

Analisis Perkuatan Lereng Menggunakan Geotekstil dengan Metode Elemen Hingga dan Kesetimbangan Batas

IVAN YUSPITALDO, INDRA NOER HAMDHAN

1. Ivan Yuspitaldo (Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung)
2. Indra Noer Hamdhan (Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung)

Email: vansyuspitaldo@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu material yang dapat memperkuat suatu lereng yaitu geotekstil. Pada stabilitas perkuatan lereng dalam penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dan metode kesetimbangan batas. Pada analisis ini dilakukan dengan memvariasikan kemiringan lereng, dua jenis parameter tanah, dan jarak antar geotekstil. Berdasarkan hasil dari analisis yang telah dilakukan, nilai perhitungan faktor keamanan pada kondisi tanah lempung memperlihatkan kenaikan yang stabil dibandingkan dengan kondisi tanah pasir yang masing – masing menggunakan metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga. Pemasangan jarak antar geotekstil juga berpengaruh terhadap hasil nilai faktor keamanan yang dihasilkan. Semakin rapat pemasangan geotekstil terhadap suatu lereng, maka semakin besar nilai faktor keamanan yang dihasilkan.

Kata kunci; tanah, lereng, geotekstil, faktor keamanan, kesetimbangan batas, elemen hingga

1. PENDAHULUAN

Permukaan tanah tidak selalu membentuk bidang datar atau mempunyai perbedaan elevasi antara tempat yang satu dengan yang lain, sehingga membentuk suatu lereng. Lereng adalah suatu permukaan tanah miring dan membentuk suatu sudut terhadap bidang horizontal. Dalam keadaan dua permukaan tanah yang memiliki elevasi berbeda seperti ini, terdapat dua gaya yang bekerja pada tanah tersebut. Perkuatan lereng adalah sebuah usaha yang dilakukan untuk menghindari terjadinya kelongsoran pada lereng. Salah satu cara untuk menjegah terjadinya longsor adalah dengan membuat suatu konstruksi yang mampu meningkatkan stabilitas lereng tersebut. Konstruksi yang biasanya digunakan berupa dinding penahan tanah, dinding turap, terasering lereng, dan perkuatan dengan menggunakan geosintetik. Selain itu, geotekstil juga mempunyai kelemahan terhadap sinar ultraviolet, karena bahan geosintetik akan mengalami degradasi yang cepat dibawah terik sinar matahari.

Dalam menganalisis perkuatan lereng terdapat dua metode yang dipakai, yaitu metode elemen hingga dan kesetimbangan batas. Kesetimbangan batas adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya pada lereng dengan menggunakan *software* Svslope 2D dan elemen hingga menggunakan *software* Plaxis 2D.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral – mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan – bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel 5 padat) disertai dengan zat air dan gas yang mengisi ruang – ruang kosong diantara partikel – partikel padat tersebut (Das,1995).

2.1 Lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal dan tidak terlindungi (Das, 1995). Lereng alami maupun buatan masih dibagi lagi dalam dua jenis (Soepandji, 1955), yaitu: lereng dengan pajang tak hingga (*infinite slope*) dan lereng dengan panjang hingga (*finite slope*).

Keruntuhan pada lereng bisa terjadi akibat gaya dorong yang timbul karena beban pada tanah. Lereng secara alami memiliki kekuatan geser tanah dan akar tumbuhan yang digunakan sebagai gaya penahan. Secara teknik dapat dikatakan bahwa keruntuhan terjadi apabila faktor keamanan tidak memenuhi ($FK < 1,5$).

2.1.1 Penyebab Terjadinya Longsor

Banyak faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng seperti geologi dan hidrologi topografi, iklim perubahan cuaca (Hardiyatmo, 2010). Namun selain itu, kelongsoran juga terjadi akibat penambahan beban pada lereng, penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng, perubahan posisi muka air secara cepat (*rapid drawdown*) pada bendungan, sungai, dan lain – lain, getaran atau gempa bumi, jenis tanah dan kondisi geometrik lereng.

2.1.2 Cara – Cara Untuk Menstabilkan Lereng

Ada beberapa cara untuk menstabilkan atau memperbaiki lereng yang mungkin akan terjadi kelongsoran, yaitu: membuat lereng lebih datar atau mengurangi sudut kemiringan dari lereng tersebut, memperkecil ketinggian lereng, merubah lereng menjadi *multy slope*, menambah *counter weight* yaitu tanah timbunan pada kaki lereng.

2.1.3 Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng ditujukan untuk mendapatkan angka faktor keamanan dari suatu bentuk lereng tertentu. Dengan diketahuinya faktor keamanan memudahkan pekerjaan pembentukan atau perkuatan lereng yang mempunyai resiko longsor. Faktor keamanan dalam lereng yaitu dimana gaya penahan berbanding dengan gaya pendorong atau gaya penggerak yang dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \quad \dots (1)$$

Keterangan:

SF = faktor keamanan

τ = kekuatan geser rata – rata dari tanah [kN/m^2]

τ_d = tegangan geser rata – rata yang bekerja sepanjang bidang longsor [kN/m^2]

2.2 Geotekstil

Geotekstil pada dasarnya adalah kain tekstil yang *permeable* terhadap cairan dan gas yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (*non woven*), rajutan atau anyaman (*woven*). Sesuai namanya, geotekstil rajutan atau anyaman dibuat dengan metode tradisional. Dimana dua set elemen ortogonal dijalin menjadi satu. Sebaliknya untuk geotekstil nir-anyam yang dibuat dari elemen yang jauh lebih halus, biasanya melingkar di penampang yang diletakkan dijarin yang longgar dan terikat biasanya dengan panas atau keterikatan mekanik untuk menghasilkan kain yang koheren.

2.2.1 Karakteristik Geotekstil

Pada pemilihan geotekstil untuk aplikasi perkuatan akan dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal geotekstil terdiri dari kuat tarik dan elongasi, rangkan (*creep*), struktur geotekstil dan daya tahan terhadap faktor lingkungan. Sedangkan faktor eksternal yaitu interaksi material perkuatan dan timbunan.

Karakteristik kuat tarik dan elongasi diperlukan untuk menahan gaya tarik kelongsoran yang terjadi yang tidak dipikul oleh tanah. Material utama yang dapat digunakan sebagai perkuatan adalah yang memiliki kuat tarik yang tinggi. Setiap geotekstil memiliki karakteristik regangan dan tegangan yang berbeda-beda tergantung struktur, proses, dan polimer penyusunnya.

2.2.2 Geotekstil Untuk Perkuatan

Fungsi perkuatan pada geosintetik mampu menahan tegangan atau deformasi pada struktur tanah dan dapat digunakan dalam perkuatan timbunan di atas tanah dasar yang lunak maupun pada perkuatan lereng dan dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis.

2.2.3 Pemasangan Geotekstil

Pemasangan geotekstil terdapat empat tahap yang terdiri dari *subgrade*, penggelaran dan penyambungan, penyebaran dan penempatan agregat, serta pemadatan agregat.

2.3 Program Plaxis 2D

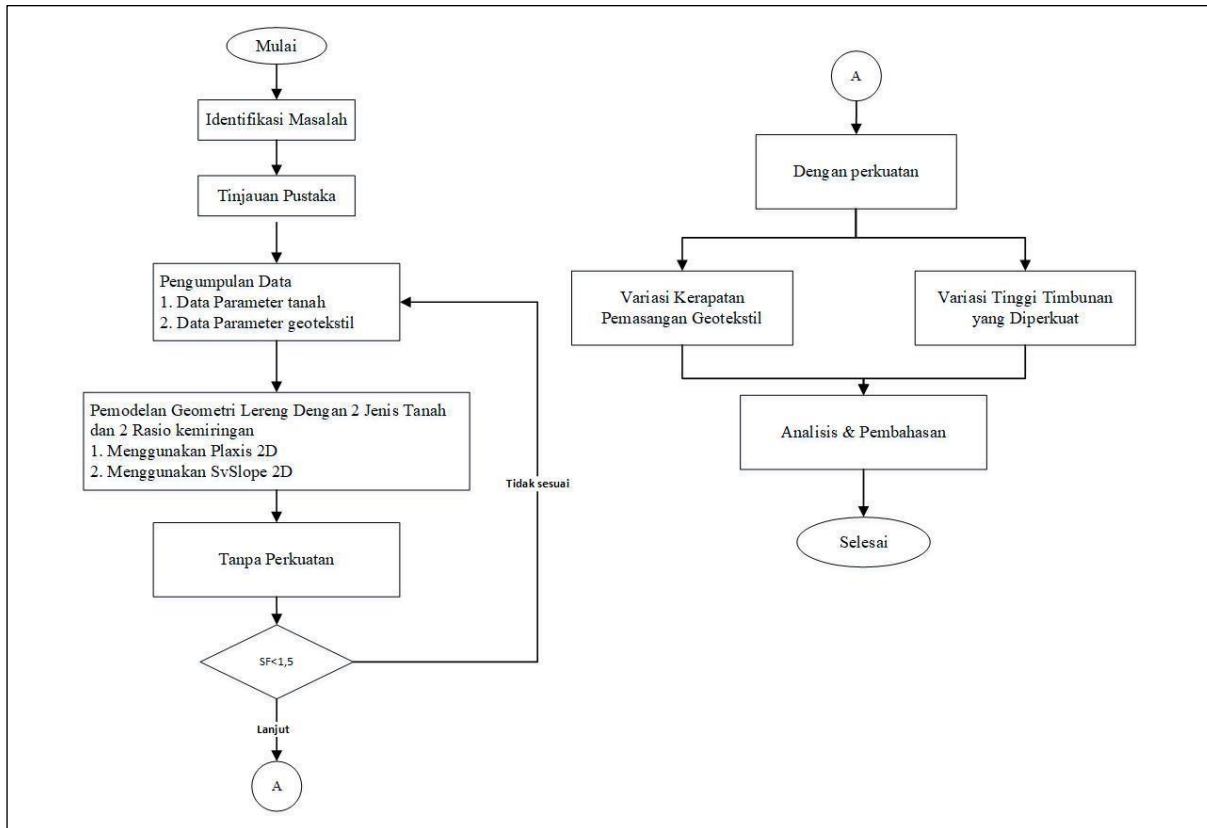
Plaxis merupakan program computer *finite element* yang digunakan untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk berbagai kasus pada geoteknik. Plaxis secara bertahap akan melakukan analisis dengan data yang diperlukan, seperti data tanah dan data geotekstil. Plaxis akan mengeluarkan beberapa *output* dari hasil analisis yang telah dilakukan, yaitu nilai faktor keamanan, gaya-gaya yang bekerja, dan bidang gelincir lereng.

2.4 Program Soilvision Svslope 2D

Soilvision dikenal sebagai pemimpin pasar dalam stabilitas lereng, rembesan tak jenuh, tegangan/deformasi, pembekuan/pencarian, dan perangkat lunak database properti tanah. Pada program Soilvision metode yang digunakan untuk pemodelan lereng yaitu Svslope 2D. Svslope adalah program analisis stabilitas lereng yang dikembangkan oleh Soilvision Sistem Ltd. Perangkat lunak ini dirancang untuk menganalisis lereng menggunakan "metode irisan" klasik serta metode berbasis tegangan yang lebih baru.

3. METODE PENELITIAN

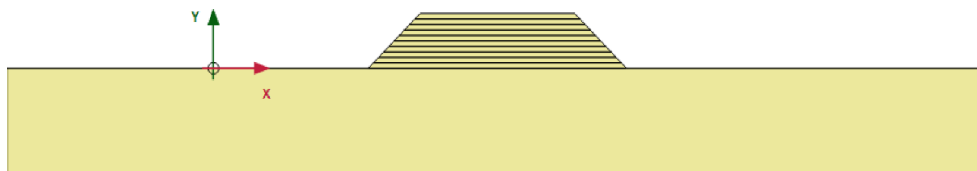
Analisis stabilitas lereng menggunakan perkuatan geotekstil diperlukan parameter yang digunakan dalam penelitian ini. Parameter yang digunakan mengacu pada SNI 840:2017 tentang kondisi tanah yang cocok. Garis besar langkah-langkah penelitian disajikan dalam **Gambar 1** berikut:



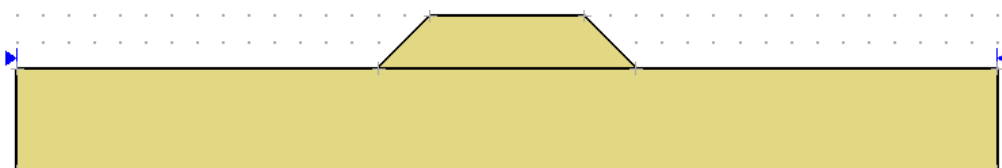
Gambar 1. Bagan alir penelitian

4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pemodelan lereng dilakukan dengan menggunakan perkuatan geotekstil dengan ketinggian lereng timbunan 10 m. Timbunan lereng dimodelkan dengan variasi jarak antar timbunan sekaligus pemasangan geotekstil, dengan jarak 0,25 m, 0,5m dan 1 m. Kemiringan geometri lereng di variasikan 1V:1H dan 1V:2H.



Gambar 2. Pemodelan geometri lereng plaxis 2D



Gambar 3. Pemodelan geometri lereng svslope 2D

4.1 Parameter Tanah dan Geotekstil

Nilai – nilai parameter tanah mengacu pada literature sebelumnya dan hasil dari asumsi percobaan di *software* Plaxis 2D dan Svslope 2D seperti yang terlihat dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Parameter Tanah

Mohr Coulomb Model							
Jenis Tanah	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ν [-]	c [kN/m ²]	ψ [°]	ϕ [°]
Lempung	16	18	10000	0,3	27	0	6
Pasir	17	18	20000	0,2	3	7	37

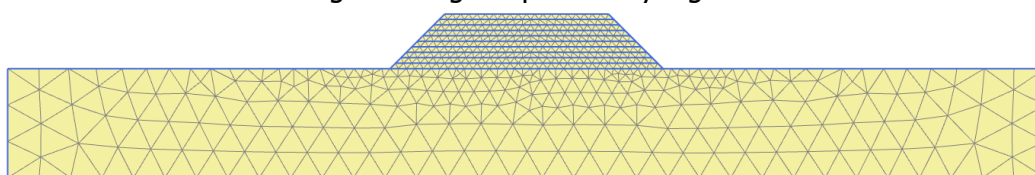
Data propertis yang digunakan dalam Tugas Akhir ini didapat dari brosur yang dikeluarkan dari *Ace Geosynthetics* dengan spesifikasi yang terlihat dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Data Parameter Tanah

Parameter/Jenis	Geotekstil GT100-I	Geotekstil GT400-I	Geotekstil GT600-I
Tipe Material	<i>Elastoplastic</i>	<i>Elastoplastic</i>	<i>Elastoplastic</i>
Kuat Tarik (kN/m)	100	400	600
Elongasi (%)	10	10	10
EA (kN/m)	1000	4000	6000
Np (kN/m)	231,5	925,9	1389

4.2 Penentuan Jenis Mesh

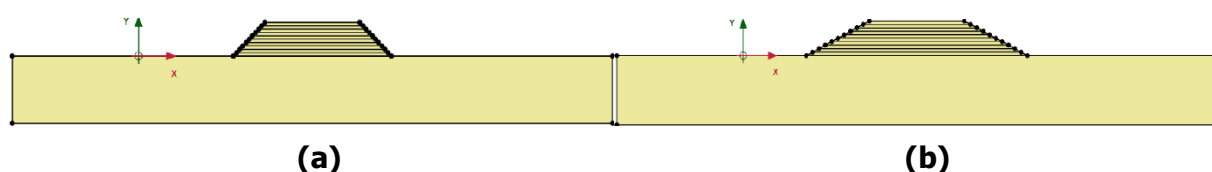
Pada pemodelan Tugas Akhir ini digunakan model mesh *very fine* karena semakin rapatnya jarak antar elemen, maka hasil yang dihasilkan akan lebih teliti dan proses dalam kalkulasinya akan relatif lebih lama dibandingkan dengan tipe mesh yang memiliki elemen lebih renggang.



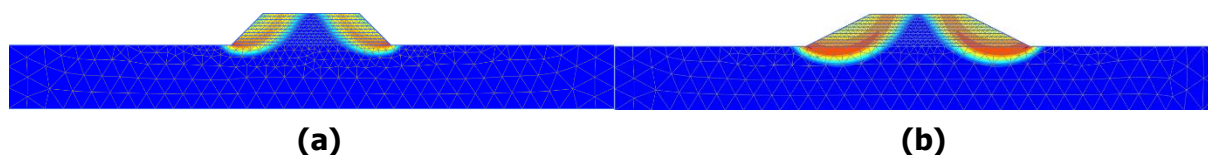
Gambar 4. Pemodelan mesh *very fine*

4.3 Analisis Pemodelan Lereng

Analisis pemodelan lereng timbunan menggunakan 2 metode yaitu, Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) dan Metode Kesetimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*). Lereng timbunan dimodelkan dengan 2 kondisi, yaitu tanpa perkuatan geotekstil dan dengan perkuatan geotekstil masing – masing kondisi memiliki kerapatan berbeda yaitu, 0,25m , 0,5 m dan 1 m. Pemodelan lereng timbunan tanpa perkuatan dengan menggunakan Plaxis 2D dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6** output pemodelan menggunakan Plaxis 2D.



Gambar 5. Struktur lereng: (a) 1:1 tanpa perkuatan menggunakan plaxis 2D dan (b) 1:2 tanpa perkuatan menggunakan plaxis 2D



Gambar 6. Output lereng: (a) 1:1 tanpa perkuatan menggunakan plaxis 2D dan (b) 1:2 tanpa perkuatan menggunakan plaxis 2D

Hasil SF dari pemodelan lereng timbunan tanpa perkuatan menggunakan Plaxis 2D memiliki nilai SF 1,072 untuk lereng 1:1 dan 1,159 untuk lereng 1:2 sedangkan pemodelan lereng dengan perkuatan menggunakan Plaxis 2D disajikan dalam bentuk **Tabel 4** sampai dengan **Tabel 7**.

Tabel 4. Hasil SF Menggunakan Plaxis 2D untuk Tanah Lempung 1:1

PLAXIS 2D						
JUMLAH GEOTEKSTIL	JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SAFETY FACTOR				TANPA PERKUATAN
		GT100-I	GT400-I	GT600-I		
-	-					1,072
10	0,25	1,462	1,455	1,454		-
10	0,5	1,629	1,639	1,635		-
10	1	1,642	1,632	1,639		-

Tabel 5. Hasil SF Menggunakan Plaxis 2D untuk Tanah Lempung 1:2

PLAXIS 2D						
JUMLAH GEOTEKSTIL	JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SAFETY FACTOR				TANPA PERKUATAN
		GT100- I	GT400- I	GT600- I		
-	-	-	-	-		1,238
10	0,25	1,833	1,841	1,843		-
10	0,5	1,859	1,872	1,873		-
10	1	1,817	1,866	1,866		-

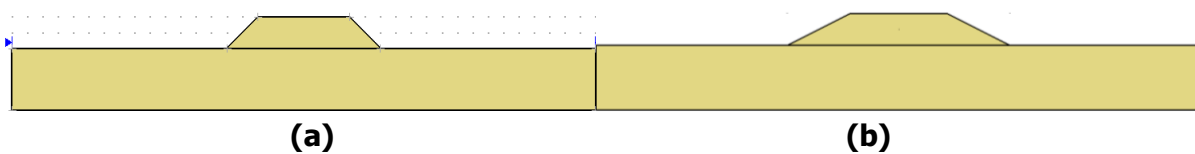
Tabel 6. Hasil SF Menggunakan Plaxis 2D untuk Tanah Pasir 1:1

PLAXIS 2D						
JUMLAH GEOTEKSTIL	JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SAFETY FACTOR				TANPA PERKUATAN
		GT100-I	GT400- I	GT600-I		
-	-	-	-	-		1,000
10	0,25	1,101	1,102	1,099		
10	0,5	1,200	1,198	1,200		
10	1	1,994	2,003	2,002		

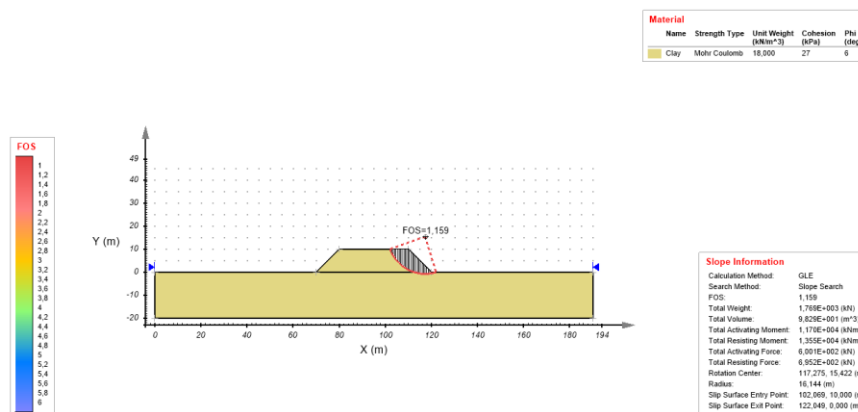
Tabel 7. Hasil SF Menggunakan Plaxis 2D untuk Tanah Pasir 1:2

PLAXIS 2D					
JUMLAH GEOTEKSTIL	JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SAFETY FACTOR			
		GT100-I	GT400-I	GT600-I	TANPA PERKUATAN
-	-	-	-	-	1,266
10	0,25	1,297	1,296	1,294	-
10	0,5	1,365	1,367	1,367	-
10	1	2,349	2,288	2,358	-

Pemodelan lereng timbunan tanpa perkuatan dengan menggunakan Svslope dapat dilihat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8** output pemodelan menggunakan Svslope 2D.



Gambar 7. Struktur lereng: (a) 1:1 tanpa perkuatan menggunakan svslope 2D dan (b) 1:2 tanpa perkuatan menggunakan svslope 2D



Gambar 8. Output pemodelan lereng menggunakan svslope 2D

Analisis pemodelan lereng menggunakan Program Svslope mengacu kepada Metode Kesetimbangan Batas. Hasil SF dari pemodelan lereng timbunan tanpa perkuatan menggunakan Svslope 2D memiliki nilai SF 1,159 untuk lereng 1:1 dan 1,390 untuk lereng 1:2 sedangkan pemodelan lereng dengan perkuatan menggunakan Svslope 2D disajikan dalam bentuk **Tabel 8** sampai dengan **Tabel 11**.

Tabel 8. Hasil SF Menggunakan Svslope untuk Tanah Lempung 1:1

SVSLOPE 2D					
JUMLAH GEOTEKSTIL	JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SAFETY FACTOR			
		GT100-I	GT400-I	GT600-1	TANPA PERKUATAN
-	-	-	-	-	1,159
10	0,25	1,715	1,749	1,749	-
10	0,5	1,675	2,274	2,337	-
10	1	1,606	2,093	2,368	-

Tabel 9. Hasil SF Menggunakan Svslope untuk Tanah Lempung 1:2

SVSLOPE 2D					
JUMLAH GEOTEKSTIL	JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SAFETY FACTOR			
		GT100-I	GT400-I	GT600-I	TANPA PERKUATAN
-	-	-	-	-	1,390
10	0,25	1,832	2,189	2,189	-
10	0,5	1,797	2,335	2,648	-
10	1	1,732	2,179	2,415	-

Tabel 10. Hasil SF Menggunakan Svslope untuk Tanah Pasir 1:1

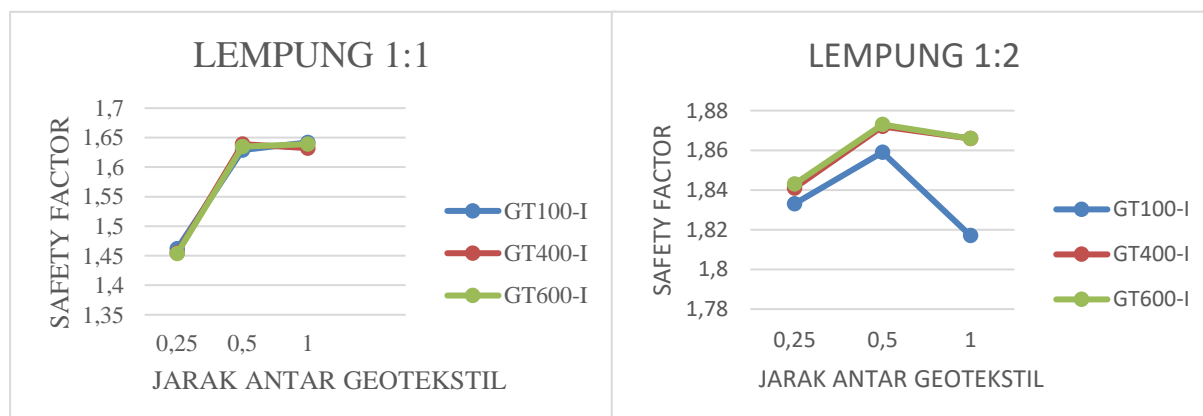
SVSLOPE 2D					
JUMLAH GEOTEKSTIL	JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SAFETY FACTOR			
		GT100-I	GT400-I	GT600-I	TANPA PERKUATAN
-	-	-	-	-	1,138
10	0,25	1,172	1,171	1,172	-
10	0,5	1,288	1,288	1,288	-
10	1	2,089	2,089	2,089	-

Tabel 11. Hasil SF Menggunakan Svslope untuk Tanah Pasir 1:2

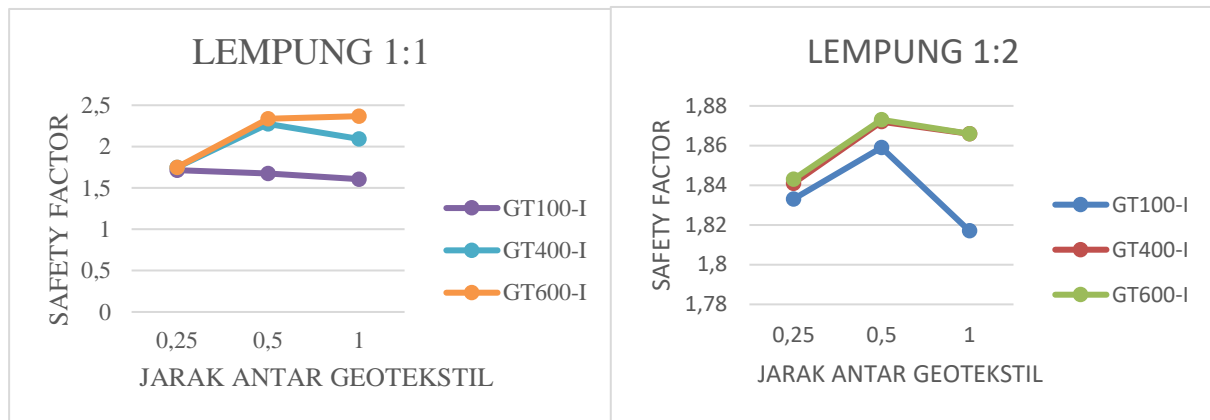
SVSLOPE 2D					
JUMLAH GEOTEKSTIL	JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SAFETY FACTOR			
		GT100-I	GT400-I	GT600-I	TANPA PERKUATAN
-	-	-	-	-	1,372
10	0,25	1,388	1,388	1,388	-
10	0,5	1,524	1,524	1,524	-
10	1	2,393	2,393	2,393	-

4.4 Perbandingan Hasil Analisis Pada Plaxis 2D dan Svslope 2D

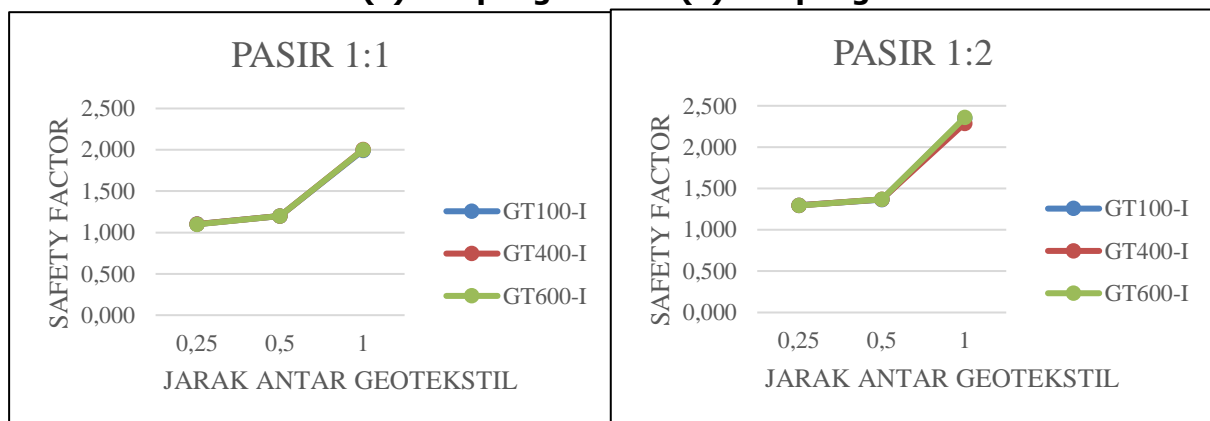
Hasil analisis disajikan dalam bentuk grafik untuk pemodelan lereng menggunakan tanah lempung dapat dilihat pada **Gambar 9** dan **Gambar 10** sedangkan untuk pemodelan lereng menggunakan pasir dapat dilihat pada **Gambar 11** dan **Gambar 12**.



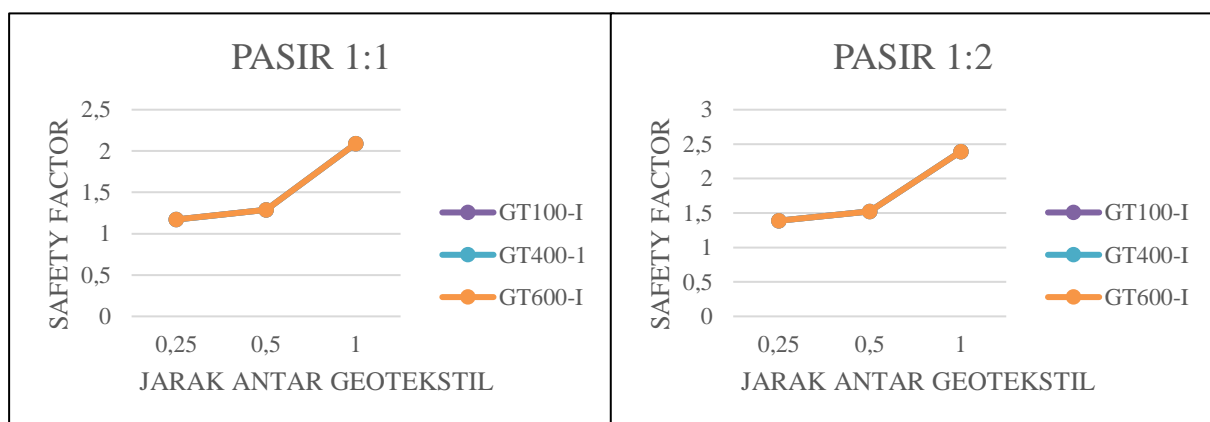
(a) **(b)**
Gambar 9. Grafik hubungan sf dan jarak antar geotekstil menggunakan plaxis 2D: (a) Lempung 1:1 dan (b) Lempung 1:2



(a) **(b)**
Gambar 10. Grafik hubungan sf dan jarak antar geotekstil menggunakan svslope 2D: (a) Lempung 1:1 dan (b) Lempung 1:2



(a) **(b)**
Gambar 11. Grafik hubungan sf dan jarak antar geotekstil menggunakan plaxis 2D: (a) Pasir 1:1 dan (b) Pasir 1:2



(a) **(b)**
Gambar 11. Grafik hubungan sf dan jarak antar geotekstil menggunakan svslope 2D: (a) Pasir 1:1 dan (b) Pasir 1:2

Hasil analisis FEM dan LEM untuk tanah lempung ditabulasikan dalam bentuk **Tabel 12** sampai dengan **Tabel 14**.

Tabel 12. Hasil SF Perbandingan FEM dan LEM Tanah Lempung 1:1

JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SF PLAXIS 2D	SF SVLOPE 2D	SELISIH	RASIO
0,25	1,454	1,749	0,295	20%
0,5	1,635	2,337	0,702	43%
1	1,639	2,368	0,729	44%

Tabel 13. Hasil SF Perbandingan FEM dan LEM Tanah Lempung 1:2

JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SF PLAXIS 2D	SF SVLOPE 2D	SELISIH	RASIO
0,25	1,843	2,189	0,346	19%
0,5	1,873	2,648	0,775	41%
1	1,866	2,415	0,549	29%

Tabel 14. Hasil SF Perbandingan FEM dan LEM Tanah Pasir 1:1

JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SF PLAXIS 2D	SF SVLOPE 2D	SELISIH	RASIO
0,25	1,099	1,172	0,073	7%
0,5	1,200	1,288	0,088	7%
1	2,002	2,089	0,087	4%

Tabel 15. Hasil SF Perbandingan FEM dan LEM Tanah Pasir 1:2

JARAK ANTAR GEOTEKSTIL	SF PLAXIS 2D	SF SVLOPE 2D	SELISIH	RASIO
0,25	1,294	1,388	0,094	7%
0,5	1,367	1,524	0,157	11%
1	2,358	2,393	0,035	1%

5. KESIMPULAN

1. Nilai *safety factor* yang dihasilkan dengan metode LEM lebih besar dibandingkan FEM. Hal ini disebabkan karena dalam FEM memperhitungkan tahap timbunan pada lereng, maka akan dihasilkan nilai yang optimal dari FEM. Dengan rasio kenaikan nilai SF 19% sampai 44%, sedangkan untuk tanah pasir 1% sampai dengan 11%.
2. Perbedaan input parameter Geotekstil dalam FEM dan LEM bisa menyebabkan nilai LEM yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena jika FEM memasukan nilai EA (kuat tarik/elongasi) dan Np (kuat tarik izin). Sedangkan FEM memasukan jarak antar geotekstil, lebar geotekstil, dan kuat tarik geotekstil.

3. Nilai *safety factor* pada kondisi tanah lempung menurun atau stabil ketika dipasang perkuatan dengan jarak antar geotekstil 0,5 meter dan 1,0 meter dengan nilai 1,635 dan 1,639.
4. Dengan kondisi jumlah lapisan geotekstil yang sama, jarak antar geotekstil 0,5 meter, sudah memenuhi syarat lebih atau mencapai 1,5.
5. Geotekstil tidak perlu dipasang sampai ketinggian timbunan maksimal, jika dibandingkan dengan jumlah lapisan yang sama.

6. SARAN

1. Memperhitungkan kondisi dengan pengaruh muka air tanah.

DAFTAR RUJUKAN

- Bowles, J. E. (1991). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Jakarta: Erlangga.
- Brinkgreve, R., Kumarswamy, S., & Swolfs, W. (2017). *Manual User Plaxis 2017*. Plaxis by.
- BSN. (2017). *SNI 8460:2017, Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Craig, R. F. (2004). *Craig's Soil Mechanics, Seventh Edition*. Spoon Press.
- Das, B. M. (2007). *Principle of Foundation Engineering, Sixth Edition*. Chris Carson.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering, Eighth Edition, SI*. Stamford: Cengage Learning.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Surabaya: Erlangga.
- Pradana, R., & Abdurozak, M. R. (2018). *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta)*.
- Prasetyo, I., Setiawan, B., & Dananjaya, R. H. (2017). *Analisis Stabilitas Lereng Bertingkat dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Elemen Hingga*.
- Syahwaner, Y., Yusa, M., & Satibi, S. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Tiang Menggunakan Metode Elemen Hingga (Studi Kasus Jalan Diponegoro KM. 2, Pasir Pengaraian)*.