

KAJIAN TEKNIS PENGGUNAAN TERRAMESH SEBAGAI DINDING PENAHAN TANAH PADA PROYEK JALAN TOL JAKARTA-KUNCIRAN-CENKARENG

Andrew Horas¹, Aniek Prihatiningsih², dan Josephine Aristiti Setyarini³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: andrewhoras@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: aniekprihatiningsih@gmail.com

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: josephine.setyarini@gmail.com

ABSTRAK

Lereng yang curam adalah masalah dalam bidang geoteknik yang sering dijumpai. Lereng tersebut dapat terbentuk secara alami maupun buatan. Salah satu lereng buatan yang terbentuk dari penimbunan tanah seperti jalan tol di Jakarta. Lahan yang terbatas menjadi alasan utama terbentuknya lereng yang hampir tegak 90° sehingga dibutuhkan perkuatan. Salah satu perkuatan yaitu menggunakan *Terramesh* dan *geogrid*. Keterbatasan data tanah menjadi salah satu permasalahan dalam kasus ini. Data laboratorium tidak tersedia sehingga digunakan berbagai korelasi berdasarkan nilai N-SPT. Analisis mendalam dilakukan dengan penentuan nilai koefisien pengali kuat geser tidak terdrainase (Su). Hasil korelasi tersebut akan dimasukkan sebagai parameter dalam program yang berbasis elemen hingga. Nilai angka keamanan dari stabilitas lereng akan menjadi hasil keluaran program. Nilai tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *Terramesh* dan *geogrid* di jalan tol di Jakarta cukup efektif digunakan sebagai perkuatan lereng akibat timbunan.

Kata kunci: stabilitas lereng, angka keamanan, *Terramesh*, *geogrid*, N-SPT.

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Indonesia adalah salah satu negara disebut sebagai negara berkembang. Hal ini dapat terlihat dengan perkembangan pesat yang terjadi dalam berbagai sektor, misal: sektor perekonomian, sektor industri, infrastruktur, dll. Perkembangan masyarakat Indonesia yang terus meningkat mendorong pemerintah untuk mengembangkan berbagai sektor dalam roda pemerintahan, salah satunya adalah sektor infrastruktur.

Namun, tingginya kebutuhan masyarakat mendorong adanya pembangunan berkelanjutan di bidang infrastruktur, khususnya jalan bebas hambatan (jalan tol). Proyek pembangunan jalan tol di Jakarta yang berada di bawah pengawasan Jasamarga adalah salah satu proyek jalan bebas hambatan (jalan tol) yang masih berjalan. Ruas jalan yang membentang pada topografi yang memiliki lereng yang curam (kemiringan lebih dari 25%) memiliki tingkat kerawanan yang sangat tinggi dalam bahaya longsor. Kuat geser tanah yang menurun akibat adanya rembesan dalam tanah dan tegangan dalam tanah yang meningkat akibat aktivitas lalu lintas menjadi penyebab umum terjadinya longsor. Solusi untuk mencegah terjadinya bahaya longsor yang terjadi pada badan jalan adalah dengan mengadakan investigasi dan perhitungan yang cermat terhadap kestabilan lereng. Analisis stabilitas lereng berfungsi untuk menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang bidang gelincir terhadap tegangan geser tanah yang ditinjau. Selain itu, terdapat juga nilai *safety factor* yang didefinisikan sebagai nilai perbandingan kuat geser yang dimiliki tanah dengan tegangan geser tanah tersebut.

Batasan masalah

Dalam penelitian ini, batasan-batasan yang digunakan sebagai berikut:

1. Data penyelidikan tanah yang diperoleh *borelog* di titik terdekat dengan dinding penahan tanah.
2. Lokasi yang ditinjau berada di Benda Junction, Benda.
3. Analisis stabilitas lereng menggunakan program.
4. Beban rencana yang digunakan adalah sebesar 15 kN/m^2 .
5. *Geogrid* digunakan dari MacGrid WG8.
6. Material tanah menggunakan model *Mohr-Coulomb*.
7. Pemodelan *Terramesh* dengan *cluster* menggunakan model *Mohr-Coulomb*.

Rumusan masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini:

1. Analisis stabilitas lereng badan jalan tol di Jakarta.
2. Angka keamanan lereng jalan tol di Jakarta akibat beban-beban yang bekerja.
3. Angka keamanan lereng jalan tol di Jakarta setelah diperkuat dengan pemasangan *Terramesh*.
4. Konfigurasi pemasangan *Terramesh* yang dipasang di lereng badan jalan.
5. Menentukan keefektifan pemasangan *Terramesh* sebagai dinding penahan tanah.

Tujuan penelitian

Beberapa tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji secara teknik apakah lereng curam yang terdapat di badan jalan tol di Jakarta termasuk dalam kategori yang aman atau tidak, apabila tidak ada perkuatan dan penentuan *soil* parameter. Apabila diperlukannya perkuatan, solusi pemasangan *Terramesh* sebagai dinding penahan tanah untuk lereng tersebut adalah pilihan yang efektif dari segi struktural.

Lereng dan Longsoran

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia. Lereng yang terbentuk secara alami adalah bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan adalah galian dan timbunan untuk membuat bendungan, tanggul, kanal, dll. (Arief, 2007). Pada dasarnya tanah longsor terjadi apabila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah, sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban, dan berat jenis tanah.

Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep umum keseimbangan batas (*General Limit Equilibrium*) guna menghitung faktor keamanan. Secara teoritis, faktor keamanan dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (1)$$

Keterangan:

F_s = Faktor keamanan terhadap kekuatan tanah.

τ_f = Kekuatan geser rata-rata dari tanah yang ditinjau (kN/m^2).

τ_d = Tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang gelincir (kN/m^2).

Terramesh

Terramesh adalah anyaman kawat yang berbentuk kotak terbuat dari kawat baja berlapis seng yang diisi batuan dan kerikil untuk mencegah kelongsoran pada tanah yang dipasang pada lereng, tepi sungai dan tebing. Dibandingkan dengan beton yang umumnya digunakan sebagai dinding penahan tanah, *Terramesh* memiliki keunggulan, antara lain:

1. Tumpukan batu-batu di dalam *Terramesh* memungkinkan air untuk mengalir disela-sela batuan sehingga tekanan tanah akan berkurang dan mengurangi resiko longsor.
2. Bentuk yang sederhana sehingga dapat dilaksanakan tanpa menggunakan mesin berteknologi tinggi.
3. Menjadi salah satu alternatif untuk daerah-daerah yang terpencil, dimana akses jalan yang masih sangat minim.

Geogrid

Geogrid adalah salah satu contoh dari jenis geosintektik yang berbentuk jaring terbuka. *Geogrid* merupakan bahan sintesis dari *polyethylene*, *polyester*, *polypropylene*, *polyamide*, dan *aramide*, bertegangan tinggi yang diseleksi berdasarkan tingkat kerapatannya, lalu diproses dalam pabrik.

Fungsi utama *geogrid* adalah sebagai perkuatan yang mengacu pada mekanisme dimana sifat tanah dapat ditingkatkan secara mekanis. *Geogrid* dibentuk oleh suatu jaring teratur dengan elemen tarik dan mempunyai bukaan berukuran tertentu sehingga saling mengunci dengan bahan pengisi di sekelilingnya. Berdasarkan bentuk bukaannya, maka *geogrid* dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. *Uniaxial Geogrid*

Uniaxial grid berbentuk lembaran masif dengan celah yang memanjang dengan bahan dasar HDPE (*High Density Polyethelene*). Tipe ini banyak digunakan untuk perkuatan tanah pada DPT (Dinding Penahan Tanah) dan untuk memperbaiki lereng yang longsor dengan menggunakan tanah setempat.

2. *Biaxial Geogrid*

Biaxial geogrid terbuat dari bahan dasar *polypropylene* (PP) dan banyak digunakan untuk meningkatkan tanah dasar lunak ($CBR < 1\%$). *Biaxial geogrid* adalah lembaran bujursangkar dimana dengan struktur lubang bujursangkar ini partikel timbunan akan saling terkunci dan kuat geser tanah akan naik.

3. *Triax Geogrid*

Fungsi utama *geogrid* ini sama dengan *Biaxial Geogrid* hanya saja *performance geogrid* ini lebih baik. Hal ini disebabkan oleh bentuk bukaannya segitiga, sehingga lebih kaku dan penyebaran beban menjadi lebih merata.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode pengumpulan data

Kajian teknis kali ini berada di lokasi proyek jalan tol di Jakarta. Benda Junction, Benda. Data yang dikumpulkan adalah berdasarkan hasil peninjauan di lokasi proyek dengan pengamatan, pencatatan, dan wawancara sehingga data yang diperoleh adalah data yang sesuai terjadi di lokasi proyek. Data yang dikumpulkan adalah data hasil tes SPT (*Standart Penetration Test*), *lay out* lokasi proyek, dan kondisi awal lereng.

Metode analisis data

Studi literatur adalah hal pertama yang dilakukan sebelum analisis data. Studi ini berguna untuk mengetahui dasar-dasar teori dinding penahan tanah, angka keamanan, dll. Setelah studi literatur dilakukan pengumpulan data dari lokasi proyek sebagai dasar perhitungan, dalam hal ini adalah data *borelog* dimana angka N-SPT akan diolah dengan berbagai korelasi untuk menentukan nilai-nilai parameter yang dibutuhkan untuk analisis. Pemodelan profil tanah akan dimasukkan ke dalam program, dalam hal ini program analisis berbasis elemen hingga. Ada 2 kondisi untuk dianalisis, pertama dengan menganalisis kestabilan lereng pada kondisi alami dan selanjutnya menganalisis stabilitas lereng dengan perkuatan. Perkuatan yang diterapkan dalam studi ini adalah dengan menggunakan *geogrid*, *terramesh*, dan kombinasi keduanya. Ketika mendapatkan nilai angka keamanan dari masing-masing kondisi maka akan dilanjutkan dengan tahap pembahasan. Tahap ini akan membahas nilai-nilai angka keamanan dari kedua kondisi sehingga dapat ditarik beberapa kesimpulan sesuai dengan hasil perhitungan.

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Kesimpulan parameter tanah

Nilai semua parameter tanah didapatkan dari korelasi terhadap nilai N-SPT. Berikut merupakan kesimpulan parameter yang didapatkan dari 4 buah *borelog* terdekat untuk pemodelan dalam program berbasis elemen hingga yang dapat dilihat pada table 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Rangkuman parameter yang digunakan

Layer	Soil Type	Soil Consistency	Depth (m)	N_{SPT}	ϕ (°)	c' (kN/m ²)	E_u (kN/m ²)	E' (kN/m ²)	ν	γ_{sat} (kN/m ³)	S_u (kN/m ²)
1	Clay	Stiff	0 - 4	11	25	10	18000	12000	0.3	14	60
2	Clay	Soft	4 - 6	3	23	11	19000	11000	0.3	14	45
3	Clay	Stiff	6 - 10	10	28	15	22000	15000	0.3	16	65
4	Silt	Very Stiff	10 - 14	23	32	19	35000	20000	0.3	17	100
5	Sand	Dense	14 - 20	32	35	0	30000	18000	0.3	18	105
6	Clay	Very Stiff	20 - 28	18	29	22	40000	25000	0.3	16	120
7	Clay	Very Stiff	28 - 32	16	29	22	35000	20000	0.3	16	110
8	Clay	Very Stiff	32 - 36	16	29	23	35000	20000	0.3	17	125
9	Clay	Very Stiff	36 - 42	18	29	26	42000	22000	0.3	17	125
10	Sand	Medium Dense	42 - 46	25	32	0	40000	25000	0.3	19	145
11	Clay	Very Stiff	46 - 50	24	32	32	50000	28000	0.3	18	150

Material yang dipakai dalam pemodelan

Dalam pemodelan, digunakan material *Terramesh* dan *geogrid* sebagai perkuatan lereng. Parameter perkuatan dengan *Terramesh* :

Tabel 2 Parameter input *Terramesh*

Parameter <i>Terramesh</i>	
<i>Material mode</i>	: Mohr-Coulomb
<i>Material type</i>	: <i>Non-porous</i>
γ_{sat}	: 20 kN/m ³
E_{ref}	: 100000 kN/m ²
ν	: 0.3
c_{ref}	: 200 kN/m ²
ϕ	: 45
ψ	: 0

Geogrid yang digunakan merupakan MacGrid WG8 (Sumber: Brosur Maccaferri) dengan data material yang digunakan sebagai berikut :

Tabel 3 Parameter input *Geogrid*

Parameter <i>Geogrid</i>	
<i>Material type</i>	: <i>Elastoplastic</i>
A	: 8000 kN/m
N_p	: 47 kN/m

Hasil nilai angka keamanan tanpa perkuatan dengan bantuan program

Gambar 4 Nilai angka keamanan tanpa perkuatan

Faktor Pengali, Cu	SF	SF Beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	1.06	0.93	0.52	0.54
6N	1.08	0.95	0.6	0.97
7N	0.94	1.16	0.43	0.6
8N	1.07	1.27	0.59	0.85

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai faktor keamanan dengan timbunan terkonsolidasi di bawah 1.5, sehingga dapat disimpulkan bahwa lereng tersebut tidak aman dan dibutuhkan adanya perkuatan.

Tahapan konstruksi

Tabel 3 Tahapan konstruksi

No	Tahap Konstruksi	Durasi (hari)
1	Pemasangan <i>Terramesh</i>	3
2	Timbunan tanah setinggi 1 meter (Ketinggian 1 meter)	5
3	Konsolidasi timbunan	10
4	Pemasangan <i>Terramesh</i> dan <i>Geogrid</i>	5
5	Timbunan tanah setinggi 1 meter (Ketinggian 2 meter)	5
6	Konsolidasi timbunan	10

7	Pemasangan <i>Terramesh</i> dan <i>Geogrid</i>	5
8	Timbunan tanah setinggi 1 meter (Ketinggian 3 meter)	5
9	Konsolidasi timbunan	10
10	Timbunan tanah setinggi 1 meter (Ketinggian 4 meter)	5
11	Konsolidasi timbunan	10
12	Timbunan tanah setinggi 1 meter (Ketinggian 5 meter)	5
13	Konsolidasi timbunan	10
14	Timbunan tanah setinggi 1 meter (Ketinggian 6 meter)	5
15	Konsolidasi timbunan	10
16	Perhitungan nilai angka keamanan lereng timbunan 6 meter	-
17	Beban lalu lintas diaktifkan	-
18	Perhitungan nilai angka keamanan akibat beban lalu lintas	-
19	Beban gempa diaktifkan	-
20	Perhitungan nilai angka keamanan akibat beban gempa	-
21	Beban gempa dan lalu lintas diaktifkan	-
22	Perhitungan nilai angka keamanan akibat beban gempa dan lalu lintas	-

Kondisi *short term* dengan perkuatan *geogrid*

Dalam kasus ini *geogrid* akan dipasang setiap kenaikan 1 meter hingga 6 meter. Nilai angka keamanan dalam kondisi ditinjau dalam beberapa kasus. Kasus pertama, *geogrid* akan dipasang 1 buah untuk timbunan 6 meter. Kasus kedua, *geogrid* akan dipasang sebanyak 2 buah untuk timbunan setinggi 6 meter hingga pada akhirnya *geogrid* akan terpasang sebanyak 5 buah dengan tinggi timbunan 6 meter.

Tabel 4 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 1 *Geogrid*

Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	1.87	1.62	1.40	1.22
6N	2.16	2.09	1.41	1.28
7N	1.94	1.54	1.37	1.16
8N	1.88	1.55	1.37	1.19

Tabel 5 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 2 *Geogrid*

Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.23	1.96	1.40	1.26
6N	2.38	2.07	1.41	1.24
7N	2.34	1.85	1.40	1.21
8N	2.38	1.81	1.41	1.25

Tabel 6 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 3 *Geogrid*

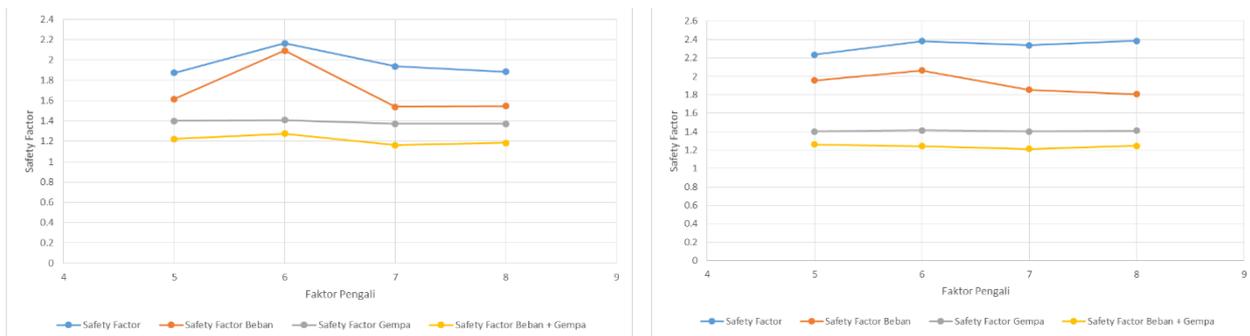
Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.25	1.96	1.42	1.26
6N	2.34	2.03	1.44	1.28
7N	2.68	1.94	1.42	1.26
8N	2.50	1.94	1.43	1.26

Tabel 7 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 4 Geogrid

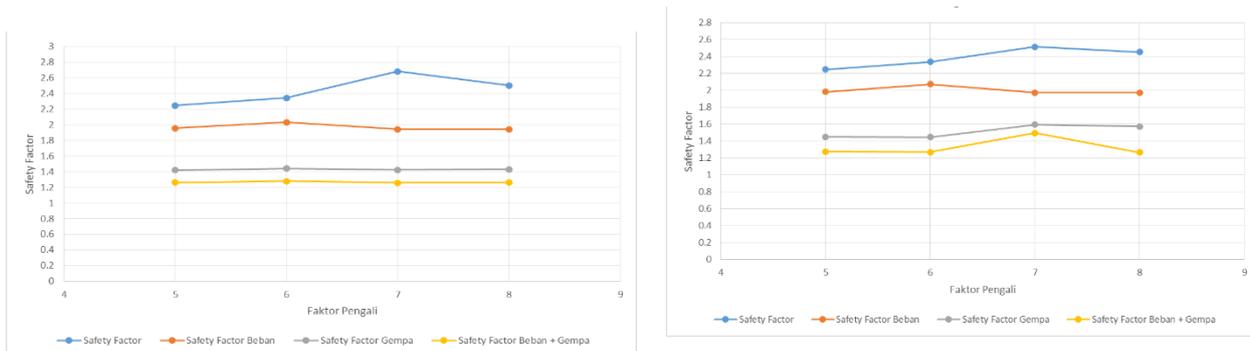
Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.25	1.98	1.45	1.28
6N	2.34	2.07	1.45	1.27
7N	2.52	1.97	1.60	1.49
8N	2.45	1.97	1.57	1.27

Tabel 8 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 5 Geogrid

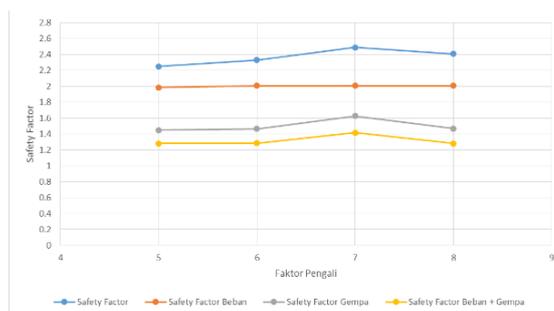
Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.25	1.98	1.45	1.28
6N	2.33	2.01	1.46	1.28
7N	2.49	2.01	1.63	1.41
8N	2.41	2.01	1.47	1.28



Gambar 1 Angka keamanan perkuatan dengan 1 Geogrid (kiri) dan perkuatan dengan 2 Geogrid (kanan)



Gambar 2 Angka keamanan perkuatan dengan 3 Geogrid (kiri) dan perkuatan dengan 4 Geogrid (kanan)



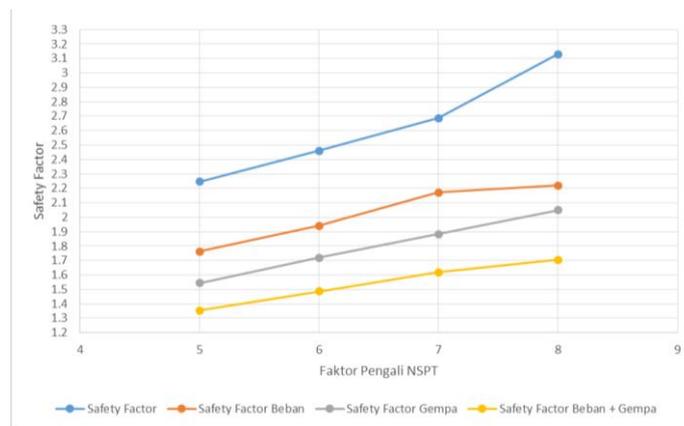
Gambar 3 Angka keamanan perkuatan dengan 5 Geogrid

Kondisi short term dengan perkuatan terramesh

Dalam kasus ini *terramesh* dipasang setinggi 3 meter dengan perubahan pada nilai kuat geser tak terdrainase (S_u). Nilai angka keamanan didapatkan sebagai berikut:

Tabel 9 Nilai angka keamanan perkuatan dengan *terramesh*

Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.25	1.76	1.54	1.35
6N	2.46	1.94	1.72	1.49
7N	2.69	2.17	1.88	1.62
8N	3.13	2.22	2.05	1.70



Gambar 4 Angka keamanan perkuatan dengan *Terramesh*

Kondisi short term dengan perkuatan geogrid dan terramesh

Dalam kasus ini *terramesh* dan *geogrid* akan dipasang setiap kenaikan 1 meter hingga 6 meter. *Terramesh* terpasang sehingga yang berganti adalah jumlah *geogrid* yang terpasang. Nilai angka keamanan dalam kondisi ditinjau dalam beberapa kasus. Kasus pertama, *geogrid* akan dipasang 1 buah untuk timbunan 6 meter. Kasus kedua, *geogrid* akan dipasang sebanyak 2 buah untuk timbunan setinggi 6 meter hingga pada akhirnya *geogrid* akan terpasang sebanyak 5 buah dengan tinggi timbunan 6 meter.

Tabel 10 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 1 *Geogrid* dan *Terramesh*

Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.39	1.86	1.61	1.49
6N	2.39	2.02	1.74	1.59
7N	3.15	1.85	1.76	1.47
8N	3.71	2.85	2.07	1.83

Tabel 11 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 2 *Geogrid* dan *Terramesh*

Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.32	2.05	1.60	1.47
6N	2.46	2.16	1.74	1.58
7N	3.03	2.41	1.92	1.70
8N	3.74	2.83	2.07	1.82

Tabel 12 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 3 *Geogrid* dan *Terramesh*

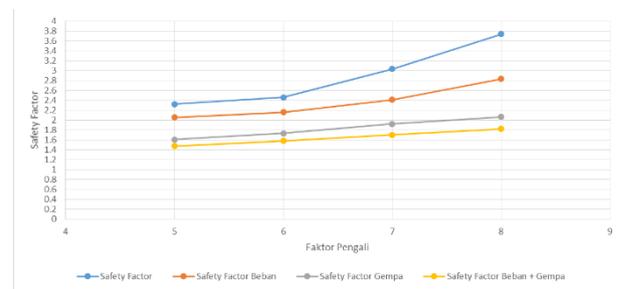
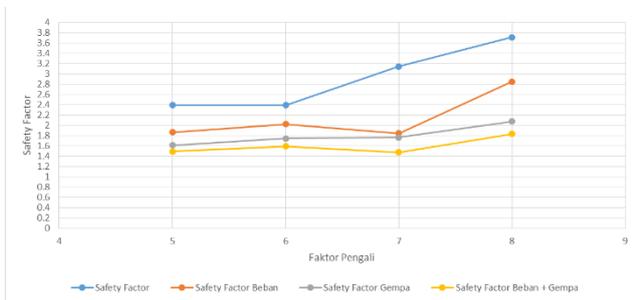
Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.32	2.05	1.61	1.48
6N	2.53	2.19	1.93	1.76
7N	3.06	2.64	1.93	1.71
8N	3.80	2.66	2.06	1.81

Tabel 13 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 4 *Geogrid* dan *Terramesh*

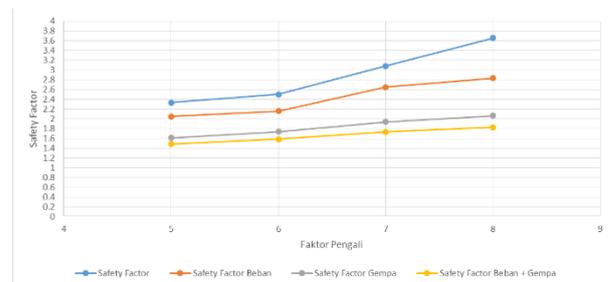
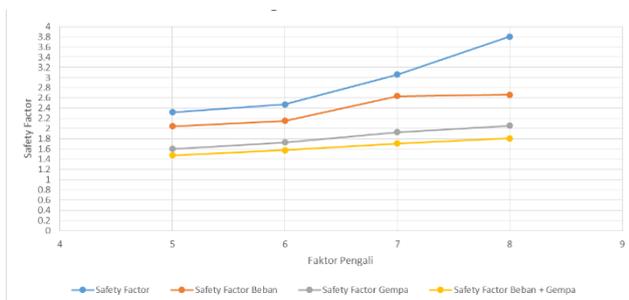
Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.33	2.05	1.61	1.48
6N	2.50	2.15	1.73	1.58
7N	3.08	2.65	1.94	1.73
8N	3.65	2.83	2.06	1.82

Tabel 14 Nilai angka keamanan perkuatan dengan 5 *Geogrid* dan *Terramesh*

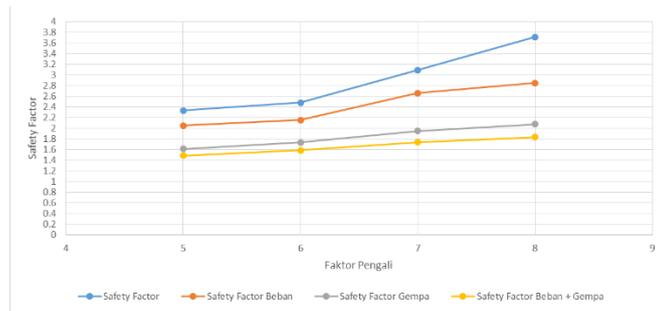
Faktor Pengali,Cu	SF	SF beban	SF Gempa	SF Beban + Gempa
5N	2.34	2.05	1.61	1.48
6N	2.48	2.15	1.73	1.58
7N	3.09	2.66	1.95	1.74
8N	3.71	2.85	2.07	1.83



Gambar 5 Angka keamanan perkuatan dengan 1 *Geogrid* dan *Terramesh* (kiri) dan angka keamanan perkuatan dengan 2 *Geogrid* dan *Terramesh* (kanan).



Gambar 5 Angka keamanan perkuatan dengan 3 *Geogrid* dan *Terramesh* (kiri) dan angka keamanan perkuatan dengan 4 *Geogrid* dan *Terramesh* (kanan).



Gambar 6 Angka keamanan dengan perkuatan 5 *Geogrid* dan *Terramesh*

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang diperoleh, dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini:

1. Berdasarkan Tabel 4.35 diketahui bahwa nilai angka keamanan lereng lebih kecil dari nilai angka keamanan syarat sehingga lereng tersebut termasuk dalam kategori lereng tidak stabil.
2. Perkuatan lereng dapat dilakukan dengan 3 alternatif, yaitu *geogrid*, *terramesh*, maupun *terramesh* dan *geogrid*. Nilai persentase kenaikan kekuatan dengan masing-masing alternatif sesuai dengan persamaan pada subbab 4.6.4.
3. Nilai persentase kenaikan kekuatan masing-masing alternatif sebagian besar lebih besar dari 100% sehingga dapat disimpulkan bahwa perkuatan dapat dipilih berdasarkan efektivitas dan efisiensi.
4. Desain dinding penahan tanah dengan *Terramesh* dan *geogrid* dapat digunakan sebagai konstruksi dinding penahan tanah pada jalan tol di Jakarta.
5. Penggunaan korelasi untuk mendapatkan parameter tanah desain cukup akurat sehingga konstruksinya dapat diterapkan di lokasi proyek.
6. Peningkatan angka faktor keamanan juga dapat dicapai dengan penggunaan *geogrid* secara efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, Saifudin. 2007. *Konsep Dasar Analisis Kestabilan Lereng*. www.scribd.com
- Brinkgreve, R.B.J.(2007).Manual PROGRAM 2D Versi 8.Delft : PROGRAM b.v.
- Bowles, Joseph E. 1996. *Analisa dan Desain Pondasi Jilid 1*. Edisi Kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga. (Diterjemahkan oleh: Pantur Silaban, Ph.D).
- Budhu, Muni. 2011. *Soil Mechanics and Foundation*. (3rd Edition). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga. (Diterjemahkan Oleh: Noor Endah dan Indrasurya B. Mochtar)
- Kodoatie, Robert J. 2005. *Pengantar Manajemen Infrastruktur*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Kovacs, William D. 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- Murthy V.N.S. 1977. *Geotechnical Engineering*. New York: Marcell Dekker.
- Riggs, C.O. (1983). *Reproducible SPT hammer impact force with an automatic free fall SPT hammer system*.
- Sandjaja, Gregorius. 2015. *Diktat Pondasi Tiang II*. Jakarta: Universitas Tarumanagara.
- Stephenson D. 1979. *Rockfill in Hydraulic Engineering*. New York: Amsterdam Oxford.
- Terzaghi and Peck. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd Edition. Wiley.
- Terzaghi, Karl dan Ralph B. Peck. 1987. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 1*. Edisi Kedua. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Terzaghi, Karl dan Ralph B. Peck. 1991. *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid -2*. Edisi Kedua. Jakarta: Penerbit Erlangga.

