

Available online at www.jurnal.abulyatama.ac.id/tekniksipil
ISSN 2407-9200 (Online)

Universitas Abulyatama Jurnal Teknik Sipil Unaya



Kajian Jarak Tiang Perkuatan pada Tanah Gambut

Aazokhi Waruwu^{*1}, Maruly Tua Silalahi²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Medan, Medan, 20217, Indonesia.

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Medan, Medan, 20217, Indonesia.

*Email korespondensi: azokhiw@gmail.com¹

Diterima Agustus 2021; Disetujui Desember 2021; Dipublikasi Januari 2022

Abstract: Peat soil are widespread and often found in infrastructure development, even though this type of soil has problems with low bearing capacity and high settlement. The use of reinforcing piles has the opportunity to increase bearing capacity and reduce settlement, but it is necessary to study how much spacing between piles gives good results in improving bearing capacity and reducing settlement. The research was conducted through experimental model testing in the laboratory. Reinforcement piles made of concrete and bamboo with a length of 25 cm were installed with spacing of 5-20 cm in peat soil. The load test was conducted on a slab measuring 40 cm x 40 cm without and with pile reinforcement. The results showed that the spacing of the reinforcing piles had an effect on increasing the bearing capacity and reducing the settlement. A good effect is found on the piles with a spacing of 5 cm or a ratio of spacing to diameter (s/d) of 2.5. The performance of concrete piles is better than that of bamboo piles. Tighter piles increase soil density and system stiffness, so the soil and pile work together to accept the load and reduce settlement.

Keywords: peat, concrete pile, bamboo pile, bearing capacity, settlement.

Abstrak: Tanah gambut tersebar luas dan sering dijumpai pada pembangunan infrastruktur, padahal jenis tanah ini memiliki masalah daya dukung rendah dan penurunan yang tinggi. Penggunaan tiang-tiang perkuatan berpeluang dalam meningkatkan daya dukung dan mengurangi penurunan, namun perlu kajian seberapa besar jarak antar tiang yang memberikan hasil yang baik dalam memperbaiki daya dukung dan mereduksi penurunan. Penelitian dilakukan melalui uji model eksperimental di laboratorium. Tiang-tiang perkuatan dari bahan beton dan bambu dengan panjang 25 cm dipancang dengan jarak 5-20 cm dalam tanah gambut. Uji beban dilakukan di atas pelat berukuran 40 cm x 40 cm tanpa dan dengan perkuatan tiang. Hasil penelitian menunjukkan jarak tiang-tiang perkuatan berpengaruh dalam meningkatkan kapasitas dukung dan mengurangi penurunan. Pengaruh yang baik ditemukan pada tiang-tiang dengan jarak 5 cm atau perbandingan jarak dengan diameter (s/d) sebesar 2,5. Kinerja tiang beton lebih baik dibandingkan dengan tiang bambu. Tiang-tiang yang lebih rapat meningkatkan kepadatan tanah dan kekakuan sistem, sehingga tanah dan tiang bekerja sama dalam menerima beban dan mengurangi penurunan.

Kata kunci : gambut, tiang beton, tiang bambu, kapasitas dukung, penurunan.

Tanah gambut cukup tersebar luas di wilayah Indonesia dan tidak dapat dihindari ketika pembangunan infrastruktur yang berkembang pesat akhir-akhir ini. Menurut Kazemian & Moayedi (2014), deposit tanah gambut cukup terdistribusi di banyak negara dan ditemukan sekitar 5-8% dari luas permukaan bumi. Tanah gambut tergolong sebagai tanah lunak dengan daya dukung yang sangat rendah, penurunan yang tinggi, dan modulus tanah dasar yang rendah (Waruwu et al., 2018).

Tanah gambut memiliki daya dukung rendah dan penurunan yang tinggi (Saputra & Ridha, 2019). Beberapa upaya perbaikan daya dukung tanah gambut, di antaranya penambahan 5% garam mampu meningkatkan sifat mekanis menjadi 8,37 kg/cm² (Saputra & Ridha, 2019). Amarullah & Zardi (2019) melakukan penambahan limbah karbit untuk stabilisasi tanah gambut, nilai kuat geser tanah meningkat pada penambahan 5%, tetapi menurun pada penambahan 10%. Sementara itu penambahan cangkang tiram 15% pada stabilisasi tanah rawa juga memberikan peningkatan pada kuat geser tanah (Salim & Rahmawati, 2019).

Daya dukung tanah gambut yang rendah dapat dilihat dari nilai kuat geser *undrained* (c_u) yang cukup rendah, Menurut Waruwu et al., (2020a), nilai c_u tanah gambut sekitar 6,15 kPa, daya dukung tanah gambut dapat ditingkatkan dengan penggunaan kombinasi perkuatan grid bambu dan tiang beton.

Perkuatan tiang-tiang diperlukan untuk menjaga stabilitas konstruksi di atas tanah gambut (Waruwu et al., 2020b). Tiang dengan jarak lebih dekat dan lebih panjang mampu memperkecil penurunan akibat beban timbunan (Waruwu &

Nasution, 2020).

Pemasangan tiang-tiang di bawah pelat perkuatan pada tanah gambut bermanfaat dalam menahan beban-beban, memperkecil penurunan, meningkatkan kekakuan pelat, dan memberi stabilitas menyeluruh pada timbunan di atasnya (Waruwu et al., 2019).

Lendutan pelat dipengaruhi oleh jarak dan panjang tiang-tiang perkuatan pada tanah gambut, tiang-tiang yang dipasang dengan jarak yang lebih dekat dapat memperkecil lendutan sistem perkuatan, sehingga konstruksi di atasnya lebih stabil (Waruwu et al., 2020b). Namun, perlu mengkaji jarak tiang perkuatan yang efektif dalam menjaga kestabilan konstruksi jika ditinjau pada peningkatan kapasitas dukung yang signifikan. Menurut Maulana et al., (2018), rasio jarak dan diameter (s/d) tiang berpengaruh pada reduksi penurunan, s/d sebesar 5 berpengaruh signifikan terhadap pengurangan penurunan daripada s/d sebesar 10.

Penelitian ini fokus pada kajian perubahan jarak tiang-tiang perkuatan dari bambu dan beton melalui uji beban pelat pada model eksperimental di laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak tiang perkuatan terhadap kapasitas tiang dan penurunan.

KAJIAN PUSTAKA

Kapasitas Tiang

Kapasitas tiang (*pile capacity*) adalah kapasitas dukung tiang dalam mendukung beban. Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dalam perancangan pondasi adalah faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya kapasitas dukung

harus dipenuhi, penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan.

Menurut Hardiyatmo (2010a), kapasitas tiang dapat ditentukan berdasarkan hasil uji tanah, rumus pancang, data uji tanah di lapangan, dan hasil uji beban langsung. Pada penelitian ini, kapasitas tiang ditentukan berdasarkan hasil uji beban langsung pada uji model eksperimental di laboratorium.

Kapasitas dukung berdasarkan hasil uji beban langsung dapat ditentukan dari hasil uji beban pelat berbentuk lingkaran berdiameter 162-760 mm atau pelat bujur sangkar berukuran 305 mm x 305 mm (Das, 2010). Kapasitas dukung diperoleh dari grafik hubungan beban dengan penurunan.

Uji beban pada tiang merupakan salah satu metode terbaik untuk menentukan kapasitas tiang, baik untuk satu tiang maupun untuk kelompok tiang (Venkatramaiah, 2006). Kapasitas tiang *ultimit* diperoleh dari absis dari titik di bagian lengkung berubah menjadi garis lurus yang curam atau absis dari titik perpotongan garis singgung awal dan akhir dari kurva penurunan dengan beban.

Rasio Kapasitas dan Rasio Penurunan

Kapasitas dukung dalam penelitian ini dibagi dalam dua kelompok. Hasil uji beban pada pelat dengan perkuatan tiang-tiang diberi istilah kapasitas tiang *ultimit* (Q_u), sedangkan hasil uji beban pada pelat tanpa tiang diberi istilah kapasitas dukung (Q_o). Rasio kapasitas merupakan perbandingan antara kapasitas tiang *ultimit* (Q_u) dengan kapasitas dukung (Q_o), seperti diuraikan pada Persamaan (1).

$$R_Q = \frac{Q_u}{Q_o} \quad (1)$$

Keterangan :

R_Q = rasio kapasitas

Q_u = kapasitas tiang *ultimit* (kg)

Q_o = kapasitas pelat tanpa tiang (kg)

Penurunan (*settlement*) merupakan regangan yang terjadi pada lapisan tanah akibat adanya beban, regangan terjadi akibat berubahnya susunan tanah atau berkurangnya rongga pori di dalam tanah (Hardiyatmo, 2010b). Penambahan beban di permukaan dapat menyebabkan titik tertentu dalam tanah mengalami penurunan. Penurunan yang terjadi akibat penambahan beban pada pelat dengan tiang dinamakan penurunan pada tiang (S), sedangkan penurunan yang terjadi akibat penambahan beban pada pelat tanpa tiang dinamakan penurunan pada pelat (S_o). Rasio penurunan merupakan perbandingan antara penurunan pada tiang (S) dengan penurunan pada pelat (S_o), seperti diuraikan pada Persamaan (1).

$$R_S = \frac{S}{S_o} \quad (2)$$

Keterangan :

R_S = rasio penurunan

S = penurunan pada tiang (mm)

S_o = penurunan pada pelat (mm)

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari tanah gambut sebagai media penelitian, tiang dari bambu dan beton sebagai perkuatan, dan pelat beton. Tanah gambut diambil dari Bagansiapiapi – Riau dan material bambu diambil Sibolangit Sumatera Utara. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Medan.

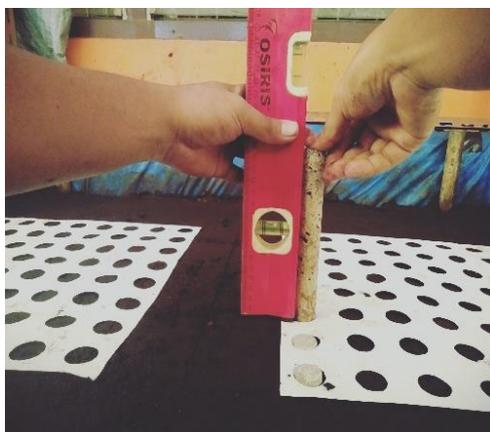
Tiang-tiang perkuatan terdiri dari batang

bambu dan tiang beton berukuran panjang 25 cm dengan diameter 2 cm (Gambar 1). Tiang beton dari campuran semen dan pasir diberi tulangan dari kawat baja yang dicetak dalam pipa pvc.



(a) (b)
Gambar 1. Bahan Tiang: (a) Bambu; (b) Beton

Tanah gambut yang telah disiapkan dipadatkan dalam bak uji setiap 10 cm sampai mencapai ketebalan 50 cm. Tanah dijenuhkan dengan melakukan pengisian air melalui pipa-pipa pvc yang telah dipasang pada setiap sudut dan dasar bak uji. Tiang-tiang perkuatan dipancang dalam tanah gambut yang dibedakan berdasarkan jarak (Gambar 2). Pada penelitian ini, jarak tiang dibedakan 5 cm, 10 cm, 15 cm, dan 20 cm. Tiang-tiang dipastikan telah terpasang secara tegak lurus dengan menggunakan *waterpass*.



Gambar 2. Pemancangan Tiang

Pelat berbentuk bujur sangkar berukuran 40 cm x 40 cm dengan tebal 2 cm diletakkan di atas tiang perkuatan. Uji beban pelat dilakukan di tengah-tengah pelat dengan menerapkan beban-beban secara bertahap (Gambar 3). Penambahan beban dilakukan apabila penurunan sudah mencapai 0,03 mm setiap menitnya. Pembacaan penurunan dilakukan setiap menit melalui dial gauge yang telah dipasang di tengah-tengah frame beban.



Gambar 3. Uji Beban Pelat

Uji beban pelat dilakukan pada pelat tanpa tiang, pelat dengan tiang-tiang bambu dan beton yang dibedakan berdasarkan ukuran jarak tiang ke tiang. Berdasarkan uji beban didapatkan penurunan maksimum yang dicapai pada setiap variasi uji model untuk beban pelat yang sama.

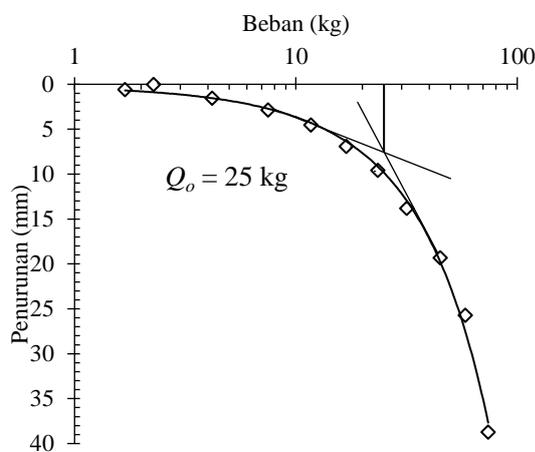
Berdasarkan hubungan beban dengan penurunan didapatkan kapasitas tiang perkuatan pada masing-masing jenis tiang dan jarak yang berbeda. Pengaruh penggunaan tiang perkuatan

dapat dilihat dari perbandingan kapasitas pada masing-masing hasil uji pada tiang dengan kapasitas tanpa tiang, hal yang sama dilakukan analisis perbandingan penurunan pada masing-masing hasil uji pada tiang dengan penurunan pada pelat tanpa tiang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Beban Pelat

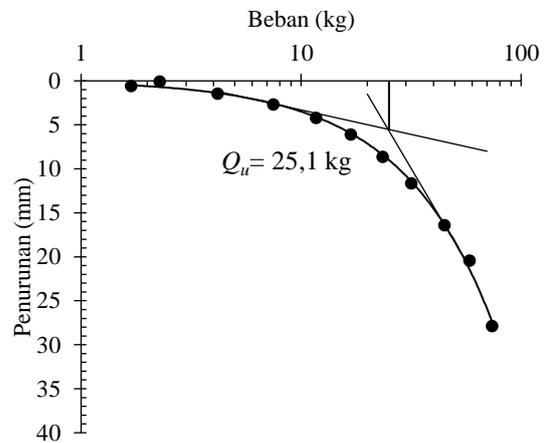
Hasil uji beban pada pelat tanpa tiang perkuatan ditunjukkan pada Gambar 4. Kapasitas dukung pelat tanpa didapatkan didapatkan Q_o sebesar 25 kg dengan daya dukung sebesar $0,016 \text{ kg/cm}^2$ atau $1,6 \text{ kPa}$. Hal ini menunjukkan daya dukung tanah gambut sangat rendah. Selain daya dukung rendah, tanah gambut juga terlihat mengalami penurunan yang cukup tinggi.



Gambar 4. Hasil Uji Pada Pelat Tanpa Tiang

Hasil uji beban pelat pada tiang beton dengan jarak 20 cm ditunjukkan pada Gambar 5. Kapasitas dukung pelat dengan perkuatan tiang beton dengan jarak 20 cm terlihat memberikan kapasitas dukung yang sedikit lebih tinggi daripada pelat tanpa tiang. Jarak tiang 20 cm tidak berpengaruh signifikan pada peningkatan kapasitas dukung tanah gambut, namun tiang-tiang mampu mengurangi penurunan akibat beban yang diterapkan di atas pelat.

Penurunan berkurang dari 38,73 cm pada pelat tanpa tiang menjadi 27,90 cm pada pelat dengan tiang beton jarak 20 cm. Tiang-tiang berkontribusi dalam mereduksi penurunan pada tanah gambut.

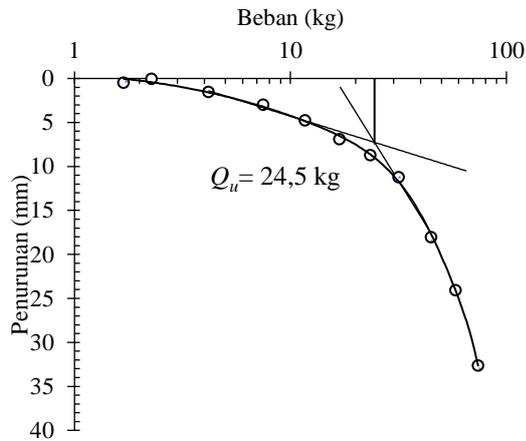


Gambar 5. Hasil Uji Pada Tiang Beton Jarak 20 cm

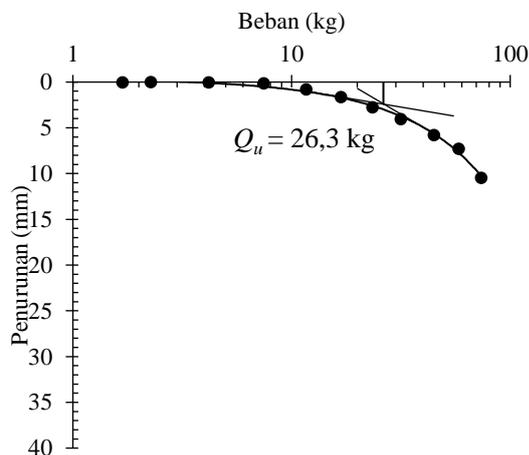
Hasil uji beban pelat pada tiang bambu dengan jarak 20 cm ditunjukkan pada Gambar 6. Tiang bambu dengan jarak 20 cm, tidak berkontribusi dalam meningkatkan kapasitas dukung, namun dapat memberikan pengurangan penurunan dari 38,73 cm pada pelat tanpa tiang menjadi 32,66 mm pada pelat dengan tiang bambu jarak 20 cm. Tiang dengan jarak 20 cm atau $s/d = 10$ tidak dapat meningkatkan kapasitas dukung, tetapi dapat mengurangi penurunan sekitar 15-28%.

Hasil uji beban pelat pada tiang beton dengan jarak 10 cm ditunjukkan pada Gambar 7. Tiang beton dengan 10 cm memperlihatkan pengaruh pada peningkatan kapasitas dukung dan pengurangan penurunan. Kapasitas dukung pada pelat dengan tiang beton jarak 10 cm didapatkan meningkat dari 25 kg menjadi 26,3 kg. Penurunan berkurang dari 38,73 mm menjadi 10,48 mm atau berkurang sebesar 72,94%. Jarak tiang 10 cm atau s/d sebesar 5 memperlihatkan pengaruh pada peningkatan kapasitas dukung dan pengurangan

penurunan yang cukup signifikan.



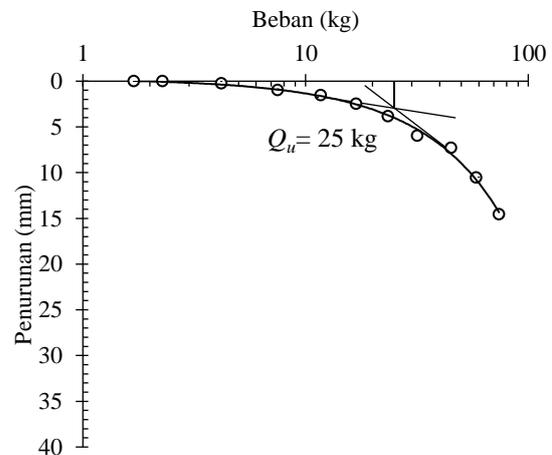
Gambar 6. Hasil Uji Pada Tiang Bambu Jarak 20 cm



Gambar 7. Hasil Uji Pada Tiang Beton Jarak 10 cm

Hasil uji beban pelat pada tiang bambu dengan jarak 10 cm ditunjukkan pada Gambar 8. Tiang bambu dengan jarak 10 cm tidak memperlihatkan peningkatan kapasitas dukung, tetapi memperlihatkan pengurangan penurunan dari 38,73 mm menjadi 14,55 mm atau reduksi penurunan sebesar 62,43%. Tiang-tiang perkuatan dengan jarak 10 cm atau $s/d = 5$ menunjukkan pengaruh yang baik terhadap reduksi penurunan pada tanah gambut, tetapi peningkatan kapasitas dukung yang tidak terlalu jauh beda dengan kapasitas dukung

pelat tanpa tiang.



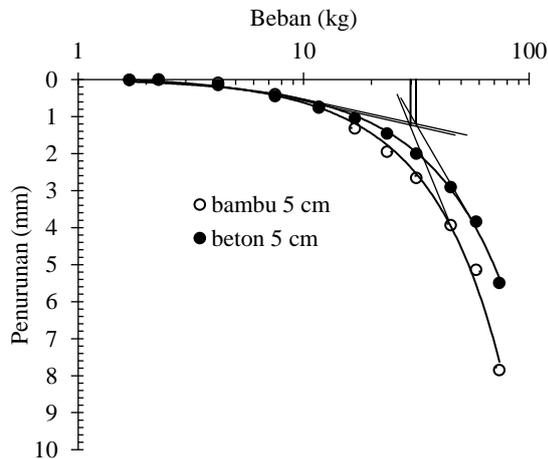
Gambar 8. Hasil Uji Pada Tiang Bambu Jarak 10 cm

Perbandingan Tiang Beton dan Tiang Bambu

Perbandingan hasil uji beban pada tiang beton dengan tiang bambu dengan jarak 5 cm ditunjukkan pada Gambar 9. Hasil yang baik dalam hal peningkatan kapasitas dukung dan reduksi penurunan didapatkan pada tiang-tiang perkuatan dengan jarak antar tiang sejauh 5 cm atau s/d sebesar 2,5. Baik tiang beton maupun tiang bambu, keduanya memperlihatkan peningkatan kapasitas dukung dan reduksi penurunan yang signifikan.

Tiang-tiang beton memperlihatkan kinerja yang baik dalam meningkatkan kapasitas dukung dan reduksi penurunan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tiang bambu. Kapasitas dukung pelat dengan tiang beton jarak 5 cm meningkat dari 25 kg menjadi 31,5 kg atau peningkatan sebesar 26%, sedangkan pada pelat dengan tiang bambu pada jarak yang sama terjadi peningkatan kapasitas dukung sebesar 19,20%. Reduksi penurunan terlihat cukup signifikan untuk tiang dengan jarak 5 cm. Reduksi penurunan untuk tiang beton didapatkan 85,82%, sedangkan untuk

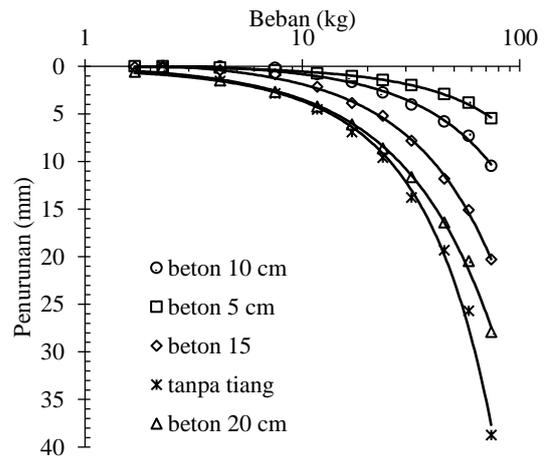
tiang bambu didapatkan sebesar 79,73%. Hal ini membuktikan bahwa tiang-tiang dengan jarak 5 cm atau *s/d* sebesar 2,5 memiliki kinerja yang dalam meningkatkan kapasitas dukung dan reduksi penurunan.



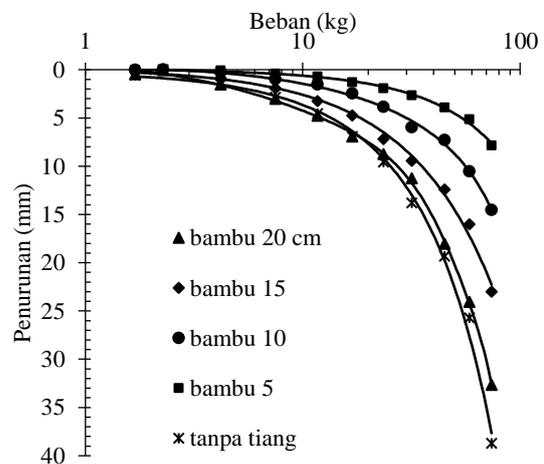
Gambar 9. Perbandingan Tiang Beton dan Tiang Bambu

Perbandingan hasil uji beban pada tiang beton akibat perubahan jarak ditunjukkan pada Gambar 10. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa jarak tiang-tiang perkuatan berpengaruh pada peningkatan kapasitas dukung dan reduksi penurunan, Tiang-tiang yang lebih rapat memperlihatkan kapasitas dukung yang lebih tinggi dan reduksi penurunan yang lebih baik. Tiang-tiang beton memperlihatkan pengaruh yang lebih baik daripada tiang-tiang bambu.

Perbandingan hasil uji beban pada tiang bambu akibat perubahan ditunjukkan pada Gambar 11. Sama halnya pada tiang beton, jarak tiang-tiang bambu memperlihatkan pengaruh yang baik pada peningkatan kapasitas dukung dan reduksi penurunan.



Gambar 10. Perbandingan Jarak Tiang Beton



Gambar 11. Perbandingan Jarak Tiang Bambu

Kedua jenis tiang menunjukkan pengaruh yang baik pada jarak 5 cm atau *s/d* sebesar 2,5. Tiang-tiang yang lebih rapat mampu meningkatkan kepadatan tanah antar tiang, sehingga tanah dan tiang bekerjasama dalam meningkatkan kapasitas gesek antar tiang dengan tanah dan kapasitas ujung tiang semakin tinggi dalam menahan beban yang bekerja. Pada akhirnya penurunan akibat beban menjadi semakin kecil karena tanah dengan tiang memberikan perlawanan yang signifikan, sehingga deformasi tanah semakin kecil.

Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Kapasitas Tiang dan Penurunan

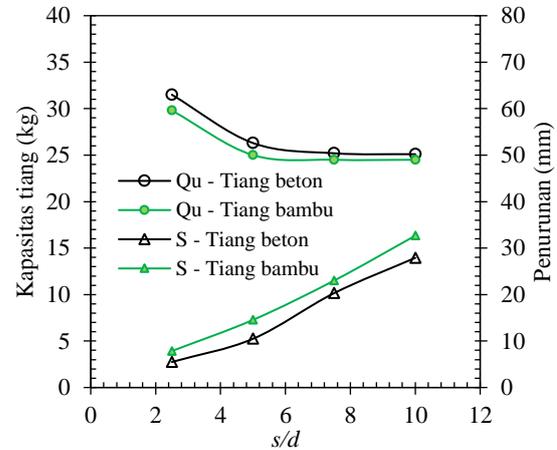
Nilai kapasitas dukung tiang dan penurunan akibat beban ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil penelitian menunjukkan tiang-tiang perkuatan mulai memberikan pengaruh terhadap kapasitas dukung pada tiang-tiang dengan jarak 10 cm atau s/d sebesar 5. Pengaruh yang signifikan didapatkan pada tiang-tiang perkuatan dengan jarak 5 cm atau s/d sebesar 2,5. Namun, hal berbeda didapatkan pada penurunan, tiang-tiang perkuatan dengan jarak berapapun dapat memberikan reduksi penurunan. Tanah di antara tiang dengan tiang perkuatan semakin *solid* dalam menahan beban, sehingga deformasi tanah semakin kecil seiring dengan semakin rapatnya tiang-tiang perkuatan.

Tabel 1. Pengaruh Jarak pada Kapasitas dan Penurunan

Tipe Uji	Kapasitas (kg)		Penurunan (mm)	
	Bambu	Beton	Bambu	Beton
Tiang jarak 5 cm	29,8	31,5	7,85	5,49
Tiang jarak 10 cm	25,0	26,3	14,55	10,48
Tiang jarak 15 cm	24,5	25,2	23,01	20,31
Tiang jarak 20 cm	24,5	25,1	32,66	27,90
Pelat tanpa tiang	25		38,73	

Pengaruh jarak tiang perkuatan terhadap kapasitas dukung dan penurunan ditunjukkan pada Gambar 12. Jarak antar tiang terlihat hanya berpengaruh pada perbandingan jarak dengan diameter (s/d) di bawah 5 dalam meningkatkan kapasitas tiang, sedangkan pada s/d di atas 5 tidak memberikan pengaruh yang berarti dalam meningkatkan kapasitas tiang. Berbeda dengan

kapasitas dukung tiang, penurunan semakin kecil seiring dengan semakin rapatnya jarak tiang.



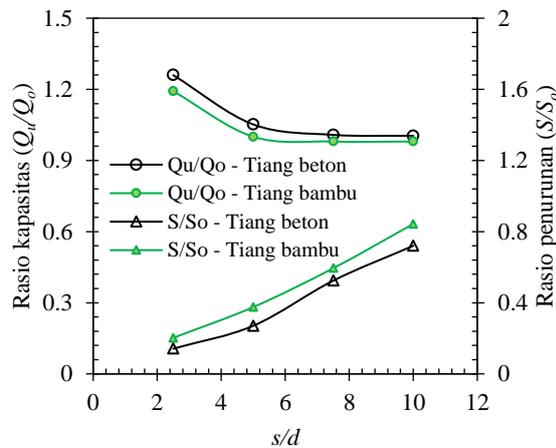
Gambar 12. Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Kapasitas Tiang dan Penurunan

Pengaruh jarak tiang perkuatan terhadap rasio kapasitas dukung dan rasio penurunan ditunjukkan pada Gambar 13. Rasio kapasitas (R_Q) ditentukan dari perbandingan kapasitas tiang dengan kapasitas pelat tanpa tiang (Q_u/Q_o), seperti diuraikan pada Persamaan (1). Rasio kapasitas didapatkan lebih besar 1 pada $s/d < 5$, hasil yang baik didapatkan pada $s/d = 2,5$.

Rasio penurunan (R_S) ditentukan dari perbandingan penurunan pada tiang dengan penurunan pada pelat tanpa tiang (S/S_o), seperti diuraikan pada Persamaan (2). Rasio penurunan < 1 ditemukan untuk semua tipe jarak tiang, ini berarti $s/d < 10$ menunjukkan penurunan yang lebih kecil daripada pelat tanpa penggunaan tiang perkuatan.

Tiang-tiang perkuatan dengan $s/d < 10$ menunjukkan pengaruh yang baik dalam mereduksi penurunan, tetapi hanya dengan $s/d < 5$ dapat memberikan peningkatan kapasitas dukung. Hasil yang baik dalam meningkatkan kapasitas dukung dan reduksi penurunan ditemukan pada jarak (s) sebesar 5 cm atau s/d sebesar 2,5. Kinerja tiang

beton lebih baik dibandingkan tiang bambu.



Gambar 13. Pengaruh Jarak Tiang Terhadap Rasio Kapasitas Tiang dan Penurunan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian diambil beberapa kesimpulan berikut ini:

1. Tiang-tiang perkuatan baik tiang beton maupun tiang bambu memberikan pengaruh pada peningkatan kapasitas dukung tiang pada jarak maksimal 10 cm atau $s/d < 5$. Hasil terbaik didapatkan pada jarak maksimal 5 cm atau s/d sebesar 5. Kapasitas tiang beton lebih tinggi dibandingkan tiang bambu.
2. Tiang-tiang perkuatan memberikan pengaruh pada reduksi penurunan untuk jarak < 20 cm atau $s/d < 10$, tetapi hasil yang terbaik didapat pada s/d sebesar 2,5. Penurunan pada tiang beton lebih kecil daripada tiang bambu, dalam hal ini kinerja tiang beton lebih baik dibandingkan dengan tiang bambu.
3. Tiang-tiang perkuatan dari beton atau bambu dengan $s/d < 10$ menunjukkan pengaruh yang baik dalam mereduksi penurunan, tetapi hanya dengan $s/d < 5$ dapat memberikan peningkatan

kapasitas dukung, hal ini didapatkan dengan rasio kapasitas > 1 . Namun hasil yang baik dalam meningkatkan kapasitas dan mereduksi penurunan ditemukan pada jarak (s) sebesar 5 cm atau s/d sebesar 2,5.

Saran

Tiang-tiang perkuatan pada tanah gambut disarankan untuk dipancang dengan rasio jarak dengan diameter (s/d) sebesar 2,5 atau maksimal 5.

DAFTAR PUSTAKA

- Amarullah, I. N., & Zardi, M. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Stabilisasi Tanah Daerah Rawa. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 5(2), 1–9.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage Learning.
- Hardiyatmo, H. C. (2010a). *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian II*. Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2010b). *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press.
- Kazemian, S., & Moayedi, H. (2014). Improvement of Settlement Problems of Fibrous Peat. *Application of Nanotechnology in Pavements, Geological Disasters, and Foundation Settlement Control Technology GSP 244* © ASCE 2014, 125–132.
- Maulana, Azwar, Susanti, R. D., & Waruwu, A. (2018). Potential of Bamboo Pile as Reinforcement of Peat Soil under Embankment. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(1), 52–56.

- Salim, A., & Rahmawati, C. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Cangkang Tiram Terhadap Stabilisasi Tanah Daerah Rawa. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 5(1), 10–16.
- Saputra, I., & Ridha, M. (2019). Efek Penambahan Garam pada Tanah Gambut untuk Daya Dukung Tanah. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 5(2), 17–25.
- Venkatramaiah, C. (2006). *Geotechnical Engineering*. New Age International Publishers.
- Waruwu, A., Halim, H., Nasution, T., & Hanova, Y. (2018). Bamboo grid reinforcement on peat soil under repeated loading. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(8), 2190–2196. <https://doi.org/10.3923/jeasci.2018.2190.2196>
- Waruwu, A., Hardiyatmo, H. C., & Rifa'i, A. (2019). The Performance of The Nailed Slab System-Supported Embankment on Peat Soil. *International Review of Civil Engineering*, 10(5), 243–248. <https://doi.org/10.15866/irece.v10i5.15757>
- Waruwu, A., & Nasution, T. H. (2020). Analisis penurunan tanah dengan timbunan yang diperkuat grid bambu dan tiang beton. *Jurnal Jalan Jembatan*, 37(1), 15–27.
- Waruwu, A., Susanti, R. D., Endriani, D., & Hutagaol, S. (2020). Effect of loading stage on peat compression and deflection of bamboo grid with concrete pile. *International Journal of GEOMATE*, 18(66), 150–155. <https://doi.org/10.21660/2020.66.62072>
- Waruwu, A., Susanti, R. D., Sihombing, H. S., & Purba, T. Y. (2020). Pengaruh Susunan Tiang dengan Grid Bambu pada Tanah Gambut Terhadap Lendutan. *Semnastek UISU*, 9–15.