

ANALISIS STABILITAS LERENG PADA RUAS JALAN ABE-ARSO STA 3+700 DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL

Alfian Adie Chandra¹⁾ Sari Rindi²⁾,

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Cenderawasih
Jl. Kamp Wolker Kampus Baru, Waena, Jayapura, Papua, Tlp.
(0967) 574124 E-mail: alfiansipiluncen@gmail.com¹⁾

ABSTRAK

Ruas jalan Abe – Arso merupakan jalur penghubung antara Kota Jayapura dan Kabupaten Keerom dan merupakan jalur utama perekonomian sebelum adanya jembatan youtefa bagi warga Keerom. Longsor yang terjadi pada ruas jalan Abe-Arso STA 3+700 sangat mengganggu dan mengurangi aktifitas perekonomian dan dirasa perlu untuk dilakukan penelitian mengenai penyebab dan penanganan longsor, Salah satu alternatif penanganan longsor yaitu menggunakan geotekstil, karena geotekstil bersifat permanen dan dalam pengerjaan atau pemasangannya tidak membutuhkan waktu yang begitu lama. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh faktor penyebab longsor yang terjadi di lokasi penelitian dan untuk memperoleh angka keamanan lereng jika penanganan longsor menggunakan geotekstil.

Berdasarkan metode keseimbangan gaya dan elemen hingga di peroleh faktor dominan penyebab dari kelongsoran yang terjadi dilapangan adalah: beban gempa dengan angka keamanan sebesar 0,1116, beban dengan muka air tanah sebesar 0,91. Hasil analisis pada lereng asli dengan perkuatan geotekstil yang dilakukan dengan perhitungan manual diperoleh angka kemanan sebesar 6,4 dan menggunakan plaxis diperoleh angka kemanan sebesar 6,9, kedua nilai tersebut > 1,3, lereng dalam kondisi stabil jika menggunakan perkuatan dengan geotekstil.

Kata kunci: Stabilitas lereng, geotekstil, faktor keamanan, plaxis

1. PENDAHULUAN

Perkembangan transportasi di Indonesia yang semakin meningkat menyebabkan naiknya kebutuhan lahan untuk penggunaan jalan sebagai sarana transportasinya pun sedemikian rupa direncanakan sehingga harus melalui jalur tebing maupun lereng. Ruas jalan Abe – Arso merupakan jalur penghubung antara Kota Jayapura dan Kabupaten Keerom dan merupakan jalur utama perekonomian bagi warga Keerom untuk memasarkan hasil pertanian maupun hasil perkebunan ke Kota Jayapura. Longsor yang terjadi pada ruas jalan Abe-Arso STA 3+700 sangat mengganggu aktifitas perekonomian dan dirasa perlu untuk dilakukan penelitian mengenai penyebab dan penanganan longsor dengan menggunakan geotekstil.

Penanganan yang bersifat permanen dan waktu pengerjaan yang cepat perlu dilakukan agar dapat segera mengatasi permasalahan warga Kabupaten Keerom untuk memasarkan hasil

kebunnya. Pemasangan geotekstil di lokasi longsor dapat dijadikan salah satu alternatif penanganan longsor yang terjadi. Hal ini, dikarenakan selain dapat menjadi perkuatan bagi lereng, geotekstil dapat juga berfungsi sebagai filter terhadap aliran air yang melintas di bawah badan jalan.

Penggunaan geotekstil diharapkan sebagai pengganti fungsi dinding penahan tanah karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain: mudah dalam pelaksanaan, murah, dan dapat meningkatkan stabilitas lereng secara efektif. Selain lebih mudah dalam pelaksanaan pembangunannya. Penelitian ini diharapkan mampu menjadi solusi untuk permasalahan yang terjadi pada lereng, khususnya pada ruas jalan Abepura-Arso, yaitu di STA 3+700.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Longsor

Longsor adalah perpindahan atau pergerakan massa tanah/batuan, debris (campuran

tanah dan butiran batu), dan tanah kearah lereng bagian bawah atau dari kedudukan semula. Termasuk juga deformasi lambat atau jangka panjang dari suatu lereng yang biasa disebut rayapan (*creep*). Bowles (1989) menyatakan pada dasarnya kunci utama gerakan tanah adalah kuat geser tanah yang dapat terjadi:

1. Tidak ada drainase,
2. Efektif untuk beberapa kasus pembebanan,
3. Meningkatkan sejalan peningkatan konsolidasi (sejalan dengan waktu) atau dengan kedalaman,
4. Meningkatnya kejenuhan air (sejalan dengan waktu) atau terbentuknya tekanan pori yang berlebih atau terjadi peningkatan air tanah.

2.2 Klasifikasi Longsoran

Penetapan klasifikasi longsoran dimaksudkan untuk menyeragamkan istilah, memudahkan pengenalan tipe longsoran, membantu dalam menentukan penyebab longsoran dan pemilihan cara penanggulangannya. Klasifikasi longsoran ditetapkan berdasarkan:

1. Jenis material dan batuan dasarnya,
2. Jenis gerakan/mekanisme longsoran dengan diskripsi lengkap mengenai bentuk bidang longsor/gelincir.

Tabel 1. Klasifikasi longsoran

JENIS GERAKAN			JENIS MATERIAL			
			BATU	TANAH		
				BUTIR KASAR	BUTIR HALUS	
Runtuhan			Runtuhan batu	Runtuhan bahan rombakan	Runtuhan tanah	
Jungkiran			Jungkiran batu	Jungkiran bahan rombakan	Jungkiran tanah	
Gelinciran	Rotasi Translasi	Sedikit Banyak	Nendatan batu	Nendatan bahan rombakan	Nendatan tanah	
			Gelincir bongkahan batu	Gelincir bongkah bahan rombakan	Gelincir bongkah tanah	
			Gelincir batu	Gelincir bahan rombakan	Gelincir tanah	
Gerakan Lateral			Gerakan Lateral batu	Gerakan lateral bahan rombakan	Gerakan lateral tanah	
Aliran			Aliran batu	Aliran bahan rombakan	Aliran tanah	
Majemuk			(rayapan tanah) Gabungan dua atau lebih tipe gerakan			

2.3 Metode Peninjauan

1. Kriteria Pembebanan

Analisis stabilitas lereng harus mempertimbangkan beban hidup (*live load*), mati (*dead load*) dan gempa sesuai peruntukan lereng galian dan timbunan. Beban tambahan (*surchage load*) 10 kN/m² harus diterapkan untuk memperhitungkan beban yang bekerja pada permukaan atas lereng kecuali ada persyaratan lain

sesuai peruntukannya. Untuk analisis pseudo-statik dari lereng galian, maupun timbunan, beban gempa yang lebih spesifik disarankan sesuai dengan kondisi geologi dan area kegempaan serta kepentingan lereng. Beban lalu lintas ditambahkan pada seluruh lebar permukaan jalan sedangkan besarnya ditentukan berdasarkan kelas jalan berdasarkan tabel berikut.

Tabel 2. Beban lalu lintas

Kelas Jalan	Beban lalu lintas (KPa)	Beban di luar jalan (*) (KPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Sumber: SNI 8640 (2017)

Pengaruh beban gempa diperhitungkan jika lereng galian atau timbunan direncanakan dibangun di dekat area pemukiman atau dibangun dengan kriteria kepentingan strategis yaitu dengan kondisi tidak boleh mengalami keruntuhan atau terputusnya lajur transportasi seteahl terjadi gempa rencana. Beban gempa di analisis dengan cara koefisien gempa (*pseudostatic analyses*) dapat dilakukan dengan cara menghitung koefisien gempa dan gaya-gaya vibrasi yang bekerja dengan arah yang berubah-ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar.

2. Faktor Keamanan

Tingkat kestabilan lereng (faktor keamanan) terhadap longsoran menurut Bowles disebutkan bahwa lereng dikatakan:

1. Labil jika $FS < 1,07$,
2. Lereng kritis $1,07 < FS < 1,25$,
3. Lereng stabil $FS > 1,25$.

Secara umum faktor keamanan suatu lereng merupakan perbandingan nilai rata-rata kuat geser tanah/batuan disepanjang bidang keruntuhan kritisnya terhadap beban yang diterima lereng di sepanjang bidang keruntuhannya. Terkait dengan analisis kestabilan lereng perlu dimasukan faktor keamanan yang mengacu pada standar faktor keamanan minimum kemantapan lereng sesuai dengan SNI 8460 2017.

2.4 Parameter Tanah

Klasifikasi Tanah Berdasarkan Data Sondir. Dari pengujian alat sondir di lapangan, diperoleh tekanan conus (qc) dan hambatan pekat (fs) yang didapatkan dari hasil pengujian. Dapat diketahui klasifikasi tanah seperti tabel berikut.

Tabel 3. Klasifikasi tanah berdasarkan data sondir

Hasil Sondir		Klasifikasi
qc	fs	
6,0	0,15 – 0,4	Humus, lempung sangat lunak
6,0 – 10,0	0,20	Pasir kelanauan lepas, pasir sangat lepas
	0,20 – 0,60	Lempung lembek, lempung kelanauan lembek
10,0 – 30,0	0,10	Kerikil lepas
	0,10 – 0,40	Pasir lepas
	0,40 – 0,80	Lempung atau lempung kelanauan
	0,8 – 2,00	Lempung agak kenyal
30 – 60	1,50	Pasir kelanauan, pasir agak padat
	1,0 – 3,0	Lempung atau lempung kelanauan kenyal
60 – 150	1,0	Kerikil kepasiran lepas
	1,0 – 3,0	Pasir padat, pasir kelanauan atau lempung padat dan lempung kelanauan
	3,0	Lempung kekerikilan kenyal
150 -300	1,0 – 2,0	Pasir padat, pasir kekerikilan, pasir kasar, pasir kelanauan sangat padat

Dari nilai f_c , dapat dikorelasikan terhadap konsistensi tanah pada suatu lapisan tanah. Hubungan antara konsistensi terhadap tekanan $conus$ dan *undrained cohesion* adalah sebanding dimana semakin tinggi nilai c dan q_c maka semakin keras tanah tersebut.

2.5 Analisis Stabilitas Lereng

Tahapan analisis kestabilan lereng adalah evaluasi dan interpretasi parameter, penentuan stratifikasih lereng, penentuan bidang gelincir dan analisis. Salah satu metode yang digunakan untuk analisis terhadap kelongsoran lereng yaitu metode keseimbangan batas dengan asumsi bentuk bidang longsor berupa lingkaran.

1. Evaluasi interpretasi parameter

Tahapan ini menjelaskan evaluasi kondisi detail topografi, geologi, kekuatan geser, kondisi muka air dan beban-beban eksternal yang dibutuhkan untuk analisis stabilitas lereng.

2. Stratifikasi penampang lereng

Stratifikasi penampang lereng adalah suatu penampang yang menunjukkan urutan lapisan tanah atau batuan sepanjang yang dikehendaki dari muka tanah sampai batas kedalaman penyelidikan berdasarkan jenis, sifat fisik dan teknik lapisan tanah atau batuan. Penampang ini dihasilkan dari korelasi lapisan yang didapat dari beberapa penyelidikan berdasarkan jenis, sifat fisik dan teknik lapisan tanah atau batuan. Penampang ini dihasilkan dari korelasi lapisan yang didapat dari beberapa penyelidikan pemboran mesin atau pemboran tangan. Gambaran dan bentuk lapisan tanah hasil korelasi dari titik-titik pemboran, sangat ditentukan oleh kondisi geologi setempat, jarak titik penyelidikan, metode penyelidikan, cara dan

kecermatan pelaksanaan penyelidikan. Stratifikasi penampang lereng dibuat pada sepanjang as keruntuhan lereng atau penampang lain yang dikehendaki dengan menggunakan peta geoteknik, peta topografi dan profil bor.

3. Limit Equilibrium Method (LEM)

LEM adalah metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya. Metoda analisis ini pertama-tama mengasumsikan bidang kelongsoran yang dapat terjadi. Terdapat dua asumsi bidang kelongsoran yaitu: bidang kelongsoran berbentuk circular dan bidang kelongsoran yang diasumsikan berbentuk non-circular (bisa juga planar). Perhitungan dilakukan dengan membagi-bagi tanah yang berada dalam bidang longsor dalam irisan-irisan. karena itu metoda ini dikenal juga dengan nama metoda irisan (method of slice). Dalam LEM ini faktor keamanan, (Safety factor), pada prinsipnya dihitung dari perbandingan antara kuat geser tanah, dengan gaya dorong, , atau perbandingan antara momen tahan, RM , terhadap momen dorong, DM , sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan.

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau} \text{ atau } SF = \frac{RM}{DM}$$

Fellenius merupakan orang pertama yang mempublikasikan metoda irisan ini dan merupakan cara yang paling sederhana. Pada cara Fellenius semua gaya antar irisan diabaikan dan hanya memperhitungkan kesetimbangan momen.

Cara ini dapat digunakan pada lereng-lereng dengan kondisi isotropis, non isotropis dan berlapis-lapis. Massa tanah yang bergerak diandaikan terdiri dari atas beberapa elemen vertikal. Lebar elemen dapat diambil tidak sama dan sedemikian sehingga lengkung busur di dasar elemen dapat dianggap garis lurus. Berat total tanah/ batuan pada suatu elemen (W), termasuk beban luar yang bekerja pada permukaan lereng W_t , diuraikan dalam komponen tegak lurus dan tangensial pada dasar elemen. Dengan cara ini, pengaruh gaya T dan E yang bekerja disamping elemen diabaikan. Faktor keamanan adalah perbandingan momen penahan longsor dengan penyebab longsor. Pada gambar momen tahanan geser pada bidang longsor adalah.

$$M \text{ penahan} = R \cdot R$$

dimana:

$$R = \text{ gaya geser}$$

$$R = \text{ jari-jari bidang longsor}$$

Tahanan geser pada dasar tiap elemen adalah :

$$R = S \cdot b = b (c' + \sigma \tan \phi'); \quad \sigma = \frac{W_t \cos \alpha}{b}$$

Momen penahan yang ada sebesar:

$$M_{\text{penahan}} = r(c'b + W_t \cos \alpha \tan \phi')$$

Komponen tangensial W_t , bekerja sebagai penyebab longsoran yang menimbulkan momen penyebab sebesar:

$$M_{\text{penyebab}} = (W_t \sin \alpha) \cdot r$$

Faktor keamanan

lereng menjadi:

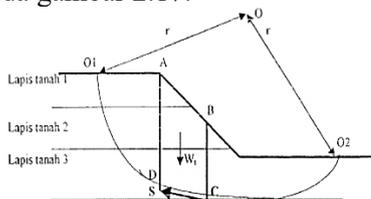
$$FK = \frac{\sum(c'b + W_t \cos \alpha \tan \phi')}{\sum W_t \sin \alpha}$$

Jika lereng terendam air atau jika muka air tanah diatas kaki lereng, maka tekanan air pori akan bekerja pada dasar elemen yang ada dibawah air tersebut. Dalam hal ini tahanan geser harus diperhitungkan yang efektif sedangkan gaya penyebabnya tetap diperhitungkan secara total, sehingga rumus menjadi:

$$FK = \frac{\sum[c'b + (W_t \cos \alpha - u b) \tan \phi']}{\sum W_t \sin \alpha}$$

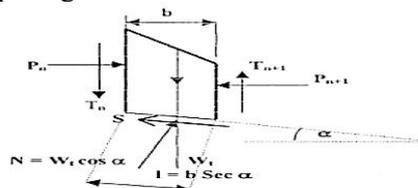
dimana: u = tegangan air pori didasar bidang longsoran.

Metode irisan dalam membagi bidang longsoran dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 1. Memilih irisan-irisan agar dasar busur hanya pada satu jenis tanah

Gaya-gaya yang bekerja pada irisan tunggal dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan tunggal (Direktorat Bina Teknik, Buku Petunjuk Teknis Perencanaan dan Penanganan Longsoran, Direktorat Jenderal Bina Marga (2019))

dimana:

W_t = berat tanah irisan

b = lebar irisan arah dasar bidang longsor

$P_n ; P_{n+1}$ = gaya horizontal yang bekerja pada sisi irisan

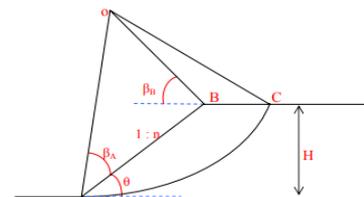
$T_n ; T_{n+1}$ = gaya tangensial pada sisi irisan

N = gaya normal yang tegak lurus pada bidang longsor

S = kekuatan geser yang bekerja sepanjang bidang longsor

α = kemiringan bidang longsor

Untuk memudahkan cara trial and error terhadap stabilitas lereng maka titik-titik pusat bidang longsor yang berupa busur lingkaran harus ditentukan dahulu melalui suatu pendekatan seperti Gambar pertama, Sedangkan untuk menentukan titik-titik $O_1, O_2, O_3 \dots$ On lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar kedua. Fellenius memberikan sudut-sudut petunjuk untuk menentukan lokasi titik pusat busur longsor kritis yang melalui tumit suatu lereng pada tanah kohesif (c-soil) seperti pada Tabel 2.19.



Gambar 3. Lokasi pusat busur longsor kritis pada tanah kohesif

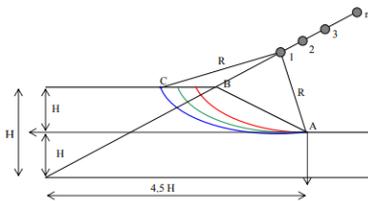
Tabel 4. Sudut-sudut petunjuk Menurut Fellenius

Lereng 1 : n	Sudut Lereng ($^{\circ}$)	Sudut-sudut petunjuk	
		Ba	βb
$\sqrt{3} : 1$	60°	$\sim 29^{\circ}$	$\sim 40^{\circ}$
1 : 1	45°	$\sim 28^{\circ}$	$\sim 38^{\circ}$
1 : 1,5	$33^{\circ} 41'$	$\sim 26^{\circ}$	$\sim 35^{\circ}$
1 : 2	$25^{\circ} 34'$	$\sim 25^{\circ}$	$\sim 35^{\circ}$
1 : 3	$18^{\circ} 26'$	$\sim 25^{\circ}$	$\sim 35^{\circ}$

Sumber: Direktorat Bina Teknik, Buku Petunjuk Teknis Perencanaan dan Penanganan Longsoran, Direktorat Jenderal Bina Marga (2019)

Pada tanah $\emptyset - c$ untuk menentukan letak titik pusat busur lingkaran sebagai bidang longsor yang melalui tumit lereng dilakukan secara coba-coba dimulai dengan bantuan sudut-sudut petunjuk Fellenius untuk tanah kohesif ($\emptyset = 0$). Grafik Fellenius menunjukkan bahwa dengan

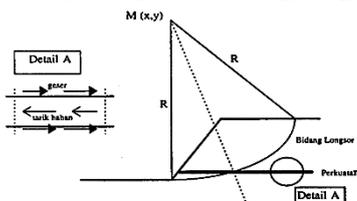
meningkatnya nilai sudut geser (θ) maka titik pusat longsor akan bergerak naik dari O_0 yang merupakan titik pusat busur longsor tanah c ($\theta=0$) sepanjang garis O_0-K yaitu $O_1, O_2, O_3, \dots, O_n$. Titik K merupakan koordinat pendekatan dimana $X = 4,5H$ dan $Y = 2H$, dan pada sepanjang garis O_0-K inilah diperkirakan terletak titik pusat bidang longsor. Dan dari busur longsor tersebut dianalisa masing-masing angka keamanannya untuk memperoleh nilai FK (*Safety Factor*) yang paling minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis, untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2.20.



Gambar 4. Posisi titik pusat busur longsor pada garis O_0-K (Direktorat Bina Teknik, Buku Petunjuk Teknis Perencanaan dan Penanganan Longsoran, Direktorat Jenderal Bina Marga)

2.6 Analisis stabilitas dengan perkuatan

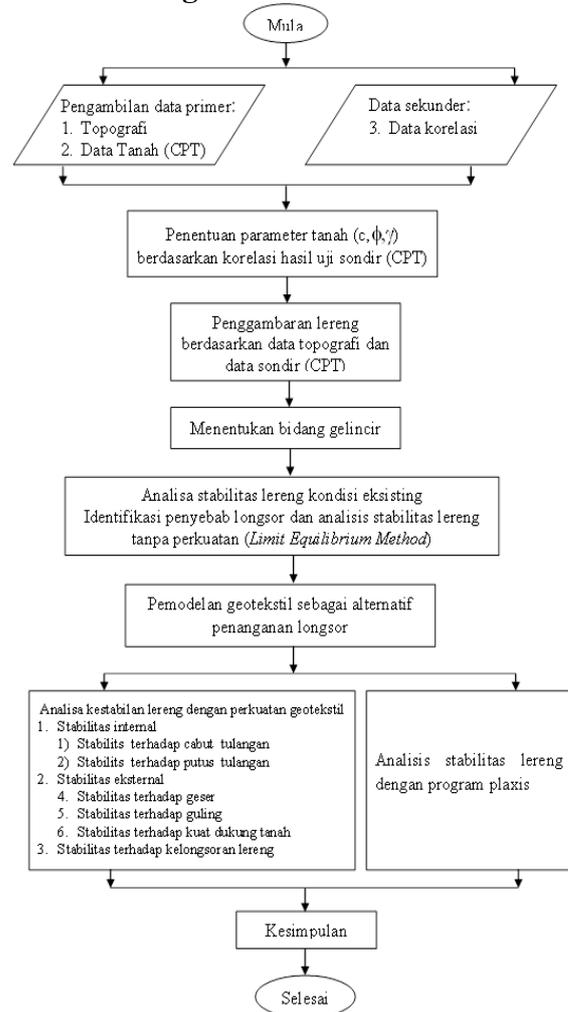
Pada konstruksi lereng dengan sistem perkuatan lereng, gaya yang meruntuhkan akan dilawan dengan kemampuan geser dan tarik dari bahan perkuatan tersebut (Suryolelono, 1993). Pada Gambar 2.21 tampak pengaruh bahan geotekstil dalam memberikan kontribusi perlawanan terhadap gaya yang melongsorkan cukup berperan, apabila bahan tersebut terpotong oleh bidang longsor.



Gambar 5. Perlawanan perkuatan tanah terhadap gaya-

gaya yang meruntuhkan (Suryolelono, 1993)

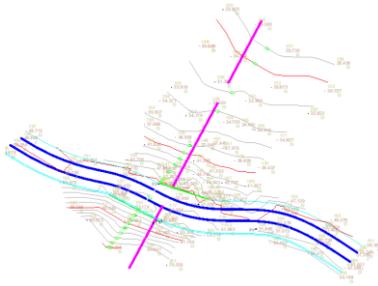
3. Metodologi Penelitian



4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Topografi

Survey topografi dilakukan dengan bantuan alat *total station* yang bertujuan untuk mengetahui gambaran bentuk permukaan tanah yang berupa situasi dan ketinggian serta posisi kenampakan secara rinci di daerah titik-titik longsor dan sekitarnya. Hal ini sangat diperlukan dalam proses analisis kestabilan lereng.



Gambar 6. Kontur topografi pada lokasi

4.2 Penampang melintang

Dari peta topografi dapat digambarkan potongan melintang pada daerah yang mengalami gerakan tanah.



Gambar 7. Potongan melintang peta topografi

4.3 Stratifikasi penampang lereng

Stratifikasi penampang lereng merupakan pengurutan lapisan tanah dari muka tanah sampai batas kedalaman penyelidikan berdasarkan jenis, sifat fisik dan teknik lapisan tanah. Penyelidikan yang dimaksud adalah berdasarkan dari hasil nilai tekanan konus (q_c) yang diperoleh dari pengujian sondir di lapangan. Nilai tekanan konus (q_c) dijadikan sebagai acuan dalam membuat stratifikasi penampang lereng. Dimana dengan nilai q_c yang sama, dapat diasumsikan bahwa jenis atau sifat tanah tersebut berada pada 1 lapisan tanah yang sama. Setelah melakukan penyelidikan, analisis data dan memperoleh beberapa jenis lapisan, selanjutnya dari lapisan-lapisan yang telah diperoleh akan diplotkan kedalam gambar yang menunjukkan bentuk lapisan-lapisan tersebut didalam tanah.

Tabel 5. Sifat fisik dan lapisan tanah berdasarkan hasil pengujian sondir I&II

Lapisan	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	q_c (kg/m ²)	N	γ_{sat} (kN/m ³)	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	E (kN/m ²)	μ
Tanah I	Lempung Kelatunan (Medium Stiff)	0 - 2,6	23,64	8	20	15,2	30,6	13,41	8825,94	0,30
Tanah II	Lempung Kelatunan (Stiff)	2,6 - 3,2	69	15	22	13,4	29,6	26,81	9806,6	0,30
Tanah III	Lempung Kelatunan (Very Stiff)	3,2 - 4,4	113	30	22	18	36	53,63	29419,8	0,30
Tanah IV	Lempung Kelatunan (Hard)	4,4 - 5,0	168	45	22	11,15	37,4	60,33	29419,8	0,30

4.4 Analisis kestabilan lereng

1. Perhitungan kesatabilan lereng asli

Perhitungan metode Fellenius tanpa beban lalu lintas dan tanpa muka air. Data-data yang

digunakan dalam analisis perhitungan pada Tabel 4.2, adalah sebagai berikut:

- Berat volume tanah (γ) = 15,2 kN/m³
- Kohesi (c) = 13,41 kN/m²
- Sudut gesek dalam (ϕ) = 30,6 °
- Panjang bidang longsor = 5,50 m
- Luas lapisan tanah irisan 1 = 2 m²
- Berat irisan

Luas lapisan tanah irisan 1 (lapisan 1) x berat isi tanah

$$= 2 \text{ m}^2 \times 15,2 \text{ kN/m}^3 = 30,45 \text{ kN/m}$$

- Panjang garis longsor (1) = 3,20 m

Tabel 6. Perhitungan bidang gelincir I tanpa beban dan tanpa muka air tanah

No irisan	Berat W_i (kN)	θ_i (°)	α_i (m)	$W_i \cos \theta_i$ (kN)	$W_i \sin \theta_i$ (kN)	$W_i \cos \theta_i - \alpha_i$ (kN)
1	30,45	65,00	3,20	12,87	27,59	9,67
2	54,42	47,00	1,45	37,11	39,80	35,66
3	66,88	33,00	1,18	56,09	36,43	54,91
4	74,48	23,00	1,10	68,56	29,10	67,46
5	78,28	11,00	1,01	76,84	14,94	75,83
6	24,78	3,00	0,51	24,74	1,30	24,23
Σ	-	-	-	276,21	149,15	267,76

Tahanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi.

$$c\alpha_i = 13,41 \times 5,50 = 73,7 \text{ kN}$$

Tahanan terhadap longsor oleh komponen gesekan.

$$(\Sigma W_i \cos \theta_i - \alpha_i) \times \text{tg } \phi = 267,76 - \text{tg } 30,6^\circ = 158,35 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor aman (F)} = \frac{\Sigma_{i=1}^n c\alpha_i + (W_i \cos \theta_i - \alpha_i) \text{tg } \phi}{\Sigma_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

$$= \frac{73,7 + 158,35}{149,15}$$

$$= 1,5 > 1,25 \text{ (Stabil)}$$

2. Pehitungan analisis kestabilan lereng dengan beban lalu lintas

Berdasarkan dengan SNI 8460:2017 (persyaratan perancangan geoteknik) beban lalu lintas diambil sebesar 12 KPa berdasarkan kelas jalan yaitu jalan kelas II.

Tabel 7. Jumlah nilai momen

No irisan	Berat W_i (kN)	θ_i (°)	α_i (m)	$W_i \cos \theta_i$ (kN)	$W_i \sin \theta_i$ (kN)	$W_i \cos \theta_i - \alpha_i$ (kN)
1	30,45	65,00	3,20	12,87	27,59	9,67
2	54,42	47,00	1,45	37,11	39,80	35,66
3	66,88	33,00	1,18	56,09	36,43	54,91
4	74,48	23,00	1,10	68,56	29,10	67,46
5	78,28	11,00	1,01	76,84	14,94	75,83
6	24,78	3,00	0,51	24,74	1,30	24,23
Σ	-	-	-	276,21	149,15	267,76

Untuk perhitungan faktor aman (F) jumlah

nilai momen dari berat massa tanah longsor (massa penggerak tanah, $W_i \sin \theta$) yang digunakan adalah nilai yang telah ditambahkan dengan beban lalu lintas.

$$W_i \sin \theta = 149,15 + 12 = 161,1 \text{ kN/m}^2$$

Tahanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi.

$$c\alpha_i = 13,4 \times 5,50 = 73,7 \text{ kN}$$

Tahanan terhadap longsor oleh komponen gesekan.

$$\sum W_i \cos \theta_i - \alpha_i \times \text{tg } \varphi = 267,76 - \text{tg } 30,6^\circ = 158,35 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor aman (F)} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c\alpha + (W_i \cos \theta_i - \alpha_i) \text{tg } \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} = \frac{73,73 + 158,35}{161,15} = 1,44 < 1,25 \quad (\text{Stabil})$$

3. Pehitungan analisis kestabilan lereng dengan beban lalu lintas

Dalam penelitian ini penulis tidak melakukan survey muka air tanah di lapangan sehingga dalam melakukan analisis perhitungan, muka air tanah berada pada 1 m dibawah badan jalan. Data-data yang digunakan dalam perhitungan yaitu sebagai berikut:

1. Berat jenis tanah (γ) = 15,2 kN/m³
2. Kohesi (c) = 13,4 kg/cm²
3. Sudut geser dalam (φ) = 30,6°
4. Panjang bidang longsor = 5,50
5. Luas lapisan tanah irisan 1 = 2
6. Berat irisan
Luas lapisan tanah irisan 1 (lapisan 1) x berat isi tanah = 2 m² x 13,6 kN/m³ = 27,2 kN/m
7. Panjang garis longsor = 3,20 m
8. Ordinat tekanan air pori = 1,1 m
9. Tekanan air pori = 1,1 x 9,81 = 11 kN
10. Gaya akibat tekanan air pori $U_i = 11 \times 3,2 = 34,5 \text{ kN}$

Tabel 8. Perhitungan bidang gelincir dan muka air tanah

No irisan	Berat W_i (kN)	θ_i (°)	α_i (m)	$W_i \cos \theta_i$ (kN)	$W_i \sin \theta_i$ (kN)	$U_i = u\alpha_i$ (kN)	$W_i \cos \theta_i - u\alpha_i$ (kN)
1	30,45	65,00	3,20	12,87	27,59	34,53	-21,66
2	54,42	47,00	1,45	37,11	39,80	34,14	2,97
3	66,88	33,00	1,18	56,09	36,43	35,62	20,47
4	74,48	23,00	1,10	68,56	29,10	33,56	35,00
5	78,28	11,00	1,01	76,84	14,94	26,55	50,29
6	24,78	3,00	0,51	24,74	1,30	10,91	13,84
Σ	-	-	-	276,21	149,15		100,90

Tahanan terhadap longsor yang dikerahkan oleh komponen kohesi.

$$c\alpha_i = 13,4 \times 5,50 = 73,73 \text{ kN}$$

Tahanan terhadap longsor oleh komponen gesekan.

$$\sum W_i \cos \theta_i - \alpha_i \times \text{tg } \varphi = 100,9 - \text{tg } 30,6^\circ = 59,7 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor aman (F)} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c\alpha + (W_i \cos \theta_i - \alpha_i) \text{tg } \varphi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} = \frac{73,73 + 59,67}{149,15} = 0,89 < 1,25 \quad (\text{Tidak stabil})$$

4. Pehitungan analisis kestabilan lereng dengan beban gempa

Analisis stabilitas lereng dengan beban gempa dilakukan dengan *pseudostatic analysis*. Cara ini dilakukan dengan menghitung koefisien gempa dan gaya-gaya vibrasi yang bekerja dengan arah yang berubah-ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar, Digunakan persamaan 2. Untuk perhitungan koefisien gempa seperti berikut:

$$K_h = \frac{ad}{g}$$

$$ad = Z \cdot ac \cdot v$$

Berikut data-data yang digunakan dalam analisis perhitungan yaitu:

1. Z = Koefisien zona (Jayapura, zona D) = 1,2
2. V = Untuk jenis tanah alluvium = 1,1
3. ac = Untuk periode ulang 100 tahun = 190
ad = 1,2 x 190 x 1,1 = 250,8
 $K_h = \frac{ad}{g} = \frac{250,8}{980} = 0,26$

Tabel 9. Analisis stabilitas lereng dengan beban gempa

No	I	s	H	Lms	a	W	$W \sin \alpha$	$W \cos \alpha$	k_h	R	L/R	Bsec α	sec α
1	3,2	1	0,00	2,00	65,00	30,45	27,59	12,87	0,26	5,35	0,37	2,37	2,37
2	1,45	1	2,9	3,58	47,00	54,42	39,80	37,11	0,26	5,35	0,67	1,47	1,47
3	1,2	1	4,05	4,40	33,00	66,88	36,43	56,09	0,26	5,35	0,82	1,19	1,19
4	1,1	1	4,68	4,90	23,00	74,48	29,10	68,56	0,26	5,35	0,92	1,09	1,09
5	1,01	1	5,06	5,15	11,00	78,28	14,94	76,84	0,26	5,35	0,96	1,02	1,02
6	0,51	0,5	5,22	1,63	3,00	24,78	1,30	24,74	0,26	5,35	0,50	1,00	1,00
Σ			5,5			182,00	329,28	149,15		276,21	1,54	4,05	8,13

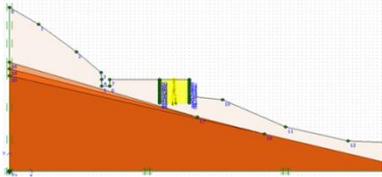
Dari hasil analisis diperoleh analisis stabilitas lereng dan beban gempa dengan koefisien gempa dasar sebesar 0,26 dapat dilihat pada Tabel 4.9 selanjutnya akan dihitung nilai faktor keamanan.

$$F_S = \frac{\sum_{n=1}^P (c B_n + \sec \alpha + W_n \cos \alpha_n \tan \theta)}{\sum_{n=1}^P [W_n \sin \alpha_n + k_h W_n (L_n/R)]} = \frac{(13,41 \times 5,5 + 8,13 + 276,21 \tan 30,6)}{(149,15 + 0,26 \times 329,28 (4,05))}$$

$$= 0,1116$$

$$SF_r = \frac{T_a}{\sigma_h S_v} = \frac{60}{4,33 \times 0,5} = 27,68 \geq 1,5 \quad (\text{Aman})$$

4.5 Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geotekstil



Gambar 8. Lereng dengan perkuatan geotekstil

1. Stabilitas Internal

Langkah-langkah perhitungan stabilitas internal yaitu:

- a. Menghitung koefisien gesek antara tanah dengan perkuatan.

$$\mu = \text{tg}(2\mu/3) = \text{tg}(2 \times 30,6^\circ / 3) = 0,37$$

- b. Panjang perkuatan yang berada di belakang garis longsor.

$$L_e = 2 \text{ m}$$

- c. Menghitung koefisien tekanan tanah lateral aktif.

$$K_a = \text{tg}^2(45^\circ - \phi/2) = \text{tg}^2(45^\circ - 30,6/2) = 0,57$$

- d. Menghitung tegangan vertikal.

$$\sigma_v = \gamma z = 15,2 \times 0,5 = 7,6 \text{ kN/m}^2$$

- e. Menghitung tegangan horizontal.

$$\sigma_h = K \gamma z = 0,57 \times 15,2 \times 0,5 = 4,33 \text{ kN/m}^2$$

- f. Faktor tahanan cabut.

$$F^* = 2/3 \tan \phi = 2/3 \tan 30,6 = 0,39$$

- g. Menghitung angka keamanan terhadap cabut tulangan.

$$SF_p = \frac{2\mu F \sigma_v L_e}{\sigma_h S_v} = \frac{2 \times 0,37 \times 0,39 \times 7,6 \times 2}{4,33 \times 0,5} = 2,06 \geq 1,5 \quad (\text{Aman})$$

- h. Panjang overlap atau panjang lipatan.

$$L_o = \frac{\sigma_h S_v (SF)}{2\mu F^* \gamma z} = \frac{4,33 \times 0,5 \times 2,06}{2 \times 0,37 \times 0,39 \times 0,5 \times 15,2} = 2 \quad \text{Ok}$$

- i. Menghitung angka keamanan terhadap putus tulangan.

Tabel 10. Rekapitulasi perhitungan stabilitas internal

No. Perkuatan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Kedalaman m	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
Le (m)	2,0	2,10	2,20	2,40	2,70	2,97	3,37	3,90	4,60	5,80	6,48	6,78	7,10
σ_v (kNm ²)	8	15	22,80	30,40	38,0	45,60	53,20	60,80	68,40	76,00	83,60	91,20	98,80
σ_h (kNm ²)	4	9	13	17	22	26	30	35	39	43	48	52	56
SFp	2,1	2,16	2,26	2,47	2,78	3,05	3,47	4,01	4,73	5,96	6,66	6,97	7,30
SFr	28	13,8	9,23	6,92	5,54	4,61	3,95	3,46	3,08	2,77	2,52	2,31	2,13
Lo	2	2,1	2,2	2,4	2,7	2,97	3,37	3,9	4,6	5,8	6,48	6,78	7,1

2. Stabilitas Eksternal

Langkah-langkah perhitungan stabilitas eksternal:

- a. Stabilitas terhadap faktor aman terhadap penggeseran.

- 1) Koefisien tekanan tanah aktif tanah.

$$K_a = \text{tg}^2(45^\circ - \phi/2) = \text{tg}^2(45^\circ - 30,6/2) = 0,57$$

- 2) Resultan gaya horizontal akibat tekanan tanah di belakang struktur.

$$P_s = 0,5 H^2 \gamma K_a = 0,5 \times 6,50^2 \times 115,2 \times 0,6 = 183 \text{ kN/m}$$

- 3) Gaya horizontal total akibat beban terbagi rata.

$$P_q = qHK_a = 12 \times 6,5 \times 0,57 = 44 \text{ kN/m}$$

- 4) Tekanan tanah aktif.

$$P_a = P_s + P_q = 183 + 44 = 228 \text{ kN/m}$$

- 5) Faktor aman terhadap penggeseran.

$$SF = \frac{LH\gamma\text{tg}\delta_b}{0,5H^2\gamma K_a + qK_a} = \frac{7,1 \times 6,5 \times 15,2 \times \text{tg} 30,6}{0,5 \times 6,5^2 \times 115,2 \times 0,57 + 12 \times 0,57} = \frac{414,9}{189,99} = 2,2 \geq 1,5$$

OK

- b. Stabilitas faktor aman terhadap penggulingan.

- 1) Momen penahan (M_R).

$$\sum M_R = 0,5 \gamma H L^2 = 0,5 \times 15,2 \times 6,5 \times 7,1^2 = 2490$$

- 2) Momen penggerak (M_D).

$$\sum M_D = 0,5 P_q H + (1/3) P_s H = 0,5 \times 44 \times 6,5 + (1/3) \times 183 \times 6,5 = 541,4$$

$$3) SF = \frac{\sum M_R}{\sum M_D} = \frac{2490}{541,4}$$

$$= 4,60 \geq 1,5 \quad \text{OK}$$

c. Stabilitas terhadap kuat dukung tanah. Langkah-langkah perhitungan stabilitas dukung tanah:

- 1) Menentukan nilai-nilai faktor kapasitas dukung tanah.
 $\phi = 31^\circ$
 Menurut Terzaghi (1943), diperoleh:
 $N_c = 40,41$
 $N_q = 25,28$
 $N_\gamma = 22,65$

- 2) Menghitung tegangan *ultimate*.

$$\Sigma_{ult} = c \cdot N_c + q \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$= 13,4 \times 40,4 + 12 \times 25,28 + 0,5 \times 15,2 \times 5,23 \times 22,65$$

$$= 1745,40 \text{ kN/m}$$

- 3) Menghitung tegangan terjadi akibat konstruksi di atas tanah.

$$\Sigma_{tjd} = \gamma \cdot H$$

$$= 15,2 \times 6,50$$

$$= 98,8 \text{ kN/m}$$

- 4) Menghitung angka keamanan terhadap kuat dukung tanah.

$$SF = \frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{tjd}} = \frac{1745,40}{98,8} = 17,67 \geq 2 \quad \text{OK}$$

3. Stabilitas terhadap kelongsoran lereng
 Angka keamanan lereng dengan perkuatan diperoleh dengan menambahkan hasil analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dengan tahanan momen oleh perkuatan.

Data yang diperlukan untuk analisis stabilitas terhadap kelongsoran pada lereng dengan perkuatan yaitu:

1. Angka keamanan lereng tanpa perkuatan dari perhitungannya sebelumnya (SF_u) sebesar = 1,56
2. Jari-jari lingkaran longsor (R) = 5,35 m
3. Kuat tarik geotekstil (T_a) = 60,0 kN/m
4. Jarak perkuatan ke pusat lingkaran longsor (y) = $R \cos \theta = 2,76 \text{ m}$
5. Kedalaman yang ditinjau (z) = 0,5 m

Tabel 11. Perhitungan tahanan momen dengan perkuatan geotekstil

No	T_i (kN)	y_i m	$T_i \cdot y_i$ (kN/m)
1	60	2,76	165,33
2	60	3,26	195,33
3	60	3,76	225,33
4	60	4,26	255,33
5	60	4,76	285,33
6	60	5,26	315,33
7	60	5,76	345,33
8	60	6,26	375,33
9	60	6,76	405,33
10	60	7,26	435,33
11	60	7,76	465,33
12	60	8,26	495,33
13	60	8,76	525,33
Σ	-	-	3468,60

Setelah melakukan analisis perhitungan, maka diperoleh momen menahan yaitu jumlah gaya tarik per meter lebar geotekstil dan lengan momen gaya tarik geotekstil, selanjutnya akan dilakukan analisis untuk angka keamanan dengan perkuatan geotekstil sebagai berikut.

$$SF = SF_u + \frac{\Sigma_{i=1}^{i=n} T_i \cdot y_i}{\Sigma_{i=1}^{i=n} (W_i \sin \theta_i) R}$$

$$= 1,56 + \frac{3468,60}{133,45 \times 5,4}$$

$$= 6,41 \geq 1,3 \quad \text{Stabil}$$

Berdasarkan hasil analisis kestabilan pada lereng, dapat dibuat rekapan nilai faktor keamanan pada masing-masing analisis. Analisis manual metode fellenius (*limit equilibrium method*) Dapat dilihat pada Tabel 4.13 Berikut.

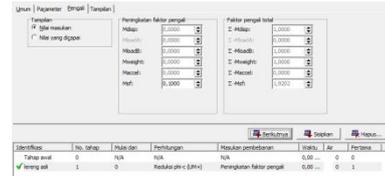
Tabel 12. Rekap nilai faktor keamanan

Analisis stabilitas	Faktor keamanan
Kondisi lereng asli	1,56
Lereng dan beban lalu lintas	1,44
Lereng dan muka air tanah	0,89
Lereng, beban lalu lintas dan muka air tanah	0,83
Lereng dan beban gempa	0,1116
Lereng, beban gempa dan beban lalu lintas	0,1110

Berdasarkan hasil analisis kestabilan pada lereng, dapat dibuat rekapan nilai faktor keamanan Analisis dengan metode elemen hingga (*limit equilibrium method*).

Tabel 13. Analisis Stabilitas dan Faktor keamanan

Analisis stabilitas	Faktor keamanan
Kondisi lereng asli	1,92
Lereng dan beban lalu lintas	0,99
Lereng dan muka air tanah	0,91
Lereng, beban lalu lintas dan muka air tanah	0,995



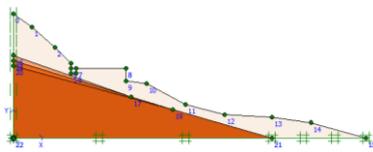
Gambar 12. SF lereng asli

4.6 Analisis dengan program plaxis

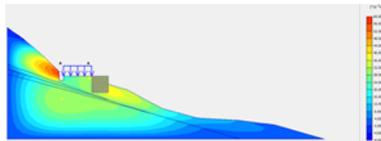
Salah satu alasan kenapa pada penulisan ini menggunakan *program plaxis* adalah karena *plaxis* dapat menganalisa stabilitas tanah dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya.

1) Kondisi lereng asli

Pada tahap tanah asli beban yang bekerja adalah berat dari massa tanah itu sendiri. Kondisi lereng asli dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut.



Gambar 9. Kondisi lereng asli



Gambar 10. Deformasi arah horizontal

Beban yang bekerja tersebut terjadi deformasi/pergerakan tanah arah horizontal sebesar 0,0036 m.



Gambar 11. Deformasi arah vertikal

Beban yang bekerja tersebut terjadi deformasi/pergerakan tanah arah vertikal sebesar -0,125 m.

Safety factor akibat dari beban yang terjadi adalah sebesar 1,56 Lebih besar dari *SF* minimum yaitu sebesar 1,25 sehingga lereng tersebut aman.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari 2 metode analisa yang digunakan yaitu metode keseimbangan gaya dan metode elemen hingga, diperoleh kesimpulan:

1. Faktor dominan penyebab kelongsoran yang terjadi di lokasi penelitian adalah berdasarkan faktor:
 - a. Beban gempa karena angka keamanan terkecil yaitu sebesar 0,111 karena nilai tersebut telah melampaui batas kemampuan yang dimiliki lereng.
 - b. Muka air tanah karena muka air tanah memiliki angka keamanan kedua setelah beban gempa dengan angka keamanan sebesar 0,89.
2. Hasil analisis pada lereng asli dengan perkuatan geotekstil yang dilakukan dengan perhitungan manual diperoleh *safety factor* sebesar 6,4 dan menggunakan *plaxis* diperoleh *safety factor* sebesar 6,9. Kedua nilai tersebut > 1,3, maka lereng dianggap aman jika menggunakan perkuatan dengan geotekstil.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka perlu adanya penelitian lanjut. Adapun saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

- 1) Pemodelan lereng dan analisis dapat dilakukan menggunakan software-software lainnya,
- 2) Membandingkan perkuatan-perkuatan lain dan perhitungan rancangan anggaran biaya perkuatan,
- 3) Melakukan penelitian dan menambah variasi muka air tanah yang sebenarnya pada lereng.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 2009, *Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*.
- [2] Bowles, J. E., 1984, *Physical and Geotechnical Properties Of Soil*, McGraw-Hill Book Company, USA.

- [3] Bowles, J. E., 1989, *Sifat-sifat Fisik dan Geoteknis Tanah*. Ahli bahasa Ir Johan Kelanaputra Hainim, Erlangga, 562 halaman, Jakarta.
- [4] Das, B.M., 199, *Principles of Geotechnical Engineering*, International Thomson Publishing, 3rd Ed.
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat., 2019, *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- [6] Look B.G., 2007, *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*, e-Library, Francis.
- [7] Chasanah, U., 2012, *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope*, No.8, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- [8] Departemen Pekerjaan Umum., 2007, *Pedoman Penataan Ruang Kawasan Rawan Bencana Longsor Peraturan Menteri Pekerjaan Umum*, No.22/PRT/M/2007, Direktorat Jenderal Penataan Ruang, Jakarta.
- [9] Hardiyatmo, H.C, 2007, *Mekanika Tanah I*, Edisi kelima, Gajah Mada, Jogjakarta.
<http://www.galeripustaka.com/2013/04/geosintetik-untuk-perkuatan-timbunan.html>.
<http://tokogeotextile.com/geotextile-pengertian> dan kegunaan.
- [10] Pd T-14-2004-A, *Pedoman Konstruksi dan Bangunan*.
- [11] Rekzyanti, R., 2016, *Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- [12] Suryolelono, K.B., 1993, *Teknik Fondasi I, Fondasi Telapak dan Dinding Penahan Tanah*, Percetakan Nafiri, Yogyakarta.
- [13] SNI 8460, 2017, *Persyaratan Perancangan Geoteknik*.
- [14] Zakaria, Z., 2009, *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*, Laboratorium Geologi Teknik, Program Studi Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran.