



## Kajian Bentuk Dan Kekasaran Kulit Pondasi Tiang Pancang Tunggal Vertikal Akibat Beban Lateral Pada Tanah Lempung

Frederik H. Martinus<sup>#a</sup>

<sup>\*</sup>Sekretariat Daerah Kota Bitung  
<sup>a</sup>frederik.h.m.1978@gmail.com

### Abstrak

Bangunan-bangunan dan jembatan-jembatan sering didukung oleh pondasi tiang pancang, dimana pondasi tiang pancang termasuk dalam kelompok pondasi dalam dengan kemampuan memikul beban lateral atau beban horisontal dari bangunan di atasnya. Beban lateral yang ditimbulkan dari bangunan atas itu sendiri bisa menimbulkan defleksi pada pondasi tiang pancang. Defleksi yang terjadi dari pondasi tiang pancang pada suatu bangunan itu harus bisa diperhitungkan untuk menjamin keamanan dari bangunan di atasnya. Defleksi yang terjadi pada sangat bergantung dari daya dukung pondasi itu sendiri. Berdasarkan hal tersebut maka diadakan suatu penelitian mengenai pembebanan lateral pada pondasi tiang pancang dengan variasi bentuk penampang dan kekasaran kulit pondasi tiang pancang tunggal dengan media tanah lempung. Penelitian ini sendiri bertujuan untuk mencari pengaruh dari bentuk penampang dan kekasaran kulit tiang pancang akibat pembebanan lateral yang dilaksanakan di laboratorium dan berdasarkan kajian analitis yang didukung oleh teori yang relevan dengan pembebanan lateral pada tiang pancang. Metode penentuan beban batas yang digunakan adalah Spesifikasi Praktis dan oleh Meyerhof dan Yalcin (1984) untuk pendekatan perhitungan beban batas lateral pada tiang pancang tunggal pada tanah lempung. Prosedur yang sistematis, praktis dan rasional telah dikembangkan sebagai alat bantu dalam penentuan besarnya beban lateral batas pada tiang pancang tunggal. Perbandingan antara hasil percobaan dan perhitungan analitis beban batas lateral tiang pancang tunggal, menunjukkan bahwa daya dukung lateral batas terbesar ditimbulkan oleh penampang dengan  $\alpha = 20^\circ$  - Kasar.

*Kata kunci: daya dukung, tiang pancang vertikal, bentuk, kekasaran*

### 1. Pendahuluan

Secara umum pondasi dapat didefinisikan sebagai bangunan bawah (substructure) yang mentransfer beban yang berasal dari bangunan atas (superstructure) ke tanah. Secara singkat dapat dikatakan bahwa pondasi adalah bagian dari struktur suatu bangunan yang tidak dapat dipisahkan. Sebagai bagian dari struktur yang berada dalam tanah, maka pondasi akan sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah di bawah dan di sekitarnya. Dengan adanya pondasi yang memindahkan beban dari bangunan atas ke tanah, maka stabilitas tanah dan deformasi akibat pembebanan diperkirakan masih dapat ditolerir.

Didalam pemilihan jenis pondasi maka kita akan memilih pondasi berdasarkan kondisi tanah dan jenis beban yang nantinya akan berhubungan dengan pondasi itu sendiri.

Dalam karya tulis ini akan dibahas mengenai tiang pancang sebagai salah satu pondasi dalam, dimana tiang pancang digunakan sebagai pondasi suatu bangunan dengan kasus-kasus sebagai berikut:

1. Kemampuan memikul pondasi dangkal yang tidak bisa menyalurkan beban dari bangunan atas pada tanah yang kuat, sehingga diperlukan tiang pancang untuk menyalurkan beban tersebut sampai pada kedalaman tanah keras dimana beban itu bisa dipikul.
2. Adanya pembebanan horisontal, dimana tiang pancang bisa menahan beban angin kuat dan gaya-gaya gempa yang terdapat pada struktur bangunan yang tinggi.

3. Pada kasus tanah ekspansif, dimana penggunaan tiang pancang bisa melewati daerah tanah ekspansif/mengembang sampai pada tanah yang lebih stabil untuk menahan beban.
4. Adanya gaya uplift yang terjadi pada menara transmisi, bangunan lepas pantai dan plat bangunan bawah tanah yang berada di bawah permukaan air.
5. Pada kasus pondasi jembatan yang dilewati arus sungai yang kuat sehingga terjadi erosi pada bagian abutmen jembatan, dimana akan terjadi keruntuhan jika digunakan pondasi dangkal.

Dalam karya tulis ini akan dibahas lebih lanjut mengenai point 2 (dua), yaitu pembebanan horisontal pada tiang pancang, dengan memberikan variasi pada bentuk penampang dan kekasaran kulit dari tiang pancang.

## 2. Metode dan Kegiatan

Kegiatan yang akan dilakukan :

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengadakan percobaan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado dengan mengikuti prosedur sebagai berikut

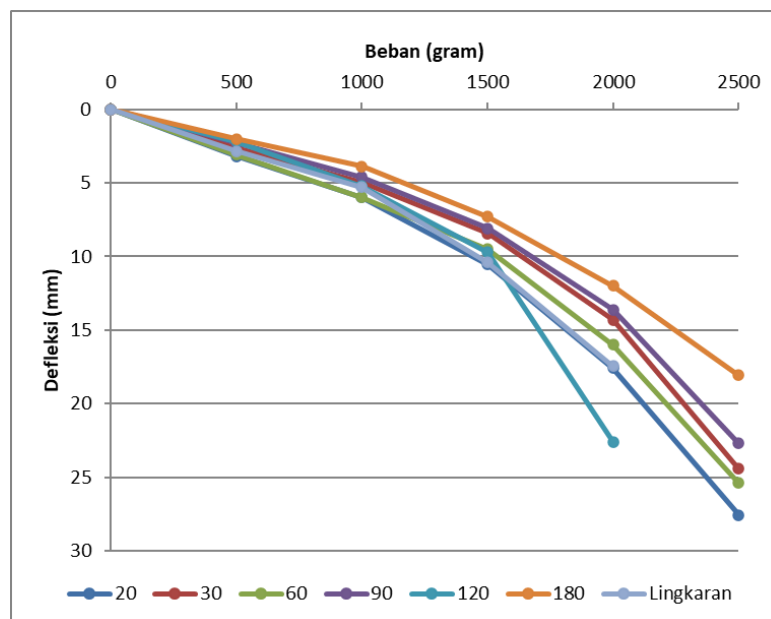
1. Pengadukan tanah dan perataan permukaan tanah dalam kotak percobaan.
2. Pemasangan tiang pancang
3. Pemasangan dial gauge (arloji ukur) dan pembebanan
4. Pengambilan sampel tanah

## 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Setelah didapat data-data hasil percobaan, maka data tersebut digunakan untuk diolah lebih lanjut menjadi bahan presentasi yang lebih mudah untuk dimengerti dan jelas dibuat ke dalam bentuk tabel-tabel dan grafik-grafik.

**Tabel 1.** Data Beban dan Defleksi Untuk Keseluruhan Tiang Pancang Licin

Beban (gr)	Defleksi Tiang Licin (mm)						Lingkaran
	20°	30°	60°	90°	120°	180°	
0	0	0	0	0	0	0	0
500	3.2	2.6	3.1	2.3	2.2	2	2.86
1000	6	5	6	4.6	5.24	3.89	5.29
1500	10.55	8.42	9.49	8.1	9.72	7.31	10.42
2000	17.6	14.3	15.98	13.6	22.58	12	17.43
2500	27.56	24.43	25.4	22.69	-	18.07	-



**Gambar 1.** Grafik Hubungan Beban dan Defleksi pada Tiang Pancang Licin

Berikut ini pembahasan terhadap hasil penelitian:

### 1. Pola Umum: Defleksi Meningkat Seiring Penambahan Beban

**Temuan penelitian:** Pada semua sudut ( $20^\circ$ – $180^\circ$  dan konfigurasi lingkaran), defleksi meningkat secara konsisten ketika beban bertambah dari 0 hingga 2500 gram.

**Kesesuaian dengan teori:** Menurut teori elastisitas dan hukum Hooke, defleksi batang akibat beban transversal mengikuti hubungan:

$$\delta \propto \frac{P}{EI}$$

di mana:

- $\delta$  = defleksi
- $P$  = beban
- $E$  = modulus elastisitas
- $I$  = momen inersia penampang

Karena  $E$  dan  $I$  konstan, maka defleksi berbanding lurus dengan beban. Data pada tabel menunjukkan pola ini secara jelas, sehingga hasil eksperimen konsisten dengan teori.

### 2. Pengaruh Sudut: Defleksi Tidak Sama pada Setiap Sudut

**Temuan penelitian:** Untuk beban yang sama, defleksi berbeda pada setiap sudut. Misalnya pada beban 2000 g:

- $20^\circ \rightarrow 17.6$  mm
- $30^\circ \rightarrow 14.3$  mm
- $60^\circ \rightarrow 15.98$  mm
- $90^\circ \rightarrow 13.6$  mm
- $120^\circ \rightarrow 22.58$  mm
- $180^\circ \rightarrow 12$  mm

**Interpretasi teoretis:** Sudut memengaruhi **komponen gaya yang bekerja pada arah defleksi**. Beban yang sama akan menghasilkan gaya efektif berbeda tergantung orientasi batang.

Secara teori:

$$P_{\text{efektif}} = P \cdot \sin(\theta)$$

atau pada beberapa konfigurasi:

$$P_{\text{efektif}} = P \cdot \cos(\theta)$$

tergantung arah pembebanan dan orientasi batang.

#### Implikasi:

- Sudut kecil ( $20^\circ$ – $30^\circ$ ) menghasilkan gaya lateral lebih besar  $\rightarrow$  defleksi lebih besar.
- Sudut  $90^\circ$  menghasilkan gaya tegak lurus maksimum  $\rightarrow$  defleksi relatif moderat.
- Sudut  $120^\circ$  menunjukkan defleksi tertinggi pada beban besar  $\rightarrow$  kemungkinan terjadi kombinasi gaya lateral + momen tambahan akibat geometri.
- Sudut  $180^\circ$  menghasilkan defleksi paling kecil  $\rightarrow$  gaya cenderung searah batang sehingga komponen lateral kecil.

Variasi defleksi antar-sudut sejalan dengan teori proyeksi gaya dan perilaku batang elastis.

### 3. Perilaku Nonlinear pada Beban Besar

**Temuan penelitian:** Pada beban 2000–2500 g, beberapa sudut menunjukkan kenaikan defleksi yang lebih besar dari proporsional, misalnya:

- $20^\circ$ : dari 17.6  $\rightarrow$  27.56 mm
- $30^\circ$ : dari 14.3  $\rightarrow$  24.43 mm
- $60^\circ$ : dari 15.98  $\rightarrow$  25.4 mm

**Interpretasi teoretis:** Pada beban besar, batang dapat mulai memasuki zona **nonlinear elastis** atau mengalami:

- efek kelangsingan (slenderness effect)
- peningkatan momen lentur
- perubahan geometri (large deflection theory)

Dalam teori defleksi besar:  $\delta$  tidak lagi linear terhadap  $P$

Sehingga kenaikan defleksi yang lebih tajam pada beban tinggi konsisten dengan teori deformasi besar.

### 4. Data Hilang pada Sudut $120^\circ$ dan Kolom Lingkaran

Pada beban 2500 g, nilai defleksi untuk sudut  $120^\circ$  dan konfigurasi lingkaran tidak tersedia.

**Interpretasi:** Kemungkinan penyebab:

- alat ukur mencapai batas maksimum
- batang mengalami ketidakstabilan (incipient buckling)
- kesulitan pengukuran karena deformasi terlalu besar

Secara teori, pada beban mendekati batas elastis, struktur dapat mengalami instabilitas, sehingga data sulit diperoleh.

#### 5. Konfigurasi Lingkaran: Defleksi Lebih Stabil

Kolom “Lingkaran” menunjukkan nilai defleksi yang relatif lebih kecil dan stabil dibandingkan sudut tertentu.

**Kesesuaian teori:** Konfigurasi lingkaran biasanya:

- mendistribusikan beban lebih merata
- memiliki momen inersia lebih besar
- lebih tahan terhadap lenturan

Dalam teori penampang:  $I_{\text{lingkaran}} > I_{\text{batang lurus tipis}}$

Sehingga defleksi lebih kecil, sesuai dengan data.

#### 6. Sintesis Keseluruhan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa:

1. **Defleksi meningkat seiring beban** → sesuai hukum Hooke dan teori lentur.
2. **Sudut memengaruhi besar defleksi** → sesuai teori proyeksi gaya dan momen.
3. **Perilaku nonlinear pada beban besar** → sesuai teori defleksi besar.
4. **Konfigurasi lingkaran lebih kaku** → sesuai teori momen inersia penampang.

Dengan demikian, hasil penelitian sangat konsisten dengan teori mekanika struktur, dengan beberapa penyimpangan kecil yang dapat dijelaskan oleh fenomena fisik nyata seperti instabilitas dan keterbatasan alat.

## 4. Kesimpulan dan Saran

### 4.1. Kesimpulan

Berikut ini adalah Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian:

1. Defleksi meningkat seiring bertambahnya beban, dan hubungan ini bersifat hampir linear pada beban rendah hingga menengah. Hal ini sesuai dengan teori elastisitas dan hukum Hooke, di mana defleksi berbanding lurus dengan gaya yang bekerja selama material masih berada dalam rentang elastis;
2. Sudut pembebanan berpengaruh signifikan terhadap besar defleksi. Variasi defleksi antar-sudut menunjukkan bahwa komponen gaya lateral berubah sesuai orientasi batang. Sudut  $20^\circ$ – $30^\circ$  menghasilkan defleksi lebih besar, sedangkan  $180^\circ$  menghasilkan defleksi paling kecil. Temuan ini konsisten dengan teori proyeksi gaya dan momen lentur;
3. Perilaku nonlinear mulai muncul pada beban besar ( $\geq 2000$  g). Kenaikan defleksi menjadi lebih tajam dibandingkan beban sebelumnya. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh teori defleksi besar, efek kelangsingan, dan potensi mendekati batas elastis material;
4. Konfigurasi lingkaran menunjukkan defleksi lebih kecil dan lebih stabil dibandingkan sudut-sudut lainnya. Hal ini sejalan dengan teori bahwa penampang melingkar memiliki momen inersia lebih besar sehingga lebih tahan terhadap lenturan;
5. Data hilang pada sudut  $120^\circ$  dan konfigurasi lingkaran pada beban 2500 g mengindikasikan kemungkinan keterbatasan alat ukur atau terjadinya deformasi besar yang sulit diukur secara akurat.

### 4.2. Saran

Berikut ini adalah saran untuk penelitian lanjutan berdasarkan hasil dari penelitian saat ini:

1. Gunakan alat ukur dengan resolusi lebih tinggi untuk mengurangi ketidakpastian pada beban besar, terutama ketika defleksi mendekati batas elastis atau terjadi deformasi besar;
2. Tambahkan variasi sudut pembebanan (misalnya  $10^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $150^\circ$ ) untuk mendapatkan kurva hubungan sudut–defleksi yang lebih komprehensif dan dapat digunakan untuk pemodelan matematis;

3. Lakukan pengujian material (uji tarik atau uji lentur) untuk mengetahui nilai modulus elastisitas (E) dan momen inersia (I) secara pasti, sehingga analisis teoritis dapat dibandingkan secara kuantitatif dengan hasil eksperimen;
4. Gunakan metode analisis numerik seperti FEM (Finite Element Method) untuk memvalidasi pola defleksi dan mempelajari perilaku nonlinear pada beban besar;
5. Perbaiki sistem penyangga dan pengunci sudut agar orientasi batang benar-benar stabil, sehingga variasi defleksi antar-sudut tidak dipengaruhi oleh kesalahan mekanis;
6. Lakukan pengulangan percobaan (repeatability test) untuk memastikan konsistensi data dan mengurangi pengaruh kesalahan eksperimental.

## Referensi

- Bowles, J. E., 1984, "Foundation Analysis and Design, Third Edition", Singapur, McGraw-Hill International Book Company
- Das, B. M., 1990, "Principles Of Foundation Engineering, Second Edition", Boston, PWS Publishing Company
- Das, B. M., 1994, "Principles Of Geotechnical Engineering, Third Edition", Boston, PWS Publishing Company
- HS, Sardjono, 1984, "Pondasi Tiang Pancang, Jilid I", Surabaya, Sinar Wijaya
- Jumikis, A. R., 1967, "Introduction To Soil Mechanics", New Jersey, D. Van Nostrand Company, Inc.
- Meyerhof, G. G., dan Sastry, V. V. R. N., 1985, "Bearing Capacity of Rigid Piles Under Eccentric and Inclined Load", Can. Geotech Journal, Vol. 22, hal. 267-276
- Meyerhof, G. G., Sastry, V. V. R. N., dan Yalcin, A. S., 1988, "Lateral Resistance and Deflection Of Flexible Piles", Can. Geotech Journal, Vol.25, hal. 511-522
- Meyerhof, G. G., Mathur, S. K. dan Valsangkar, A. J., 1981, "Lateral Resistance and Deflection of rigid walls and piles in layered soils", Can. Geotech Journal, Vol.18, hal. 159 - 170