

## APLIKASI MATERIAL GEOSINTETIK PADA KONSTRUKSI TIMBUNAN DI ATAS TIANG (*PILED EMBANKMENT*)

Tommy Adam<sup>1</sup> dan Andryan Suhendra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl Letjen S. Parman 1 Jakarta  
Email: tommyadam1996@gmail.com

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl Letjen S. Parman 1 Jakarta  
Email: andryansuhendra@yahoo.com

### ABSTRAK

Timbunan di atas tanah lunak merupakan tantangan bagi insinyur geoteknik karena karakteristik tanah yang tidak diinginkan. Perkuatan geosintetik dengan dukungan tiang adalah salah satu cara yang bisa menyelesaikan karakteristik tanah yang tidak diinginkan ini. Skripsi ini akan membandingkan kuat tarik geosintetik dengan menggunakan metode BS 8006 dengan metode elemen hingga dua dimensi dan bagaimana geosintetik mempengaruhi timbunan. Skripsi ini membahas mengenai perbedaan antara perhitungan kuat tarik geosintetik dengan metode BS 8006 dengan metode elemen hingga karena metode perhitungan BS 8006 tidak memperhitungkan tanah dasar dalam memperhitungkan kuat tarik geosintetik. Skripsi ini juga membahas mengenai peningkatan nilai faktor keamanan sebesar 20% yang disebabkan oleh pemasangan geosintetik pada dasar timbunan.

Kata kunci: timbunan di atas tiang, plaxis, geosintetik, faktor keamanan

### 1. PENDAHULUAN

Tanah lunak merupakan salah satu permasalahan yang dialami pada berbagai konstruksi seperti bangunan, timbunan, dan lain sebagainya. Tanah lunak ini dapat menyebabkan kegagalan pada saat konstruksi, juga dapat menyebabkan penurunan yang sangat besar. Dalam penanganannya, dapat dilakukan dua perlakuan terhadap tanah lunak yaitu perbaikan dan perkuatan tanah lunak. Perbaikan dapat dilakukan dengan mengeluarkan air pada rongga tanah lalu dipadatkan agar tanah memadat. Perkerasan dapat dilakukan dengan memberikan perkerasan tiang, geosintetik, dan lain sebagainya.

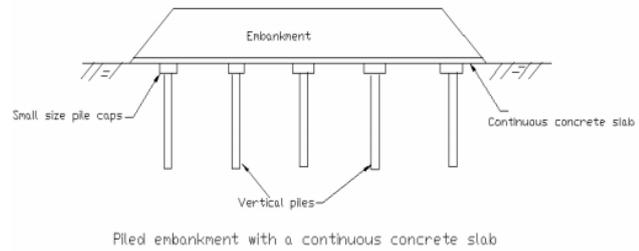
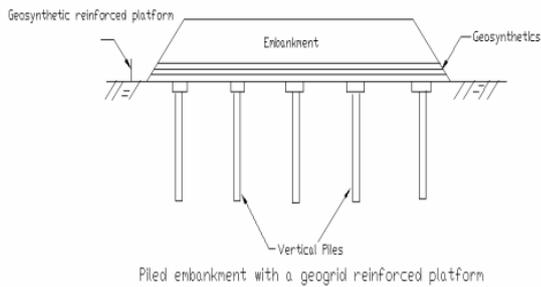
*Piled embankment* merupakan salah satu metode perkerasan tanah lunak dengan menggunakan tiang pancang/bor. Setelah melakukan pemancangan terhadap tiang, agar transfer beban dapat dipindahkan dengan baik, maka diberikan *pile cap* untuk seluruh tiang. Namun penggunaan *pile cap* beton memerlukan biaya yang cukup besar untuk pembelian besi dan beton. Maka penggunaan *slab* beton dapat digantikan dengan geosintetik.

Menurut Zheng et al (2009), kombinasi antara geosintetik dengan tiang dapat menurunkan penurunan yang tidak rata yang kadang terjadi di dasar timbunan apabila tidak diberi perkuatan. Geosintetik merupakan material buatan manusia yang dibuat untuk memudahkan pekerjaan manusia. Geosintetik dapat menggantikan fungsi *slab* beton pada tiang pancang untuk mentransfer gaya-gaya di atasnya ke tiang lalu ke tanah. Selain berfungsi untuk mentransfer beban geosintetik juga dapat berfungsi untuk meningkatkan stabilitas tanah, mencegah penurunan yang tidak merata dan untuk memberikan perkerasan pada dasar timbunan.

### 2. DASAR TEORI

#### *Piled embankment*

*Piled embankment* merupakan gabungan dari beberapa tiang yang digunakan untuk menahan timbunan dan beban di atasnya. Pada umumnya penggunaan *piled embankment* ini menggunakan pelat beton sebagai *pile cap* tiang kelompok. Namun penggunaan pelat beton dapat digantikan dengan menggunakan geosintetik.



Gambar 1 *Piled embankment* menggunakan pelat beton

Gambar 2 *Piled embankment* menggunakan geosintetik

### Metode perhitungan BS 8006

Dalam perhitungan, beban yang digunakan adalah beban yang sudah didistribusi. Metode yang digunakan sangat konservatif. Rumus beban distribusi berbeda tergantung dari dimensi dan jarak antar tiang. Sebelum menghitung tegangan total pada perkerasan, perlu dihitung beban total pada dasar timbunan. Beban total pada dasar timbunan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$\sigma'_v = f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_s$$

$$p'_c = \sigma'_v \left( \frac{C_c \cdot a}{H} \right)^2$$

Untuk nilai  $C_c$  dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\text{Untuk } end\text{-bearing piles} \quad C_c = 1.95 \cdot \frac{H}{a} - 0.18$$

$$\text{Untuk } friction \text{ piles} \quad C_c = 1.5 \cdot \frac{H}{a} - 0.07$$

Untuk  $H > 1.4(s - a)$

$$W_T = \frac{1.4 \cdot s \cdot f_{fs} \cdot \gamma \cdot (s - a)}{s^2 - a^2} \times \left( s^2 - a^2 \cdot \left( \frac{p'_c}{\sigma'_v} \right) \right)$$

Untuk  $0.7(s - a) < H < 1.4(s - a)$

$$W_T = \frac{s \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + f_q \cdot w_s)}{s^2 - a^2} \cdot \left( s^2 - a^2 \cdot \left( \frac{p'_c}{\sigma'_v} \right) \right)$$

Tetapi, apabila  $\frac{s^2}{a^2} \leq \frac{p'_c}{\sigma'_v}$ , maka  $W_T = 0$

Keterangan :

$W_T$  : beban total pada perkerasan

$s$  : jarak antar tiang

$a$  : ukuran *pile cap*

$w_s$  : distribusi pembebanan tambahan

$p'_c$  : tegangan vertikal pada *pile cap*

$\sigma'_v$  : tegangan vertikal pada dasar timbunan

$f_{fs}$  : faktor parsial pada berat unit tanah

$f_q$  : faktor parsial untuk beban eksternal

- $\gamma$  : massa jenis tanah
- $H$  : tinggi timbunan tanah
- $C_c$  : koefisien lengkung

Setelah memperoleh nilai beban total pada dasar timbunan, dapat dihitung faktor reduksi tegangan dan tegangan yang terjadi pada dasar timbunan. Faktor reduksi tegangan dan tegangan yang terjadi pada dasar timbunan dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

Untuk  $0.7 (s - a) < H < 1.4 (s - a)$

$$S_{3D} = \frac{2 \cdot s}{(s + a)(s^2 - a^2)} \cdot \left( s^2 - a^2 \left( \frac{p_c}{\gamma \cdot H} \right) \right)$$

Untuk  $H > 1.4 (s - a)$  (full arching)

$$S_{3D} = \frac{2.8 \cdot s}{(s + a)^2 \cdot H} \cdot \left( s^2 - a^2 \left( \frac{p_c}{\gamma \cdot H} \right) \right)$$

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

Keterangan :

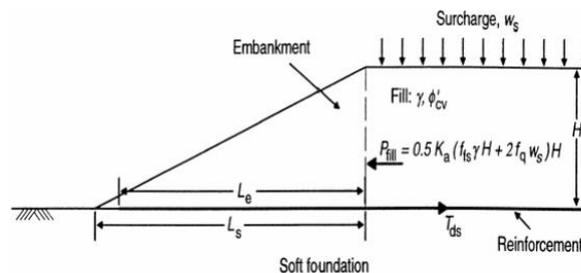
- $S_{3D}$  : faktor reduksi tegangan
- $T_{rp}$  : tegangan pada perkerasan
- $\varepsilon$  : regangan pada perkerasan

Setelah menghitung tegangan pada perkerasan berdasarkan regangan maksimum yang diijinkan pada perkerasan, perlu dilakukan tegangan pada perkerasan untuk menahan gaya horizontal yang bekerja pada dasar timbunan. Tegangan ini disebabkan oleh tekanan tanah aktif dari timbunan. Tegangan untuk menahan gaya horizontal dapat dicari menggunakan rumus berikut.

$$T_{ds} = 0.5 \cdot K_a \cdot (f_{fs} \cdot \gamma \cdot H + 2 \cdot f_q \cdot w_s) \cdot H$$

Keterangan :

- $T_{ds}$  : tegangan untuk menahan gaya horizontal
- $K_a$  : koefisien tekanan tanah aktif
- :  $\tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$



Gambar 3 Stabilitas geser lateral antara timbunan dengan perkerasan

**Program plaxis**

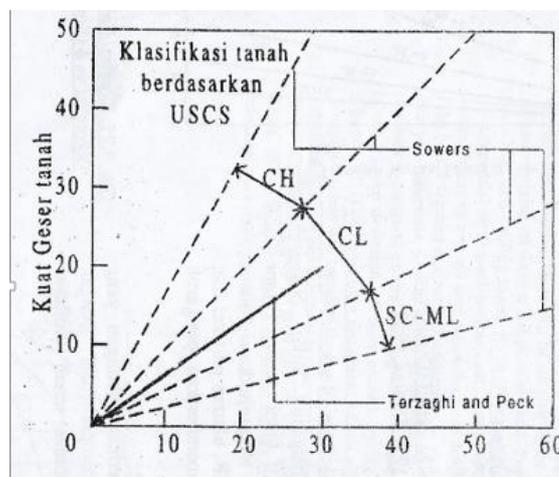
Program plaxis merupakan program analisa geoteknik dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) dua dimensi yang digunakan untuk merencanakan pondasi, menganalisis deformasi, stabilitas pada tanah, menghitung tegangan-tegangan yang terjadi pada timbunan dan lain sebagainya. Metode elemen hingga merupakan metode yang dipakai secara luas untuk menyelesaikan masalah-masalah rekayasa struktural berbasis komputer. Untuk melakukan permodelan pada program plaxis, diperlukan beberapa parameter tanah dalam program ini.

**Kohesi**

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antara partikel sejenis. Nilai kohesi dapat berbeda-beda sesuai dengan jenis tanah itu sendiri. Penentuan kohesi dapat diperoleh melalui *permeability test* pada tes laboratorium atau bisa juga dengan menggunakan metode USCS.

Major divisions	Group symbol	Typical names	Classification criteria for coarse-grained soils	
Coarse-grained soils <i>(more than half of material is larger than No. 200)</i>	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_u \geq 4$ $1 \leq C_c \leq 3$	
	GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for GW ( $C_u < 4$ or $1 > C_c > 3$ )	
	GM	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Atterberg limits below A line or $I_p < 4$	
	GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Atterberg limits above A line with $I_p > 7$	
Coarse sands <i>(more than half of material is larger than No. 4 sieve size)</i>	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	$C_u \geq 6$ $1 \leq C_c \leq 3$	
	SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for SW ( $C_u < 6$ or $1 > C_c > 3$ )	
	SM	Silty sands, sand-silt mixtures	Atterberg limits below A line or $I_p < 4$	
	SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	Atterberg limits above A line with $I_p > 7$	
Fine-grained soils <i>(more than half of material is smaller than No. 200)</i>	ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands, or clayey silts with slight plasticity	1. Determine percentages of sand and gravel from grain-size curve. 2. Depending on percentages of fines (fraction smaller than 200 sieve size), coarse-grained soils are classified as follows: Less than 5%—GW, GP, SW, SP More than 12%—GM, GC, SM, SC 5 to 12%—Borderline cases requiring dual symbols	
	CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays		
	OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity		
	MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts		
	CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays		
	OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts		
	Highly organic soils	Peat and other highly organic soils		
				$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ $C_c = \frac{D_{60}^2}{D_{10} D_{30}}$

Gambar 4 Klasifikasi tanah dengan metode USCS (Terzaghi & Peck, 1997)



Gambar 5 Perkiraan hubungan N-SPT dengan nilai kuat geser tanah (Terzaghi & Peck, 1997)

### Modulus elastisitas

Modulus Elastisitas merupakan nilai yang mengukur kemampuan suatu bahan untuk menahan deformasi elastis ketika bahan tersebut menerima suatu beban. Penentuan modulus elastisitas pada tiang dapat ditentukan menggunakan rumus berikut.

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

Keterangan :

$E_p$  : moduus elastisitas

$f'c$  : mutu beton tiang

Nilai modulus elastisitas pada tanah berbeda tergantung pada jenis tanah, nilai N-SPT atau CPT. Menurut Budhu (2007), nilai modulus elastisitas pada tanah dapat dicari dengan menggunakan rumus sesuai dengan jenis tanah.

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

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

### Sudut geser dalam

Sudut geser dalam merupakan sudut yang terbentuk dari hubungan antara tegangan normal dengan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Penentuan nilai sudut geser dalam ini biasanya dicari menggunakan *triaxial test*. Namun menurut Dunham (1962), nilai sudut geser tanah berpasir dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

Untuk tanah berpasir berbentuk bulat dengan gradasi seragam,

$$\Phi = \sqrt{12N + 15}$$

Untuk butiran pasir bersegi-segi dengan gradasi tidak seragam,

$$\Phi = \sqrt{12N + 50}$$

Butiran pasir bersegi dengan gradasi seragam

$$\Phi = 0.3N + 27$$

Keterangan :

$\Phi$  : sudut geser dalam

N : nilai N-SPT

### Poisson ratio

*Poisson ratio* merupakan konstanta elastisitas yang dimiliki oleh semua material. Konstanta tersebut merupakan perbandingan antara deformasi lateral dengan deformasi aksial pada suatu material. Nilai *poisson ratio* berbeda-beda sesuai dengan jenis tanah.

Tabel 2 Nilai *poisson ratio* berdasarkan jenis tanah (Budhu M, 2000)

Typa of soil	$\mu$
Clay, saturated	0.4 - 0.5
Clay, unsaturated	0.1 - 0.3
Sandy clay	0.2 - 0.3
Silt	0.3 - 0.35
Sand, gravelly sand commonly used	0.1 - 1.00 0.3 - 0.4
Rock	0.1 - 0.4 (depends somewhat on type of rock)
Loess	0.1 - 0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15
Steel	0.33

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

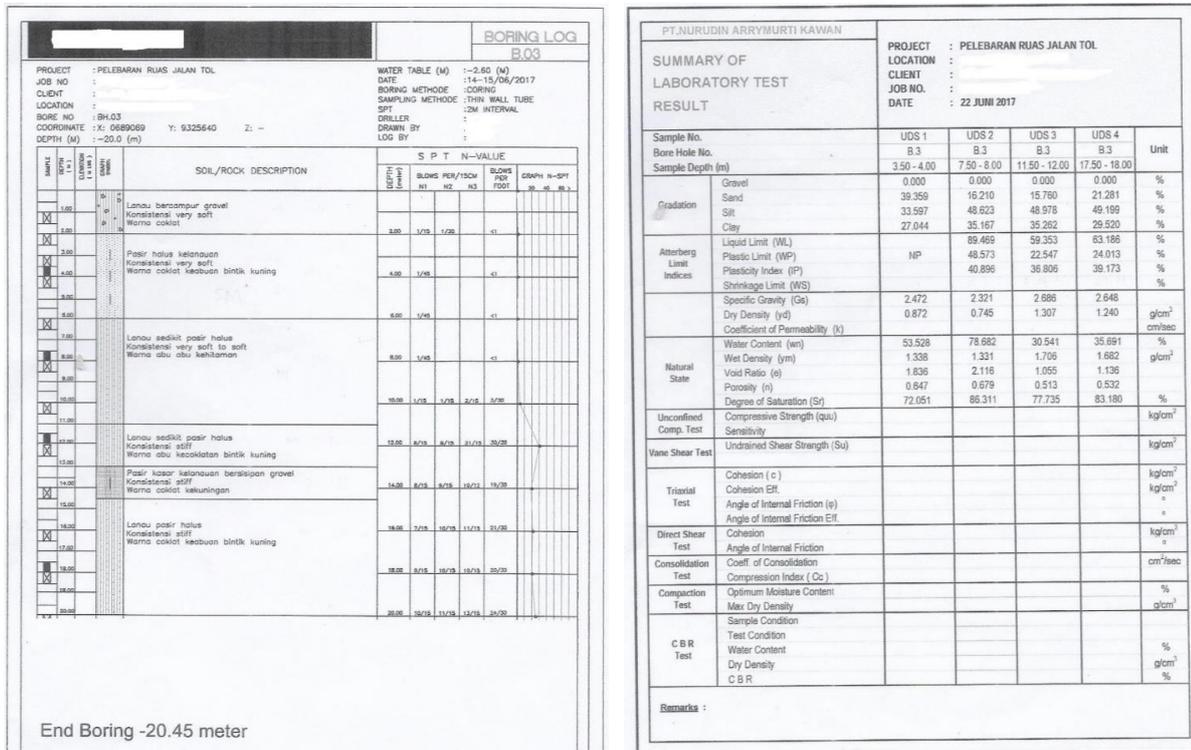
Pada penelitian ini, digunakan dua metode perhitungan untuk memperhitungkan kuat tarik geosintetik yang digunakan. Metode yang digunakan adalah metode perhitungan BS 8006 (2010) dengan metode elemen hingga (plaxis). Analisis ini digunakan untuk membandingkan perbedaan kuat tarik geosintetik dengan dua metode yang berbeda.

Setelah membandingkan, dilakukan simulasi kasus pelebaran jalan tol dengan menggunakan geosintetik pada *piled embankment* untuk meningkatkan nilai faktor keamanan pada timbunan tersebut. Simulasi dilakukan di metode elemen hingga dengan variasi jarak antar tiang, ukuran tiang dan kedalaman tiang untuk melihat pengaruh parameter tersebut terhadap nilai faktor keamanan.

### 4. HASIL ANALISIS

#### Kondisi lapangan

Pada analisis ini, diperoleh data tanah dasar yang memiliki karakteristik tanah sangat lunak hingga kedalaman 10 m. Di atas tanah tersebut akan dibangun jalan tol dengan perkerasan yang sudah diperhitungkan. Lapisan tanah tersebut dianggap menjadi timbunan dan beban kepada tanah dibawahnya.



Gambar 6 Kondisi tanah dasar pada salah satu proyek pelebaran jalan tol di Jakarta



Gambar 7 Kondisi timbunan pada salah satu proyek pelebaran jalan tol di Jakarta

**Perbandingan perhitungan manual dengan metode elemen hingga**

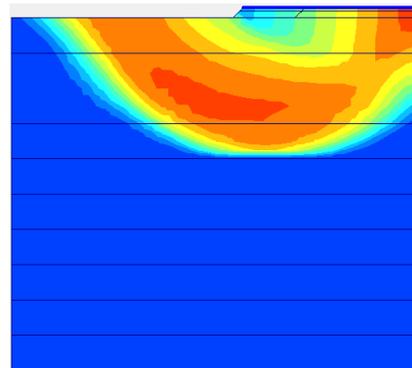
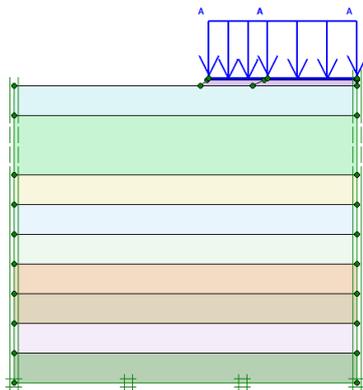
Kuat tarik geosintetik diperhitungkan dengan variasi jarak antar tiang 0,5 m, 1 m, dan 1,5 m, ukuran tiang 15 cm x 15 cm, 20 cm x 20 cm, 25 cm x 25 cm dan kedalaman tiang 12 m dan 15 m. Setelah dilakukan perhitungan manual dan simulasi dengan program plaxis terhadap kondisi lapangan yang ada, diperoleh perbedaan nilai antara kedua metode tersebut.

Tabel 3 Perbandingan kuat tarik geosintetik antara perhitungan manual dengan program plaxis

Ukuran tiang (m)	Ukuran pile cap (m)	Jarak antar tiang (m)	Kuat tarik yang digunakan (kN / m)	Kuat tarik geosintetik hasil plaxis ( kN / m)
0,15	0,15	0,5	48	42,28
		1	260	60,24
		1,5	580	80,03
0,2	0,2	0,5	43	42,93
		1	187	61,55
		1,5	425	80,07
0,25	0,25	0,5	40	43,82
		1	142	60,27
		1,5	328	80,46

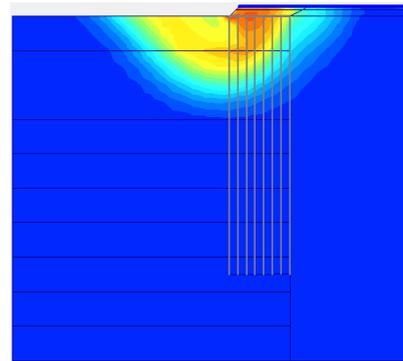
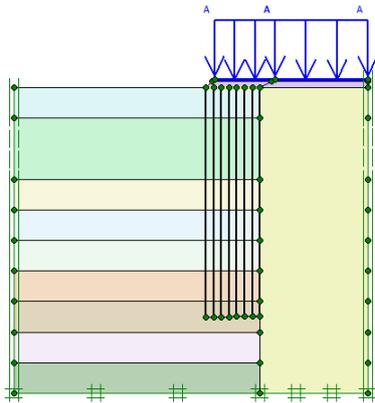
**Analisis nilai faktor keamanan**

Setelah membandingkan nilai kuat tarik geosintetik, dilakukan analisa nilai faktor keamanan terhadap proyek pelebaran jalan tol dengan menggunakan kombinasi antara tiang dengan material geosintetik. Analisa dilakukan dengan variasi jarak antar tiang, ukuran tiang dan kedalaman tiang seperti analisis sebelumnya. Analisis ini dilakukan dengan dua kondisi. Kondisi pertama adalah pada saat tanah pada jalan yang sudah ada diasumsikan sama dengan tanah pada pelebaran. Pada kondisi ini, pola kelongsoran yang terjadi tidak mengenai pelebaran sehingga menyebabkan analisis tidak akurat dan variasi parameter tiang tidak berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan.



Gambar 8 Kondisi lapangan pada analisis pertama      Gambar 9 Pola kelongsoran yang terjadi pada analisis pertama

Analisa kedua dilakukan dengan mengasumsikan tanah pada jalan yang sudah ada adalah tanah keras, sehingga pola kelongsoran berada pada pelebaran. Pada kondisi yang kedua ini, diperoleh nilai faktor keamanan tanpa perkerasan 3,6554.



Gambar 10 Kondisi lapangan pada analisis kedua      Gambar 11 Pola kelongsoran yang terjadi pada analisis kedua

Setelah diperoleh nilai faktor keamanan terhadap kondisi awal, diberikan perkerasan terhadap kondisi tersebut. perkerasan diberikan sesuai dengan variasi jarak antar tiang, ukuran tiang dan kedalaman tiang sesuai dengan analisis sebelumnya. Berdasarkan analisis ini, didapatkan material geosintetik dapat meningkatkan nilai faktor keamanan sebesar 20%.

Tabel 4 Pengaruh geosintetik terhadap peningkatan nilai faktor keamanan pada tiang 12 m dan 15 m

No	Ukuran Tiang (m)	Ukuran Pile Cap (m)	Jarak antar tiang (m)	Kuat tarik geosintetik (kN/m)	SF	Keterangan	Pengaruh Geosintetik (%)	No	Ukuran Tiang (m)	Ukuran Pile Cap (m)	Jarak antar tiang (m)	Kuat tarik geosintetik (kN/m)	SF	Keterangan	Pengaruh Geosintetik (%)
1	0,15	0,15	0,5	48	5,0866	Tanpa Geosintetik	16,026	1	0,15	0,15	0,5	48	5,0864	Tanpa Geosintetik	15,842
					5,9018	Dengan Geosintetik							5,8922	Dengan Geosintetik	
2	0,15	0,15	1	260	4,7421	Tanpa Geosintetik	18,840	2	0,15	0,15	1	260	4,7118	Tanpa Geosintetik	20,169
					5,6355	Dengan Geosintetik							5,6621	Dengan Geosintetik	
3	0,15	0,15	1,5	580	4,4758	Tanpa Geosintetik	17,154	3	0,15	0,15	1,5	580	4,6933	Tanpa Geosintetik	12,160
					5,2436	Dengan Geosintetik							5,264	Dengan Geosintetik	
4	0,2	0,2	0,5	43	5,1155	Tanpa Geosintetik	15,433	4	0,2	0,2	0,5	43	5,1868	Tanpa Geosintetik	13,571
					5,905	Dengan Geosintetik							5,8907	Dengan Geosintetik	
5	0,2	0,2	1	187	4,6614	Tanpa Geosintetik	20,655	5	0,2	0,2	1	187	4,7655	Tanpa Geosintetik	18,940
					5,6242	Dengan Geosintetik							5,6681	Dengan Geosintetik	
6	0,2	0,2	1,5	425	4,5226	Tanpa Geosintetik	16,455	6	0,2	0,2	1,5	425	4,7075	Tanpa Geosintetik	10,745
					5,2668	Dengan Geosintetik							5,2133	Dengan Geosintetik	
7	0,25	0,25	0,5	40	5,1069	Tanpa Geosintetik	15,597	7	0,25	0,25	0,5	40	5,0923	Tanpa Geosintetik	15,698
					5,9034	Dengan Geosintetik							5,8917	Dengan Geosintetik	
8	0,25	0,25	1	142	4,765	Tanpa Geosintetik	17,906	8	0,25	0,25	1	142	4,7784	Tanpa Geosintetik	18,575
					5,6182	Dengan Geosintetik							5,666	Dengan Geosintetik	
9	0,25	0,25	1,5	328	4,4858	Tanpa Geosintetik	16,815	9	0,25	0,25	1,5	328	4,6263	Tanpa Geosintetik	12,969
					5,2401	Dengan Geosintetik							5,2263	Dengan Geosintetik	

Setelah dilakukan analisis terhadap pengaruh geosintetik terhadap tiang, dilakukan analisis nilai faktor keamanan terhadap perubahan jarak antar tiang, ukuran tiang dan kedalaman tiang.

Tabel 5 Nilai faktor keamanan terhadap perubahan jarak antar tiang

No	Kedalaman Tiang (m)	Ukuran Tiang (m)	Jarak antar tiang (m)	Safety Factor	
1	12	0,15	0,5	5,9018	
2			1	5,6355	
3			1,5	5,2436	
4		0,2	0,5	5,905	
5			1	5,6242	
6			1,5	5,2668	
7		0,25	0,5	5,9034	
8			1	5,6182	
9			1,5	5,2401	
10		15	0,15	0,5	5,8922
11				1	5,6621
12				1,5	5,264
13			0,2	0,5	5,8907
14				1	5,6681
15				1,5	5,2133
16			0,25	0,5	5,8917
17				1	5,666
18				1,5	5,2263

Tabel 6 Nilai faktor keamanan terhadap perubahan ukuran tiang

No	Kedalaman Tiang (m)	Ukuran Tiang (m)	Jarak antar tiang (m)	Safety Factor		
1	12	0,15	0,5	5,9018		
2		0,2		5,905		
3		0,25		5,9034		
4		0,15	1	0,15	5,6355	
5				0,2	5,6242	
6				0,25	5,6182	
7		0,15	1,5	0,15	5,2436	
8				0,2	5,2668	
9				0,25	5,2401	
10		15	0,15	0,5	5,8922	
11					0,2	5,8907
12					0,25	5,8917
13			0,15	1	0,15	5,6621
14					0,2	5,6681
15					0,25	5,666
16			0,15	1,5	0,15	5,264
17					0,2	5,2133
18					0,25	5,2263

Tabel 7 Nilai faktor keamanan terhadap perubahan kedalaman tiang

No	Kedalaman Tiang (m)	Ukuran Tiang (m)	Jarak antar tiang (m)	Safety Factor
1	12	0,15	0,5	5,9018
2	15			5,8922
3	12		1	5,6355
4	15			5,6621
5	12		1,5	5,2436
6	15			5,264
7	12	0,2	0,5	5,905
8	15			5,8907
9	12		1	5,6242
10	15			5,6681
11	12		1,5	5,2668
12	15			5,2133
13	12	0,25	0,5	5,9034
14	15			5,8917
15	12		1	5,6182
16	15			5,666
17	12		1,5	5,2401
18	15			5,2263

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat dilihat perubahan nilai faktor keamanan hanya berpengaruh terhadap jarak antar tiang. Nilai faktor keamanan hanya berpengaruh 0,16 – 1% terhadap perubahan ukuran tiang dan kedalaman tiang.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap berbagai simulasi yang ada, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Kuat tarik geosintetik dengan metode perhitungan BS 8006 (2010) dengan metode elemen hingga (plaxis) memiliki perbedaan yang cukup besar. Perbedaan ini akan semakin besar apabila jarak antar tiang semakin besar
2. Material geosintetik meningkatkan nilai faktor keamanan pada timbunan, namun peningkatannya dipengaruhi oleh efektivitas dari geosintetik. Pada percobaan yang dilakukan, geosintetik dapat meningkatkan nilai faktor keamanan sebesar 20%
3. Semakin besar jarak antar tiang, nilai faktor keamanan akan semakin kecil. Perbedaan nilai faktor keamanan ini sebesar 4 – 8% apabila dilakukan penelitian dengan perbedaan jarak antar tiang 0,5 m
4. Perubahan nilai faktor keamanan terhadap perubahan ukuran dan kedalaman tiang diperoleh sebesar 0,16 – 1%. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan percobaan yang dilakukan, perubahan ukuran dan kedalaman tiang tidak mempengaruhi nilai faktor keamanan
5. Berdasarkan analisis yang dilakukan, apabila digunakan perkuatan dengan tiang persegi berukuran 15 cm x 15 cm, dengan jarak antar tiang 0,5 m dan kedalaman 1,5 m dan geosintetik dengan kuat tarik 48 kN/m, maka beban yang bekerja pada timbunan dapat dipikul dengan baik.

## 6. SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, disarankan melakukan analisis penggunaan geosintetik terhadap *piled embankment* dengan metode perhitungan yang lain termasuk analisis terhadap penurunan tanah pada konstruksi timbunan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariyaratne, P , Liyanapathirana, D.S. 2015. *Review of existing design method for geosynthetic-reinforced piled supported embankments*. Elsevier B.V:The Japanese Geotechnical Society.
- Boogert, T.J.M den. 2011. *Piled Embankments with Geosynthetic Reinforcement*. Thesis. Delft : Delft University of Technology.
- Brinkgreve, R.B.J.ed. 2002. *PLAXIS 2D-Version 8*, Netherland: A.A.Barkema Publishers.
- British Standard. 2010. *Code of practice for strengthened/reinforced soil and other fills*.London : BSI Standards Publication.
- Budhu, M. 2000. *Soil Mechanics and Foundations*. New York: John Wiley and Sons.

- Das, B.M. 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2009. *PEDOMAN Konstruksi dan Bangunan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, Direktorat Bina Teknik.
- Gangakhedkar, R. 2004. *Geosynthetic Reinforced Pile Supported Embankments*. Thesis. Florida: University of Florida.
- Peck, R.B , Terzaghi, K. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York : John Wiley and Sons.