

PENGARUH KEKAKUAN LENTUR TERHADAP DEFLEKSI TIANG FONDASI DERMAGA PELABUHAN IPI ENDE NUSA TENGGARA TIMUR

Phill Enrico Malaikosa
1421041

Pembimbing: Andrias Suhendra Nugraha, S.T., M.T.

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Kondisi ini menjadikan sektor transportasi laut memiliki peran penting dalam menjangkau pulau-pulau di Indonesia. Salah satu infrastruktur penunjang transportasi laut adalah pelabuhan. Perencanaan suatu pelabuhan tidak dapat dipisahkan dari perencanaan dermaga yang merupakan salah satu bagian terpenting dari pelabuhan tersebut. Perencanaan pada dermaga menjadi hal yang sangat penting khususnya perencanaan pada fondasi dermaga. Fondasi pada dermaga harus dapat menahan beban-beban luar diantaranya adalah beban lateral (H) seperti beban tumbukan dan tarikan kapal yang dapat menyebabkan defleksi (y) pada fondasi dermaga.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi pengaruh kekakuan lentur, EI (E =modulus elastisitas tiang, I =momen inersia tiang) terhadap defleksi (y) fondasi tiang pancang tunggal tipe *steel pipe piles* pada dermaga Pelabuhan Ipi Ende, Nusa Tenggara Timur. Analisis nilai daya dukung lateral izin (Hall) dilakukan dengan menggunakan perhitungan empiris metode Brinch Hansen (1961) dan perangkat lunak *Allpile*. Analisis dilakukan pada tiang tepi kanan dermaga (A1) dan pada tiang tepi kiri dermaga (D5) dengan beban lateral yang bekerja pada tiang A1 dan D5 tersebut berturut-turut adalah 39,93kN dan 17,6kN. Tiang A1 memiliki panjang, $L=24$ m, diameter, $d=711$ mm dan tebal, $t=14$ mm sedangkan tiang D5 memiliki panjang, $L=21$ m diameter, $d=711$ mm dan tebal, $t=14$ mm. Analisis daya dukung lateral izin juga dilakukan berdasarkan variasi panjang, diameter dan tebal tiang untuk mendapatkan variasi kekakuan lentur sebesar EI , $3,89EI$ dan $0,39EI$ untuk setiap tiang yang ditinjau.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa defleksi (y) pada kepala tiang A1 dengan kekakuan lentur sebesar EI , $3,89EI$, dan $0,39EI$ berturut-turut adalah 1,34cm, 0,47cm, dan 3,45cm. Terjadi kenaikan defleksi pada kepala tiang sebesar 2,11cm dari EI ke $0,39EI$ dan penurunan defleksi sebesar 0,87cm dari EI ke $3,89EI$. Sementara pada tiang D5 diperoleh defleksi pada kepala tiang dengan kekakuan lentur sebesar EI , $3,89EI$, dan $0,39EI$ berturut-turut adalah 0,52cm, 0,18cm, dan 1,26cm. Terjadi kenaikan defleksi pada kepala tiang sebesar 0,74cm dari EI ke $0,39EI$ dan penurunan defleksi pada kepala tiang sebesar 0,34cm dari EI ke $3,89EI$. Semakin besar kekakuan lentur (EI) tiang maka defleksi pada kepala tiang menjadi semakin kecil.

Kata kunci: kekakuan lentur (EI), defleksi (y), tiang pancang, perhitungan empiris, *Allpile*.

EFFECT OF FLEXURAL RIGIDITY TO PILE DEFLECTION OF THE JETTY FOUNDATIONS AT IPI ENDE PORT EAST NUSA TENGGARA

**Phill Enrico Malaikosa
1421041**

Supervisor: Andrias Suhendra Nugraha, S.T., M.T.

ABSTRACT

Indonesia is the largest archipelagic country in the world. This makes the sector of sea transportation has an important role in terms of reaching the islands in Indonesia. One of the infrastructure that support the sea transportation is port. A port design cannot be separated from the jetty planning which is one of the most important parts of the port. The jetty planning becomes very important, especially with the planning of the jetty foundation. Jetty foundation must be able to withstand external loads including lateral loads (H) such as berthing load and mooring load that can cause deflection to the jetty foundation.

The purpose of this study is to evaluate the effect of flexural rigidity, EI (E = elastic modulus of pile, I =inertia moment of pile) to deflection (y) on the single configuration of driving steel pipe piles at Ipi Port of Ende, East Nusa Tenggara. Analysis of the allowable lateral bearing capacity (H_{all}) was carried out using empirical calculation of the Brinch Hansen method (1961) and through Allpile software. The analysis was carried out on the right edge of the jetty (A1) and on the left edge of the jetty (D5) with lateral loads acting on pile head of the A1 and D5 respectively are 39.93kN and 17.6kN. The A1 pile has a length, $L=24m$, diameter, $d=711mm$ and thickness, $t=14mm$ while the D5 pile has a length, $L=21m$ diameter, $d=711mm$ and thickness, $t=14mm$. Analysis of the allowable lateral bearing capacity was also carried out based on variations in length, diameter and thickness of the pile to obtain variations in flexural rigidity; EI , $3.89EI$ and $0.39EI$ for each pile.

The results showed that the deflection (y) on the pile head of A1 with flexural rigidity; EI , $3.89EI$, and $0.39EI$ were 1.34cm, 0.47cm, and 3.45cm, respectively. There was an increase in deflection at the pile head by 2.11cm from EI to $0.39EI$ and a decrease in deflection by 0.87cm from EI to $3.89EI$. Meanwhile, the deflection (y) on the pile head of D5 with flexural rigidity; EI , $3.89EI$, and $0.39EI$ were 0.52cm, 0.18cm and 1.26cm, respectively. There was an increase in deflection on the pile head by 0.74cm from EI to $0.39EI$ and a decrease in deflection on the pile head by 0.34cm from EI to $3.89EI$. The greater the flexural rigidity (EI) of the pile, the smaller the deflection of the pile head.

Keywords: *flexural rigidity (EI), deflection (y), driving pile, empirical calculation, Allpile.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN	iv
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	v
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN LITERATUR	4
2.1 Parameter Tanah	4
2.1.1 Korelasi Jenis Tanah Terhadap <i>Constant of Horizontal Subgrade Reaction</i>	4
2.1.2 Korelasi Jenis Tanah Terhadap <i>Constant of Horizontal Subgrade Reaction</i> untuk <i>Submerged Sand</i>	4
2.1.3 Korelasi-korelasi Terhadap Parameter Tanah	5
2.2 Fondasi	5
2.3 Fondasi Tiang	6
2.4 Fondasi Tiang Pancang	7
2.4.1 Cara Pemancangan	8
2.4.2 Perlengkapan Pemancangan Tiang	9
2.4.3 Fondasi Tiang Baja	11
2.5 Fondasi Tiang dengan Beban Lateral	12
2.5.1 Faktor Keamanan	12
2.5.2 Kekakuan Lentur	12
2.5.3 Penentuan Kriteria Tiang Pendek dan Tiang Panjang	13
2.6 Analisis Tiang Menggunakan Metode Brinch Hansen	15
2.7 Analisis Tiang Menggunakan Metode Broms	17
2.7.1 Kondisi Tiang Pendek	17
2.7.1.1 Kepala Tiang Bebas (<i>Free Head</i>)	17
2.7.1.2 Kepala Tiang Terjepit (<i>Fixed Head</i>)	20
2.7.2 Kondisi Tiang Panjang	20
2.7.2.1 Kepala Tiang Bebas (<i>Free Head</i>)	21
2.7.2.1 Kepala Tiang Terjepit (<i>Fixed Head</i>)	22
BAB III METODE PENELITIAN	25

3.1	Diagram Alir Penelitian	25
3.2	Data Tanah	26
3.3	Data Fondasi	26
3.4	Data Beban	27
3.4.1	Beban Gravitasi	27
3.4.2	Beban Gempa	28
3.4.3	Beban <i>Berthing</i>	28
3.4.4	Gaya <i>Mooring</i> pada Dermaga	28
3.4.5	Beban Kendaraan	29
3.4.6	Gaya Gelombang dan Arus	29
3.4.7	Kombinasi Pembebanan	29
3.4.8	Hasil Perhitungan Struktur	30
3.5	Data Tiang yang Dianalisis	31
3.6	Perangkat Lunak <i>Allpile</i> v.6.5	31
3.7	Langkah-langkah Penggunaan Perangkat Lunak <i>Allpile</i> v.6.5	32
3.7.1	<i>Input</i> pada Perangkat Lunak <i>Allpile</i> v.6.5	32
3.7.2	<i>Output</i> pada Perangkat Lunak <i>Allpile</i> v.6.5	40
BAB IV ANALISIS DATA		42
4.1	Analisis Tiang Pancang	42
4.2	Perhitungan Kekakuan Lentur Tiang	42
4.3	Hasil Analisis Menggunakan Rumus Empiris (Brinch Hansen)	43
4.3.1	Hasil Analisis pada Tiang A1	44
4.3.2	Hasil Analisis pada Tiang D5	48
4.4	Analisis Tiang menggunakan <i>Software Allpile</i>	52
4.4.1	Hasil Analisis pada Tiang A1 dengan Diameter 711mm	52
4.4.2	Hasil Analisis pada Tiang A1 dengan Diameter 965mm	56
4.4.3	Hasil Analisis pada Tiang A1 dengan Diameter 588,8mm	59
4.4.4	Kurva Defleksi-Kedalaman pada Tiang A1	62
4.4.5	Hasil Analisis pada Tiang D5 dengan Diameter 711mm	63
4.4.6	Hasil Analisis pada Tiang D5 dengan Diameter 965mm	65
4.4.7	Hasil Analisis pada Tiang D5 dengan Diameter 588,8mm	68
4.4.8	Kurva Defleksi-Kedalaman pada Tiang D5	71
4.4.9	Analisis Beban Lateral Izin	72
4.5	Perbandingan Beban Lateral Izin	76
4.6	Analisis Hubungan Defleksi pada Kepala Tiang dan EI	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		80
5.1	Kesimpulan	80
5.2	Saran	81
DAFTAR PUSTAKA		82
LAMPIRAN		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tipikal Komponen <i>Helmet</i> pada Sistem Pemancangan Tiang	11
Gambar 2.2	Hubungan Nilai η_h dan Kepadatan Relatif pada Tanah Pasir	15
Gambar 2.3	Koefisien K_c dan Koefisien K_q	16
Gambar 2.4	Reaksi Tanah, Geser, dan Momen Lentur (Metode Brinch Hansen)	16
Gambar 2.5	Pola Keruntuhan Tiang Pendek Kepala Tiang Bebas	17
Gambar 2.6	Reaksi Tanah dan Momen pada Tiang Pendek Kepala Bebas pada Tanah Non-Kohesif	18
Gambar 2.7	Kapasitas Lateral Ultimit untuk Tiang Pendek pada Tanah Non-Kohesif	19
Gambar 2.8	Kapasitas Lateral Ultimit untuk Tiang Pendek pada Tanah Kohesif	20
Gambar 2.9	Kapasitas Lateral Ultimit untuk Tiang Pancang pada Tanah Non-Kohesif	21
Gambar 2.10	Kapasitas Lateral Ultimit untuk Tiang Pancang pada Tanah Kohesif	22
Gambar 2.11	Perlawanan Tanah dan Momen Lentur Tiang Panjang dengan Kondisi <i>Fixed Head</i> pada Tanah Non-Kohesif	23
Gambar 2.12	Perlawanan Tanah dan Momen Lentur Tiang Panjang dengan Kondisi <i>Fixed Head</i> pada Tanah Kohesif	23
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2	Tampilan Awal Program <i>Allpile</i> versi 6.5	33
Gambar 3.3	<i>Input Pile Type</i>	33
Gambar 3.4	<i>Input Pile Profile</i>	34
Gambar 3.5	Tampilan Awal <i>Toolbars Pile Properties</i>	35
Gambar 3.6	Tampilan <i>Toolbars Pile Section Screen</i>	36
Gambar 3.7	Tampilan Setelah <i>Input</i> pada <i>Toolbars Pile Properties</i>	36
Gambar 3.8	Tampilan <i>Input</i> pada <i>Toolbars Load and Group</i>	37
Gambar 3.9	Tampilan Awal <i>Toolbars Soil Properties</i>	38
Gambar 3.10	<i>Soil Parameters Screen</i> (Lapisan 1)	39
Gambar 3.11	<i>Soil Properties</i> Setelah <i>Input</i>	39
Gambar 3.12	<i>Lateral Analysis Result</i>	40
Gambar 3.13	<i>Pile Moment vs Loading</i>	41
Gambar 3.14	<i>Lateral Load vs Deflection and Max. Moment</i>	41
Gambar 4.1	Sketsa Tiang Pancang pada Koordinat A1 (d1-L1)	44
Gambar 4.2	Kurva Hubungan Antara p_{xu} dan Kedalaman Tiang A1 (d1-L1)	46
Gambar 4.3	Kurva EI vs Beban Lateral Izin untuk Tiang A1	47
Gambar 4.4	Sketsa Tiang Pancang pada Koordinat D5 (d1-L1)	48
Gambar 4.5	Kurva Hubungan Antara p_{xu} dan Kedalaman Tiang D5 (d1-L1)	49
Gambar 4.6	Kurva EI vs Beban Lateral Izin untuk Tiang D5	51
Gambar 4.7	<i>Output Allpile</i> untuk Defleksi pada Tiang A1 dengan Diameter 711mm dan Panjang 24m	52
Gambar 4.8	<i>Output Allpile</i> untuk Momen pada Tiang A1 dengan	

	Diameter 711mm dan Panjang 24m	52
Gambar 4.9	<i>Output Allpile</i> untuk Hubungan Antara Beban Lateral dengan Defleksi dan Momen pada Tiang A1 untuk Diameter 711mm dan Panjang 24m	53
Gambar 4.10	<i>Output Allpile</i> untuk Defleksi pada Tiang A1 dengan Diameter 965mm dan Panjang 24m	55
Gambar 4.11	<i>Output Allpile</i> untuk Momen pada Tiang A1 dengan Diameter 965mm dan Panjang 24m	56
Gambar 4.12	<i>Output Allpile</i> untuk Hubungan Antara Beban Lateral dengan Defleksi dan Momen pada Tiang A1 untuk Diameter 965mm dan Panjang 24m	56
Gambar 4.13	<i>Output Allpile</i> untuk Defleksi pada Tiang A1 dengan Diameter 588,8mm dan Panjang 24m	59
Gambar 4.14	<i>Output Allpile</i> untuk Momen pada Tiang A1 dengan Diameter 588,8mm dan Panjang 24m	60
Gambar 4.15	<i>Output Allpile</i> untuk Hubungan Antara Beban Lateral dengan Defleksi dan Momen pada Tiang A1 untuk Diameter 588,8mm dan Panjang 24m	60
Gambar 4.16	Kurva Defleksi vs Kedalaman pada Tiang A1	62
Gambar 4.17	<i>Output Allpile</i> untuk Defleksi pada Tiang D5 dengan Diameter 711mm dan Panjang 21m	63
Gambar 4.18	<i>Output Allpile</i> untuk Momen pada Tiang D5 dengan Diameter 711mm dan Panjang 21m	63
Gambar 4.19	<i>Output Allpile</i> untuk Hubungan Antara Beban Lateral dengan Defleksi dan Momen pada Tiang D5 untuk Diameter 711mm dan Panjang 21m	64
Gambar 4.20	<i>Output Allpile</i> untuk Defleksi pada Tiang D5 dengan Diameter 965mm dan Panjang 21m	66
Gambar 4.21	<i>Output Allpile</i> untuk Momen pada Tiang D5 dengan Diameter 965mm dan Panjang 24m	66
Gambar 4.22	<i>Output Allpile</i> untuk Hubungan Antara Beban Lateral dengan Defleksi dan Momen pada Tiang D5 untuk Diameter 965mm dan Panjang 21m	67
Gambar 4.23	<i>Output Allpile</i> untuk Defleksi pada Tiang D5 dengan Diameter 965mm dan Panjang 21m	69
Gambar 4.24	<i>Output Allpile</i> untuk Momen pada Tiang D5 dengan Diameter 965mm dan Panjang 24m	69
Gambar 4.25	<i>Output Allpile</i> untuk Hubungan Antara Beban Lateral dengan Defleksi dan Momen pada Tiang D5 untuk Diameter 965mm dan Panjang 21m	70
Gambar 4.26	Kurva Defleksi vs Kedalaman pada Tiang D5	72
Gambar 4.27	Hubungan Antara Defleksi Izin dan Beban Lateral Izin untuk Tiang A1 (d1-L1) Menggunakan H=80kN	73
Gambar 4.28	Hubungan Antara Defleksi Izin dan Beban Lateral Izin untuk Tiang A1 (d2-L1) Menggunakan H=240kN	74
Gambar 4.29	Hubungan Antara Defleksi Izin dan Beban Lateral Izin untuk Tiang A1 (d3-L1) Menggunakan H=40kN	74
Gambar 4.30	Hubungan Antara Defleksi Izin dan Beban Lateral Izin	

	untuk Tiang D5 (d2-L1) Menggunakan H=250kN	75
Gambar 4.29	Hubungan Antara Defleksi Izin dan Beban Lateral Izin untuk Tiang D5 (d1-L1) Menggunakan H=100kN	75
Gambar 4.30	Hubungan Antara Defleksi Izin dan Beban Lateral Izin untuk Tiang D5 (d3-L1) Menggunakan H=40kN	76
Gambar 4.25	Kurva EI vs <i>Top Deflection</i>	78



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Estimasi Nilai dari η_h	4
Tabel 2.2 Nilai η_h untuk <i>Submerged Sand</i> yang direkomendasikan	5
Tabel 2.3 Parameter Tanah untuk Tanah Non-Kohesif	5
Tabel 2.4 <i>Modulus of Subgrade Reaction</i> (k_1) vs N-SPT untuk Tanah Non-Kohesif	5
Tabel 2.5 Hubungan Antara k_1 dan c_u	14
Tabel 2.6 Kriteria Jenis Perilaku Tiang	14
Tabel 3.1 Parameter Tanah yang Digunakan	26
Tabel 3.2 Data Tiang Pancang yang Digunakan	27
Tabel 3.3 Data Beban Gravitasi pada Dermaga	27
Tabel 3.4 Gaya Lateral pada Koordinat Perletakan Struktur Dermaga	30
Tabel 3.5 Data Tiang yang Akan Dianalisis	31
Tabel 4.1 Variasi Diameter dan Panjang Tiang	42
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Nilai σ_{vx} dan p_{xu} pada Tiang A1 (d1-L1)	45
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Momen yang Bekerja pada Tiang A1 (d1-L1)	46
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan M_u pada Tiang A1 (d1-L1)	46
Tabel 4.5 Hasil Analisis H_{all} pada Tiang A1	47
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Nilai σ_{vx} dan p_{xu} Tiang D5 (d1-L1)	49
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Momen yang Bekerja pada Tiang D5 (d1-L1)	50
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan M_u pada Tiang A1 (d1-L1)	51
Tabel 4.9 Hasil Analisis H_{all} pada Tiang D5	51
Tabel 4.10 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang A1 (d1-L1)	55
Tabel 4.11 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang A1 (d1-L2)	55
Tabel 4.12 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang A1 (d1-L3)	55
Tabel 4.13 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang A1 (d2-L1)	58
Tabel 4.14 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang A1 (d2-L2)	58
Tabel 4.15 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang A1 (d2-L3)	58
Tabel 4.16 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang A1 (d3-L1)	61
Tabel 4.17 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang A1 (d3-L2)	61
Tabel 4.18 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang A1 (d3-L3)	61
Tabel 4.19 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang D5 (d1-L1)	64
Tabel 4.20 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang D5 (d1-L2)	65
Tabel 4.21 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang D5 (d1-L3)	65
Tabel 4.22 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang D5 (d2-L1)	67
Tabel 4.23 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang D5 (d2-L2)	68
Tabel 4.24 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang D5 (d2-L3)	68
Tabel 4.25 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang D5 (d3-L1)	70
Tabel 4.26 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang D5 (d3-L2)	71
Tabel 4.26 Hasil Luaran <i>Allpile</i> untuk Tiang D5 (d3-L3)	71
Tabel 4.28 <i>Top Deflection</i> Tiang Pancang	73
Tabel 4.29 Beban Lateral Izin Berdasarkan Defleksi Izin	76
Tabel 4.30 Perbandingan H_{all} dengan H	77
Tabel 4.31 Data Kekakuan Lentur dan <i>Top Deflection</i>	78

DAFTAR NOTASI

D_1	Diameter dalam tiang
D_2	Diameter luar tiang
E	Modulus elastisitas tiang
FS	Faktor keamanan
H	Beban lateral
H_u	Beban lateral ultimit
H_{all}	Beban lateral izin
I	Momen inersia penampang
K_c	Koefisien hubungan antara sudut geser dalam dan Z/B untuk tanah kohesi
K_q	Koefisien hubungan antara sudut geser dalam dan Z/B untuk tanah non-kohesi
k_s	Modulus <i>subgrade</i> tanah dalam arah horizontal
K_o	Koefisien tekanan tanah <i>at rest</i>
L	Panjang tiang
η_h	Konstanta modulus <i>subgrade</i>
S_u	<i>Undrained shear strength</i>
t	Tebal tiang
y	Defleksi tiang
y_t	Defleksi pada kepala tiang
Z	Kedalaman pemancangan tiang
σ'_v	Tegangan vertikal efektif tanah
ϕ	Sudut geser dalam

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran L.1 Denah Dermaga	83
Lampiran L.2 Hasil <i>Boring Log</i>	84
Lampiran L.3 Kalendering Pemancangan	86
Lampiran L.4 Hasil <i>Output Allpile</i>	88
Lampiran L.5 Hasil Analisis Tiang (Brinch Hansen)	97

