

ANALISIS BEBAN LATERAL PADA PONDASI TIANG BOR DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM LPILE PLUS 4.0M

INTAN JANUARTY AJI

NRP : 0521029

Pembimbing : Ir. IBRAHIM SURYA, M.Eng.

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG**

ABSTRAK

Pondasi merupakan bagian terpenting dalam pembangunan suatu proyek gedung. Sebagaimana diketahui, perkembangan pembangunan saat ini menyebabkan banyaknya bangunan-bangunan tinggi yang membutuhkan pondasi dalam sebagai tumpuannya. Para perencana harus menentukan pondasi yang paling efektif dan efisien untuk bangunan tersebut. Karena keterbatasan ruang kerja dan sensitivitas lingkungan terhadap getaran seringkali perencana memilih pondasi tiang bor sebagai pondasi dalam untuk gedung-gedung tinggi.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan perbandingan antara perhitungan cara konvensional yaitu dengan menggunakan metode Reese dan Matlock, Broms dan kurva $p-y$ dan cara dengan menggunakan program LPILE Plus 4.0M. Adapun keempat metode tersebut dilakukan untuk mencari defleksi lateral yang terjadi akibat beban lateral. Perbandingan keempat metode tersebut untuk mengetahui perbedaan dan metode mana yang lebih efektif dan efisien antara cara konvensional dan cara dengan program LPILE Plus 4.0M untuk perhitungan defleksi lateral akibat beban lateral.

Dari hasil perbandingan keempat metode terdapat perbedaan nilai defleksi. Untuk pondasi tiang berdiameter 0.6 m dengan menggunakan LPILE Plus 4.0M, Reese dan Matlock dan Broms berturut-turut adalah 0.046 m, 0.014 m dan 0.014 m, %-relatif antara LPILE Plus 4.0M dengan Reese dan Matlock dan Broms adalah 69.565%. Untuk pondasi tiang berdiameter 0.8 m dengan menggunakan LPILE Plus 4.0M, Reese dan Matlock dan Broms berturut-turut adalah 0.021 m, 0.012 m dan 0.012 m, %-relatif antara LPILE Plus 4.0M dengan Reese dan Matlock dan Broms adalah 42.857%. Nilai defleksi yang dihasilkan sedikit jauh hal tersebut dikarenakan cara konvensional memiliki kekurangan, misalnya metode Broms rumusnya sederhana dan menggunakan pendekatan. Jadi dari hasil perbandingan dapat disimpulkan program LPILE Plus 4.0M lebih efektif dari segi waktu dan ketelitian dibandingkan dengan cara konvensional.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN TUGAS AKHIR	v
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN TUGAS AKHIR	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penulisan	2
1.3 Ruang Lingkup Pembahasan	2
1.4 Sistematika Penulisan	2
1.5 Lisensi Perangkat Lunak	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Macam-macam Pondasi	4
2.2 Pondasi Tiang Bor	7
2.2.1 Alat Pengeboran	8
2.2.2 Metode pelaksanaan Pondasi Tiang Bor	10
2.2.3 Pengendalian Mutu Pondasi Tiang Bor	15
2.3 Metode Analisis Beban Lateral Pondasi Tiang	17
2.3.1 Penentuan Kriteria Tiang pendek dan Panjang	17
2.3.2 Metode Broms	20
2.3.3 Metode Kurva $p-y$	36
2.3.4 Metode Reese dan Matlock	52
BAB III METODE ANALISIS DATA	58
3.1 Pemilihan Data Analisis	58
3.2 Metode Analisis dengan Program LPILE Plus 4.0M	59
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN DATA	74
4.1 Hasil Perhitungan Metode Broms	74
4.2 Hasil Perhitungan Metode Kurva $p-y$	77
4.3 Hasil Perhitungan Metode Reese dan Matlock	91
4.4 Hasil Perhitungan dengan Program LPILE Plus 4.0M	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	103
5.1 Kesimpulan	103
5.2 Saran	104
DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Macam-macam Pondasi, (a) Pondasi Memanjang, (b) Pondasi telapak, (c) Pondasi rakit, (d) Pondasi Sumuran, (e) Pondasi Tiang [Hardiyatmo, 2002]	6
Gambar 2.2	Alat-alat Bantu Pemboran, (a) <i>Flight Auger</i> , (b) <i>Belling Bucket</i> , (c) <i>Double Flight Auger</i> , (d) <i>Core Barrels</i> , (e) <i>Roller</i> [O'Neill dan Reese, 1999]	9
Gambar 2.3	Pelaksanaan dengan cara kering, (a) Pemboran, (b) Mulai menuangkan beton, (c) Pemasangan tulangan, (d) Tiang bor penyelesaian [O'Neill dan Reese, 1999]	10
Gambar 2.4	Pelaksanaan dengan casing, (a) Pemboran, (b) Pemboran dengan bubur, (c) Pemasangan casing, (d) Casing terpasang dan bubur dipindahkan dari dalam casing [O'Neill dan Reese, 1999]	11
Gambar 2.5	(Lanjutan) Pelaksanaan dengan casing, (e) Pemboran di bawah casing, (f) Membesarkan bagian bawah, (g) Pemindahan casing, (h) Tiang bor [O'Neill dan Reese, 1999]	12
Gambar 2.6	Pengganti pelaksanaan dengan casing, (a) Instalasi casing, (b) Pemboran tanah, (c) Memindahkan casing dengan alat vibrasi [O'Neill dan Reese, 1999]	13
Gambar 2.7	Pelaksanaan dengan slurry, (a) Pemboran disertai dengan slurry, (b) Pemasangan tulangan, (c) Pengisian beton, (d) Tiang bor penyelesaian [O'Neill dan Reese, 1999]	14
Gambar 2.8	Tiang pendek kepala tiang bebas (a) Pola keruntuhan, (b) Reaksi tanah dan momen lentur pada tanah pasir	20
Gambar 2.9	(Lanjutan) Tiang pendek kepala tiang bebas (c) Reaksi tanah dan momen lentur pada tanah Lempung	21
Gambar 2.10	Perkiraan hubungan N_{SPT} vs s_u [Terzaghi dan Peck, 1967; Sowers, 1979]	23
Gambar 2.11	Kapasitas lateral ultimit untuk tiang pendek pada tanah pasir (tanah non kohesi) [Prakash dan Sharma 1990]	24
Gambar 2.12	Kapasitas lateral ultimit untuk tiang pendek pada tanah lempung (tanah kohesi) [Prakash dan Sharma 1990]	24
Gambar 2.13	Tiang pendek kepala tiang terjepit (a) Pola keruntuhan, (b) Reaksi tanah dan momen lentur pada tanah pasir (c) Reaksi tanah dan momen lentur pada tanah Lempung	25
Gambar 2.14	Tiang panjang kepala tiang bebas (a) Reaksi tanah dan momen lentur pada tanah pasir, (b) Reaksi tanah dan momen lentur pada tanah lempung	26
Gambar 2.15	Kapasitas lateral ultimit untuk tiang panjang pada tanah pasir (tanah non kohesi) [Prakash dan Sharma 1990]	27
Gambar 2.16	Kapasitas lateral ultimit untuk tiang panjang pada tanah lempung (tanah kohesi) [Prakash dan Sharma 1990]	28

Gambar 2.17	Tiang pendek kepala tiang terjepit (a) Reaksi tanah dan momen lentur pada tanah pasir, (b) Reaksi tanah dan momen lentur pada tanah Lempung	28
Gambar 2.18	Defleksi lateral tiang di atas permukaan tanah, (a) untuk tiang dalam tanah kohesif ($\phi = 0$), (b) untuk tiang dalam tanah butiran (<i>granular</i>) ($c = 0$) [Broms, 1965]	31
Gambar 2.19	Arah aliran kurva p - y dan defleksi tiang (a) bentuk kurva dengan ketinggian x di bawah muka tanah, (b) kurva diplot sesuai dengan nilai x (c) defleksi tiang [Prakash dan Sharma, 1990]	37
Gambar 2.20	Metode p - y model tahanan tanah dengan menggunakan satu seri pegas nonlinier [Hardiyatmo, 2003]	39
Gambar 2.21	Sifat khusus kurva p - y [Hardiyatmo, 2003]	39
Gambar 2.22	(a) Perubahan hubungan kurva p - y dengan kedalaman (b) Model <i>finite difference</i> [Hardiyatmo, 2003]	40
Gambar 2.23	Idealisasi Winkler's [Prakash dan Sharma, 1990]	42
Gambar 2.24	Mendapatkan nilai x dan membuat kurva p - y (a) mendapatkan nilai x dari perpotongan nilai P_{cr} dan P_{cd} [Prakash dan Sharma, 1990]	44
Gambar 2.25	(Lanjutan) Mendapatkan nilai x dan membuat kurva p - y (b) membuat kurva p - y [Prakash dan Sharma, 1990]	45
Gambar 2.26	Kurva p - y untuk soft sampai firm clay [Prakash dan Sharma, 1990]	48
Gambar 2.27	Pondasi tiang dengan beban lateral Q_g dan momen M_g (a) defleksi, (b) slope, (c) momen, (d) geser, (e) reaksi tanah [Reese dan Matlock, 1956]	52
Gambar 2.28	Koefisien untuk tiang bebas tanpa kohesi (a) koefisien A dan A_m , (b) koefisien B dan B_m [Reese dan Matlock, 1956]	56
Gambar 2.29	Koefisien pada tiang kepala terjepit (a) koefisien defleksi C_y , (b) koefisien momen C_m , (c) koefisien reaksi tanah C_p [Reese dan Matlock, 1965]	57
Gambar 3.1	Tampilan awal LPILE Plus 4.0M	59
Gambar 3.2	Option – Unit	60
Gambar 3.3	Option – Analysis Type	62
Gambar 3.4	Data- Title	62
Gambar 3.5	Data- Pile Properties	63
Gambar 3.6	Nilai <i>Slope Angle</i> untuk permukaan tanah miring	63
Gambar 3.7	Nilai <i>Slope Angle</i> untuk tiang miring	64
Gambar 3.8	Data-Pile Properties-Edit Pile Sectional Properties	64
Gambar 3.9	Data-Loading Type	65
Gambar 3.10	Data-Boundary Conditions and Loading	66
Gambar 3.11	Data-soil layers	67
Gambar 3.12	Bentuk penampang melintang pada LPILE Plus	68
Gambar 3.13	Data-Cross Sectional Shape	69
Gambar 3.14	Data-Cross Sectional Dimentions	69
Gambar 3.15	Data-Cross Sectional Arrangement of Rebar	69
Gambar 3.16	Data-Cross Sectional Material Properties	70

Gambar 3.17	<i>Computation-Run Analysis</i>	70
Gambar 3.18	<i>Notepad</i> untuk memeriksa masukan (<i>input</i>).....	71
Gambar 3.19	<i>Notepad</i> setelah data dianalisis	71
Gambar 3.20	Grafik defleksi dari hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M	72
Gambar 3.21	Grafik momen dari hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M	72
Gambar 3.22	Grafik gaya geser dari hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M	73
Gambar 4.1	Dimensi tiang bor (pusat perbelanjaan Balubur	74
Gambar 4.2	Pondasi tiang bor	77
Gambar 4.3	Kurva p_{cr} dan p_{cd}	82
Gambar 4.4	Tanah lempung (soft clay).....	87
Gambar 4.5	Tanah Lempung Keras (Stiff Clay).....	87
Gambar 4.6	Tanah Pasir a) Untuk $x = 6$ m, $x = 7$ m dan $x = 8$ m; b) Untuk $x = 9$ m, $x = 10$ m, $x = 11$ m dan $x = 11.5$ m	88
Gambar 4.7	Tanah lempung (soft clay).....	89
Gambar 4.8	Tanah Lempung Keras (Stiff Clay).....	89
Gambar 4.9	Tanah Pasir a) Untuk $x = 6$ m, $x = 7$ m dan $x = 8$ m; b) Untuk $x = 9$ m, $x = 10$ m, $x = 11$ m dan $x = 11.5$ m	90
Gambar 4.10	Pondasi tiang bor.....	91
Gambar 4.11	Grafik defleksi dengan kedalaman $B = 0.6$ m.....	99
Gambar 4.12	Grafik defleksi dengan kedalaman $B = 0.8$ m.....	94
Gambar 4.13	Grafik Momen dengan kedalaman $B = 0.6$ m.....	95
Gambar 4.14	Grafik Momen dengan kedalaman $B = 0.6$ m.....	96
Gambar 4.15	Hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.6$ m.....	96
Gambar 4.16	Hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.8$ m.....	97
Gambar 4.17	Grafik defleksi dari hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.6$ m.....	97
Gambar 4.18	Grafik defleksi dari hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.8$ m.....	98
Gambar 4.19	Grafik momen dari hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.6$ m.....	98
Gambar 4.20	Grafik momen dari hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.8$ m.....	99
Gambar 4.21	Grafik gaya geser dari hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.6$ m.....	99
Gambar 4.22	Grafik gaya geser dari hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.8$ m.....	100
Gambar 4.23	Hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.6$ m dengan tanah satu lapis.....	101
Gambar 4.24	Hasil perhitungan LPILE Plus 4.0M untuk $B = 0.8$ m dengan tanah satu lapis.....	102
Gambar L1.1	Detail kepala tiang skala 1:NTS	106
Gambar L2.1	Data SPT zona A.....	107
Gambar L2.3	Data SPT zona B dan C	108
Gambar L3.1	Denah pondasi tiang bor	109
Gambar L3.2	Detail pondasi tiang bor.....	110
Gambar L3.3	Detail pondasi tiang bor.....	111
Gambar L3.4	Detail kepala pondasi.....	112

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hubungan modulus subgrade (k_1) dengan kuat geser undrained untuk lempung kaku terkonsolidasi berlebihan (overconsolidated) [Terzaghi, 1955]	18
Tabel 2.2	Nilai-nilai η_h untuk tanah butiran (<i>granular</i>) ($c = 0$) [Terzaghi, 1955]	19
Tabel 2.3	Nilai-nilai η_h untuk tanah kohesif (Poulos dan Davis, 1980)	19
Tabel 2.4	Kriteria kaku dan tiang tidak kaku untuk tiang ujung bebas [Tomlinson, 1977]	20
Tabel 2.5	Prositas, angka pori, dan berat satuan tanah-tanah tipikal alami [Terzaghi, 1993]	22
Table 2.6	Nilai-nilai representatif ϕ untuk pasir dan lanau [Terzaghi, 1993]	22
Tabel 2.7	Korelasi N_{SPT} dengan derajat kepadatan (D_r) tanah pasir (Gibbs dan Holtz, 1957)	23
Tabel 2.8	Parameter k untuk tanah pasir [ENSOFTE Inc, 2000]	34
Tabel 2.9	Parameter k untuk tanah Lempung [ENSOFTE Inc, 2000]	35
Tabel 2.10	Koefisien A_1 dan B_1 [Prakash dan Sharma, 1990]	45
Tabel 2.11	Regangan (ϵ_{50}) untuk tanah lempung [ENSOFTE Inc, 2000]	48
Tabel 2.12	Regangan (ϵ_{50}) untuk tanah Pasir [ENSOFTE Inc, 2000]	48
Tabel 2.13	Koefisien A untuk tiang panjang $Z_{max} \geq 5$ kondisi kepala tiang bebas [Matlock dan Reese, 1961, 1962]	54
Tabel 2.14	Koefisien B untuk tiang panjang $Z_{max} \geq 5$ kondisi kepala tiang bebas [Matlock dan Reese, 1961, 1962]	54
Tabel 3.1	Parameter yang dibutuhkan untuk analisis beban lateral pada pondasi tiang bor	58
Tabel 4.1	Hasil beban lateral ultimit dan defleksi pada ujung tiang dengan menggunakan metode Broms	77
Tabel 4.2	Hasil perhitungan defleksi tiang dan tahanan tanah untuk $B = 0.6$ m	80
Tabel 4.3	Hasil perhitungan defleksi tiang dan tahanan tanah untuk $B = 0.8$ m	80
Tabel 4.4	Nilai p_{cr} dan p_{cd} untuk tiap kedalaman	82
Tabel 4.5	Hasil perhitungan untuk kurva $p-y$ pada Kedalaman 6 – 11.5 m untuk $B = 0.6$ m	83
Tabel 4.6	Hasil perhitungan defleksi tiang dan resistensi tanah untuk tanah pasir (<i>sand</i>) dengan $x = 6$ m, $x = 7$ m, $x = 8$ m, $x = 9$ m, $x = 10$ m, $x = 11$ m, dan $x = 11.5$ m untuk $B = 0.6$ m	84
Table 4.7	Hasil perhitungan untuk kurva $p-y$ pada Kedalaman 6 – 11.5 m untuk $B = 0.8$ m	85
Tabel 4.8	Hasil perhitungan defleksi tiang dan resistensi tanah untuk tanah pasir (<i>sand</i>) dengan $x = 6$ m, $x = 7$ m, $x = 8$ m, $x = 9$ m, $x = 10$ m, $x = 11$ m, dan $x = 11.5$ m untuk $B = 0.8$ m	86
Tabel 4.9	Hasil perhitungan defleksi lateral untuk $B = 0.6$ m	92
Tabel 4.10	Hasil perhitungan defleksi lateral untuk $B = 0.8$ m	93

Tabel 4.11 Hasil perhitungan Momen untuk $B = 0.6 \text{ m}$	94
Tabel 4.12 Hasil perhitungan Momen untuk $B = 0.8 \text{ m}$	95
Tabel 4.13 % - relatif Hasil perhitungan.....	102
Tabel L1.1 pondasi tiang bor	106

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_l	= Koefisien untuk nilai tahanan tanah ultimit
α	= Koefisien untuk tanah non kohesif
B	= Diameter atau sisi tiang (m)
B_l	= Koefisien untuk nilai tahanan tanah (p_m)
β	= Koefisien untuk tanah kohesif
C	= Koefisien
$c_u = s_u$	= kuat geser tak terdrainase (kN/m ²)
e	= jarak dari H_u ke permukaan tanah
ε_c	= Regangan
ε_i	= Regangan beban awal
ε_o	= Perbedaan tekanan maksimum
$E_p = E$	= Modulus elastisitas tiang (t/m ²)
H	= Beban horizontal (kN)
H_{all}	= Beban horisontal ultimit (kN)
H_{max}	= Beban horisontal maksimum (kN)
H_u	= Beban horisontal ultimit sebelum di bagi faktor keamanan (kN)
$I_p = I$	= Modulus inersia tiang (m ⁴)
J	= faktor empirik
γ	= berat volume tanah (kN/m ³)
γ'	= berat volume tanah efektif (kN/m ³)
K_o	= Koefisien tekanan tanah
k_1	= Modulus subgrade tanah (kN/m ³)
k_L	= nilai k_n pada ujung bawah tiang
K_p	= Koefisien tahanan tanah
$k = k_s = k_h$	= Modulus subgrade tanah dalam arah horizontal (t/m ³)
L	= panjang tiang (m)
M_g	= Momen yang diterima oleh kepala tiang
M_{max}	= Momen maksimum(kNm)
μ_s	= Angka Poison tanah
M_u	= Momen ultimit (kNm)
M_z	= Momen lentur tiang pada kedalaman z
N	= Jumlah putaran beban awal
n	= indek empiris
N_c	= Faktor daya dukung
n_h	= Konstanta modulus subgrade tanah (kN/m ³)
θ	= Rotasi tiang
ϕ	= Sudut geser dalam (°)
p	= tahanan lateral tanah per satuan panjang tiang
P	= Beban axial pada tiang
P_{cd}	= Tahanan tanah di bawah kedalaman kritis (kN/m)
P_{cr}	= Tahanan tanah kritis (kN/m)
P_z	= Tahanan tanah lateral per satuan panjang tiang pada kedalaman z
Q_g	= Beban lateral yang diterima oleh kepala tiang

R	= Faktor kekakuan untuk modulus tanah konstan
S_z	= Kemiringan/slope tiang pada kedalaman z
T	= Faktor kekakuan untuk modulus tanah tidak konstan
x	= Kedalaman yang ditinjau (m)
x_r	= Kedalaman kritis di bawah dasar tanah (m)
x_o	= Kedalaman (m)
y_o	= Defleksi pada permukaan tanah
V_z	= gaya geser pada kedalaman z
$y = y_c$	= Defleksi lateral
y_s	= Defleksi pada beban awal
z	= Kedalaman dari permukaan tanah (m)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L1 Pondasi tiang bor dan detail kepala tiang.....	106
Lampiran L2 Data SPT	107
Lampiran L3 Detail Pondasi	109