

ANALISIS KESTABILAN LERENG DAN RANCANGAN GEOMETRI DISPOSAL PADA PT. PROLINDO CIPTA NUSANTARA

Yudho Dwi Galih Cahyono ^{1*)}, Dandi Gusti Ode ¹⁾ Eko Budi Saputro ¹⁾

¹⁾ Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

*E-mail: galih.1453@itats.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan awal dari proses penambangan PT. Prolindo Cipta Nusantara adalah pengupasan lapisan tanah penutup untuk itu di butuh *disposal* untuk menampung material *overburden* dari *pit*. Metode yang digunakan dalam menentukan dan menganalisis permasalahan adalah metode kesetimbangan batas khususnya metode *Morgenstern Price* yang dibantu dengan *software Side 6.0* untuk membuat permodelan lereng *disposal* serta menganalisis faktor keamanan lereng *disposal*. Sedangkan kriteria keruntuhan yang digunakan adalah kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb*. Hasil penelitian ini adalah membuat rekomendasi lereng *disposal* yang aman dan stabil untuk menampung material *overburden* dari *pit*, lereng *disposal* yang direkomendasikan adalah rancangan *disposal overall slope* dalam kondisi natural dengan geometri lereng tunggal, tinggi 10 meter dan sudut kemiringan 35 derajat, sedangkan untuk geometri lereng *overall* dengan tinggi 90 meter dan sudut kemiringan 10 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan 1.302 dan rancangan lereng *disposal* dalam kondisi jenuh dengan geometri lereng tunggal, tinggi 10 meter dan sudut kemiringan 30 derajat, sedangkan untuk geometri lereng *overall* dengan tinggi 84 meter dan sudut kemiringan 9 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan 1.257.

Kata Kunci: Kestabila Lereng, Faktor Keamanan, Disposal, Tanah Penutup

ABSTRACT

The initial activity of the mining process of PT. Prolindo Cipta Nusantara is stripping the overburden layer for that, disposal is needed to accommodate overburden material from the pit. The method used in determining and analyzing the problem is the limit equilibrium method, especially the Morgenstern Price method assisted by Side 6.0 software to create a disposal slope model and analyze the safety factor of the disposal slope. While the failure criteria used are the Mohr-Coulomb failure criteria. The results of this study are to make recommendations for safe and stable disposal slopes to accommodate overburden material from the pit, the recommended disposal slope is the overall slope disposal design in natural conditions with a single slope geometry, a height of 10 meters and a slope angle of 35 degrees, while for the overall slope geometry with a height of 90 meters and a slope angle of 10 degrees produces a safety factor value of 1.302 and the disposal slope design in saturated conditions with a single slope geometry, a height of 10 meters and a slope angle of 30 degrees, while for the overall slope geometry with a height of 84 meters and a slope angle of 9 degrees produces a safety factor value of 1.257.

Keywords: Slope Stability, Safety Factors, Disposal, Overburden

I. PENDAHULUAN

PT. Prolindo Cipta Nusantara berada di Desa Sebambaru, Kecamatan Sungai Loban, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan dengan izin lahan seluas 350 Hektar. Perusahaan ini bergerak pada usaha pertambangan batubara. Sebagai pemilik izin usaha pertambangan (IUP). PT. Prolindo Cipta Nusantara (PCN) bekerja sama dengan PT. Kalimantan Prima Persada (KPP) sebagai kontraktor atau pihak penambang dan juga bekerja sama dengan Andifa Kharisma Borneo Pratama (AKBP) sebagai pihak transportir. Sistem penambangan yang di lakukan oleh PT. Prolindo Cipta Nusantara yaitu sistem tambang terbuka, dengan metode *strip mine*. Penambangan dengan metode tambang terbuka (*strip mine*) di lakukan dengan pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*) sehingga mengakibatkan berubahnya bentang alam (Prasetyono, Kusdarini, and Cahyono 2020).

Dalam aktivitas penambangan terbuka (*strip mine*) yang berupa pengalihan dan penimbunan akan selalu menghadapi permasalahan kestabilan lereng. Lereng yang di maksud disini adalah lereng *disposal* atau lereng timbunan lapisan tanah penutup (Cahyono 2022; Hardianto and Heriyadi 2019). Lereng tersebut perlu di analisis kestabilannya untuk mencegah

bahaya longsor di waktu-waktu yang akan datang karena ini menyangkut keselamatan kerja, keamanan peralatan dan benda lainnya, serta keberlangsungan produksi (Harabinová et al. 2021).

Kondisi lereng PT. PCN pada bagian *low wall* yang telah selesai dilakukan penambangan akan digunakan sebagai disposal untuk tempat penampungan *overburden*, maka perlu dilakukan kajian geoteknik untuk mendukung kestabilan lereng yang stabil pada area disposal ini, kemudian membuat rekomendasi yang mampu menampung material *overburden* dengan aman/stabil (Bai et al. 2022; M. J. Rahman et al. 2022; Singh and Narzary 2021).

Rancangan lereng disposal perlu dilakukan karena keberhasilan dalam proses penambangan turut ditentukan oleh adanya acuan desain yang optimis dan kondisi kerja yang aman dan lancar pada area disposal. Dalam merancang dan menganalisis kestabilan desain lereng disposal dalam kondisi natural mengikuti acuan KEPMEN ESDM Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 (RI 2018), nilai faktor keamanan (FK) yang direkomendasikan untuk lereng keseluruhan adalah 1.3 sedangkan untuk menganalisis kestabilan desain lereng disposal dalam kondisi jenuh mengikuti acuan diagram Hoek and Bray, yang menyatakan bahwa menyatakan bahwa nilai faktor keamanan lereng dalam kondisi jenuh adalah 1,25 (lereng aman) (Wyllie and Mah 2017). Rancangan disposal dalam kondisi jenuh ini di asumsikan keadaan air sampai ke permukaan lereng yang membuat lereng itu jenuh, ini dilakukan untuk mengantisipasi kejadian terburuk saat berada di lapangan (Chen et al. 2024; Dochez et al. 2013; Pan et al. 2020).

Untuk merancang disposal diperlukan manajemen lapisan tanah penutup (*overburden*) yang dihasilkan dari kegiatan penambangan. Permasalahan permasalahan yang ada dalam manajemen hasil pengupasan tanah penutup ini perlu adanya perencanaan secara sistematis mengenai Analisis Kestabilan Lereng dan Rancangan Geometri Lereng Disposal dengan penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kestabilan lereng disposal serta merancang disposal yang sesuai dan mampu menampung hasil pengupasan *overburden* dengan stabil/aman.

II. METODE PENELITIAN

Dalam kegiatan analisis kestabilan lereng disposal akan dilakukan beberapa aktifitas seperti menentukan kondisi profil topografi lereng yang berfungsi untuk mengetahui geometri lereng aktual, sifat fisik dan mekanik lereng serta kriteria keruntuhan yang digunakan. Dalam penelitian ini kriteria keruntuhan yang digunakan adalah kriteria keruntuhan Mohr-Culoumb. Berikut ini adalah tahapan yang digunakan untuk melakukan rancangan lereng pada area disposal yang aman.

1. Tahapan Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan kegiatan studi pendahuluan yang bertujuan mengumpulkan informasi awal yang berkaitan dengan analisis kestabilan lereng disposal. Informasi tersebut didapatkan dari literatur yang membahas tentang analisis kestabilan lereng disposal maupun kestabilan lereng secara umum. Literatur tersebut berupa karya ilmiah tentang analisis kestabilan lereng disposal maupun penelitian yang komperhensif yang membahas tentang kestabilan lereng disposal.

2. Tahapan Penelitian

Kegiatan yang dilakukan pada tahap penelitian ini adalah melakukan observasi langsung di lapangan untuk mengenal kondisi aktual di area penelitian yang bertujuan untuk melakukan pengambilan data primer. Data-data yang di ambil secara langsung di lapangan yaitu kondisi lereng disposal pada Lokasi penelitian dan beban alat yang bekerja pada daerah penelitian (area disposal).

3. Tahapan Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data, metode yang digunakan adalah metode kestimbangan batas. Metode ini relatif sederhana, mudah digunakan, serta telah terbukti dalam praktik rekayasa selama bertahun-tahun. Pada metode ini, perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan pada lereng (A. U. Rahman et al. 2023; Yunhong and Liang 2023). Asumsi lainnya, yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh, harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu. Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks faktor keamanan. Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya, kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut, tergantung metode perhitungan yang dipakai. Dalam penelitian ini, metode perhitungan faktor keamanan yang digunakan adalah metode Morgenstern-Price.

Metode ini adalah salah satu metode yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh Morgenstern dan Price pada tahun 1965 (Rofikun et al., 2019; Sun et al., 2016), Dimana proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada setiap irisan dari bidang kelongsoran lereng tersebut baik gaya. Dalam metode ini, dilakukan asumsi penyederhanaan untuk menunjukkan hubungan antara gaya geser di sekitar irisan (X) dan gaya normal di sekitar irisan (E) dengan persamaan :

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \dots\dots\dots (1)$$

Dimana $f(x)$ adalah asumsi dari sebuah nilai suatu fungsi dan λ adalah suatu factor pengali yang nilainya akan diasumsikan dalam perhitungan ini. Nilai dari asumsi yang tidak diketahui dalam metode Morgenstern-Price yaitu factor of safety (F), faktor pengali (λ), gaya normal yang bekerja pada dasar.

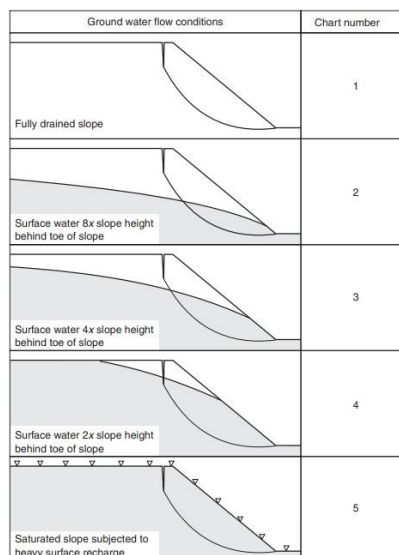
Sedangkan kriteria keruntuhan yang digunakan adalah kriteria keruntuhan *Mohr-Culomb*. Kriteria keruntuhan *Mohr-Culomb* merupakan keruntuhan geser suatu batuan yang tergantung pada kohesi material dan besarnya tegangan normal yang bekerja pada dinding keruntuhan tersebut (Lin et al. 2014). Oleh karena itu kriteria *Mohr – Coulomb* didefinisikan sebagai berikut :

$$\tau = C + \sigma \tan \Phi \dots\dots\dots (2)$$

Kemudian untuk kondisi muka air tanah pada penelitian ini menggunakan kriteria yang dikemukakan oleh Hoek and Bray yang membagi kondisi muka air tanah menjadi 5 kondisi anatara lain :

- a. Kondisi air tanah nomor 1 yaitu kering
- b. Kondisi air tanah nomor 2 (dua) yaitu air permukaan 8 kali dari ketinggian lereng di belakang *toe* dari *slope*.
- c. Kondisi air tanah nomor 3 (tiga) yaitu air permukaan 4 kali dari ketinggian lereng di belakang *toe* dari *slope*.
- d. Kondisi air tanah nomor 4 (empat) yaitu air permukaan 2 kali dari ketinggian lereng di belakang *toe* dari *slope*.
- e. Kondisi air tanah nomor 5 (lima) yaitu jenuh.

Kondisi air tanah yang diambil dalam simulasi rancangan lereng adalah kondisi nomor 2 dengan kondisi air permukaan 8 kali dari ketinggian lereng dibelakang *toe* dari *slope* dan kondisi no 5 yaitu kondisi jenuh. Kondisi air tanah ditunjukkan pada **Gambar 1** berikut ini.



Gambar 1. Kondisi air tanah berdasarkan grafik Hoek and Bray (1981)

Selanjutnya data-data yang telah terkumpulkan kemudian diolah dengan bantuan perangkat lunak (software). Adapun *tools* yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng disposal:

1). Data Topografi Lereng

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan bantuan perangkat lunak yaitu *Software Minescape 5.7* untuk membuat penampang atau sayatan 2 dimensi pada area disposal (lokasi penelitian) menggunakan data topografi.

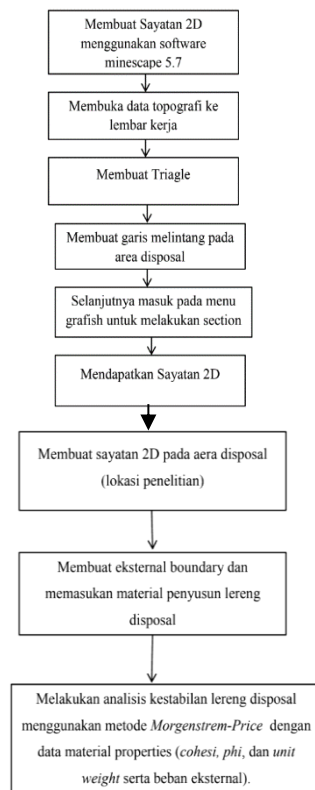
2). Data Stratigrafi

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan *Software AutoCAD 2007* yang dapat membantu membuat geometri lereng dan menentukan litologi/material penyusun lereng disposal, data yang dimasukkan untuk analisis yaitu : Geometri lereng, data sifat fisik dan mekanik batuan, serta data beban alat yang bekerja pada area disposal.

3). Desain Geoteknik

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan *Software Slide 6.0* yang dapat membantu menentukan perhitungan kestabilan lereng disposal.

Langkah kerja dalam pembuatan penampang topografi area disposal dan desain geoteknik dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut ini.



Gambar 2. Langkah Kerja Pembuatan Data Topografi dan Desain Lereng Disposal

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan pada lereng disposal area penelitian, kondisi aktual dilapangan terdapat beberapa bidang diskontinu dan adanya beberapa genangan air yang dapat mempengaruhi stabilitas lereng disposal, dimana kondisi tersebut dapat memperbesar pergerakan lereng dan memperkecil gaya penahan yang bekerja pada lereng tersebut. Kondisi area disposal pada daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3** berikut ini.



Gambar 3. Kondisi Disposal Daerah Penelitian.

3.1 Data Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Data sifat fisik dan mekanik batuan diperoleh dari material yang diambil di area disposal. Data material disposal akan diolah untuk mengetahui sifat dan karakteristik massa batuan yang berfungsi untuk parameter dalam analisis kestabilan lereng disposal nantinya. Data lapisan material *overburden* penyusun lereng yang pada daerah penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Material Properties Penyusun Lereng Disposal

Tanda Warna	Litologi	Density (kN/m ³)		Cohesion (kPa)		Internal Friction Angle (°)	
		Natural	Saturated	Peak	Residu	Peak	Residu
	Siltstone	17	18.3	165	121	28	24
	Sandstone	18.35	19	169	119	28	23
	Claystone	21	22	178	138	29	24
	Material disposal	17		12		10	

Sumber : Departement Engineering PT PCN dan PT KPP (2024)

Pada **Tabel 1** di atas merupakan hasil analisis sifat fisik dan mekanik batuan pada *pit* tambang yang nantinya menjadi material yang akan di timbun pada area disposal. Nilai sifat mekanis yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng disposal merupakan nilai residu, karena mengacu pada perubahan jenis material. Pada *pit* sendiri memiliki tiga lapisan material *overburden* atau material yang akan menjadi material timbunan yaitu *siltstone*, *sandstone*, dan *claystone* yang memiliki nilai sifat dan karakteristik yang berbeda-beda setiap lapisan. Sedangkan pada area disposal sudah ada material disposal yang menjadi basenya.

3.2 Beban eksternal yang dihasilkan oleh alat mekanis

Pada hasil penelitian, faktor eksternal yang akan berpengaruh pada kestabilan lereng area disposal adalah alat-alat mekanis yang akan bekerja pada area disposal. Alat mekanis yang bekerja pada area disposal ada dua jenis yaitu : alat angkut *overburden* dari *pit* tambang menggunakan HD komatsu 785 dan alat gusur menggunakan *Bulldozer* D375. Alat-alat mekanis tersebut yang akan bekerja secara kontinu pada area disposal nantinya. Untuk beban dari alat mekanis tersebut di dapatkan dari spesifikasi alat yang di gunakan adalah berat saat bekerja. Dan setelah di lakukan penelitian, nilai beban eksternal yang di hasilkan oleh alat mekanis harus berupa Kn/m yang di dapatkan dari konversi dari ton ke kN/m². Data beban alat didapatkan dari spesifikasi alat mekanis yang bekerja pada area disposal. Data beban alat mekanis dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Beban Eksternal

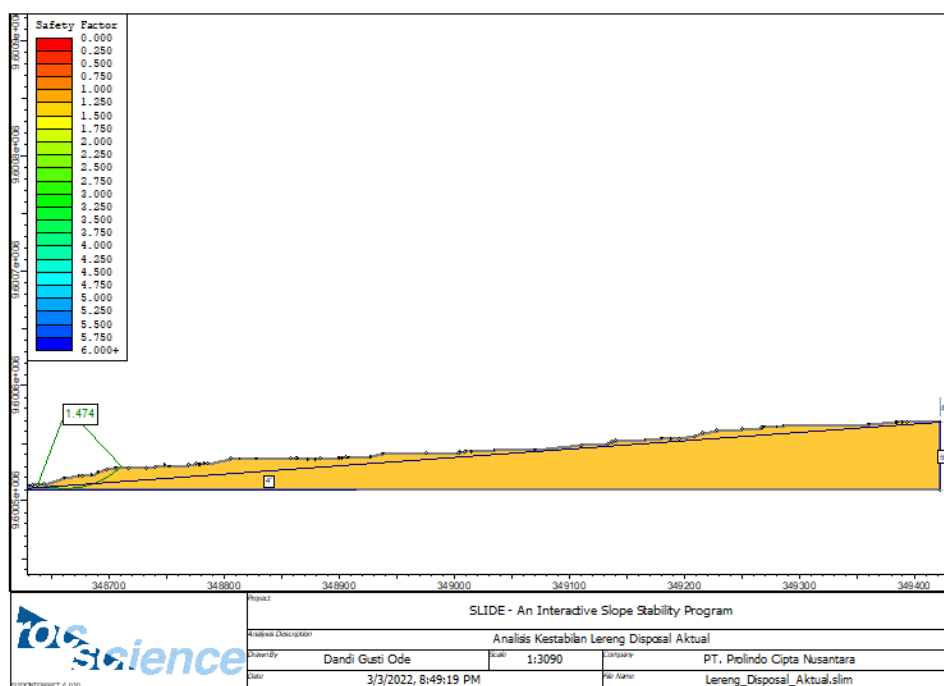
Aktivitas	Jenis/Tipe	Kapasitas	Beban yang dihasilkan
Pengangkutan <i>Overburden</i>	HD 785	Vessel 60 m ³	1686 Kn/m ²
Penggusuran <i>Overburden</i>	<i>Bulldozer</i> Komatsu D 375	Blade 18,5 m ³	702 Kn/m ²

Sumber : Hasil penelitian, 2024

3.3 Analisis kestabilan lereng disposal aktual

Analisis kestabilan lereng disposal aktual ini perlu dilakukan untuk mengetahui kestabilannya sebagai dasar dalam merancang disposal baru. Analisis kestabilan lereng pada disposal menggunakan kriteria keruntuhan *mohr-Coulomb*. Kriteria ini dipilih karena menggunakan prinsip tegangan geser yang terjadi pada lereng dimana prinsip ini sesuai dengan keruntuhan lereng yang umumnya disebabkan karena adanya tegangan geser yang terdapat pada lereng. Analisis kestabilan lereng disposal aktual dibuat berdasarkan data topografi aktual yang di dapatkan dari perusahaan, kemudian membuat sayatan pada area disposal aktual, selanjutnya membuat geometrinya. Setelah didapatkan geometri lereng

disposal aktual, selanjutnya perlu adanya analisis kestabilan lereng disposal aktual yang di bantu dengan bantuan *software* yang mampu memodelkan dan menganalisis kestabilannya. Parameter yang di input untuk menganalisis kestabilan lereng disposal aktual adalah data geometri dan data karakteristik dari material disposal yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Pada geometri lereng *overall* memiliki tinggi 59 mater dengan sudut kemiringan 4 derajat.



Gambar 4. Hasil Analisis Kestabilan Lereng Disposal Aktual.

Berdasarkan hasil permodelan dari analisis kesetimbangan batas yang dibantu dengan *software rockscience slide 6.0* dengan menggunakan metode *Morgenstern-Price* dan kriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb*. Hasil analisis kestabilan lereng disposal aktual diketahui bahwa geometri lereng dengan tinggi *overall* sebesar 59 meter dan sudut keseluruhan sebesar 4° yang dapat di lihat pada **Gambar 5** lereng tersebut memiliki faktor keamanan minimum sebesar 1.302 berdasarkan nilai ini lereng disposal aktual berada dalam kondisi stabil atau aman terhadap longsoran, dan aman untuk dilakukan penimbunan kembali sebagai tempat untuk menampung material *overburden*.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Analisis Kestabilan Rancangan Lereng Disposal

No.	Kondisi	Tinggi Lereng (m)		Lebar Lereng (m)		Sudut Lereng($^{\circ}$)		FK	Keterangan
		Single	Overall	Single	Overall	Single	Overall		
1.	Natural	10	96	3	25	40	11	1.019	Tidak aman untuk direkomendasikan
2.	Natural	10	90	3	25	35	10	1.302	Aman
3.	Setengah jenuh	10	84	3	25	30	9	1.304	Aman
4.	Jenuh	10	84	3	25	30	9	1.257	Aman

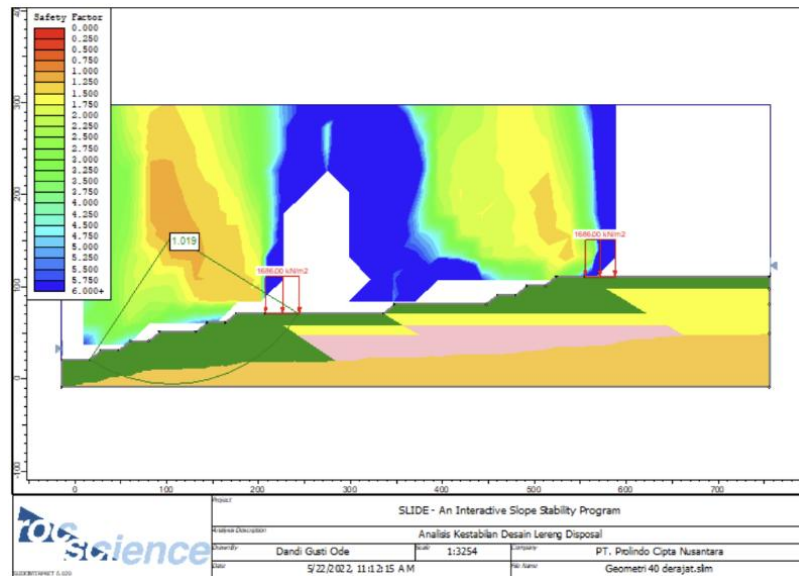
Sumber : Hasil Penelitian 2024

3.4 Rekomendasi Rancangan Lereng Disposal

1. Rancangan Lereng dalam kondisi Natural

Yang di maksud kondisi natural di sini adalah material *overburden/interburden* aktual dari *pit* penambangan yang belum terkontaminasi dengan air hujan dan sebagainya. Berdasarkan hasil permodelan analisis kestabilan rancangan lereng disposal dalam kondisi natural (**Gambar 5**) diketahui bahwa geometri lereng tunggal, tinggi 10 meter dan sudut

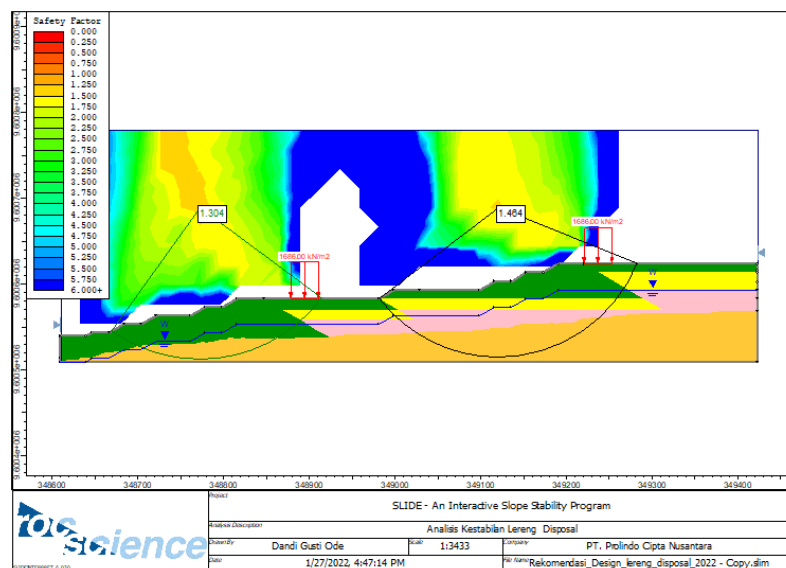
kemiringan lereng 35 derajat, sedangkan untuk geometri lereng *overall* dengan tinggi 90 meter dan sudut kemiringan lereng 10 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan minimum yang di dapatkan dari hasil analisis yaitu $FK = 1.302$ berdasarkan nilai tersebut rancangan lereng disposal dalam kondisi natural berada dalam kondisi stabil/aman.



Gambar 5. Hasil Analisis Kestabilan Rancangan Lereng Disposal Dalam Kondisi Natural.

2. Rancangan Lereng dalam kondisi setengah jenuh (kondisi air tanah 8 kali dari ketinggian lereng dibelakang *toe* dari *slope*)

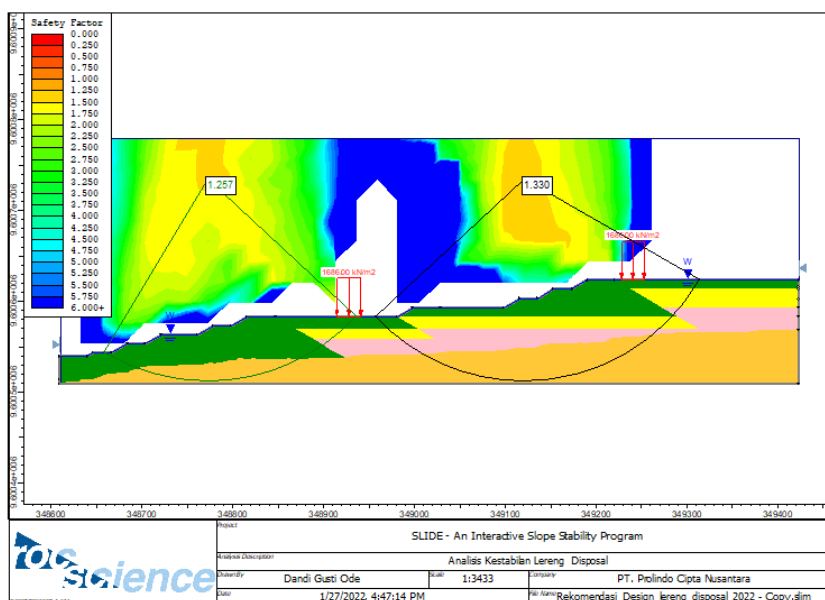
Analisis kestabilan lereng disposal ini, diasumsikan disposal dalam kondisi setengah jenuh, artinya ketinggian air tanah di anggap tingginya setengah dari tubuh lereng disposal. Berdasarkan hasil permodelan analisis kestabilan rancangan lereng disposal dalam kondisi setegah jenuh diketahui bahwa geometri lereng tunggal, tinggi 10 meter dan sudut kemiringan lereng 30 derajat, sedangkan untuk geometri lereng *overall* dengan tinggi 84 meter dan sudut kemiringan lereng 9 derajat menghasilkan nilai faktor keamanan minimum yang didapatkan dari hasil analisis yaitu $FK = 1.304$ berdasarkan nilai tersebut rancangan lereng disposal dalam kondisi setengah jenuh berada dalam kondisi stabil/aman.



Gambar 6. Hasil Analisis Kestabilan Rancangan Lereng Disposal dalam Kondisi Setengah Jenuh.

3. Rancangan Lereng dalam kondisi Jenuh

Analisis kestabilan lereng disposal ini, diasumsikan disposal dalam kondisi jenuh, artinya ketinggian air tanah di anggap sampai ke permukaan disposal. Berdasarkan hasil permodelan analisis kestabilan rancangan lereng disposal dalam kondisi jenuh (**Gambar 7**) diketahui bahwa geometri lereng tunggal, tinggi 10 meter dan sudut kemiringan lereng 30 derajat, sedangkan untuk geometri lereng *overall* dengan tinggi 84 meter dan sudut kemiringan lereng 9 derajat menghasilkan nilai faktor keaamanan minimum yang di dapatkan dari hasil analisis yaitu $FK = 1.257$ berdasarkan nilai tersebut rancangan lereng disposal dalam kondisi jenuh berada dalam kondisi stabil/aman. Acuan ini berdasarkan diagram Hoek and Bray, yang menyatakan bahwa nilai faktor kermanan lereng dalam kondisi jenuh adalah 1,25 (lereng aman).



Gambar 7. Hasil Analisis Rancangan Lereng Disposal Dalam Kondisi Jenuh.

3.5 DISKUSI

Dari hasil observasi lapangan dan analisis kestabilan lereng disposal aktual, lereng disposal ini sudah stabil untuk dilakukan penimbunan kembali. Analisis kestabilan lereng yang mendasarkan pada faktor keamanan menyatakan bahwa lereng dikatakan aman atau stabil jika nilai faktor keamanan lebih dari 1 (RI, 2018). Pada hasil rekapitulasi rancangan lereng disposal diketahui bahwa pada semua kondisi lereng disposal terdapat 1 rancangan dalam kondisi natural dengan geometri lereng tunggal, tinggi 10 meter dan sudut kemiringan lereng 40 derajat, sedangkan untuk geometri lereng *overall* dengan tinggi 96 meter dan sudut kemiringan lereng 11 derajat mendapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1.019 tidak direkomendasikan dikarenakan lereng disposal ini berada dalam kondisi setimbang, artinya lereng ini sewaktu-waktu akan mengalami longsor yang mengakibatkan bahaya pada pekerja, peralatan maupun terganggunya produksi, selain 1 rancangan itu semua rancangan lereng disposal dengan nilai faktor keamanan dinyatakan dalam kondisi yang aman atau stabil.

IV. KESIMPULAN

Keberadaan air menyebabkan penurunan nilai faktor keamanan pada rancangan lereng disposal, karena material disposal ini merupakan material residu yang sensitif dengan adanya air pada tubuh lereng, untuk itu rancangan lereng ini di buat dengan tiga kondisi yang berbeda dengan geometri yang berbeda juga. Kondisi air yang digunakan merupakan asumsi yang dibentuk berdasarkan kondisi yang diusulkan oleh Hoek and Bray. asumsi kondisi jenuh ini dibuat untuk mencegah kemungkinan terburuk saat berada dilapangan. Berdasarkan hal tersebut direkomendasikan geometri lereng disposal untuk kondisi natural geometri lereng tunggal, tinggi 10 meter dan sudut kemiringan lereng 35 derajat, sedangkan untuk geometri lereng *overall* dengan tinggi 90 meter dan sudut kemiringan lereng 10 deraja, untuk kondisi setengah jenuh geometri lereng tunggal, tinggi 10 meter dan sudut kemiringan lereng 30 derajat, sedangkan untuk geometri lereng *overall* dengan tinggi 84 meter dan sudut kemiringan lereng 9 derajat, sedangkan untuk kondisi jenuh geometri lereng tunggal, tinggi 10 meter dan sudut kemiringan lereng 30 derajat, sedangkan untuk geometri lereng *overall* dengan tinggi 84 meter dan sudut kemiringan lereng 9 derajat.

DAFTAR PUSTAKA

- Bai, Erhu, Wenbing Guo, Yi Tan, Mingjie Guo, Peng Wen, Zhiqiang Liu, Zhibao Ma, and Weiqiang Yang. 2022. "Regional Division and Its Criteria of Mining Fractures Based on Overburden Critical Failure." *Sustainability (Switzerland)*. doi:10.3390/su14095161.
- Cahyono, Yudho Dwi Galih. 2022. "Analisis Kestabilan Lereng Highwall Berdasarkan Tingkat Kejenuhan Dengan Metode Probabilitas Pada Tambang Batubara PT. X Kalimantan Timur." *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan* 5(2): 37. doi:10.31315/jmel.v5i2.5402.
- Chen, Yunjuan, Mengyue Liu, Mengzhen Su, Mingxu Ding, Haolin Li, and Yi Jing. 2024. "Prediction of Water Inflow and Analysis of Surrounding Rock Stability in Unfavorable Geological Mountain Tunnel." *Frontiers in Earth Science*. doi:10.3389/feart.2024.1373627.
- Dochez, Sandra, Farid Laouafa, Christian Franck, Sylvine Guedon, François Martineau, Marion Bost, and Julie D'Amato. 2013. "Influence of Water on Rock Discontinuities and Stability of Rock Mass." *Procedia Earth and Planetary Science*. doi:10.1016/j.proeps.2013.03.191.
- Harabinová, Slávka, Kamila Kotrasová, Eva Kormaníková, and Iveta Hegedúsová. 2021. "Analysis of Slope Stability." *Civil and Environmental Engineering*. doi:10.2478/cee-2021-0020.
- Hardianto, Al, and Bambang Heriyadi. 2019. "Analisis Rancangan Lereng Disposal Area Pit D Pada PT . Aman Tobilah Putra Kabupaten Lahat Provinsi Sumatra Selatan." *Jurnal Bina Tambang* 4(2): 21–30.
- Hoek, E, and J Bray. 1981. 53 *Journal of Chemical Information and Modeling Rock Slope Engineering*. 4th ed. eds. C Duncan Wyllie and W Christopher Mah. London & New York: Spon Press.
- Lin, Hang, Wenwen Zhong, Wei Xiong, and Wenyu Tang. 2014. "Slope Stability Analysis Using Limit Equilibrium Method in Nonlinear Criterion." *Scientific World Journal* 2014. doi:10.1155/2014/206062.
- Pan, Yue, Guang Wu, Zhiming Zhao, and Liu He. 2020. "Analysis of Rock Slope Stability under Rainfall Conditions Considering the Water-Induced Weakening of Rock." *Computers and Geotechnics*. doi:10.1016/j.compgeo.2020.103806.
- Prasetyono, Eka Nurohman Hadi, Esthi Kusdarini, and Yudho Dwi Galih Cahyono. 2020. "Rancangan Pit Penambangan Batubara Pada Pit X Pt. Prolindo Cipta Nusantara, Site Sie Loban, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan." *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan* 2(1): 71–78.
- Rahman, Aftab Ur, Guangcheng Zhang, Salman A. AlQahtani, Hammad Tariq Janjuhah, Irshad Hussain, Habib Ur Rehman, and Liaqat Ali Shah. 2023. "Geotechnical Assessment of Rock Slope Stability Using Kinematic and Limit Equilibrium Analysis for Safety Evaluation." *Water (Switzerland)*. doi:10.3390/w15101924.
- Rahman, Md Jamilur, Manzar Fawad, Jung Chan Choi, and Nazmul Haque Mondol. 2022. "Effect of Overburden Spatial Variability on Field-Scale Geomechanical Modeling of Potential CO2 Storage Site Smeaheia, Offshore Norway." *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. doi:10.1016/j.jngse.2022.104453.
- RI, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. "Kepmen ESDM RI, No. 1827 Tahun 2018." *Nucl. Phys*.
- Rofikun, Ahmad, Raden Irvan Sophian, Zufaldi Zakaria, and Pulung Arya Pranantya. 2019. "Kesetimbangan Batas Deterministik Vs Probabilistik Metode Morgenstern-Price Di Bendungan Nadra, Cilegon." *Padjadjaran Geoscience Journal*.
- Singh, Khomdram Niren, and Diganta Narzary. 2021. "Geochemical Characterization of Mine Overburden Strata for Strategic Overburden-Spoil Management in an Opencast Coal Mine." *Environmental Challenges*. doi:10.1016/j.envc.2021.100060.
- Sun, Guanhua, Shengguo Cheng, Wei Jiang, and Hong Zheng. 2016. "A Global Procedure for Stability Analysis of Slopes Based on the Morgenstern-Price Assumption and Its Applications." *Computers and Geotechnics*. doi:10.1016/j.compgeo.2016.06.014.
- Wyllie, Duncan C., and Christopher W. Mah. 2017. *Rock Slope Engineering: Fourth Edition Rock Slope Engineering: Civil and Mining, 4th Edition*. doi:10.1201/9781315274980.
- Yunhong, Guo, and Zhao Liang. 2023. "Slope Stability Analysis Based on the Coupling of SA and Limit Equilibrium Mechanics." *European Journal of Computational Mechanics*. doi:10.13052/ejcm2642-2085.3221.
- Bai, Erhu, Wenbing Guo, Yi Tan, Mingjie Guo, Peng Wen, Zhiqiang Liu, Zhibao Ma, and Weiqiang Yang. 2022. "Regional Division and Its Criteria of Mining Fractures Based on Overburden Critical Failure." *Sustainability (Switzerland)*. doi:10.3390/su14095161.

- Cahyono, Yudho Dwi Galih. 2022. "Analisis Kestabilan Lereng Highwall Berdasarkan Tingkat Kejenuhan Dengan Metode Probabilitas Pada Tambang Batubara PT. X Kalimantan Timur." *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan* 5(2): 37. doi:10.31315/jmel.v5i2.5402.
- Chen, Yunjuan, Mengyue Liu, Mengzhen Su, Mingxu Ding, Haolin Li, and Yi Jing. 2024. "Prediction of Water Inflow and Analysis of Surrounding Rock Stability in Unfavorable Geological Mountain Tunnel." *Frontiers in Earth Science*. doi:10.3389/feart.2024.1373627.
- Dochez, Sandra, Farid Laouafa, Christian Franck, Sylvine Guedon, François Martineau, Marion Bost, and Julie D'Amato. 2013. "Influence of Water on Rock Discontinuities and Stability of Rock Mass." *Procedia Earth and Planetary Science*. doi:10.1016/j.proeps.2013.03.191.
- Harabinová, Slávka, Kamila Kotrasová, Eva Kormaníková, and Iveta Hegedüsová. 2021. "Analysis of Slope Stability." *Civil and Environmental Engineering*. doi:10.2478/cee-2021-0020.
- Hardianto, Al, and Bambang Heriyadi. 2019. "Analisis Rancangan Lereng Disposal Area Pit D Pada PT . Aman Tobilah Putra Kabupaten Lahat Provinsi Sumatra Selatan." *Jurnal Bina Tambang* 4(2): 21–30.
- Hoek, E, and J Bray. 2004. 53 *Journal of Chemical Information and Modeling Rock Slope Engineering*. 4th ed. eds. C Duncan Wyllie and W Christopher Mah. London & New York: Spon Press.
- Lin, Hang, Wenwen Zhong, Wei Xiong, and Wenyu Tang. 2014. "Slope Stability Analysis Using Limit Equilibrium Method in Nonlinear Criterion." *Scientific World Journal* 2014. doi:10.1155/2014/206062.
- Pan, Yue, Guang Wu, Zhiming Zhao, and Liu He. 2020. "Analysis of Rock Slope Stability under Rainfall Conditions Considering the Water-Induced Weakening of Rock." *Computers and Geotechnics*. doi:10.1016/j.compgeo.2020.103806.
- Prasetyono, Eka Nurohman Hadi, Esthi Kusdarini, and Yudho Dwi Galih Cahyono. 2020. "Rancangan Pit Penambangan Batubara Pada Pit X Pt. Prolindo Cipta Nusantara, Site Sie Loban, Kabupaten Tanah Bumbu, Provinsi Kalimantan Selatan." *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan* 2(1): 71–78.
- Rahman, Aftab Ur, Guangcheng Zhang, Salman A. AlQahtani, Hammad Tariq Janjuhah, Irshad Hussain, Habib Ur Rehman, and Liaqat Ali Shah. 2023. "Geotechnical Assessment of Rock Slope Stability Using Kinematic and Limit Equilibrium Analysis for Safety Evaluation." *Water (Switzerland)*. doi:10.3390/w15101924.
- Rahman, Md Jamilur, Manzar Fawad, Jung Chan Choi, and Nazmul Haque Mondol. 2022. "Effect of Overburden Spatial Variability on Field-Scale Geomechanical Modeling of Potential CO2 Storage Site Smeaheia, Offshore Norway." *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. doi:10.1016/j.jngse.2022.104453.
- RI, Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. "Kepmen ESDM RI, No. 1827 Tahun 2018." *Nucl. Phys*.
- Rofikun, Ahmad, Raden Irvan Sophian, Zufialdi Zakaria, and Pulung Arya Pranantya. 2019. "Keseimbangan Batas Deterministik Vs Probabilistik Metode Morgenstern-Price Di Bendungan Nadra, Cilegon." *Padjadjaran Geoscience Journal*.
- Singh, Khomdram Niren, and Diganta Narzary. 2021. "Geochemical Characterization of Mine Overburden Strata for Strategic Overburden-Spoil Management in an Opencast Coal Mine." *Environmental Challenges*. doi:10.1016/j.envc.2021.100060.
- Sun, Guanhua, Shengguo Cheng, Wei Jiang, and Hong Zheng. 2016. "A Global Procedure for Stability Analysis of Slopes Based on the Morgenstern-Price Assumption and Its Applications." *Computers and Geotechnics*. doi:10.1016/j.compgeo.2016.06.014.
- Wyllie, Duncan C., and Christopher W. Mah. 2017. *Rock Slope Engineering: Fourth Edition Rock Slope Engineering: Civil and Mining, 4th Edition*. doi:10.1201/9781315274980.
- Yunhong, Guo, and Zhao Liang. 2023. "Slope Stability Analysis Based on the Coupling of SA and Limit Equilibrium Mechanics." *European Journal of Computational Mechanics*. doi:10.13052/ejcm2642-2085.3221.