



Ranah Research

Journal of Multidisciplinary Research and Development

082170743613 ranahresearch@gmail.com <https://jurnal.ranahresearch.com>

E-ISSN: 2655-0865



DOI: <https://doi.org/10.38035/rnj.v7i4>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Desain Geometri Lereng Optimal Pada Rencana Penggalian Ulang Material Timbunan Berdasarkan Parameter Geoteknik Melalui Pendekatan Tingkat Pemadatan Timbunan

Aldo Melodi¹, Eddy Ibrahim², Syamsul Komar³

¹ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

² Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

³ Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya

Corresponding Author: melodialdo95@gmail.com¹

Abstract: *This study analyzes the slope stability in Pit X of PT Bukit Asam, Tbk (PTBA), which is a former disposal area that has been re-excavated, resulting in the presence of old dump material. The objective of this study is to analyze and process the material properties used in assessing the slope stability in Pit X and to determine the optimal overall slope geometry for Pit X. In this study, the determination of material properties for slope stability analysis in Pit X was carried out by creating cross-sections, considering the position of boreholes, and processing material properties from the nearest borehole data using a class creation and interval creation approach for each material property. The material properties used are the median values of each class. The most optimal overall slope geometry consists of a single bench height of 6 meters, a single bench width of 12 meters (1:2 ratio), and a bench width of 23 meters. This slope geometry was applied to all cross-sections, resulting in a dynamic factor of safety (FoS) of 1.216 and a static FoS of 1.393 for cross-section A-A', a dynamic FoS of 1.552 and a static FoS of 2.016 for cross-section B-B', a dynamic FoS of 1.529 and a static FoS of 1.760 for cross-section C-C', and a dynamic FoS of 1.585 and a static FoS of 1.827 for cross-section D-D', all of which are considered safe. These FoS values were obtained under conditions immediately after rainfall had ceased, with a recorded rainfall intensity of 110.08 mm and a duration of 4.18 hours.*

Keyword: *Optimization, slope geometry, old dump, material properties, and slope safety factor.*

Abstrak: Penelitian ini menganalisis mengenai kestabilan lereng di Pit X PT Bukit Asam, Tbk (PTBA) yang merupakan area bekas disposal yang digali kembali sehingga terdapat material timbunan lama yang disebut material old dump. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengolah material properties yang akan digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng pada Pit X serta menganalisis geometri lereng secara overall slope yang optimal pada Pit X. Pada penelitian ini, penentuan material properties yang digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng Pit X dilakukan dengan cara membuat cross section dengan mempertimbangkan posisi lubang bor serta mengolah material properties dari data bor yang terdekat dengan cross section dengan pendekatan pembuatan kelas dan interval pada masing-masing material properties. Nilai material properties yang digunakan adalah nilai tengah dari

masing-masing kelas. Geometri lereng secara overall slope yang paling optimal adalah menggunakan tinggi lereng tunggal 6 meter, lebar lereng tunggal 12 meter (perbandingan 1:2), dan lebar bench 23 meter. Geometri lereng ini diaplikasikan ke semua cross section sehingga menghasilkan nilai FK dinamis 1,216 dan FK statis 1,393 pada cross section A-A', FK dinamis 1,552 dan FK statis 2,016 pada cross section B-B', FK dinamis 1,529 dan FK statis 1,760 pada cross section C-C', serta FK dinamis 1,585 dan FK statis 1,827 pada cross section D-D' dan dianggap aman. FK ini dihasilkan dengan kondisi tepat saat hujan reda dengan curah hujan 110,08 mm dan durasi hujan 4,18 jam.

Kata Kunci: Optimalisasi, geometri lereng, old dump, material properties, dan faktor keamanan lereng.

PENDAHULUAN

PT Bukit Asam, Tbk (PTBA) adalah salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batubara di Indonesia. PTBA berusaha memaksimalkan cadangan batubara yang ada dalam Izin Usaha Pertambangan (IUP) yang dimilikinya. Salah satu area tambang PTBA yang dimaksimalkan cadangan batubara untuk ditambang adalah Pit X. Pit X merupakan area bekas disposal yang digali kembali sehingga terdapat material *old dump* pada bagian atasnya. Material *old dump* berasal dari pengupasan tanah pit lain yang ditimbun di suatu area timbunan sehingga sudah mengalami pengembangan (*swelling*) dan menyebabkan penurunan sifat keteknikannya. Ketidakmenentuan material timbunan ini membuat *material old dump* bersifat heterogen atau memiliki sifat material yang beragam.

Optimalisasi desain geometri lereng perlu dilakukan guna mendukung rencana penambangan batubara dan memaksimalkan cadangan batubara yang bisa ditambang (Maulana dan Fajar, 2019). Analisis faktor keamanan terhadap berbagai geometri lereng dilakukan supaya mendapatkan desain lereng yang lebih terjal namun memiliki faktor keamanan yang sesuai.

Dalam menganalisis kestabilan lereng, *material properties* merupakan hal yang sangat berpengaruh (Andinia *et al*, 2019). *Material properties* pada material *old dump* ini sebaiknya tidak dianggap sama (homogen) karena terdiri dari berbagai jenis material dan secara *historical* Pit X ditimbun menggunakan *spreader* dari *bucket wheel excavator* yang cenderung akan memiliki tingkat pemadatan yang berbeda. Oleh karena itu dilakukan penelitian mengenai desain geometri lereng optimal pada rencana penggalian ulang material timbunan berdasarkan parameter geoteknik melalui pendekatan tingkat pemadatan penimbunan.

METODE

Penelitian ini termasuk kedalam jenis penelitian kuantitatif. Penelitian dilakukan di Pit X PT Bukit Asam, Tbk yang terletak pada kecamatan Lawang Kidul Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan. Waktu penelitian dimulai pada tanggal 4 Maret 2024 - 2 Agustus 2024. Data primer yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah data *cross section* dan data muka air tanah. Sedangkan data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data curah hujan, data topografi, data geologi, data bor, data desain sekuen Pit X Tahun 2024, data *material properties*, dan data spesifikasi alat.

Penentuan *material properties* yang akan digunakan untuk analisis kestabilan lereng dilakukan dengan pembuatan garis *cross section* dengan mempertimbangkan posisi lubang bor. Data bor yang digunakan adalah data bor yang posisinya paling dekat dengan *cross section*. Kemudian data bor ini diolah dengan pendekatan pembuatan kelas dan interval pada masing-masing *material properties*. Nilai *material properties* yang digunakan adalah nilai tengah dari masing-masing kelas. Pengolahan muka air tanah dilakukan dengan metode Van Genuchten. Desain lereng *overall slope* dilakukan dengan menggunakan *software* Geostudio dengan

dimensi *single slope* 1:1,5; 1:2, dan 1:2,5. Lebar *bench* yang digunakan adalah 20 meter dan 23 meter dan untuk lebar *ramp* atau jalan *hauling* selebar 25 meter. Analisis kestabilan dilakukan dengan menggunakan metode Morgenstern Price pada setiap lereng yang sudah didesain. Dalam menganalisis kestabilan lereng, *slip surface* dibuat secara *overall slope* dan *intermediate slope*. *Slip surface* yang digunakan adalah *slip surface* yang menghasilkan FK terkecil. Setelah dilakukan analisis kestabilan lereng dapat ditentukan desain geometri lereng mana yang paling optimal dan dapat direkomendasikan. Desain yang direkomendasikan adalah desain yang menghasilkan FK sesuai dengan KEPMEN No. 1827 K/30/MEM/2018 dimana nilai FK minimal 1,1 untuk kondisi dinamis, nilai FK minimal 1,3 untuk kondisi statis.

Prinsip Dasar Metode Morgenstern-Price

Metode ini merupakan salah satu metode yang berdasarkan pada prinsip kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh Morgenstern dan Price tahun 1965. Proses Analisa pada metode Morgenstern-Price merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja di tiap irisan dari bidang kelongsoran suatu lereng (Rahman *et al*, 2022). Dalam metode Morgenstern-Price, dilakukan asumsi penyederhanaan untuk menunjukkan hubungan antara gaya geser di sekitar irisan (X) dan gaya normal di sekitar irisan (E) dengan persamaan: $X = \lambda \cdot f(x) \cdot E$ (1)

Gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan bidang kelongsoran ditunjukkan pada gambar 1 (Sepriadi *et al*, 2024). Persamaan yang berlaku adalah:

$$P = \frac{[(Wn - (x_n - x_1)) - \frac{1}{F} (c \sin \alpha - ul \tan \phi \sin \alpha)]}{\cos \alpha (1 + \tan \alpha \frac{\tan \phi}{E})} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

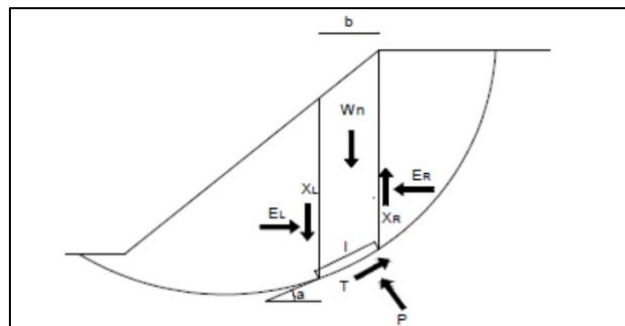
- P = Gaya Normal
- c = Kohesi (Jika analisa dalam kondisi undrained diambil c_u , jika dalam kondisi drained diambil nilai kohesi efektif)
- Wn = Gaya akibat beban tanah ke-n
- α = Sudut antara titik Tengah bidang irisan dengan titik pusat busur bidang longsor
- ϕ = Sudut geser tanah (jika dalam kondisi undrained, nilai sudut geser 0)
- u = Tekanan air pori
- X = Gaya gesek yang bekerja di tepi irisan

Dalam metode Morgenstern-Price, analisa faktor keamanan dilakukan dengan dua prinsip yaitu kesetimbangan momen (F_m) dan kesetimbangan gaya (F_f). Faktor keamanan dari prinsip kesetimbangan momen digunakan untuk menganalisis bidang kelongsoran berbentuk lingkaran (*circular*).

$$F_m = \frac{\sum (c l + (p - ul) \tan \phi)}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots (3)$$

Dan nilai faktor keamanan dengan prinsip kesetimbangan gaya:

$$F_f = \frac{\sum [c l + (p - ul) \tan \phi] \cos \alpha}{\sum P \sin \alpha} \dots\dots\dots (4)$$



Gambar 1. Gaya-gaya yang bekerja pada bidang kelongsoran Metode Morgenstern-Price

Faktor Keamanan Lereng (Safety Faktor)

Faktor Keamanan (FK) merupakan perbandingan antara besarnya gaya penahan dengan gaya penggerak longsor (Sutejo *et al*, 2023). Kestabilan lereng tergantung pada gaya penggerak dan gaya penahan yang bekerja pada bidang gelincir. Gaya penahan (*resisting force*) merupakan gaya yang menahan supaya tidak terjadi longsor, sedangkan gaya penggerak (*driving force*) merupakan gaya yang menyebabkan terjadinya longsor. Perbandingan antara gaya-gaya yang menahan terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah inilah yang disebut Faktor Keamanan (FK) lereng penambangan (Afrizal *et al*, 2021). FK dapat dihitung sesuai dengan persamaan (5) dan juga diturunkan pada persamaan (6).

$$FK = \frac{\tau_f}{\tau_d} \dots\dots\dots (5)$$

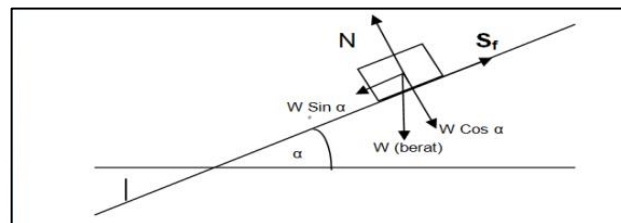
dimana;

FK = Faktor Keamanan

τ_f = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh batuan (kN/m²)

τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat batuan (kN/m²)

Gaya-gaya yang bekerja pada lereng sederhana bisa digambarkan seperti pada gambar 2. dimana FK lereng ditentukan oleh besarnya gaya penahan dibandingkan dengan gaya penggerak pada lereng tersebut.



Gambar 2. Gaya-gaya yang bekerja pada lereng sederhana

$$FK = \frac{c.A + (W \cos \alpha) \tan \phi}{w \sin \alpha} \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

FK = Faktor Keamanan

c = Kohesi (kPa)

α = Kemiringan lereng ($^{\circ}$)

w = Berat isi/ *Unit Weight* (kN/m³)

ϕ = Sudut geser dalam ($^{\circ}$)

Metode Van Genuchten

Metode Van Genuchten merupakan metode yang mengestimasi bagaimana hubungan antara kadar air (*water content*) dengan hisapan masuk air dari suatu material. Metode ini dapat ditulis secara sistematis sesuai dengan persamaan (7) berikut ini (Taban *et al*, 2018):

$$S = \frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

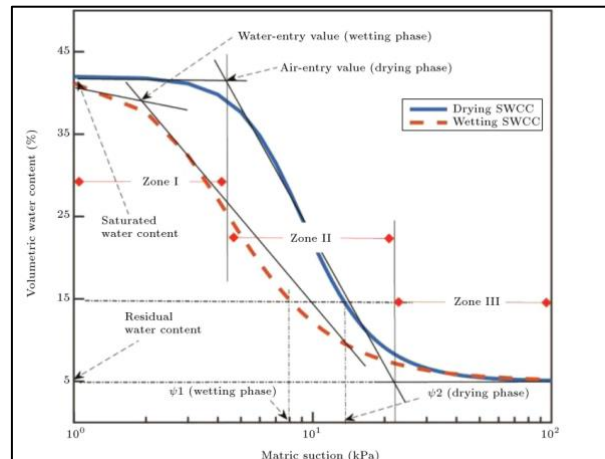
S = Derajat kejenuhan tanah (Soil Saturation)

θ = Kadar air volumetrik tanah (Volumetric Water Content)

θ_s = Kadar air jenuh (Saturated Water Content)

θ_r = Kadar air residual (Residual Water Content)

Salah satu konsep yang paling banyak digunakan dalam ilmu-ilmu yang berkaitan dengan pertanian, terutama dalam mekanika tanah tak jenuh, adalah kurva karakteristik air tanah (SWCC). SWCC menggambarkan hubungan antara jumlah air dalam struktur tanah dan hisapan matrik tanah.

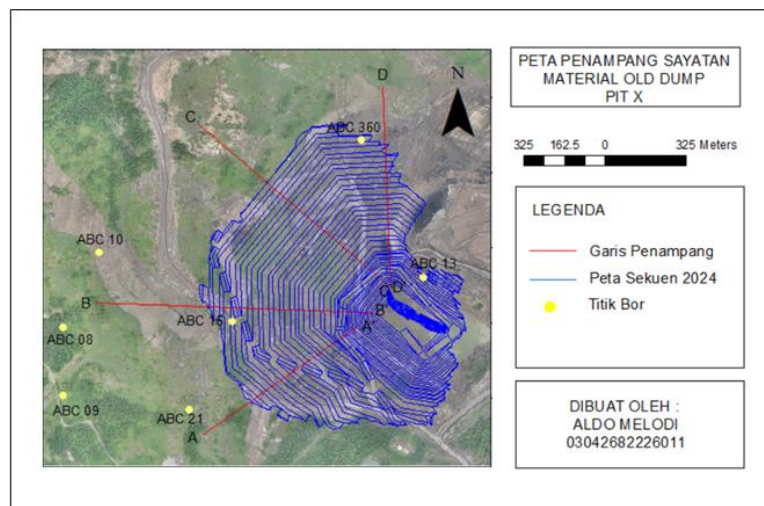


Gambar 3. Tipe SWCC dan spesifikasinya pada fase basah dan kering

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menentukan Material Properties Yang Akan Digunakan dalam Menganalisis Menganalisis Kestabilan Lereng pada Pit X

Pembuatan *cross section* ditentukan dengan mempertimbangkan posisi titik bor pada setiap sisi dinding Pit X. *Cross section* dibuat sedekat mungkin dengan titik bor. Hal ini dilakukan agar data bor yang dekat *cross section* dapat digunakan pada *cross section* tersebut. *Cross section* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. *Cross section*

Data bor yang digunakan hanyalah data bor yang berposisi di dekat area *cross section* saja. Metode ini dilakukan supaya *material properties* yang didapatkan dapat menggambarkan kondisi aktual di lapangan. Berdasarkan gambar 4, dapat dilihat bahwa posisi lubang bor yang paling dekat dengan dengan *cross section* A-A' adalah ABC 09 dan ABC 21. Posisi lubang bor yang paling dekat dengan dengan *cross section* B-B' adalah ABC 08, ABC 10, & ABC 16. Posisi lubang bor yang paling dekat dengan dengan *cross section* D-D' adalah ABC 360 dan ABC 13.

Posisi lubang bor yang paling dekat dengan *cross section* C-C' adalah ABC 13. Sisi barat laut *section* C-C' berada di antara 3 titik bor yang jaraknya tidak terlalu dekat yaitu ABC 10, ABC 360, dan ABC 16. Untuk *section* C-C', akan dianalisis kira-kira lubang bor mana yang dapat digunakan dalam menganalisis lereng *section* C-C'. Maka *section* C dibuat menjadi 3 bagian yaitu *section* C-C' yang menggunakan data bor ABC 13 dan ABC 10, *section* C-C' yang menggunakan data bor ABC 13 dan ABC 360, serta *section* C-C' yang menggunakan data bor ABC 13 dan ABC 16. Data bor ABC 09 & ABC 21 yang digunakan pada *cross section* A-A' dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data bor ABC 09 & ABC 21

Code	Elevation	Unit Weight (kN/m ³)	Porosity (%)	Permeability	Kohesi (kPa)	Friction Angle (deg)
ABC 09 - 1	99.00	22.10	22.79		33.30	12.40
ABC 09 - 2	96.00	19.68	37.78		42.40	16.00
ABC 09 - 3	93.00	17.77	44.53	1.08E-04	38.90	15.50
ABC 09 - 4	90.00	17.82	46.45		18.40	17.10
ABC 09 - 5	87.00	20.58	30.26		22.60	13.80
ABC 21 - 1	86.48	19.60	35.83	4.73E-06		
ABC 09 - 6	84.00	20.01	35.31	2.47E-04	21.20	21.30
ABC 09 - 7	81.00	18.14	45.11		20.00	18.00
ABC 09 - 8	78.00	20.87	29.51		15.60	11.60
ABC 09 - 9	75.00	20.20	35.69	2.06E-04	28.60	13.10
ABC 21 - 2	74.48	18.73	40.90		17.57	10.11
ABC 09 - 10	72.00	19.29	39.48		55.50	21.40
ABC 21 - 3	71.48	19.03	44.57	3.26E-06		
ABC 09 - 11	69.00	19.98	37.32		23.00	11.40
ABC 09 - 12	66.00	19.20	39.92	2.06E-04	27.40	21.40
ABC 21 - 4	65.98	20.34	38.30		67.45	18.45
ABC 09 - 13	63.00	22.16	26.72		22.00	15.50
ABC 09 - 14	57.00	18.94	44.42	2.21E-04	23.30	24.60
ABC 09 - 15	53.10	19.85	42.44	3.41E-04	41.90	24.10
ABC 09 - 16	50.10	20.45	37.77		21.00	11.00

Berdasarkan tabel 1, pada beberapa elevasi tidak memiliki data *material properties* kohesi dan *friction angle* seperti data bor dengan kode ABC 21-1 di elevasi 86,48. Data yang kosong tersebut diasumsikan mengikuti data yang ada di elevasi atasnya dengan pendekatan pembuatan kelas dan interval. Adapun langkah-langkah dalam mengolah *material properties* berdasarkan data bor pada setiap *cross section* adalah sebagai berikut:

- Menganalisis kelengkapan data *material properties* pada setiap *cross section*. Apabila terdapat data yang kosong pada elevasi tertentu, maka diasumsikan akan mengikuti nilai *material properties* di elevasi atasnya dengan melakukan pendekatan pembuatan kelas dan interval pada masing-masing *material properties*.
- Menghitung *Range* dengan cara nilai tertinggi dikurang nilai terendah.
- Menghitung interval kelas dengan cara membagi nilai *range* dengan jumlah kelas (pada penelitian ini menggunakan 4 kelas).
- Menghitung nilai tengah dari masing-masing kelas dengan cara nilai tertinggi kelas dikurang nilai terendah kelas lalu dibagi dua.
- Menentukan nilai masing-masing *material properties* sesuai dengan kelas yang telah dibuat sebelumnya dan memasukkan nilai tengah kelas sebagai *material properties* yang digunakan.
- Setelah itu, dibuat segmen *material properties* sesuai dengan keragaman nilai kohesi dan sudut geser dalam pada masing-masing *cross section*
- Apabila terdapat nilai yang berbeda pada *unit weight*, porositas, dan permeabilitas, maka nilai-nilai tersebut diasumsikan dirata-ratakan karena pebagian segmen hanya berfokus pada keberagaman nilai kohesi dan sudut geser dalam.
- Setelah didapatkan masing-masing nilai *material properties* pada masing-masing segmen, maka dihitung *range* elevasi dan *thickness* pada masing-masing segmen *material old dump*. Nilai *range* elevasi dan *thickness* ini berguna dalam pemodelan lereng dengan menggunakan *software* Geostudio nantinya.

Adapun hasil akhir pengolahan *material properties* pada *cross section* A-A' dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengolahan *material properties* section A-A' dengan menggunakan data bor ABC 09 & ABC 21

Section	Segmen	Range Elevasi		Thickness	Unit Weight	Porosity	Permeability	Kohesi	FA
		mdpl		m	kN/m ³	%	cm/sec.	kPa	deg
A-A'	OD S1	99.00	- 96.00	3.00	21.61	25.74	1.2995E-04	35.04	11.92
	OD S2	96.00	- 93.00	3.00	19.42	37.57	1.2995E-04	48.01	15.54
	OD S3	93.00	- 90.00	3.00	18.32	43.49	1.2995E-04	35.04	15.54
	OD S4	90.00	- 84.00	6.00	18.32	43.49	4.5453E-05	22.08	15.54
	OD S5	84.00	- 81.00	3.00	20.51	37.57	2.1444E-04	22.08	22.79
	OD S6	81.00	- 78.00	3.00	18.32	43.49	2.1444E-04	22.08	19.17
	OD S7	78.00	- 75.00	3.00	20.51	31.66	2.1444E-04	22.08	11.92
	OD S8	75.00	- 74.48	0.52	20.51	37.57	2.1444E-04	35.04	11.92
	OD S9	74.48	- 72.00	2.48	18.32	43.49	2.1444E-04	22.08	11.92
	OD S10	72.00	- 69.00	3.00	19.42	37.57	4.5453E-05	60.97	22.79
	OD S11	69.00	- 66.00	3.00	20.51	37.57	2.1444E-04	22.08	11.92
	OD S12	66.00	- 65.98	0.02	19.42	37.57	2.1444E-04	22.08	22.79
	OD S13	65.98	- 63.00	2.98	20.51	37.57	2.1444E-04	60.97	19.17
	OD S14	63.00	- 57.00	6.00	21.61	25.74	2.1444E-04	22.08	15.54
	OD S15	57.00	- 53.10	3.90	19.42	43.49	2.1444E-04	22.08	22.79
	OD S16	53.10	- 50.10	3.00	19.42	43.49	2.9898E-04	48.01	22.79
	OD S17	50.10	- 49.70	0.40	20.51	37.57	2.9898E-04	22.08	11.92

Dengan menggunakan cara yang sama, proses pengolahan *material properties* ini juga diterapkan pada *cross section* B-B', *cross section* C-C', dan *cross section* D-D'. Adapun hasil pengolahan *material properties* dari *cross section* tersebut dapat dilihat pada tabel 3, tabel 4, tabel 5, tabel 6, dan tabel 7.

Tabel 3. Hasil pengolahan *material properties* section B-B' dengan menggunakan data bor ABC 08, ABC 10, & ABC 16

Section	Segmen	Range Elevasi		Thickness	Unit Weight	Porosity	Permeability	Kohesi	FA
		Mdpl		m	kN/m ³	%	cm/sec.	kPa	Deg
B-B'	OD S1	130.62	- 119.22	11.40	19.36	40.99	3.0291E-05	33.47	19.43
	OD S2	119.22	- 116.82	2.40	19.85	35.82	3.0291E-05	49.56	8.53
	OD S3	116.82	- 113.82	3.00	20.69	31.52	3.0291E-05	17.38	19.43
	OD S4	113.82	- 113.22	0.60	20.69	35.82	3.0291E-05	65.65	24.88
	OD S5	113.22	- 110.82	2.40	20.69	31.52	3.0291E-05	17.38	13.98
	OD S6	110.82	- 107.22	3.60	19.85	35.82	7.6762E-05	17.38	8.53
	OD S7	107.22	- 104.82	2.40	19.02	40.13	3.0291E-05	17.38	8.53
	OD S8	104.82	- 101.82	3.00	19.02	44.43	3.0291E-05	33.47	13.98
	OD S9	101.82	- 98.82	3.00	20.69	31.52	1.2323E-04	65.65	19.43
	OD S10	98.82	- 96.00	2.82	21.52	31.52	1.2323E-04	33.47	13.98
	OD S11	96.00	- 93.00	3.00	20.69	32.96	3.0291E-05	33.47	8.53
	OD S12	93.00	- 92.44	0.56	19.02	35.82	3.0291E-05	65.65	19.43
	OD S13	92.44	- 90.00	2.44	19.02	44.43	3.0291E-05	33.47	19.43
	OD S14	90.00	- 89.82	0.18	19.02	35.82	1.6975E-04	17.38	8.53
	OD S15	89.82	- 87.00	2.82	22.35	27.22	1.6975E-04	49.56	24.88
	OD S16	87.00	- 84.00	3.00	19.85	40.13	1.6975E-04	49.56	19.43
	OD S17	84.00	- 83.82	0.18	20.69	35.82	1.6975E-04	17.38	13.98
	OD S18	83.82	- 81.00	2.82	19.02	44.43	1.6975E-04	33.47	24.88
	OD S19	81.00	- 80.22	0.78	17.36	44.43	1.6975E-04	17.38	8.53
	OD S20	80.22	- 77.82	2.40	20.69	35.82	1.6975E-04	33.47	24.88
	OD S21	77.82	- 77.22	0.60	19.02	44.43	1.6975E-04	33.47	8.53
	OD S22	77.22	- 75.00	2.22	19.85	44.43	3.0291E-05	17.38	24.88
	OD S23	75.00	- 74.82	0.18	19.85	35.82	3.0291E-05	33.47	8.53
	OD S24	74.82	- 72.42	2.40	17.36	44.43	3.0291E-05	33.47	13.98
	OD S25	72.42	- 69.64	2.78	18.19	48.74	9.9998E-05	17.38	8.53
	OD S26	69.64	- 69.00	0.64	17.36	53.04	7.6762E-05	65.65	19.43
	OD S27	69.00	- 66.00	3.00	19.02	44.43	1.6975E-04	33.47	8.53
	OD S28	66.00	- 63.00	3.00	19.02	44.43	1.6975E-04	33.47	13.98
	OD S29	63.00	- 61.00	2.00	17.36	44.43	1.2323E-04	33.47	8.53
	OD S30	61.00	- 57.00	4.00	17.36	44.43	1.2323E-04	33.47	8.53
	OD S31	57.00	- 47.00	10.00	19.02	44.43	1.2323E-04	49.56	19.43
	OD S32	47.00	- 46.40	0.60	19.02	44.43	1.2323E-04	33.47	13.98

Tabel 4. Hasil pengolahan *material properties* section C-C' dengan menggunakan data bor ABC 13 & ABC 16

Section	Data Bor yg Dipakai	Segmen	Range Elevasi		Thickness	Unit Weight	Porosity	Permeability	Kohesi	FA
			mdpl	m	kN/m ³	%	cm/sec.	kPa	Deg	
C-C'	ABC 13 & ABC 16	OD S1	130.62	- 119.22	11.40	19.02	35.82	7.6407E-06	31.26	19.60
		OD S2	119.22	- 114.00	5.22	19.02	44.43	7.6407E-06	45.28	8.91
		OD S3	114.00	- 113.22	0.78	19.02	44.43	1.2477E-06	59.29	8.91
		OD S4	113.22	- 107.22	6.00	20.69	27.22	7.6407E-06	17.25	14.25
		OD S5	107.22	- 95.55	11.67	19.02	44.43	7.6407E-06	17.25	8.91
		OD S6	95.55	- 80.22	15.33	19.02	35.82	7.6407E-06	31.26	8.91
		OD S7	80.22	- 77.22	3.00	22.35	27.22	7.6407E-06	31.26	24.94
		OD S8	80.22	- 77.17	3.05	19.02	44.43	7.6407E-06	17.25	24.94

Tabel 5. Hasil pengolahan *material properties* section C-C' dengan menggunakan data bor ABC 13 & ABC 10

Section	Data Bor yg Dipakai	Segmen	Range Elevasi			Thickness	Unit Weight	Porosity	Permeability	Kohesi	FA
			mdpl			m	kN/m ³	%	cm/sec.	kPa	Deg
C-C'	ABC 13 & ABC 10	OD S1	120.00	-	114.00	6.00	18.87	38.84	2.4284E-05	19.10	18.80
		OD S2	114.00	-	113.82	0.18	18.57	43.63	2.4284E-05	65.90	8.40
		OD S3	113.82	-	110.82	3.00	20.16	39.37	2.4284E-05	65.90	24.00
		OD S4	110.82	-	107.82	3.00	17.78	47.89	7.2472E-05	19.10	8.40
		OD S5	107.82	-	104.82	3.00	20.35	34.05	7.2472E-05	34.70	18.80
		OD S6	104.82	-	101.82	3.00	17.98	46.82	7.2472E-05	34.70	13.60
		OD S7	101.82	-	98.82	3.00	19.17	40.43	1.2066E-04	65.90	18.80
		OD S8	98.82	-	95.55	3.27	20.95	30.85	1.2066E-04	34.70	13.60
		OD S9	95.55	-	92.44	3.11	19.76	37.24	2.4284E-05	19.10	8.40
		OD S10	92.44	-	89.82	2.62	19.76	43.63	2.4284E-05	34.70	18.80
		OD S11	89.82	-	83.82	6.00	20.95	30.85	1.6890E-04	50.30	24.00
		OD S12	83.82	-	77.82	6.00	20.95	30.85	1.6890E-04	34.70	24.00
		OD S13	77.82	-	74.82	3.00	18.57	43.63	1.6890E-04	34.70	8.40
		OD S14	74.82	-	72.42	2.40	18.57	50.02	1.6890E-04	34.70	13.60
		OD S15	72.42	-	69.64	2.78	18.57	50.02	1.2066E-04	19.10	8.40
		OD S16	69.64	-	66.12	3.52	18.57	46.82	1.4478E-04	65.90	18.80

Tabel 6. Hasil pengolahan *material properties* section C-C' dengan menggunakan data bor ABC 360 & ABC 13

Section	Data Bor yg Dipakai	Segmen	Range Elevasi		Thickness	Unit Weight	Porosity	Permeability	Kohesi	FA	
			mdpl		m	kN/m ³	%	cm/sec.	kPa	Deg	
C-C'	ABC 360 & ABC 13	OD S1	130.00	-	95.50	34.50	18.88	42.34	1.8346E-06	60.02	11.79
		OD S2	95.55	-	83.18	12.37	18.67	39.62	7.3479E-06	22.36	11.79
		OD S3	83.18	-	71.73	11.45	18.04	36.90	4.2248E-06	22.36	13.76
		OD S4	71.73	-	65.23	6.50	18.04	36.90	5.2491E-06	60.02	11.79
		OD S5	65.23	-	52.73	12.50	18.67	34.18	5.2491E-06	22.36	11.79
		OD S6	52.73	-	46.73	6.00	19.92	39.62	5.2491E-06	22.36	15.72
		OD S7	46.73	-	43.73	3.00	19.92	34.18	5.2491E-06	22.36	17.69
		OD S8	43.73	-	43.23	0.50	21.18	34.18	1.1517E-06	22.36	15.72

Tabel 7. Hasil pengolahan *material properties* section D-D' dengan menggunakan data bor ABC 360 & ABC 13

Section	Data Bor yg Dipakai	Segmen	Range Elevasi		Thickness	Unit Weight	Porosity	Permeability	Kohesi	FA	
			mdpl		m	kN/m ³	%	cm/sec.	kPa	Deg	
D-D'	ABC 360 & ABC 13	OD S1	130.00	-	95.50	34.50	18.88	42.34	1.8346E-06	60.02	11.79
		OD S2	95.55	-	83.18	12.37	18.67	39.62	7.3479E-06	22.36	11.79
		OD S3	83.18	-	71.73	11.45	18.04	36.90	4.2248E-06	22.36	13.76
		OD S4	71.73	-	65.23	6.50	18.04	36.90	5.2491E-06	60.02	11.79
		OD S5	65.23	-	52.73	12.50	18.67	34.18	5.2491E-06	22.36	11.79

OD S6	52.73	-	46.73	6.00	19.92	39.62	5.2491E-06	22.36	15.72
OD S7	46.73	-	43.73	3.00	19.92	34.18	5.2491E-06	22.36	17.69
OD S8	43.73	-	43.23	0.50	21.18	34.18	1.1517E-06	22.36	15.72

Cross section C-C' posisinya dekat dengan *cross section D-D'*. Titik bor yang paling dekat dengan *cross section C-C'* adalah ABC 13. Namun, pada bagian barat laut *cross section* memiliki jarak yang agak jauh dengan data bor. Bagian barat *cross section C-C'* terletak di antara titik bor ABC 360, ABC 16, dan ABC 10.

Analisis *material properties* pada *cross section C-C'* dilakukan dengan cara mengoptimalkan desain sekuen pada *cross section D-D'* terlebih dahulu. Lalu desain optimal pada *section D-D'* diaplikasikan pada masing-masing *cross section C-C'* dengan menggunakan data bor ABC 13 dan ABC 360, ABC 13 dan ABC 16, serta ABC 13 dan ABC 10.

Tabel 8. Analisis kestabilan lereng *cross section D-D'* dan *cross section C-C'* dengan menggunakan berbagai data bor.

Cross Section	Data Bor	Dimensi Lereng Tunggal				Lebar Bench (m)	Lebar Ramp (m)	FK Dinamis
		Tinggi Lereng Tunggal (m)	Lebar Lereng Tunggal (m)	Rasio Perbandingan	Slope (deg)			
D-D'	ABC 09 & ABC 21	6	9	1:1.5	34	20	25	1,435
C-C'	ABC 13 & ABC 10	6	9	1:1.5	34	20	25	1,345
C-C'	ABC 13 & ABC 16	6	9	1:1.5	34	20	25	1,254
C-C'	ABC 13 & ABC 360	6	9	1:1.5	34	20	25	1,200

Berdasarkan tabel 8, FK *cross section C-C'* yang paling mendekati FK dinamis *cross section D-D'* adalah 1,364. Sehingga *material properties* yang digunakan untuk *section C* adalah *material properties* dengan menggunakan data bor ABC 13 dan ABC 10.

Geometri Lereng Secara Overall Slope Yang Optimal Pada Pit X

Dalam optimalisasi lereng, kelayakan lereng harus benar benar diperhitungkan. Apabila lereng terlalu landai, maka bisa mengakibatkan longsor. FK yang didapatkan harus sesuai standar. Pada penelitian ini FK yang digunakan adalah 1,1 untuk FK dinamis dan 1,3 untuk FK statis sesuai dengan KEPMEN No. 1827 K/30/MEM/2018.

Analisis juga dilakukan pada kondisi muka air tanah sesuai dengan hasil sumur pantau setinggi 3,5 meter dari permukaan tanah, curah hujan sebesar 26,33 mm/jam, pengaruh percepatan gravitasi akibat adanya aktivitas peledakan sebesar 0,025g, dan pengaruh alat besar sebesar 1.106,22 kN pada jalan *hauling* di area lereng.

Pemodelan litologi pada masing-masing *cross section* dilakukan dengan menggunakan variasi *material properties* yang sudah diolah sebelumnya sehingga akan menggambarkan heterogenitas material *old dump*. Penampang A-A' menggunakan *material properties* pada tabel 2, penampang B-B' menggunakan *material properties* pada tabel 3, penampang C-C' menggunakan *material properties* pada tabel 5, dan penampang D-D' menggunakan *material properties* pada tabel 7.

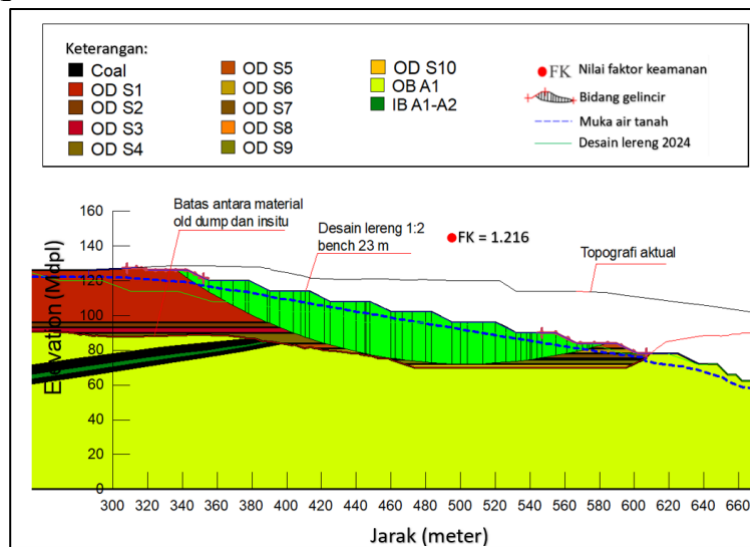
Analisis Faktor Keamanan (FK) yang digunakan adalah metode Kestimbangan Batas Morgestern Price. Metode Kestimbangan Batas Morgestern Price dipilih karena sudah mempertimbangkan kesetimbangan momen (F_m) dan kesetimbangan gaya (F_f). Pada FK statis, kestabilan lereng dianalisis dengan kondisi lereng di bawah pengaruh gaya-gaya statis saja seperti gravitasi tanpa pengaruh gempa atau getaran. Sedangkan FK dinamis dihitung dengan mempertimbangkan gaya dinamis seperti beban akibat getaran alat berat dan ledakan. Hasil analisis lereng secara *overall slope* dapat dilihat pada tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 9. Hasil analisis lereng secara overall slope

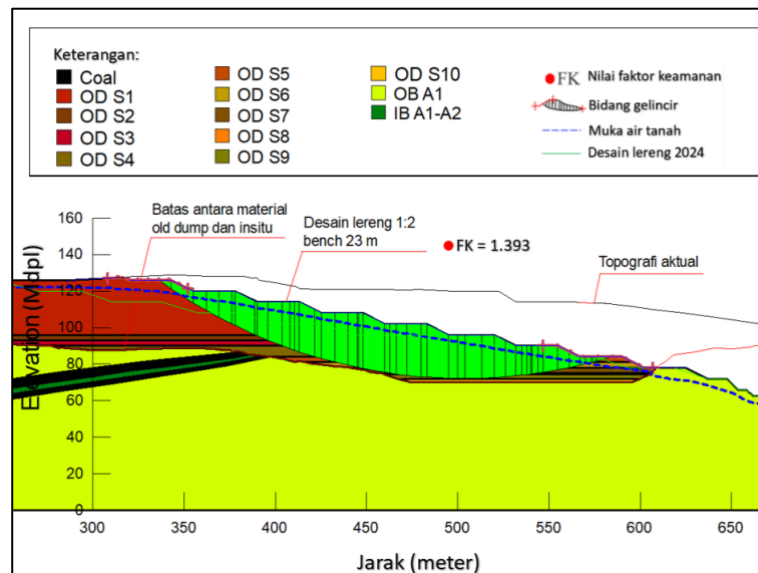
Cross Section	Data Bor	Dimensi Lereng Tunggal				Lebar Bench (m)	Lebar Ramp (m)	FK Dinamis	Fk Statis
		Tinggi Lereng Tunggal (m)	Lebar Lereng Tunggal (m)	Rasio Perbandingan	Slope (deg)				
A-A'	ABC 09 & ABC 21	6	9	1:1.5	34	20	25	1.086	1.241
		6	12	1:2	27	20	25	1.101	1.252
		6	15	1:2.5	22	20	25	1.249	1.432
		6	9	1:1.5	34	23	25	1.115	1.266
		6	12	1:2	27	23	25	1.216	1.393
		6	15	1:2.5	22	23	25	1.343	1.551
B-B'	ABC 08, ABC 10, & ABC 16	6	9	1:1.5	34	20	25	1.403	1.793
		6	12	1:2	27	20	25	1.446	1.842
		6	15	1:2.5	22	20	25	1.571	2.039
		6	9	1:1.5	34	23	25	1.462	1.923
		6	12	1:2	27	23	25	1.552	2.016
		6	15	1:2.5	22	23	25	1.599	2.133
C-C'	ABC 13 & ABC 10	6	9	1:1.5	34	20	25	1.345	1.531
		6	12	1:2	27	20	25	1.335	1.632
		6	15	1:2.5	22	20	25	1.63	2.101
		6	9	1:1.5	34	23	25	1.475	1.701
		6	12	1:2	27	23	25	1.529	1.760
		6	15	1:2.5	22	23	25	1.925	2.229
D-D'	ABC 360 & ABC 13	6	9	1:1.5	34	20	25	1.432	1.635
		6	12	1:2	27	20	25	1.49	1.681
		6	15	1:2.5	22	20	25	1.573	1.779
		6	9	1:1.5	34	23	25	1.502	1.719
		6	12	1:2	27	23	25	1.585	1.827
		6	15	1:2.5	22	23	25	1.666	1.973

Pada tabel 9 dapat dilihat bahwa FK dinamis yang paling mendekati 1,1 dan FK statis yang paling mendekati 1,3 adalah pada *cross section* A-A' dengan dimensi lereng 1:2 dan *bench* 23 meter dengan nilai FK dinamis 1,216 dan FK statis 1,393. Secara FK, dimensi lereng inilah yang dianggap paling optimal dan akan menjadi acuan untuk *cross section* A-A', B-B', C-C', dan D-D'. Adapun desain serta hasil analisis kestabilan lereng pada masing-masing *cross section* dapat dilihat pada gambar 5 hingga gambar 12.

Penampang A-A'

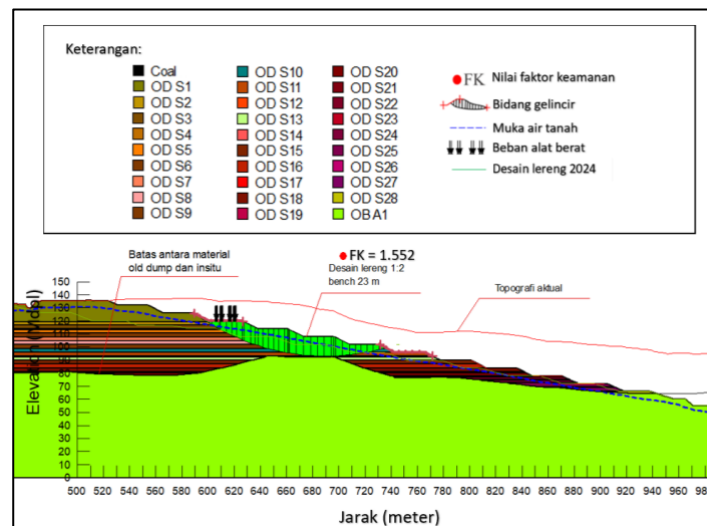


Gambar 5. Desain lereng pada penampang A-A' dengan dimensi *single slope* 1:2 dan *bench* 23 meter dengan FK dinamis 1,216 (aman)

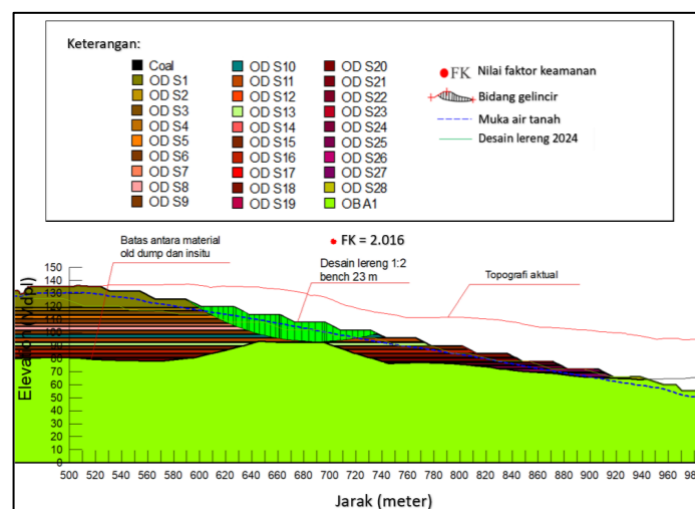


Gambar 6. Desain lereng pada penampang A-A' dengan dimensi *single slope* 1:2 dan *bench* 23 meter dengan FK statis 1,393 (aman)

Penampang B-B'

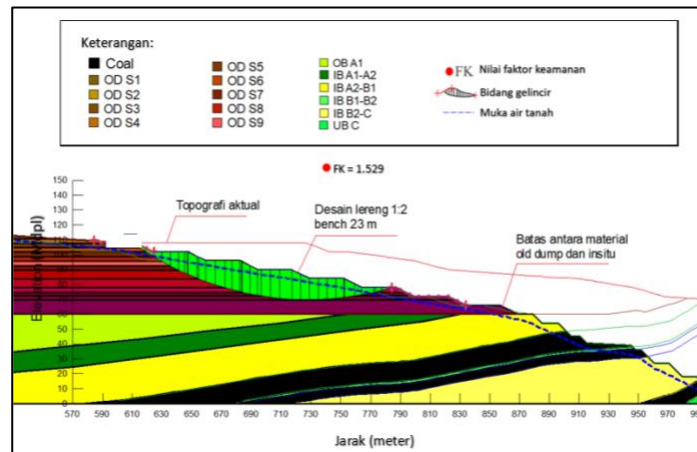


Gambar 7. Desain lereng pada penampang B-B' dengan dimensi *single slope* 1:2 dan *bench* 23 meter dengan FK dinamis 1,552 (aman)

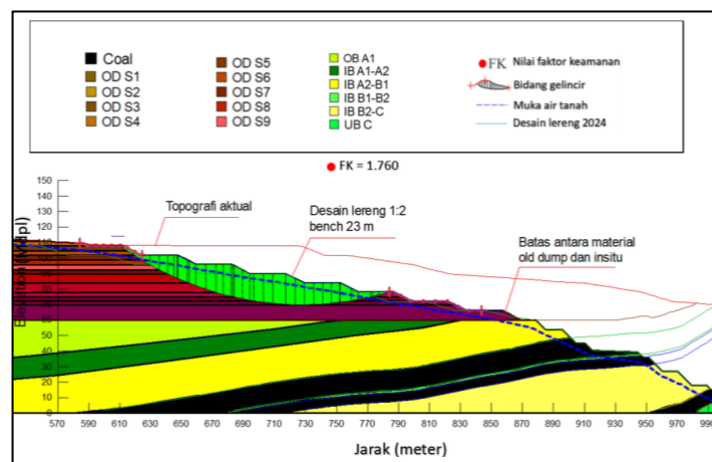


Gambar 8. Desain lereng pada penampang B-B' dengan dimensi *single slope* 1:2 dan *bench* 23 meter dengan FK statis 2,016 (aman)

Penampang C-C'

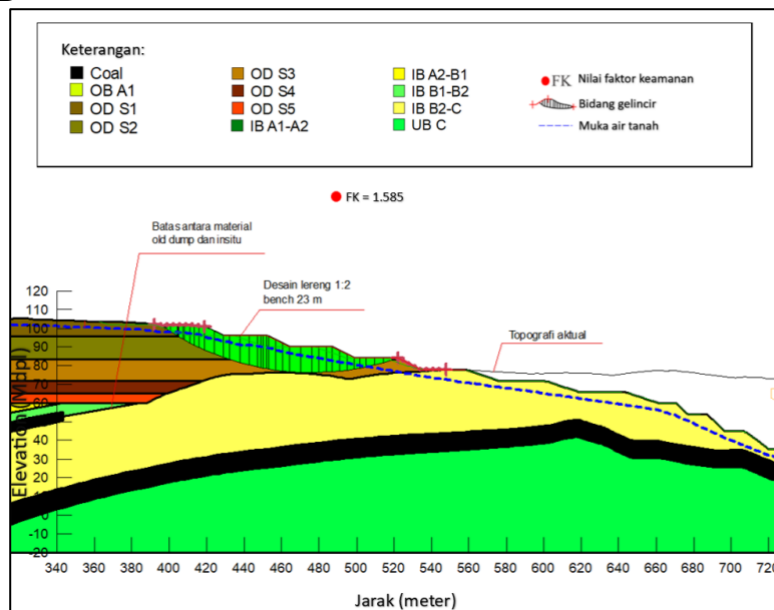


Gambar 9. Desain lereng pada penampang C-C' dengan dimensi *single slope* 1:2 dan *bench* 23 meter dengan FK dinamis 1,529 (aman)

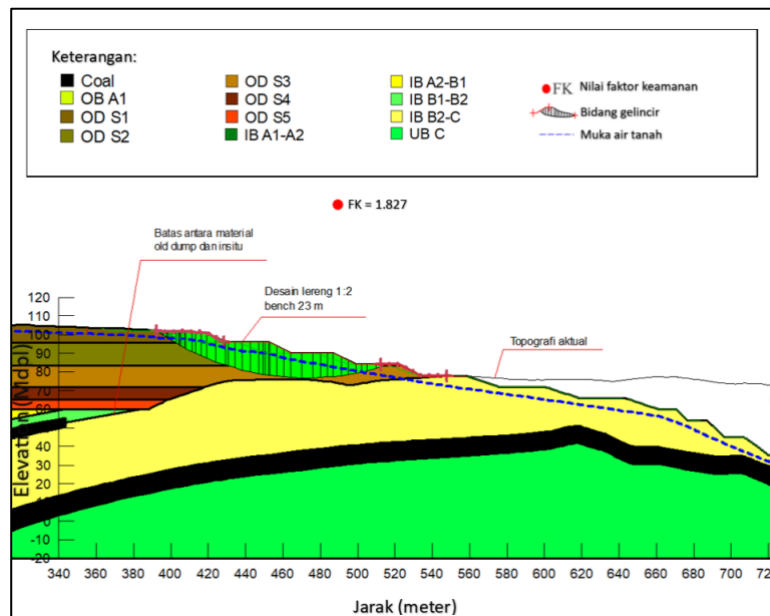


Gambar 10. Desain lereng pada penampang C-C' dengan dimensi *single slope* 1:2 dan *bench* 23 meter dengan FK statis 1,760 (aman)

Penampang D-D'



Gambar 11. Desain lereng pada penampang D-D' dengan dimensi *single slope* 1:2 dan *bench* 23 meter dengan FK dinamis 1,585 (aman)



Gambar 12. Desain lereng pada penampang D-D' dengan dimensi *single slope* 1:2 dan *bench* 23 meter dengan FK statis 1,827 (aman)

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diatas, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Penentuan *material properties* yang digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng Pit X dilakukan dengan cara membuat *cross section* dengan mempertimbangkan posisi lubang bor serta mengolah *material properties* dari data bor yang terdekat dengan *cross section* dengan pendekatan pembuatan kelas dan interval pada masing-masing *material properties*. Nilai *material properties* yang digunakan adalah nilai tengah dari masing-masing kelas.
2. Geometri lereng secara *overall slope* yang paling optimal adalah menggunakan tinggi lereng tunggal 6 meter, lebar lereng tunggal 12 meter (perbandingan 1:2), dan lebar *bench* 23 meter. Geometri lereng ini diaplikasikan ke semua *cross section* sehingga menghasilkan nilai FK dinamis 1,216 dan FK statis 1,393 pada *cross section* A-A', FK dinamis 1,552 dan FK statis 2,016 pada *cross section* B-B', FK dinamis 1,529 dan FK statis 1,760 pada *cross section* C-C', serta FK dinamis 1,585 dan FK statis 1,827 pada *cross section* D-D' dan dianggap aman. FK ini dihasilkan dengan kondisi tepat saat hujan reda dengan curah hujan 110,08 mm dan durasi hujan 4,18 jam.

REFERENSI

- Afrizal, N., Mingsi, Y., dan Maiyudi, R. 2021. Analisis Potensi Longsor Pada Ruas Jalan Kawasan Wisata Mandeh-Sungai Nyalo Km 18 Kecamatan Koto XI Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan. Jurnal Bina Tambang, Vol. 4, No.3 : 2302-3333.
- Andinia, M., Niki, R. R., Rimos, P., Prihasro, F. E., Trilaksana, A. R., Dewi, N. F. R. 2019. Kajian Pengaruh Material Propertis Dominan Batuan Dasar Terhadap Kestabilan Lereng pada Nikel Laterit di Site Pomala Sulawesi Tenggara PT Antam Tbk. Prosiding TPT XXVII Perhapi
- Sepriadi., Adiwarman, M., dan Zahara, K. A. 2024. Analisis Kestabilan Lereng Highwall Dengan Metode Morgenstern Price Pada PIT 2 Banko Barat Di PT. Bukit Asam, Tbk. Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains,
- Maulana, L. H., Fajar, J. D., 2019. Kajian Geoteknik untuk Optimalisasi Desain Tambang Batubara menggunakan Limit Equilibrium Method. Prosiding TPT XVIII Perhapi 2019.
- Sutejo, D. P., Saffaruddin., Hartoyo, Y. 2023. Analisis Kestabilan Lereng Lowwall Pada Penambangan Batugamping di PT Semen Baturaja (Persero) Tbk Kabupaten Ogan

- Komering Ulu Provinsi Sumatera Selatan. Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII Tahun 2023 (ReTII)
- Rahman, H. T., Zakaria, Z., Ismawan., Gunawan, W. 2022. Optimisasi Lereng Highwall Tambang Batubara Terbuka Sikui Project Area Berdasarkan Metode Keseimbangan Batas Morgenstern Price. *Padjajaran Geoscience Journal*.
- Taban A., Sadeghi, M. M., dan Rowshanzamir, M.A., 2017. The Estimation of van Genuchten SWCC Model for Unsaturated Sands by means of the Genetic Programming. *Scientia Iranica A* (2018) 25(4), 2026-2038.