

ANALISIS STABILITAS TIMBUNAN DI ATAS KONSTRUKSI TIANG DAN GEOSINTETIK MENGGUNAKAN PROGRAM ELEMEN HINGGA

Yosia Firmansyah¹ dan Andryan Suhendra²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
yosia.firmansyah@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
andryansuhendra@yahoo.com

Masuk: 10-07-2020, revisi: 19-07-2020, diterima untuk diterbitkan: 05-08-2020

ABSTRACT

Soft soil is a challenge for a geotechnical engineer due to soil characteristics that can cause various problems in the construction process. Geosynthetic reinforcement will be used on piles to replace concrete slabs and improve undesirable soft soil characteristics. This research will use the BS 8006 method and the 3D finite element program that uses the finite element method to compare the geosynthetic tensile strength and how geosynthetic influences the embankment on the pile. The study will also see the magnitude of the increase in safety factors and landslide patterns in the subgrade calculated by the program. This is done because the BS 8006 calculation method does not take into account the subgrade in analyzing the geosynthetic tensile strength while the calculation of the finite element-based program will increase the accuracy of the calculations to be performed in this study. this geosynthetic material has been proven to reduce slippage and channel load to the pile. This reinforcement and geosynthetic reinforcement can increase the safety factor of the embankment by at least 0.35 and the greatest increase is 2,242.

Keywords: geosynthetic; safety factor; 3D software; embankment on pile; soft soil

ABSTRAK

Tanah lunak merupakan tantangan bagi seorang engineer geoteknik dikarenakan karakteristik tanah yang dapat menyebabkan berbagai masalah dalam proses konstruksi. Perkuatan geosintetik akan digunakan pada tiang untuk menggantikan slab beton dan memperbaiki karakteristik tanah lunak yang tidak diinginkan. Penelitian ini akan menggunakan metode BS 8006 dan program elemen hingga 3D yang menggunakan metode elemen hingga untuk membandingkan kuat tarik geosintetik dan bagaimana geosintetik mempengaruhi timbunan yang ada di atas tiang. Penelitian juga akan melihat besarnya peningkatan safety factor dan pola kelongsoran pada tanah dasar hasil perhitungan program. Hal ini dilakukan karena metode perhitungan BS 8006 tidak memperhitungkan tanah dasar dalam menganalisa kuat tarik geosintetik sedangkan perhitungan program berbasis elemen hingga 3D akan memperbesar keakuratan pada perhitungan yang akan dilakukan pada penelitian ini. material geosintetik ini terbukti dapat mengurangi kelongsoran dan menyalurkan beban timbunan ke tiang. Perkuatan tiang dan geosintetik ini dapat meningkatkan faktor keamanan timbunan setidaknya sebesar 0,35 dan peningkatan yang paling besar adalah 2.242.

Kata kunci: geosintetik; faktor keamanan; program elemen hingga 3D; timbunan di atas tiang; tanah lunak.

1. PENDAHULUAN

Konstruksi fondasi di atas tanah lunak sering kali menimbulkan berbagai permasalahan seperti daya dukung yang rendah serta penurunan yang besar. Dikarenakan tanah lunak dapat menyebabkan kelongsoran pada tanah. Banyak metode yang dapat digunakan untuk mendesain fondasi pada tanah lunak, seperti penggunaan geosintetik, vertikal drain, dan sebagainya. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah timbunan di atas tiang (*piled embankment*)

Piled Embankment merupakan suatu metode yang digunakan untuk menimbun tanah lunak di atas tiang. slab beton biasanya digunakan untuk menyalurkan gaya-gaya yang terjadi akibat timbunan kepada *Piled Embankment*. Namun slab beton memiliki komponen yang terdiri dari besi dan beton yang dapat menyebabkan kenaikan biaya yang besar, geosintetik dapat digunakan untuk menggantikan slab beton.

Geosintetik merupakan material sintetik yang populer digunakan untuk proyek konstruksi tanah. Geosintetik dapat terdiri dari geotekstil, *geogrid*, *geofabric*, *geomembrane*, *geocell*, dan sebagainya. Pemakaian geosintetik akan disesuaikan dengan tujuan dan kondisi tanah dipakainya geosintetik.

Geosintetik digunakan untuk menyalurkan gaya-gaya yang terjadi diatas kepada tiang-tiang di bawahnya. Selain untuk menyalurkan beban, geosintetik juga berfungsi untuk memberikan kekuatan pada timbunan, mencegah penurunan yang tidak merata, dan meningkatkan stabilitas tanah.

Dalam skripsi ini, penulis akan menganalisa pengaruh geosintetik pada stabilitas konstruksi timbunan diatas tiang (*piled embankment*) menggunakan program elemen hingga 3D berbasiskan elemen hingga.

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Perhitungan stabilitas timbunan (*safety factor*, kuat tarik geosintetik)
2. Penelitian dilakukan pada salah satu proyek pelebaran jalan tol di Jakarta
3. Perhitungan dengan variasi jarak (0,5 m, 1 m, 1,5 m)
4. Perhitungan dengan variasi ukuran pada tiang (15 cm, 20 cm, 25 cm)
5. Penurunan tidak ditinjau.

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Analisa penggunaan kombinasi antara tiang pancang dengan material geosintetik dalam menanggulangi permasalahan timbunan di atas tanah lunak.

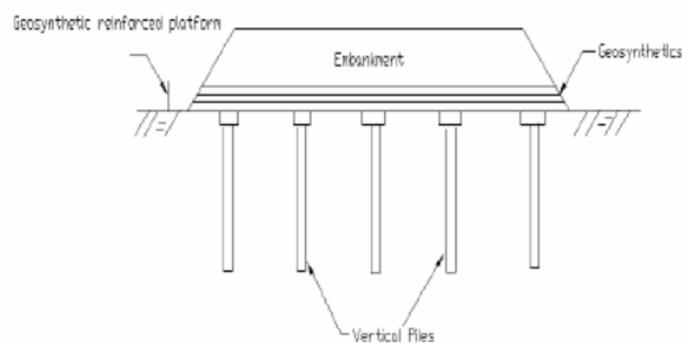
Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui penggunaan kombinasi optimum antara tiang pancang dengan material geosintetik dalam menanggulangi stabilitas timbunan di atas tanah lunak.
2. Membandingkan hasil analisa stabilitas timbunan dengan menggunakan program elemen hingga 3D dan metode *BS 8006*.

Piled embankment

Pada umumnya, *piled embankment* memerlukan *slab* beton yang besar dan jarak antar tiang yang kecil. Hal ini dilakukan untuk mentransfer gaya-gaya kepada tiang and menghindari deformasi. *Piled embankment* yang menggunakan pelat beton memerlukan tulangan yang banyak tebal pelat beton yang besar untuk menahan gaya *lateral* yang besar. Hal ini menyebabkan kenaikan harga yang tidak praktis digunakan.

Geosintetik memiliki daya dukung tarik yang besar yang tidak dimiliki oleh tanah lunak. Geosintetik dapat mengurangi penurunan tanah, meningkatkan *bearing capacity* dan stabilitas *slope* ketika digunakan pada tanah lunak. *Piled embankment* yang menggunakan geosintetik akan menambahkan efisiensi transfer beban dari tanah ke tiang tanpa memberikan penambahan defleksi pada pelat. Lapisan geosintetik juga memberikan ketahanan lateral pada ujung *embankment*. Hal-hal tersebut yang menyebabkan *piled embankment* yang menggunakan geosintetik lebih sering dipakai daripada menggunakan pelat beton.

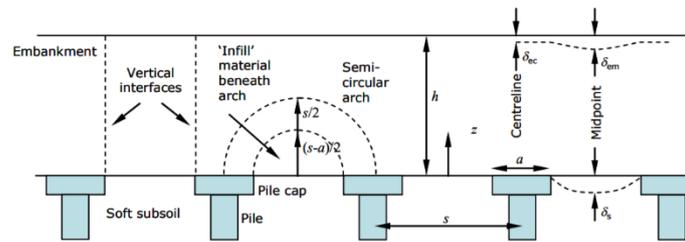


Gambar 1. *Piled embankment* dengan menggunakan geosintetik (Gangakhedkar, 2004)

Arching theory

Kelengkungan merupakan sebuah fenomena dimana beban disalurkan ke elemen yang lebih kuat/kaku. Tanah yang berada di antara tiang akan berkurang, namun tanah yang berada di atas tiang tidak dapat menetap dan akan memberikan ketahanan kepada tanah yang berkurang. Hal ini menyebabkan gaya geser dan menimbulkan lengkungan.

Ketika geosintetik yang sangat lemah digunakan, tanah timbunan akan mengendap di antara tiang, menyebabkan gaya geser dan kelengkungan terbentuk. Gaya geser mengurangi gaya yang ditanggung geosintetik, tetapi gaya yang ditanggung pile cap meningkat. Lain hal nya, ketika geosintetik yang sangat kaku dipakai, gaya tarik pada perkuatan geosintetik akan menjadi sangat besar dan perpindahan yang sangat kecil. (Boogert, 2011)



Gambar 2. Potensi kelengkungan tanah pada tanah timbunan di atas (Zhuang, 2009)

Metode perhitungan BS 8006

BS 8006 adalah metode *British Standard* (2010) yang digunakan untuk mendesain perkuatan fondasi pada tanah lunak. Ini adalah metode desain yang umum digunakan dan sangat konservatif. Beban distribusi vertikal yang bekerja pada perkuatan antara *pile caps* dapat dihitung dengan rumus berikut:

Untuk $H > 1,4 \times (s-a)$

$$W_T = \frac{1,4 \cdot s \cdot f \cdot \gamma \cdot (s-a)}{s^2 - a^2} \times \left(s^2 - a^2 \left(\frac{P_c}{\sigma_v} \right) \right) \quad (1)$$

Untuk $0,7 (s-a) \leq H \leq 1,4 (s-a)$

$$W_T = \frac{s \cdot (f \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot W_s)}{s^2 - a^2} \times \left(s^2 - a^2 \left(\frac{P_c}{\sigma_v} \right) \right) \quad (2)$$

Tetapi $W_T = 0$; jika $\frac{s^2}{a^2} \leq \left(\frac{P_c}{\sigma_v} \right)$

dengan s = jarak antar 2 tiang, a = ukuran *pile cap*, w_s = distribusi beban tambahan, p'_c = tegangan vertikal pada *pile cap*, σ'_v = faktor rata-rata tegangan vertikal pada dasar timbunan, f_{is} = faktor beban parsial untuk berat unit tanah, f_q = faktor beban parsial untuk beban luar, H = tinggi timbunan.

Berdasarkan BS 8006 (2010), gaya tarik (T_{rp}) yang dihasilkan dalam perkerasan berdasarkan distribusi gaya W_T dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

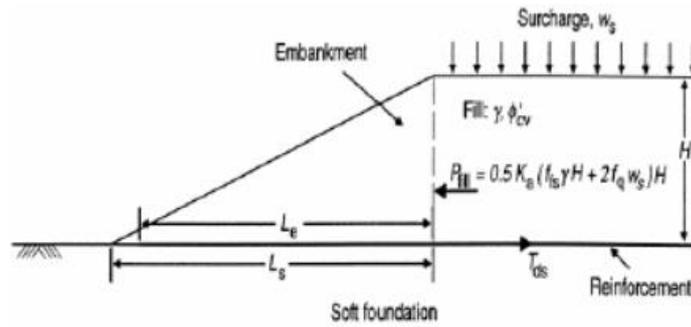
$$T_{rp} = \frac{WT(s-a)}{2a} \sqrt{1 + \frac{1}{6\varepsilon}} \quad (3)$$

dengan T_{rp} = tegangan pada perkerasan, E = regangan pada perkerasan, WT = beban total yang bekerja pada timbunan.

Perkerasan pada timbunan harus mampu menahan geser lateral yang disebabkan oleh gaya horizontal. gaya ini harus disesuaikan dengan regangan pada tiang. tegangan yang diperlukan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$T_{ds} = 0,5 \cdot K_a \cdot (f \cdot \gamma \cdot H + 2 \cdot f_q \cdot w_s) \cdot H \quad (4)$$

dengan T_{ds} = tegangan untuk menahan gaya horizontal, K_a = koefisien tekanan tanah aktif, γ = berat jenis tanah, w_s = beban distribusi tambahan.



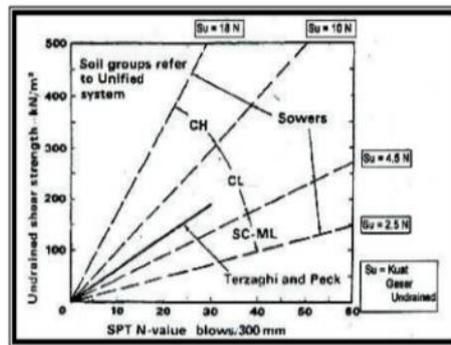
Gambar 3. Stabilitas geser lateral antara timbunan dengan perkerasan (British Standard, 2010)

Penentuan parameter tanah

Untuk melakukan input data ke dalam program elemen hingga 3D, perlu dilakukan parameter tanah yang cukup dan akurat agar program dapat menganalisa data sesuai dengan kondisi yang ada. Parameter tanah yang dibutuhkan antara lain.

Kohesi

Kohesi adalah gaya tarik menarik antar partikel yang sama/sejenis. Nilai kohesi dipengaruhi oleh sifat dan jenis tanah itu sendiri. Nilai kohesi dapat dilakukan dengan uji laboratorium melalui metode *permeability test* atau dengan metode USCS (*unified soil classification system*).



Gambar 4. Perkiraan hubungan N-SPT dengan nilai kohesi (Terzaghi and Peck, 1967)

Modulus elastisitas

Modulus elastisitas merupakan besaran nilai yang mengukur kemampuan deformasi elastis suatu bahan saat menerima beban. Faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas tiang adalah mutu beton tiang tersebut. Penentuan nilai modulus elastisitas dapat menggunakan rumus berikut.

$$E_p = 4700 \times \sqrt{f'c} \tag{5}$$

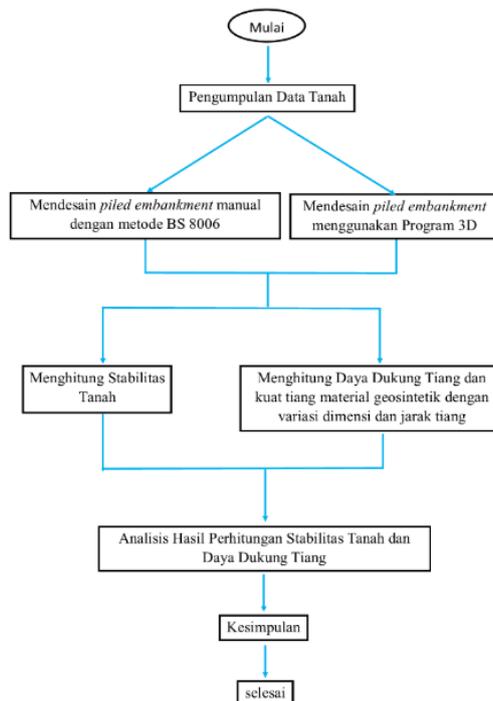
dengan E_p = modulus elastisitas tiang, $f'c$ = mutu beton tiang

Tabel 1. Persamaan modulus elastisitas untuk berbagai jenis tanah (Budhu, 2000)

Soil	Spt	CPT
sand (<i>normally consolidated</i>)	$E_s = 500 (N + 15)$ $E_s = (15000 \text{ to } 22000) \ln N$ $E_s = (35000 \text{ to } 50000) \log N$	$E_s = 2 \text{ to } 4 q_c$ $E_s = (1 + Dr^2) q_c$
<i>Sand (saturated)</i>	$E_s = 250 (N + 15)$	
<i>Sand (overconsolidated)</i>	$E_s = 18000 + 750N$ $E_{s(OCR)} = E_{s(nc)} (OCR)^{1/2}$	$E_s = 6 \text{ to } 30 q_c$
<i>Gravelly sand and gravel</i>	$E_s = 1200 (N + 6)$ $E_s = 600 (N + 6)$ $N \leq 15$ $E_s = 600 (N + 6) + 2000$ $N > 15$	
<i>Clayey Sand</i>	$E_s = 320 (N + 15)$	$E_s = 3 \text{ to } 6 q_c$
<i>Silty Sand</i>	$E_s = 300 (N + 6)$	$E_s = 1 \text{ to } 2 q_c$
<i>Soft Clay</i>	-	$E_s = 3 \text{ to } 8 q_c$
<i>using the undrained shear strength S_u in units of S_u</i>		
<i>Clay</i>	$tp > 30$ or <i>organic</i> $tp < 30$ or <i>stiff</i> $E_{s(OCR)} = E_{s(nc)} (OCR)^{1/2}$	$E_s = 100 \text{ to } 500 S_u$ S_u $E_s = 500 \text{ to } 1500 S_u$

2. METODE PENELITIAN

Alur atau tahapan dari penelitian ini tertera dalam bentuk diagram pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alur penelitian

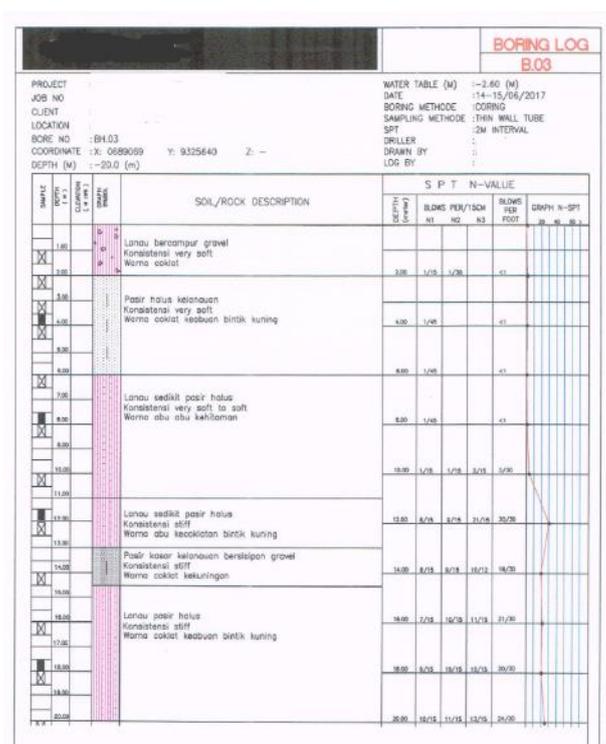
Metode yang dilakukan dalam pengumpulan data ini adalah studi dokumen. Studi dokumen adalah salah satu jenis pengumpulan data yang meneliti berbagai macam dokumen untuk menjadi bahan analisis. Data yang dikumpulkan dalam skripsi ini adalah data dan klasifikasi tanah yang akan dianalisis.

Penelitian ini dilakukan dengan mengolah data-data yang dianalisis dengan program elemen hingga 3D untuk mendapatkan stabilitas tanah dan daya dukung tiang yang diperkuat dengan material geosintetik. Peneliti juga akan mengkombinasikan berbagai ukuran dan jarak antar tiang untuk mendapatkan hasil yang optimum.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi lapangan

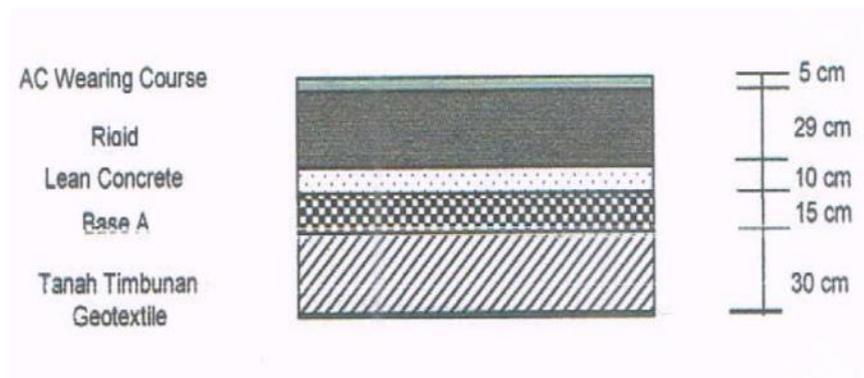
Kondisi lapangan terdiri dari 2 komponen, yaitu tanah timbunan dan tanah dasar. Data tanah dasar yang dianalisis adalah data tanah yang memiliki kondisi tanah paling buruk untuk menerima beban timbunan dari lima data tanah yang tersedia. Timbunan yang dianalisis terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan jalan. 5 data *boring log* dan *test* laboratorium akan diwakili oleh data boring log yang terburuk. Tanah dasar yang akan dianalisis adalah data BH-03. Data tanah BH-03 yang akan dianalisis dan detail lapisan perkerasan jalan adalah sebagai berikut (Gambar 6-8).



Gambar 6. Data *boring log* BH-03 (Sumber: Data Proyek)

SUMMARY OF LABORATORY TEST RESULT		PROJECT : LOCATION : CLIENT : JOB NO. : 918/SMI/ABRE/17 DATE : 22 JUNI 2017				
Sample No.		UDS 1	UDS 2	UDS 3	UDS 4	
Bore Hole No.		B.3	B.3	B.3	B.3	Unit
Sample Depth (m)		3.50 - 4.00	7.50 - 8.00	11.50 - 12.00	17.50 - 18.00	
Gradation	Gravel	0.000	0.000	0.000	0.000	%
	Sand	39.359	16.210	15.760	21.281	%
	Silt	33.597	46.523	48.978	49.199	%
	Clay	27.044	35.167	35.262	29.520	%
Atterberg Limit Indices	Liquid Limit (WL)		85.469	59.353	63.186	%
	Plastic Limit (WP)	NP	48.573	22.547	24.013	%
	Plasticity Index (PI)		40.896	36.806	39.173	%
	Shrinkage Limit (WS)					%
	Specific Gravity (Gs)	2.472	2.321	2.886	2.648	
	Dry Density (γ _d)	0.872	0.745	1.307	1.240	g/cm ³
	Coefficient of Permeability (k)					cm/sec
	Water Content (w)	53.528	78.682	30.541	35.891	%
Natural State	Wet Density (γ _m)	1.338	1.331	1.706	1.682	g/cm ³
	Void Ratio (e)	1.836	2.116	1.055	1.136	
	Porosity (n)	0.647	0.679	0.513	0.532	%
	Degree of Saturation (Sr)	72.051	86.311	77.735	83.180	%
Unconfined Comp. Test	Compressive Strength (q _u)					kg/cm ²
	Sensitivity					
Vane Shear Test	Undrained Shear Strength (S _u)					kg/cm ²
Triaxial Test	Cohesion (c)					kg/cm ²
	Cohesion Eff.					kg/cm ²
	Angle of Internal Friction (φ)					°
	Angle of Internal Friction Eff.					°
Direct Shear Test	Cohesion					kg/cm ²
	Angle of Internal Friction					°
Consolidation Test	Coeff. of Consolidation					cm ² /sec
	Compression Index (C _c)					
Compaction Test	Optimum Moisture Content					%
	Max Dry Density					g/cm ³
	Sample Condition					
C B R Test	Test Condition					
	Water Content					%
	Dry Density					g/cm ³
	C B R					%
Remarks :						

Gambar 7. Data summary B.3 (Sumber: Data Proyek)



Gambar 8. Lapisan perkerasan jalan rencana (Sumber: Data Proyek)

Lapisan perkerasan jalan memiliki berbagai macam berat jenis, detail berat jenis masing – masing lapisan perkerasan jalan pada umumnya antara lain sebagai berikut (Tabel 2):

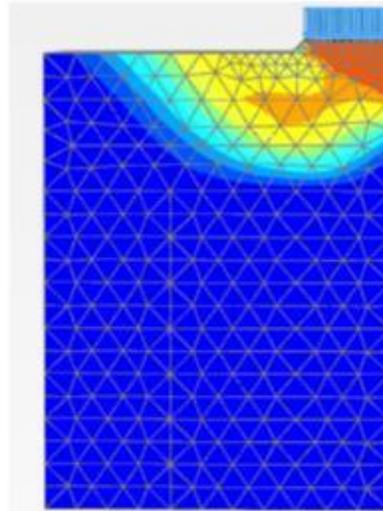
Tabel 2. Berat jenis tiap lapisan timbunan

No	Jenis Lapisan	Tebal (cm)	γ sat (kN/m ³)	γ' dry (kN/m ³)
1	AC Wearing Course	5		23
2	Rigid Pavement	29		24
3	Lean Concrete	10		22
4	Aggregate Base A	15	20	19
5	Borrow material	40	17	15

Perhitungan manual dilakukan dengan cara merata – ratakan satu jenis timbunan untuk perhitungan manual. Hal ini dilakukan untuk mewakili lapisan timbunan dan mempermudah perhitungan manual. Selain beban pada timbunan, terdapat beban lalu lintas yang disebut beban tambahan. Beban lalu lintas diasumsikan sebesar 20 kPa. Beban lalu lintas ini dipakai untuk mensimulasi kendaraan yang melewati jalan tersebut.

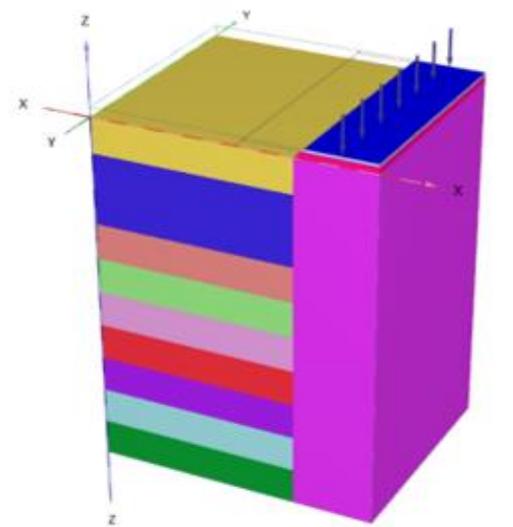
Analisis *safety factor* dengan program

Sebelum melakukan analisis menggunakan tiang dan geosintetik pada pelebaran jalan, kita harus melakukan analisa terhadap jalan yang sudah ada. Hal ini dilakukan untuk memastikan keamanan pada jalan. Dikarenakan data parameter tanah di bawah jalan tidak ada, maka parameter tanah yang akan dipakai adalah data tanah BH-03. Berikut merupakan hasil pada program saat belum ada pelebaran yang kita bisa lihat pada Gambar 9:



Gambar 9. Pola kelongsoran tanah pada jalan saat belum ada pelebaran

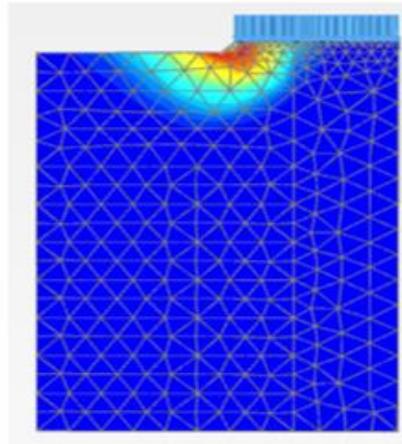
Setelah dilakukan analisa, Nilai *safety factor* terhadap timbunan tersebut adalah 1,025. Dapat dilihat nilai *safety factor* yang sangat kecil, sedangkan berdasarkan pengamatan di lapangan, konstruksi jalan tersebut dalam kondisi stabil sehingga perlu dilakukan analisa balik dengan mengasumsikan tanah dasar di bawah jalan eksisting mempunyai parameter yang lebih baik seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Kondisi lapangan jalan tanpa pelebaran dengan tanah diperkeras

Setelah kalkulasi dilakukan, diperoleh nilai *safety factor* sebelum adanya pelebaran jalan. Nilai *safety factor* yang diperoleh pada timbunan tersebut adalah 1,88. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi parameter tanah pada jalan yang sudah ada cukup baik untuk mencegah kelongsoran pada jalan.

Selanjutnya akan dilakukan kalkulasi untuk kondisi lapangan dengan pelebaran jalan. Setelah dilakukan analisa pada kondisi jalan tersebut, Kalkulasi dilakukan tanpa perkerasan apapun sehingga dapat diperoleh nilai *safety factor* awal sebelum diberikan tiang dan geosintetik. Nilai *safety factor* yang diperoleh pada timbunan tersebut adalah 1,428. Nilai *safety factor* ini yang akan menjadi kondisi awal dari Analisa perkuatan tiang dan geosintetik yang akan dilakukan, berikut merupakan pola kelongsoran yang terjadi pada kondisi lapangan saat tidak diberi perkuatan apapun yang dapat dilihat pada Gambar 11:



Gambar 11. Pola kelongsoran tanah tanpa diberikan perkuatan tiang dan geosintetik

Setelah diperoleh nilai *safety factor* pada kondisi awal, dilakukan analisis dengan memberikan tiang dan perkuatan geosintetik. Variabel yang digunakan pada analisa ini adalah dengan menggunakan variasi jarak antar tiang 0,5 m, 1 m, 1,5 m, variasi tiang 25 cm x 25 cm, 20 cm x 20 cm, 15 cm x 15 cm, dan variasi kedalaman tiang 12 m dan 15 m. setelah melakukan kalkulasi dengan variasi – variasi tersebut, diperoleh nilai *safety factor* terhadap timbunan di atasnya. Berikut merupakan hasil analisa *safety factor* apabila timbunan diberikan perbaikan tanah yang dapat dilihat pada Tabel 3:

Tabel 3. Analisis *output* program terhadap kondisi lapangan

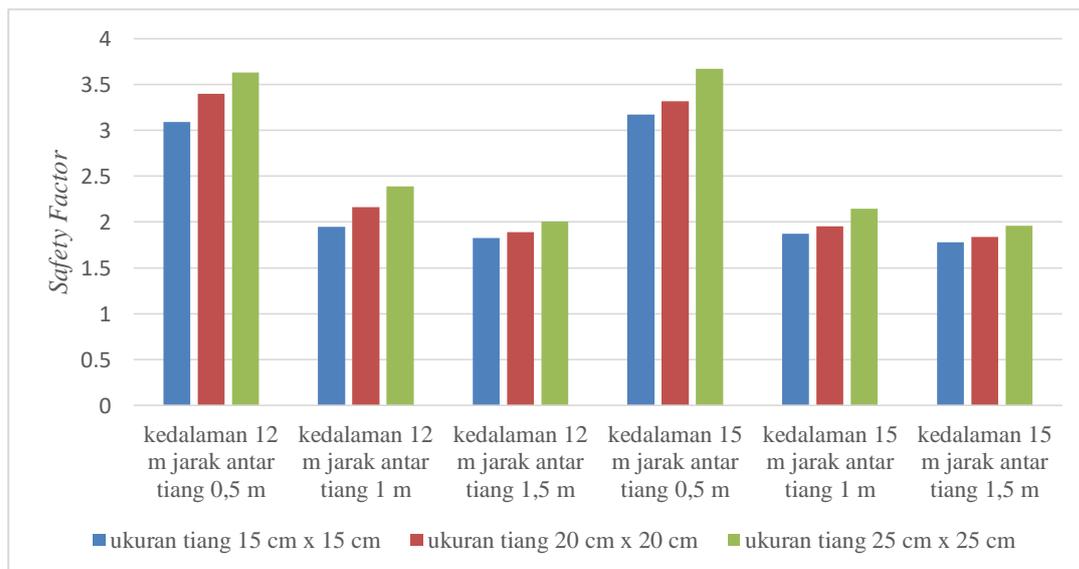
No.	Kedalaman tiang (m)	Ukuran tiang (m)	Ukuran <i>pile cap</i> (m)	Jarak antar tiang (m)	SF	Peningkatan <i>safety factor</i> terhadap kondisi awal
1				0,5	3,09	1,662
2		0,15	0,15	1	1,948	0,52
3				1,5	1,827	0,399
4				0,5	3,397	1,969
5	12	0,2	0,2	1	2,162	0,734
6				1,5	1,891	0,463
7				0,5	3,63	2,202
8		0,25	0,25	1	2,388	0,96
9				1,5	2,004	0,576
10				0,5	3,17	1,742
11		0,15	0,15	1	1,873	0,445
12				1,5	1,778	0,35
13				0,5	3,317	1,889
14	15	0,2	0,2	1	1,955	0,527
15				1,5	1,834	0,406
16				0,5	3,67	2,242
17		0,25	0,25	1	2,144	0,716
18				1,5	1,957	0,529

jarak antar tiang, ukuran tiang dan kedalaman tiang. Berikut merupakan perubahan nilai *safety factor* terhadap perubahan ukuran tiang yang dapat dilihat pada Tabel 4:

Tabel 4. Nilai *safety factor* dengan variasi ukuran tiang

No.	Kedalaman tiang (m)	Ukuran tiang (m)	Jarak antar tiang (m)	<i>Safety factor</i>
1		0,15		3,09
2		0,2	0,5	3,397
3		0,25		3,63
4		0,15		1,948
5	12	0,2	1	2,162
6		0,25		2,388
7		0,15		1,827
8		0,2	1,5	1,891
9		0,25		2,004
10		0,15		3,17
11		0,2	0,5	3,317
12		0,25		3,67
13		0,15		1,873
14	15	0,2	1	1,955
15		0,25		2,144
16		0,15		1,778
17		0,2	1,5	1,834
18		0,25		1,957

Dengan melihat perubahan ukuran tiang dengan nilai *safety factor*, dapat disimpulkan bahwa perubahan ukuran tiang dapat mempengaruhi nilai *safety factor* yang didapat, semakin besar ukuran tiang maka akan semakin besar nilai *safety factor* yang didapat. Untuk mempermudah analisa, Tabel 4 diubah menjadi bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 12:

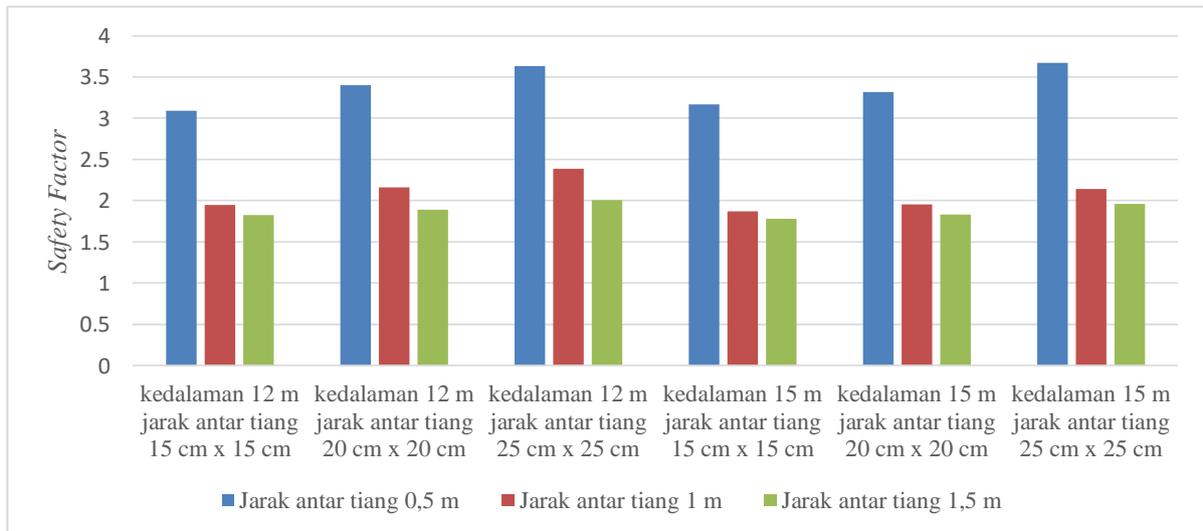


Gambar 12. Nilai *safety factor* terhadap perubahan ukuran tiang

Tabel 5. Nilai *safety factor* dengan variasi jarak antar tiang kedalaman

No	Kedalaman tiang (m)	Jarak antar tiang (m)	Ukuran tiang (m)	<i>Safety factor</i>
1	12	0,15	0,5	3,09
2			1	1,948
3			1,5	1,827
4	12	0,2	0,5	3,397
5			1	2,162
6			1,5	1,891
7	15	0,25	0,5	3,63
8			1	2,388
9			1,5	2,004
10	12	0,15	0,5	3,17
11			1	1,873
12			1,5	1,778
13	12	0,2	0,5	3,317
14			1	1,955
15			1,5	1,834
16	15	0,25	0,5	3,67
17			1	2,144
18			1,5	1,957

Berdasarkan Tabel 5, dapat disimpulkan bahwa semakin kecil jarak antar tiang, maka nilai *safety factor* semakin besar. Hal ini terjadi disebabkan oleh persebaran beban pada tiang semakin baik jika jarak antar tiang semakin mengecil. Berikut merupakan grafik yang memperlihatkan nilai *safety factor* terhadap perbedaan jarak tiang yang dapat dilihat pada Gambar 13:

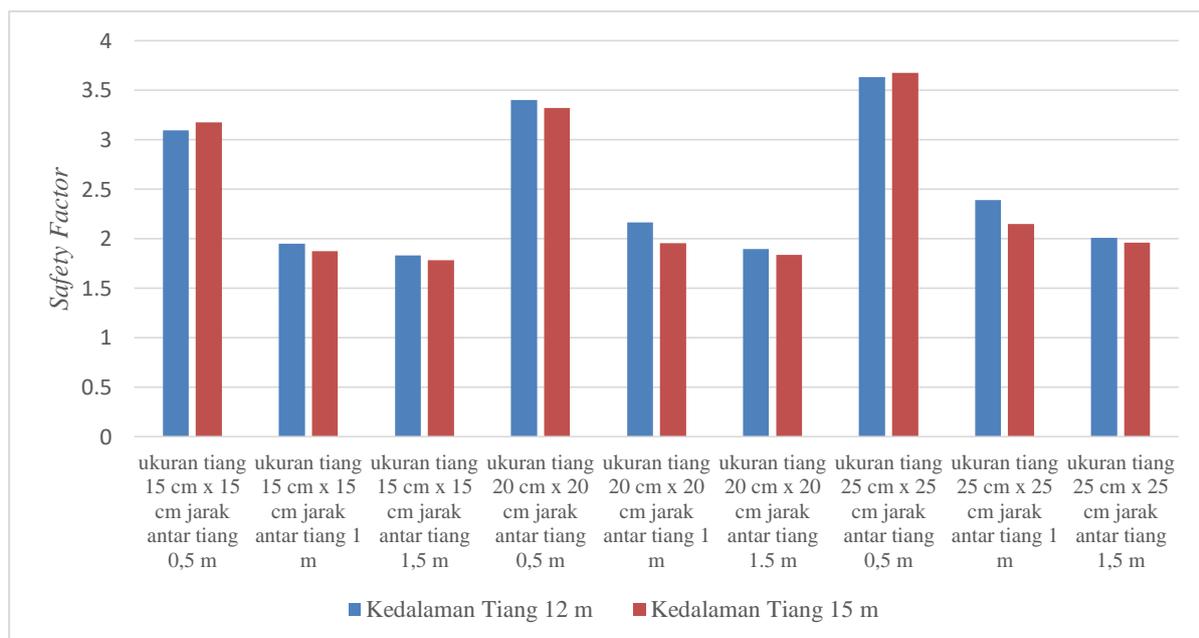


Gambar 13. Grafik *safety factor* terhadap perubahan jarak antar tiang

Tabel 6. Nilai *safety factor* dengan variasi kedalaman tiang

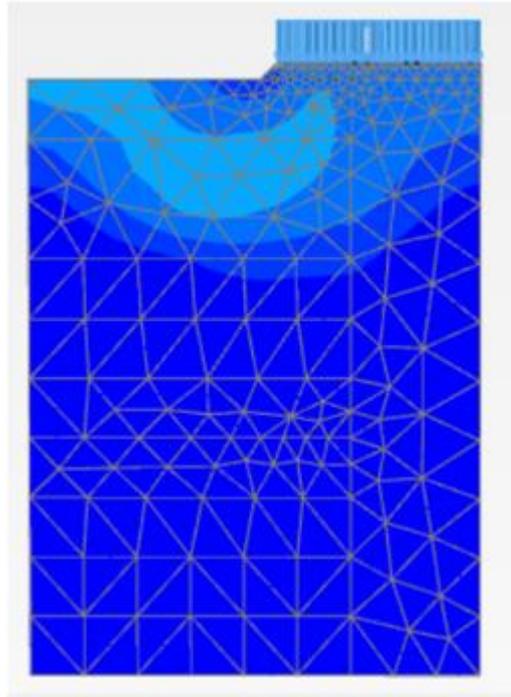
No	Kedalaman tiang (m)	Ukuran tiang (m)	Jarak antar tiang (m)	<i>Safety factor</i>
1	12	0,15	0,5	3,09
2	15			3,17
3	12		1	1,948
4	15			1,873
5	12		1,5	1,827
6	15			1,778
7	12	0,2	0,5	3,397
8	15			3,317
9	12		1	2,162
10	15			1,955
11	12		1,5	1,891
12	15			1,834
13	12	0,25	0,5	3,63
14	15			3,67
15	12		1	2,388
16	15			2,144
17	12		1,5	2,004
18	15			1,957

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa perubahan nilai *safety factor* terhadap kedalaman tiang tidak terlalu signifikan. Berikut merupakan grafik yang menunjukkan nilai *safety factor* terhadap kedalaman tiang yang dapat dilihat pada Gambar 14:



Gambar 14. Grafik *safety factor* terhadap perubahan kedalaman tiang

Perbedaan nilai *safety factor* yang tidak terlalu jauh ini dapat disebabkan karena pola kelongsoran yang terjadi tidak terlalu mempengaruhi tiang. Berikut merupakan pola kelongsoran yang terjadi saat pelebaran jalan diberikan perkuatan tiang dan geosintetik yang dapat dilihat pada Gambar 15:



Gambar 15. Pola kelongsoran saat diberikan perkuatan dan geosintetik

Analisa kuat tarik geosintetik

Setelah melakukan analisis dengan menggunakan program, perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan kuat tarik geosintetik yang dibutuhkan. Perhitungan akan dilakukan dengan 2 metode, yaitu dengan menggunakan perhitungan manual dan perhitungan dengan program.

Setelah melakukan perhitungan manual dan melakukan analisa pada program, maka diperoleh hasil tegangan maksimum yang terjadi pada geosintetik. Jika digabungkan, maka dapat dilihat perbedaan dari hasil perhitungan manual dan program yang dapat dilihat pada Tabel 7:

Tabel 7. Perbandingan perhitungan manual dengan *output* program

Ukuran tiang (m)	Ukuran <i>pile cap</i> (m)	Jarak antar tiang (m)	Kuat tarik manual (kN/m)	Kuat tarik geosintetik hasil program (kN/m)
0,15	0,15	0,5	27,916	26,32
		1	133,718	51,77
		1,5	295,969	73,34
0,2	0,2	0,5	25,078	24,69
		1	97,217	64,57
		1,5	216,017	87,6
0,25	0,25	0,5	23,642	19,28
		1	74,762	59,26
		1,5	167,381	75,99

Dengan melihat hasil di atas, dapat dilihat adanya perbedaan antara kuat tarik geosintetik hasil perhitungan program dengan perhitungan *BS 8006*. Perbedaan kuat tarik geosintetik hasil perhitungan *BS 8006* lebih besar jika dibandingkan dengan perhitungan hasil program. Perbedaan ini disebabkan karena perhitungan dengan metode *BS 8006* tidak memperhitungkan tanah dasar di bawah geosintetik. Pada program, tanah dasar yang berada di bawah geosintetik membantu mengurangi nilai tegangan pada geosintetik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Kuat tarik geosintetik berdasarkan perhitungan metode elemen hingga dengan perhitungan manual *BS 8006* (2010) memiliki perbedaan yang cukup besar. Perbedaan ini akan semakin besar jika jarak antar tiang semakin besar. Hal ini disebabkan karena pada metode *BS 8006*, metode ini tidak mempertimbangkan tanah dasar yang berada di bawah geosintetik. Hal ini dapat dilihat pada ukuran tiang 0,2 dimana pada jarak antar tiang 0,5 m kuat tarik geosintetik manual adalah 25,078 kN/m dan pada hasil program sebesar 24,69 kN/m, lalu pada jarak antar tiang 1 m kuat tarik geosintetik manual adalah 97,217 kN/m dan pada hasil program sebesar 64,57 kN/m sedangkan jarak antar tiang 1,5 m kuat tarik geosintetik manual adalah 216,017 kN/m dan pada hasil program sebesar 87,6 kN/m.
2. Geotekstil sangat membantu dalam mengurangi kelongsoran yang terjadi pada tanah, karena geotekstil membantu dalam menyalurkan beban yang bekerja kepada tiang yang ada di bawahnya. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan *safety factor* setidaknya sebesar 24,5% terhadap kondisi awal yaitu 1,428 menjadi 1,778 pada tiang 15 cm x 15 cm dengan jarak 1,5 m.
3. Peningkatan *safety factor* terhadap kedalaman tiang tidak terlalu signifikan, hal ini dapat disebabkan karena kedalaman tiang tidak terlalu mempengaruhi kuat tarik geosintetik yang terjadi terhadap beban di atasnya.
4. Berdasarkan analisis yang dilakukan, jika dilihat dari beban yang bekerja pada timbunan, tiang persegi dengan ukuran 15 cm x 15 cm, dengan jarak antar tiang 0,5 m dan kedalaman 12 m dan kuat tarik geosintetik 27,916 kN/m, dapat menyalurkan beban dengan sangat baik.

Saran

1. Dari hasil analisis yang dilakukan, disarankan melakukan analisis *geosynthetic-reinforce piled supported embankment* dengan metode perhitungan yang lain termasuk analisis yang memperhitungkan penurunan tanah pada konstruksi, karena hal ini dapat menambahkan ketepatan dalam memperhitungkan kuat tarik geosintetik yang diperlukan pada konstruksi.
2. Dapat digunakan tiang dengan ukuran dan bentuk tiang yang lain untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal, ukuran tiang dan bentuk tiang yang optimal dapat didapatkan dengan *trial and error*.

DAFTAR PUSTAKA

- Boogert. *Piled Embankments with Geosynthetic*. Delft: Delft University of Technology, 2011.
- British Standard. *Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soil and Other Fills*. Londons: BSI Standards Publication, 2010.
- Budhu, Muni. *Soil Mechanics*. 3rd. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- Gangakhedkar, R. *Geosynthetic Reinforced Pile Supported Embankment*. University of Florida, 2004.
- Terzaghi, Karl and Ralph B Peck. *Soil Mechanics In Engineering practice*. 3rd. New York: John Wiley & Sons, 2009.
- Zhuang, Yan. *Numerical Modelling of Arching in Piled Embankments Including The Effects of Reinforcement and Subsoil*. 2009.