



ANALISA STABILITAS TEBING SUNGAI MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS DAN METODE ELEMEN HINGGA

Yosef Marchiano Tahan^[1], S.Koesnaryo dan Barlian Dwinagara^[1], Karmila Laitupa dan Laode Jonas Tugo^[1]

^[1] Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta
Jl. Padjadjaran, Condongcatur, Yogyakarta.

e-mail: yoseftahan@yahoo.com

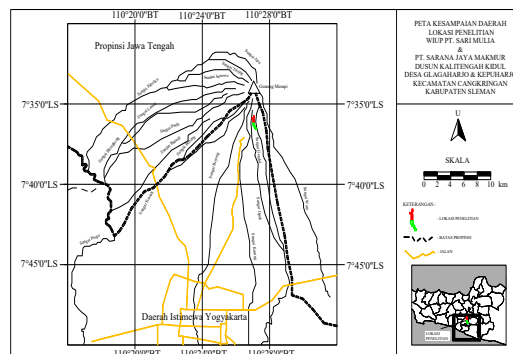
ABSTRAK

PT. Sari Mulia dan PT. Sarana Jaya Makmur merupakan perusahaan yang memiliki Wilayah Ijin Usaha Pertambangan (WIUP) Operasi Produksi (OP) Sirtu di aliran Sungai Gendol dengan luas masing-masing yaitu 2,25 ha yang berada pada Dusun Kalitengah Kidul, Desa Glagaharjo dan Desa Kepuharjo, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman. Pada 2 April 2018 telah terjadi longsoran Tebing Sungai Gendol sebelah timur yang mencakup WIUP OP kedua perusahaan tersebut yang mengakibatkan korban jiwa 2 orang supir truk dan 2 warga sekitar luka-luka. Tebing sungai yang longsor memiliki tinggi 60 m, panjang longsoran 52 m, dengan kemiringan tebing 83°. Data-data yang digunakan dalam studi kasus ini merupakan data primer dan data sekunder. Pengumpulan data dilakukan dengan pengamatan langsung dilapangan dan metode literatur. Analisa ini menggunakan metode kesetimbangan batas (limit equilibrium methode) yaitu bishop dan metode elemen hingga (finite element methode). Analisa untuk mengetahui kestabilan lereng ini selanjutnya menggunakan suatu program geoteknik yaitu *Slide Vesion.6* dan *Phase2 Version 8* dari *rocscience*. Tolak ukur kestabilan tebing adalah $FK \leq 1,3$. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan terdapat tiga litologi yaitu pada kedalaman 10 m berupa tanah lanau lempung lunak, pada kedalaman 20 m berupa tanah lanau lempung berpasir, pada kedalaman 30 m berupa pasir dan batupasir, menggunakan model kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Tindakan stabilitas tebing dilakukan pada litologi dengan kedalaman 10 m dengan dua alternatif yaitu pengurangan sudut kemiringan dan pembuatan berm, hasil yang didapatkan bahwa metode elemen hingga dengan pembuatan berm 8 m, sudut 31°, tinggi 4 m dan 6 m menghasilkan FK 1,44 dipilih untuk menangani potensi longsoran tebing.

Kata kunci: Metode kesetimbangan batas, metode elemen hingga, faktor keamanan, alternatif penanganan tebing

PENDAHULUAN

Perilaku tanah dan batuan pada umumnya memerlukan batuan lebih rumit daripada tanah, di samping bahwa batuan utuh (intack rock) mempunyai kekuatan yang lebih tinggi daripada tanah, perbedaan utama karakter batuan dengan tanah ialah efek dominan anisotropi dan diskontinuitas dalam massa batuan, penyebabnya ialah karena massa batuan di alam sesungguhnya adalah benda yang tidak homogen, tidak isotropik dan tidak menerus (diskontinu), sedangkan pada banyak kasus, masih tetap relevan untuk menganggap massa tanah sebagai homogen, isotrop (Koesnaryo, S., 2000). Tebing sungai merupakan lereng alami yang terbentuk oleh proses alamiah atau geologi, dimana lereng adalah suatu bidang di permukaan tanah yang menghubungkan permukaan tanah yang lebih tinggi dengan permukaan tanah yang lebih rendah atau permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horisontal (Pangemanan, dkk, 2014). Daerah penelitian berada pada WIUP PT. Sari Mulia dan PT. Sarana Jaya Makmur di Dusun Kalitengah Kidul, Desa Glagaharjo dan Desa Kepuharjo, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman dan secara astronomis terletak pada posisi koordinat 7°35'23,65" LS - 7°35'46,82" LS dan antara 110°27'10,68" BT - 110°27'13,79" BT (Gambar 1 dan Gambar 2).



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah



Gambar 2. Tebing Sungai Gendol Sebelah Timur

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini, yaitu :

1. Mengetahui sifat fisik maupun mekanik tanah pada daerah penelitian.
2. Mengetahui tingkat kestabilan tebing sungai daerah penelitian.
3. Memberikan rancangan tebing sungai yang aman.
4. Membandingkan hasil perhitungan nilai faktor keamanan dari dua metode yang berbeda, yaitu metode kesetimbangan batas dan metode elemen hingga.

TINJAUAN PUSTAKA

Metode Penelitian

Adapun metode penelitian terbagi menjadi dua yaitu : cara penelitian dan pengolahan data.

- a. Studi Literatur dan Pengumpulan Data Sekunder :

Dari hasil studi literatur dan pengumpulan data sekunder diperoleh data sebagai berikut :

Peta kesampaian daerah dan pengukuran tebing sungai gendol sebelah timur.

- b. Penelitian di lapangan

Penelitian di lapangan ini bertujuan untuk mendapatkan data primer yaitu geometri lereng, arah kemiringan lereng, struktur geologi (kekar dan sesar) bila ada.

Analisis geoteknik

Pengujian yang dilakukan di laboratorium bertujuan untuk mendapatkan sifat fisik dan sifat mekanik tanah yang diperlukan dalam penentuan daya dukung tanah dan kestabilan tebing sungai. Pengujian ini dilakukan pada laboratorium mekanika tanah yang meliputi :

- a) Sifat Fisik Tanah

Secara umum tanah terdiri dari tiga bagian, yaitu butiran tanah yang merupakan bahan utama, air, dan udara.

- Berat isi tanah

Berat isi tanah/unit weight or density (γ) adalah perbandingan antara berat tanah seluruhnya dengan isi tanah seluruhnya :

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots \dots \dots (1)$$

γ = Berat isi tanah (gr/cm³)

W = Berat tanah basah (gr)

V = Volume wadah (cm³)

- b) Sifat Mekanika Tanah

- Sudut gesek dalam (ϕ)

Sudut gesek dalam adalah sudut yang dibentuk dari hubungan tegangan normal dengan tegangan geser dalam material tanah..

- Kohesi (c)

Kohesi adalah kuat tarik menarik antara butiran tanah yang dinyatakan dalam satuan berat persatuan luas..

- Modulus elastisitas (Modulus Young - E)

kemampuan batuan untuk mempertahankan kondisi elastisitasnya. Pada uji kuat tekan

uniaksial, sampel batuan dan tanah akan mengalami beberapa tahap deformasi yakni deformasi elastis dan deformasi plastis. Nilai modulus Young diturunkan dari kemiringan kurva tegangan regangan pada bagian yang linear karena pada saat inilah sampel mengalami deformasi elastis. Persamaan untuk mencari nilai modulus young yaitu:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan : E = Modulus Young (MPa), $\Delta\sigma$ = Beda tegangan (MPa), $\Delta\epsilon$ = Modulus Young (%)

- Nisbah Poission (Poission's Ratio - ν)

Nilai mutlak dari perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial. Persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya nisbah Poission adalah:

$$\nu = \frac{\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{aksial}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan: ν = nisbah Poission, ϵ_l = regangan lateral (mm), ϵ_a = regangan aksial (mm).

Mekanisme Dasar Terjadinya Longsoran

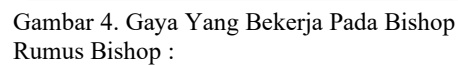
Tanah dan batuan umumnya berada dalam keadaan setimbang, artinya keadaan distribusi tegangan pada tanah atau batuan tersebut dalam keadaan tidak terganggu. Apabila pada tanah atau batuan tersebut ada kegiatan penggalian, penimbunan, penurunan, pengangkutan, erosi atau aktifitas lain, sehingga menyebabkan keseimbangan terganggu, maka tanah atau batuan itu akan berusaha untuk mencapai keseimbangan baru secara alamiah dengan cara pengurangan beban, terutama dalam bentuk longsoran. Dalam menganalisis stabilitas lereng, sistem tegangan yang bekerja pada tanah atau batuan serta sifat fisik dan mekaniknya perlu diketahui terlebih dahulu. Pengujian sifat fisik meliputi kadar air, bobot isi dan berat jenis, sedangkan pengujian sifat mekanik antara lain uji geser langsung dan uji kuat tekan uniaksial. Sifat fisik dan mekanik tanah atau batuan secara langsung dapat mempengaruhi stabilitas dari suatu lereng. Longsoran yang terjadi pada tanah dan pasir pada umumnya adalah longsoran busur, sedangkan untuk batuan yang sifatnya lebih keras dengan kuat tekan >10 Mpa, dan tidak mempunyai banyak bidang rekah terjadi longsoran lain yaitu longsoran baji, longsoran bidang dan longsoran guling. Pada Gambar 3 memperlihatkan suatu kriteria keruntuhan berdasarkan kriteria Mohr-Coulomb. Kekuatan gesek material menurut Mohr-coulomb terdiri dari dua komponen yaitu kohesi dan sudut gesek dalam.



Analisis kestabilan tebing sungai dapat dilakukan setelah data masukan seperti geometri tebing dan kondisi lapisan tanah pada lereng telah diperoleh melalui pengukuran dan pengujian lapangan maupun laboratorium. Metode yang paling umum dari analisis stabilitas lereng didasarkan atas batas keseimbangan. Pada analisis jenis ini faktor aman mengenai stabilitas dari lereng diestimasikan dengan menguji kondisi keseimbangan pada saat terhitung keruntuhan tepat mulai terjadi sepanjang suatu bidang runtuh yang semula ditetapkan dan kemudian membandingkan antara kekuatan yang diperlukan untuk mempertahankan keseimbangan terhadap kekuatan dari tanah (Dun dkk.,1980).

Metode kedua tentang analisis tebing didasarkan atas penggunaan teori *elastisitas* atau *plastisitas* untuk menentukan tegangan-tegangan geser pada tempat-tempat kritis di dalam suatu lereng untuk perbandingan dengan kuat geser. Teknik-teknik komputer elemen hingga yang dikembangkan akhir-akhir ini adalah satu contoh dari analisis jenis ini yaitu metode elemen hingga (**Dun dkk., 1980**) yang diaplikasikan dalam perangkat lunak seperti *Phase2* yang dikembangkan oleh *Rocscience*.

Metode Bishop adalah Metode yang diperkenalkan oleh A.W. Bishop menggunakan cara potongan dimana, Metode Bishop dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (slip surface) yang berbentuk lingkaran. Dalam metode ini diasumsikan bahwa gaya-gaya normal total berada/bekerja dipusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal. Persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan-potongan yang membentuk lereng tersebut. Metode Bishop menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal (Bishop,1955).



Dimana:

F = faktor aman

c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)

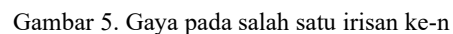
ϕ' = sudut gesek dalam efektif (o)

$$b_i = \text{lebar irisan ke-}i \text{ (m)}$$

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)

$$\mu_i = \text{tekanan air pori irisan ke-}i \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Θ_i = sudut yang didefinisikan ($^\circ$)



Saifuddin Arief (2007), Metode Numerik dengan metode elemen hingga merupakan salah satu cara menyelesaikan persoalan geomekanika dimana batuan atau tanah dianggap sebagai suatu massa yang kontinu atau menerus (Metode Kontinum). Metode element hingga (finite element method) adalah metode yang didasarkan pada hubungan tegangan regangan, dimana potensi bidang kelongsoran dengan mencari titik/bidang lemah di dalam tanah dengan jalan mengurangi kuat geser tanah (Shear Strength Reduction) secara bertahap. Prinsip dari metode ini yaitu kekuatan geser material nilainya dikurangi secara bertahap sampai terbentuk suatu mekanisme keruntuhan pada lereng. Pengurangan parameter kohesi (C) dan

sudut gesek (ϕ) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_f = \frac{c}{SRF} \dots \dots \dots (4)$$

$$\phi_f = \tan^{-1} \frac{\tan \phi}{SRF} \dots \dots \dots (5)$$

dimana: SRF = faktor reduksi kekuatan geser. Faktor keamanan (FK) besarnya sama dengan nilai SRF pada saat tepat terjadi keruntuhan, dimana :

$$FK = \frac{\tau}{\tau_f} \dots \dots \dots (6)$$

τ merupakan kuat geser material yang dihitung berdasarkan kriteria *Mohr - Coulomb*, yaitu :

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \dots \dots \dots (7)$$

Dan τ_f adalah tegangan geser pada bidang gelincir. Yang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\tau_f = c_f + \sigma_n \tan \phi_f \dots \dots \dots (8)$$

Maka persamaan FK dan SRF sebagai berikut :

$$FK = \frac{c + \sigma_n \tan \phi}{\left(\frac{c}{SRF} \right) + \sigma_n \tan \left(\tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi}{SRF} \right) \right)} \dots \dots \dots (9)$$

$$FK = \frac{c + \sigma_n \tan \phi}{\left(\frac{c + \sigma_n \tan \phi}{SRF} \right)} \dots \dots \dots (10)$$

$$FK = \frac{c + \sigma_n \tan \phi}{1} \times \frac{SRF}{c + \sigma_n \tan \phi} \dots \dots \dots (11)$$

Sehingga, $FK = SRF$

Dalam metode elemen-hingga domain dari daerah yang dianalisis dibagi kedalam sejumlah zone-zone yang lebih kecil. Zone-zone kecil tersebut dinamakan elemen. Elemen-elemen tersebut dianggap saling berkaitan satu sama lain pada sejumlah titik-titik simpul. Perpindahan pada setiap titik-titik simpul dihitung terlebih dahulu, kemudian dengan sejumlah fungsi interpolasi yang diasumsikan, perpindahan pada sembarang titik dapat dihitung berdasarkan nilai perpindahan pada titik-titik simpul. Selanjutnya regangan yang terjadi pada setiap elemen dihitung berdasarkan besarnya perpindahan pada masing-masing titik simpul. Berdasarkan nilai regangan tersebut dapat dihitung tegangan yang bekerja pada setiap elemen.

Faktor aman minimum yang diijinkan tergantung pada bahaya yang ditimbulkan oleh keruntuhan maupun oleh metode analisis, tingkat dapat dipercayanya parameter-parameter kekuatan terukur, dan estimasi tekanan pori yang diambil. Banyak referensi yang memberikan batasan penentuan nilai faktor aman tersebut. Menurut **Dun dkk. (1980)**, faktor aman minimum seperti untuk bendungan tanah, disarankan sebesar 1,3 (pada akhir pembangunan). Sedangkan menurut **Cheng dan Lau (2008)** nilai FK didasarkan pada tingkat

resiko ekonomi dan bahaya terhadap manusia sebesar minimum 1,3 (rata-rata).

Metode penanganan potensi kelongsoran tebing sunai untuk pencegahan atau upaya stabilitas tebing menurut **Zakaria (2009)** adalah mengurangi beban di puncak tebing dengan cara melakukan pemangkasan tebing baik mengurangi sudut kemiringan maupun pembuatan *berm*.

HASIL PENELITIAN

Hasil Pengujian Laboratorium

Data tanah yang didapatkan dari hasil pengujian dilaboratorium dibutuhkan korelasi-korelasi data untuk melengkapi parameter-parameter lainnya untuk membantu dalam analisa stabilitas tebing sungai seperti bobot isi(γ), kohesi (c), sudut gesek dalam (ϕ), Modulus Elastisitas (E),poisson ratio (v).

Tabel 1. Korelasi Data Hasil Uji Laboratorium dan Literatur

No	Material	Bobot isi, γ (MN/m ³)	Modulus Elastisitas, E (Mpa)	Poisson Rasio, v	Sudut gesek, ϕ (°)	Kohesi, C (Mpa)
1	Tanah lanau lempung lunak	0,012	25	0,4	0	0,018
2	Tanah lanau lempung berpasir	0,018	250	0,3	30	0,048
3	Pasir dan batupasir	0,02	192	0,3	40	0

Tabel 2. Nilai Poisson Ratio Sesuai dengan Tipe Tanah

Jenis Tanah	Nisbah Poisson
Lempung Jenuh	0,4-0,5
Lempung Tidak Jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir, Batuan	0,3-0,4

(Bowles, Joseph.E., 1997)

Tabel 3. Nilai Modulus Elastisitas Sesuai Dengan Tipe Tanah

Tanah		Modulus Elastisitas	
		Ksf (kilo pound persquare)	MPa
Lempung	Sangat lunak	50-250	2-15
	Lunak	100-500	5-25
	Sedang	300-1000	15-50
Pasir	keras	1000-2000	50-100
	Berpasir	500-5000	25-250
	Berlanau	150-450	7-21
Pasir dan Batuan	Lepas	200-500	10-24
	Padat	1000-1700	48-81
	Lepas	1000-3000	48-144
Lanau	Padat	2000-4000	96-192
		40-400	20-20

(Bowles, Joseph.E., 1997)

Tabel 4. Properties Tanah

No	Jenis Tanah	Kohesi, C (kN/m ²)	Sudut Gesek, ϕ (°)	Bobot isi γ (kN/m ³)
1	Lempung Lunak	18	0	12

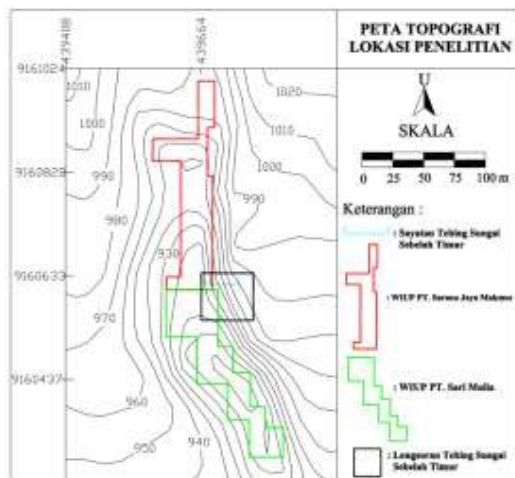


2	Lempung Sedang	48	0	15
3	Lempung Kaku	100	0	17
4	Pasir Lepas	0	28	14
5	Pasir Sedang	0	32	16
6	Pasir Padat	0	38	20
7	Lempung Lunak Pasir Lepas	18	28	13
8	Lempung Lunak Pasir Sedang	18	32	15
9	Lempung Lunak Pasir Padat	18	38	18
10	Lempung Sedang Pasir Lepas	48	28	14
11	Lempung Sedang Pasir Sedang	48	32	15
12	Lempung Sedang Pasir Padat	48	38	18
13	Lempung Kaku Pasir Lepas	100	28	15
14	Lempung Kaku Pasir Sedang	100	32	16
15	Lempung Kaku Pasir Padat	100	38	18

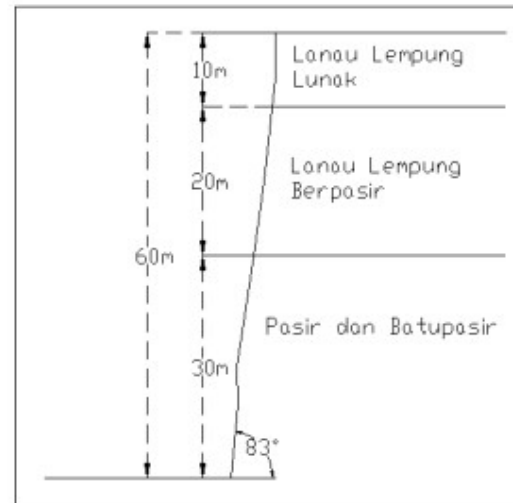
Das M Braja, (1990)

Berdasarkan Observasi Lapangan

Melakukan pembuatan peta topografi penelitian (Gambar 6), pengukuran panjang longsoran 52 meter serta pengukuran Tebing Sungai Gendol sebelah timur beserta litologinya (Gambar 7)



Gambar 6. Peta Topografi Penelitian

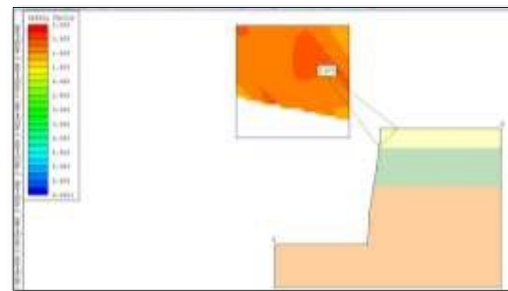


Gambar 7. Geometri Tebing

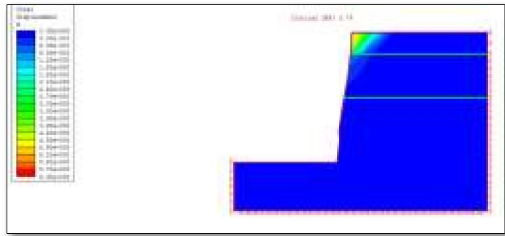
Tabel 5 Hasil Analisis Bentuk Awal Potensi Longsoran Tebing Sungai

Tinggi Tebing (m)	Sudut, (°)	FK = SRF		Keterangan
		Slide (FK)	Phase2 (SRF)	
60 m , dengan perbaikan litologi pada kedalaman 10 m	83	0,670	0,79	Tidak Stabil

Bentuk awal longsoran tebing Sungai Gendol sebelah timur WIUP PT. Sari Mulia dan PT. Sarana Jaya Makmur terjadi pada litologi lanau lempung lunak dengan kedalaman 10 m, maka didapat faktor keamanan 0,67 untuk *slide* (Gambar 8) dan 0,79 untuk *phase2* (Gambar 9) dimana pada metode elemen hingga, tebing mengalami pergerakan ditunjukkan dengan warna hijau sebesar 4,5 m hingga warna kuning dengan pergerakan 4,8 m.



Gambar 8 Bentuk Awal longsoran 83° (slide)



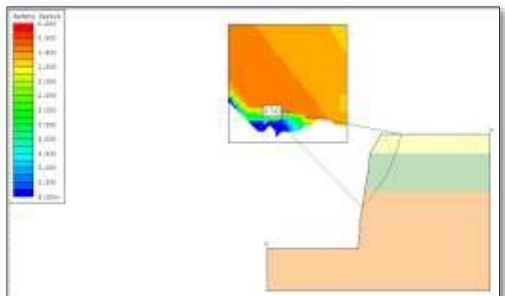
Gambar 9 Bentuk Awal longsoran 83⁰ (phase2)

Penanganan potensi longsor dilakukan dengan dua alternatif yaitu pengurangan sudut kemiringan tebing dan pembuatan *berm* pada tebing sungai.

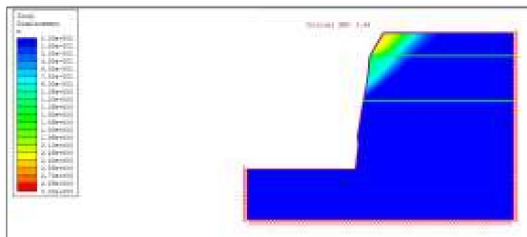
- Penanganan longsor dengan pengurangan sudut kemiringan tebing pada litologi lanau lempung lunak dengan kedalaman 10 m (Tabel 6)

Tabel 6. Faktor Keamanan Dengan Pengurangan Sudut Kemiringan Tebing

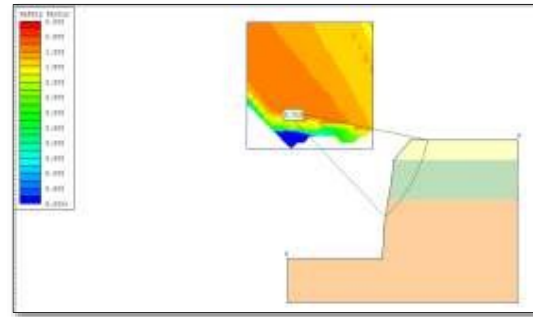
Tinggi Tebing (m)	Sudut, (°)	FK = SRF		Keterangan
		Slide (FK)	Phase2 (SRF)	
60 m , dengan perbaikan litologi pada kedalaman 10 m	83	0,670	0,79	Tidak Stabil
	60	0,743	0,94	Tidak Stabil
	50	0,752	1	Tidak Stabil
	40	0,762	1,13	Tidak Stabil
	30	0,789	1,16	Tidak Stabil



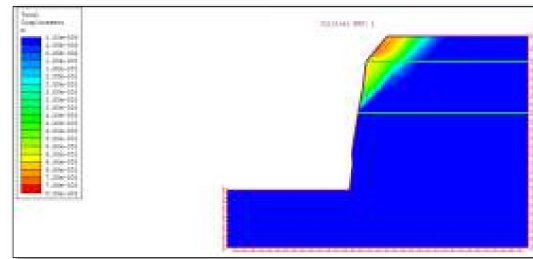
Gambar 10. Perbaikan Tebing Dengan Sudut 60⁰ (Slide)



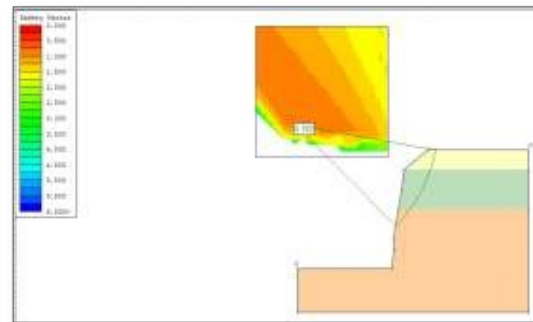
Gambar 11. Perbaikan Tebing Dengan Sudut 60⁰ (Phase2)



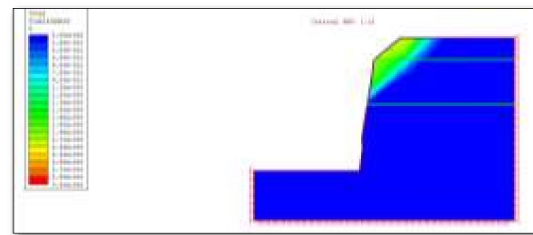
Gambar 12. Perbaikan Tebing Dengan Sudut 50⁰ (Slide)



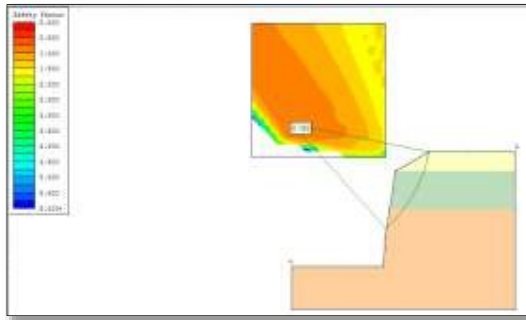
Gambar 13. Perbaikan Tebing Dengan Sudut 50⁰ (Phase2)



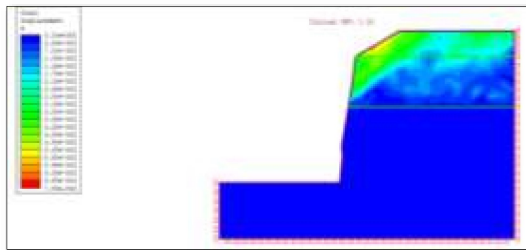
Gambar 14. Perbaikan Tebing Dengan Sudut 40⁰ (Slide)



Gambar 15. Perbaikan Tebing Dengan Sudut 40⁰ (Phase2)



Gambar 16. Perbaikan Tebing Dengan Sudut 30° (Slide)

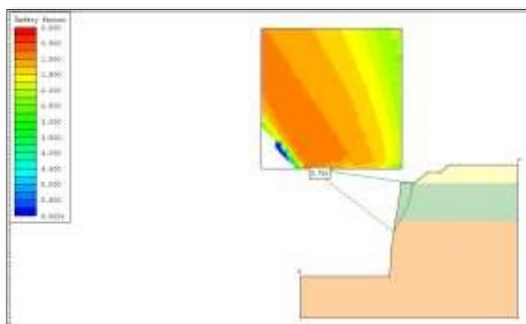


Gambar 17. Perbaikan Tebing Dengan Sudut 30° (Phase2)

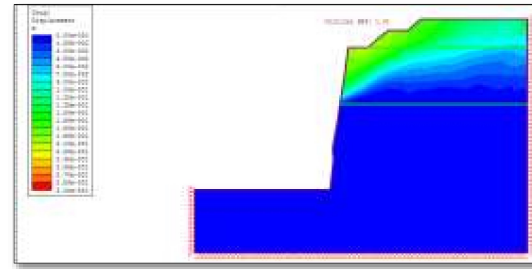
- Penanganan longsor dengan pembuatan *berm* pada litologi lanau lempung lunak dengan kedalaman 10 m (Tabel 7)

Tabel 7 Faktor Keamanan Dengan Pembuatan *Berm* Pada Tebing

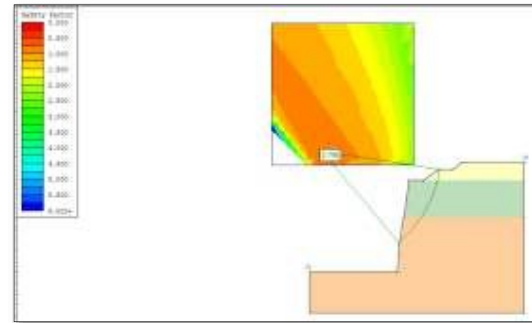
Tinggi Tebing (m)	Lebar berm (m), sudut (°)tinggi (m)	FK = SRF			Keterangan
		Slide (FK)	Keterangan	Phase2 (SRF)	
60 m, dengan perbaikan litologi pada kedalaman 10 m	Lebar berm 7 m, sudut 41°, tinggi 4 m dan 6 m	0,785	Tidak Stabil	1,31	Stabil
	Lebar berm 8 m, sudut 37°, tinggi 4 m dan 6 m	0,796	Tidak Stabil	1,44	Stabil



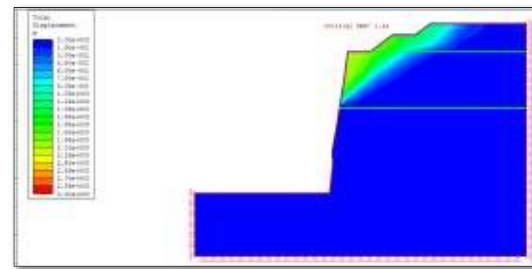
Gambar 18. Pembuatan *Berm* 7 m (Slide)



Gambar 19. Pembuatan *Berm* 7 m (Phase2)



Gambar 20. Pembuatan *Berm* 8 m (Slide)



Gambar 21. Pembuatan *Berm* 8 m (Phase2)

PEMBAHASAN

Pembahasan masalah dalam penelitian ini, yaitu

- Analisis Bentuk Awal Longsor Tebing Sungai

Bentuk awal potensi longsor pada litologi lanau lempung lunak pada kedalaman 10 meter, dengan faktor keamanan 0,67 (Gambar 8) menggunakan *slide*, sedangkan menggunakan *phase2* didapatkan faktor keamanan 0,79 (Gambar 9), dimana dari metode kesetimbangan batas menggunakan bishop dan metode elemen hingga $FK < 1,3$, maka tebing sungai tidak stabil

- Analisis Alternatif Penanganan Tebing Sungai

- Pengurangan Sudut Kemiringan Tebing Sungai.

Dari pengurangan sudut tebing sungai (Tabel 6), baik metode kesetimbangan batas menggunakan bishop dan metode elemen hingga $FK < 1,3$, maka tebing sungai tidak stabil.

- Pembuatan *Berm* pada tebing sungai.

Dari pembuatan *berm* pada tebing sungai (Tabel 7), pada metode kesetimbangan batas menggunakan bishop dengan lebar *berm* 7 m dan

8 m didapatkan $FK < 1,3$, sedangkan menggunakan metode elemen hingga dengan lebar *berm* 7 m didapatkan $FK > 1,3$ yaitu $FK = 1,31$ dan 8 m didapatkan $FK > 1,3$ yaitu $FK = 1,44$.

KESIMPULAN

1. Material yang ada dilokasi penelitian dapat termasuk dalam material lunak pada litologi lanau lempung lunak pada kedalaman 10 m dan jenis longsornya yaitu longsoran busur.
2. Alternatif perbaikan tebing sungai untuk mengatasi potensi longsoran pada litologi lanau lempung lunak pada kedalaman 10 m menggunakan metode elemen hingga dengan *berm* 8 m, sudut 37^0 , dan tinggi 4 m dan 6 m, dimana $FK=1,44$, dikarenakan metode elemen hingga berdasarkan pada hubungan tegangan regangan, redistribusi stress pasti lebih baik dalam perhitungan.

DAFTAR PUSTAKA

Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S, and Boye, G.M., 2002, *Slope stability and Stabilization Methods 2nd ed*, John Wiley.

Bieniawski, Z.T., *Engineering Rock Mass Classification*, John Willey & Sons, 1989.

Bowles, J.E., 1997, *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Singapore

Cheng, Y.M. and Lau, C.K., 2008, *Slope Stability Analysis and Stabilization*, Routledge, London and New York.

Das M. Brajas, 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I dan Jilid II*, Penerbit Erlangga, Jakarta

Das M. Brajas, 1990, *Principles of Foundation Engineering*, PWS-Kent Publishing Company Boston

Dun, I.S., Anderson, L.R., Kiefer, F.W., 1980, *Dasar-dasar Analisis Geoteknik*, Terjemahan IKIP Semarang Press, Cetakan Pertama 1992, Semarang.

Koesnaryo, S., 2000, *Pendekatan-Pendekatan Kuantitatif Dalam Geomekanika*, Prosiding Temu Ilmiah Nasional Jurusan Teknik Pertambangan FTM UPN "Veteran" Yogyakarta, Hal V1-V9

Pangemanan Margaretha Gabriella Violetta, A.E, Turangan., O.B.A, Sompie., 2014, *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Fellenius (Studi Kasus : Kawasan Citraland)*, Jurnal Sipil Statik Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado, Hal 37-46

Rai Made Astawa, Kramadibrata Suseno, Wattimena Kresna Ridho, 2014, *Mekanika Batuan*, Laboratorium Geomekanika dan Peralatan Tambang Institut Teknologi Bandung

Saifuddin Arief, 2007, *Metode- Metode Dalam Analisis Kestabilan Lereng*, <https://www.scribd.com/doc/231290750/Metode-Metode-Dalam-Analisis-Kestabilan-Lereng>, tanggal download senin 29 juli 2019

Wyllie, Duncan C. & Mah, Christopher W. 2004, *Rock Slope Engineering 4th Ed*, The Institution of Mining and Metallurgy London.

Zakaria Zulfiadi, 2009, *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*, Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran

_____, 2018, *Tambang Kali Gendol Ditutup Sementara*, <https://jogjapolitan.harianjogja.com/read/2018/04/04/512/907915/tambang-kali-gendol-ditutup-sementara>, tanggal download senin 13 mei 2018

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang mendukung sehingga terciptanya karya tulis ini, antara lain :

1. Dosen Pembimbing Bapak Dr. Ir. S. Koesnaryo, M.Sc., IPM dan Bapak Dr. Ir. Barlian Dwinagara, M.T
2. Pimpinan PT. Sari Mulia dan PT. Sarana Jaya Makmur
3. Dan Seluruh pihak yang terlibat dalam penulisan ini yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu