

Analisis Kestabilan Lereng Untuk Optimasi Endapan Batubara Di Area *Lowwall* Pit Xyz PT Kideco Jaya Agung Kecamatan Batu Sopang Kabupaten Paser Provinsi Kalimantan Timur

Trynovianti Putri Malik, Supandi, Novandri Kusuma Wardana

Prodi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : supandi@itny.ac.id

ABSTRAK

Pit XYZ merupakan salah satu Pit di Pt. Kideco Jaya Agung di mana terdapat area *lowwall* yang telah mengalami longsor dan di area tersebut masih memiliki endapan batubara, sehingga akan dilakukan kegiatan optimasi endapan batubara. Dalam kegiatan optimasi endapan batubara perlu dilakukan analisis balik (*back analysis*) untuk mengetahui nilai parameter geoteknik (kohesi dan sudut gesek dalam) sehingga nilai faktor keamanan pada lereng aktual diketahui dan dapat memberikan rekomendasi desain geometri yang aman dan stabil. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode kuantitatif. Dalam pengolahan data, dilakukan analisis balik terhadap tiap penampang. Untuk analisis faktor keamanan dan rekomendasi geometri lereng digunakan metode Morgenstern-Price. Hasil penelitian menunjukkan nilai kestabilan lereng aktual untuk penampang A dengan $FK = 1.090$ dan penampang B dengan $FK = 1.082$, setelah mengetahui nilai FK pada lereng aktual maka dibuat desain optimasi pada masing-masing penampang yang memiliki nilai $FK = 1.025$ dan $FK = 1.032$. Desain optimasi ini belum memenuhi kriteria sehingga peneliti membuat opsi desain geometri di setiap penampang, penampang A memiliki nilai $FK = 1.399$ dan penampang B memiliki nilai $FK = 1.301$.

Kata kunci : faktor keamanan, desain geometri optimum

ABSTRACT

Pit XYZ is one of the Pits at Pt. Kideco Jaya Agung, where there is a lowwall area that has experienced landslides and as the area still has coal deposits, coal sediment optimization will be carried out. In the optimization of coal deposits, it is necessary to do a back analysis to determine the value of geotechnical parameters (cohesion and inner friction angle) so that the value of the safety factor on the actual slope is known and it can provide recommendations for safe and stable geometric designs. This research is conducted using quantitative methods. In the data processing, a back analysis is performed on each section. The analysis of safety factors and recommendations for slope geometry is carried out using the Morgenstern-Price method. The results show the actual slope stability value for section A with $FK = 1,090$ and section B with $FK = 1,082$. After obtaining the FK and PK values on the actual slopes, an optimization design was made for each section with $FK = 1,025$ and $FK = 1,032$ for section A and B respectively. This optimization design does not meet the criteria so the researcher makes geometric design options for each section, section A has a value of $FK = 1.399\%$ and section B has a value of $FK = 1.301$.

Key words: safety factor, optimum geometric design

1. PENDAHULUAN

PT. Kideco Jaya Agung adalah perusahaan yang bergerak dibidang usaha pertambangan batubara yang berlokasi di Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur dan telah berdiri sejak 1982. Langkah awal kegiatan penambangan yang dilakukan di PT. Kideco Jaya Agung adalah pengupasan lapisan tanah penutup untuk mendapatkan batubara. Agar usaha ini dapat terlaksana dengan baik dibutuhkan geometri lereng yang aman, hal ini sebab jika tidak menggunakan geometri lereng yang aman dan stabil akan mengakibatkan terjadinya longsor sehingga mengganggu aktivitas produksi. Kegiatan penambangan seperti penggalian batubara pada suatu lereng menyebabkan terjadinya perubahan besaran gaya-gaya pada lereng tersebut yang mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng, sehingga dapat terjadi longsor yang mengakibatkan terganggunya kegiatan penambangan.

Kestabilan lereng pada batuan lebih ditentukan oleh adanya bidang-bidang lemah yang disebut dengan bidang diskontinuitas, di mana bidang diskontinuitas ini terjadi akibat penggalian pada suatu lereng akan menyebabkan terjadinya perubahan gaya-gaya pada lereng tersebut. Dalam menentukan kestabilan lereng dikenal istilah faktor keamanan (FK), yaitu perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak

yang bekerja pada suatu bidang miring. Hasil analisis dari faktor keamanan akan memberikan penilaian terhadap kondisi suatu lereng yang dinyatakan stabil atau tidak stabil. Kestabilan lereng tambang dipengaruhi oleh faktor internal maupun eksternal. Faktor internal meliputi kondisi massa batuan, desain tambang yang digunakan dan kondisi geologi lokasi penambangan, sedangkan faktor eksternal meliputi intensitas curah hujan dan tingkat pelapukan.

Pit XYZ merupakan salah satu Pit di PT. Kideco Jaya Agung, area lokasi Pit ini dikelola oleh kontraktor PT. Bima Nusa Internasional, dengan elevasi aktual saat penulis melakukan kegiatan penelitian yaitu 50 MDPL. Pada Pit XYZ terdapat area *lowwall* yang telah mengalami longsor yang terjadi karena material pada lereng telah mengalami pelapukan dan tingkat alterasi yang tinggi sehingga material tersebut mencari titik aman. Berdasarkan lokasi tersebut, yang menyebabkan ketidakstabilan lereng diidentifikasi berupa kondisi air tanah pada lereng yang tergolong jenuh (*full saturated*).

Area Pit XYZ memiliki endapan batubara yang rencananya akan dioptimalkan pada *seam* 4, sehingga untuk memastikan kegiatan optimasi ini berjalan dengan baik diperlukan kajian analisis kestabilan lereng untuk mendapatkan geometri lereng yang aman dan stabil untuk dikerjakan. Penelitian ini memberikan gambaran mengenai kondisi aktual di lokasi penambangan, dengan menekankan pada aspek kestabilan lereng *lowwall* pada kondisi aktual dan rekomendasi geometri yang aman dan stabil untuk dikerjakan dalam rencana optimasi batubara di Pit XYZ.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini yang diterapkan untuk mendapatkan data-data adalah metode kuantitatif dan tahapan dalam penyusunan penulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Tahapan Studi Literatur

Yaitu dengan mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan topik penelitian berupa buku literatur, laporan penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya berupa skripsi atau laporan perusahaan, referensi jurnal tentang analisis kestabilan lereng maupun yang berhubungan dengan geoteknik, serta referensi perusahaan

2. Tahap Observasi lapangan

Yaitu melakukan pengamatan secara langsung di lapangan untuk mengetahui masalah yang akan dibahas yaitu di area *lowwall* Pit XYZ, peninjauan lapangan langsung bertujuan untuk mengetahui kondisi lereng aktual meliputi pengambilan data crack serta dokumentasi dan data-data penunjang lainnya yang akan dibahas.

3. Tahap Pengambilan Data

Data-data yang diambil sebagai berikut :

a. Data primer

Yaitu data yang harus diperoleh berdasarkan pengukuran dilapangan, adapun datanya sebagai berikut:

- 1) Kondisi lereng aktual;
- 2) Data *crack* (*plotting data crack*);
- 3) Dokumentasi lapangan.

b. Data Sekunder

Yaitu berupa data pendukung yang diperoleh dari instansi-instansi terkait serta data-data perusahaan yang diperlukan, adapun datanya sebagai berikut :

- 1) Peta topografi;
- 2) Cross section lereng aktual;
- 3) Peta lokasi penelitian;
- 4) Hasil uji laboratorium sifat fisik dan sifat mekanik batuan;
- 5) Litologi;
- 6) Data curah hujan;
- 7) Geologi regional;
- 8) Stratigrafi;
- 9) Nilai getaran.

3. HASIL DAN ANALISIS

a. Data Pengujian Sifat Fisik Dan Sifat Mekanik Batuan.

Hasil dari pengujian laboratorium ini digunakan sebagai data yang dibutuhkan dalam analisis kestabilan lereng. Pengujian sifat fisik didapatkan nilai bobot isi kering, bobot isi batural, bobot isi jenuh untuk material *mudstone* dan *sandstone*, seperti pada tabel 1

Tabel 1 Pengujian Sifat Fisik

No.	Sample Code	Lithology	ρ_d (gr/cm ³)	ρ_B (gr/cm ³)	ρ_s (gr/cm ³)
1	1107 SSB MT GT 01	Mudstone	2.04	2.11	2.12
2	1106 SSB MT GT 04	Mudstone	2.07	2.11	2.16
3	1106 SSB MT GT 03	Mudstone	2.14	2.17	2.23
4	1106 SSB MT GT 02	Mudstone	2.08	2.13	2.16
5	1107 SSB MT GT 01	Sandstone	2.16	2.3	2.36
6	1106 SSB MT GT 04	Sandstone	2.21	2.3	2.41
7	1106 SSB MT GT 03	Sandstone	2.22	2.3	2.41
8	1106 SSB MT GT 02	Sandstone	2.19	2.19	2.39

Data pengujian sifat mekanik yang digunakan pada penelitian ini yakni Pengujian kuat geser langsung yang menghasilkan nilai Kohesi dan sudut geser dalam bentuk nilai puncak (*peak*) dan residu. Seperti pada tabel 2

Tabel.2 Hasil Uji Kuat Geser Langsung

No.	Id Sampel	Litologi	Kohesi		Sudut geser dalam	
			Peak (kN/m ²)	Residu (kN/m ²)	Peak (°)	Residu (°)
1	1107 SSB MT GT 01	Mudstone	167	97	30.4	19.21
2	1107 SSB MT GT 01	Mudstone	150	86	27.55	18.5
3	1106 SSB MT GT 02	Mudstone	122	70	26.52	17.44
4	1106 SSB MT GT 04	Mudstone	166	98	28.11	19.89
5	1106 SSB MT GT 03	Sandstone	147	91	28.37	18.46
6	1106 SSB MT GT 02	Sandstone	129	79	30.53	20.11
7	1107 SSB MT GT 01	Sandstone	153	92	33.4	19.67

Material properties yang digunakan yaitu nilai mean dari density, kohesi, dan sudut geser yang dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3 Material property

Material	Density (γ)	Kohesi (C)	Sudut Geser Dalam (ϕ)
Sandstone	22.27	143	30.8
Mudstone	20.87	151.3	28.1
Coal	14.10	153.16	26.54

b. Hasil Analisis Balik Kestabilan Lereng

Penelitian ini menghasilkan nilai kestabilan lereng aktual dan desain optimasi. Kondisi aktual yang dimaksud yakni kondisi lereng setelah longsor dan untuk mendapatkan nilai kestabilan lereng aktual perlu dilakukan *back analysis* berdasarkan topografi bulan Agustus 2019 dan topografi aktual setelah longsor. Proses *back analysis* yakni melakukan pengurangan pada nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) masing-masing material sandstone dan mudstone hingga menghasilkan $FK < 1$, dengan nilai *back analysis* dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut:

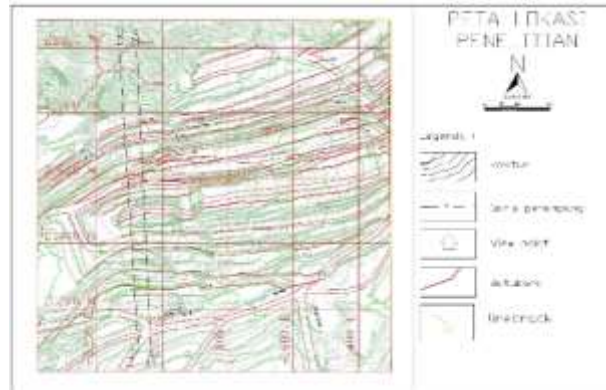
Tabel 3.4 Persentasi *Back analysis*

persentase	Sandstone		Mudstone	
	Kohesi (c)	Sudut gesek dalam (ϕ)	Kohesi (c)	Sudut gesek dalam (ϕ)
20%	114.4	24.61	121	22.52
25%	107.25	23.08	113.44	21.11
30%	100.1	21.54	105.88	19.7
41.5%	83.66	18	88.48	16.46

Nilai *back analysis* yang digunakan dengan pengurangan sebesar 41.5% pada *material properties* untuk masing-masing penampang diperoleh hasil $FK < 1$. Nilai *back analysis* ini digunakan sebagai data *input* untuk melakukan *forward analysis*.

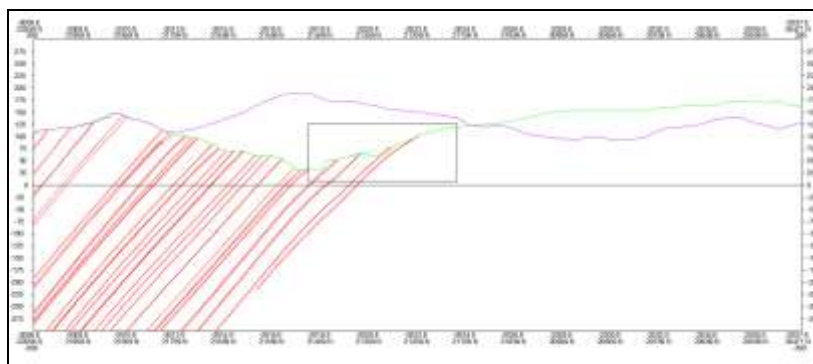
c. Kondisi lereng dan penampang melintang

Lokasi penelitian terletak di area Pit XYZ pada koordinat antara 22058.463 N, -2006.386 E sampai 20471.066 N, -2037.483 E pada penampang A dan 22049.914 N, -2100.461 E sampai 20465.379 N, -2092.622 E pada penampang B, umumnya penyebaran bentuk lapisan batuan penyusun lereng relative mengikuti perlapisan batubara. Posisi garis penampang dapat dilihat pada Gambar 1

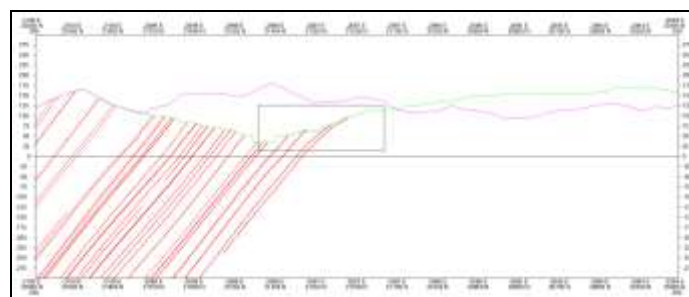


Gambar 1 Peta Area Penelitian dan Garis Penampang

Pada area penampang A dengan panjang sayatan 1.587,701 m, telah terjadi longsor yang disebabkan oleh adanya bidang gelincir dan pelapukan pada perlapisan batuan yang mengakibatkan penurunan nilai kuat geser batuan. Pada area penampang B dengan panjang sayatan 1.584,550 m yang memiliki kondisi serupa pada area penampang A mengingat jarak antara kedua penampang yang cukup dekat, pada elevasi 90 MDPL terdapat crack ke arah utara pit. Di area yang akan dilakukan optimasi batubara di Pit XYZ sudah tidak ada kegiatan penambangan.



Gambar 2 Korelasi Penampang A



Gambar 3 Korelasi Penampang B

Dikarenakan kondisi, pengambilan pengukuran muka air tanah pada area Pit XYZ tidak ada, maka dalam melakukan analisis peneliti mengansumsikan kondisi lereng dalam keadaan jenuh, hal ini didasari dengan mempertimbangkan kondisi manajemen drainase yang tidak baik. Asumsi ini juga didukung oleh gambar 4 yang menunjukkan kondisi muka air tanah pada area penelitian, di mana pada lokasi penelitian terdapat banyak genangan air serta masuk ke dalam badan crack maupun badan lereng sehingga berpengaruh pada kestabilan lereng.



Gambar 4 Kondisi Air Permukaan Area Lowwall

d. Getaran Seismik

Nilai 'g' yang merupakan salah satu dari parameter analisis kestabilan lereng diperoleh melalui pemantauan getaran peledakan yang dilakukan dengan menggunakan alat *Vibracord fx*. *Vibracord fx* merupakan salah satu alat pengukur getaran peledakan yang digunakan oleh PT. Kideco Jaya Agung untuk menganalisis pengaruh peledakan terhadap kestabilan lereng maupun permukiman warga sekitar. Data yang digunakan adalah data pada tahun 2018 di mana peledakan dilakukan pada area Pit XYZ, data tersebut dapat dilihat pada tabel 5

Tabel 5 Pengukuran Vibration

Elev.	Charge (kg/hole)	T (mm/s)	V (mm/s)	L (mm/s)	Distance	PPV (mm/s)	PVS (mm/s)	Time	Nilai G
106	115	0,76	0,25	0,63	1568	0,76	0,82	12:26	0,02
106	95	0	0	0	2544	0	0		
106	95	0	0	0	2544	0	0		
136	122	6,13	2,32	2,4	614	6,13	6,48	13:13	0,014
75	109	0	0	0	2136	0	0		
105	42	0,46	0,19	1,29	1950	1,29	1,31	12:19	0,062
Rata-rata									0,03

e. Proses Analisis Kestabilan Lereng

Analisis geoteknik pada penelitian ini dilakukan melalui 2 tahap yaitu, *back analysis* dan *forward analysis*. *Back analysis* bertujuan untuk mengetahui parameter geoteknik (kohesi dan sudut geser dalam) ketika longsor terjadi, setelahnya dilakukan *forward analysis* terhadap topografi aktual melalui nilai parameter *Back analysis*, dan setelah mendapatkan nilai geoteknik peneliti akan membuat desain geometri yang bertujuan untuk mengoptimalkan penambangan batubara pada seam 4.

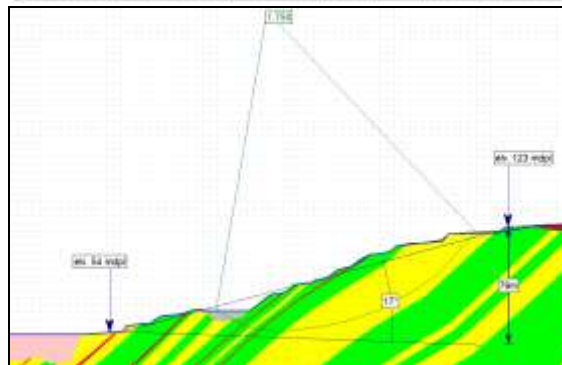
Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu dengan metode Morgenstern-Price. Sebelum menganalisis kestabilan lereng pada penampang A dan penampang B, peneliti memberikan beberapa pendekatan dalam analisis lereng sebagai berikut :

- 1) Parameter kohesi dan sudut geser dalam material (c dan ϕ) yang digunakan dalam analisis adalah kondisi puncak (peak) untuk penampang A dan B
- 2) Penampang geoteknik dalam analisis merupakan penampang yang memotong Topografi Original, Topografi Agustus 2019, dan Topografi aktual setelah longsor.
- 3) Tinggi muka air tanah diasumsikan dalam kondisi jenuh (full saturated).
- 4) Analisis desain dan analisis rekomendasi geometri lereng menggunakan material topografi aktual.
- 5) Nilai seismic yang digunakan pada penelitian ini adalah 0.03
- 6) Analisis yang dilakukan baik geometri lereng dan nilai faktor keamanan disesuaikan dengan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, analisis dilakukan pada lereng keseluruhan dengan tingkat keparahan longsor berada di tingkat tinggi. Dalam penyelesaian perhitungan ini dibantu menggunakan perangkat lunak (software), dengan nilai faktor keamanan untuk optimasi batubara adalah $(FK) \geq 1.1$ dalam keadaan dinamis dan $(FK) \geq 1.3$ keadaan statis menjadi kriteria untuk menilai kestabilan suatu lereng dan berdasarkan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 sehingga peneliti membuat dua rekomendasi desain geometri untuk mendapatkan desain yang sesuai kriteria.
- 7) Analisis Kestabilan Lereng
- 8) Analisis Topografi Aktual Penampang A

Analisis kestabilan lereng dilakukan pada topografi bulan Agustus 2019, sebelum melakukan *back analysis*, untuk mengetahui nilai FK sebelum terjadi longsoran. Hasil analisis kestabilan lereng sebelum terjadinya longsoran menggunakan nilai material puncak (peak) laboratorium, serta seismic horizontal.

Tabel 6 *material properties* Penampang A

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type
sandstone	Yellow	22.27	Mohr-Coulomb	143	30.8	Water Surface	Constant
mudstone	Green	20.87	Mohr-Coulomb	151.3	28.1	Water Surface	Constant
coal	Red	14.1	Mohr-Coulomb	153.16	26.54	Water Surface	Constant
timbunan	Brown	18	Mohr-Coulomb	33.4	4.2	Water Surface	Constant
miamul	Pink	16.5	Mohr-Coulomb	18.95	2.55	Water Surface	Constant
lumpur	Grey	15	Mohr-Coulomb	4.51	1	Water Surface	Constant



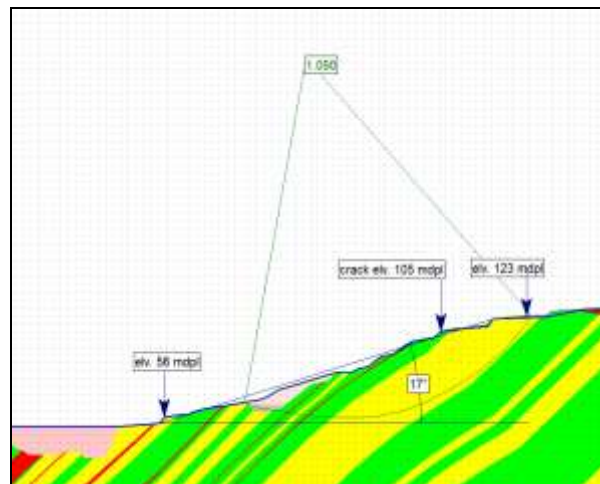
Gambar 5 Analisis Penampang A pada Topografi Bulan Agustus 2019 (Sebelum Longsor)

Dari hasil analisis kestabilan lereng pada topografi bulan Agustus diperoleh nilai faktor keamanan (FK) 1.750, sehingga perlu dilakukan *back analysis* untuk mengetahui parameter geoteknik (nilai kohesi dan sudut geser dalam) dengan $FK < 1$ yang sesuai dengan kondisi di lapangan yang mana telah terjadi longsoran. Hasil dari analisis balik nilai kohesi dan sudut gesek dalam pada material *sandstone* dan *mudstone* penampang A dapat dilihat pada tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 7 *material properties Back analysis* Penampang A

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type
sandstone	Yellow	22.27	Mohr-Coulomb	143	30.8	Water Surface	Constant
mudstone	Green	20.87	Mohr-Coulomb	151.3	28.1	Water Surface	Constant
coal	Red	14.1	Mohr-Coulomb	153.16	26.54	Water Surface	Constant
timbunan	Brown	18	Mohr-Coulomb	33.4	4.2	Water Surface	Constant
miamul	Pink	16.5	Mohr-Coulomb	18.95	2.55	Water Surface	Constant
lumpur	Grey	15	Mohr-Coulomb	4.51	1	Water Surface	Constant
sandstone_A	Yellow	22.27	Mohr-Coulomb	100.1	16.92	Water Surface	Constant
mudstone_A	Green	20.87	Mohr-Coulomb	83.19	15.48	Water Surface	Constant

Forward analysis dilakukan berdasarkan parameter *material properties* yang diperoleh dari hasil *material properties back analysis*, sehingga didapatkan nilai faktor keamanan (FK) pada topografi aktual setelah longsoran.



Gambar 6 Analisis Kestabilan Lereng Aktual Setelah Terjadi Longsor pada Penampang A

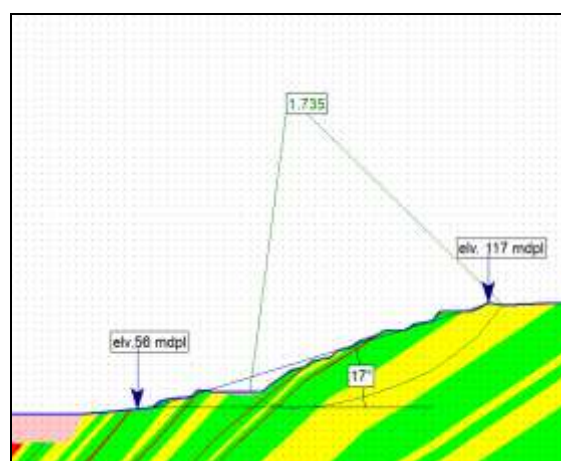
Analisis kestabilan lereng aktual setelah terjadi longsor menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) 1.090.

1. Analisis Topografi Aktual Penampang B

Analisis dilakukan berdasarkan topografi pada bulan Agustus 2019, dengan menggunakan *material properties* puncak (peak) hasil uji laboratorium.

Tabel 8 *material properties* Penampang B

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type
sandstone	Yellow	22.27	Mohr-Coulomb	143	30.8	Water Surface	Constant
mudstone	Green	20.87	Mohr-Coulomb	151.3	28.1	Water Surface	Constant
coal	Red	14.1	Mohr-Coulomb	153.16	26.54	Water Surface	Constant
timbunan	Brown	18	Mohr-Coulomb	33.4	4.2	Water Surface	Constant
mixmud	Pink	16.5	Mohr-Coulomb	18.95	2.55	Water Surface	Constant
lumpur	Grey	15	Mohr-Coulomb	4.51	1	Water Surface	Constant



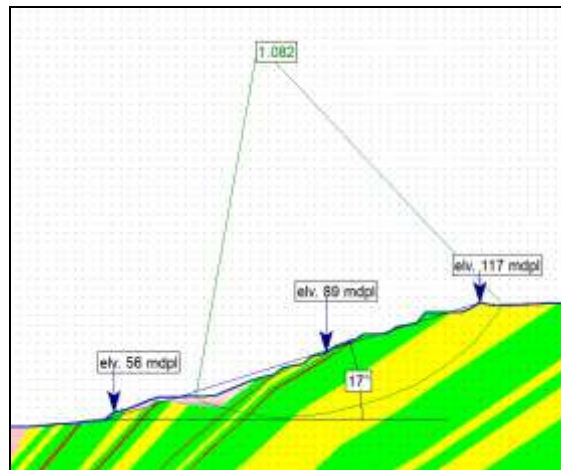
Gambar 7 Analisis Penampang B pada Topografi Bulan Agustus 2019 (Sebelum Longsor)

Setelah melakukan analisis kestabilan lereng didapatkan nilai faktor keamanan (FK) 1.735. Nilai tersebut tidak sesuai dengan keadaan aktual di lapangan yang telah terjadi longsor, sehingga perlu dilakukan *back analysis* untuk mendapatkan nilai $FK < 1$, dari hasil didapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam.

Tabel 9 material properties Back analysis Penampang B

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type
sandstone		22.27	Mohr-Coulomb	143	30.8	Water Surface	Constant
mudstone		20.87	Mohr-Coulomb	151.3	28.1	Water Surface	Constant
coal		14.1	Mohr-Coulomb	153.16	26.54	Water Surface	Constant
timbunan		18	Mohr-Coulomb	33.4	4.2	Water Surface	Constant
mixmud		16.5	Mohr-Coulomb	18.95	2.55	Water Surface	Constant
lumpur		15	Mohr-Coulomb	4.51	1	Water Surface	Constant
sandstone_A		22.27	Mohr-Coulomb	100.1	16.92	Water Surface	Constant
mudstone_A		20.87	Mohr-Coulomb	83.19	15.48	Water Surface	Constant

Untuk menganalisis kondisi lereng aktual maka dilakukan *forward analysis* yaitu dengan memasukan parameter geoteknik (kohesi dan sudut geser dalam) dari hasil *back analysis* sehingga didapatkan nilai faktor keamanan (FK) pada topografi aktual setelah longsoran.



Gambar 8 Analisis Kestabilan Lereng Aktual Setelah Terjadi Longsor pada Penampang B

Dari analisis kestabilan lereng pada kondisi aktual didapatkan nilai faktor keamanan (FK) sebesar 1.082.

2. Rekomendasi Geometri Lereng pada Penampang A

Peneliti membuat rekomendasi geometri lereng yang bertujuan untuk optimasi batubara seam 4, dalam pembuatan desain geometri berpedoman pada standart operation procedure perusahaan yaitu single slope 45° untuk kondisi normal dan 30° pada kondisi lemah, dengan tinggi bench 4-8 m, lebar minimal 2.5m - 5.9 m untuk weak zone dan normal zone, atau mengikuti lebar datar lapisan batuan. Dalam rekomendasi desain geometri peneliti membuat bench lebar di elevasi 56 – 63 MDPL dengan lebar bench 33.5 m, dilakukan loading pada material longsoran pada area lowwall di elevasi 65-84 MDPL dan setelah itu akan dilakukan *inpit* dengan menggunakan material timbunan. Berikut rekapitulasi rekomendasi desain geometri ditunjukkan pada tabel 10.

Tabel 10 Rekomendasi Desain Geometri optimasi Penampang A

Elevasi	Tinggi (M)	Lebar (M)	Sudut	Overall slope	Keterangan	FK
123 - 65	53	29	-	17	Mengikuti Topografi Setelah <i>Inpit</i>	1.025
65 - 63	2	12	-		Mengikuti Topo Aktual	
63 - 56	7	33.5	45		Bench Lebar	

Dari hasil analisis rekomendasi desain geometri optimasi didapatkan hasil faktor keamanan (FK) 1.025, dan berdasarkan hasil analisis tersebut diketahui bahwa nilai FK belum memenuhi kriteria, sehingga peneliti membuat rekomendasi desain geometri untuk mencapai nilai FK yang diinginkan. Rekomendasi desain geometri untuk mencapai nilai FK, di mana desain dibuat pada elevasi 123-120 MDPL dengan lebar bench 5,9 m, tinggi 3 m, single slope 45°, serta elevasi 88 – 67 MDPL mengikuti topografi aktual. Dilakukan kegiatan loading terhadap material longsor sampai elevasi 65 dan dilanjutkan kegiatan *inpit* di area tersebut. Rekapitulasi rekomendasi desain geometri opsi kedua ini dapat dilihat pada tabel 3.11.

Tabel 11 Rekomendasi Desain Geometri Penampang A

Elevasi		Tinggi (M)	Lebar (M)	Sudut	Overall slope	Keterangan	FK
123	-	120	3	5.9	45	Bench	1.399
120	-	112	8	5.9	45	Bench	
112	-	104	8	35	45	Bench lebar	
104	-	96	8	5.9	45	Bench	
96	-	88	8	45	45	Bench lebar	
88	-	65	23	29	-	Mengikuti topo setelah <i>inpit</i>	
65	-	63	2	12	-	Mengikuti topo aktual	
63	-	56	7	33.5	45	Bench lebar	

Dari hasil analisis rekomendasi desain geometri didapatkan nilai faktor keamanan (FK) 1.399, dalam hal ini pada desain ini telah terpenuhi kriteria yang diinginkan.

3. Rekomendasi Geometri Lereng pada Penampang B

Rekomendasi desain geometri berpedoman pada standart operation procedure perusahaan yakni minimal 3.5 kali dari lebar alat angkut, dan analisis lereng yang akan dibuat berdasar pada kondisi air jenuh. Pada pembuatan rekomendasi desain untuk optimasi batubara seam 4 dibuat bench lebar pada elevasi 56 MDPL dengan lebar bench 21 m, tinggi bench 8 m, single slope 45°, serta di elevasi 64 MDPL dibuat bench dengan lebar 36 m mengikuti topografi pada area yang telah dilakukan loading material longsor yang kemudian di *inpit* di elevasi 64 MDPL.

Tabel 12 Rekomendasi Desain Geometri Optimasi Penampang B

Elevasi		Tinggi (m)	Lebar (m)	Sudut	Overall slope	Keterangan	FK
117	-	64	53	36	30	Mengikuti topografi setelah <i>inpit</i>	1.032
64	-	56	8	21	45	Bench lebar	

Pada hasil rekomendasi desain untuk optimasi didapatkan nilai faktor keamanan (FK) 1.032, dan berdasarkan hasil analisis tersebut diketahui bahwa nilai faktor keamanan FK belum memenuhi kriteria, sehingga peneliti membuat rekomendasi geometri yang memiliki nilai FK sesuai dengan kriteria yang diinginkan.

Rekomendasi desain geometri yakni membuat desain pada elevasi 117-112 MDPL dengan lebar bench 30 m, tinggi 5 m, single slope 45°, serta elevasi 88 – 66 MDPL mengikuti topografi aktual. Rekapitulasi rekomendasi desain geometri opsi kedua ini dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13 Rekomendasi Desain Geometri Penampang B

Elevasi		Tinggi (M)	Lebar (M)	Sudut	Overall slope	Keterangan	FK
117	-	112	5	5.9	45	Bench lebar	1.301
112	-	104	8	35	45	Bench	
104	-	96	8	5.9	45	Bench	
96	-	88	8	45	45	Bench lebar	
88	-	64	2	36	45	Mengikuti topografi setelah <i>inpit</i>	
64	-	56	8	21	45	Bench lebar	

Berdasarkan hasil rekomendasi desain geometri opsi kedua didapatkan nilai faktor keamanan (FK) 1.301.

a. Parameter geoteknik

Data uji laboratorium terhadap material sandstone dan mudstone berupa nilai density, UCS, nilai kohesi dan sudut gesek dalam, yang digunakan sebagai *material properties* untuk melakukan analisis kestabilan lereng pada topografi bulan Agustus 2019, dan setelah dilakukan analisis untuk mengetahui nilai FK sebelum terjadi longsor maka selanjutnya dilakukan *back analysis*. Pada prosesnya nilai *material properties* dilakukan pengurangan nilai kohesi dan sudut gesek dalam material sandstone dan mudstone. Nilai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) pada material sandstone 143 (kN/m²) dan 30.8° untuk material mudstone 151.3 (kN/m²) dan 28.1°, setelah dilakukan pengurangan pada material sandstone untuk nilai c sebanyak 41.5% dan ϕ 41.5% memiliki hasil 83.66 (kN/m²) dan 18° serta material mudstone dikurangi sebesar 41.5% untuk c = 88.48 (kN/m²) dan 41.5% ϕ = 16.46°.

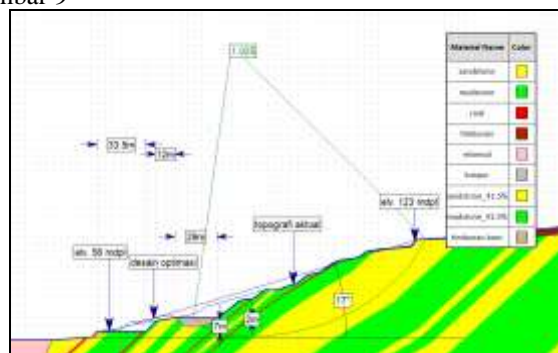
b. Hasil Analisis Kestabilan Lereng

Analisis geoteknik dalam penelitian ini dilakukan melalui 2 (dua) tahap yaitu *back analysis* untuk mengetahui parameter geoteknik (kohesi dan sudut gesek dalam) ketika longoran terjadi dan *forward analysis* terhadap topografi bulan Agustus 2019 melalui parameter geoteknik yang diperoleh dari *back analysis* untuk mengetahui stabilitas lereng aktual. Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas yaitu dengan metode Morgenstern-Price. Sebelum melakukan *back analysis* terlebih dahulu dilakukan analisis kestabilan lereng berdasarkan topografi bulan Agustus 2019 terhadap kedua penampang. Analisis kestabilan lereng dilakukan pada kedua penampang yakni penampang A dan penampang B berdasarkan nilai material properties, sehingga menghasilkan nilai (faktor keamanan) FK = 1.750 pada penampang A, dan penampang B memiliki nilai FK = 1.735.

Kondisi geometri lereng pada topografi bulan Agustus 2019 dan setelah dilakukan *back analysis* untuk tiap penampang terdapat material longoran yang berdasarkan topografi setelah longsor. Nilai c dan ϕ dari hasil *back analysis* akan digunakan sebagai *material properties* dalam *forward analysis* untuk mengetahui nilai FK aktual pada tiap penampang. FK dari hasil *forward analysis* pada penampang A yaitu FK = 1.090 dan penampang B memiliki nilai FK = 1.082.

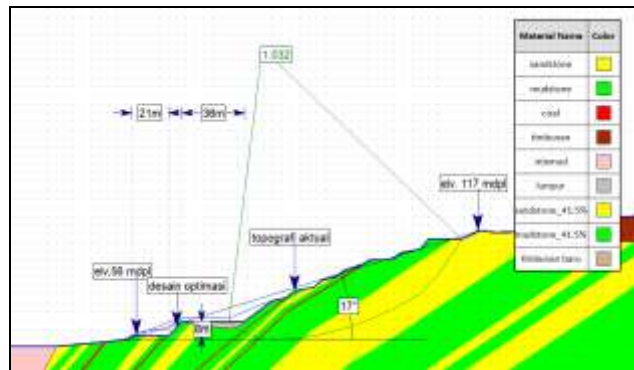
c. Desain geomteri lereng

Optimasi dilakukan pada area Pit XYZ yang masih memiliki endapan batubara sehingga untuk memastikan kegiatan tersebut berjalan dengan baik maka diperlukan desain geometri yang aman dan stabil berdasarkan KEPMEN ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018. Dari hasil analisis desain geometri, dilakukan optimasi dengan menerapkan standart operation procedure perusahaan. Geometri yang digunakan untuk tiap penampang yakni pada penampang A dibuat bench dengan lebar 33.5 m di elevasi 56-63 MDPL, pada elevasi 65-84 MDPL akan dilakukan kegiatan loading dan *inpit* pada material longoran sehingga mendapatkan nilai FK = 1.033 seperti pada gambar 9



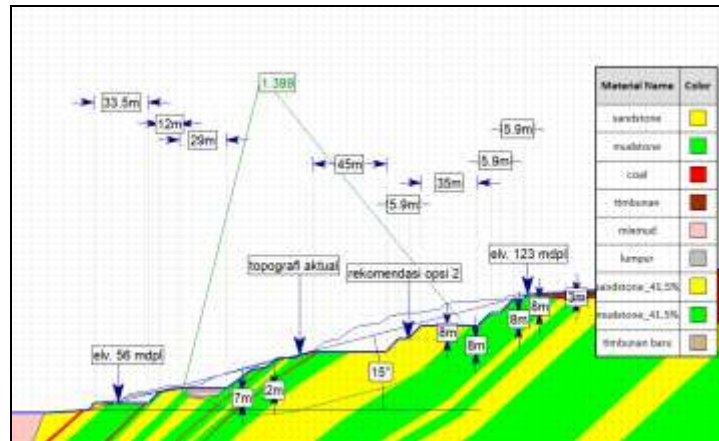
Gambar 9 desain optimasi Penampang A

Penampang B dibuat bench dielevasi 56 MDPL dengan lebar 21 m serta akan dilakukan loading pada material longoran yang kemudian diinpit dielevasi 64 MDPL, dari hasil analisis didapatkan nilai FK = 1.025.



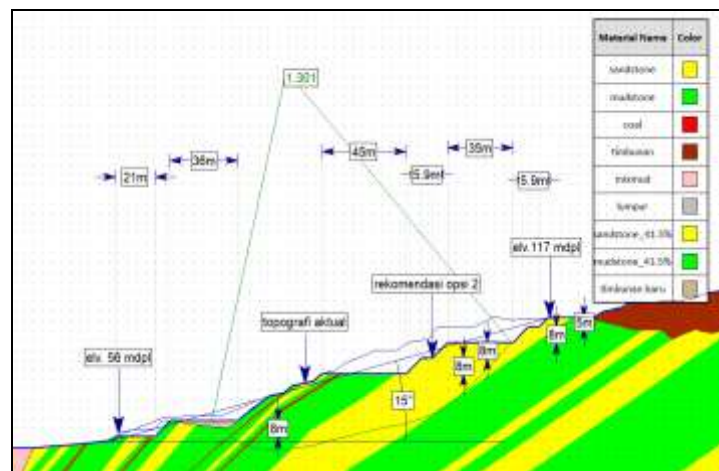
Gambar 10 desain optimasi penampang B

Hasil analisis dari kedua penampang ternyata tidak sesuai dengan kriteria nilai $FK \geq 1.3$ dan $PK > 5\%$ sehingga perlu dibuat desain rekomendasi yang sesuai pada tiap penampang. Untuk desain rekomendasi pada penampang A dibuat pada bench dielevasi 123-120 mdpl, dan dari analisis diperoleh nilai $FK = 1.399$, seperti pada gambar di 11 berikut:



Gambar 11 desain rekomendasi penampang A

Dalam pembuatan rekomendasi desain agar sesuai kriteria pada penampang B maka dibuat desain bench pada elevasi 117-112 MDPL serta elevasi 88-68 MDPL mengikuti topografi aktual, adapun hasil dari analisis yakni nilai $FK = 1.301$. Desain dari penampang B dapat dilihat pada gambar 12



Gambar 12 desain rekomendasi penampang B

Rekapitulasi nilai FK pada penampang A dan penampang B dapat dilihat pada tabel 14

Tabel 14 Rekapitulasi nilai FK

Penampang A	FK	Penampang B	FK
Sebelum longsor	1.750	Sebelum longsor	1.735
<i>Back analysis</i>	0.998	<i>Back analysis</i>	0.988
Setelah longsor (aktual)	1.090	Setelah longsor (aktual)	1.082
Optimasi	1.025	Optimasi	1.032
rekomendasi	1.399	rekomendasi	1.301

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan dan hasil analisis yang dilakukan pada lokasi penelitian area lowwall Pit XYZ penampang A dan penampang B di PT. Kideco Jaya Agung, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis balik pada area lowwall di Pit XYZ pada penampang A dan B menghasilkan nilai parameter geoteknik (kohesi dan sudut geser dalam) dengan material sandstone kohesi (c) = 88.66 kN/m² sudut geser dalam (ϕ) = 18° serta material mudstone kohesi (c) = 88.48 kN/m² sudut geser dalam (ϕ) = 16.46°

Tabel *material properties Back analysis*

Material	Sebelum <i>Back analysis</i>		Setelah <i>Back analysis</i>	
	c (kN/m ²)	ϕ	c (kN/m ²)	ϕ
<i>Sandstone</i>	143	30.8	83.66	16.46
<i>Mudstone</i>	151.3	28.1	88.48	18

2. Nilai faktor keamanan lereng aktual pada penampang A sebesar (FK) = 1.090 sedangkan penampang B memiliki nilai faktor keamanan (FK) = 1.082.
3. Rekomendasi desain geometri dibuat untuk optimasi batubara pada kedua penampang dan didapatkan nilai faktor keamanan (FK) = 1.025 pada penampang A dan penampang B memiliki nilai (FK) = 1.032. Rekomendasi geometri optimasi ini belum memenuhi kriteria sehingga peneliti membuat opsi desain pada masing-masing penampang. Penampang A rekomendasi desain opsi menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) = 1.399, serta pada penampang B dibuat rekomendasi desain yang menghasilkan nilai faktor keamanan (FK) = 1.301.

5. SARAN

Dari kesimpulan yang disampaikan diatas, peneliti memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Diperlukan penambahan jumlah sampel uji laboratorium guna melakukan validasi perhitungan probabilistic.
2. Pembuatan geometri lereng berdasarkan rekomendasi yang telah dibuat untuk menjaga kestabilan lereng.
3. Melakukan loading terhadap material longsor di area lowwall hingga mencapai elevasi + 62 MDPL yang dilanjutkan dengan mengisi area tersebut (*inpit*) dengan material keras (material timbunan baru).
4. Setelah melakukan kegiatan optimasi, segera lakukan *inpit* pada area optimasi untuk menjaga kestabilan lereng di area tersebut.
5. Pengamatan lereng secara intensif perlu dilakukan untuk mengetahui adanya pergerakan lereng dengan alat pemantau lereng
6. Perlu adanya pengendalian air permukaan untuk mencegah air masuk kedalam area longsor dan badan crack dengan membuat parit untuk mengarahkan aliran air yang melewati area longsor.
7. Perlu penerapan kontrol blasting pada kegiatan blasting di area tersebut untuk mengurangi dampak getaran terhadap kestabilan lereng.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arief, Saifuddin.. "Konsep Dasar & Metode-metode dalam Analisis Kestabilan Lereng". Buku kompilasi tidak diterbitkan. 2007
- [2]. Arief, Saifuddin. "Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan". Buku kompilasi tidak diterbitkan. 2008.
- [3]. Bowles, JE., Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah, Erlangga, Jakarta, 1989

-
- [4]. Duncan C. Wyllie & Christopher W. Mah - Rock Slope Engineering Civil and Mining 4th Edition
 - [5]. Giani, Gian Paolo., Rock Slope Stability Analysis, A. A. Balkema, Rotterdam. 1992
 - [6]. Hoek, E. & J. W. Bray, Rock Slope Engineering, Revised Third Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1981.
 - [7]. Hustrulid, W., M. Kuctha, & R Martin. Open Pit Mine Planning & Design. 3rd. (ed). London: CRC Press. 2006.
 - [8]. Pangular, D., Petunjuk Penyelidikan & Penanggulangan Gerakan Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, 1985.
 - [9]. Republik Indonesia.. Keputusan Menteri Energi Dan Sumberdaya Mineral No. 1827 Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik. Sekretariat Negara. Jakarta. 2018
 - [10]. Sakurai, Shunsuke. "*Back analysis In Rock Engineering*". London: Taylor & Francis Group. 2017.
 - [11]. Saptono, Singgih. "Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara". Disertasi tidak diterbitkan. Bandung: ITB. 2012.
 - [12]. Sharma, Sunil. Slope Stability Concepts (Chap. 6). New York: John Wiley & Sons. 2002.
 - [13]. Supandi, Dr. Engineering geology consideration for low-wall stability analysis in open-pit coal mine. Geotechnical and Geological Engineering. 39. 10.1007/s10706-021-01729-8. 2021.
 - [14]. Supandi, Hidayat. The impact of geometry bedding toward slope stability in coal mining. Geotechnical Safety and Risk IV – Zhang et al. (eds) ©2014 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00163-3: 559-562. 2014.
 - [15]. Wyllie, Duncan C., & Christopher W. Mah. "Rock Slope Engineering: Civil and Mining. 4rd. (ed). New York: Spoon Press. 2004.
 - [16]. Zufialdi Zakaria. Laboratorium Geologi Teknik, Prog. Studi Teknik Geologi – FTG UNPAD 2009