

## Kapasitas Tiang Tunggal pada Tanah Lempung Berdasarkan Hasil Uji Model Fisik

\*Aazokhi Waruwu<sup>1</sup>, Rika Deni Susanti<sup>2</sup>, Doni Samuel Simbolon<sup>3</sup>, Dinda Wulan Asfira<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan, <sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Amir Hamzah, <sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Medan  
\*)[azokhiw@gmail.com](mailto:azokhiw@gmail.com)

Received: ..... Revised: ..... Accepted: .....

### Abstract

*Soft clay soil as a construction subgrade requires reinforcement from pile to reduce settlement and increase bearing capacity. Alternative materials that can be used are the bamboo pile or wooden pile. The purpose of this study is to find out how much the bearing capacity of the pile is compared to concrete pile. The research was conducted through physical model tests in the laboratory. Piles with a diameter of 2 cm with different lengths are driven into the soft clay and then tested using load plates. Single pile capacity is determined from the relationship between the load and the settlement. The results showed that the capacities of bamboo and wooden pile were 1.193 and 1.086 times higher than the capacity of concrete pile, respectively. This can be caused because concrete pile has a greater weight than bamboo pile and wooden pile. The weight of the concrete increases the load, so the settlement is the higher and the pile capacity is lower. Pile lengths that produce more effective capacities are obtained for piles with a minimum depth of 3/5 of the thickness of the soft clay.*

**Keywords:** Pile capacity, bamboo, wooden, concrete, soft clay.

### Abstrak

*Tanah lempung lunak sebagai tanah dasar konstruksi memerlukan perkuatan berupa tiang-tiang untuk mengurangi penurunan dan meningkatkan daya dukung. Material alternatif yang dapat digunakan dapat berupa tiang bambu atau tiang kayu. Tujuan kajian ini untuk mengetahui seberapa besar kapasitas dukung tiang-tiang ini dibandingkan dengan tiang beton. Penelitian dilakukan melalui uji model fisik di laboratorium. Tiang berdiameter 2 cm dengan panjang yang berbeda-beda dipancang ke dalam lempung untuk kemudian diuji menggunakan pelat-pelat beban. Kapasitas tiang tunggal ditentukan dari hubungan beban dengan penurunan tiang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas tiang bambu dan tiang kayu masing-masing lebih tinggi 1,193 dan 1,086 kali kapasitas tiang beton. Hal ini dapat disebabkan karena tiang beton memiliki berat yang lebih besar daripada tiang bambu dan tiang kayu. Berat beton meningkatkan beban, sehingga penurunan semakin tinggi dan kapasitas tiangnya semakin rendah. Panjang tiang yang menghasilkan kapasitas yang lebih efektif didapatkan pada tiang-tiang dengan kedalaman minimum 3/5 dari ketebalan tanah lempung lunak.*

**Kata kunci:** Kapasitas tiang, bambu, kayu, beton, lempung lunak

### Pendahuluan

Tanah lunak merupakan bagian dari tanah kohesif yang terdiri dari sebagian besar dengan ukuran butir lebih kecil dari 0,075 mm. Tanah lempung lunak dan gambut dapat dikategorikan sebagai tanah lunak (Darmawandi *et al.*, 2020). Sifat tanah lunak adalah gaya gesernya kecil, penurunannya tinggi, kemampatannya besar, dan daya dukungnya

rendah jika dibandingkan dengan tanah lainnya (Alawiah & Yakin, 2016). Tanah lunak sering dijumpai pada tanah dasar jalan, hal ini dapat menjadi masalah dalam meningkatkan kinerja perkerasan jalan. Tiang pancang dapat menjadi solusi alternatif dalam mengurangi penurunan akibat beban kendaraan (Setiawan *et al.*, 2020).

Pondasi tiang merupakan bagian struktur yang mempunyai fungsi untuk meneruskan beban pada tanah yang lebih keras. Penggunaan pondasi tiang pancang pada suatu konstruksi dipilih apabila tanah dasar tidak memiliki daya dukung yang cukup dalam memikul beban-beban yang ada. Berdasarkan material yang digunakan, tiang pancang dibedakan menjadi tiang pancang kayu, tiang pancang beton, tiang pancang baja, dan tiang pancang komposit. Selain material-material ini, material bambu dapat menjadi alternatif untuk digunakan sebagai cerucuk pada tanah lunak.

Menurut Hardiyatmo (2010), pondasi tiang dapat dibagi menjadi dua macam ditinjau dari cara mendukung beban, antara lain tiang dukung ujung (*end bearing pile*) dan tiang gesek (*friction pile*). Sistem pondasi tiang merupakan cara yang efektif untuk mendukung pembebanan dan mereduksi penurunan (Meyer & Shao, 2005).

Salah satu metode alternatif pemecahan masalah terhadap penurunan dan daya dukung tanah yang rendah adalah penggunaan perkuatan tanah. Sistem perkuatan dari kombinasi tiang tiang dengan grid bambu memberikan perbaikan pada daya dukung dan penurunan tanah (Waruwu *et al.*, 2021). Cerucuk merupakan perkuatan tanah lunak yang dapat meningkatkan daya dukung tanah dengan memberikan kontribusi yang cukup besar dalam menahan beban konstruksi di atasnya. Ukuran panjang tiang cerucuk berpengaruh pada perubahan penurunan dan faktor keamanan (Setiawan *et al.*, 2020).

Material tiang yang digunakan umumnya terbuat dari material beton, namun untuk mengurangi ketergantungan dari material penyusun beton, maka perlu dicari alternatif dari bahan yang mudah didapat dan ramah lingkungan seperti material bambu dan tiang kayu bakau (Waruwu & Pardosi, 2021; Waruwu & Silalahi, 2022). Bambu merupakan material bangunan yang murah, mudah diperoleh, dan mudah dikerjakan serta ramah lingkungan karena merupakan material alami yang dapat diperbarui. Tanah lunak yang diperkuat dengan kombinasi material bambu dan geotekstil sebagai pemisah antara tanah lunak dengan timbunan, memperlihatkan hasil penurunan lebih kecil daripada perkuatan dengan material geotekstil (Marto & Othman, 2011).

Tiang pancang atau cerucuk adalah tipe pondasi yang banyak digunakan pada lapisan tanah lunak terutama untuk pekerjaan timbunan pada pembangunan jalan dan konstruksi lainnya. Cerucuk kayu dan bambu banyak dipakai untuk meningkatkan daya dukung pondasi dan mereduksi penurunan yang akan terjadi, karena memiliki

beberapa kelebihan di antaranya biaya yang relatif murah, material yang mudah didapat di sekitar lokasi pekerjaan, pelaksanaannya tidak rumit, pekerjaannya mudah dikontrol, dan pemancangan yang singkat. Tiang bambu berpotensi dalam meningkatkan daya dukung dan mereduksi penurunan akibat beban timbunan (Maulana *et al.*, 2018).

Bambu mempunyai kekuatan tarik dua kali lebih besar dibandingkan dengan kayu, sedangkan kuat tekannya 10 % lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tekan kayu (Krisdianto & Ismanto, 2000). Menurut (Suroso *et al.*, 2008), semakin besar diameter cerucuk yang digunakan secara umum menghasilkan peningkatan daya dukung yang cukup baik, bahkan cerucuk dengan diameter 1 cm ke 1,5 cm dengan panjang 20 cm memberikan peningkatan daya dukung sebesar 57,5%.

Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2010). Kapasitas tiang dapat diketahui dari hasil analisis data-data uji tanah di laboratorium maupun data lapangan. Data lapangan yang sering digunakan adalah data SPT dan data sondir, namun hasil uji PDA merupakan data yang cukup handal dalam menentukan nilai kapasitas tiang pancang di lapangan (Santoso & Hartono, 2020). Menurut (Alawiah & Yakin, 2016), kapasitas tiang dapat ditentukan dari hasil uji beban statis di lapangan. Perkiraan kapasitas tiang ditentukan dari hubungan beban dengan penurunan (Simanjorang *et al.*, 2019; Pham *et al.*, 2020).

Kapasitas tiang dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan hasil uji beban di laboratorium. Pengujian skala kecil dengan pemodelan uji beban pada pondasi tiang dengan variasi panjang tiang dari material bambu, kayu, dan beton sebagai pembanding. Penelitian ini merupakan penelitian skala kecil melalui uji model laboratorium yang dilakukan dengan uji pembebanan terhadap model pondasi tiang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan perilaku hubungan beban dengan penurunan pada jenis material tiang yang berbeda, untuk mengetahui kapasitas tiang tunggal, dan untuk mengetahui peningkatan kapasitas tiang pada tanah lempung lunak.

## Metode

Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Desa Pematang Biara, Kecamatan Pantai Labu, Kabupaten Deli Serdang. Sampel yang diambil terdiri dari terganggu (*disturbed*) dan tidak terganggu (*undisturbed*). Sampel tanah dibawa ke laboratorium untuk disiapkan sebagai

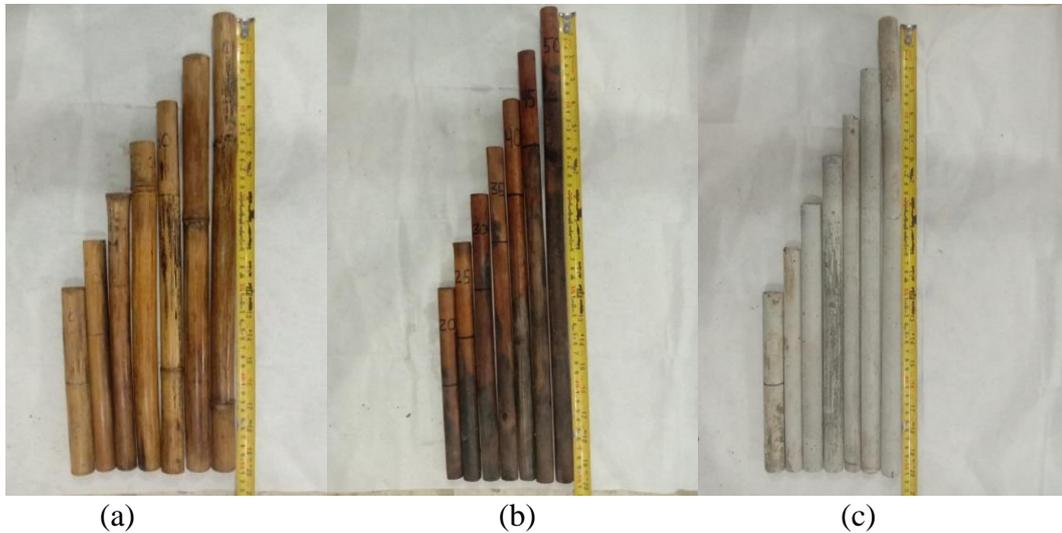
media utama dalam pelaksanaan penelitian ini. Material untuk tiang terdiri dari bambu, kayu, dan beton. Material bambu diambil dari Desa Selambo, Kecamatan Medan Amplas, sedangkan kayu jenis kayu bakau diambil dari Belawan Medan, Sumatera Utara.

Material bambu dan kayu dibentuk dan dipotong sedemikian, sehingga menghasilkan panjang 10 cm, 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. Tiang-tiang yang digunakan selalu dilebihkan sekitar 10 cm supaya ada bagian tiang yang muncul di atas permukaan tanah. Selain material tersebut, dalam penelitian ini juga dibuat tiang dari bahan beton dengan campuran 1 semen : 2 pasir yang dicetak ke dalam pipa berdiameter 1 inchi atau sekitar 2 cm dengan panjang yang sama dengan tiang bambu dan kayu (Gambar 1).

Tanah dipadatkan setiap 10 cm dengan kepadatan dan kadar air mengikuti kondisi tanah asli dari lapangan. Tanah lunak dipadatkan sampai kedalaman 50 cm dalam bak uji yang berukuran

panjang 120 cm x 90 cm x 90 cm. Tiang-tiang dipancang ke dalam tanah sesuai kedalaman dari masing-masing tiang dan penempatan jarak tiang yang ideal. *Frame* beban di-*setting* di atas ujung tiang dan diteruskan dengan penambahan beban-beban pelat sampai tanah di sekitar tiang mengindikasikan keruntuhan.

Setiap penambahan beban dilakukan pembacaan dial deformasi secara vertikal termasuk penurunan akibat berat *frame* di awal diperhitungkan sebagai beban awal. *Frame* beban diletakkan di ujung tiang yang dilebihkan sekitar 10 cm di atas permukaan tanah. Tahapan pembacaan penurunan adalah setiap 1 menit sampai menunjukkan penambahan penurunan 0,01 mm/menit, kemudian dilakukan penambahan beban berikutnya sampai penurunan memperlihatkan keruntuhan sebagai dasar pertimbangan dalam menentukan kapasitas tiang. *Setting* pengujian dalam bak uji diperlihatkan pada Gambar 2.



(a) (b) (c)  
Gambar 1. Benda uji tiang: (a) Tiang bambu; (b) Tiang kayu; (c) Tiang kayu



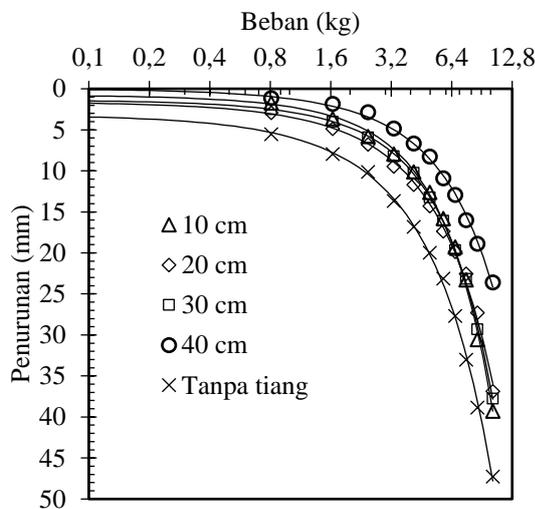
Gambar 2. Uji model tiang dalam bak uji

## Hasil dan Pembahasan

### Hasil uji beban pada tiang

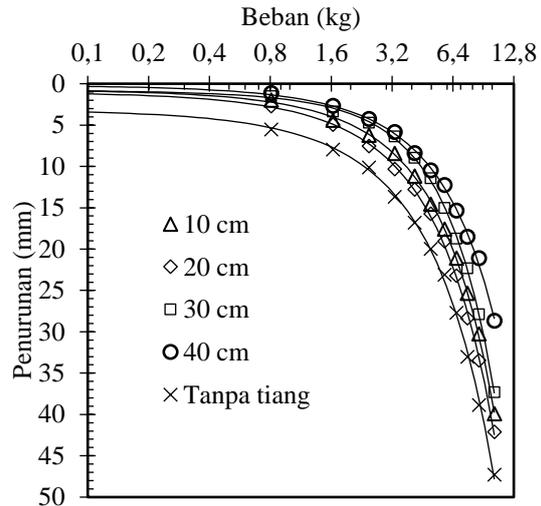
Hasil uji beban pada tiang bambu diperlihatkan pada Gambar 3. Hasil uji beban memperlihatkan hubungan beban dengan penurunan akibat beban yang bekerja. Penurunan terlihat signifikan pada beban di atas 3,2 kg dan beban maksimum berhenti pada angka sekitar 10 kg. Penggunaan tiang dapat memperkecil penurunan, tiang-tiang yang lebih panjang memperlihatkan penurunan yang semakin kecil.

Hasil uji pada tiang bambu terlihat bahwa tiang dengan panjang 10-30 cm menunjukkan hasil yang hampir sama, sedangkan tiang dengan panjang 40 cm memperlihatkan penurunan yang jauh lebih kecil. Hal ini menunjukkan efektifitas tiang dalam hal memperkecil penurunan dan memperbesar kapasitas dukung.



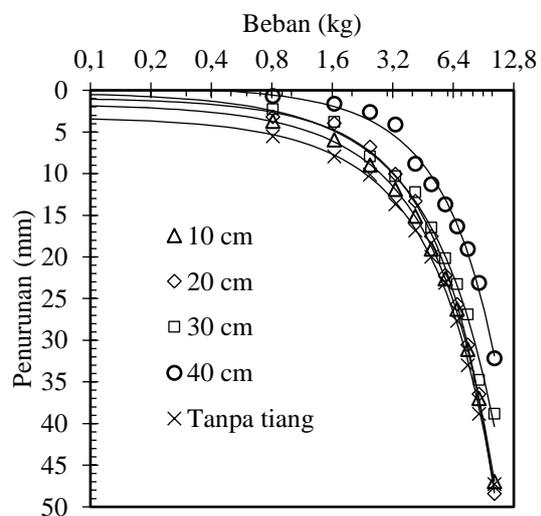
Gambar 3. Hasil uji tiang bambu

Hasil uji beban pada tiang kayu diperlihatkan pada Gambar 4. Perilaku hubungan antara beban dengan penurunan pada hasil uji beban untuk tiang kayu memperlihatkan pola yang hampir sama dengan hubungan antara beban dengan penurunan pada hasil uji beban untuk tiang bambu. Hal yang membedakan adalah bahwa hasil uji beban pada tiang dengan panjang 10 cm memperlihatkan pola yang hampir sama dengan tiang dengan panjang 20 cm, sedangkan tiang dengan panjang 30 cm dan 40 cm memperlihatkan penurunan yang lebih kecil dan kapasitas dukung tiang yang semakin meningkat. Dengan demikian tiang kayu dengan panjang > 30 cm memperlihatkan pengaruh yang signifikan dalam mereduksi penurunan dan memperbesar kapasitas dukung.



Gambar 4. Hasil uji tiang kayu

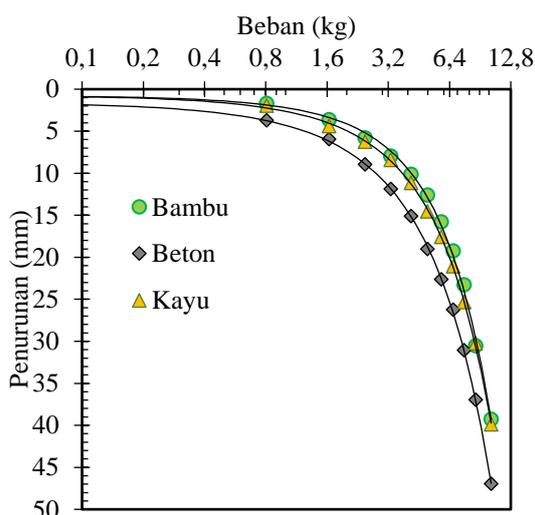
Hasil uji beban pada tiang beton diperlihatkan pada Gambar 5. Pola hubungan beban dengan penurunan pada tiang beton menunjukkan perilaku yang sama pada tiang bambu dan kayu. Hasil uji beban pada tiang dengan panjang 10-30 cm terlihat memberikan pengaruh yang cukup kecil terhadap reduksi penurunan dan peningkatan kapasitas dukung tiang. Hal berbeda didapatkan dari hasil uji beban pada tiang dengan panjang 40 cm, tiang ini cukup memberikan pengaruh yang baik pada reduksi penurunan dan peningkatan kapasitas dukung tiang.



Gambar 5. Hasil uji tiang beton

### Perbandingan hasil uji tiang dengan material yang berbeda

Perbandingan hasil uji tiang dengan panjang 10 cm dapat dilihat pada Gambar 6. Perilaku hubungan beban dengan penurunan pada tiang bambu hampir sama dengan tiang kayu, sedangkan tiang beton memperlihatkan penurunan yang relatif lebih besar. Kekuatan tiang bambu dan kayu dalam menahan beban relatif lebih baik dibandingkan dengan tiang beton, hal ini disebabkan karena tiang beton memberikan tambahan beban akibat berat sendiri yang lebih tinggi dibandingkan dengan tiang bambu dan tiang kayu. Beban yang lebih tinggi akan mengakibatkan penurunan yang semakin tinggi pula.

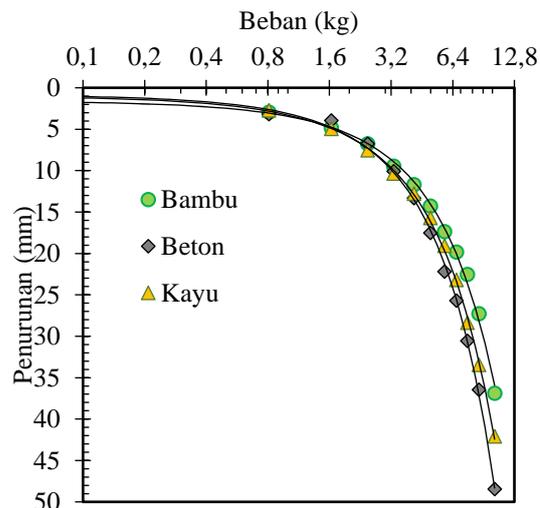


Gambar 6. Perbandingan hasil uji tiang dengan panjang 10 cm

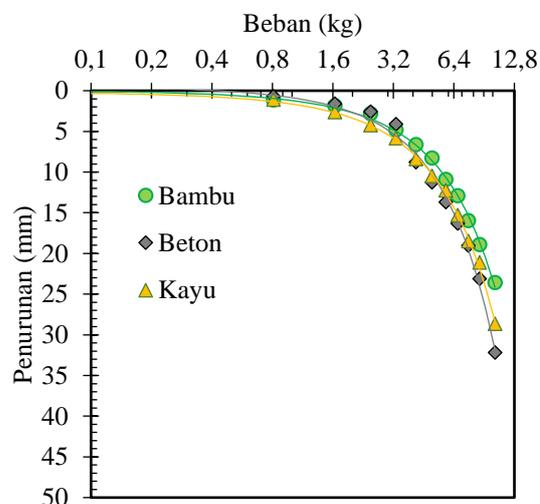
Perbandingan hasil uji tiang dengan panjang 20 cm dapat dilihat pada Gambar 7. Perilaku hubungan beban dengan penurunan pada tiang dengan panjang 20 cm memperlihatkan pola yang berbeda satu sama lainnya. Hal ini ditunjukkan dari penurunan pada tiang bambu lebih kecil daripada tiang kayu dan penurunan pada tiang beton. Tiang dengan panjang 20 cm mulai memperlihatkan pengaruh dari berat tiang terhadap penurunan. Tiang-tiang yang lebih berat dapat meningkatkan beban yang bekerja sehingga penurunan semakin tinggi.

Perbandingan hasil uji tiang dengan panjang 40 cm dapat dilihat pada Gambar 8. Pengaruh berat tiang yang semakin tinggi diperlihatkan pada tiang dengan panjang 40 cm. Pola hubungan beban dengan penurunan pada tiang dengan panjang 40 cm menunjukkan pola yang hampir sama dengan tiang-tiang panjang 20 cm (Gambar 7). Tiang-tiang yang lebih ringan dapat mengurangi beban,

sehingga penurunan semakin kecil dan kapasitas tiang semakin tinggi.



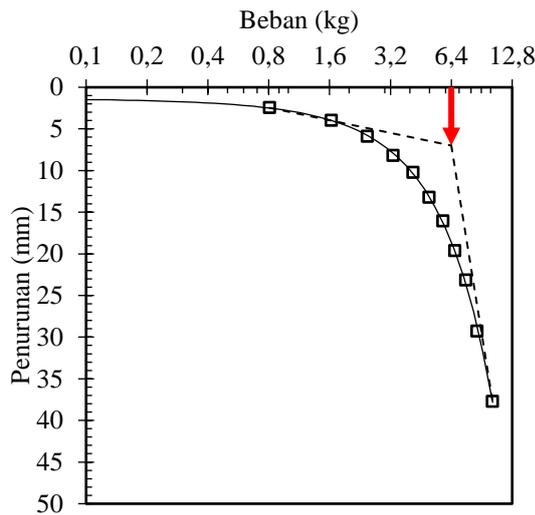
Gambar 7. Perbandingan hasil uji tiang dengan panjang 20 cm



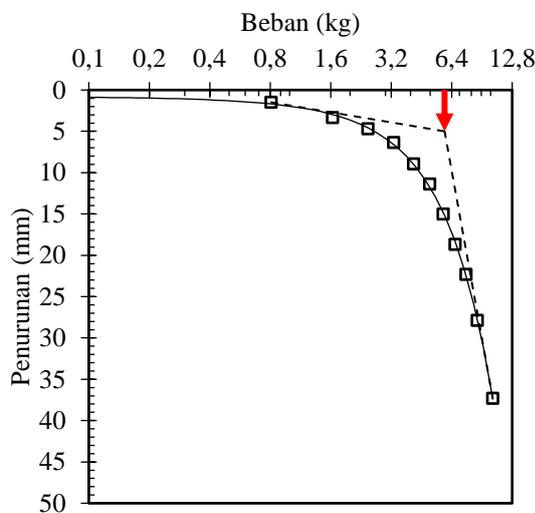
Gambar 8. Perbandingan hasil uji tiang dengan panjang 40 cm

### Kapasitas tiang tunggal

Cara menentukan kapasitas tiang untuk tiang bambu dengan panjang 30 cm dapat dilihat pada Gambar 9, untuk tiang kayu dengan panjang 30 cm dapat dilihat pada Gambar 10, tiang beton dengan panjang 30 cm dapat dilihat pada Gambar 11. Prosedur yang digunakan adalah dengan menerapkan beban secara bertahap. Setiap tahapan, beban ditahan secara konstan sampai didapatkan penurunan berhenti atau mendekati 0,01 mm setiap 1 menit. Dalam hal ini didapatkan penurunan maksimum yang tercapai setiap tahapan beban. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan keseimbangan yang sesungguhnya antara beban dan penurunan.



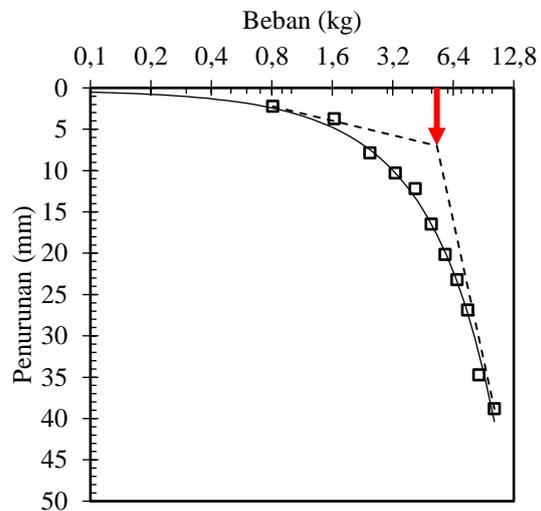
Gambar 9. Kapasitas tiang bambu dengan panjang 30 cm



Gambar 10. Kapasitas tiang kayu dengan panjang 30 cm

diuraikan dalam Tabel 1. Kapasitas tiang tunggal dipengaruhi oleh jenis material tiang yang digunakan. Setiap material memiliki berat isi yang berbeda-beda, berat isi material bambu lebih ringan daripada tiang kayu, demikian berat isi tiang kayu lebih ringan daripada tiang beton. Akan tetapi untuk pelat beton yang diperkuat tiang, terlihat bahwa kombinasi pelat dengan tiang beton memberikan kapasitas dukung yang lebih baik dari material bambu dan kayu (Waruwu & Pardosi, 2021).

Tiang yang lebih berat memberikan tambahan beban, sehingga mengakibatkan penurunan yang lebih besar dan pada akhirnya kapasitas dukung tiang tunggal semakin kecil. Hal ini dapat menjadi faktor yang mempengaruhi kapasitas tiang beton lebih kecil daripada tiang kayu dan tiang bambu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tiang bambu yang lebih ringan daripada material lainnya menghasilkan kapasitas dukung tiang yang lebih tinggi. Kapasitas dukung tiang bambu lebih tinggi 1,193 kali tiang beton dan 1,086 kali tiang kayu, sedangkan kapasitas tiang kayu lebih tinggi 1,099 kali tiang beton.



Gambar 11. Kapasitas tiang beton dengan panjang 30 cm

Hasil pencatatan penetrasi atau penurunan dengan beban tekan digunakan untuk membentuk grafik hubungan beban dengan penurunan. Hasil plot beban dibuat dengan skala log untuk memperoleh grafik dengan pola yang baik. Kapasitas dukung tiang diperoleh dari perpotongan dari kedua garis linier yang merupakan garis singgung yang ditarik dari bagian awal kurva dan bagian akhir kurva dari hubungan beban dan penurunan awal.

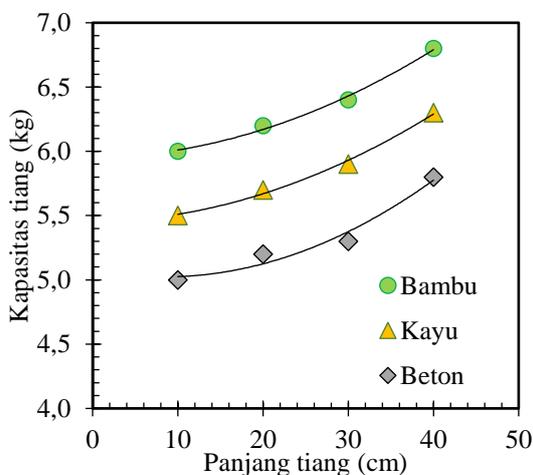
Kapasitas dukung tiang tunggal untuk tiang bambu ukuran panjang 30 cm, tiang kayu, dan beton dengan ukuran panjang yang sama diperoleh berturut-turut sebesar 6,4 kg, 5,9 kg, dan 5,3 kg. Hasil analisis kapasitas tiang tunggal selengkapnya

Tabel 1. Kapasitas tiang tunggal

Panjang tiang (cm)	Kapasitas tiang tunggal (kg)		
	Tiang bambu	Tiang kayu	Tiang beton
0	5	5	5
10	6	5,5	5
20	6,2	5,7	5,2
30	6,4	5,9	5,3
40	6,8	6,3	5,8

### Pengaruh panjang tiang terhadap kapasitas tiang tunggal

Pengaruh panjang tiang terhadap peningkatan kapasitas tiang tunggal dapat dilihat pada Gambar 12. Ukuran diameter tiang yang sama akan tetapi panjang yang berbeda memberikan pengaruh pada kapasitas tiang tunggal. Tiang yang lebih panjang memperlihatkan peningkatan yang baik pada kapasitas tiang baik tiang bambu, kayu maupun tiang beton. Hal yang sama didapatkan pada hasil uji kapisitas tiang kayu dan tiang beton, kapasitas rata-rata tiang kayu lebih tinggi 1,024 dibandingkan tiang beton (Naibaho & Waruwu, 2021). Pengaruh panjang tiang yang signifikan didapatkan pada rasio panjang tiang dengan tebal lapisan tanah minimal 0,3 (Waruwu *et al.*, 2021). Menurut Yusuf & Aryanto (2011), penambahan Panjang tiang perkuatan sebesar 33% dapat meningkatkan kapasitas tiang sampai 17%.



**Gambar 12. Hubungan Panjang tiang dengan kapasitas tiang**

Persentase peningkatan kapasitas tiang tunggal akibat perubahan panjang dan jenis material dapat dilihat dalam Tabel 2. Peningkatan kapasitas dukung tiang didapatkan untuk tiang bambu, kayu, dan beton secara berurutan sebesar 27%, 17%, dan 7%. Tetapi kombinasi pelat beton dengan tiang memberikan hasil yang berbeda, pelat dengan tiang beton, kayu dan bambu peningkatan kapasitas dukung didapatkan masing-masing 25%, 22%, dan 20% (Waruwu & Pardosi, 2021).

Tiang yang lebih panjang menambah tahanan gesek antar tiang dengan tanah, sedangkan tahanan ujungnya tetap karena memiliki diameter yang sama. Apabila tahanan gesek meningkat, maka kapasitas tiang tunggal juga akan meningkat.

Menurut Saddek *et al.* (2018), dinding dari material tiang memberikan pengaruh pada peningkatan kapasitas gesek tiang. Kekasaran dinding tiang ikut berkontribusi dalam meningkatkan kapasitas gesek tiang. Seperti diketahui bahwa kapasitas tiang tunggal merupakan penjumlahan dari kapasitas gesek dan kapasitas ujung tiang. Kapasitas gesek dipengaruhi oleh luas selimut tiang, sedangkan kapasitas ujung dipengaruhi oleh luas ujung tiang. Selain panjang tiang, jarak antar tiang pada kelompok tiang berpengaruh pada peningkatan kapasitas tiang (Kurniawan *et al.*, 2020).

**Tabel 2. Peningkatan kapasitas tiang tunggal**

Panjang tiang (cm)	Peningkatan kapasitas tiang tunggal (%)		
	Tiang bambu	Tiang kayu	Tiang beton
10	20	10	0
20	24	14	4
30	28	18	6
40	36	26	16
Rata-rata	27	17	7

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan terkait kapasitas tiang tunggal berdasarkan hasil uji model fisik di laboratorium. Tinjauan pada pola hubungan beban dengan penurunan didapatkan bahwa tiang dengan panjang minimum 30 cm atau 3/5 dari tebal lapisan tanah dapat menghasilkan penurunan yang relatif lebih kecil dan peningkatan kapasitas dukung yang relatif lebih baik. Tiang-tiang yang lebih ringan seperti bambu dan kayu dapat mengurangi beban, sehingga penurunan semakin kecil dan kapasitas tiang semakin tinggi. Kapasitas dukung tiang dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan, kapasitas dukung tiang bambu lebih tinggi 1,193 kali tiang beton dan 1,086 kali tiang kayu, sedangkan kapasitas tiang kayu lebih tinggi 1,099 kali tiang beton. Secara keseluruhan kapasitas dukung tiang bambu lebih baik dari material lainnya, ini dapat disebabkan bahwa material kayu dan beton memiliki berat yang lebih tinggi daripada tiang bambu sehingga kapasitas tiang netto tiang bambu menjadi lebih tinggi. Panjang tiang berpengaruh pada peningkatan tahanan gesek tiang, tiang yang lebih panjang menghasilkan kapasitas dukung tiang yang lebih tinggi. Peningkatan kapasitas dukung tiang didapatkan untuk tiang bambu, kayu, dan beton secara berurutan sebesar 27%, 17%, dan 7%. Dengan demikian tiang bambu dan kayu

menghasilkan peningkatan kapasitas tiang yang lebih baik daripada tiang beton.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada laboran yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini dan pihak lain yang berkontribusi baik dalam pengadaan material maupun membantu dalam analisis data yang diperlukan dalam penulisan artikel ini.

## Daftar Pustaka

- Alawiah, W. A., & Yakin, Y. A. (2016). Analisis daya dukung tiang tunggal statik pada tanah lunak di Gedebage. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 2(3), 135–146.
- Darmawandi, A., Waruwu, A., Halawa, T., Harianto, D., & Muammar. (2020). Karakteristik Tanah Lunak Sumatera Utara Berdasarkan Pengujian Kuat Tekan Bebas. *Semnastek UISU*, 1, 16–20.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian II*. Gadjah Mada University Press.
- Krisdianto, G. S., & Ismanto, A. (2000). *Sari Hasil Penelitian Bambu*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Kurniawan, R., Sitepu, A. R. H., & Syuhada, S. (2020). Studi Numerik Pengaruh Jarak dan Konfigurasi Kelompok Tiang Terhadap Daya Dukung Aksial Tekan Fondasi Dalam. *Fropil*, 8(1), 25–35.
- Marto, A., & Othman, B. A. (2011). The Potential Use of Bamboo as Green Material for Soft Clay Reinforcement System. *Proceedings of the International Conference on Environmental Science and Engineering*, 8, 129–133.
- Maulana, Azwar, Susanti, R. D., & Waruwu, A. (2018). Potential of Bamboo Pile as Reinforcement of Peat Soil under Embankment. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(1), 52–56.
- Meyer, R. V., & Shao, Y. (2005). Geogrid-Reinforced and Pile-Supported Roadway Embankment. *GSP 131 Contemporary Issues in Foundation Engineering*, 1–13.
- Naibaho, A. G., & Waruwu, A. (2021). Kajian Kapasitas Kelompok Tiang pada Tanah Lunak Menggunakan Skala Kecil Laboratorium. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(2), 179–186.
- Pham, T. A., Ly, H. B., Tran, V. Q., Giap, L. Van, Vu, H. L. T., & Duong, H. A. T. (2020). Prediction of Pile Axial Bearing Capacity Using Artificial Neural Network and Random Forest. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(5), 1–21.
- Saddek, F., Muhadi, M., & Fatnanta, F. (2018). Analisis Daya Dukung pada Tanah Gambut dan Lanau Menggunakan Cerucuk Kayu Mahang. *Jom FTEKNIK*, 5(1), 1–13.
- Santoso, H. T., & Hartono, J. (2020). Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT dan Pengujian Dinamis. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 4(1), 31–38.
- Setiawan, B., Dananjaya, R. H., & Fathurrahman, M. (2020). Pengaruh Perkuatan Tiang Terhadap Stabilitas Timbunan di atas Tanah Lunak Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, 3(2), 54–60.
- Simanjanrang, D. N. B., Waruwu, A., Susanti, R. D., & Panjaitan, S. R. N. (2019). Uji Kapasitas Tiang Bambu dan Tiang Beton pada Tanah Gambut. *Seminar Nasional ...*, 178–182.
- Suroso, Harimurti, & Harsono, M. (2008). Alternatif Perkuatan Tanah Lempung Lunak (Soft Clay), Menggunakan Cerucuk dengan Variasi Panjang dan Diameter Cerucuk. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 2(1), 47–61.
- Waruwu, A., & Pardosi, S. Y. (2021). Pengaruh Tiang Terhadap Kapasitas Dukung Pelat dan Modulus Reaksi Tanah-Dasar pada Tanah Gambut. *Jurnal Saintis*, 21(02), 79–86.
- Waruwu, A., & Silalahi, M. T. (2022). Kajian Jarak Tiang Perkuatan pada Tanah Gambut. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 8(1), 1–10.
- Waruwu, A., Susanti, R. D., Napitupulu, N., & Sihombing, J. O. (2021). The Combination of Bamboo Grid and Concrete Pile as Soil Reinforcement under The Embankment. *Magazine of Civil Engineering*, 106(6).
- Yusuf, M., & Aryanto, A. (2011). Kajian Pengaruh Konfigurasi Kelompok Tiang Terhadap Daya Dukung Tanah untuk Perkuatan Fondasi Jalan di Tanah Gambut. *Jurnal Teknik Sipil Untan*, 11(1), 53–64.