

# Studi Mekanisme Interaksi Tanah-Matras Cerucuk Bambu sebagai Perkuatan Tanah Lunak

Amelia Faradila<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Palangka Raya

✉ amelia.faradila@umpr.ac.id

Penelitian ini membahas mengenai mekanisme interaksi antara struktur bambu/minipile dan tanah dimana data didapatkan dari proyek uji timbunan lapangan yang diperkuat dengan bambu di Tambak Oso, Surabaya. Data-data dianalisa menggunakan metode elemen hingga (MEH) yang dibantu dengan software *Plaxis 3D Foundation*. Variasi panjang cerucuk bambu yaitu 5 dan 10 meter dan variasi ketebalan yang digunakan yaitu 1,3 dan 5 lapis untuk perkuatan grid/matras bambu. Hasil studi memperlihatkan bahwa untuk cerucuk panjang 5 meter, daya dukung selimut bambu lebih kecil dari pada beban yang diberikan, sehingga ujung cerucuk bambu ikut menahan sebagian besar beban yang bekerja dimana untuk bambu panjang 10 meter, beban hampir seluruhnya didukung oleh selimut tiang. Sedangkan jika ditambah dengan perkuatan grid/matras, semakin banyak jumlah lapisan, semakin besar kekakuan, dan semakin besar kontribusi matras dalam menahan beban.

**Kata kunci:** cerucuk bambu, matras bambu, minipile, analisis 3D, penurunan

*Diajukan: 18 November 2022*

*Direvisi: 8 Desember 2022*

*Diterima: 18 Januari 2023*

*Dipublikasikan online: 21 Januari 2023*

## Pendahuluan

Salah satu masalah utama pada bidang geoteknik adalah ketidakstabilan struktur bangunan maupun timbunan di atas tanah lunak yang memiliki kuat geser rendah dan kompresibilitas yang tinggi. Akibatnya daya dukungnya menjadi rendah dan kemungkinan terjadi penurunan yang besar ketika menerima beban. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan metode yang bisa digunakan untuk memberikan perkuatan pada tanah, sehingga daya dukungnya meningkat dan memberikan kestabilan dan keamanan untuk bangunan maupun timbunan yang berada di atasnya. Salah satunya adalah menggunakan bambu, dimana bambu merupakan material alami yang banyak ditemukan di wilayah Asia. Material ini memiliki material yang keras, ringan, dan memiliki kekuatan lentur dan tarik yang tinggi serta mudah digunakan sebagai material konstruksi.

Salah satu pengujian cerucuk dan matras bambu yang dilakukan dengan skala 1:1 dilaksanakan pada proyek pembangunan jalan tol lingkar Surabaya (Irsyam dan Krisnanto, 2008). Dari pengamatan lapangan didapatkan bahwa penurunan yang terjadi relatif seragam dan lebih kecil dibandingkan dengan prediksi penurunan dengan perbaikan *vertical drain*. Susila dan Agrensa (2013) juga melakukan pengujian lapangan terhadap tiga tipe perkuatan tanah lunak berbasis matras bambu dan *mini pile*. Disimpulkan bahwa matras bambu dengan kombinasi baik *mini pile* maupun cerucuk bambu merupakan alternatif perbaikan tanah lunak yang cocok untuk tanah lunak karena mampu meningkatkan stabilitas dan keamanan timbunan. Matras bambu dengan kombinasi kluster cerucuk 3, 4, dan 7 bambu juga dilakukan oleh Widodo dkk (2019). Daya dukung

cerucuk bambu tersebut dipengaruhi oleh jumlah bambu dalam kluster. Widodo dan Widoanidyawati (2022) juga menyarankan perbaikan lereng dan tanah dasar pembangunan sekolah dasar di Semarang dengan cerucuk bambu yang seluruh batangnya dipancangkan di bawah muka air. Jumlah lapisan bambu juga mempengaruhi kekakuan matras baik arah memanjang maupun melintangnya (Widodo dkk, 2022).

Meskipun telah banyak diteliti, akan tetapi, mekanisme interaksi antara tanah dan bambu masih belum diketahui dengan jelas. Untuk mengetahui mekanisme interaksi antara struktur bambu dan tanah diperlukan variasi panjang, jumlah cerucuk dalam 1 ikatan, dan jumlah lapisan grid/matras untuk mengetahui pengaruh struktur bambu tersebut terhadap tanah. Variasi seperti ini tentu akan memerlukan banyak waktu dan biaya jika dilakukan langsung di lapangan. Oleh karena itu, analisis dilakukan dengan analisis metode elemen hingga tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak *Plaxis 3D Foundation versi 2.1*.

## Metode

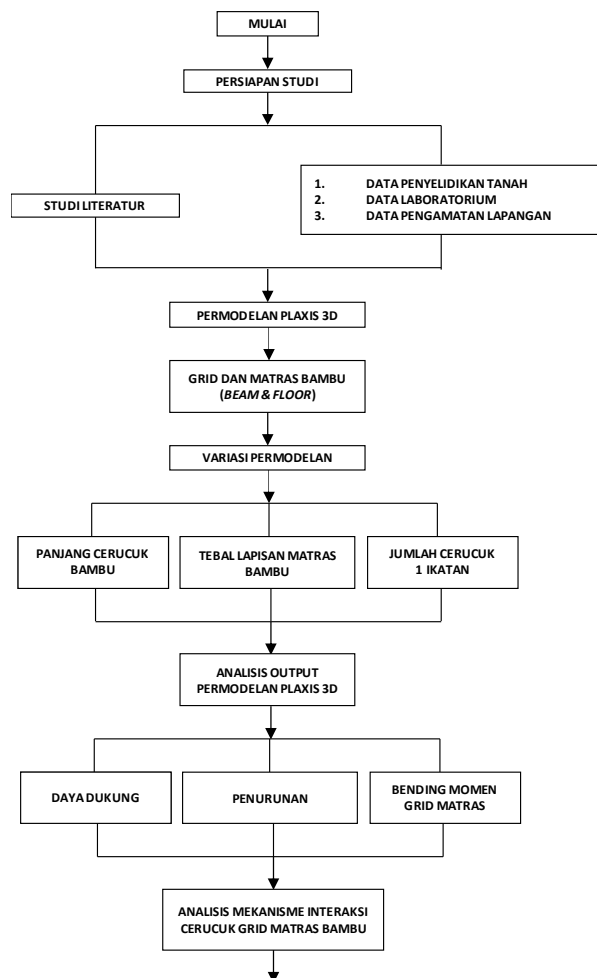
Analisis kestabilan dan penurunan pada timbunan untuk setiap kombinasi jenis perkuatan dilakukan dengan menggunakan program *Plaxis 3D Foundation versi 2.1*. Tahap pertama adalah persiapan studi, dilanjutkan dengan permodelan menggunakan *Plaxis 3D Foundation*, variasi permodelan, analisa output *Plaxis 3D Foundation*, dan yang terakhir melakukan analisis mekanisme antara struktur bambu dan tanah. Diagram alir penelitian terlihat pada Gambar 1.

Cara mensitasi artikel ini:

Faradila, A. (2023) Studi Mekanisme Interaksi Tanah-Matras Cerucuk Bambu sebagai Perkuatan Tanah Lunak. *Buletin Profesi Insinyur* 6(1) 007-013



Proyek yang berlokasi di Surabaya tepatnya di daerah Tambak Oso ini merupakan proyek timbunan jalan yang dibangun di atas tanah deposit tanah lunak. Direncanakan tinggi timbunan pertama setinggi 2,5 m, kemudian setelah 75 hari ditambah hingga mencapai 3,25 m. Berdasarkan pengujian lapangan, diketahui ketebalan tanah lunak mencapai kedalaman 30 meter dari permukaan tanah. Tebal, jenis, dan parameter tanah pada tiap lapisan, dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tabel 1 Parameter Tanah Tambak Oso, Surabaya (Irsyam & Krisnantzo, 2009)

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	c (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	e	c <sub>α</sub>
0-23	Lempung sangat lunak	6	1	14	0,20	0,9
23-25	Lempung lunak	15	1	15	0,18	0,8
25-30	Lempung sedang	35	1	16	0,17	0,75

Pada lokasi ini model tanah yang digunakan adalah model tanah Soft Soil Creep. Parameter  $c_{\alpha}$  yang digunakan adalah sebesar 0,005 yang merupakan nilai parameter rangkai terkecil untuk kondisi tanah *Normally Consolidated*. Dari input  $c_{\alpha}$  tersebut, akan menghasilkan nilai nilai  $\mu^*$  yang berbeda-beda, tergantung pada besar nilai  $e_0$ . Besar

parameter  $\lambda$ ,  $\lambda^*$ ,  $\kappa$ ,  $\kappa^*$  dihitung dengan rumus berikut dan dirangkum pada Tabel 3 (Karstunen & Amavasai, 2017).

$$\lambda = \frac{c_c}{2,3}; \quad \lambda^* = \frac{\lambda}{1+e}$$

$$\kappa = \frac{c_s}{2,3}; \quad \kappa^* = \frac{\kappa}{(1+e)}$$

Karena kasus ini perilaku rangkai kecil, input parameter rangkai  $\mu^*$  diinput sekecil mungkin sehingga perilaku dari deformasi rangkai yang terjadi tidak dominan dan dapat diabaikan, terutama pada saat terjadinya konsolidasi. Parameter  $c_{\alpha}$  yang digunakan adalah sebesar 0,005 yang merupakan nilai parameter rangkai terkecil untuk kondisi tanah *Normally Consolidated*. Dari input  $c_{\alpha}$  tersebut, akan menghasilkan nilai parameter rangkai  $\mu^*$  yang berbeda-beda, tergantung pada besar nilai  $e_0$ . Nilai  $\lambda^*$ ,  $\kappa^*$ , dan  $\mu^*$  yang digunakan sebagai input pada program *Plaxis 3D Foundation* versi 2.1 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1 Parameter  $\lambda$ ,  $\lambda^*$ ,  $\kappa$ ,  $\kappa^*$

Kedalaman	$\lambda^*$	$\kappa^*$	$\mu^*$
0 – 23	0,130	0,026	7,246 x 10 <sup>-4</sup>
23 – 25	0,124	0,025	7,764 x 10 <sup>-4</sup>
25 – 30	0,163	0,033	1,087 x 10 <sup>-3</sup>

Variasi yang dilakukan pada perkuatan cerucuk dengan tambahan matras bambu yaitu variasi jumlah matras 1, 3, dan 5 lapis dan variasi jumlah bambu dalam 1 ikatan, 3 dan 5 batang, dengan variasi panjang masing-masing 5 dan 10 meter. Cerucuk bambu dimodelkan sebagai *Embedded Pile* dan Matras bambu dimodelkan sebagai *Floor*. Parameter 1 batang cerucuk dan 1 lapis matras dirangkum pada Tabel 3.

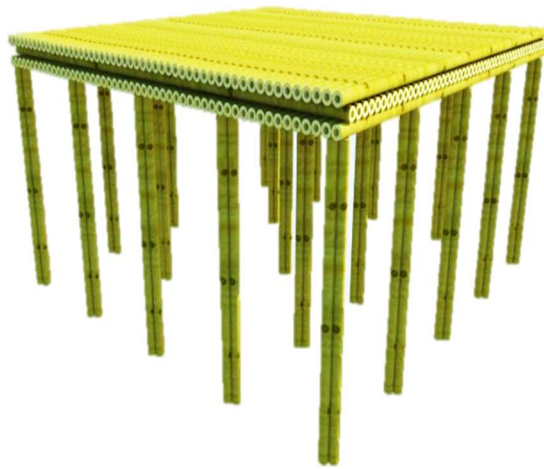
Tabel 3 Parameter 1 batang Cerucuk dan 1 lapis Matras

Parameter	Name	Cerucuk Bambu	Matras Bambu	Unit
Young Modulus	E	9x10 <sup>6</sup>	9x10 <sup>6</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Weight	γ	6,7	6,7	kN/m <sup>3</sup>
Properties type	Type	Embedded pile	Floor	-
Diameter	Diameter	0,1	-	m
Cross section area	A	6,594x10 <sup>-3</sup>	-	m <sup>2</sup>
Momen of inertia against bending around the third axis	I <sub>3</sub>	4,780x10 <sup>-6</sup>	-	m <sup>2</sup>
Momen of inertia against bending around the third axis	I <sub>2</sub>	4,780x10 <sup>-6</sup>	-	m <sup>2</sup>
Momen of inertia against oblique bending	I <sub>23</sub>	0	-	m <sup>2</sup>
Skin friction type	Type	Multilinear	-	-
Thickness	d	-	0.1	m
Shear Modulus	G	-	3,462x10 <sup>6</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Poisson's ratio	ν	-	0,22	-

Kombinasi perkuatan cerucuk matras 3 dimensi ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 masing-masing untuk matras 1 lapis, 3 lapis, dan 5 lapis.



Gambar 2 Perkuatan Cerucuk dan 1 lapis matras bambu



Gambar 3 Perkuatan Cerucuk dan 3 lapis matras bambu



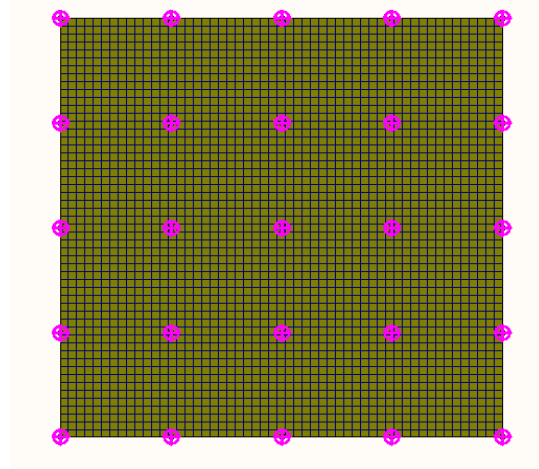
Gambar 4 Perkuatan Cerucuk dan 5 lapis matras bambu

## Hasil dan Diskusi

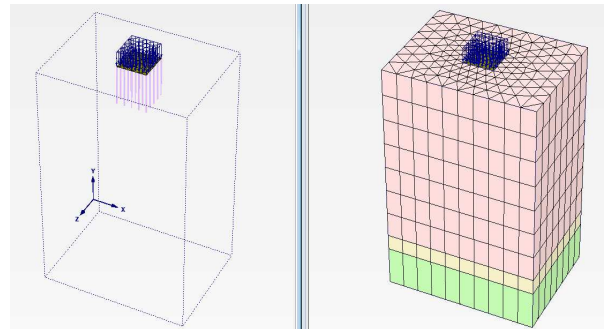
Dari penelitian sebelumnya, penggunaan bambu yang digunakan sebagai perkuatan disusun menjadi matras bambu dan/atau dipancangkan menjadi cerucuk bambu. Metode-metode ini telah berhasil digunakan di beberapa pekerjaan timbunan. Seperti *gridded matrass bambu* dan cerucuk bambu yang digunakan pada proyek timbunan jalan perlintasan sepanjang 400 m dengan tinggi timbunan  $\pm 4,50$  m di Pangkalan Susu, Sumatera Utara (Susila dan Agrensa, 2013). Selain itu, metode matras dan cerucuk bambu juga digunakan sebagai perkuatan timbunan jalan raya setinggi

3,25 meter di Tambak Oso, Surabaya (Irsyam & Krisnanto, 2009).

Ditinjau dari daya dukungnya, dengan adanya penambahan panjang cerucuk bambu dan berkurangnya nilai jarak cerucuk bambu, terjadi peningkatan besarnya daya dukung batas cerucuk bambu tersebut (Purnama et al., 2022). Hal ini didukung pula dengan penelitian yang dilakukan oleh Reynaldo (2019) dimana terjadi peningkatan daya dukung dan berkurangnya penurunan tanah seiring dengan bertambahnya panjang cerucuk bambu. Namun mekanisme interaksi antar cerucuk matras bambu masih belum diketahui dengan jelas, sehingga perlu dianalisis dengan menggunakan software Plaxis 3D Foundation versi 2.1 dimana material properties matras bambu dimodelkan sebagai *Floor* dan cerucuk sebagai *Embedded Pile* seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

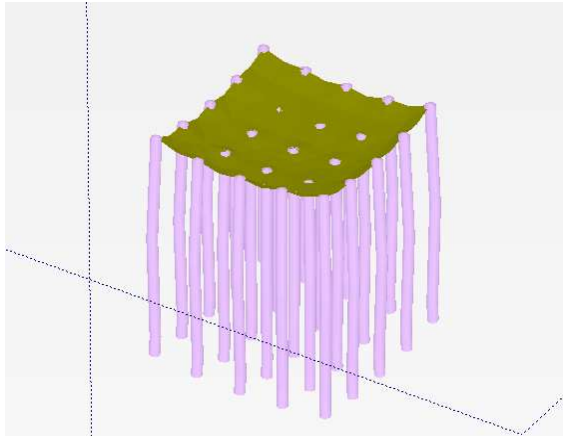


Gambar 5 Model perkuatan matras bambu pada Plaxis 3D Foundation 2.1 tampak atas

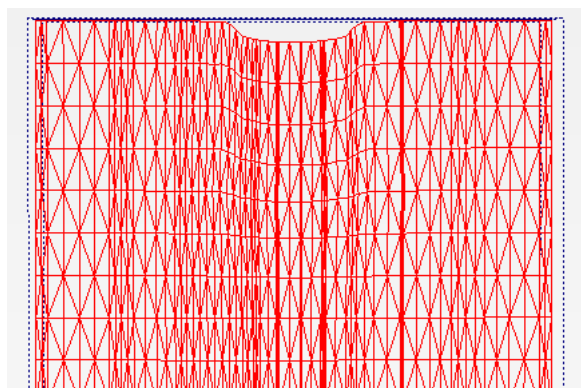


Gambar 6 *Generated mesh* 3D cerucuk dan 1 lapis matras bambu

Gambar 7 menunjukkan bentuk deformasi 3 dimensi untuk 1 lapis matras bambu pada permodelan Plaxis 3D Foundation 2.1. Terlihat bahwa penurunan elastik akibat pembebanan menyebabkan terjadinya perubahan bentuk dari tanah di bawah matras. Perubahan bentuk tanah di bawah area matras yang dibebani selain bergantung kepada jenis tanah juga tergantung kepada ketebalan matras diatas area tersebut. Pada matras 1 lapis, fleksibilitas matras dalam menahan beban mengakibatkan penurunan tidak seragam dimana pada permodelan ini jenis tanahnya adalah jenis tanah lempung sehingga penurunan terkecil terjadi pada bagian ujung matras dan terbesar terjadi pada bagian tengah seperti terlihat pada Gambar 8.

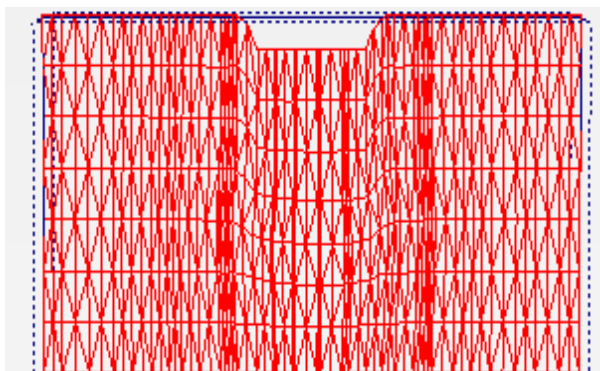


**Gambar 7** Deformasi pada perkuatan cerucuk dan 1 lapis matras bambu



**Gambar 8** Deformasi elastik 1 lapis matras

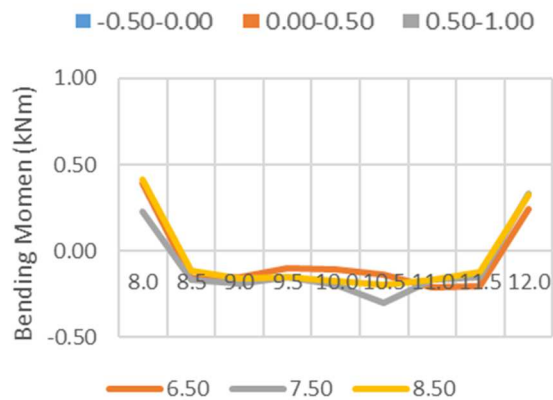
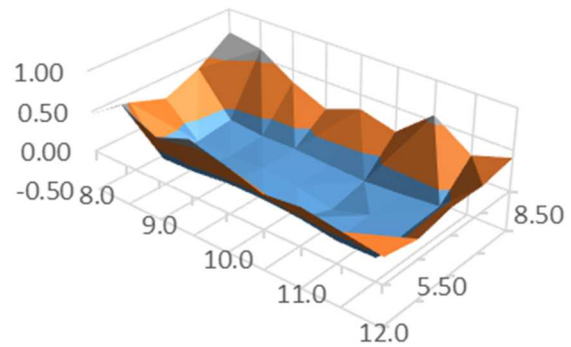
Pada matras 3 dan 5 lapis, kekakuan dari matras semakin besar sehingga mengakibatkan penurunan yang terjadi di bawah matras seragam. Selain karena kondisi tanah pada lokasi ini merupakan jenis tanah lempung, penurunan seragam di bawah matras juga terjadi karena matras 3 dan 5 lapis sudah bersifat *rigid* sehingga memperkecil terjadinya perbedaan penurunan di bagian pinggir dan tengah matras (Gambar 9).



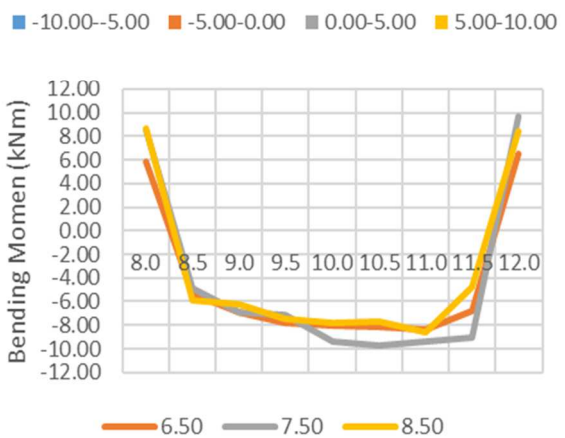
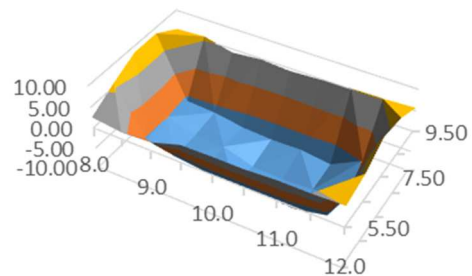
**Gambar 9** Deformasi elastik 3 dan 5 lapis matras

Gambar 10 menunjukkan salah satu contoh distribusi *axial force* yang terjadi pada 3 batang cerucuk panjang 5 dan 10 meter, yang diperkuat dengan 1 lapis matras untuk kondisi tanah seragam di sepanjang cerucuk bambu.

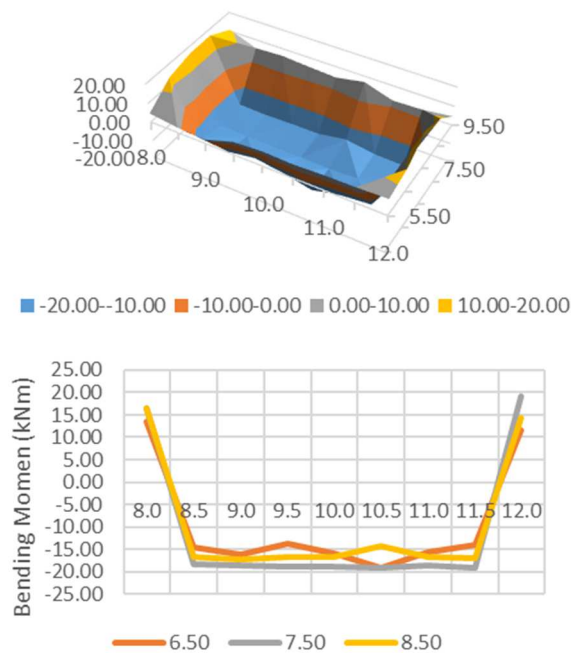
Besarnya deformasi elastik pada matras 1,3, dan 5 lapis digambarkan dalam besarnya nilai bending momen tampak 3D pada Gambar 10, Gambar 11, dan Gambar 12.



**Gambar 10** Bending Momen 1 Lapis Matras



**Gambar 11** Bending Momen 3 Lapis Matras



**Gambar 12** Bending Momen 5 Lapis Matras

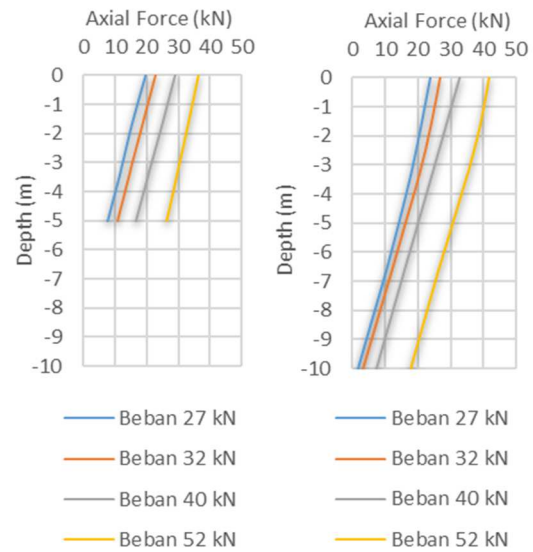
Dari bending momen pada Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15, terlihat untuk matras 1 lapis, besarnya momen positif kurang lebih 0,2 kNm/m, dan nilai ini bertambah besar dengan semakin bertambahnya tebal lapisan matras, dengan nilai *bending momen* pada matras 3 dan 5 lapis masing-masing 7 kNm/m dan 18 kNm/m. Selain pertambahan momen positif, permodelan matras bambu sebagai *Floor* pada *Plaxis 3D Foundation 2.1* memperlihatkan penambahan momen negatif yang terjadi pada bagian tengah matras. Momen negatif (tekan) merupakan akibat dari pembebanan yang bekerja pada matras bambu. Nilai momen negatif yang dihasilkan semakin besar dengan semakin tebalnya lapisan matras.

Sedangkan untuk mengetahui besarnya distribusi *axial force* yang terjadi pada 3 batang cerucuk panjang 5 dan 10 meter, yang diperkuat dengan 1 lapis matras untuk kondisi tanah seragam di sepanjang cerucuk bambu ditunjukkan pada Gambar 13.

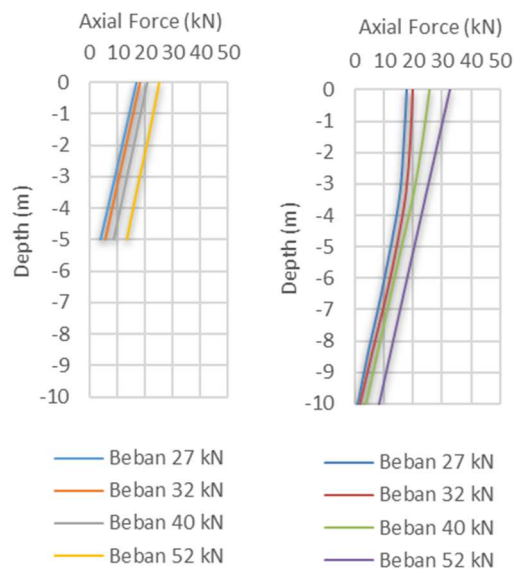
Gambar 13 memperlihatkan besarnya distribusi beban berupa *axial force* di sepanjang 3 batang cerucuk bambu dengan 1 lapis matras bambu. Besar beban yang didukung oleh cerucuk lebih kecil daripada beban yang diberikan dimana sebagian beban tersebut ditahan oleh matras bambu. Misal, untuk 3 batang cerucuk bambu dengan panjang 5 meter untuk beban 27 kN, beban yang didukung matras, batang, dan ujung masing-masing adalah 7, 11, dan 9 kN. Hal lain yang dapat dilihat juga bahwa bambu panjang 5 meter dengan beban sampai dengan 32 kN, beban yang didistribusikan pada bagian batang dan ujung hampir sama.

Untuk perkuatan cerucuk dengan 3 lapis matras bambu seperti pada Gambar 14 pengaruh ketebalan matras terjadi pada cerucuk bambu elevasi 0 meter, pengaruh ini terlihat lebih besar daripada matras 1 lapis. Misalkan untuk 3 lapis matras, cerucuk 3 batang, panjang 5 meter dengan beban 27 kN, matras bambu menahan kurang lebih 12 kN. Ini lebih besar 5 kN daripada 1 lapis matras bambu dengan jumlah batang

dan cerucuk yang sama. Ini disebabkan karena perkuatan 3 lapis matras memberikan kontribusi lebih dalam menahan beban yang bekerja sebelum beban tersebut diteruskan ke cerucuk bambu.



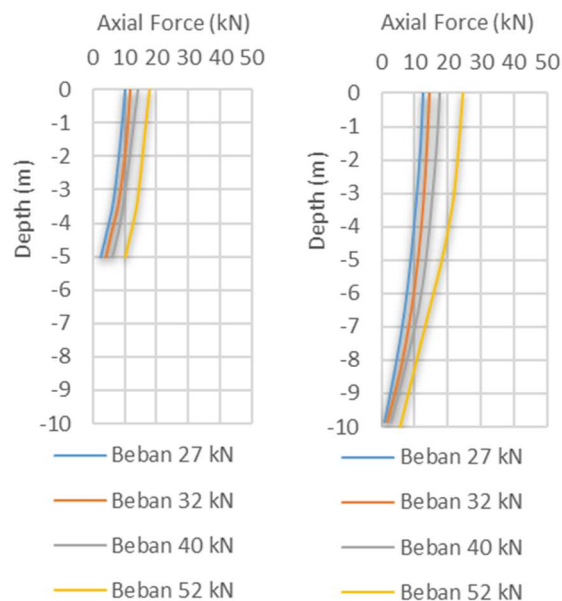
**Gambar 13** Axial force pada 1 lapis matras & 3 batang cerucuk (panjang 5 dan 10 meter)



**Gambar 14** Axial force pada 3 lapis matras & 3 batang cerucuk (panjang 5 dan 10 meter)

Pada Gambar 15 dimana perkuatan cerucuk diperkuat dengan 5 lapis matras, nilai *axial force* pada elevasi 0 meter semakin kecil dan tidak sama besarnya dengan besar beban yang diaplikasikan, dimana besar beban tersebut adalah 27 kN, 32 kN, 40 kN, dan 52 kN. Misalkan untuk cerucuk 3 batang panjang 5 meter, matras bambu menahan kurang lebih 17 kN dari beban 27 kN. Ini jauh lebih besar daripada matras 1 dan 3 lapis pada kondisi yang sama masing-masing menahan 7 dan 12 kN. Dari beberapa nilai *axial force* pada elevasi 0 meter untuk 1, 3, dan 5 lapis matras bambu, semakin tebal matras maka nilai *axial force* untuk cerucuk bambu pada elevasi 0 meter nilainya semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas distribusi beban dan daya dukung matras bambu semakin besar dalam menahan

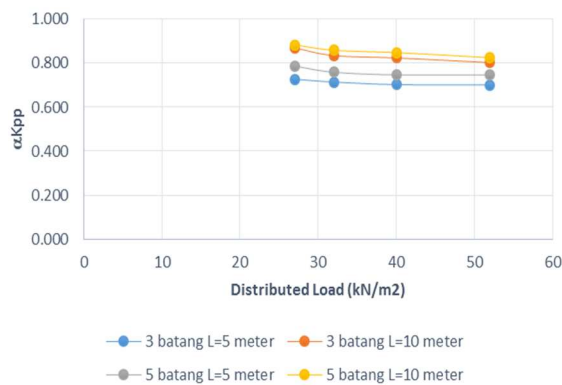
beban seiring dengan bertambahnya tebal lapisan matras, sehingga beban yang didistribusikan ke cerucuk bambu semakin kecil.



**Gambar 15** Axial force pada 5 lapis matras & 3 batang cerucuk (panjang 5 dan 10 meter)

Besarnya perbandingan kapasitas beban yang ditahan cerucuk matras dapat dicari dengan mencari nilai  $\alpha_{Kpp}$  yang dapat dihitung dengan mengetahui perbandingan antara beban yang ditahan oleh cerucuk saja dengan total beban yang ditahan oleh cerucuk dan matras.

Dari hasil perhitungan didapatkan grafik untuk mengetahui besarnya nilai  $\alpha_{Kpp}$  (Gambar 16).

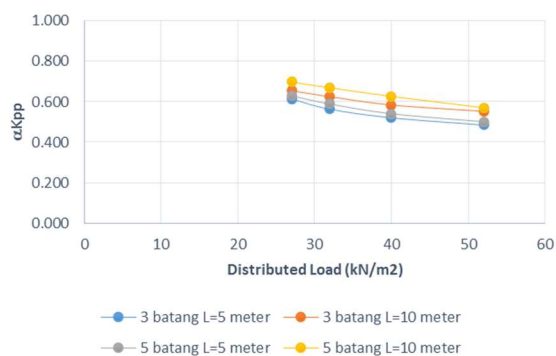


**Gambar 16**  $\alpha_{Kpp}$  perkuatan cerucuk dan 1 lapis matras

Untuk matras 1 lapis dengan berbagai variasi perkuatan cerucuk, pada Gambar 16 terlihat bahwa cerucuk dengan panjang 10 meter memiliki nilai  $\alpha_{Kpp}$  lebih besar daripada 5 meter baik 3 batang cerucuk maupun 5 batang cerucuk dalam 1 ikatan, yaitu pada beban awal nilainya kurang lebih 0,85. Jika dibandingkan dengan cerucuk panjang 5 meter, nilai  $\alpha_{Kpp}$  hanya 0,75. Dengan semakin bertambahnya beban, nilai  $\alpha_{Kpp}$  yang dihasilkan semakin kecil. Ini menunjukkan bahwa pada saat pembagian distribusi beban awal antara cerucuk dan matras bambu, cerucuk bambu lebih dominan dalam menahan beban daripada matras

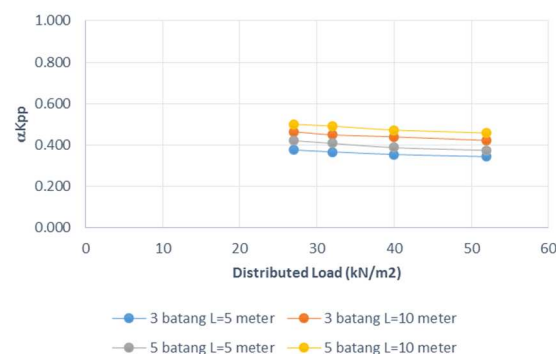
bambu. Namun dengan semakin besar beban yang diberikan, secara berangsur-angsur kapasitas matras bambu dalam menahan beban semakin besar daripada cerucuk bambu.

Sama seperti matras 1 lapis, nilai  $\alpha_{Kpp}$  pada Gambar 18 untuk matras 3 lapis juga mengalami penurunan dengan semakin besar beban yang diberikan. Pada saat pemberian beban awal, beban yang didistribusikan ke cerucuk lebih besar daripada matras dalam menahan beban. Dengan semakin besar beban, beban yang ditahan oleh matras bambu secara berangsur-angsur mulai bekerja sehingga mengurangi beban ke cerucuk bambu. Cerucuk dengan panjang 10 meter baik 3 batang maupun 5 batang cerucuk dalam 1 ikatan memiliki nilai  $\alpha_{Kpp}$  antara 0,58 sampai 0,70, sedangkan cerucuk dengan panjang 5 meter memiliki nilai  $\alpha_{Kpp}$  antara 0,48 sampai 0,60.



**Gambar 18**  $\alpha_{Kpp}$  perkuatan cerucuk dan 3 lapis matras

Pada Gambar 19, nilai  $\alpha_{Kpp}$  yang dihasilkan untuk 5 lapis matras secara keseluruhan lebih kecil daripada nilai  $\alpha_{Kpp}$  untuk 1 lapis dan 3 lapis matras. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tebalnya lapisan matras, maka kapasitas matras dalam menahan beban juga semakin besar. Pada matras 5 lapis, beban awal terlebih dahulu ditahan oleh cerucuk, dan secara berangsur-angsur dengan semakin bertambahnya beban, memperbesar kapasitas matras dalam menahan beban dibandingkan dengan kapasitas cerucuk bambu.



**Gambar 19**  $\alpha_{Kpp}$  perkuatan cerucuk dan 5 lapis matras

## Kesimpulan

1. Interaksi antara tanah dengan perkuatan cerucuk & *minipiles* terlihat dari distribusi beban di sepanjang batang cerucuk *minipiles*, dimana distribusi tersebut tidak

- hanya bergantung kepada bentuk model perkuatan, tetapi juga kuat geser dan elastisitas tanah.
2. Pengaruh panjang cerucuk dan *minipiles* untuk masing-masing model perkuatan terlihat dari transfer beban ke cerucuk/*minipiles*, dimana pada cerucuk 5 meter seluruh beban sudah terdistribusi pada batang dan ujung cerucuk/*minipiles*. Sedangkan pada cerucuk 10 meter sebagian besar beban mampu ditahan oleh batang cerucuk/*minipiles* dan hanya sebagian kecil saja yang ditahan oleh bagian ujung.
  3. Perkuatan cerucuk dengan menggunakan dengan tambahan 1 lapis grid/matras tidak banyak memberikan kontribusi dalam menahan beban, sehingga sebagian besar beban masih ditahan oleh cerucuk bambu. Semakin bertambah tebal lapisan grid/matras, maka distribusi penyaluran beban ke cerucuk akan semakin berkurang seiring dengan semakin besar kontribusi lapisan grid/matras dalam menahan beban.
  4. Besarnya perkuatan cerucuk bambu dalam menahan beban baik tahanan friksi dan tahanan ujung, selain dipengaruhi oleh dimensi cerucuk juga dipengaruhi oleh *shear strength* dan elastisitas dari tanah. Untuk perkuatan cerucuk matras bambu dimana tanah yang berada di lokasi ini merupakan jenis tanah dengan kondisi seragam, mengakibatkan grafik *axial force* yang dihasilkan berbentuk garis lurus yang nilainya semakin mengecil seiring dengan bertambahnya kedalaman lapisan tanah.

## Referensi

- Irsyam, M., & Krisnanto, S. (2009). Pengujian Skala Penuh Dan Analisis Perkuatan Cerucuk Matras Bambu Untuk Timbunan Badan Jalan Di Atas Tanah Lunak Di Lokasi Tambak Oso, Surabaya. *Civil Engineering Forum Teknik Sipil*, 18(1), PP-682.
- Karstunen, M., & Amavasai, A. (2017). Best soil: Soft soil modelling and parameter determination. *Gothenburg: Department of Architecture and Civil Engineering, Chalmers University of Technology*.
- Purnama, D. A. D., Salim, N., & Alihudin, A. (2022). Pengkajian Penggunaan Cerucuk Bambu Untuk Stabilitas Tanah Lempung Lunak Pada Bangunan Embung Serbaguna. *Jurnal Smart Teknologi*, 3(3), 286–300.
- Reynaldo, S. (2019). *Peningkatan Daya Dukung Tanah Dengan Ceurucuk Bambu*. Universitas Andalas.
- Susila, E., and Agrensa, F. (2013) Gridded Matrass and Mini-Piles Vs Tightened Matrass and Mini-Piles Vs Top Connected Mini-Piles–Simple and Cheap But Powerful Methods For Soft Soil Reinforcement, Proceeding of SIBE 2013, Bandung Institute Of Technology, Bandung, Indonesia.
- Widodo, B., Pratikso, Rochim, A. (2022) Determining The Stiffness of Bamboo Mattress in Soft Soil Improvement Analysis with Bamboo Mattress Pile Construction, Technology Reports of Kansai University, Vol 64 (6) pp. 8053–8063.
- Widodo, B., dan Widodoanidyawati, V. (2022) Kajian teknis rencana gedung SDN Tanjung Priok 01 Jakarta Utara, *Journal of Civil Engineering and Technology*, Vol . 1(1) pp 24-35.
- Widodo, B, Pratikso, Rochim, A., Masyur, I, dan Widodoanidyawati, V (2019) Influence of bamboo pile clusters in the pile mattress bamboo construction systems as reinforcement of soft subgrade that support embankment load, *Materials Science and Engineering* 527 (2019) 012055.