

Angka Keamanan Lereng Timbunan di Atas Tanah Lunak Pada Proyek Jalan Tol

Dyah Pratiwi K.¹; Indah Handayasari²; Irma Sepriyanna³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan

Institut Teknologi PLN

¹ dyah.pratiwi@itpln.ac.id

ABSTRACT

The embankment construction used on road and bridge infrastructure cannot be separated from various problems, especially when the embankment is on soft soil. To overcome these problems can be done by improving the subgrade by stabilization, compaction or by adding other materials. Soil improvement with the addition of other materials can be applied horizontally with synthetic materials such as geogrid or geosynthesis or vertically using PVD or stone columns. Improvement or improvement of the characteristics of the subgrade under the embankment can be indicated by a safety rating of the embankment that meets the SNI requirements, which is at least 1.5. In this study, the magnitude of the safety factor for sloped embankment on soft soil will be analyzed using a computer application. Soft soil will be strengthened with the addition of geotextiles and minipile which will be applied under the embankment. Based on the simulation results with computer applications, it was found that the safety value with geotextile reinforcement did not meet the slope safety level because the safety value obtained was < 1.5 both with the use of type 15 and type 25 geotextiles. While retrofitting with minipile, the safety score obtained can meet the minimum slope safety rating of 1.5. For the 5 m embankment height with the use of 5 minipiles it is 1.56, the 7 m embankment height with the use of 8 minipiles is 1.54 and the 9 m embankment height with the use of 9 minipiles has a safety score of 1.5. The higher the embankment applied to the subgrade with soft consistency, the greater the load received by the subgrade so that the number of minipiles needed to obtain slope safety is also increasing.

Keywords: safety factor, geotextile, minipile, reinforcement

ABSTRAK

Pekerjaan konstruksi timbunan yang digunakan pada infrastruktur jalan maupun jembatan tidak lepas dari berbagai permasalahan terutama ketika timbunan tersebut berada di atas tanah lunak. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan perbaikan tanah dasar dengan stabilisasi, pemadatan maupun dengan penambahan material lain. Perbaikan tanah dengan penambahan material lain dapat diterapkan atau diaplikasikan secara horisontal dengan bahan sintesis seperti geogrid atau geosintesis maupun vertikal dengan menggunakan PVD atau stone column. Perbaikan atau peningkatan karakteristik tanah dasar dibawah timbunan dapat diindikasikan dengan angka keamanan timbunan yang memenuhi persyaratan SNI yaitu minimal 1.5. Pada penelitian ini akan dianalisis besarnya angka keamanan timbunan berlereng diatas tanah lunak dengan menggunakan aplikasi komputer. Tanah lunak akan mendapatkan perkuatan dengan penambahan geotekstil dan minipile yang akan diaplikasikan dibawah timbunan. Berdasarkan hasil simulasi dengan aplikasi komputer didapatkan angka keamanan dengan perkuatan geotekstil belum memenuhi tingkat keamanan lereng karena angka keamanan yang didapatkan < 1.5 baik dengan

penggunaan geotekstil tipe 15 maupun tipe 25. Sedangkan perkuatan dengan minipile, angka keamanan yang diperoleh dapat memenuhi angka minimum keamanan lereng yaitu pada tinggi timbunan 5 m dengan penggunaan 5 minipile didapat 1.56, tinggi timbunan 7 m dengan penggunaan 8 minipile didapat 1.54 dan tinggi timbunan 9 m dengan penggunaan 9 minipile didapat angka keamanan 1.5. Semakin tinggi timbunan yang diterapkan pada tanah dasar dengan konsistensi lunak maka beban yang diterima tanah dasar semakin besar sehingga jumlah minipile yang diperlukan untuk mendapatkan keamanan lereng juga semakin banyak.

Kata kunci: angka keamanan, geotekstil, minipile, perkuatan

1. PENDAHULUAN

Pekerjaan konstruksi timbunan yang digunakan pada infrastruktur jalan maupun jembatan tidak lepas dari berbagai permasalahan terutama ketika timbunan tersebut berada di atas tanah lunak. Permasalahan yang umumnya sering ditemui pada timbunan diatas tanah lunak antara lain waktu konsolidasi yang lama, tidak mudah dipadatkan, stabilitas lereng yang rendah [1], rendahnya kuat geser, tingkat kompresibilitas dan kadar air yang tinggi [2] serta daya dukung yang rendah sehingga dapat menyebabkan konstruksi timbunan pada infrastruktur jalan atau jembatan akan menghadapi masalah penurunan dan ketidakstabilan timbunan [3]. Pada tanah lunak, penurunan yang terjadi tidak hanya penurunan elastis tetapi juga penurunan akibat proses konsolidasi [4] sehingga total penurunan menjadi besar dan dapat terjadi di beberapa bagian konstruksi yang berbeda.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan melakukan perbaikan, diantaranya dengan stabilisasi [5], penggunaan bahan perkuatan (*reinforcement*) seperti bahan sintetis [6], penambahan drainase vertikal [2] serta penyisipan *stone column* [7]. Bahan sintesis atau geosintesis yang sering digunakan dalam memperkuat tanah dasar antara lain geogrid dan geotekstil. Aplikasi geosintesis untuk perbaikan tanah dapat digunakan sebagai perkuatan timbunan berlereng [8] maupun dihamparkan di bawah timbunan dengan tujuan agar material tanah dasar dan tanah timbunan tidak tercampur [9] serta memperbaiki tanah lunak di bawah timbunan [7]. Penyisipan material lain dibawah timbunan yang diaplikasikan secara vertikal seperti PVD, *stone column* dan mini pile umumnya bertujuan mempercepat proses konsolidasi [2] dan meningkatkan daya dukung tanah dasar sehingga dapat mencegah terjadinya keruntuhan pada timbunan berlereng.

Kemungkinan terjadinya keruntuhan pada timbunan berlereng dinyatakan dengan angka keamanan. Pada penelitian ini akan dianalisis mengenai angka keamanan timbunan berlereng diatas tanah lunak dengan penerapan bahan geosintesis khususnya geogrid dan mini pile dengan bantuan aplikasi komputer. Untuk kemudian hasil simulasi dibandingkan angka keamanan antara penerapan geotekstil, minipile maupun kombinasi keduanya.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui simulasi menggunakan aplikasi komputer yaitu Geo5. Geo5 merupakan salah satu aplikasi komputer yang memberikan *output* dari proses analisis dengan mudah dan cepat pada bidang geoteknik [10]. Sub aplikasi Geo5 yang digunakan adalah *slope stability* dengan *output* yang dihasilkan adalah angka keamanan timbunan berlereng.

Analisis angka keamanan dilakukan dengan variasi tinggi timbunan yaitu 5 m, 7 m, dan 9 m. Untuk perkuatan tanah dasar dan meningkatkan daya dukungnya, bahan geosintesis yang digunakan adalah geotekstil woven tipe 15 dan tipe 25 sedangkan minipile yang digunakan berpenampang segi empat 20x20 cm dengan detail spesifikasi pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Geotekstil Woven

Properties	Tipe 15	Tipe 25
Ketebalan (mm)	0,57 – 0,63	0,88 – 0,97
<i>CBR Puncture Resistance</i> (N)	3091,79	5796,08
<i>Tensile strength</i> (kN/m)	24,71	55,79
<i>Grab tensile strength</i> (N)	860,01	1769,07

Tabel 2. Spesifikasi Minipile Square

Parameter	Square 200 x 200
A (mm)	200
Panjang (m)	3 – 6
Tulangan longitudinal	4D13
Tulangan spiral	Φ 5 mm
Berat jenis (kg/m)	96
Beban aksial max (ton)	30-35

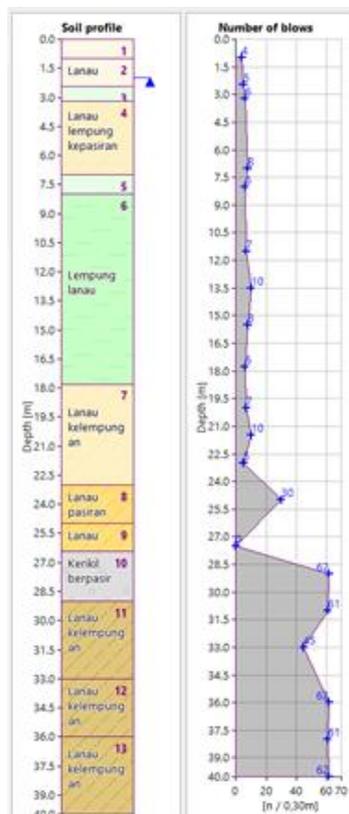
Output atau luaran yang dihasilkan dari proses analisis dengan menggunakan aplikasi *Geo5* adalah angka keamanan. Perubahan angka keamanan dari kondisi normal tanpa perkuatan dan penambahan perkuatan geotekstil maupun minipile yang didapatkan akan dibandingkan untuk mengetahui tingkat keamanan timbunan berlereng.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Parameter

A. Parameter Tanah Dasar

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data hasil penyelidikan tanah di lapangan dengan menggunakan uji SPT, data N-SPT lapangan (Gambar 1) kemudian dikoreksi terhadap muka air tanah. Selanjutnya data N-SPT_{terkoreksi} diolah secara statistik untuk memudahkan dalam pengelompokan dan mendapatkan data parameter tanah yang digunakan dalam analisis digunakan korelasi berdasarkan data N-SPT. Parameter yang digunakan dalam *input* program *Geo5* dapat dilihat pada Tabel 3 berikut ini.



Gambar 1. Data N-SPT_{lap} dengan Posisi Muka Air Tanah 2 m

Tabel 3. Parameter Tanah Sebagai *Input* Program Geo5

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	γ (kN/m ³)	C_u (kN/m ²)	ϕ (°)
0 - 2	0	Lempung kelanauan	14.7	5	
2 - 4	5	Lempung kelanauan	16.2	50	
4 - 22	8	Lempung kelanauan	16.7	80	
22 - 24	5	Lempung kelanauan	16.2	50	
24 - 26	23	Lanau kepasiran	19.1	150	
26 - 30	38	Pasir kelempungan	17.5		33.7
30 - 40	37	Lempung kepasiran	25.0	241	

Sumber: data proyek

B. Parameter Timbunan

Selain penentuan parameter tanah dasar, dalam penelitian ini perlu ditentukan parameter timbunan yang merupakan kombinasi pasir dan batu (sirtu) serta sedikit kandungan lempung serta rencana penampang timbunan. Parameter tanah timbunan yang digunakan adalah $\gamma_b = 17.65 \text{ kN/m}^3$ dan sudut geser (ϕ) = 30°. Untuk analisis angka keamanan digunakan variasi tinggi timbunan mulai dari 5 m, 7 m dan 9 m dengan perbandingan kemiringan lereng direncanakan 1 : 2 seperti pada Gambar 2 berikut.



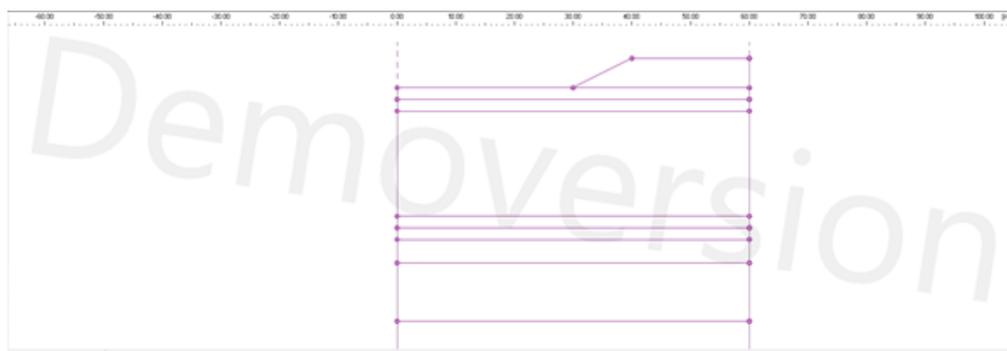
Gambar 2. Rencana Penampang Timbunan dengan Variasi Tinggi

3.2. Analisis Angka Keamanan

A. Angka Keamanan Tanpa Perkuatan

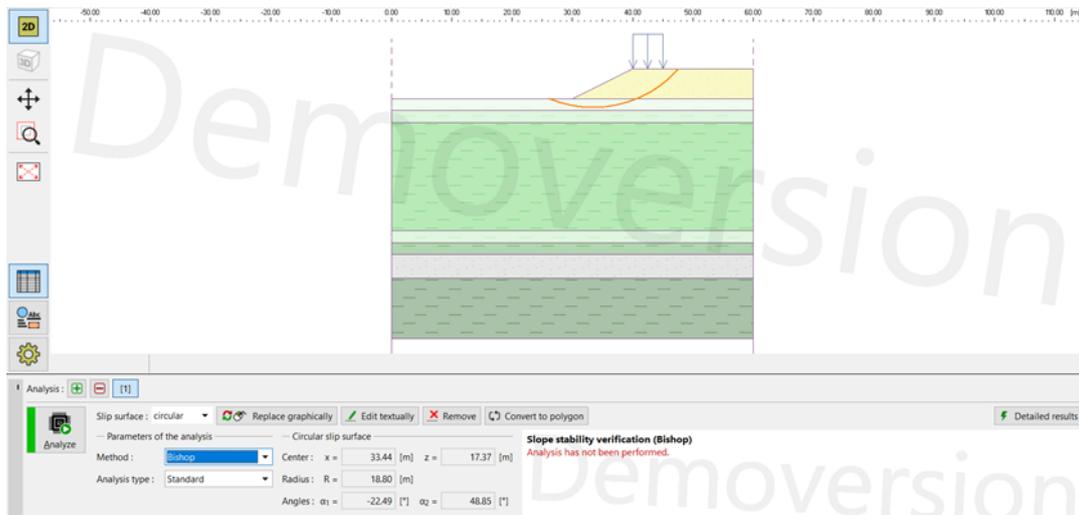
Analisis timbunan berlereng diawali dengan perhitungan angka keamanan tanpa adanya perkuatan dilapisan bawah timbunan dan tanah dasarnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh timbunan terhadap tanah dasar dan perilaku tanah dasarnya. Angka keamanan dihitung dengan bantuan aplikasi komputer Geo5 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuat *interface*, yaitu dengan membuat gambar rencana mulai dari timbunan sampai dengan lapisan tanah dasarnya sesuai dengan data tanah yang diperoleh di lapangan.



Gambar 3. Interface Timbunan dalam Aplikasi Geo5

2. Memasukkan data parameter tanah yang telah ditentukan pada Tabel 3 untuk kemudian menetapkan jenis tanah sesuai dengan urutan lapisan tanahnya.
3. Memberikan beban di atas timbunan, karena timbunan direncanakan menerima beban kendaraan maka diberikan beban, $q = 10 \text{ kN/m}^2$.
4. Menentukan letak muka air tanah sesuai dengan perolehan data di lapangan, yaitu pada kedalaman 2 m.
5. Proses analisis angka keamanan dapat dimulai dengan menentukan teori yang akan digunakan dan penentuan bidang gelincir.



Gambar 4. Penentuan Bidang Gelincir Kritis

Setelah penentuan bidang gelincir dan teori atau metode yang akan digunakan dalam analisis angka keamanan, akan didapatkan nilai angka keamanan dari timbunan berlereng dengan variasi ketinggian timbunan. Pada penelitian, analisis angka keamanan lereng menggunakan teori Bishop dengan hasil pada Tabel 4. Berdasarkan hasil analisis dengan aplikasi Geo5 didapatkan angka keamanan pada seluruh variasi tinggi timbunan kurang dari 1.5 (< 1.5). Menurut [11], angka keamanan lereng yang diijinkan adalah > 1.5 , sehingga diperlukan perkuatan pada tanah dasar atau pada tanah timbunan.

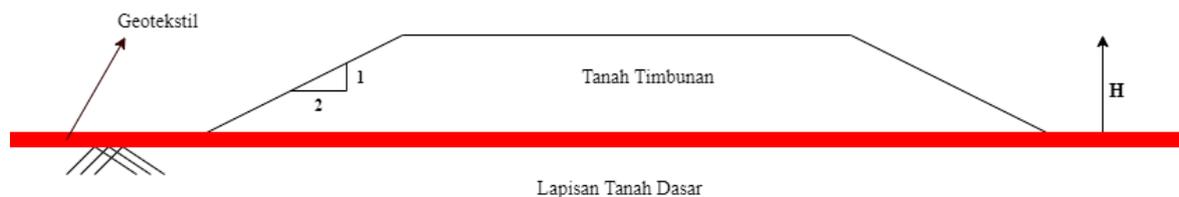
Tabel 4. Angka Keamanan Timbunan Berlereng Tanpa Perkuatan

Tinggi Timbunan (m)	Angka Keamanan
5	0.86
7	0.78
9	0.87

B. Angka Keamanan dengan Lapisan Geotekstil di Bawah Timbunan

Berdasarkan hasil perhitungan angka keamanan lereng timbunan tanpa perkuatan diperoleh angka keamanan yang tidak memenuhi syarat minimum keamanan sesuai SNI, yang berarti lereng

tersebut dalam kondisi tidak stabil dan akan mengalami keruntuhan. Untuk meningkatkan angka keamanan lereng timbunan dapat dilakukan dengan mengaplikasikan bahan sintesis. Pada penelitian ini akan digunakan geosintesis woven tipe 15 dan tipe 25, dengan tujuan untuk mengetahui perubahan angka keamanan dari penerapan kedua tipe geotekstil tersebut. Geotekstil diaplikasikan dibawah tanah timbunan (Gambar 5) yang tujuannya agar tanah timbunan tidak bercampur dengan tanah dasar serta memperkuat tanah timbunan.



Gambar 5. Rencana Penempatan Geotekstil

Analisis angka keamanan dengan aplikasi geotekstil menggunakan teori yang sama, yaitu teori Bishop serta menggunakan bantuan aplikasi Geo5. Dengan langkah-langkah yang sama seperti pada poin sebelumnya (poin A), angka keamanan timbunan berlereng dengan penerapan geotekstil didapatkan sebagai berikut (Tabel 5).

Tabel 5. Angka Keamanan Lereng dengan Penerapan Geotekstil

Tinggi Timbunan (m)	Angka Keamanan dengan Perkuatan Geotekstil	
	Tipe 15	Tipe 25
5	0.95	1.07
7	0.78	0.78
9	0.91	0.97

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa angka keamanan lereng timbunan dengan penerapan geotekstil diperoleh peningkatan angka keamanan khususnya pada tinggi timbunan 5 m dan 9 m. Meskipun terdapat peningkatan angka keamanan, tetapi belum memenuhi syarat minimum yang ditetapkan dalam SNI 3460-2017 yaitu 1.5. Geotekstil yang diterapkan di bawah timbunan belum cukup mampu menahan berat beban tanah timbunan dan memperkuat tanah dasar. Hal tersebut berarti bahwa dengan penerapan geotekstil, timbunan belum dinyatakan aman dari bahaya keruntuhan sehingga perlu dilakukan simulasi lain dengan perkuatan yang berbeda.

C. Angka Keamanan dengan Penerapan Minipile

Simulasi angka keamanan lereng timbunan kondisi normal atau tanpa perkuatan dan kondisi dengan penerapan geotekstil dibawah timbunan belum memperoleh nilai angka keamanan yang memenuhi persyaratan, sehingga dilakukan kembali simulasi perhitungan angka keamanan dengan perkuatan yang berbeda. Pada simulasi ini diterapkan penggunaan minipile yang ditanam pada tanah dasar seperti Gambar 6.

Hal pertama yang dilakukan sebelum melakukan analisis adalah menentukan panjang minipile yang dibutuhkan. Penentuan panjang minipile didasarkan pada letak bidang gelincir pada perhitungan sebelumnya dan letak lapisan tanah yang memiliki daya dukung kecil. Berdasarkan

analisis sebelumnya, didapatkan bidang gelincir kritis pada kedalaman 1.8 meter dan pada lapisan tersebut berdasarkan data SPT merupakan lapisan tanah lunak dengan tebal 2 m dan N-SPT 5. Dengan data tersebut direncanakan panjang minipile 3 m dengan jarak atau spasi pemasangan yang berbeda untuk setiap ketinggian (Gambar 6).



Gambar 6. Rencana Penerapan Minipile dibawah Timbunan

Tabel 6. Jarak (Spasi) Pemasangan Minipile

Tinggi Timbunan (m)	Spasi (m)
5	1
7	0.8
9	0.6

Dasar jarak pemasangan minipile yang berbeda adalah dari hasil *trial and error* agar didapatkan angka keamanan yang memenuhi dengan jumlah minipile dalam 1 baris adalah 9. Berdasarkan hasil analisis dengan Geo5, angka keamanan dengan penerapan minipile dibawah tanah timbunan didapatkan sebagai berikut (Tabel 7).

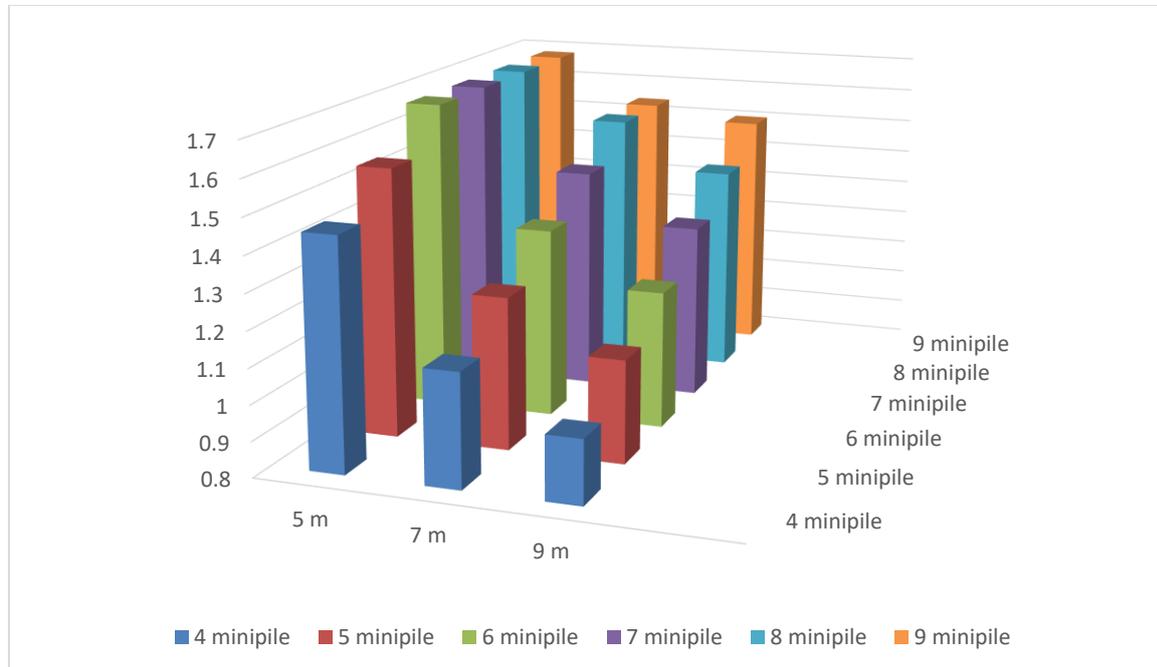
Tabel 7. Angka Keamanan Lereng Timbunan dengan Perkuatan Minipile

Tinggi Timbunan (m)	Angka Keamanan dengan Perkuatan Minipile					
	4 minipile	5 minipile	6 minipile	7 minipile	8 minipile	9 minipile
5	1.45	1.56	1.68	1.68	1.68	1.68
7	1.12	1.23	1.34	1.44	1.54	1.54
9	0.98	1.09	1.19	1.3	1.4	1.5

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan peningkatan angka keamanan yang cukup signifikan. Pada tinggi timbunan 5 m, angka keamanan telah memenuhi ketentuan yaitu $1.56 > 1.5$ pada jumlah minipile 5 buah, dengan angka keamanan maksimal sebesar 1.68 pada pemasangan 6, 7, 8 dan 9 buah minipile dengan jarak 100 cm. Untuk ketinggian timbunan 7 m didapat angka keamanan yang memenuhi ketentuan sebesar $1.54 < 1.5$ yaitu pada pemasangan 8 dan 9 minipile dengan jarak 80 cm.

Khusus pada ketinggian timbunan 9 m, angka keamanan yang memenuhi ketentuan didapatkan pada pemasangan 9 buah minipile yaitu 1.5 dengan spasi atau jarak antara pile adalah 60 cm. Jarak

yang pemasangan minipile yang pendek serta jumlah yang semakin banyak pada tinggi timbunan 9 m menyebabkan tanah dibawah timbunan menjadi lebih kaku. Hal tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan angka keamanan sehingga mencapai batas ketentuan angka keamanan sebesar 1.5.



Gambar 7. Hubungan Angka Keamanan dengan Jumlah Minipile dengan Variasi Tinggi Timbunan

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari hasil analisis didapatkan bahwa angka keamanan lereng timbunan diatas tanah lunak tidak memenuhi persyaratan atau ketentuan keamanan sehingga diperlukan perkuatan yang mampu meningkatkan angka keamanan. Berdasarkan hasil simulasi dengan bantuan aplikasi komputer Geo5 angka keamanan dengan perkuatan geotekstil pada tinggi timbunan 5, 7 dan 9 m untuk tipe geotekstil tipe 15 berturut-turut didapatkan 0.95, 0.78 dan 0.91, sedangkan tipe 25 didapatkan 1.07, 0.78 dan 0.97. Angka keamanan yang memenuhi persyaratan minimal angka keamanan yaitu 1.5 dengan perkuatan minipile pada tinggi timbunan 5, 7 dan 9 m didapatkan berturut-turut didapatkan 1.56 dengan jumlah 5 minipile, 1.54 dengan jumlah 8 minipile dan 1.5 dengan jumlah minipile 9. Semakin tinggi timbunan yang diterapkan pada tanah dasar dengan konsistensi lunak maka beban yang diterima tanah dasar semakin besar sehingga jumlah minipile yang diperlukan untuk mendapatkan keamanan lereng juga semakin banyak.

Saran penelitian selanjutnya adalah dengan penerapan geotekstil di lapisan timbunannya dengan metode pemasangan dilakukan bertahap sesuai dengan tahapan pekerjaan timbunan. Selain itu dapat juga dilakukan analisis terhadap besarnya penurunan yang diakibatkan adanya beban timbunan terhadap tanah kompresibel. Hal itu disebabkan karena besarnya penurunan juga merupakan faktor dari persyaratan keamanan konstruksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Rektor dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) dari Institut Teknologi PLN untuk bantuan dana Hibah Internal kegiatan Penelitian Dosen Pemula 2020/2021 dan semua pihak yang telah membantu kegiatan Penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Noor and P. SH, “Analisis Deformasi Vertikal dan Horizontal Tanah Lunak Di Bawah Piled-Geogrid Supported Embankment (Analysis of Horizontal and Vertical Deformation of Soft Soil Below Piled- Geogrid Supported Embankment),” *Din. Rekayasa*, vol. 6, no. 2, pp. 39–43, 2010.
- [2] N. A.-H. Al-Huda and K. B. S. Suryolelono, “Perilaku Tanah Dasar Fondasi Embankment dengan Perkuatan Geogrid dan Drainase Vertikal,” *J. Tek. Sipil*, vol. 21, no. 1, p. 65, 2014, doi: 10.5614/jts.2014.21.1.7.
- [3] A. Numan, R. Taufik, S. M. Alamsyah, and M. Iqbal, “Efek Busur Distribusi Beban Pada Timbunan Bertiang dengan Perkuatan Geogrid (Arching Effect of Load Distribution in Piled Embankment with Geogrid Reinforcement),” *Jalan-Jembatan*, vol. 31, no. 3, pp. 132–144, 2014.
- [4] D. P. Kusumastuti and I. S. Sepriyanna, “Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca Dan Abu Sekam Pada Tanah Lunak Berdasarkan Uji Konsolidasi,” *Forum Mek.*, vol. 8, no. 2, pp. 63–70, 2019, doi: 10.33322/forummekanika.v8i2.882.
- [5] M. A. Alfansyah and D. P. Kusumastuti, “Pengaruh Limbah Slag Baja Terhadap Parameter Kuat Geser Tanah Dasar,” *J. Forum Mek.*, vol. 9, no. 2, pp. 52–62, 2020, doi: <https://doi.org/10.33322/forummekanika.v9i2.1213>.
- [6] D. Sukmawaty, “Analisis Deformasi Tanah Lunak Terhadap Perkuatan Geogrid Menggunakan Metode Elemen Hingga,” vol. 2, no. 2003, pp. 1–8, 2018.
- [7] H. Farichah, “Jurnal Review : Metode Konstruksi Dan Perilaku Stone Column Sebagai Perkuatan Tanah Dasar Timbunan,” *Agregat*, vol. 6, no. 1, pp. 499–504, 2021.
- [8] J. Richard, D. Tjandra, and ..., “Analisis Penggunaan Geotekstil Untuk Perkuatan Timbunan Di Atas Tanah Lunak Dengan Menggunakan Aplikasi Plaxis 2D,” *J. Dimens. Pratama ...*, pp. 188–194, 2018, [Online]. Available: <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/7363>.
- [9] B. A. Nugraha, G. Yanti, and F. Lubis, “Analisis Perkuatan Tanah Lunak dengan Menggunakan Geotekstil pada Ruas Jalan Siak Sri Indrapura - Mengkapan Buton Provinsi Riau,” *Semin. Nas. Cendekiawan ke 5 Tahun 2019*, pp. 1–8, 2019.
- [10] M. N. Zain, E. A. Suryo, and A. Munawir, “Analisis Stabilitas Lereng Embung dengan Menggunakan Kombinasi Dinding Penahan Kantilever dan Geotekstil dengan Bantuan Perangkat Lunak,” *J. Mhs. Jur. Tek. Sipil Univ. Brawijaya*, vol. 1, no. 2, p. 283, 2015.
- [11] Badan Standar Nasional Indonesia, *Persyaratan Perancangan Geoteknik 8460:2017*. 2017.