

ANALISIS PENURUNAN TANAH GAMBUT DENGAN TIMBUNAN YANG DIPERKUAT GRID BAMBU DAN TIANG BETON (ANALYSIS OF SETTLEMENT OF PEAT SOIL WITH EMBANKMENT REINFORCED OF BAMBOO GRID AND CONCRETE PILE)

Aazokhi Waruwu¹⁾, Taufik Hidayah Nasution²⁾

^{1),2)}Institut Teknologi Medan
^{1),2)}Jalan Gedung Arca No. 52 Medan
e-mail: ¹⁾azokhiw@gmail.com, ²⁾rin5516@gmail.com
Diterima: 25 Maret 2020; direvisi: 8 Juni 2020; disetujui: 22 Juni 2020

ABSTRAK

Tanah gambut memiliki daya dukung yang rendah ketika menerima beban timbunan dan beban lainnya pada konstruksi jalan. Kombinasi grid bambu dengan tiang beton berpotensi meningkatkan daya dukung dan memperkecil penurunan, untuk itu perlu penelitian seberapa besar pengaruh panjang dan jarak tiang dalam mengurangi penurunan akibat beban timbunan. Perkiraan penurunan dalam waktu yang lama perlu dilakukan dengan metode hiperbolik dan simulasi numeris dengan Plaxis 2D sebagai dasar perancangan. Penelitian ini dilakukan dengan pengamatan melalui model skala kecil di laboratorium pada tanah gambut dengan perkuatan grid bambu dan tiang beton yang dibebani dengan model beban timbunan. Analisis penurunan dilakukan dengan menggunakan metode hiperbolik dan simulasi numeris dengan Plaxis 2D untuk mengetahui perilaku deformasi tanah dan distribusi tegangan akibat beban timbunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkuatan grid bambu dengan tiang beton dapat mengurangi penurunan akibat beban timbunan. Analisis penurunan metode hiperbolik mendekati sama dengan data pengamatan, sedangkan simulasi numeris dengan Plaxis 2D lebih besar daripada metode lainnya. Perilaku deformasi tanah dan distribusi tegangan akibat beban timbunan dapat diketahui dari simulasi numeris dengan Plaxis 2D.

Kata Kunci: tanah gambut, penurunan, deformasi, pemampatan, distribusi tegangan, grid bambu dan tiang beton.

ABSTRACT

Peat soil has a low bearing capacity when it receives heap loads and other burdens on road construction. The combination of a bamboo grid with a concrete pole has the potential to increase the carrying capacity and reduce the reduction, so it is necessary to research how much influence the length and distance of the pile in reducing the decrease due to pile load. Estimation of the decline in a long time needs to be done by hyperbolic methods and numerical simulations with Plaxis 2D as a design basis. This research was carried out by observing through a small scale model in a laboratory on peat soil with reinforced bamboo grids and concrete poles which were loaded with heap load models. Settlement analysis is performed using hyperbolic methods and numerical simulations with 2D Plaxis to determine the behavior of soil deformation and stress distribution due to embankment loads. The results showed that reinforcing bamboo grids with concrete poles can reduce losses due to pile loads. Analysis of the decline in the hyperbolic method approaches the same as the observed data, while the numerical simulation with Plaxis 2D is greater than the other methods. Soil deformation behavior and stress distribution due to embankment load can be known from numerical simulations with Plaxis 2D.

Keywords: peat soil, settlement, displacement, compressibility, stress distribution, bamboo grid and pile concrete.

PENDAHULUAN

Konstruksi bangunan sipil di atas tanah gambut sering sekali bermasalah akibat sifat fisik dan teknis tanah gambut yang kurang menguntungkan. Kerusakan dan kegagalan konstruksi bangunan sering terjadi di atas tanah gambut tanpa perkuatan akibat daya dukung rendah dan pemampatan yang tinggi (Waruwu 2014). Beberapa bangunan rumah di atas lahan gambut tanpa sistem perkuatan tanah yang memadai mengalami kegagalan (Waruwu dan Susanti 2015). Sebagai tanah organik, tanah gambut memerlukan penanganan khusus apabila dijadikan sebagai tanah dasar baik untuk konstruksi bangunan maupun konstruksi jalan. Pedoman Perencanaan Konstruksi Timbunan Jalan di atas Gambut dengan Metode Prapembebanan (Indonesia 2004), suatu tanah diklasifikasikan sebagai tanah gambut apabila memiliki kriteria kadar organik lebih besar dari 75%.

Konstruksi jalan di atas tanah gambut memerlukan timbunan tanah. Beban timbunan sebagai prapembebanan dapat mengurangi pemampatan tanah gambut (Waruwu, Hardiyatmo, dan Rifa'i 2016a). Selain untuk mempercepat pemampatan tanah gambut juga untuk digunakan sebagai tanah dasar konstruksi jalan. Timbunan yang tipis tidak signifikan dalam meningkatkan daya dukung, sebaliknya timbunan yang cukup tebal dalam mengakibatkan penurunan berlebih, sehingga menimbulkan kegagalan pada timbunan dan konstruksi jalan di atasnya. Kriteria disain tinggi timbunan maksimum pada tanah lempung lunak, tanah organik, inorganik, dan gambut dapat ditentukan dari 4 (empat) kali nilai kuat geser tak terdrainase rata-rata sampai kedalaman 5 (lima) meter dibagi berat isi material timbunan (Indonesia 2002). Evaluasi terhadap timbunan memberikan kemungkinan tipe konstruksi pembebanan satu tahap apabila kuat geser awal tanah sanggup memikul beban timbunan maksimum atau pembebanan beberapa tahap yang membutuhkan kenaikan kuat geser pada suatu tahap pembebanan agar desain laju pembebanan aman (Indonesia 2004).

Umumnya untuk mengatasi masalah penurunan pada tanah lunak seperti tanah gambut ini dilakukan dengan menggunakan tiang sampai

lapisan tanah keras, tetapi pemancangan tiang sampai tanah keras akan bermasalah jika lapisan tanah gambut terlalu tebal (Waruwu, et al., 2016). Tiang-tiang yang dipancang dalam tanah gambut dapat mengurangi penurunan berlebih dan lendutan pelat di atas tiang, sehingga daya dukung tanah gambut meningkat dalam menahan beban timbunan dan beban-beban lainnya.

Penggunaan sistem tiang dengan pelat dapat meningkatkan kemampuan tanah lunak dalam memikul beban dan menghasilkan penurunan yang seragam serta menambah ketahanan yang lebih tinggi terhadap beban berulang yang diberikan di atasnya (Puri dkk. 2015).

Sistem perkuatan lainnya untuk mengganti pelat beton adalah grid bambu. Material bambu dapat digunakan sebagai material alternatif karena merupakan bahan alami yang mudah diperoleh dan ramah lingkungan, distribusi pertumbuhannya cepat dan luas, memiliki bobot yang ringan, mempunyai batang yang kuat, serta mudah digunakan (Sakaray, Togati, and Reddy 2012) Bambu dapat dibentuk menyerupai grid yang berfungsi sebagai pengganti dari sistem pelat terpaku yang diperkuat tiang beton sehingga dapat menghasilkan daya dukung tiang yang lebih tinggi. Grid bambu dapat digunakan sebagai material perkuatan pada tanah gambut untuk mengurangi penurunan akibat beban timbunan (Waruwu, Hardiyatmo, dan Rifa'i 2017)

Kombinasi grid bambu dengan tiang beton dapat meningkatkan kemampuan tanah gambut dalam memikul beban-beban di atasnya seperti beban timbunan (Waruwu, Susanti, dan Debby 2020). Tiang-tiang ini dapat memberikan perlawanan terhadap beban yang bekerja sehingga penurunan tanah gambut semakin berkurang dan kekakuan sistem perkuatan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah tiang yang digunakan.

Penurunan akibat beban timbunan dapat dianalisis menggunakan metode hiperbolik dan Metode Asaoka (Waruwu, Hardiyatmo, dan Rifa'i 2016a). Hasil yang lebih akurat saat memperkirakan penurunan pada tanah gambut didapatkan apabila ada beberapa metode menghasilkan nilai penurunan yang saling berdekatan. Salah satu metode yang akan digunakan yaitu metode hiperbolik (Tan, Inoue,

and Lee 1991). Perkiraan penurunan tanah gambut akibat beban timbunan pada waktu-waktu yang tidak beraturan cocok jika menggunakan metode hiperbolik (Waruwu, Hardiyatmo, dan Rifa'i 2017). Sebagai perbandingan, maka perlu simulasi numeris menggunakan aplikasi Plaxis 2D. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui hasil pemodelan numerik dalam menganalisis penurunan yang paling sesuai pada timbunan yang diperkuat grid bambu dan tiang beton di atas tanah gambut.

Rancangan penelitian dilakukan dengan cara pengamatan model beban timbunan di laboratorium yang diterapkan pada lapisan tanah gambut dengan kombinasi perkuatan grid bambu dan tiang beton. Makalah ini merupakan lanjutan penelitian terdahulu (Waruwu, Susanti, dan Debby 2020). Hasil pengamatan dianalisis menggunakan metode hiperbolik dan diteruskan dengan simulasi numeris menggunakan aplikasi Plaxis 2D.

KAJIAN PUSTAKA

Penurunan total yang terjadi akibat beban timbunan dapat berupa penurunan segera, penurunan konsolidasi primer, dan penurunan konsolidasi sekunder. Konsolidasi pada tanah gambut terdiri dari konsolidasi primer yang sangat cepat diikuti pemampatan sekunder dalam waktu yang lama dan kemudian pemampatan tersier (Waruwu, Hardiyatmo, dan Rifa'i 2016a)

Analisis penurunan akibat beban timbunan dapat menggunakan metode hiperbolik dari hubungan antara penurunan lapangan (S) dengan waktu konsolidasi (t) (Tan, Inoue, and Lee 1991). Kurva hiperbolik didapat dari Persamaan (1) dan penurunan akhir (S_f) didefinisikan dari Persamaan (3) (Chung, et al. 2009; Waruwu, Hardiyatmo, dan Rifa'i 2016a, 2016b)

. Koefisien α dan β didapat dari hubungan t dan t/s seperti pada Gambar 1.

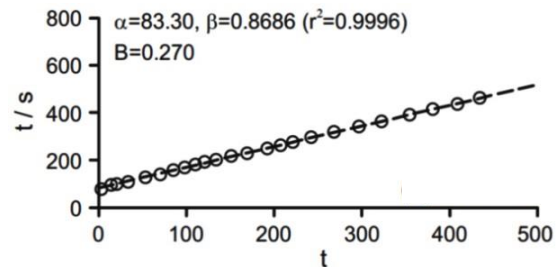
$$S = \frac{t}{\alpha + \beta t} \dots\dots\dots (1)$$

$$t = \frac{\alpha S}{1 - \beta S} \dots\dots\dots (2)$$

$$S_f = \frac{1}{\beta} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- S : penurunan
- t : waktu
- α : perpotongan garis linier
- β : kemiringan garis linier



Gambar 1. Penentuan nilai α dan β pada metoda hiperbolik (Chung, et al. 2009)

Metode ini dapat digunakan berdasarkan hasil analisis terhadap α dan β yang merupakan perpotongan dan kemiringan garis linier pada hubungan rasio t/s sebagai ordinat dan t sebagai absis (Huat, Hoe, and Munzir 2004). Dalam hal ini, S_f adalah penurunan akhir (mm), α adalah perpotongan garis linier pada sumbu vertikal absis (mm), β adalah gradien kemiringan dari kurva garis lurus, S_t adalah penurunan pada waktu t (mm), Δt adalah interval waktu (hari), dan t adalah waktu (hari).

Metode hiperbolik terbatas pada analisis penurunan, untuk itu perlu simulasi numeris menggunakan aplikasi Plaxis 2D yang dapat menggambarkan perilaku deformasi tanah dan distribusi tegangan pada lapisan tanah. Aplikasi ini dapat menganalisis penurunan akibat beban timbunan dengan memodelkan dalam bentuk *plane strain* maupun *axi-simetri*. Analisis penurunan akibat beban timbunan yang diperkuat pelat dan tiang-tiang pada tanah gambut dapat dianalisis menggunakan model regangan bidang atau *plane strain* (Waruwu, Maulana dan Halim 2017).

Model *plane strain* lebih sering digunakan untuk menganalisis penurunan akibat beban timbunan di atas lunak, dibandingkan dengan model *axisymmetric*, karena momen lentur, distribusi gaya tarik, dan deformasi sulit untuk ditentukan (Balasubramaniam et al. 2010). Masalah pemodelan fondasi tiang pancang, tiang bor, sumuran, maupun pada pengujian triaksial

dapat disederhanakan dengan model *axisymmetric* (Kosasih 2012)

Aplikasi Plaxis 2D dikembangkan dari Metode Elemen Hingga. Metode elemen hingga tergolong metode numeris yang memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode konvensional lainnya dalam hal analisis tegangan dan deformasi massa tanah. Metode ini secara umum mampu memodelkan perilaku tegangan regangan nonlinear, kondisi-kondisi nonhomogen, dan perubahan geometri selama konstruksi timbunan. Menurut Waruwu, Hardiyatmo, dan Rifa'i (2017), hasil analisis menggunakan Metode Elemen Hingga lebih besar dibandingkan hasil pengamatan. Untuk itu perlu dilakukan analisis penurunan pada timbunan yang diperkuat grid bambu dan tiang beton di atas tanah gambut menggunakan Metode Elemen Hingga dengan Plaxis 2D.

HIPOTESIS

Hasil analisis penurunan yang sesuai dengan hasil pengamatan menjelaskan analisis penurunan pada timbunan yang diperkuat grid bambu dan tiang beton di atas tanah gambut.

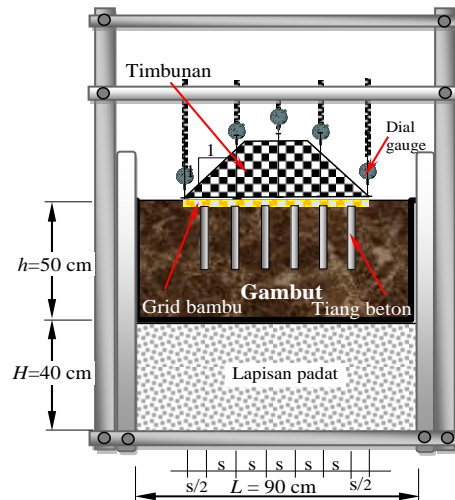
METODOLOGI

Lokasi pada pengujian penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Institut Teknologi Medan (ITM). Tanah gambut yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Desa Bagan Jawa Pesisir Bagan Siapi-api, Provinsi Riau. Penelitian dilakukan mulai pada Mei 2019 sampai Oktober 2019.

Pengamatan data penurunan dilakukan melalui serangkaian uji model pada skala kecil di laboratorium. Uji model ini mengacu pada penelitian Waruwu (2018). Penelitian tersebut menggunakan pemodelan terdiri dari tiang-tiang yang terikat dan tidak terikat dengan pelat beton (monolit dan tidak monolit) pada tanah gambut. Model diuji dalam bak berukuran $120\text{ cm} \times 120\text{ cm} \times 120\text{ cm}$. Media tanah gambut setebal 50 cm dengan urugan potongan besi sebagai beban timbunan.

Bak uji pada penelitian ini berbentuk persegi ukuran panjang 120 cm, lebar 90 cm, dan

tinggi 90 cm. Pada bagian bawah bak uji diisi blok beton sehingga ketebalan sampel gambut sekitar 50 cm (Gambar 2). Bagian dalam bak uji dilapisi terpal untuk menghindari keluarnya air dari dalam lapisan tanah.



Gambar 2. Skema model di laboratorium

Pengamatan penurunan dilakukan melalui uji beban timbunan yang dimodelkan dari potongan besi $19\text{ mm} \times 19\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ secara bertahap di atas lapisan tanah gambut yang diperkuat grid bambu berukuran $60\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ dengan dan tanpa tiang beton Gambar 3. Tiang yang digunakan masing-masing 15 cm dan 25 cm dengan jarak 5 cm dan 10 cm. Jumlah tiang dengan jarak yang dekat tersusun lebih banyak dibandingkan tiang dengan jarak lebih besar. Model sistem perkuatan dirancang dengan skala sekitar 1:10, model aktual di lapangan dikalikan 10 untuk mendapatkan dimensi tiang dan jarak tiang. Model beban timbunan menggunakan potongan besi ukuran $1,9\text{ cm} \times 1,9\text{ cm}$ panjang 4 cm yang diletakan di atas permukaan lapisan tanah gambut. Beban diberikan secara bertahap setiap 1 (satu) hari. Setiap tahapan beban menghasilkan tekanan sebesar 3,02 kPa.

Analisis data hasil penelitian dilakukan dengan perkiraan penurunan tanah yang terjadi pada waktu selanjutnya menggunakan metode hiperbolik dan dilanjutkan dengan analisis numeris menggunakan *software* Plaxis 2D untuk mengetahui perilaku deformasi dan distribusi tegangan akibat beban timbunan di atas tanah

gambut yang diperkuat grid bambu dengan tiang beton dengan panjang dan jarak yang berbeda. Data dari hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium nantinya akan dibandingkan dengan data hasil perkiraan penurunan menggunakan metode hiperbolik dan simulasi numeris dengan menggunakan *software* Plaxis 2D.



Gambar 3. Uji model di laboratorium

Pemodelan yang dilakukan menggunakan Plaxis 2D berupa penginputan data pada *software* Plaxis 2D yang kemudian secara otomatis menganalisis data yang diinput dari hasil pemodelan tanah yang telah dimodelkan sesuai dengan proses hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium. Parameter-parameter yang akan digunakan untuk pemodelan pada Plaxis 2D diperoleh dari hasil pengujian dan analisis.

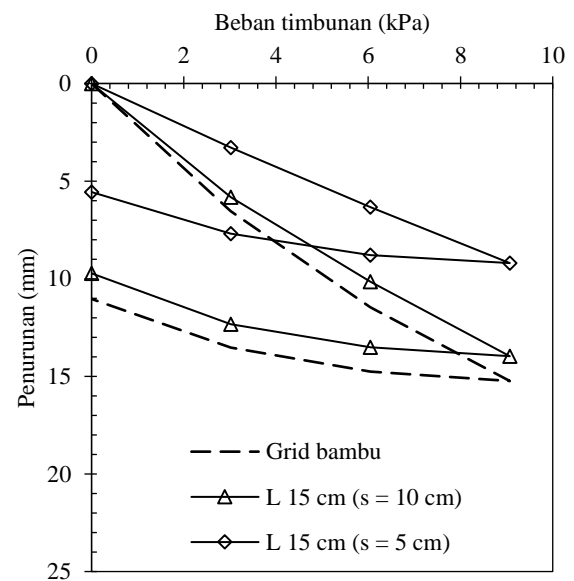
HASIL DAN ANALISIS

Hasil Sifat Fisik Tanah Gambut

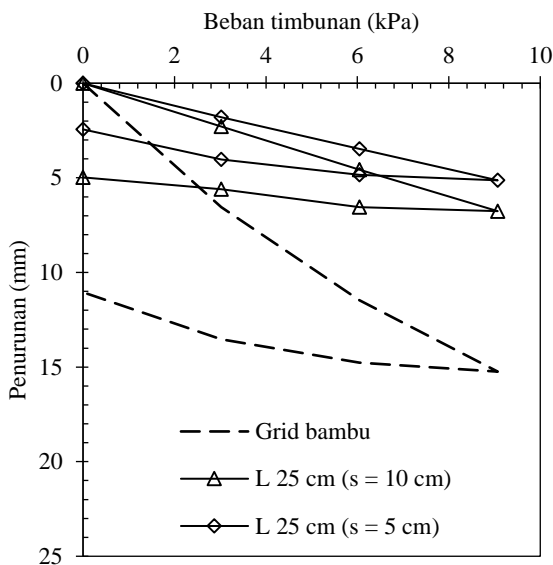
Penelitian ini menggunakan tanah gambut yang diperoleh dari Desa Bagan Jawa Pesisir Bagan Siapiapi, Provinsi Riau. Hasil uji sifat fisik dan karakteristik dari tanah gambut diperoleh berat isi di bawah muka air tanah sebesar $10,75 \text{ kN/m}^3$, kadar air 343,95%, berat jenis 1,34, kadar organik 99%, kadar serat 35,21%, kohesi (c) $3,53 \text{ kN/m}^2$, dan sudut geser $17,75^\circ$.

Hasil pada Penurunan Tanah Gambut di Laboratorium

Hasil uji beban timbunan terlihat pada pengukuran penurunan tanah gambut yang diperkuat grid bambu dengan tiang panjang 15 cm dan 25 cm pada Gambar 4 dan Gambar 5. Tiang dengan jarak yang lebih dekat menunjukkan nilai penurunan yang semakin kecil hal yang sama didapatkan pada tiang yang lebih panjang. Semakin panjang tiang dengan jarak yang lebih rapat memperlihatkan penurunan yang semakin kecil.

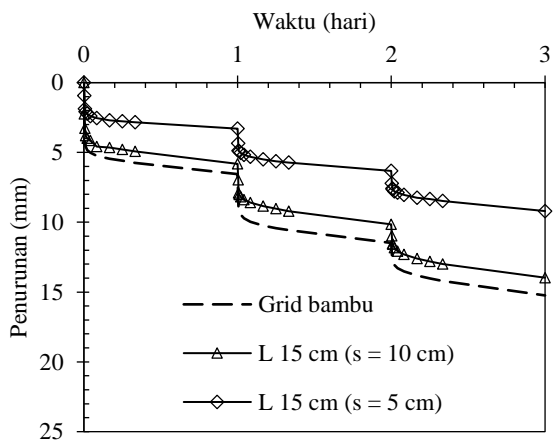


Gambar 4. Hasil uji beban timbunan pada tiang L 15 cm

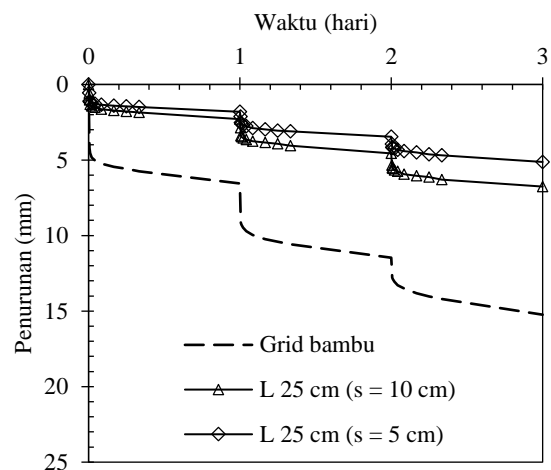


Gambar 5. Hasil uji beban timbunan pada tiang L 25 cm

Tahapan beban timbunan sebesar 2,94 kPa diberikan setiap hari dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Kedua tipe pengujian memperlihatkan bahwa penurunan yang signifikan terjadi di awal-awal pembebanan diteruskan dengan penurunan yang relatif konstan pada waktu-waktu yang lebih lama.



Gambar 6. Hubungan waktu dan penurunan pada tiang L 15 cm

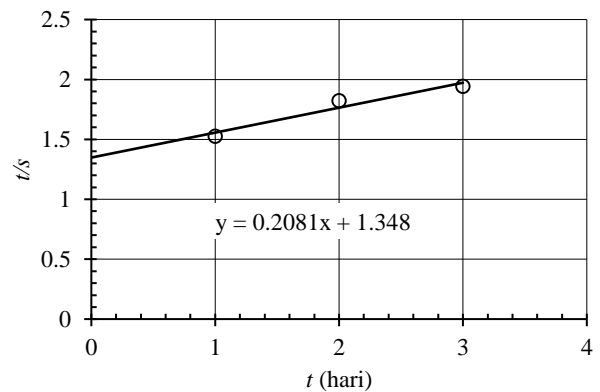


Gambar 7. Hubungan waktu dan penurunan pada tiang L 25 cm

PEMBAHASAN

Perkiraan Penurunan Dengan Metode Hiperbolik

Koefisien α dan β yang digunakan dalam menganalisis penurunan pada metode hiperbolik didapatkan dari hubungan waktu (t) dan rasio waktu (t) dan penurunan (S) pada masing-masing uji model yang dilakukan. Hubungan t dan t/s pada tanah gambut dengan perkuatan grid bambu tanpa tiang ditunjukkan pada Gambar 8.



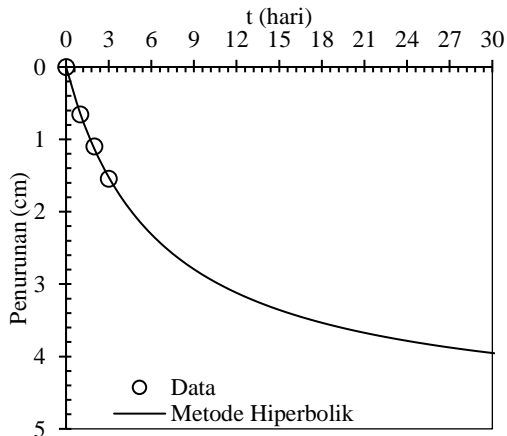
Gambar 8. Hubungan t/s terhadap t

Hasil analisis α dan β selanjutnya untuk tiang panjang 15 cm dan 25 cm pada jarak-jarak tertentu dapat dilihat pada Tabel 1.

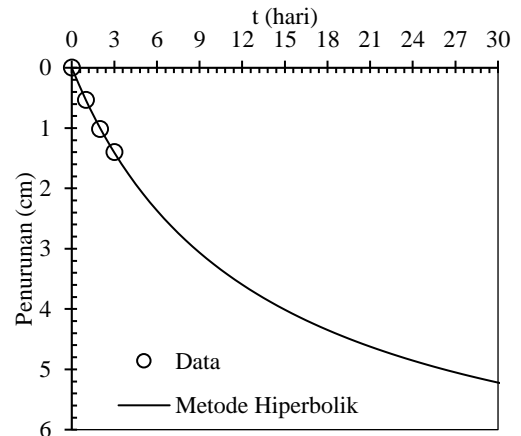
Tabel 1. Nilai α dan β dari metode hiperbolik

Uraian		α	β
Grid bambu tanpa tiang		1,348	0,2081
Tiang 15 cm	Jarak 10 cm	1,7308	0,1339
	Jarak 5 cm	2,932	0,1107
Tiang 25 cm	Jarak 10 cm	4,4879	0,0884
	Jarak 5 cm	5,3253	0,1462

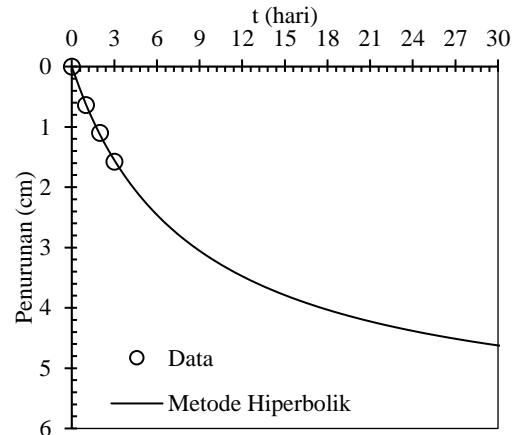
Berdasarkan nilai α dan β untuk setiap uji model dan dengan menggunakan Persamaan 1, maka didapatkan perkiraan penurunan pada waktu-waktu tertentu seperti pada Gambar 9 sampai Gambar 13. Waktu yang diperlukan pada saat pengamatan hanya sampai 3 (tiga) hari. Hasil analisis penurunan dari metode hiperbolik selama tiga hari untuk semua uji model memperlihatkan hasil yang tidak jauh beda dengan hasil pengamatan di laboratorium. Metode hiperbolik dapat memperkirakan seberapa besar penurunan pada waktu-waktu yang lebih lama, hal ini sesuai hasil penelitian Waruwu (2017). Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan penurunan semakin kecil seiring dengan bertambahnya waktu. Dengan demikian penurunan didapatkan akan berakhir pada waktu tertentu. Sama halnya dengan pengamatan, perkuatan tiang yang lebih panjang dan lebih rapat menunjukkan nilai penurunan yang relatif lebih kecil.



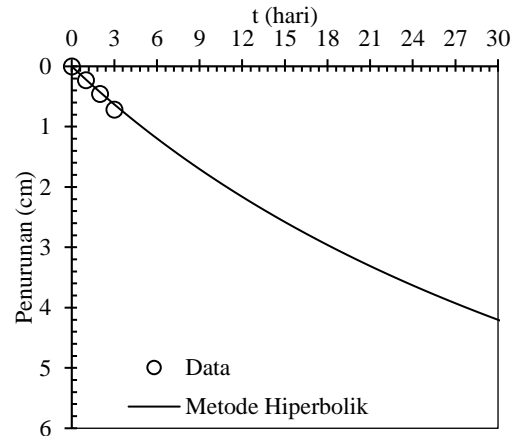
Gambar 9. Perkiraan penurunan tanah tanpa menggunakan tiang



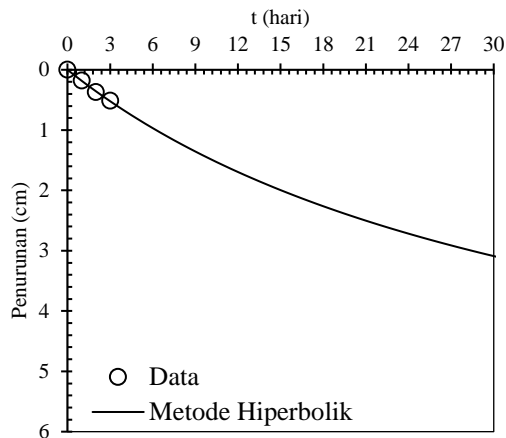
Gambar 10. Perkiraan penurunan tanah pada tiang 15 cm jarak 10 cm



Gambar 11. Perkiraan penurunan tanah pada tiang 15 cm jarak 5 cm.



Gambar 12. Perkiraan penurunan tanah pada tiang 25 cm jarak 10 cm

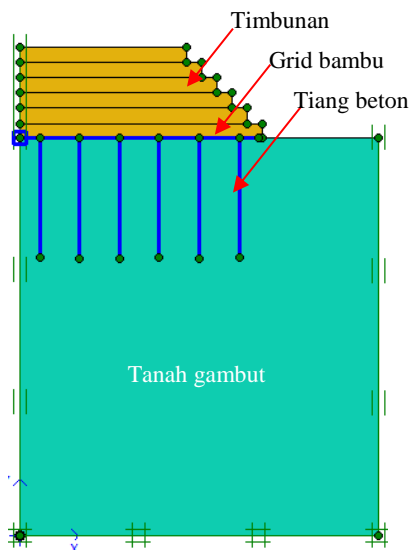


Gambar 13. Perkiraan penurunan tanah pada tiang 25 cm jarak 5 cm

Analisis Penurunan Tanah Gambut Pada Plaxis 2D

Analisis penurunan tanah gambut dengan menggunakan Plaxis 2D dapat dilihat pada Gambar 14. Pemodelan beban timbunan pada tanah gambut yang diperkuat grid bambu dan tiang beton pada panjang dan jarak-jarak yang sama dengan uji model di laboratorium. Sifat-sifat material yang dimasukkan dalam pemodelan diperoleh dari hasil uji dan analisis seperti ditunjukkan dalam

Tabel 2 sampai **Tabel 5.**



Gambar 14. Pemodelan menggunakan software Plaxis 2D

Tabel 2. Sifat – sifat material pada tanah gambut

No	Parameter	Nama	Nilai
1	Model Material	Model	Mohr-Coulomb
2	Jenis perilaku material	Jenis	Drained
3	Berat isi dibawah muka air tanah	γ_{sat}	10,75 kN/m ³
4	Permeabilitas arah vertikal dan horizontal	$k_y = k_x$	0,879 m/hari
5	Kohesi	c	3,53 kN/m ²
6	Sudut gesek	ϕ	17,75°
7	Elastisitas	E_{ref}	205,2 kN/m ²

Selain nilai penurunan maksimum pada akhir beban timbunan, perilaku deformasi pada masing-masing tiang dengan panjang dan jarak yang berbeda didapatkan dari hasil simulasi numeris dengan Plaxis 2D seperti pada Gambar 15 sampai Gambar 18. Pengertian deformasi dalam tulisan ini adalah berupa perubahan bentuk dan nilai penurunan tanah gambut yang terjadi akibat penerapan beban timbunan. Nilai-nilai maksimum yang didapatkan digunakan sebagai nilai penurunan dari hasil simulasi numeris.

Tabel 3. Sifat – sifat material grid bambu

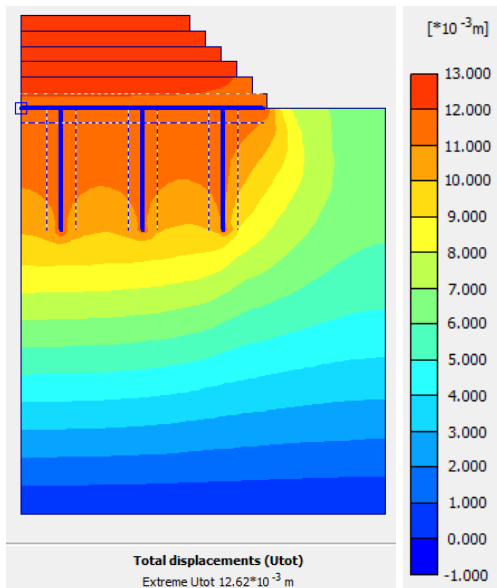
No	Parameter	Nama	Nilai
1	Jenis perilaku material	Jenis	Elastic
2	Kekakuan normal	EA	18214286 kN/m
3	Kekakuan lentur	EI	1517857 kNm ² /m
4	Berat	W	0,00145 kN/m/m

Tabel 4. Sifat – sifat material tiang beton

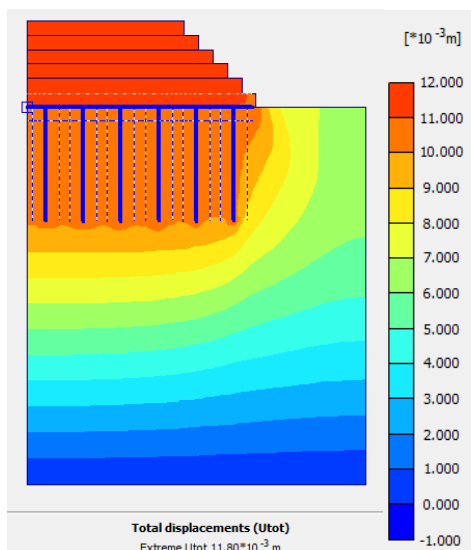
No	Parameter	Nama	Nilai
1	Jenis perilaku material	Jenis	Elastic
2	Kekakuan normal	EA	77016,324 kN/m
3	Kekakuan lentur	EI	19254 kNm ² /m
4	Berat	W	0,077 kN/m/m

Tabel 5. Sifat – sifat material besi timbunan

No	Parameter	Nama	Nilai
1	Model material	Model	Linear Elastic
2	Jenis perilaku material	Jenis	Non-porous
3	Berat isi	γ_{sat}	79,554 kN/m ³



Gambar 15. Deformasi pada tiang L 15 cm dengan jarak 10 cm

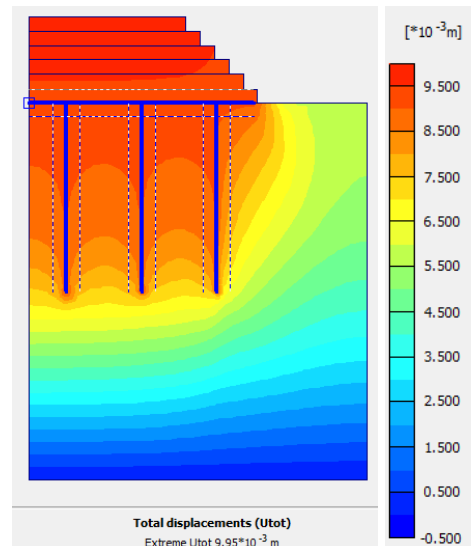


Gambar 16. Deformasi pada tiang L 15 cm dengan jarak 5 cm

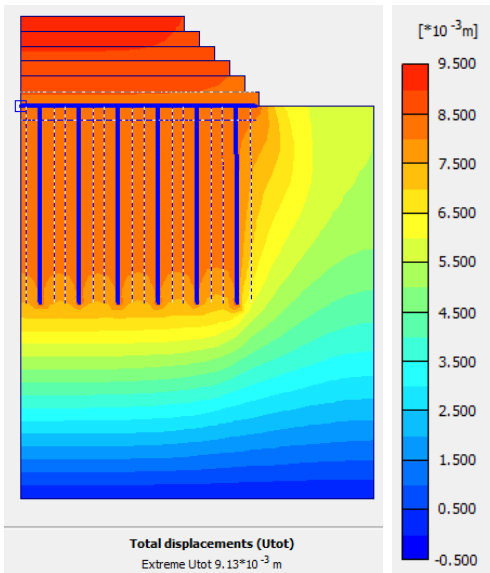
Deformasi tanah gambut semakin kecil pada tiang yang lebih panjang dan lebih rapat. Tanah di antara tiang dan di bawah grid bambu terlihat memiliki deformasi yang hampir sama di sepanjang tiang. Deformasi tanah antar tiang di ujung tiang membentuk parabola, hal ini menunjukkan bahwa deformasi tanah antara ujung tiang lebih kecil dibandingkan dengan ujung tiang

dan bagian atas tiang. Hal ini terlihat lebih jelas pada Gambar 17. Perlawanan tanah pada tiang yang semakin panjang dan rapat terlihat semakin tinggi dibandingkan tiang yang lebih pendek. Dengan demikian daya dukung tanah bertambah dengan adanya tiang yang lebih panjang dan lebih rapat.

Perbandingan hasil analisis penurunan tanah gambut menggunakan Plaxis 2D dengan metode hiperbolik dan data pengamatan ditunjukkan pada Gambar 19 sampai Gambar 22. Sebagian besar hasil analisis numeris dengan Plaxis 2D memperlihatkan hasil yang lebih besar daripada data pengamatan dan metode hiperbolik, hal ini dapat memberikan faktor aman yang lebih tinggi. Hasil yang didapatkan pada penelitian terdahulu (Waruwu, Maulana, dan Halim 2017)

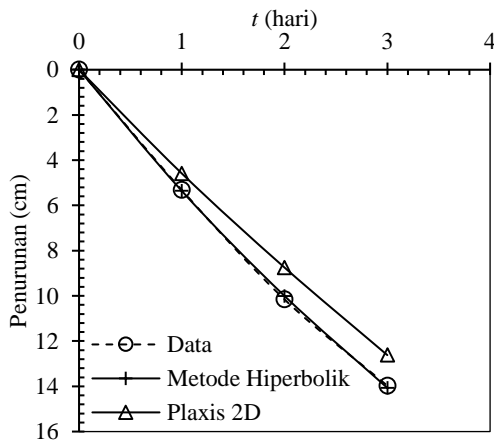


Gambar 17. Deformasi pada tiang L 25 cm dengan jarak 10 cm

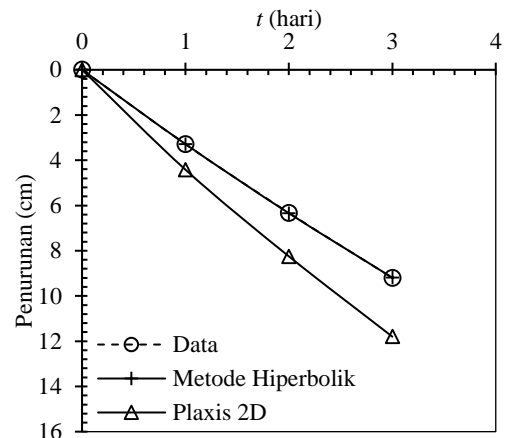


Gambar 18. Deformasi pada tiang L 25 cm dengan jarak 5 cm

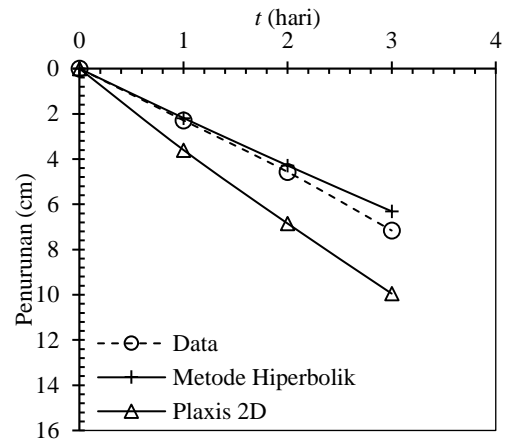
Pola penurunan hasil analisis numeris menggunakan Plaxis 2D menunjukkan adanya kemiripan pada pola penurunan yang terjadi terutama pada pola penurunan pada data pengamatan dan metode hiperbolik.



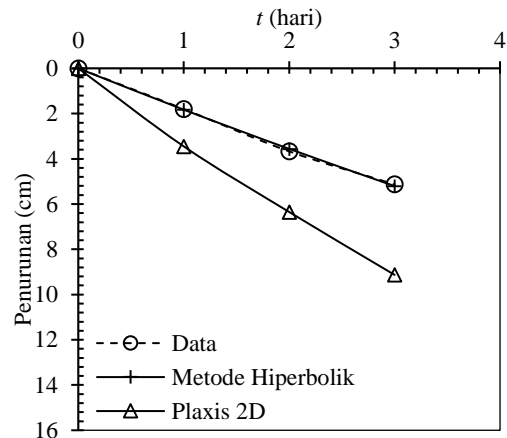
Gambar 19. Perbandingan penurunan pada tiang L 15 cm jarak 10 cm



Gambar 20. Perbandingan penurunan pada tiang L 15 cm jarak 5 cm



Gambar 21. Perbandingan penurunan pada tiang L 25 cm jarak 10 cm

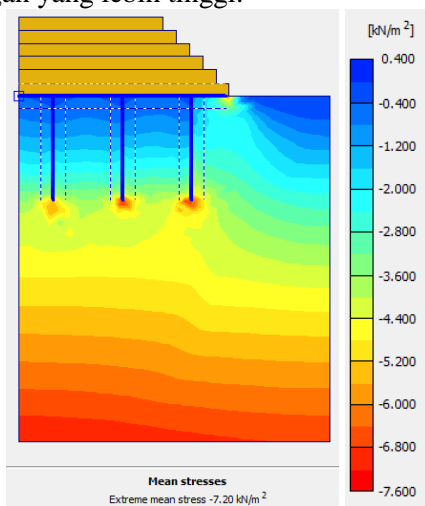


Gambar 22. Perbandingan penurunan pada tiang L 25 cm jarak 5 cm

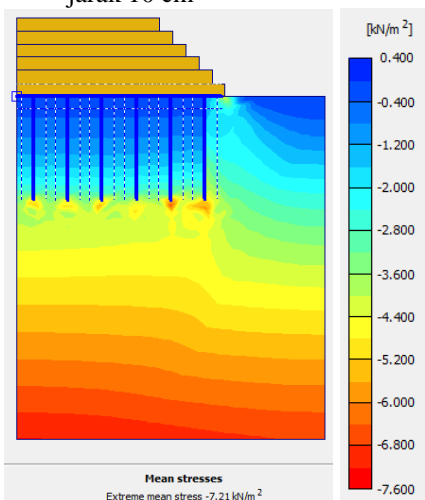
Distribusi tegangan dari hasil simulasi numeris menggunakan Plaxis 2D diperlihatkan

pada Gambar 23 sampai Gambar 26. Umumnya distribusi tegangan lebih dominan di ujung tiang daripada bagian lainnya, terutama pada tiang tepi. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi beban berada di ujung-ujung tiang. Distribusi tegangan pada ujung tiang tepi terlihat lebih besar dibandingkan ujung tiang tengah. Selain pada ujung tiang, distribusi tegangan cenderung lebih besar pada tepi grid bambu.

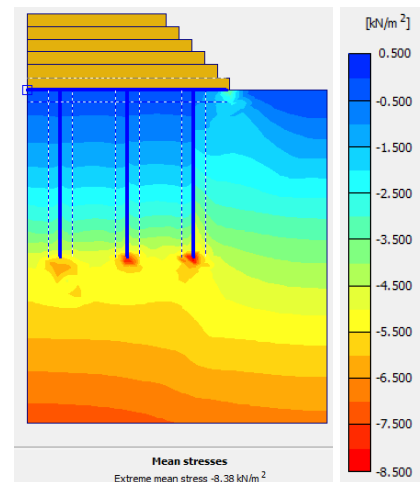
Distribusi tegangan minimum terjadi di permukaan tanah, sedangkan lapisan pada lapisan tanah paling bawah menunjukkan distribusi tegangan yang lebih tinggi.



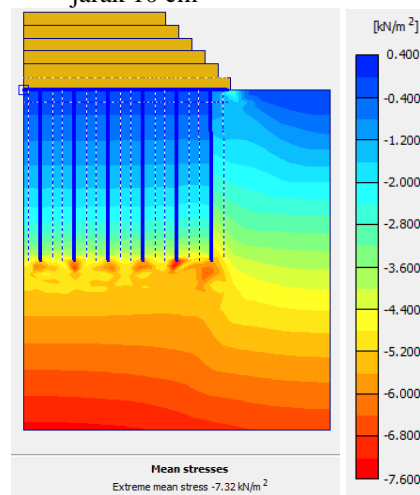
Gambar 23. Distribusi tegangan pada tiang L 15 cm jarak 10 cm



Gambar 24. Distribusi tegangan pada tiang L 15 cm jarak 5 cm



Gambar 25. Distribusi tegangan pada tiang L 25 cm jarak 10 cm



Gambar 26. Distribusi tegangan pada tiang L 25 cm jarak 5 cm

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari pembahasan di atas dapat diperoleh kesimpulan bahwa perkuatan tanah gambut dari kombinasi grid bambu dengan tiang pada jarak yang lebih dekat dan lebih panjang memberikan nilai penurunan yang semakin kecil akibat beban timbunan. Tiang-tiang dapat mengurangi penurunan di awal-awal pembebanan dan relatif konstan pada waktu yang lebih lama.

Analisis penurunan akhir dengan metode hiperbolik didapatkan sebesar 14,07 mm dan 9,19 mm untuk tiang dengan panjang 15 cm jarak 10 cm dan 5 cm, untuk tiang panjang 25 cm dengan jarak

10 cm dan 5 cm masing-masing 6,31 cm dan 5,20 cm. Hasil ini mendekati sama dengan data pengamatan, dimana penurunan yang didapatkan sebesar 13,97 mm dan 9,20 mm untuk tiang dengan panjang 15 cm jarak 10 cm dan 5 cm, untuk tiang panjang 25 cm dengan jarak 10 cm dan 5 cm masing-masing 7,16 cm dan 5,13 cm. Perubahan penurunan didapatkan semakin kecil seiring dengan bertambahnya waktu pembebanan.

Hasil analisis penurunan tanah gambut menggunakan simulasi numeris dengan Plaxis 2D didapatkan sebesar 12,62 mm dan 11,8 mm untuk tiang dengan panjang 15 cm jarak 10 cm dan 5 cm, untuk tiang panjang 25 cm dengan jarak 10 cm dan 5 cm masing-masing 9,95 cm dan 9,13 cm. Hasil ini umumnya lebih besar dibandingkan data pengamatan dengan penurunan sebesar 13,97 mm dan 9,20 mm untuk tiang dengan panjang 15 cm jarak 10 cm dan 5 cm, untuk tiang panjang 25 cm dengan jarak 10 cm dan 5 cm masing-masing 7,16 cm dan 5,13 cm. Akan tetapi pola penurunan yang didapatkan mendekati sama dengan metode lainnya.

Perilaku deformasi tanah gambut didapatkan semakin kecil pada tiang yang lebih panjang dan lebih rapat. Tanah di antara tiang dan di bawah grid bambu menunjukkan perilaku deformasi yang hampir sama di sepanjang tiang, sedangkan deformasi tanah antar tiang di ujung tiang membentuk parabola. Deformasi tanah antara ujung tiang lebih kecil dibandingkan dengan ujung tiang dan bagian atas tiang.

Distribusi tegangan akibat beban timbunan lebih dominan di ujung tiang daripada bagian lainnya, terutama pada tiang tepi. Distribusi tegangan pada ujung tiang tepi didapatkan lebih besar dibandingkan ujung tiang tengah. Selain pada ujung tiang, distribusi tegangan didapatkan cenderung lebih besar pada tepi grid bambu.

Saran

Dalam analisis penurunan tanah gambut, metode hiperbolik disarankan untuk memperkirakan penurunan pada waktu yang lebih lama, sedangkan simulasi numeris untuk digunakan sebagai dasar perancangan perkuatan grid bambu dengan tiang beton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Bersama ini tim penulis memberikan penghargaan terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam penelitian, terutama kepada tim peneliti di laboratorium Mekanika Tanah Institut Teknologi Medan. Ucapan terima kasih kepada DRPM Ristek-Dikti yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Terapan Kompetitif Nasional tahun 2019-2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Balasubramaniam, A. S., H Cai, D. Zhu, C. Surarak, and E. Y. N. Oh. 2010. Settlements of Embankments in Soft Soils. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 41(2), pp. 1-19.
- Chung, S. G., Lee, N. K. & Kim, S. R., 2009. Hyperbolic Method for Prediction of Prefabricated Vertical Drains Performance. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(10), pp. 1519-1528.
- Huat, B. B. K., Hoe, N. C. & Munzir, H. A., 2004. Observational Methods for Predicting Embankment Settlement. *Pertanika J. Sci. & Technol.*, 12(1), pp. 115-128.
- Kokasih, P. B., 2012. *Teori dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. 1 ed. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Indonesia. 2002. *Timbunan Jalan pada Tanah Lunak - Desain dan Konstruksi*. Bandung: Pusat Litbang Prasarana Transportasi - Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah.
- . 2004. *Perencanaan Konstruksi Timbunan Jalan di atas Gambut dengan Metode Prapembebanan*. Bandung: Pusat Litbang Prasarana Transportasi - Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah.
- Puri, A., Hardiyatmo, H. C., Suhendro, B. & Rifa'i, A., 2015. Perilaku Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Tanah Dasar Lempung Lunak. *Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil (KNPTS) 12*: 7-17.
- Sakaray, H., Togati, N. V. K. & Reddy, I. R., 2012. *Investigation On Properties Of Bamboo As*

- Reinforcing Material In Concrete. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)* 2(1): 077-083.
- Tan, T. S., Inoue, T. & Lee, S. L., 1991. Hyperbolic Method for Consolidation Analysis. *Journal of Geotechnical Engineering* 117(11): 1723-1737.
- Waruwu, A., 2014. Bamboo Reinforcement in Shallow Foundation on the Peat Soil. *Journal of Civil Engineering Research* 4(3A): 96-102.
- Waruwu, A. & Susanti, R. D., 2015. Behavior of Soil Peat with Reinforcement of Bamboo Grid. *IOSR Journal of Engineering* 5(11): 2278-8719.
- Waruwu, A., Hardiyatmo, H. C. & Rifa'i, A., 2016a. Compressive Behavior of Bagansiapiapi-Riau Peat in Indonesia. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 21(16): 5217-5227.
- _____. 2016b. *Studi Eksperimental Pembebanan Pelat yang Diperkuat Tiang pada Tanah Gambut*. Yogyakarta, Seminar Nasional Geoteknik HATTI Yogyakarta.
- Waruwu, A., Hardiyatmo, H. C. & Rifa'i, A., 2017. Deflection Behavior of The Nailed Slab System-Supported Embankment on Peat Soil. *Journal of Applied Engineering Science* 15(4): 556-563.
- Waruwu, A., Maulana & Halim, H., 2017. Settlement Estimation of Peat Reinforced with Bamboo Grid Under Embankment. *International Review of Civil Engineering (I.R.E.C.E.)* 8(6): 299-306.
- Waruwu, A., 2018. *Perilaku Pemampatan Tanah Gambut akibat Beban Timbunan yang Didukung Sistem Pelat Terpaku*, Yogyakarta: Disertasi Program Doktor Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada.
- Waruwu, A., Susanti, R. D. & Debby Endriani, S. H., 2020. Effect of Loading Stage on Peat Compression and Deflection of Bamboo Grid with Concrete Pile. *International Journal of Geomate* 18 (66): 150-155.