ekuivalensi kondisi *axisymmetric* ke kondisi *plane strain* berdasarkan metode Indraratna (2005) dengan mempertimbangkan *smear effect*.
5. Tekanan vakum dimodelkan sebagai kondisi batas *pore pressure* konstan -80 kPa di sepanjang PVD.
6. Analisis dilakukan dengan metode elemen hingga dengan bantuan *software* Abaqus 6.13-1.

1.5. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini antara lain studi literatur, pengumpulan data sekunder, interpretasi data serta analisis, dan penarikan kesimpulan.

1.5.1. Studi literatur

Studi yang dilakukan yaitu pengumpulan literatur berupa jurnal, buku teks, artikel ilmiah, dan penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian.

1.5.2. Pengumpulan Data Sekunder

Data yang didapat berupa data sekunder yang diperoleh dari pihak pertama yang melakukan pengujian secara langsung. Data yang dikumpulkan antara lain data penyelidikan tanah lapangan (*CPTu* dan *Standar Penetration Test*) dan data hasil uji laboratorium. Kemudian data monitoring lapangan berupa data pemantauan *settlement plate*, *Pore Water Pressure*, dan *Inclinometer*.

1.5.3. Interpretasi Data dan Analisis

Data sekunder yang diperoleh kemudian diinterpretasi untuk mendapatkan parameter yang akan digunakan dalam analisis.

1.5.4. Penarikan Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan hasil analisis yang dilakukan setelah hasil analisis divalidasi dengan data monitoring lapangan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini terdiri dari 6 bab. Dalam setiap bab terdapat beberapa sub-bab yang dibuat secara sistematis dan terorganisir agar penelitian ini dapat dibaca dan dipahami dengan baik.

Bab 1 Pendahuluan

Bab pendahuluan berisi sub-bab latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan metode penelitian serta sistematika penulisan yang digunakan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab tinjauan pustaka berisi tentang materi dan teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Bab ini juga memuat tentang penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab metodologi penelitian berisi tentang tahapan penelitian dan metode yang digunakan dalam penelitian. Tahapan penelitian ini mencakup studi literatur, pengumpulan data sekunder, interpretasi data analisis, dan penarikan kesimpulan hasil penelitian.

Bab 4 Studi Kasus Penelitian

Bab ini berisi tentang interpretasi data tanah dan pendekatan kondisi lapangan berdasarkan data hasil monitoring *settlement plate*, *piezometer*, dan *inclinometer*. Bab ini juga membahas mengenai hasil analisis baik pada area perbaikan dan pengaruhnya terhadap fondasi tiang pancang eksisting.

Bab 5 Studi Parameterik Penelitian

Bab ini berisi tentang studi parametrik tentang pengaruh tebal lapisan perbaikan terhadap *lateral displacement* tiang, pengaruh beban vakum, *platform*, dan *smear area* terhadap perubahan tekanan air pori, dan pengaruh tiang terhadap perubahan tekanan air pori di sekitar area perbaikan.

Bab 6 Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian serta rekomendasi hasil penelitian dan penelitian selanjutnya.

