

Alternatif Perencanaan Perbaikan Kelongsoran Lereng pada TPA Melonguane, Kabupaten Kepulauan Talaud

Dini Nabila Martiani, Musta'in Arif, dan Herman Wahyudi
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: mustainarif@ce.its.ac.id

Abstrak—TPA Melonguane merupakan satu-satunya TPA yang beroperasi di Kabupaten Kepulauan Talaud, tepatnya terletak di Pulau Karakelang. Lokasi dari TPA tersebut di daerah perbukitan dengan kontur bervariasi antara +70,00 hingga +86,00 yang dikelilingi lahan terbuka. Pada awal tahun 2019, TPA Melonguane mengalami kerusakan karena adanya bencana alam berupa tanah longsor. Kelongsoran terjadi di jalan tanah yang difungsikan sebagai jalan menuju IPL. Lalu, pada bulan Agustus 2019 terjadi longsor susulan di lereng dekat bangunan *workshop* IPLT. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi penyebab kelongsoran dan alternatif perbaikannya agar kelongsoran tidak terjadi lagi. Pada perencanaan ini, analisa stabilitas lereng *existing* dilakukan dengan 2 pendekatan, yaitu lereng dengan tinggi terbatas (*finite slope*) dan lereng menerus (*infinite slope*). Sulawesi merupakan daerah rawan gempa karena merupakan lokasi pertemuan tiga lempeng tektonik. Maka dari itu, dari 2 pendekatan tersebut, analisa stabilitas lereng dilakukan dengan 2 kondisi, yaitu tanpa gempa dan dengan gempa. Dalam Tugas Akhir ini, ada beberapa alternatif perbaikan lereng yang ditawarkan antara lain ialah penguatan dengan turap, *geotextile+subdrain*, dan *gabion+geotextile*.

Kata Kunci—Gabion, Geotextile, Longsor, Subdrain, Turap.

I. PENDAHULUAN

KABUPATEN Kepulauan Talaud merupakan salah satu Kabupaten yang ada di Provinsi Sulawesi Utara dengan ibu kota Melonguane. Wilayah ini merupakan kawasan paling utara di Indonesia Timur, berbatasan dengan Filipina. Kepulauan Talaud terdiri dari 3 pulau utama, yaitu Pulau Karakelang, Pulau Salibabu, dan Pulau Kabaruan serta ada pulau-pulau kecil lainnya.

Dalam hal pengelolaan sampah, Kabupaten Kepulauan Talaud hanya memiliki satu fasilitas Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yaitu TPA Melonguane yang terletak di Pulau Karakelang. Lokasi dari TPA tersebut di daerah perbukitan dengan kontur bervariasi antara +70,00 hingga +86,00 yang dikelilingi lahan terbuka. TPA mulai beroperasi pada tahun 2017 dan menggunakan sistem pembuangan *controlled landfill*. Jenis tanah dasar di TPA Melonguane didominasi oleh *clay* (lempung) dan mengandung plastik dengan nilai N-SPT antara 4-50 dan tanah keras terletak pada kedalaman rata-rata 11,5 m. Karena TPA terletak di perbukitan, maka *landfill* dan Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) berada di pinggir lereng. Selain itu, terdapat jalan tanah pada sisi lereng yang difungsikan sebagai jalan menuju kolam IPL.

Pada awal tahun 2019, TPA Melonguane mengalami kerusakan karena adanya bencana alam berupa tanah longsor. Kelongsoran terjadi di jalan tanah yang difungsikan sebagai jalan menuju IPL (Gambar 1) sehingga jalan tersebut saat ini membentuk tebing di sisi sampingnya. Lalu, pada bulan



Gambar 1. Kelongsoran di jalan tanah menuju kolam IPL.

Agustus 2019 terjadi longsor susulan di lereng dekat bangunan *workshop* IPLT. Kerusakan semakin bertambah sampai pada pipa lindi dari *landfill* ke kolam IPL terputus sehingga mengganggu pengoperasian TPA karena lindi tidak terolah di IPL (Gambar 1).

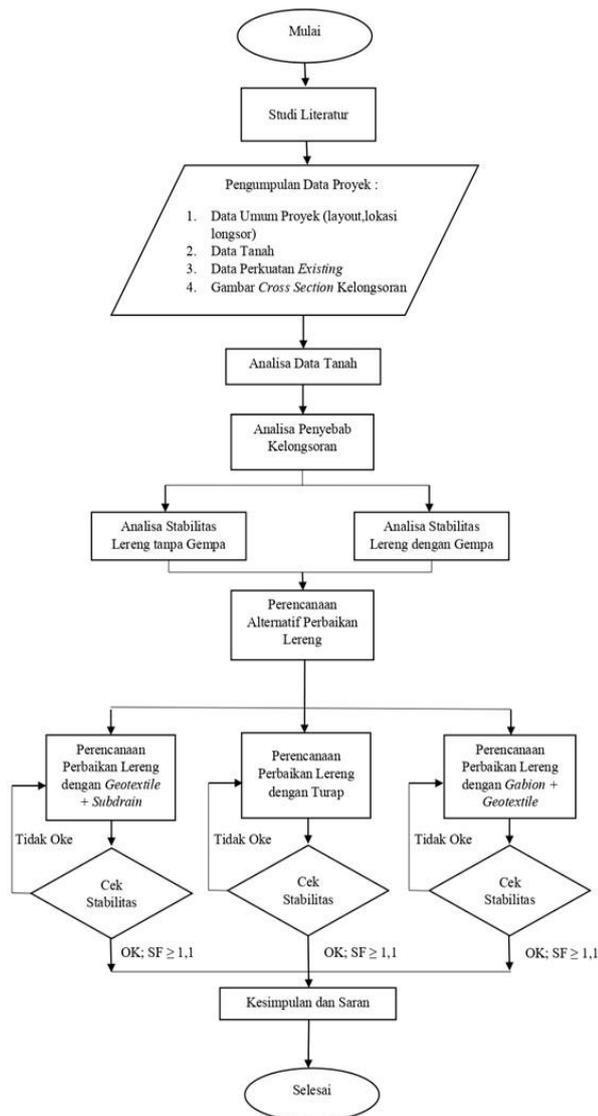
Mengingat pentingnya TPA ini, kelongsoran yang terjadi harus ditangani secepatnya agar kerusakan tidak menjadi semakin parah. Upaya ini juga merupakan tindakan penting untuk mencegah kerusakan pada beberapa lokasi yang berpotensi mengalami kelongsoran sehingga TPA dapat berfungsi kembali dan dapat menampung sampah dalam 50 tahun ke depan. Oleh karena itu, perlu direncanakan alternatif perbaikan lereng untuk mengatasi kelongsoran di TPA Melonguane.

II. METODOLOGI

Tahapan perencanaan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 2. Perencanaan dimulai dengan studi literatur, pengumpulan data proyek berupa data umum proyek, data tanah, data penguatan *existing* serta gambar *cross section* kelongsoran. Lalu dilakukan analisa data tanah, pembuatan statigrafi tanah, dan analisa penyebab longsor berdasarkan data sekunder yang telah didapatkan. Untuk analisa stabilitas lereng dibagi menjadi 2, yaitu analisa stabilitas lereng tanpa gempa dan dengan gempa. Setelah itu, direncanakan 3 alternatif perbaikan lereng dan dilakukan kontrol angka keamanan untuk mengecek apakah perbaikan sudah sesuai dengan syarat keamanan stabilitas lereng. Tahap terakhir adalah memberikan kesimpulan dan saran.

III. ANALISA DATA TANAH

Data yang didapatkan dalam perencanaan ini adalah data N-SPT serta data laboratorium. Data hasil N-SPT perlu dilakukan korelasi untuk mencari nilai parameter-parameter tanah yang dibutuhkan dalam perencanaan. Korelasi menggunakan Tabel Bowless dan Tabel Burt Look [1-2].



Gambar 2. Diagram alir perencanaan.

Lalu, hasil korelasi dan data laboratorium akan dibandingkan. Dari hasil analisa perbandingan tersebut, parameter tanah yang digunakan untuk analisa selanjutnya adalah data hasil korelasi karena sesuai dengan kondisi asli di lapangan. (Tabel 1). Adapun statigrifi pada potongan kelongsoran (P5) dapat dilihat pada Gambar 3.

IV. ANALISA STABILITAS LERENG

A. Analisa Stabilitas Lereng Sebelum Longsor

Analisa stabilitas lereng *existing* dilakukan dengan 2 pendekatan, yaitu lereng dengan tinggi terbatas (*finite slope*) dan lereng menerus (*infinite slope*). Sulawesi merupakan daerah rawan gempa karena merupakan lokasi pertemuan tiga lempeng tektonik. Pada tahun 2019 terjadi 4 kali gempa bumi pada bulan Januari, Maret, September dan Desember. Maka dari itu, dari 2 pendekatan tersebut, analisa stabilitas lereng dilakukan dengan 2 kondisi, yaitu tanpa gempa dan dengan gempa.

1) Analisa Lereng dengan Tinggi Terbatas (Finite Slope)

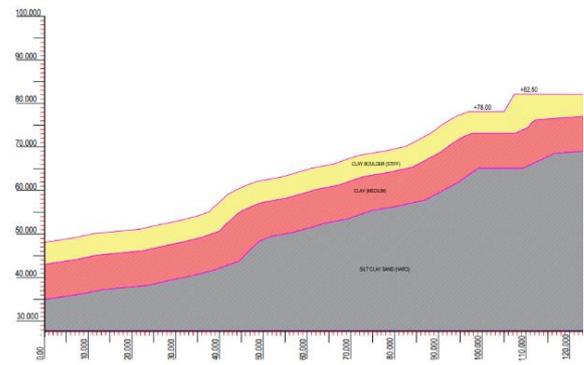
Analisa stabilitas lereng tanpa gempa dilakukan dengan program bantu GeoStudio menggunakan metode irisan *Bishop*. Muka air tanah diasumsikan pada kondisi tinggi yaitu

Tabel 1. Parameter tanah hasil korelasi

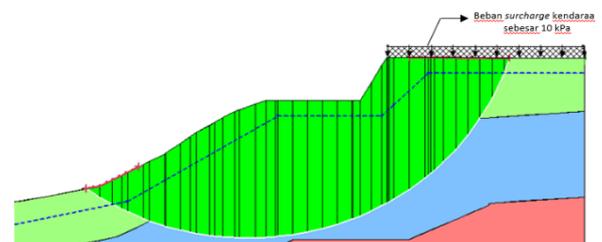
Depth (m)	Jenis Tanah	NSPT	Cu (t/m ²)	γ _{sat} (t/m ³)	φ
0-5	Clay Boulder	15	7.5	1.8	15
5-13	Clay	7	3.5	1.62	15
13-20	Clay Silt Sand	42	20	2	25

Tabel 2. Rekapitulasi SF lereng sebelum longsor

Kondisi	Tipe Lereng	SF	Cek
Tanpa Gempa	Infinite Slope	0,874	Longsor
	Finite Slope	0,885	Longsor
Dengan Gempa	Infinite Slope	0,856	Longsor
	Finite Slope	0,832	Longsor



Gambar 3. Statigrifi pada P5 geometri sebelum longsor.



Gambar 4. Bidang longsor lereng geometri sebelum longsor (SF=0,856).

-1,5 m dibawah permukaan tanah. Permodelan menggunakan beban *surcharge* 10 kPa sesuai dengan SNI 8460:2017 pasal 7.5.1 [3]. Dari hasil analisa lereng, didapatkan SF sebesar 0,874 (Gambar 4). Dikarenakan SF<1, maka lereng tersebut longsor dan tidak aman terhadap keruntuhan global (*overall*). Kondisi ini sudah sesuai dengan kondisi asli dilapangan dimana kelongsoran terjadi sampai lereng yang ada di bawahnya.

Analisa stabilitas lereng dengan gempa yang digunakan adalah metode *pseudostatic* dengan menggunakan perumusan (1) dan (2) berdasarkan analisis Newmark dalam Hoek and Bray (1981), didapatkan nilai $K_v = 0,128$ dan $K_h = 0,255$ [4]. Setelah dianalisa, didapatkan SF 0,856 yang berarti lereng tersebut longsor (Gambar 4).

$$K_h = 0,5 \frac{PGAM}{g}$$

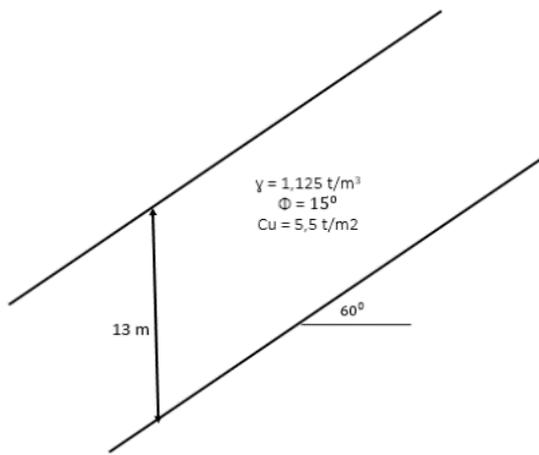
$$K_v = 0,5 K_h$$

Dimana:

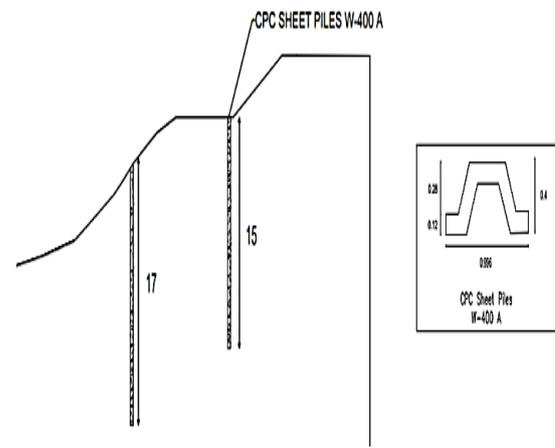
K_h = koefisien gempa horizontal

K_v = koefisien gempa vertikal

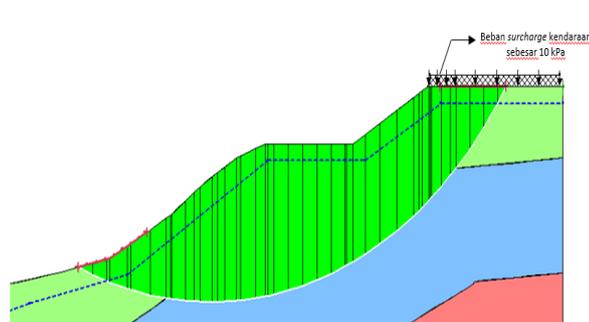
$PGAM$ = percepatan puncak di permukaan tanah (g)



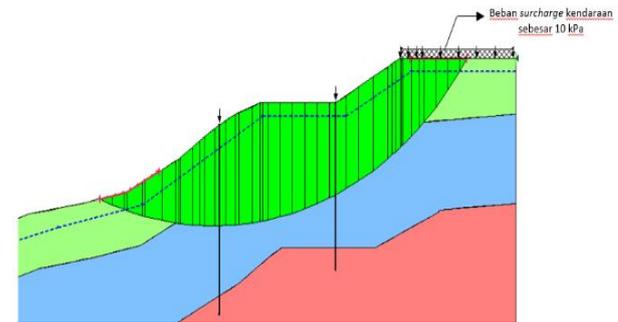
Gambar 5. Ilustrasi lereng menerus.



Gambar 7. Perkuatan lereng dengan turap (SF=1,395).



Gambar 6. Bidang longsor lereng existing (SF=0,981).



Gambar 8. Perkuatan lereng dengan turap (SF=1,395).

g = percepatan gravitasi

2) Analisa Lereng dengan Tinggi Menerus (Infinite Slope)

Analisa lereng menerus tanpa gempa dilakukan dengan menggunakan persamaan 3 yaitu analisa lereng menerus dengan rembesan [5]. Sementara analisa lereng menerus dengan gempa dilakukan dengan menggunakan persamaan 4 yaitu analisa lereng menerus dengan koefisien seismik gempa [6]. Parameter tanah yang digunakan adalah parameter tanah lapisan pertama dan kedua dengan mengambil nilai rata-rata kedua lapisan tersebut (Gambar 5).

$$SF = \frac{c}{\gamma_{sat} H \cos^2 \beta \tan \beta} + \frac{\gamma' \tan \phi}{\gamma_{sat} \tan \beta}$$

$$SF = \frac{c + \gamma z \cos^2 \beta - k \gamma z \cos \beta \sin \beta \tan \phi}{\gamma z \cos \beta \sin \beta + k \gamma z \cos^2 \beta}$$

Dimana:

SF = faktor keamanan

c = kohesi

ϕ = sudut geser tanah

γ' = berat volume efektif

γ_{sat} = berat volume jenuh

β = kemiringan lereng terhadap bidang horisontal

H = tinggi lereng

k = koefisien gempa horizontal

Hasil rekapitulasi SF kondisi lereng sebelum longsor dapat dilihat pada Tabel 2.

B. Penyebab Kelongsoran Lereng

Dari hasil analisa dapat disimpulkan bahwa penyebab kelongsoran disebabkan oleh beberapa hal, sebagai berikut: (1) Geometri lereng tidak aman (curam). Sebelum terjadi kelongsoran, kemiringan lereng bagian atas $\pm 60^\circ$ [6]. Setelah

terjadi longsor, kemiringan lereng bagian atas menjadi $\pm 30^\circ$. (2) Tingginya curah hujan. Adanya kondisi ini menyebabkan lereng dalam kondisi jenuh atau setengah jenuh sehingga memperbesar kemungkinan terjadi longsor. (3) Gaya luar berupa faktor getaran yang disebabkan oleh gempa. Gempa dapat menimbulkan retak-retak (*cracks*) yang dapat mereduksi kuat geser tanah.

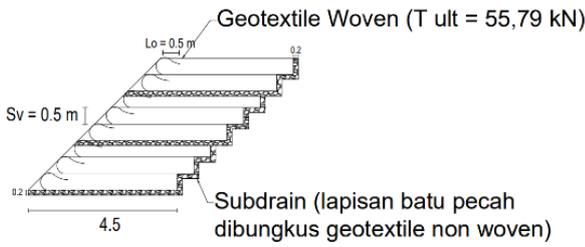
Untuk mencegah terjadinya kelongsoran dimasa mendatang, maka perlu dicek apakah geometri lereng kondisi *existing* masih aman atau tidak terhadap potensi longsor. Berdasarkan Gambar 6, kondisi lereng *existing* memiliki $SF = 0,981$ dimana lereng tersebut tidak aman terhadap kelongsoran global (*overall*). Oleh karena itu, diperlukan perencanaan perbaikan lereng agar SF yang dihasilkan minimal sebesar 1,1.

V. PERENCANAAN ALTERNATIF PERBAIKAN LERENG

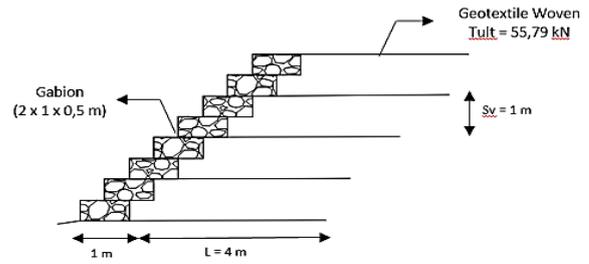
A. Perencanaan Sheet Pile

Turap (*sheet pile*) yang direncanakan adalah turap yang berfungsi sebagai cerucuk dan harus direncanakan memotong bidang longsor. Turap yang digunakan adalah CPC Sheet Piles tipe W-400 Class A dengan spesifikasi sebagai berikut: $f'c = 62 \text{ Mpa}$, $W = 400 \text{ kg/m}$, $A = 1598 \text{ cm}^2$, $I = 248,691 \text{ cm}^4$, $Mcr = 20,1 \text{ tm}$.

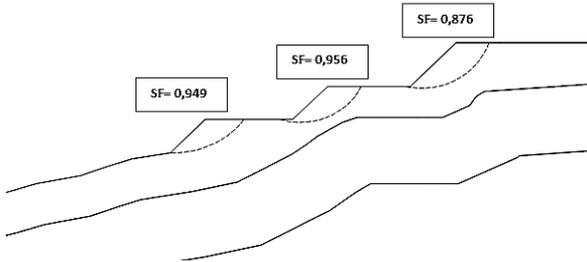
Direncanakan turap ditempatkan pada 2 titik (Gambar 7) dengan panjang turap ditancapkan sampai tanah keras sedalam 15 m dan 17 m. Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu Geostudio, untuk analisa dengan gempa pseudostatik didapatkan *safety factor* sebesar 1,395 sehingga lereng tersebut dapat dikatakan stabil dan aman terhadap kelongsoran. Hasil analisa dapat dilihat pada Gambar 8.



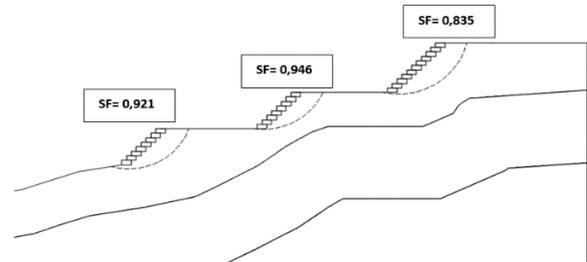
Gambar 9. Ilustrasi geotextile dan subdrain.



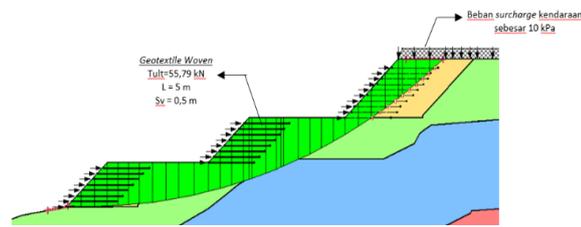
Gambar 12. Ilustrasi geotextile and gabion.



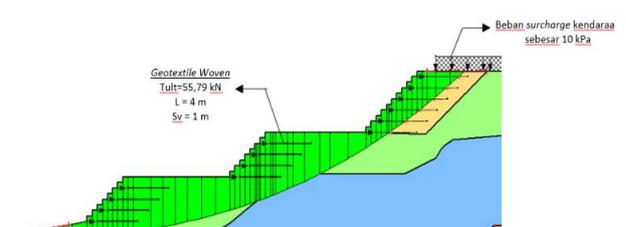
Gambar 10. Bidang kelongsoran tiap lereng.



Gambar 13. Bidang kelongsoran tiap lereng.



Gambar 11. Perkuatan lereng dengan geotextile+subdrain (SF=1,405).



Gambar 14. Perkuatan lereng dengan geotextile+gabion (SF=1,465).

B. Perencanaan Geotextile dan Subdrain

Subdrain yang direncanakan terbuat dari susunan batu pecah dan kerikil yang dibungkus dengan geotextile non-woven dan dipasang dari bagian atas hingga kaki lereng, sehingga lereng tetap dalam kondisi kering. Untuk dimensi subdrain direncanakan menggunakan 20 cm x 20 cm. Ilustrasi pemasangan dapat dilihat pada Gambar 9.

Pada perencanaan perkuatan lereng dengan geotextile, perlu dilakukan perubahan geometri lereng berupa pembuatan lereng bertingkat (teras lereng) dengan slope 1:1 dan dibuat 3 tingkat. Adapun data tanah timbunan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \gamma &= 19 \text{ kN/m}^3 \\ \phi &= 30 \\ c &= 0 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan geotextile dilakukan dengan meninjau bidang longsor lereng secara local. Setelah didapat jumlah kebutuhan geotextile tiap lereng, maka ditinjau stabilitas nya secara keseluruhan (overall) dengan software Geostudio (Gambar 10).

Sebelum menghitung kebutuhan geotextile, maka perlu dilakuka perhitungan ΔM_R dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} MD &= \frac{M_R}{SF_{existing}} \\ MR \text{ Butuh} &= MD \times SF_{rencana} \\ \Delta MR &= MR \text{ Butuh} - MR \text{ Aktual} \end{aligned}$$

Pada perencanaan ini digunakan geotextile woven type 25 dengan $T_{ultimate}$ sebesar 55,79 kN/m dan jarak pemasangan (S_v) sebesar 0,5 m. Perhitungan tegangan izin dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{FS_{id} \times FS_{cr} \times FS_{cd} \times FS_{bd}}$$

Dimana:

- T_{allow} = kekuatan geotextile yang tersedia
- T_{ult} = kekuatan ultimate geotextile
- FS_{ID} = faktor reduksi akibat kesalahan pemasangan
- FS_{CR} = faktor reduksi akibat rangkak
- FS_{CD} = faktor reduksi akibat pengaruh kimia
- FS_{BD} = faktor reduksi akibat pengaruh biologi

Selanjutnya, untuk menghitung panjang geotextile yang diperlukan adalah dengan menggunakan persamaan:

$$L_{TOTAL} = L_o + L_e + L_R$$

Dimana:

- L_{TOTAL} = panjang total geotextile
- L_o = panjang lipatan geotextile
- L_e = panjang geotextile di belakang bidang longsor (minimal 1 meter)
- $L_e = \frac{T_{allow} \times SF}{(\tau_{atas} + \tau_{bawah}) \times E}$
- τ_{atas} = tegangan geser tanah asli dg geotextile = $c + \sigma_v \tan \phi$
- τ_{bawah} = teg. geser tanah timbunan geotextile = $c + \sigma_v \tan \phi$
- E = efisiensi (80%)
- SF = faktor keamanan
- L_R = panjang geotextile di depan bidang longsor

Setelah mengitung kebutuhan *geotextile* selanjutnya adalah mengitung kontrol stabilitas eksternal *geotextile* sebagai berikut:

$$FSOT = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen Penggerak}} = \frac{W_i X_i + P_a \sin \delta \left(\frac{L}{3}\right)}{P_a \cos \delta \left(\frac{H}{3}\right)} > 2$$

$$FS_s = \sum \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} = \frac{\left[c + \left(\frac{W_i + P_a \sin \delta}{L}\right) \tan \delta\right] L}{P_a \cos \delta} > 1,5$$

$$FS_b = \frac{Qu}{Q_{max}} > 3$$

dimana:

FS_{OT} = angka keamanan lereng terhadap guling

W_i = berat dinding tanah

X_i = jarak ke titik berat

P_a = tekanan tanah aktif

δ = sudut geser antara tanah dan *geotextile*

L = panjang *geotextile*

Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu Geostudio, untuk analisa dengan gempa pseudostatik didapatkan *safety factor* sebesar 1,405 sehingga lereng tersebut dapat dikatakan stabil dan aman terhadap kelongsoran (Gambar 11).

C. Perencanaan Gabion and Geotextile

Gabion (bronjong) dengan ukuran 50x100 cm dan panjang 200 cm. Gabion dipasang pada permukaan miring lereng 1:1 dan ditarik oleh *reinforcement* berupa *geotextile* (Gambar 12). Pada perencanaan ini, perlu dilakukan perubahan geometri lereng berupa pembuatan lereng bertingkat (teras lereng) dengan *slope* 1:1 dan dibuat 3 tingkat. Perhitungan gabion hanya berupa kontrol terhadap guling dan geser karena gabion berfungsi sebagai penahan timbunan lereng agar tidak tergerus oleh air sementara *geotextile* berfungsi sebagai perkuatan gabion agar tidak mengalami longsor (Gambar 12). Adapun perhitungan gabion adalah sebagai berikut:

1) Menghitung Koefisien Tekanan Tanah Aktif

Koefisien tekanan tanah aktif akibat gempa dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$KAE = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \theta + \beta) \left[1 + \left(\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \theta - \tau)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(\tau - \beta)}\right)^2\right]}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{kh}{(1 - kv)} \right]$$

dimana:

φ = sudut geser tanah

β = kemiringan dinding terhadap bidang vertikal,

δ = sudut geser dinding, dan

τ = kemiringan dinding terhadap bidang horizontal.

2) Menghitung σ_v dan σ_h

$$\sigma_v = q + (\gamma \times h)$$

$$\sigma_h = (\sigma_v \times Ka) - (2 \times c \times \sqrt{Ka})$$

dimana:

σ_v = tegangan vertikal

σ_h = tegangan horizontal

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

h = tebal lapisan tanah

3) Mengitung Momen Penahan Gabion (Mr)

$$Mr = dg \times Wg$$

$$dg = \frac{\sum A_x}{\sum A}$$

$$Wg = A \times \gamma_t$$

dimana:

W_g = berat gabion

γ_t = berat jenis batu pengisi = 18 kN/m³

A = luas gabion

dg = jarak horizontal gabion terhadap titik 0

∑A = luasan total gabion

x = jarak titik berat tiap elemen gabion terhadap titik 0

4) Menghitung Faktor Keamanan

Faktor keamanan terhadap guling:

$$SF_o = \frac{\sum Mr}{\sum M_o} = \frac{162}{119,2} = 1,358 < 2 \text{ (NOT OK)}$$

Faktor keamanan terhadap geser:

$$SF_s = \frac{\mu Wg}{P_h} = \frac{\tan \phi \times Wg}{P_h} = \frac{\tan 30 \times 72}{81,024} = 0,513 < 1,5 \text{ (NOT OK)}$$

Karena nilai faktor keamanan terhadap geser tidak memenuhi persyaratan, maka perlu adanya tambahan berupa *geotextile*. *Geotextile* yang digunakan adalah *geotextile woven type 25* dengan T_{ultimate} sebesar 55,79 kN/m dan jarak pemasangan (S_v) sebesar 1 m. Perhitungan *geotextile* sama seperti perhitungan sebelumnya (Gambar 13).

Berdasarkan hasil analisis dengan program bantu Geostudio, untuk analisa dengan gempa pseudostatik didapatkan *safety factor* sebesar 1,465 sehingga lereng tersebut dapat dikatakan stabil dan aman terhadap kelongsoran (Gambar 14).

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa kondisi tanah, analisa stabilitas lereng, dan perencanaan perbaikan lereng maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut: (1) Penyebab kelongsoran disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya geometri lereng tidak aman (curam, tingginya curah hujan, gaya luar berupa faktor getaran yang disebabkan oleh gempa. (2) Dari hasil analisa pada potongan lereng sebelum longsor, stabilitas lereng kondisi tinggi terbatas (*finite slope*) dengan menggunakan program Geostudio, diperoleh SF= 0,874, sedangkan kondisi menerus (*infinite slope*) dengan menggunakan rumus diperoleh SF= 0,885. (3) Analisa stabilitas lereng dengan gempa yang digunakan adalah dengan metode *pseudostatic*, dimana untuk daerah Kabupaten Kepulauan Talaud, Kh = 0,255 dan Kv = 0,128. Hasil analisa stabilitas lereng kondisi tinggi terbatas (*finite slope*), diperoleh SF= 0,856.

Sedangkan kondisi menerus (*infinite slope*) dengan menggunakan rumus diperoleh SF= 0,832. (4) Perencanaan *sheet pile* terdiri dari 2 buah *sheet pile* tipe CPC Sheet Pile W-400 Class A dengan kedalaman 15 m dan 17 m serta dipasang 20 m sepanjang daerah kelongsoran. (5) Perencanaan *geotextile + subdrain*, geometri lereng diubah menjadi teras lereng (3 tingkat). Untuk lereng bawah dan tengah (H=4m), digunakan 8layer *geotextile* dengan panjang

5 m dan T_{ult} sebesar 55,79 kN/m. Untuk lereng atas ($H=5,3m$), digunakan 11 *layer geotextile* dengan panjang 5 m. *Subdrain* dipasang secara terasering, dibuat untuk mengalirkan air tanah dari balik lereng. Dimensi *subdrain* yang digunakan 20 x 20 cm.

Namun, opsi perkuatan ini tidak disarankan karena pelaksanaannya yang susah di lapangan. (6) Perencanaan *gabion + geotextile*, geometri lereng diubah menjadi teras lereng (3 tingkat). Dimensi bronjong yang digunakan yaitu 50 x 100 x 200 cm yang diisi dengan batu kali pecah. Untuk lereng bawah dan tengah ($H=4m$), digunakan 4 *layer geotextile* dengan panjang 4 m dan T_{ult} sebesar 55,79 kN/m. Untuk lereng atas ($H=5,3m$), digunakan 6 *layer geotextile*

dengan panjang 4 m. Namun, opsi perkuatan ini tidak disarankan karena pelaksanaannya yang susah di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. E. Bowless, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, 2nd ed. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1984.
- [2] B. G. Look, *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*, 1st ed. London: Taylor & Francis Group, 2007.
- [3] SNI, *SNI 8460 Perancangan Geoteknik*, 1st ed. Jakarta: Standar Nasional Indonesia, 2017.
- [4] E. Hoek and J. W. Bray, *Rock Slope Engineering*, 3rd ed. London: The Institution of Mining and Metallurgy, 1981.
- [5] M. N.E. and M. I.B., *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, 2nd ed. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2011.
- [6] J. M. Duncan and S. G. Wright, *Soil Strength and Slope Stability*, 1st ed. New Jersey: Jwiley & Sons, inc., 2005.