

SKRIPSI

**ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL TEKAN
KELOMPOK TIANG FONDASI *HELIX*
DI TANAH PASIR MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA 3D**



**DEVIKA
NPM : 6101901041**

PEMBIMBING: Budijanto Widjaja, Ph.D.

KO-PEMBIMBING: Ir. Ignatius Tommy Pratama, S.T., M.S.

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2023**

SKRIPSI

ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL TEKAN KELOMPOK TIANG FONDASI *HELIX* DI TANAH PASIR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA 3D



NAMA: DEVIKA
NPM: 6101901041

PEMBIMBING: Budijanto Widjaja, Ph.D.
KO-PEMBIMBING: Ir. Ignatius Tommy Pratama, S.T.,
M.S.
PENGUJI 1: Siska Rustiani, Ir., M.T.
PENGUJI 2: Martin Wijaya, Ph.D.

UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2023

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : DEVIKA

Tempat, tanggal lahir : Jakarta, 15 Mei 2001

NPM : 6101901041

Judul skripsi : **ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL TEKAN
KELOMPOK TIANG FONDASI *HELIX* DI
TANAH PASIR MENGGUNAKAN METODE
ELEMEN HINGGA 3D**

Dengan ini Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah benar hasil karya tulis saya sendiri dan bebas plagiat. Adapun kutipan yang tertuang sebagian atau seluruh bagian pada karya tulis ini yang merupakan karya orang lain (buku, makalah, karya tulis, materi perkuliahan, internet, dan sumber lain) telah selayaknya saya kutip, sadur, atau tafsir dan dengan jelas telah melampirkan sumbernya. Bahwa tindakan melanggar hak cipta dan yang disebut plagiat merupakan pelanggaran akademik yang sanksinya dapat berupa peniadaan pengakuan atas karya ilmiah ini dan kehilangan hak keserjanaan.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

(Kutipan pasal 25 ayat 2 UU no. 20 tahun 2003)

Bandung, 7 Juli 2023



Devika

**ANALISIS DAYA DUKUNG AKSIAL TEKAN
KELOMPOK TIANG FONDASI *HELIX*
DI TANAH PASIR MENGGUNAKAN
METODE ELEMEN HINGGA 3D**

**Devika
NPM: 6101901041**

**Pembimbing: Budijanto Widjaja, Ph.D.
Ko-Pembimbing: Ir. Ignatius Tommy Pratama, S.T., M.S.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
(Terakreditasi Berdasarkan SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULI 2023
ABSTRAK**

Studi ini meninjau perilaku serta faktor yang memengaruhi daya dukung aksial tekan pada kelompok tiang fondasi *helix* di tanah non-kohesif yaitu, pasir padat. Parameter tanah didapat dengan analisis balik hasil uji pembebanan tiang *helix* tunggal yang dilakukan Sakr (2011) di Alberta bagian utara, Kanada. Simulasi uji pembebanan baik tiang tunggal maupun kelompok menggunakan perangkat lunak metode elemen hingga 3D dengan model Mohr-Coulomb. Daya dukung diperoleh dengan interpretasi Chin-Kondner dan Mazurkiewicz. Perhitungan teoritis juga dilakukan sebagai pembandingan hasil numerik. Daya dukung kelompok fondasi *helix* dipengaruhi oleh jarak antar *helix* dan jarak antar tiangnya. Semakin besar rasio jarak antar tiang terhadap diameter *shaft* (S/d_s), daya dukung kelompok tiang meningkat secara signifikan. Semakin besar rasio jarak antar *helix* terhadap diameter *helix* (S_H/d_h), cenderung semakin besar daya dukung yang dihasilkan. Dari bidang keruntuhan pada kelompok tiang dengan rasio $S/d_s = 6$ hingga 9, terlihat bahwa mekanisme kegagalan blok beralih menjadi bekerja secara individual. Efisiensi hasil perhitungan MEH 3D 1,2 – 3,9 kali lebih besar dari perhitungan teoritis.

Kata Kunci: daya dukung, efisiensi, kelompok fondasi *helix*, MEH 3D, tanah non-kohesif

**AXIAL COMPRESSION BEARING CAPACITY
ANALYSIS OF HELICAL PILE GROUP
IN SAND WITH 3D FINITE
ELEMENT METHOD**

**Devika
NPM: 6101901041**

**Advisor: Budijanto Widjaja, Ph.D.
Co-Advisor: Ir. Ignatius Tommy Pratama, S.T., M.S.**

**PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
BACHELOR PROGRAM
(Accredited by SK BAN-PT Nomor: 11370/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/X/2021)
BANDUNG
JULY 2023**

ABSTRACT

This study observes behaviors and factors that affect the axial compression bearing capacity of group helical piles in cohesionless soil, dense sand. Soil parameter was obtained by back analysis from Sakr's (2011) loading test on single helical pile at northern Alberta, Canada. Both single pile and group piles loading test simulations were using three-dimensional finite element software with Mohr-Coulomb constitutive model. The bearing capacity was interpreted by using Chin-Kondner's and Mazurkiewicz's methods. Theoretical calculation was evaluated as a comparison with the numerical results. Helical piles group's bearing capacity was influenced by spacing between helixes and spacing between piles. As the spacing ratio between piles increased, bearing capacity of group piles also significantly increased. As the spacing ratio between helixes increased, the bearing capacity resulted tended to be higher. Based failure surfaces of group piles with spacing ratio between piles are 6 until 9, it was seen that the block failure mechanism switched to piles were working individually. The group efficiencies based on three-dimensional finite element calculation are 1,2 – 3,9 times above the theoretical.

Keywords: bearing capacity, cohesionless soil, FEM 3D, efficiency, helical group pile

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Daya Dukung Aksial Tekan Kelompok Tiang Fondasi *Helix* di Tanah Pasir Menggunakan Metode Elemen Hingga 3D” sebagai syarat kelulusan dan mencapai gelar Sarjana (S1) pada Program Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Penulis bersyukur dan mengucapkan terima kasih atas semua bantuan, dukungan, dan motivasi yang telah diberikan baik secara langsung maupun tidak selama penyelesaian skripsi ini. Secara khusus penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih tersebut kepada:

1. Bapak Budijanto Widjaja, Ph.D. selaku dosen pembimbing dan Bapak Ir. Ignatius Tommy Pratama, S.T., M.S. selaku ko-pembimbing atas segala ilmu, bantuan, pengarahan, kritik, saran, dan waktu yang diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
2. Papa dan Mama serta keluarga yang selalu mendukung selama kuliah dan dalam pengerjaan skripsi ini hingga dapat terselesaikan tepat waktu.
3. Seluruh dosen dan staf pengajar KBI Geoteknik Universitas Katolik Parahyangan atas segala ilmu dan saran yang diberikan selama proses perkuliahan dan pengerjaan skripsi.
4. Alexander Tommy dan Kak Gilberta Miranda atas waktunya untuk berdiskusi dan memberikan masukan selama proses penulisan skripsi.
5. Siti Raina, Gloria dan Zefanya Valentina yang membantu dalam proses pengerjaan skripsi agar selesai tepat waktu.
6. Christina Yohana, Evan Jonathan, Lidya Filadelfia, Michelle Patricia, Sadrina Octadelya, Sharfina Faradiba S., dan Sharon Victorina atas dukungan dan kebersamaan sebagai teman – teman seperjuangan skripsi kselama proses pengerjaan skripsi ini.

Seluruh pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan kontribusi dalam proses penyelesaian skripsi ini sehingga selesai tepat waktu.

Penulis juga menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi khalayak orang banyak khususnya kepada Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan.

Bandung, 7 Juli 2023



Devika

NPM: 6101901041



DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iii
PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR NOTASI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Inti Permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 DASAR TEORI.....	7
2.1 Tanah.....	7
2.1.1 Tanah Non-Kohesif.....	8
2.1.2 Kriteria Kegagalan Mohr-Coulomb.....	8
2.1.2.2 Modulus Young (E).....	10
2.1.2.3 Angka Poisson Efektif (ν').....	10
2.2 Fondasi.....	11

2.2.1 Uji Pembebanan Lapangan	12
2.2.2 Fondasi <i>Helix</i>	15
2.2.3 Daya Dukung Aksial Fondasi <i>Helix</i>	18
2.2.4 Struktural Fondasi <i>Helix</i>	21
2.2.5 Efisiensi Kelompok Tiang.....	21
2.2.6 <i>Pile cap</i>	23
2.3 Metode Elemen Hingga 3 Dimensi (3D)	23
BAB 3 SIMULASI UJI PEMBEBANAN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA 3D	26
3.1 Parameter Tanah dan Fondasi <i>Helix</i>	26
3.1.1 Parameter Tanah.....	26
3.1.2 Parameter Fondasi <i>Helix</i>	26
3.2 <i>Input</i> Simulasi Uji pembebanan	27
3.2.1 Pembuatan Dokumen Baru	27
3.2.2 Material Tanah	28
3.2.3 Model Fondasi <i>Helix</i>	29
3.2.4 <i>Meshing</i>	30
3.2.5 <i>Staged Construction</i>	31
3.2.6 <i>Connectivity Plot</i> dan <i>Calculate</i>	32
3.3 <i>Output</i> Simulasi Uji Pembebanan	33
3.3.1 Deformasi.....	33
3.3.2 Regangan Geser (<i>Shear Strain</i>).....	34
3.3.3 Kurva Hubungan Beban dan Penurunan	34
BAB 4 ANALISIS DATA	37
4.1 Analisis Balik Penentuan Parameter Tanah	37
4.2 Analisis Kelompok Tiang Fondasi <i>Helix</i>	41

4.2.1 Daya Dukung Kelompok Fondasi Tiang <i>Helix</i>	41
4.2.2 Kriteria Kegagalan Berdasarkan Pola Regangan Geser.....	46
4.2.3 Efisiensi Kelompok Tiang.....	49
4.3 Diskusi Hasil	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58

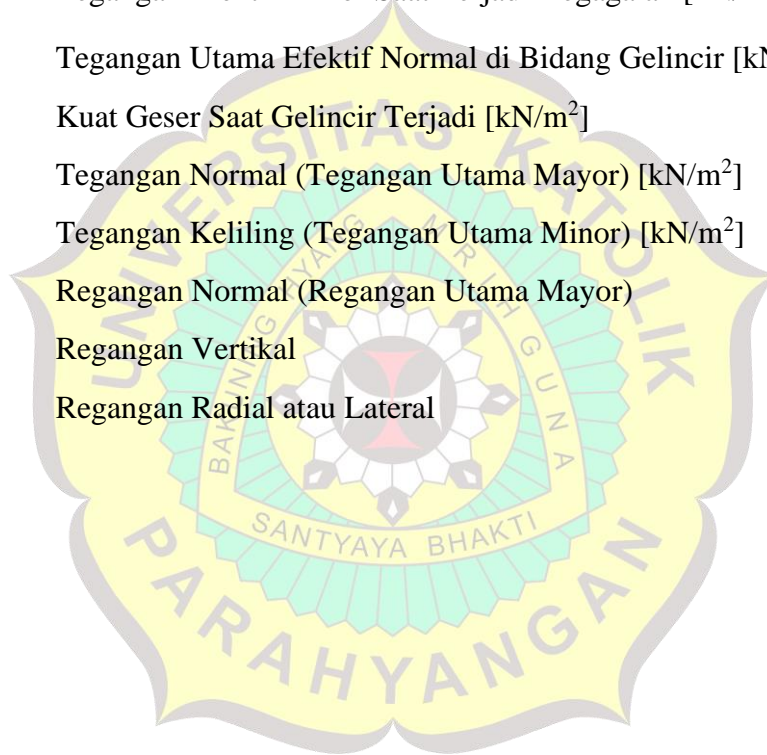


DAFTAR NOTASI

$(P_g)_{\text{block}}$:	Daya Dukung Ultimit Kelompok Tiang Fondasi <i>Helix</i> [kN]
A_g	:	Luas Penampang Shaft [m]
B_r	:	Lebar Pile Cap [m]
c'_{ref}	:	Kohesi Tanah Efektif [kN/m ²]
c_u	:	Kuat Geser Tanah Kondisi Undrained [kN/m ²]
d_h	:	Diameter Pelat <i>Helix</i> pada Fondasi <i>Helix</i> [m]
d_i	:	Diameter Dalam <i>Shaft</i> [m]
d_o	:	Diameter Luar <i>Shaft</i> [m]
d_s	:	Diameter <i>Shaft</i> pada Fondasi <i>Helix</i> [m]
E	:	Modulus Elastisitas Material [kPa]
E'	:	Modulus Young Efektif Material [kPa]
E_r	:	Modulus <i>Raft/Pile Cap</i> [kPa]
E_s	:	Modulus Tanah [kPa]
F_{cr}	:	Tegangan Kritis <i>Buckling</i> [MPa]
f_u	:	Tegangan Tarik Baja [MPa]
f_y	:	Tegangan Leleh Baja [MPa]
g_1	:	Jarak Antar Sisi Terluar <i>Shaft</i> [m]
g_2	:	Jarak Antar Sisi Terluar <i>Shaft</i> yang Tegak Lurus g_1 [m]
H	:	Kedalaman Tiap Pelat <i>Helix</i> di Bawah Permukaan Tanah [m]
H_1	:	Kedalaman <i>Shaft</i> dari Permukaan Hingga <i>Helix</i> Pertama [m]
H_{eff}	:	Panjang Efektif <i>Shaft</i> [m]
H_n	:	Kedalaman Pelat <i>Helix</i> Ke – n [m]
I	:	Momen Inersia [m ⁴]
k	:	Faktor Efektivitas Panjang
K_0	:	Rasio Tegangan Tanah Lateral/Vertikal <i>At Rest</i>
K_h	:	Koefisien Tekanan Lateral Tanah
K_{rs}	:	Rasio Kekakuan <i>Pile Cap</i> – Tanah
K_s	:	Koefisien Tekanan Lateral Tanah Akibat Kompresi
L	:	Panjang Fondasi [m]
l	:	Panjang Kolom yang Tidak Tertumpu [m]

L_r	:	Panjang <i>Pile Cap</i> [m]
m	:	Jumlah <i>Helix</i> per Tiang Fondasi
N_q	:	Faktor Daya Dukung
P_u	:	Daya Dukung Aksial Tekan Ultimit Fondasi <i>Helix</i> Individual [kN]
P_{ug}	:	Daya Dukung Aksial Tekan Ultimit Kelompok Fondasi <i>Helix</i> [kN]
Q	:	Beban Aksial Tekan [kN]
Q_b	:	Daya Dukung Pelat <i>Helix</i> [kN]
Q_{cyl}	:	Tahanan Friksi Selimut Tanah pada Kegagalan CSM [kN]
Q_p	:	Daya Dukung Ujung Fondasi [kN]
Q_s	:	Tahanan Friksi <i>Shaft</i> [kN]
Q_u	:	Beban Aksial Tekan Ultimit [kN]
r	:	Jari-Jari Girasi <i>Shaft</i> Fondasi <i>Helix</i> Terkait Tekuk [m]
r_s	:	Jari-Jari <i>Shaft</i> [m]
s	:	Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>) [mm]
S	:	Jarak Antar Tiang Fondasi [m]
s_1	:	Jarak Antar Sisi Terluar <i>Helix</i> [m]
s_2	:	Jarak Antar Sisi Terluar <i>Helix</i> yang Tegak Lurus s_1 [m]
S_h	:	Jarak Antar <i>Helix</i> [m]
T_r	:	Tebal <i>Pile Cap</i> [m]
t_s	:	Tebal <i>Shaft</i> Fondasi <i>Helix</i> [m]
β	:	Parameter desain friksi selimut untuk <i>displacement pile</i> di pasir (CFEM, 2006)
γ	:	Berat Isi Tanah [kN/m ³]
γ'	:	Berat Isi Tanah Efektif [kN/m ³]
γ'_s	:	Berat Isi Baja Terkoreksi [kN/m ³]
γ_s	:	Berat Isi Baja [kN/m ³]
δ	:	Sudut Geser <i>Interface</i> ; $0,6\phi$ untuk baja yang terbenam di tanah pasir (Kulhawy, 1984) [°]
η	:	Efisiensi Kelompok Tiang
λ_c	:	Parameter Kolom Langsing

ν	:	Angka Poisson
ν'	:	Angka Poisson Efektif
ν_r	:	Angka Poisson <i>Pile Cap</i>
ν_s	:	Angka Poisson Tanah
ψ	:	Sudut Dilatasi [°]
ϕ	:	Sudut Geser Dalam [°]
ϕ'	:	Sudut Geser Dalam Efektif [°]
$(\sigma'_1)_f$:	Tegangan Efektif Mayor Saat Terjadi Kegagalan [kN/m ²]
$(\sigma'_3)_f$:	Tegangan Efektif Minor Saat Terjadi Kegagalan [kN/m ²]
$(\sigma'_n)_f$:	Tegangan Utama Efektif Normal di Bidang Gelincir [kN/m ²]
τ_f	:	Kuat Geser Saat Gelincir Terjadi [kN/m ²]
σ'_1	:	Tegangan Normal (Tegangan Utama Mayor) [kN/m ²]
σ'_3	:	Tegangan Keliling (Tegangan Utama Minor) [kN/m ²]
ϵ_1	:	Regangan Normal (Regangan Utama Mayor)
$\Delta \epsilon_z$:	Regangan Vertikal
$\Delta \epsilon_r$:	Regangan Radial atau Lateral



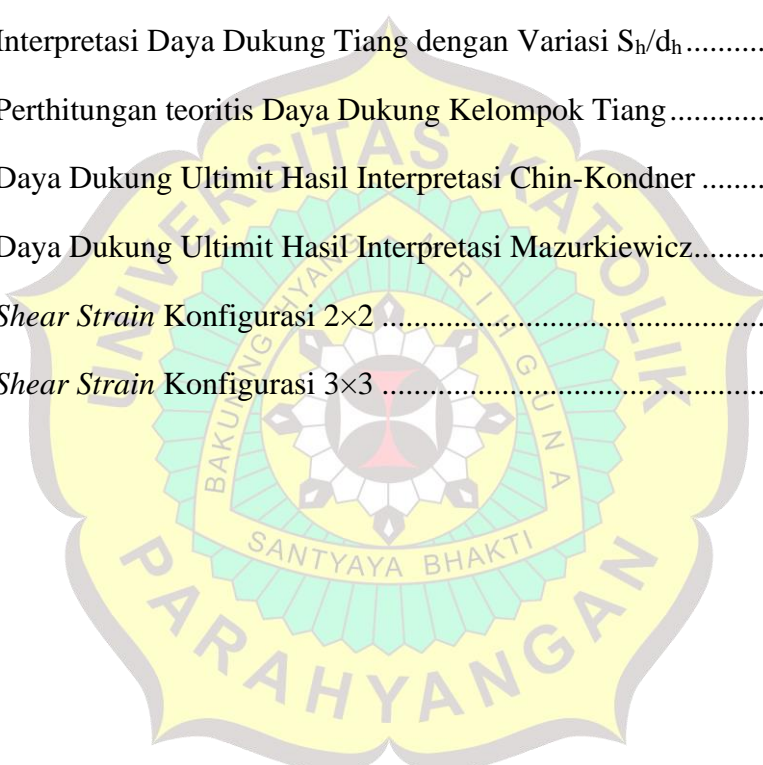
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Three square-shaft helical anchor</i> oleh Hubbell, Inc. (Perko, 2009)	2
Gambar 1.2 Fondasi <i>helical pile</i> untuk fasilitas MRI oleh Magnum Piering, Inc. (Perko, 2009).....	2
Gambar 1.3 Diagram Alir Penelitian.....	6
Gambar 2.1 Klasifikasi Tanah Menurut USCS, ASTM, MIT, dan <i>International Nomenclature</i>	7
Gambar 2.2 Kegagalan Mohr-Coulomb <i>Envelope</i> (Budhu, 2011).....	9
Gambar 2.3 Kriteria Kegagalan Mohr-Coulomb (Si, 2021).....	9
Gambar 2.4 Perbedaan Penyebaran Beban (a) Fondasi Dangkal dengan (b) Fondasi Dalam (Bowles, 1997)	12
Gambar 2.5 Skema <i>Hydraulic Jack</i> Bekerja Melawan <i>Anchored Reaction Frame</i> (ASTM D1143-07).....	13
Gambar 2.6 Kurva Hubungan Beban dan Penurunan.....	13
Gambar 2.7 Bagian – Bagian Fondasi <i>Helix</i> (Perko, 2009)	16
Gambar 2.8 Tipikal Peralatan Untuk Instalasi Fondasi <i>Helix</i> (Perko, 2009)	17
Gambar 2.9 Metode <i>Cylindrical Shear</i> (a); Metode <i>Individual Bearing</i> (b) (Perko, 2009)	18
Gambar 2.10 Kelompok Tiang Fondasi <i>Helix</i> Tampak Atas (Perko, 2009)	21
Gambar 2.11 Efek Kelompok Tiang Pada Fondasi <i>Helix</i> (Perko, 2009)	22
Gambar 2.12 Tipikal Elemen Hingga 2D: (a). 3 <i>Node</i> , (b). 4 <i>Node</i> , (c). 6 <i>Node</i> , (d). 8 <i>Node</i>	24
Gambar 2.13 Elemen Hingga 3D: (a). <i>Hexahedron</i> , (b). <i>Tetrahedron</i>	25
Gambar 3.1 Spesifikasi Tiang <i>Helix</i> yang Digunakan	27
Gambar 3.2 <i>Boundary Condition</i> Untuk Model Tiang Tunggal	28
Gambar 3.3 Model Fondasi <i>Helix</i> Tiang Tunggal.....	30
Gambar 3.4 <i>Meshing</i> Fondasi Tiang <i>Helix</i> Tunggal.....	31
Gambar 3.5 Sambungan Antara <i>Shaft</i> dan <i>Helix</i>	31
Gambar 3.6 Fase Konstruksi: (a) <i>Initial Phase</i> , (b) <i>Placement</i> , dan (c) <i>Loading</i>	32
Gambar 3.7 Titik Tinjau Untuk Kurva Hubungan Beban dan Penurunan	33
Gambar 3.8 Deformasi Tanah	33

Gambar 3.9 Regangan Geser Tanah	34
Gambar 3.10 Kurva Hubungan Beban dan Penurunan.....	34
Gambar 3.11 Kurva s dan s/Q Interpretasi Chin-Kondner	35
Gambar 3.12 Kurva Hiperbola Metode Chin-Kondner	35
Gambar 3.13 Interpretasi Metode Mazurkiewicz	36
Gambar 4.1 Stratifikasi Tanah.....	37
Gambar 4.2 Perbandingan Uji Pembebanan dengan Kalkulasi MEH 3D	38
Gambar 4.3 Interpretasi Daya Dukung Tiang Tunggal (a) Chin-Kondner dan (b) Mazurkiewicz.....	39
Gambar 4.4 Hasil Simulasi Uji Pembebanan Variasi S_h/d_h Tiang Tunggal	40
Gambar 4.5 Regangan Geser Tiang Tunggal MEH 3D	41
Gambar 4.6 Uji Pembebanan Dengan Konfigurasi 2×2 dan $S_h/d_h = 2$	42
Gambar 4.7 Uji Pembebanan Dengan Konfigurasi 2×2 dan $S_h/d_h = 3,5$	43
Gambar 4.8 Uji Pembebanan Dengan Konfigurasi 2×2 dan $S_h/d_h = 5$	43
Gambar 4.9 Uji Pembebanan Dengan Konfigurasi 3×3 dan $S_h/d_h = 2$	44
Gambar 4.10 Uji Pembebanan Dengan Konfigurasi 3×3 dan $S_h/d_h = 3,5$	44
Gambar 4.11 Uji Pembebanan Dengan Konfigurasi 3×3 dan $S_h/d_h = 5$	45
Gambar 4.12 Deformasi Pada Kelompok Tiang 2×2	46
Gambar 4.13 Regangan Geser Kelompok Tiang 2×2	46
Gambar 4.14 Pengaruh Jarak Antar <i>Helix</i> Dengan Perhitungan Teoritis: (a) Konfigurasi 2×2 (b) Konfigurasi 3×3	50
Gambar 4.15 Pengaruh Jarak Antar Tiang Dengan Perhitungan Teoritis: (a) Konfigurasi 2×2 (b) Konfigurasi 3×3	51
Gambar 4.16 Perbandingan Efisiensi Hasil Perhitungan Teoritis dan MEH 3D: Konfigurasi 2×2 Metode (a) Chin-Kondner dan (b) Mazurkiewicz	52
Gambar 4.17 Perbandingan Efisiensi Hasil Perhitungan Teoritis dan MEH 3D: Konfigurasi 3×3 Metode (a) Chin-Kondner dan (b) Mazurkiewicz	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Tipikal Modulus Young	10
Tabel 2.2 Nilai Tipikal Angka Poisson	11
Tabel 2.3 Rentang Nilai Koefisien β (CFEM, 2006)	20
Tabel 3.1 Data Tanah <i>Site 1</i>	26
Tabel 3.2 Data Tanah Untuk Simulasi Uji Pembebanan Tiang Tunggal	28
Tabel 4.1 Parameter Tanah <i>Site 1</i>	37
Tabel 4.2 Interpretasi Daya Dukung Tiang dengan Variasi S_h/d_h	40
Tabel 4.3 Perhitungan teoritis Daya Dukung Kelompok Tiang	42
Tabel 4.4 Daya Dukung Ultimit Hasil Interpretasi Chin-Kondner	45
Tabel 4.5 Daya Dukung Ultimit Hasil Interpretasi Mazurkiewicz	45
Tabel 4.6 <i>Shear Strain</i> Konfigurasi 2×2	47
Tabel 4.7 <i>Shear Strain</i> Konfigurasi 3×3	48



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 DAYA DUKUNG TIANG TUNGGAL	61
LAMPIRAN 2 DAYA DUKUNG KELOMPOK TIANG	62
LAMPIRAN 3 HASIL INTERPRETASI DAYA DUKUNG KELOMPOK TIANG FONDASI <i>HELIX</i>	63
Tabel L3.1 Daya Dukung Ultimit Hasil Interpretasi Chin-Kondner	63
Tabel L3.2 Daya Dukung Ultimit Hasil Interpretasi Mazurkiewicz.....	63
LAMPIRAN 4 HASIL INTERPRETASI EFISIENSI TIANG KELOMPOK	64
Tabel L4.1 Efisiensi Kelompok Tiang (Chin-Kondner)	64
Tabel L4.2 Efisiensi Kelompok Tiang (Mazurkiewicz)	64
Gambar L4.1 Efisiensi Kelompok Tiang Konfigurasi 2×2 Metode Chin-Kondner	65
Gambar L4.2 Efisiensi Kelompok Tiang Konfigurasi 3×3 Metode Chin-Kondner	65
Gambar L4.3 Efisiensi Kelompok Tiang Konfigurasi 2×2 Metode Mazurkiewicz	65
Gambar L4.4 Efisiensi Kelompok Tiang Konfigurasi 3×3 Metode Mazurkiewicz	66
LAMPIRAN 5 DEFORMASI KELOMPOK TIANG	67
Tabel L5.1 Deformasi Kelompok Tiang 2×2 Akibat Beban Aksial Tekan Dengan MEH 3D	67
Tabel L5.2 Deformasi Kelompok Tiang 3×3 Akibat Beban Aksial Tekan Dengan MEH 3D	69
LAMPIRAN 6 KEKAKUAN PILE CAP	71
Tabel L6.1 Dimensi dan Rasio Kekakuan <i>Pile Cap</i>	71
Tabel L6.2 Penamaan ID Kelompok Tiang	72

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebuah struktur perlu dukungan fondasi untuk menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah. Fondasi terbagi menjadi dua jenis berdasarkan rasio pembenaman yaitu, fondasi dangkal dan fondasi dalam (Bowles, 1997). Fondasi dalam berbentuk tiang dan panjang sehingga bisa menyalurkan beban ke tanah keras yang terletak jauh dari permukaan tanah. Fondasi dalam umumnya mengandalkan daya dukung ujung tiang dan friksi antara selimut tiang dengan tanah.

Fondasi tiang *helix* (*helical pile*) merupakan salah satu alternatif tipe fondasi dalam berupa tiang besi dengan ulir (*helix*). Fondasi tiang *helix* ditemukan oleh Alexander Mitchell pada tahun 1836 di Irlandia. Pada mulanya, fondasi *helix* dikembangkan untuk fondasi Mapline Sands Lighthouse di tanah lunak daerah lepas pantai. Seiring perkembangan teknologi, *helical pile* dirancang dengan berbagai spesifikasi untuk menunjang kebutuhan yang berbeda, seperti *square-shaft helical anchor* pada Gambar 1.1 untuk mendukung aksial tarik hingga fondasi *helix* pada Gambar 1.2 untuk beban masing-masing tiang sebesar 222 kN di fasilitas MRI Ohio State University. Kelebihan fondasi *helix* dibanding fondasi dalam lain, adalah bisa menahan gaya aksial tekan maupun tarik (*helical anchor*) dan pemasangan dengan sudut tertentu akan menambah daya dukung lateral. Selain itu, fondasi *helix* dapat dipasang tanpa *casing*, proses pemasangannya rendah gangguan bagi tanah sekitar dan dapat digunakan sebagai fondasi sementara (Perko, 2009). Namun, ada limitasi fondasi *helix*, seperti tidak bisa diaplikasikan di bebatuan, kurang cocok untuk tanah *gravel* dan *cobbles*, serta terbatasnya kapasitas torsi tiang untuk pemasangan (ISHF, 2023).

Seperti fondasi dalam lainnya, fondasi *helix* juga dapat disusun dalam kelompok tiang untuk menopang gaya aksial tekan yang lebih besar. Daya dukung kelompok tiang *helix* dipengaruhi jarak spasi antar tiang dan konfigurasi tiang.



Gambar 1.1 *Three square-shaft helical anchor* oleh Hubbell, Inc. (Perko, 2009)



Gambar 1.2 Fondasi *helical pile* untuk fasilitas MRI oleh Magnum Piering, Inc. (Perko, 2009)

Studi terdahulu yang dilakukan Bak, *et al.* (2019) menunjukkan adanya korelasi antara jarak spasi antar *helix* dengan jarak spasi optimum antar tiang di tanah pasir. Berdasarkan studi numerikal Nowkandeh (2020), kelompok tiang *triple helix* mengalami peningkatan daya dukung seiring dengan jarak antar tiang yang semakin jauh. Namun, masih sedikit penelitian yang membahas mengenai pengaruh jarak antar *helix* dan jarak antar tiang pada kelompok tiang fondasi *double helix* di tanah pasir dengan analisis numerik. Pada penelitian ini, jarak spasi antar tiang dan *helix* akan dianalisis dengan metode elemen hingga tiga dimensi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perilaku kelompok tiang *helix*.

1.2 Inti Permasalahan

Inti permasalahan pada penelitian ini adalah menentukan efisiensi dan pengaruh jarak spasi antar tiang terhadap daya dukung aksial ultimit dari kelompok tiang fondasi tiang *helix* pada tanah pasir.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh daya dukung aksial ultimit pada kelompok tiang fondasi tiang *helix* berdasarkan analisis numerik berbasis metode elemen hingga 3 dimensi dengan variasi jarak antar tiang di tanah pasir.
2. Membandingkan metode perhitungan efisiensi kelompok tiang antara analisis numerik berbasis metode elemen hingga 3 dimensi dan perhitungan teoritis dari variasi konfigurasi tiang di tanah pasir.

1.4 Lingkup Penelitian

Lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tanah yang digunakan dalam analisis adalah tanah pasir sedang hingga padat.
2. Variasi jarak antar fondasi *helical pile* (S/d_s) yang dimodelkan adalah 2,5; 3,5; 4; 6; dan 9.
3. Variasi jarak antar *helix* yang dimodelkan (S_h/d_h) adalah 2,0; 3,5; dan 5,0 dengan S_h adalah spasi *helix* sedangkan d_h adalah diameter *helix*.
4. Konfigurasi kelompok fondasi yang digunakan adalah 2×2 dan 3×3 .
5. Diameter *shaft* yang dimodelkan adalah 324 mm.
6. Diameter *helix* yang dimodelkan adalah 762 mm.
7. Pemodelan perilaku tanah menggunakan model *Mohr-Coulomb*.
8. Pemodelan perilaku material *helical pile* menggunakan model *Elastic* sebagai material tipe *plate*.
9. Gaya torsi akibat pemasangan tiang tidak dipertimbangkan di dalam analisis.
10. *Boundary* pada pemodelan ini adalah $20d_h$ untuk arah sumbu x dan y serta untuk 25 m untuk arah sumbu z.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Melakukan studi literatur mengenai kelompok tiang fondasi tiang *helix* dari buku maupun jurnal publik yang tersedia untuk menemukan dasar teori dan penelitian sebelumnya yang mendukung proses penelitian.
2. Melakukan pemodelan numerik metode elemen hingga menggunakan metode elemen hingga 3 dimensi.
3. Menganalisis hasil dari pemodelan numerik yang dibuat.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Membahas latar belakang, inti permasalahan, tujuan penulisan tugas akhir, lingkup penelitian, dan metodologi penelitian yang dilakukan dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori-teori yang dijadikan landasan dalam penelitian ini, mencakup sifat-sifat tanah pasir, pengertian tentang fondasi tiang *helix*, perhitungan daya dukung fondasi tiang *helix* dengan metode *individual bearing* (IBM) dan *cylindrical shear* (CSM), perhitungan daya dukung tiang *helix* berdasarkan CFEM, efisiensi pada kelompok tiang fondasi tiang *helix*, *pile cap* untuk kelompok fondasi tiang, dan penjelasan mengenai pemodelan menggunakan metode elemen hingga 3 dimensi.

BAB 3 PEMODELAN DENGAN METODE ELEMEN HINGGA 3 DIMENSI

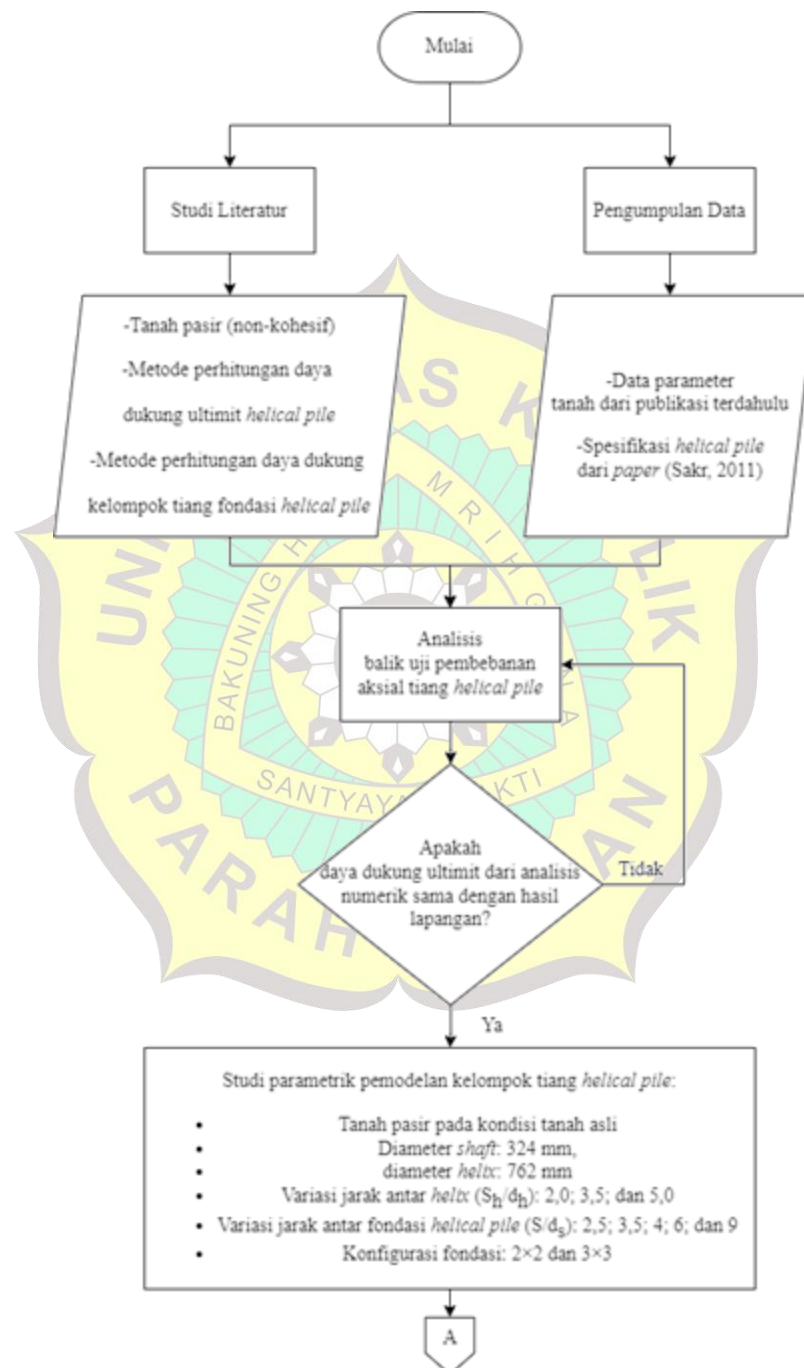
Membahas tentang parameter serta asumsi yang digunakan hingga menyajikan hasil analisis pemodelan kelompok tiang fondasi *helix* dengan menggunakan metode elemen hingga 3 dimensi.

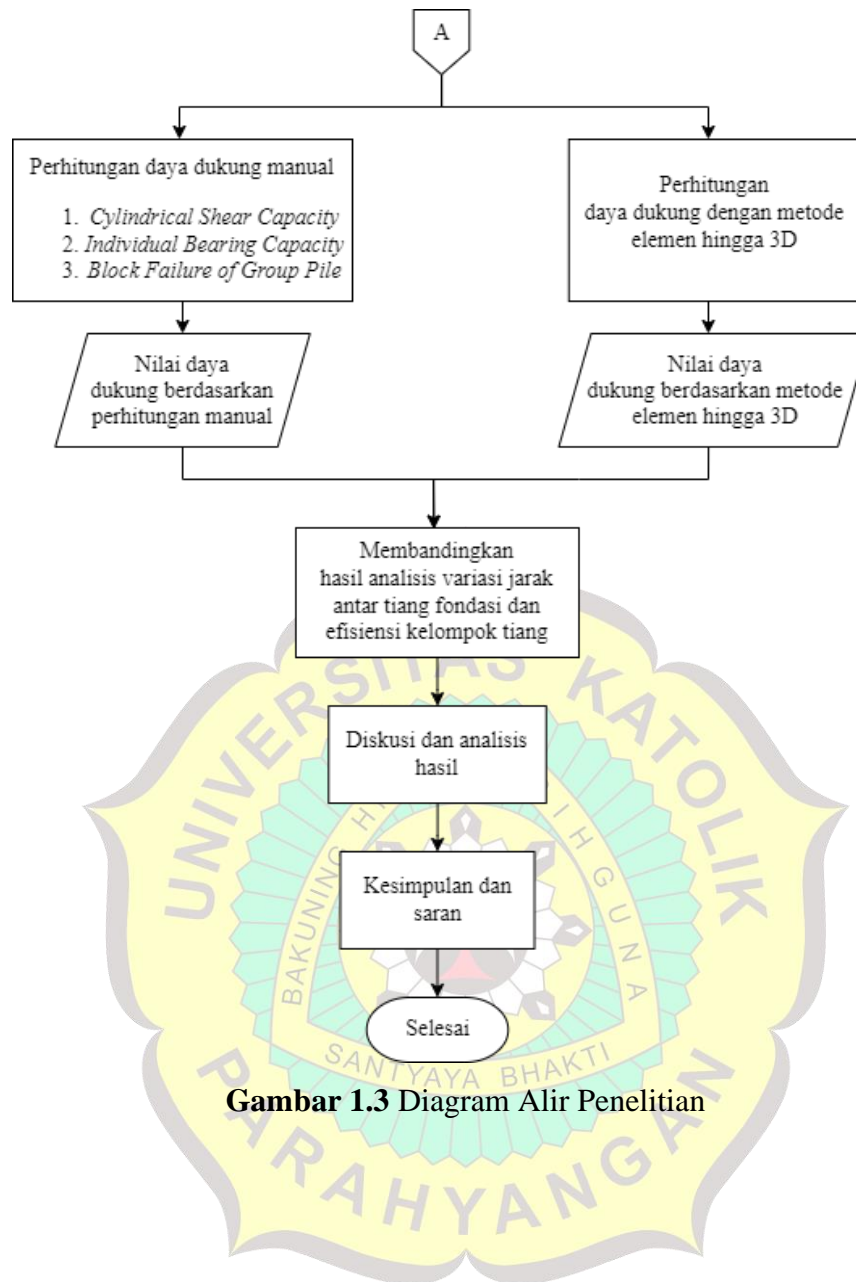
BAB 4 ANALISIS DATA DAN HASIL

Menunjukkan hasil analisis numerik dari pemodelan dan dibandingkan dengan data lapangan yang terpublikasi pada studi terdahulu.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Menarik kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan serta memberi saran untuk menunjang penelitian dan pengaplikasian fondasi *helix* di masa depan.





Gambar 1.3 Diagram Alir Penelitian