

ANALISIS KESTABILAN TIMBUNAN DENGAN METODE *LIMIT EQUILIBRIUM* DAN PERBAIKANNYA

(Embankment Stability Analysis using Limit Equilibrium Method and The Improvement)

Rini Trisno Lestari¹

¹Program Studi Teknik Sipil Universitas Pancasila

E-mail: rini.trisnolestari@univpancasila.ac.id

Diterima 27 November 2022, Disetujui 29 November 2022

ABSTRAK

Konstruksi jalan di Indonesia banyak terjadi kerusakan, hal ini dikarenakan pembangunannya banyak dibangun di atas tanah lunak. Ketidakstabilan pada konstruksi bangunan merupakan kasus yang paling umum terjadi dalam dunia rekayasa, hal ini juga terjadi pada lereng dan timbunan konstruksi. Analisis kestabilan lereng diperlukan untuk menganalisis potensi kelongsoran yang mungkin terjadi, salah satunya yaitu dengan Metode Penyeimbang Batas. Metode ini merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk menganalisis kestabilan dari lereng/timbunan. Nilai *safety factor* di dalam perhitungan metode ini dilakukan untuk melihat potensi kelongsoran yang akan terjadi. Pada kasus ini analisis timbunan dihitung dan didapatkan nilai *safety factor* (SF) sebesar 0,76 kurang dari 1,5 dan *Resisting Momen* (MR) 350,30 kNm, sehingga perlu adanya perkuatan tambahan. Alternatif perkuatan yang digunakan adalah *geotextile* dengan hasil perhitungan didapatkan 2 lapisan pemasangan dengan nilai *Resisting Momen* (MR) dihasilkan sebesar 667,400 kNm dengan panjang pemasangan 18 m.

Kata kunci: *Penyeimbang Batas, Timbunan, Geotextile*

ABSTRACT

There are many damages to road construction in Indonesia, this is because most of the construction is built on soft soil. Instability in building construction is the most common case in the engineering world, this also occurs in slopes and construction embankments. Slope stability analysis is needed to analyze the potential for landslides that may occur, one of which is the method of balancing boundary. This is one of the methods commonly used to analyze the stability of slopes/embankments. The value of the safety factor in the calculation of this method is carried out to see the potential for a slide that will occur. In this case the embankment analysis was calculated and the safety factor (SF) value was 0.76 less than 1.5 and the Resistant Moment (MR) was 350.30 kNm, so additional reinforcement was needed. The reinforcement alternative used is geotextile with the calculation results obtained 2 layers of installation with the Resisting Moment (MR) resulting of 667,400 kNm with a mounting length of 18 m.

Keywords: *Limit Equilibrium, Embankment, Geotextile*

PENDAHULUAN

Tanah didefinisikan sebagai 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 padat) disertai dengan zat cari dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut [1].

Konstruksi jalan di Indonesia banyak terjadi kerusakan, hal ini dikarenakan pembangunannya banyak dibangun di atas tanah lunak. Tanah lunak memiliki gaya geser yang rendah, kompresibilitas yang tinggi, dan koefisien permeabilitas yang tinggi [2]. Permasalahan yang sering terjadi di lapangan adanya penurunan permukaan jalan sehingga mengakibatkan banyaknya kerusakan, hal ini membahayakan bagi pengguna jalan. sehingga diperlukan suatu metode untuk memberikan stabilitas pada konstruksi jalan tersebut salah satunya yaitu dengan adanya timbunan pada proses pembangunannya. Timbunan tanah yang digunakan dapat sebagai *leveling* dari jalan yang diinginkan sehingga didapatkan elevasi tanah yang sama dan rata, hal ini dilakukan untuk memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengguna jalan. Timbunan pada jalan juga sebagai salah satu metode perbaikan tanah.

Ketidakstabilan pada konstruksi bangunan merupakan kasus yang paling umum terjadi dalam dunia rekayasa, hal ini juga terjadi pada lereng dan timbunan konstruksi. Faktor curah hujan tinggi, lereng yang curam, struktur lapisan tanah yang kurang padat, penggundulan hutan, gempa bumi, erosi, penimbunan tanah yang berlebih di daerah lereng, sistem drainase lereng yang tidak baik, penyalahgunaan tata ruang, peningkatan muka air tanah serta pergantian dalam kegiatan geologi seperti patahan, rekahan serta limiasi [3]. Analisa lereng dilakukan untuk dapat menganalisis suatu rancangan bangunan yang aman pada suatu timbunan.

Metode Penyeimbang Batas merupakan metode yang umum dan sering digunakan dalam menganalisa stabilitas dari lereng, metode ini menggunakan konsep kesetimbangan batas. Metode Penyeimbang Batas dalam perhitungannya menggunakan nilai angka keamanan/ *Safety Factor (SF)* pada suatu lereng atau timbunan dengan memperhatikan bentuk dari bidang kelongsorannya.

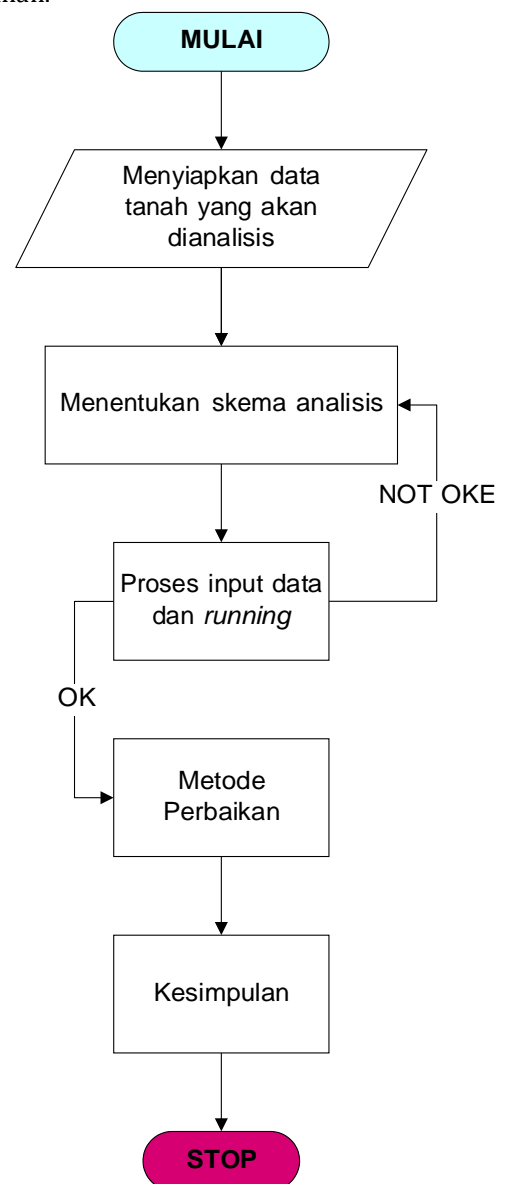
METODE

Kestabilan lereng dibedakan menjadi atas lereng alam (*natural slopes*) serta lereng buatan (*man made slope*) [3]. Lereng buatan bisa terbentuk dari pemotongan tebing (penggalian) maupun pembangunan suatu timbunan. Permukaan tanah yang tidak rata dengan kemiringan tertentu, hal ini memungkinkan gaya gravitasi menggerakkan massa tanah dari elevasi tinggi ke elevasi rendah hingga terjadi kelongsoran. Jenis talud/slope diantaranya yaitu *infinite slope* (talud menerus/talud tak terbatas) dan *finite slope* (talud dengan tinggi terbatas). Kelongsoran dan

keruntuhan pada lereng-lereng ini mungkin saja terjadi, sehingga perlu adanya analisis untuk mengkaji nilai stabilitas lereng sehingga dapat merencanakan lereng yang aman.

Analisis stabilitas lereng diperlukan untuk menganalisis potensi kelongsoran yang mungkin terjadi. Analisis ini diperlukan untuk melihat apakah suatu lereng akan longsor atau tidak, selain itu juga untuk merencanakan lereng atau timbunan yang stabil dan aman.

Proses dari analisis timbunan untuk perhitungan faktor keamanan dari *slope stability* timbunan digunakan dengan menggunakan Metode Penyeimbang Batas. Untuk proses pelaksanaan analisa ini dapat dilihat pada Gambar 1 mengenai bagan alir dari proses analisis timbunan.



Gambar 1. Bagan proses pelaksanaan analisis timbunan

Analisa Numerik

Metode Penyeimbangan Batas adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya. Metode analisis ini pertama-tama mengasumsikan bidang kelongsoran yang dapat terjadi [4].

Metode Penyeimbang Batas digunakan dalam menghitung nilai angka keamanan/ *safety factor* (SF) suatu lereng/timbunan yang akan dianalisis dengan memperhatikan bentuk bidang kelongsoran. Perhitungan dari nilai angka keamanan dalam metode ini didasarkan pada kesetimbangan momen dan gaya. Nilai angka keamanan dihitung dengan metode sayatan (*slice*) pada longsor dengan bidang gelincirnya. Faktor keamanan (FS) merupakan perbandingan gaya yang menahan dengan gaya yang menggerakkan [3].

$$SF = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Penggerak}} \dots\dots\dots (1)$$

Jika
 FS < 1, maka Lereng tidak stabil
 FS = 1, maka Lereng dalam keadaan kritis, artinya dengan sedikit gangguan atau tambahan momen penggerak maka lereng menjadi tidak stabil
 FS > 1,5, maka Lereng stabil

Alternatif Perkuatan dengan Geotextile

Geotextile digunakan sebagai material perkuatan untuk stabilitas pada timbunan, hal ini digunakan untuk mencegah kelongsoran pada timbunan. Perencanaan geotextile sebagai perkuatan tergantung pada besar

peningkatan momen perlawanan (ΔM_R) yang direncanakan. Perhitungan untuk mencari (ΔM_R) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta M = (MD \times F) - M$$

- Dimana:
 MR = Momen Resistance (Momen Penahan)
 ΔMR = Momen penahan tambahan yang harus dipikul oleh geotextile
 MD = Momen dorong (MR/SF)
 SF = Angka keamanan (didapatkan dengan bantuan program)

Variable $T_{allowable}$ ditentukan terlebih dahulu dimana $T_{allowable}$ adalah kekuatan tarik material geotextile yang diizinkan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$T_{Allowable} = T_{Ult} \left(\frac{1}{FSID \times FSCR \times FSCD \times FSBD} \right) \dots\dots (2)$$

- Keterangan :
 Tult = Kekuatan ultimate *geotextile*
 FSID = Faktor keamanan aibat kesalahan pemasangan
 FSCR = Faktor keamanan akibat rangkaiak
 FSCD = Faktor keamanan akibat pengaruh utama
 FSBD = FAKtor keamanan akibat pengaruh biologi

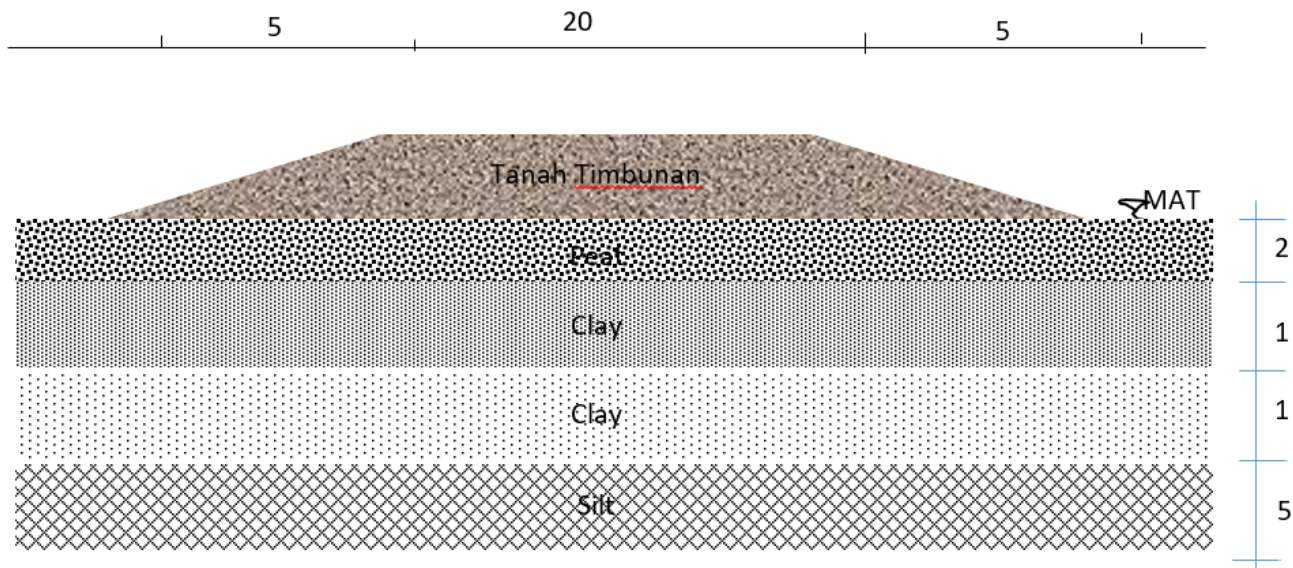
Tabel 1. Faktor Reduksi Kekuatan *Geotextile*

Penggunaan Geotextile	Faktor Pemasangan (FSID)	Faktor Rangkaiak (FSCR)	Faktor Kimia (FSCD)	Faktor Biologi (FSBD)
Separator	1,1 - 2,5	1,0 - 1,2	1,0 - 1,5	1,0 - 1,2
Cushioning	1,1 - 2,0	1,2 - 1,5	1,0 - 2,0	1,0 - 1,2
Unpaved Roads	1,1 - 2,0	1,5 - 2,5	1,0 - 1,5	1,0 - 1,2
Walls	1,1 - 2,0	2,0 - 4,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
Embankments	1,1 - 2,0	2,0 - 3,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
Bearing Capacity	1,1 - 2,0	2,0 - 4,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
Slope Stabilitation	1,1 - 1,5	1,5 - 2,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,3
Pavement overlays	1,1 - 1,5	1,0 - 1,2	1,0 - 1,5	1,0 - 1,1
Railroads	1,5 - 3,0	1,0 - 1,5	1,5 - 2,0	1,0 - 1,2
Flexible form	1,1 - 1,5	1,5 - 3,0	1,0 - 1,5	1,0 - 1,1
Silt fences	1,1 - 1,5	1,5 - 2,5	1,0 - 1,5	1,0 - 1,1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Timbunan tanah yang akan dianalisis merupakan

sketsa yang dibuat untuk dapat di analisis pada program. Adapun bentuk dan skema dari timbunan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Timbunan yang dianalisa

timbunan. Penggunaan data tanah yang digunakan dalam perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini:

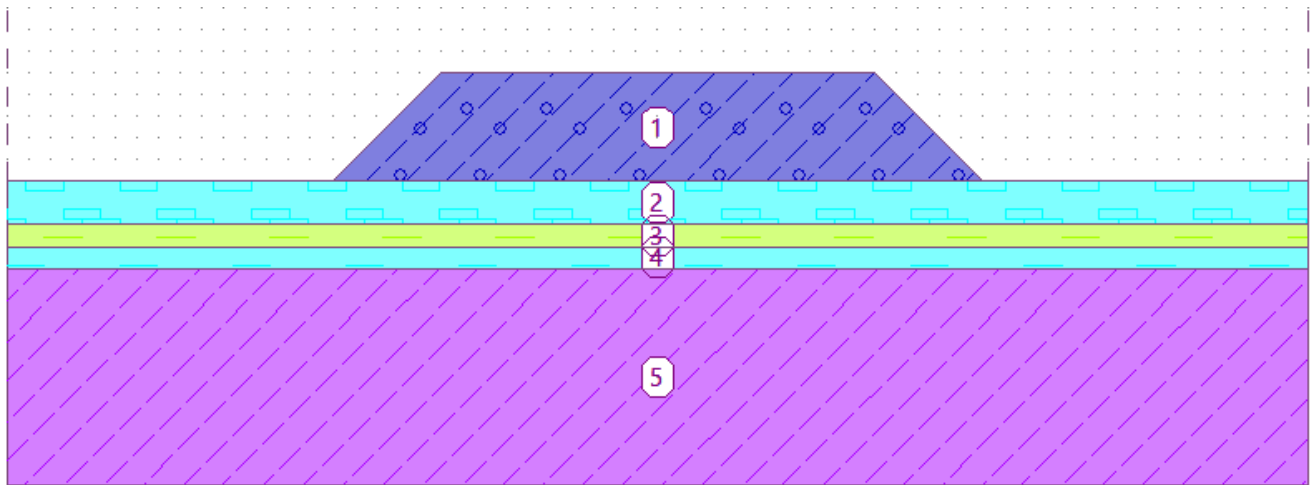
Data tanah yang digunakan merupakan data sekunder yang digunakan hanya sebagai proses analisis

Tabel 1. Data tanah yang digunakan untuk analisis

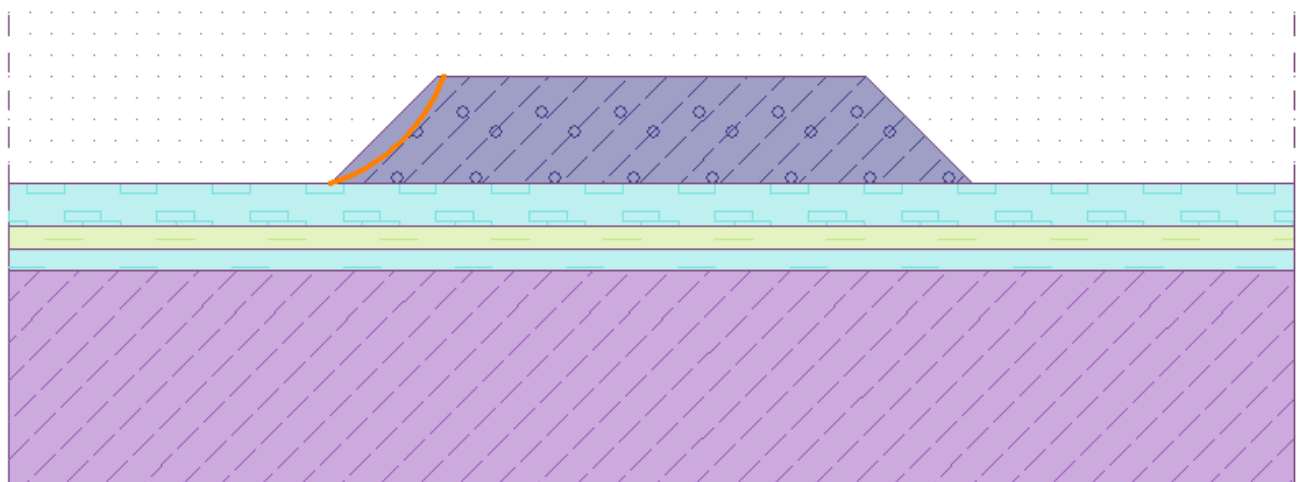
Parameter	Nama	Lapisan Tanah 1 (Peat)	Lapisan Tanah2 (Lempung)	Lapisan Tanah 3 (Lempung)	Lapisan Tanah 4 (Lanau)	Tanah Timbunan (Sand)	Unit
Dry soil weight	γ_{dry}	7	14	15	18	17	kN/m ³
Wet soil weight	γ_{wet}	10	17	17	18	18	kN/m ³
Horizontal Permeability	k_x	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	1.0	m/day
Vertical Permeability	k_y	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$	1.0	m/day
Young's Modulus	E_{ref}	350	1400	1500	3000	3000	kN/m ²
Poisson's ratio	ν	0,35	0,2	0,25	0,3	0,3	-
Cohesion	C	4	2	2	2	1	kN/m ²
Friction Angle	ϕ	19	22	22	24	29	°

Perhitungan untuk analisis stabilitas pada timbunan dilakukan dengan menggunakan Metode Penyeimbang Batas

Pada analisis ini digunakan timbunan dengan tinggi 4 m, digunakan data tanah sesuai dengan Tabel 1. Untuk geometri dari timbunan dan tanah dasar dari timbunan yang akan ditinjau dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan geometri timbunan dan tanah dasar



Gambar 4. Hasil running

Analisis dilakukan dengan menghasilkan nilai *slope stability verification* terhadap semua metode, yaitu:

Tabel 2. Nilai *Slope stability Verification*

No	Metode	Analysis Type	Nilai Safety Factor (SF)	Safety Factor (SF) Rencana	Hasil
1	Bishop	Standar	0,8	>1,5	Not Acceptable
2	Fellenius/Petterson	Standar	0,76	>1,5	Not Acceptable
3	Spencer	Standar	0,8	>1,5	Not Acceptable
4	Janbu	Standar	0,8	>1,5	Not Acceptable
5	Morgenstern-Price	Standar	0,8	>1,5	Not Acceptable

Analisis *slope stability* juga dilakukan kembali dengan menggunakan metode Fellenius/Petterson dengan tipe analisis secara *Optimization*, dihasilkan nilai *slope stability*

verification dengan nilai :

Tabel 3. Nilai *Slope stability Verification (Metode Fellenius/Petterson)*

No.	Keterangan	Name	Hasil	Satuan
1	Sum of active forces	Fa	55,63	kN/m
2	Sum of passive forces	Fp	42,10	kN/m
3	Sliding moment	Ma	462,87	kNm
4	Resisting moment	Mp	350,30	kNm
5	Factor of Safety		0,76	<1,5
Hasil		Slope stability NOT ACCEPTABLE		

Tabel 4. *Circular slip surface*

No.	Keterangan	Name	Hasil	Satuan
-----	------------	------	-------	--------

1	Center	X	12,57	m
2	Center	Z	7,96	m
3	Radius	R	8,32	m
4	Angles	α_1	17,01	°
5	Angles	α_2	69,16	°

Berdasarkan hasil dari *running* program dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil dari analisa *slope stability* dari tanah timbunan tersebut tidak aman karena didapatkan nilai *Safety Factor (SF)* kurang dari 1,5, sehingga perlu adanya perkuatan terhadap timbunan dengan menggunakan *geotextile*. Perkuatan yang dilakukan untuk meningkatkan nilai dari *slope stability* dari timbunan

tersebut yaitu digunakan perkuatan dengan *geotextile* untuk meningkatkan nilai SF.

Nilai *safety factor* berdasarkan hasil *running* adalah sebesar 0,79 dengan *Resisting Moment* sebesar 350,30 kNm, dimana nilai SF rencana adalah sebesar $\geq 1,5$. *Resisting Moment* rencana sebesar 694,31 kNm dengan selisih *Resisting Momen (ΔMR)* sebesar 344,01 kNm. Direncanakan menggunakan *geotextile* woven tipe TW150 dengan nilai T_{ult} nya yaitu sebesar 150 kN/m.

Penggunaan *geotextile* sebagai *slope stability* digunakan faktor terhadap pemasangan (FSid) sebesar 1,4; Faktor Rangkak (FScr) sebesar 1,75; Faktor kimia (FScd) sebesar 1,25 dan Faktor biologi (FSbd) sebesar 1,15, sehingga dihasilkan nilai $T_{allowable}$ sebesar 42,59 kN.

Tabel 4. Perhitungan *geotextile*

Lapis Geotextile ke	Spacing (m)	Si (kN)	Ti (m)	Si.Ti (kNm)	\sum Si.Ti (kNm)
1	-	42.59	7.96	339.0239574	339.0239574
2	0.25	42.59095	7.71	328.3762201	667.4001775

Tabel 4. Penggunaan panjang *geotextile*

Lapis Geotextile ke	τ_1 (kN/m ²)	τ_2 (kN/m ²)	Le (m)	Le pakai (m)	Le pakai (m)	Lo (m)	Lo pakai	Lr (m)	L total (m)	Total pakai
1	53.34	79.421	0.6	1.0	1.0	0.5	1	8	9.0	9.0
2	76.43	29.000	0.8	1.0	1.0	0.5	1	8	9.0	18.0

Berdasarkan hasil perhitungan analisis *geotextile* maka dihasilkan 2 lapisan *geotextile* dengan nilai *Resisting Momen (ΔMR)* sebesar 667,400 kNm, sehingga memenuhi *Resisting Momen* rencana. Perhitungan panjang pemasangan *geotextile* dilakukan sehingga dihasilkan panjang total pakai yaitu sebesar 18 m.

KESIMPULAN

Metode Penyeimbang Batas digunakan dalam menghitung nilai angka keamanan/ *safety factor (SF)* timbunan sehingga dihasilkan nilai SF sebesar 0,79 dengan *Resisting Moment* sebesar 350,30 kNm. Nilai *safety factor* kurang dari 1,5, sehingga diperlukan perkuatan untuk timbunan tersebut. Alternatif perkuatan yang digunakan adalah *geotextile* dimana dihasilkan 2 lapisan *geotextile* dengan total panjang pemakaian 18 m.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Das, Braja M., *Mekanika Tanah: (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga, Jakarta. 1995.
 [2] H. Umar and Y. H. Dianingsih, "MENGUNAKAN GEOSINTETIK JENIS Prefabricated Vertical Drain (PVD), Prefabricated Horizontal Drain (PHD),

dan GEOTEKSTIL (Studi Kasus : Tol Semarang – Demak)," pp. 119–129, 2022.
 [3] B. Lem, D. A. N. Metode, and E. Hingga, "PERBANDINGAN STABILITAS LERENG ANTARA METODE KESEIMBANGAN," vol. 1, no. 1, pp. 335–343, 2021.
 [4] D. J. G. Liong, Tjie Gouw; Herman, "ANALISA STABILITAS LERENG LIMIT EQUILIBRIUM vs FINITE ELEMENT METHOD - PDF Free Download.pdf." 2012.
 [5] M. F. Nugroho, "PERENCANAAN PERBAIKAN TANAH DASAR DAN PERKUATAN STABILITAS TIMBUNAN JALAN TOL TERBANGGI BESAR-PEMATANG PANGGANG STA 46+900 s.d STA 51+100," 2018.
 [6] R. M. Koerner, "Designing with Geosynthetics," 2005.