

## ANALISIS STABILITAS LERENG AKIBAT PEMINDAHAN TRASE SUNGAI MENGGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS 2D

Xbal Meiprasetyo

Universitas Jenderal Achmad Yani

E-mail : xbal.meiprastyo@lecture.unjani.ac.id

### ABSTRACT

*South Sumatra Province is one of the provinces designated as the National Energy Barn because it has great potential, especially in terms of coal resources. Mining areas that pass through an active river but the coal reserves below must be managed, so as not to disturb the river and continue to flow naturally, so related to this, it is necessary to conduct a technical study of river displacement so that the coal that is under the current river section can be taken and utilized. Slope reinforcement analysis was carried out due to the displacement of river currents around the mine area. Analysis used to determine the stability of the slope uses the Mohr Coulomb method and the help of Plaxis 2D v.22 software. The data used include testing soil data tested in the laboratory, field data taken from the results of the CPT (Cone Penetration Test) and additional data in the form of contours and other supporting data. Based on the results of the analysis, the recommendation for river bank protection is to use geomembrane and gabions because the required reinforcement is temporary, the reinforcement meets the design criteria with a safety factor value of 1.636 for normal conditions and 1.357 for earthquake conditions.*

*Keywords: Slope, Reinforcement, geomembrane, gabion, Safety Factor*

### ABSTRAK

Provinsi Sumatera Selatan adalah salah satu provinsi yang menjadi Lumbung energi Nasional karena memiliki potensi besar terutama dalam segi sumber daya batubara. Area tambang yang melalui sungai aktif namun cadangan batu bara dibawahnya harus tetap dikelola, agar tidak mengganggu sungai dan tetap mengalir secara alami sehingga berkaitan dengan hal tersebut perlu dilakukan kajian teknis pemindahan sungai agar batubara yang terdapat di bawah ruas sungai saat ini dapat diambil dan dimanfaatkan, maka dilakukan analisis perkuatan lereng akibat pemindahan arus sungai di sekitar area tambang. Analisis yang digunakan untuk mengetahui kestabilan lereng menggunakan metode Mohr Coulomb dan bantuan software plaxis 2D v.22. Data-data yang digunakan antara lain pengujian data tanah yang diuji di laboratorium, data lapangan yang diambil dari hasil CPT (Cone Penetration Test) dan data tambahan berupa kontur serta data-data pendukung lainnya. Berdasarkan hasil analisis, rekomendasi untuk pengaman tebing sungai adalah menggunakan geomembran dan bronjong karena perkuatan yang diperlukan bersifat sementara, dari perkuatan tersebut memenuhi kriteria desain dengan nilai safety factor sebesar 1.636 untuk kondisi normal dan 1.357 untuk kondisi gempa.

Kata Kunci : Lereng, Perkuatan, geomembran, bronjong, Safety Factor

### 1. PENDAHULUAN

Sungai adalah saluran terbuka yang terbentuk secara natural di permukaan bumi. Mengalir dari mata air melalui sebagian alur sungai dan akhirnya mengalir ke danau atau laut. Tanah dasar akan tergerus oleh air yang mengalir di dasar sungai. Gerusan adalah fenomena alam yang disebabkan oleh interaksi aliran dengan material bawah sungai. Proses erosi aliran pada dasar dan tebing saluran alluvial, serta proses menyusutnya atau semakin dalam sungai di bawah elevasi permukaan alami, akan menyebabkan gerusan (Hoffmans & Verheij, 1997 dalam Ramdani,2014).

Lereng merupakan daerah di permukaan tanah yang menghubungkan tempat yang lebih tinggi dengan tempat yang lebih rendah. Lereng yang mengalami keruntuhan berarti

memiliki kecenderungan nilai faktor keamanan yang rendah, Sedangkan lereng kondisi stabil dianggap tidak mengalami pergerakan secara horizontal dan vertikal. Namun, lereng yang stabil berpotensi mengalami keruntuhan pada kondisi-kondisi tertentu. Keruntuhan tanah adalah bencana alam yang terjadi di lereng karena peningkatan tekanan air pori selama musim hujan, yang menyebabkan penurunan kuat geser tanah ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ). Gerusan lereng atau tebing sungai dapat terjadi karena perubahan morfologi sungai, seperti tikungan dan pelebaran, yang disebabkan oleh kenaikan tinggi muka air. Dengan gerusan yang lebih besar, geometri sungai dan karakteristik tanah dasar di sekitar tebing sungai berubah, yang mengakibatkan pelebaran di sekitar tebing sungai.

Tanah longsor terjadi ketika keseimbangan lereng terganggu oleh gaya-gaya dari dalam lereng, seperti gaya gravitasi bumi, tekanan air pori, dan gaya dari luar lereng, seperti pembebanan kendaraan. Analisis stabilitas lereng menilai kekuatan permukaan tanah miring. (Christady, 2012).

Keruntuhan tanah merupakan bencana alam yang terjadi pada lereng salah satunya diakibatkan peningkatan tekanan air pori pada saat musim hujan, hal ini mengakibatkan terjadinya penurunan kuat geser tanah ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) sehingga menyebabkan keruntuhan tanah. Proses gerusan lereng dan tebing sungai dapat terjadi karena perubahan morfologi sungai akibat kenaikan tinggi muka air.

Pada pergerakan kelongsoran tanah terdapat 6 jenis longsor, diantaranya: longsor translasi, longsor rotasi, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah dan aliran rombakan. Jenis longsor translasi dan rotasi adalah jenis longsor yang paling umum di Indonesia. sering terjadi di Indonesia. Namun, aliran rombakan adalah longsor yang paling banyak mengakibatkan kematian (ESDM, 2018).

Pengelolaan sumber daya batubara di Sumatera Selatan dilaksanakan dengan sebaik mungkin agar batubara yang ada di Sumatera Selatan dapat diambil dan dimanfaatkan dengan cara yang paling efisien dikarenakan harga batu bara yang terus meningkat. Area tambang yang melalui sungai aktif namun cadangan batu bara dibawahnya harus tetap dikelola, agar tidak mengganggu sungai dan tetap mengalir secara alami sehingga berkaitan dengan hal tersebut agar batubara yang ada di bawah sungai saat ini dapat diambil dan dimanfaatkan, kajian teknis pemindahan sungai harus dilakukan, maka dilakukan analisis perkuatan lereng akibat pemindahan arus sungai di sekitar area tambang. proses pemindahan sungai sangat tidak mudah, karena terkait dengan stabilitas perlu dilakukan kajian dan

analisis mendalam mengenai kestabilan lereng sungai eksisting maupun sungai yang akan dibuat. Penulisan ini akan merencanakan tentang kestabilan lereng untuk menanggulangi keruntuhan tanah yang bisa menimbun area kerja dibagian bawah lereng sebagai upaya untuk melindungi area kerja dan para pekerja, Salah satu upaya yang ada adalah dengan melakukan perkuatan stabilitas lereng.



**Gambar 1. Area Galian**

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial (Braja M & Das, 2013).

Faktor aman adalah perbandingan gaya tahan dan menggerakkan.

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

Menurut *Mohr-Coulomb*, kekuatan geser ( $\tau$ ) tanah bekerja sepanjang bidang longsornya.

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi_d \quad (2)$$

Kuat geser tanah sepanjang bidang longsor adalah nilai  $c$  dan  $\varphi$ . Formula berikut dapat digunakan untuk menghitung persamaan *Coulomb* dalam bentuk tegangan efektif akibat beban yang bekerja.

$$\tau' = c' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi' \quad (3)$$

Kohesi ( $c'$ ) dan sudut geser dalam ( $\varphi'$ ) yang terjadi atau diperlukan untuk menjaga keseimbangan di bidang longornya. Persamaan berikut diperoleh dengan mengganti persamaan (1) dengan persamaan (2) dan (3):

$$F = \frac{c + \sigma \operatorname{tg} \varphi}{c' + \sigma \operatorname{tg} \varphi'} \quad (4)$$

Faktor aman terhadap masing-masing kondisi yaitu kondisi tanpa rembesan dan kondisi rembesan dapat dinyatakan dalam:

$$F = \frac{c}{\gamma H \operatorname{Cos}^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi} \quad (5)$$

$$F = \frac{c}{\gamma_{sat} H \operatorname{Cos}^2 \alpha \tan \alpha} + \frac{\tan' \varphi}{\tan_{sat} \varphi} \quad (6)$$

## 2.2 Kriteria Pembebanan

Analisis stabilitas pada lereng harus mempertimbangkan beban yang bekerja di atasnya (Beban hidup, mati dan gempa). Beberapa kriteria pembebanan dijelaskan berikut ini:

- 1) Beban gempa, jika lereng galian atau timbunan akan dibangun di area dengan kriteria kepentingan strategis, maka faktor keamanan harus lebih besar dari 1,1 (kondisi gempa).
- 2) Beban lalu lintas diatur menurut kelas jalan. Kelas jalan I, beban lalu lintas ditetapkan sebesar 15 kPa; kelas jalan II dan III, beban lalu lintas ditetapkan sebesar 12 kPa; dan untuk kelas jalan di luar jalan, beban lalu lintas ditetapkan sebesar 10 kPa untuk kelas jalan secara keseluruhan.
- 3) Perencanaan lereng dan galian serta timbunan harus mempertimbangkan tegangan vertikal dan horizontal.
- 4) Umur rencana struktur dipengaruhi oleh evaluasi berdasarkan situasi jangka pendek atau panjang.
- 5) Keluaran deformasi mencakup penurunan jangka pendek, jangka panjang, deformasi baik vertikal maupun horisontal, serta dampak terhadap struktur sekitarnya.

## 2.3 Kriteria Faktor Keamanan

Berdasarkan (Standar Nasional Indonesia, 2017) Rekomendasi untuk nilai *safety factor* pada lereng batuan yaitu untuk kondisi lereng dengan batuan permanen adalah 1,5, sedangkan kondisi lereng dengan batuan sementara adalah 1,3. Nilai faktor keamanan lereng tanah harus memenuhi syarat-syarat berikut:

- 1) Struktur dengan kondisi ketidakpastian rendah sebesar 1,25 dan biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan.

- 2) Struktur dengan biaya perbaikan dan biaya tambahan serta tingkat ketidakpastian kondisi analisis tinggi memiliki faktor keamanan sebesar 1,5.
- 3) Struktur dengan tingkat ketidakpastian kondisi analisis rendah sebesar 1,5 dan biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan.
- 4) Struktur dengan tingkat ketidakpastian kondisi analisis yang tinggi dan biaya perbaikan yang lebih besar daripada biaya tambahan memiliki nilai faktor keamanan sebesar 2,0.

#### 2.4 Metode Analisis Numerik

Metode analisis numerik menggunakan model sistem pembebanan total untuk kondisi statik, pseudo-statik, dan dinamik. Untuk berbagai karakteristik elatisitas material, heterogenitas massa tanah, dan bentuk geometri, hasil analisis elemen hingga dapat mencakup perubahan tegangan dan regangan. Dalam analisis pseudostatik, efek gempa digambarkan melalui percepatan horizontal dan atau vertikal. (ARDHI dkk., 2017).

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Kondisi Geologi

Secara umum geologi daerah sekitar Kabupaten Lahat dapat dikelompokkan menurut jenis dan umur batuan, dari tua sampai muda dengan penjelasan:

- 1) Batuan sedimen, Formasi Seping Pile dan Formasi Linsing merupakan batuan tertua yang tersingkap di Kabupaten Lahat, dimana kedua formasi ini mempunyai hubungan stratigrafi jari yaitu batugamping awal atau Formasi Seping Pile tersusun dari batugamping terumbu, calsirudite, chalkenite, marmer, membentuk wilayah tengah atau perbatasan antara distrik Lahat dan Kikim. Formasi lingsing terdiri dari batulempung, lanau, dan kalsitit, dengan sisipan batupasir dan kutub rinjang yang mengarah ke arah barat-timur.
- 2) Kikisan erosi yang berlangsung dari kuartar hingga saat ini, menyebabkan endapan permukaan sungai yang terdiri dari pasir, lanau, lempung, dan lumpur.
- 3) Lipatan adalah bentuk geologi yang tumbuh di kabupaten Lahat. Sesar dan kekar dibuat dari kapur tengah-tesier karena aktivitas tektonik.

#### 3.2 Data Topografi

Pemilihan Bangunan Penahan sebagai penambatan pergerakan massa tanah untuk tipe longsor diperlukan konstruksi yang sesuai dengan mempertimbangkan berbagai kondisi

mulai dari pemicu longsor, kondisi geologi dan tanah/batuan, morfologi dan topografi lahan (terrain). Geometrik lereng dibuat dengan melihat potongan melintang berdasarkan hasil analisis topografi. Dari potongan-potongan tersebut dipilih lereng yang dapat mewakili bentuk umum lereng yang akan dijadikan dasar pembuatan model geometrik lereng.

Pada penyelidikan yang dilakukan diperoleh gambaran tentang karakteristik permukaan, lapisan tanah dan batuan pada daerah tinjauan, karakteristik yang dimaksud adalah parameter-parameter berupa jenis tanah asli hasil analisis data sehingga diperoleh gambaran umum tentang kondisi topografi tanah pada lokasi penyelidikan

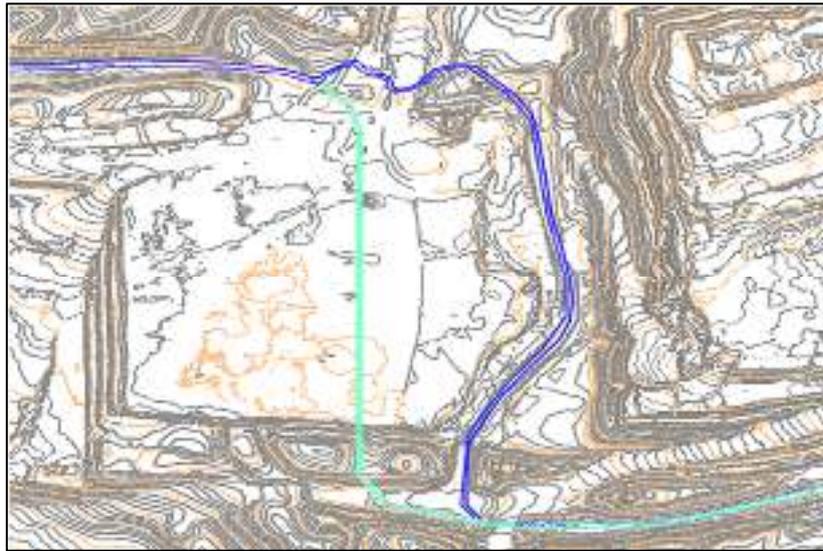
### 3.3 Statigrafi

Data tanah dibutuhkan untuk menganalisis stabilitas lereng pada lereng tambang. Dalam penyelidikan pekerjaan ini terdapat 20 titik penyelidikan tanah pengujian Sondir/CPT. Dari data tanah tersebut dapat diketahui Statigrafi tanahnya. Statigrafi Tanah merupakan ilustrasi lapisan tanah yang memberikan informasi mengenai karakteristik tanah pada lokasi pekerjaan. Gambaran umum lapisan tanah pada lokasi.

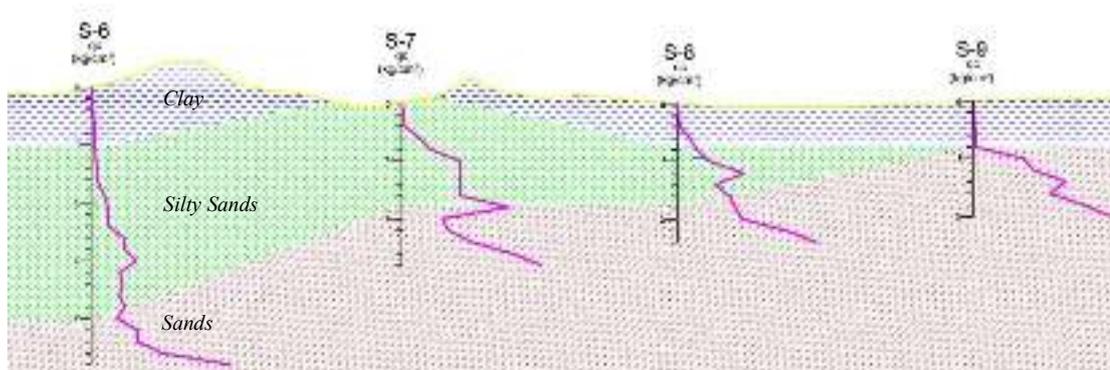
### 3.4 Pemodelan Lereng

Nilai faktor keamanan yang diperlukan adalah 1,5 dalam situasi di mana kestabilan lereng memenuhi persyaratan keamanan. Program elemen hingga ini digunakan untuk mengevaluasi stabilitas dan deformasi pada kondisi saat ini. Penanganan geoteknik di lokasi longsor akan diputuskan berdasarkan hasil analisis kondisi yang ada. Analisis eksisting dilakukan di area disposal, Geometri pemodelan didasarkan pada data topografi untuk desain potongan melintang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.

Tabel 1 menunjukkan data parameter tanah yang digunakan pada proses analisis stabilitas lereng dalam pemodelan lokasi penelitian ini. Keadaan saat ini dengan model tanah *Mohr-Coulomb*.



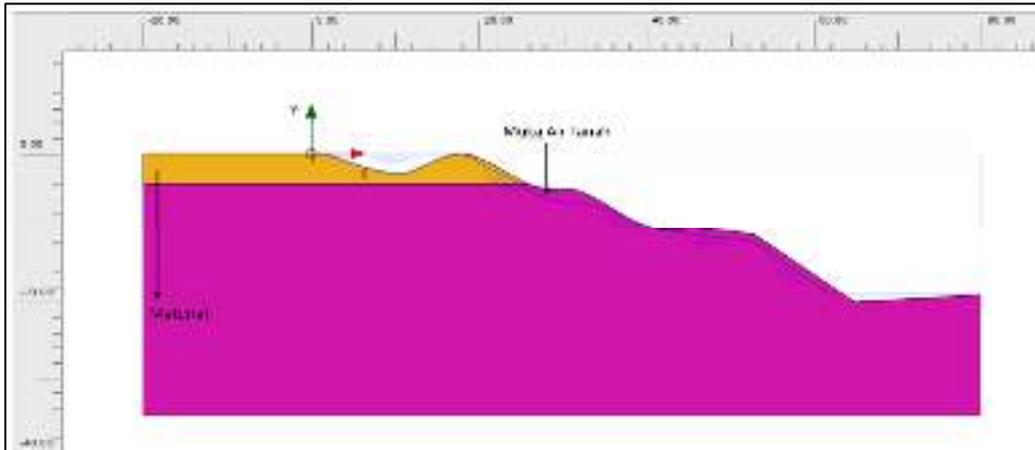
Gambar 2. Layout Kontur Galian dan Timbunan



Gambar 3. Statigrafi Tanah

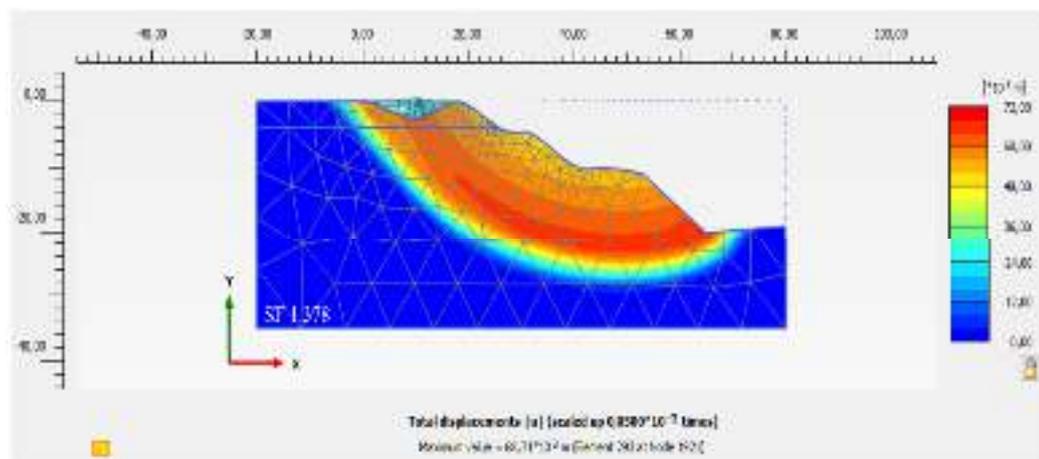
Tabel 1. Parameter Tanah

No	Jenis Tanah	$\mu$	E (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$	C (kN/m <sup>2</sup> )	K
1	Galian Titik S-6 - S-9							
	Clays	0.2	1500	17	17	29	6	10 <sup>-5</sup>
	Silty sands	0.3	10000	18	20	20	30	10 <sup>-2</sup>
	sands	0.3	35000	19	21	21	40	10 <sup>-2</sup>
2	Timbunan 1 Titik S-4 - S-20							
	Clays	0.2	1500	17	17	19	5	10 <sup>-5</sup>
	Clayey Silts	0.3	10000	17	17	40	37	10 <sup>-2</sup>
3	Timbunan 2 Titik S-2 - S-18							
	clays	0.2	1500	17	17	21	8	10 <sup>-5</sup>
	Sandy silts	0.3	10000	17	20	34	22	10 <sup>-3</sup>
	Silty sands	0.3	35000	18	20	40	32	10 <sup>-2</sup>



**Gambar 4. Kondisi Sungai Eksisting**

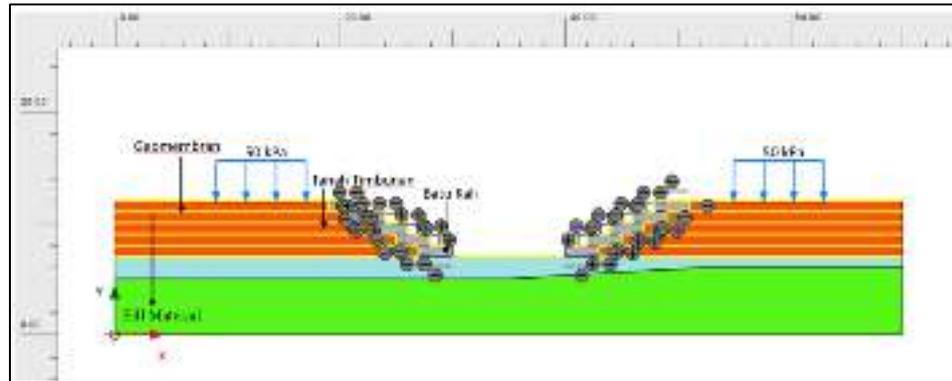
Hasil uji laboratorium seperti volume tanah basah ( $\gamma_{\text{sat}}$ ), kohesi ( $c$ ), sudut geser ( $\phi$ ) digunakan sebagai input pada pemodelan lereng. Hasil analisis kondisi eksisting lereng ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapat nilai faktor keamanan ( $M_{\text{sf}}$ ) sebesar 1,38.



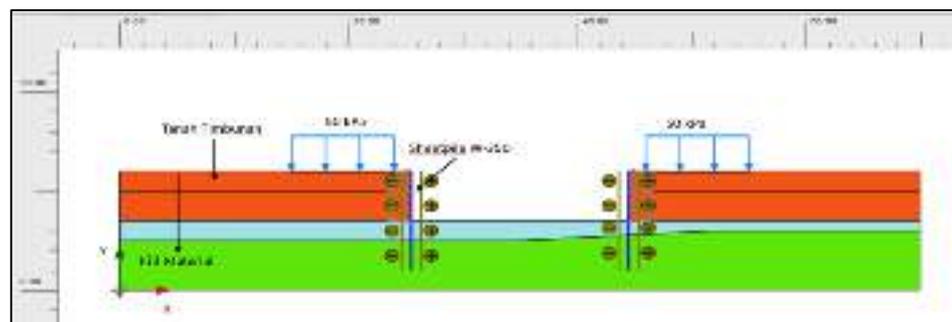
**Gambar 5. Hasil Analisis Kondisi eksisting**

### 3.5 Desain Penanganan Longsor

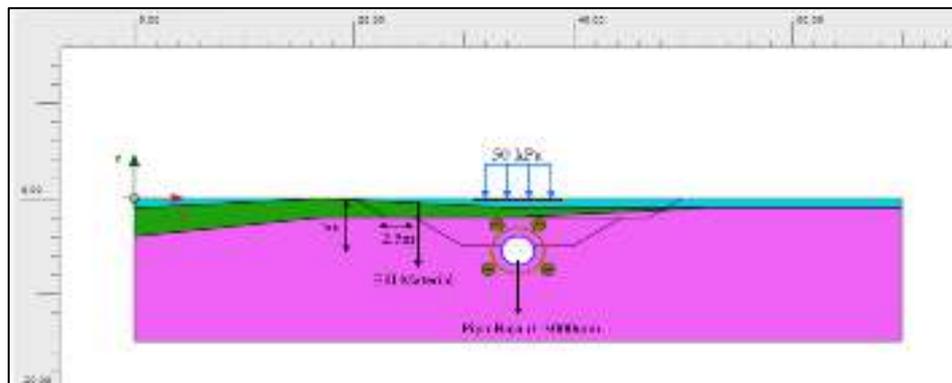
Hasil analisis kondisi saat ini menunjukkan bahwa lereng tidak memenuhi persyaratan keamanan. Prosedur yang tepat diperlukan untuk menciptakan kondisi keamanan pada lereng tersebut. Dilakukan analisis serta pemodelan untuk mencari metode perancangan yang paling sesuai dan ideal. Bronjong, *sheet pile*, dan pipa baja adalah alternatif penanganan lereng yang dimodelkan dalam studi ini (pemodelan dapat dilihat pada Gambar 6 sampai Gambar 8).



Gambar 6. Pemodelan Pemasangan Bronjong



Gambar 7. Pemodelan Pemasangan Sheet Pile



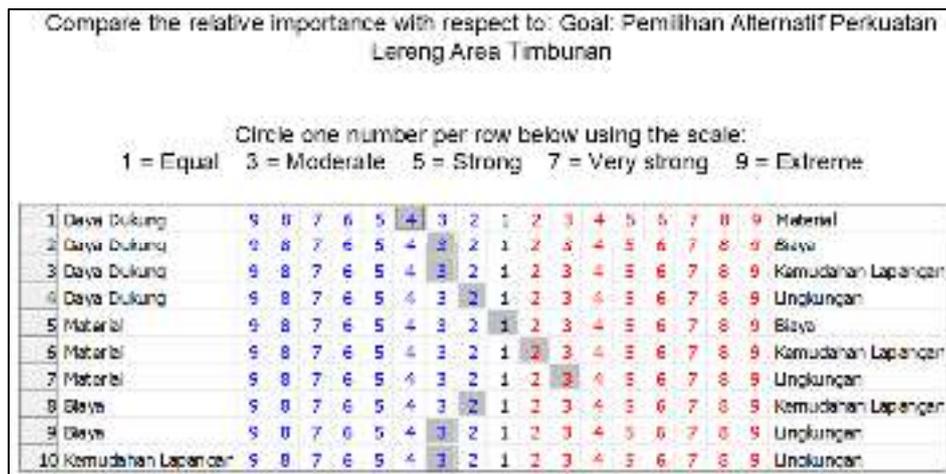
Gambar 8. Pemodelan Pemasangan Pipa Baja

### 3.6 Analisis Pemilihan Perkuatan Lereng

Pemilihan alternatif perkuatan lereng yang akan digunakan dalam penanganan longsor pada area timbunan yaitu dengan menggunakan metode *Analytica Hierarchy Process (AHP)* dengan bantuan *software Expert Choice 11*. Thomas L. Saaty menciptakan *Analytical Hierarchy Process (AHP)*, yang digunakan untuk menggabungkan masalah yang kompleks dengan banyak faktor atau kriteria menjadi suatu hiraki.

Langkah pertama dalam penentuan alternatif perkuatan lereng area timbunan yaitu mendefinisikan masalah dan menentukan tujuan. Dimana tujuan dalam analisis ini sendiri

yaitu mencari alternatif perkuatan lereng pada area timbunan yang paling efektif dari beberapa kriteria yang telah ditentukan (Rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 2). Setelah mendefinisikan masalah dan menentukan tujuan, selanjutnya menentukan prioritas elemen. Dalam menentukan prioritas elemen ini yaitu dengan membandingkan nilai elemen secara berpasangan sesuai kriteria yang ditentukan. Selanjutnya masuk pada *Analytical Hierarchy Process (AHP)* pada software *Expert choice 11*, Dalam analisis yang dilakukan dalam software ini berupa langkah-langkah yang dijelaskan sebelumnya. Adapun hasil analisis menggunakan software *Expert choice 11* adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Perbandingan antara Elemen pada Software Expert Choice 11



Gambar 10. Output Hasil Pemilihan Alternatif perkuatan Lereng

Tabel 2 menunjukkan hasil rekapitulasi analisis perbaikan.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Analisis

No.	Desain Penanganan	Defleksi Maksimal		Defleksi Ijin (cm)	Bending Moment Kondisi Normal		Bending Moment Kondisi Gempa		Gaya Axial (kNm)	Gaya Geser (kNm)	Safety Factor		Keterangan
		Kondisi Normal (cm)	Kondisi Gempa (cm)		Momen Prediksi (kNm)	Momen Kapasitas Crack (kNm)	Momen Prediksi (kNm)	Momen Kapasitas Crack (kNm)			Kondisi Normal	Kondisi Gempa	
1.	Galian												
	Geomembran	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.818	1.616	OK!
2.	Timbunan												
	Sheet Pile W350	3,5	5	5	91.20	138.785	128,2	208,178	0.965	44.83	1.534	1.252	OK!
	Sheet Pile W400	3,3	4,7	5	103.2	197,114	142,1	295,671	2.094	58.92	1.528	1.307	OK!
	Bronjong	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.636	1.357	OK!
3.	Koneksi												
	Gorong - Gorong	1,4	2,2	2,5	-	-	-	-	-	-	2.543	1.735	OK!

Berdasarkan hasil analisis yang ditampilkan pada Tabel 2 dari beberapa Desain Penanganan yang dilakukan baik kondisi normal maupun gempa seluruhnya memenuhi kriteria faktor keamanan yang diijinkan. Selanjutnya terkait desain penanganan yang akan dipilih ditentukan berdasarkan metode AHP.

Setelah dilakukan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) pada software Expert choice 11 maka didapatkan hasil dari pemilihan alternatif perkuatan lereng seperti pada Gambar 7. Dari hasil tersebut diketahui bahwa alternatif perkuatan lereng dengan metode bronjong mendapat point paling besar dibandingkan dengan 2 alternatif perkuatan lainnya pada area timbunan. Maka dalam penelitian ini digunakan perkuatan dengan metode bronjong sebagai alternatif perkuatan pada lereng area timbunan. Penggunaan bronjong dan kombinasinya cukup efektif untuk meningkatkan nilai faktor keamanan (Meiprastyo, 2020).

#### 4. KESIMPULAN

Hasil analisis perancangan perkuatan lereng didapatkan kesimpulan sebagai berikut.:

- 1) Berdasarkan pendekatan data sondir/ cpt titik S6 sampai S9, didapatkan lapisan tanah pada area rencana galian, pada permukaan merupakan material clay, pada kedalaman selanjutnya lapisan didominasi material silty sands dan lapisan paling bawah merupakan lapisan tanah sands.
- 2) Berdasarkan data sondir, pada area rencana timbunan (area pemindahan sungai) material yang mendominasi adalah lapisan clays dan silty sands.
- 3) Debit sungai yang telah diketahui memiliki nilai Q10 adalah  $36.86 \text{ m}^3/\text{dtk}$  serta untuk Q25 adalah  $43.70 \text{ m}^3/\text{dtk}$  dengan kemiringan sungai 0.00266 sehingga didapat kecepatan aliran sebesar 2.05 m/s
- 4) Hasil analisis yang dilakukan pada sungai eksisting didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1.378 artinya harus dilakukan opsi lain dalam penanganan lereng salah satunya yaitu memindahkan sungai.
- 5) Hasil analisis pada area galian didapatkan nilai faktor keamanan yang cukup baik, nilai faktor keamanan dengan dan tanpa perkuatan didapatkan masing-masing sebesar 1.792 dan 1.818 pada keadaan normal dan untuk keadaan gempa didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1.616, nilai tersebut memenuhi kriteria keamanan lereng yang disyaratkan, yaitu  $> 1.5$  keadaan normal dan  $> 1,1$  untuk keadaan gempa menurut (SNI 8460:2017).

- 6) Hasil analisis terhadap lereng timbunan dengan beberapa perkuatan seperti bronjong dan sheetpile W400 seluruhnya memenuhi kriteria ijin yang diisyaratkan oleh SNI 8460:2017.
- 7) Berdasarkan hasil analisis, terdapat beberapa rekomendasi penanganan pengaman tebing sungai di area pertambangan yaitu:
  - a. Pada area galian menggunakan geomembran sebagai perkuatan, karena memenuhi syarat kriteria desain dan mempertimbangkan rembesan di area disposal.
  - b. Pada area timbunan pemilihan perkuatan menggunakan metode AHP, diperoleh alternatif perkuatan lereng menggunakan bronjong dengan nilai faktor keamanan sebesar 1,636 pada kondisi normal dan 1,357 pada kondisi gempa.
  - c. Pada saluran koneksi menggunakan pipa baja karena dibawahnya terdapat aliran air serta diatasnya dibuat untuk jalur kendaraan, didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 2,543 untuk kondisi normal dan 1,735 untuk kondisi gempa.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Ardhi, H. A., Azizi, M. A., Marwanza, I., Hartami, P. N., Nugroho, B., & Saptono, S. (2017). Perbandingan analisis stabilitas lereng metode kesetimbangan batas dengan metode elemen hingga menggunakan pendekatan probabilistik. *Proceeding Seminar Nasional Geomekanika IV*.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah. (2005). *Pengenalan Gerakan Tanah*. Esdm.
- Braja M, & Das. (2013). *Principles of Geotechnical Engineering*. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Cengage learning.
- Christady, H. H. (2012). *Tanah Longsor dan Erosi*. In Gajah Mada University Press. Gadjah Mada University Press.
- Hoffmans, G., & Verheij, H. J. (1997). *Scour manual*. Rotterdam. Brookfield: AA Balkema Publisher.
- Standar Nasional Indonesia. (2017). SNI 8460: 2017; Perancangan Geoteknik.
- Meiprastyo, X., Hadinagoro. R. I. R., Arifi, A. M., & Zulfikar, R. 2020. "Analisis Kestabilan Lereng dan Penanganan Longsor Area Puncak Pass Cianjur STA 20+650, Jawa Barat Menggunakan Program Plaxis," *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik.*, vol. 19, no. 2, pp. 90–99, 2020, doi: 10.26874/jt.vol19no02.152.