Analisis Kestabilan Lereng untuk Menentukan Desain Geometri Lereng Final pada Tambang Tanah Liat Tobo di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur

Nakhlah Amiroh Risyda Chaq[1], Yudho Dwi Galih Cahyono[2], Fairus Atika Redanto Putri[3]

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3]
e-mail: nakhlahrisyda@gmail.com

ABSTRACT

The research location is located at the Tobo Clay Mine of PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Tuban Regency, East Java Province. At the research location, the open pit mining method is used, which cannot be separated from the geotechnical problems of slope stability. The slopes at the research location are completely submerged by water so that it is impossible to measure the geometry of the existing slopes. The aim of the research is to determine the effect of water on the value of the slope safety factor, make recommendations for safe and efficient slope geometry, and to determine the comparison of safety factors between using the Fellenius method and using the Morgenstern-Prince method. All slope calculations are assumed to be dry and saturated, safety factor calculations are applied in Rockscience Slide V6.0 software. The analysis results showed that the slope condition was in the safe category, with the safety factor value in a saturated state. For overall slope recommendations, the angle of each bench on the overall slope is 45°, the overall slope angle is 29°, the overall slope height is 10 ms, the width of the slope is 28.114 ms, the width of each bench is 2 ms and the height of each bench is 2 ms. The safety factor value using the Fellenius method consists of a safety factor (fk) determine 1.324, a safety factor (fk) mean 1.331, and PK (0%). The safety factor value using the Morgenstern-Price method consists of a determine safety factor (fk) of 1.315 and a mean safety factor (fk) of 1.321.

Keywords: *Mining, clay, slope geometry, safety factor*

ABSTRAK

Lokasi penelitian terletak di Tambang Tanah Liat Tobo PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. Pada lokasi penelitan menggunakan metode penambangan tambang terbuka dengan begitu tidak lepas dengan permasalahan geoteknik kestabilan lereng. Lereng pada lokasi penelitian seluruhnya terendam oleh air sehingga tidak dapat melakukan pengukuran geometri lereng existing. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh air terhadap nilai faktor keamanan lereng, membuat rekomendasi geometri lereng yang aman dan efisien, dan untuk mengetahui perbandingan faktor keamanan antara menggunakan metode *Fellenius* dengan menggunakan metode *Morgenstern-Prince.* Semua perhitungan lereng diasumsikan pada keadaan kering dan jenuh, perhitungan faktor keamanan diaplikasikan dalam *software Rockscience Slide V6.0*. Hasil analisis diperoleh kondisi lereng dalam kategori aman, dengan nilai faktor keamanan dalam keadaan jenuh. Untuk lereng rekomendasi *overall slope*, sudut setiap *bench* pada *overall slope* 45°, sudut *overall slope* 29°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 28,114 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai faktor keamanan dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,324, faktor keamanan (fk) *mean* 1,331, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,315 dan faktor kemanan (fk) *mean* 1,321.

Kata kunci: Pertambangan, Tanah Liat, Kestabilan Lereng, Geometri Lereng, Faktor Keamanan**.**

PENDAHULUAN

PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk secara administrasi terletak di Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. Merupakan salah satu perusahaan pertambangan yang khususnya bergerak dalam bidang penambangan tanah liat (*clay*) dan batu gamping (*limestone*) [1]. PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk menggunakan sistem tambang terbuka yang tentu akan menghadapi

permasalahan yang khususnya dalam bidang geoteknik, dimana dari permasalahan tersebut dapat mempengaruhi kestabilan lereng[13]. Secara umum permasalahan yang kerap terjadi pada geoteknik adalah terdapat adanya longsor, meskipun longsoran yang terjadi reltaif kecil dengan tanda – tanda longsoran tidak terlalu tampak[8].

Dalam melaksanakan perencanaan desain lereng terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan antara lain tinggi setsetiap *bench*, lebar setiap *bench*, sudut setiap *bench*, tinggi *overall slope*, lebar *overall slope,* dan sudut *overall slope*. Apabila nilai faktor keamanan lereng semakin kecil, maka lereng tersebut semakin tinggi dan terjal, dan apabila nilai faktor keamanan suatu lereng semakin besar, maka lereng tersebut semakin rendah dan landai. Suatu lereng dinyatakan stabil apabila memenuhi kriteria yang telah di tetapkan pada lereng yaitu lereng dengai nilai FK > 1 menempati keadaan yang aman atau stabil[10].

Dalam penyelidikan lapangan yang telah dilakukan diarea penambangan tanah liat Tobo PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk yang direkomendasikan terdapat kondisi bahwasannya area penambangannya terendam oleh air, sehingga tidak dapat melakukan pengukuran geometri lereng existing. Berdasarkan kondisi tersebut maka air yang ada di daerah Tobo akan dipindahkan, alasan air dipindahkan karena lereng yang basah menjadikan tanah liat memiliki kandungan air yang tinggi. Semakin besar kandungan air dalam batuan maka tekanan air pori juga semakin besar dan penambahan air pada pori-pori tanah atau batuan akan memperbesar beban. Kondisi material yang jenuh dengan air menimbulkan penurunan kekuatan geser akibat adanya tekanan air pori di dalam tubuh material tersebut. Dengan demikian, kuat geser batuannya menjadi semakin kecil. Jika sudut geser batuannya semakin kecil maka material tersebut tidak akan tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya sehingga akan berpotensi untuk terjadi longsoran[12]. Oleh karena itu dilakukan penelitian analisis kestabilan lereng untuk menentukan desain geometri lereng final pada tambang tanah liat Tobo di PT. Semen Indonesia (Persero) untuk memberikan rekomendasi geometri lereng yang aman dan efisien. Sebagai upaya untuk mencegah terjadinya longsoran, maka perlu dilakukan analisis probabilitas untuk mengetahui kemungkinan terjadinya longsoran di kemudian hari, hal ini bertujuan untuk mencegah adanya kecelakaan kerja yang dapat mengakibatkan kerugian bagi perusahaan[3].

TINJAUAN PUSTAKA

Mencari literatur yang berhubungan dengan kestabilan lereng secara umum maupun secara khusus sejenis dengan bahan galian dalam penelitian, lokasi penelitian secara umum atau menyatakan secara khusus sama dengan lokasi yang terdapat pada daerah penelitian. Yang dapat diperoleh dari buku, jurnal, penelitian terdahulu, atau dari sumber lainnya.

Penelitian mengenai Rancangan Kestabilan Lereng Tanah Liat di Kuari Mliwang Timur PT. Semen Indonesia, Kabupaten Tuban, Jawa Timur, yang di karang oleh Ario Bagus Bramantya, penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk menentukan geometri lereng *single* dan *overall* yang aman dengan memiliki faktor keamanan >1,3. Pada penelitian ini menggunakan metode *Bishop Simplified* yang dikerjakan memakai *software Rocsience Slide V.5.0*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu; geometri lereng single memiliki lebar *bench* dua m, tinggi dua m, dan kemiringan tiga puluh lima derajat, tetapi untuk geometri lereng *overall* memiliki lebar setiap *bench* dua m, tinggi lereng overall tigapuluh m, dan kemiringan lereng *overall* duapuluh tiga derajat [4].

Penelitian mengenai Analisis Kestabilan Lereng Akhir Penambangan Pada Kuari Tanah Liat Blok Mliwang Timur PT. Semen Indonesia, Kabupaten Tuban, Jawa Timur, yang di karang oleh Hendarawan Ari Sudrajat, penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk menentukan geometri lereng *single* dan *overall* yang aman dengan memiliki fk>1,3. Pada penelitian ini menggunakan metode *Bishop Simplified* yang dikerjakan memakai *software Geo Studio 2012*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu; geometri lereng *single* memiliki lebar *bench* satu m, tinggi satu m, dan kemiringan lima belas derajat, tetapi untuk geometri lereng *overall* memiliki

lebar setiap *bench* satu m, tinggi lereng *overall* duapuluh m, dan kemiringan lereng *overall* dua belas derajat [5].

Penelitian mengenai Optimasi Produksi Penambangan Dari Aspek Perencanaan Geometri Lereng Kuari Tanah Liat Mliwang Barat PT. Semen Indonesia, Kabupaten Tuban, Jawa Timur, yang di karang oleh Ahmad Syahal Syaifuddin, penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk menentukan geometri lereng *single* dan *overall* yang aman dengan memiliki fk >1. Pada penelitian ini menggunakan metode *Morgenstern-Price* yang dikerjakan memakai *software Rocscience Slide V.6.0*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu; geometri lereng single memiliki lebar *bench* dua m, tinggi dua m, dan kemiringan tigapuluh derajat, tetapi untuk geometri lereng overall memiliki lebar setiap *bench* dua m, tinggi lereng *overall* enambelas m, dan kemiringan lereng *overall* duapuluh satu derajat [9].

Penelitian mengenai Analisis Kestabilan Lereng Pada Tanah Liat Mliwang Timur PT. Semen Indonesia, Kabupaten Tuban, Jawa Timur, yang di karang oleh Alfian Mulana, penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk menentukan geometri lereng *overall* yang aman dengan memiliki faktor keamanan >1,3. Pada penelitian ini menggunakan metode *Bishop Simplified* dan metode *Morgenstern-Price* yang dikerjakan memakai *Software Rocscience Slide V.6.0*. Hasil yang diperoleh yaitu geometri lereng *overall* memiliki lebar setiap *bench* tiga m, tinggi lereng *overall* sepuluh m, dan kemiringan lereng *overall* duapuluh delapan derajat [7].

METODE

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan yaitu dengan mememadukan metode kuantitatif dan metode kualitatif, dimana metode kuantitatif akan berbentuk grafik, angka, dan tabel, sedangkan untuk metode kualitatif akan berbentuk analisis data [11].

Pengumpulan Data

Peneitian dilaksanakan pada bulan April 2023 pada Tambang Tanah Liat Tobo di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, dengan mengambil data primer maupun data sekunder. Data primer yang diambil berupa data sifat fisik dan mekanik yang terdiri dari berat isi, kohesi, dan sudut geser dalam, dan data sekunder yang diambil berupa kondisi geologi, data topografi, data geologi, data geometri lereng eksisting dan data penunjang lainnya seperti data pendukung untuk pembuatan peta.

Tahap Pengolahan Data

Dalam tahap pengolahan data seluruhnya menggunakan bantuan perangkat *software*. Sebelum melakukan analisis faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran perlu melakukan pengolahan statistik untuk mengetahui distribusi data sebagai param masukan dalam perhitungan probabilitas kelongsoran dan faktor keamanan. Data yang diperlukan untu pengolahan statistik ini adalah bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam. Kemudian pengolahan data dilakukan menggunakan bantuan *Microsoft excel 2016* dan *matlab 2017.* Melakukan pembuatan pemodelan geometri lereng dengan *software AutoCAD 2007*. Dimana dalam pembuatan model ini dibuat beberapa geometri lereng yang kemudian akan di-*running* (data inputan terdiri dari berat isi, kohesi, dan sudut geser dalam, data statistik terdiri dari standar deviasi, relatif *minimum*, relatif *maximum*, dan tipe distribusi, dan kriteria keruntuhan menggunakan kriteria *Mohr-Coulumb*) menggunakan *software Slide V.6.0*. Permodelan geometri lereng yang dibuat yaitu rekomendasi lereng *overall slope.* Pada tahap perhitungan faktor keamanan yang dibutuhkan adalah rancangan geometri lereng. Dalam melakukan perhitungan faktor keamanan menggunakan bantuan *Software Rockscience Slide V 6.0.* Untuk perhitungan fk dan PK menggunakan metode *Fellenius* dan *Morgenstern-Price.* Pada perhitungan faktor keamanan lereng rekomendasi, lereng diperkirakan dalam kondisi kering dan dalam kondisi jenuh.

Analisis Data

Dalam analisis data ini dibagi menjadi tiga, untuk analisis rekomendasi lereng dengan menganalisis pada geometri lereng rekomendasi apakah aman dan efisien dengan membandingkan antar geometri lereng rekomendasi terutama pada *overall slope* kering dan *overall slope* jenuh dengan pilian sudut setiap *bench* yang dimulai dari 25° sampai 65° dengan kelipatan 5, dan untuk mengetahui perbandingan faktor keamanan antara menggunakan metode *Fellenius* dengan menggunakan metode *Morgenstern-Prince*, dan untuk analisis mengetahui pengaruh air terhadap nilai faktor keamanan lereng.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Laboratorium

Dari spesimen yang telah melalui pengujian sifat fisik dan mekanik di labolatorium, kemudian akan diproses kedalam *Software Rocscience Slide 6.0* untuk perhitungan fk. Untuk hasil uji labolatorium yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Sifat Fisik dan Mekanik

Tabel Sifat Fisik					
No	Jenis Pengujian	1	2	3	Rata-rata
1	Berat Isi Kering (γd) (gr/cm^3)	1,61	1,78	1,53	1,64
	Berat Isi Kering (γd) (kN/m^3)	15,789	17,456	15,004	160,829
Tabel Sifat Mekanik					
No	Jenis Pengujian	1	2	3	Rata-rata
1	Kohesi (C) (Kg/cm^2)	0,261	0,286	0,254	0,267
	Kohesi (C) (kN/m^2)	25,595	28,047	24,909	261,838
2	Sudut geser dalam (ϕ) (°)	11,28	13,82	10,15	11,75

Sumber: Data Penelitian 2023

Pengolahan Data

Dari data hasil uji laboratorium akan dilakukan pengolahan data statistik menggunakan Software *Matlab 2017* dan *Excel 2016*. Data-data yang digunakan dalam pengolahan data ini yaitu data sifat fisik dan data sifat mekanik yang terdiri dari berat isi, kohesi, dan sudut geser dalam. Adapun hasil pengolahan data statistik yaitu sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Statistik Distribusi Berat Isi Kering Tanah Liat

	Berat Isi	Kohesi	Sudut Geser
	Gamma	Gamma	Gamma
Dmax	0,55	0,56	0,52
Nilai Kritis a 0.05	0,785196366	0,785196366	0,785196366
Nilai Kritis a 0.1	0,704367328	0,704367328	0,704367328
Log-likehood	-429,626	-512,042	-548,234
P	3	3	3
AIC	-729,626	-812,042	-848,234
BIC	-5,011,941,882	-5,836,101,882	-6,198,021,882
Variance	102,937	178,153	228,901
SD	101,457,873	1,334,739,675	1,512,947,454
Mean	160,829	261,838	11,75
Relatif Min	1,078,747,141	1,274,909	1,6
Relatif Max	1,372,911,823	1,863,219	2,07

Sumber : Pengolahan Data, 2023

Analisis Lereng Rekomendasi

Dilaksanakan analisis lereng dengan membuat desain lereng rekomendasi *overall slope* kering dan lereng rekomendasi *overall slope* jenuh. Untuk tinggi lereng *overall slope* yaitu 10 m, untuk tinggi setiap *bench* yaitu 2 m, untuk lebar setiap *bench* dibuat 2 m, dan sudut setiap *bench* pada lereng *overall slope* digunakan mulai dari 25° sampai 65° dengan kelipatan 5°. Untuk mendapatkan nilai fk rekomendasi dilakukan analisis memakai *Software Rockscience Slide V.6.0,* dari analisis tersebut terdapat param yang harus di masukkan kedalam *software* tersebut untuk dapat memperoleh nilai faktor keamanan tersebut yaitu nilai berat isi dengan satuan kN/m^3, kohesi dengan satuan kN/m^2 dan sudut geser dalam atau phi dalam satuan derajat (°) [2]. Keriteria kelongsoran yang digunakan untuk penelitian ini yaitu keriteria keruntuhan *Mohr-Coulomb*, sementara itu perhitungan faktor keamanan lereng menggunakan metode *Fellenius,* metode *Morgenstern-Price.* Perhitungan probabilitas kelongsoran menggunakan data masukan standar deviasi, mean, relatif minimum, relatif maksimum, dan tipe distribusi. Sebuah lereng tidak lepas dengan yang namanya air baik air tanah maupun air hujan yang dapat mempengaruhi nilai faktor keamanan kestabilan lereng, ketika musim kemarau perhitungan lereng rekomendasi di asumsikan dalam kondisi kering, dan ketika musim penghujan perhitungan lereng rekomendasi di asumsikan dalam kondisi jenuh, dimana kondisi itu termasuk kedalam kondisi 1 dan 5 pada teori yang diusulkan oleh *Hoek and Bray* pada tahun 1981. Faktor keamanan yang direkomendasikan yaitu >1,3 karena sesuai dengan permintaan perusahaan dan berdasarkan Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, apabila faktor keamanan lereng >1,3 maka lereng tersebut di anggap aman [6]. Hasil perhitungan fk yang telah dilakukan terhadap lereng rekomendasi *overall slope* kering dan lereng rekomendasi *overall slope* jenuh dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Faktor Keamanan Lereng Reomendasi *Overall slope* Kering

Rekomendasi Sudut Tiap *Bench* *Pada Lereng*	Geometri Lereng					*Fellenius*		*Morgenstern- Price*		PK (%)	Keadaan	Keterangan
	Sudut Lereng Overall slope	Tinggi Lereng Overall (m)	Lebar Lereng Overall (m)	Lebar Tiap *Bench* (m)	Tinggi Tiap *Bench (m)*	FK Determine	FK Mean	FK Determine	FK Mean			
Rekomendasi 25°	19	10	39,415	2	2	2,071	2,083	2,173	2,187	0%	Kering	Aman
Rekomendasi 30°	21	10	35,420	2	2	1,943	1,955	2,047	2,060	0%	Kering	Aman
Rekomendasi 35°	24	10	32,369	2	2	1,845	1,856	1,946	1,958	0%	Kering	Aman
Rekomendasi 40°	27	10	29,908	2	2	1,775	1,785	1,868	1,879	0%	Kering	Aman
Rekomendasi 45°	29	10	28,114	2	2	1,721	1,731	1,805	1,816	0%	Kering	Aman
Rekomendasi 50°	31	10	26,362	2	2	1,670	1,680	1,740	1,750	0%	Kering	Aman
Rekomendasi 55°	34	10	25,002	2	2	1,630	1,639	1,684	1,694	0%	Kering	Aman
Rekomendasi 60°	36	10	23,804	2	2	1,587	1,596	1,635	1,645	0%	Kering	Aman
Rekomendasi 65°	38	10	22,657	2	2	1,546	1,554	1,587	1,598	0%	Kering	Aman

Sumber : Data Penelitian, 2023

Tabel 4. Faktor Keamanan Lereng Reomendasi *Overall slope* Jenuh

Rekomendasi Sudut Tiap *Bench* *Pada Lereng*	Geometri Lereng					*Fellenius*		*Morgenstern- Price*		PK (%)	Keadaan	Keterangan
	Sudut Lereng Overall slope (°)	Tinggi Lereng Overall (m)	Lebar Lereng Overall (m)	Lebar Tiap Bench (m)	Tinggi Tiap Bench (m)	FK Determine	FK Mean	FK Determine	FK Mean			
Rekomendasi 25°	19	10	39,415	2	2	1,568	1,578	1,571	1,580	0%	Jenuh	Aman
Rekomendasi 30°	21	10	35,42	2	2	1,471	1,479	1,471	1,480	0%	Jenuh	Aman
Rekomendasi 35°	24	10	32,369	2	2	1,406	1,414	1,404	1,413	0%	Jenuh	Aman
Rekomendasi 40°	27	10	29,908	2	2	1,356	1,364	1,352	1,361	0%	Jenuh	Aman
Rekomendasi 45°	29	10	28,114	2	2	1,324	1,331	1,315	1,324	0%	Jenuh	Aman
Rekomendasi 50°	31	10	26,362	2	2	1,294	1,299	1,281	1,289	0%	Jenuh	Aman
Rekomendasi 55°	34	10	25,002	2	2	1,271	1,278	1,254	1,262	0%	Jenuh	Aman
Rekomendasi 60°	36	10	23,804	2	2	1,252	1,260	1,225	1,232	0%	Jenuh	Aman

Sumber : Data Penelitian, 2023

Keterangan :

: Yang di rekomendasikan

Pembahasan Pengolahan Data

Hasil pengolahan data statistik terhadap param berat isi kering, kohesi, dan sudut geser dalam dari tanah liat menunjukkan bahwa param masukan yang paling cocok adalah gamma. Karena nilai AIC dan BIC dari ketiga distribusi menunjukkan nilai minimum pada distribusi *gamma*. Berat isi kering nilai AIC -7,29626 dan BIC -5,011941882, kohesi nilai AIC -8,12042 dan BIC -5,836101882, dan sudut geser dalam nilai AIC -8,48234 dan BIC -6,198021882. Semakin kecil nilai AIC dan BIC atau semakin mendekati 0 (nol) maka dapat disimpulkan bahwa model atau jenis distribusi tersebut seragam dan peluang kemungkinan yang besar atau model yang dipilih adalah baik.

Pembahasan Analisis Lereng Rekomendasi *Overall Slope* Kering

Dari hasil pengolahan data pada geometri lereng *overall slope* yang telah dikerjakan, penulis melakukan 2 rekomendasi yaitu geometri lereng rekomendasi overall slope kering dan geometri lereng rekomendasi overall slope jenuh berikut ialah pembahasan mengenai geometri lereng rekomendasi *overall slope* kering dengan jenjang tinggi lereng *overall* 10 m, untuk tinggi setiap *bench* yaitu 2 m, dan untuk lebar *bench* dibuat 2 m.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 25°, sudut *overall slope* 19°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 39.415 m, lebar setiap *bench* 2 m, dan tinggi setiap *bench* 2 m . Nilai faktor keamanan dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 2,071, faktor keamanan (fk) *mean* 2,083, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 2,173, faktor keamanan (fk) *mean* 2,187, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 30°, sudut *overall slope* 21°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 35,420 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,943, faktor keamanan (fk) *mean* 1,955, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 2,047, faktor keamanan (fk) *mean* 2,060, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 35°, sudut *overall slope* 24°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 32,369 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,845, faktor keamanan (fk) *mean* 1,856, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,946, faktor keamanan (fk) *mean* 1,958, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 40°, sudut *overall slope* 27°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 29,908 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai faktor keamanan dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,775, faktor keamanan (fk) *mean* 1,785, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,868, faktor keamanan (fk) *mean* 1,879, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 45°, sudut *overall slope* 29°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 28,114 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,721, faktor keamanan (fk) *mean* 1,731, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,805 dan faktor keamanan (fk) *mean* 1,816. Maka lereng dalam kondisi aman

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 50°, sudut *overall slope* 31°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 26,362 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,670, faktor keamanan (fk) *mean* 1,680, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan

dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,740, faktor keamanan (fk) *mean* 1,750, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 55°, sudut *overall slope* 34°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 25,002 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,630, faktor keamanan (fk) *mean* 1,639, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,684, faktor keamanan (fk) *mean* 1,694, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 60°, sudut *overall slope* 36°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 23,804 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,587, faktor keamanan (fk) *mean* 1,596, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,635, faktor keamanan (fk) *mean* 1,645, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 65°, sudut *overall slope* 38°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 22,657 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,546, faktor keamanan (fk) *mean* 1,554, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,587, faktor keamanan (fk) *mean* 1,598, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman.

Pembahasan Analisis Lereng Rekomendasi *Overall Slope* Jenuh

Dari hasil pengolahan data pada geometri lereng overall slope yang telah dkerjakan, penulis melakukan 2 rekomendasi yaitu geometri lereng rekomendasi overall slope kering dan geometri lereng rekomendasi overall slope jenuh, berikut ialah pembahasan geometri lereng rekomendasi overall slope jenuh dengan total 5 jenjang tinggi lereng *overall* 10 m, untuk tinggi setiap *bench* yaitu 2 m, dan untuk lebar setiap *bench* dibuat 2 m.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 25°, sudut *overall slope* 19°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 39,415 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,568, faktor keamanan (fk) *mean* 1,578, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,571, faktor keamanan (fk) *mean* 1,580, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman namun kurang efisien.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 30°, sudut *overall slope* 21°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 35,420 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,471, faktor keamanan (fk) *mean* 1,479, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,471, faktor keamanan (fk) *mean* 1,480, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman namun kurang efisien.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 35°, sudut *overall slope* 24°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 32,369 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,406, faktor keamanan (fk) *mean* 1,414, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,404, faktor keamanan (fk) *mean* 1,413, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman namun kurang efisien.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 40°, sudut *overall slope* 27°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 29,908 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,356, faktor keamanan (fk) *mean* 1,364, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan

dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,352, faktor keamanan (fk) *mean* 1,361, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman namun kurang efisien.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 45°, sudut *overall slope* 29°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 28,114 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,324, faktor keamanan (fk) *mean* 1,331, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,315 dan faktor kemanan (fk) *mean* 1,321, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman dan efisien.

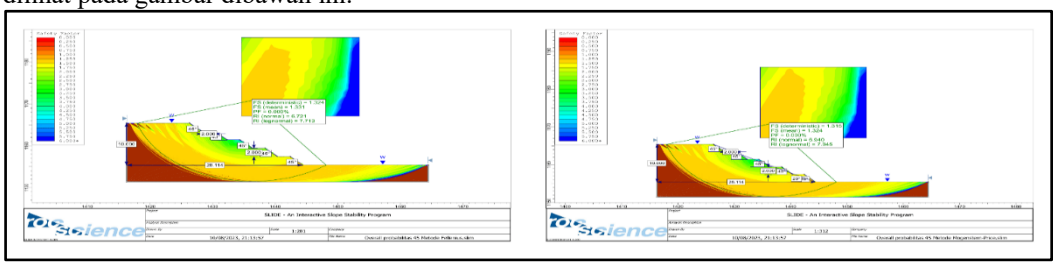
Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 50°, sudut *overall slope* 31°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 26,362 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,294, faktor keamanan (fk) *mean* 1,302, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,281, faktor keamanan (fk) *mean* 1,289, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman namun kurang efisien.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 55°, sudut *overall slope* 34°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 25,002 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,271, faktor keamanan (fk) *mean* 1,278, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,254, faktor keamanan (fk) *mean* 1,262, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman namun kurang efisien.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 60°, sudut *overall slope* 36°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 23,804 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,252, faktor keamanan (fk) *mean* 1,260, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,225, faktor keamanan (fk) *mean* 1,232, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman namun kurang efisien.

Rekomendasi *Overall slope*, yang memiliki sudut setiap *bench* pada *overall slope* 65°, sudut *overall slope* 38°, tinggi lereng *overall* 10 m, lebar lereng 22,657 m, lebar setiap *bench* 2 m dan tinggi setiap *bench* 2 m. Nilai fk dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,235, faktor keamanan (fk) *mean* 1,242, dan PK (0%). Nilai faktor keamanan dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,190, faktor keamanan (fk) *mean* 1,197, dan PK (0%). Maka lereng dalam kondisi aman namun kurang efisien.

Dari hasil analisa kedua geometri lereng rekomendasi tersebut dapat diketahui jika dengan sudut setiap *bench* pada *overall slope* 45° lebih fisien jika dibandingkan dengan sudut setiap *bench* pada *overall slope* 40°. Meskipun dari kedua sudut rekomendasi setiap *bench* pada *overall slope* sama-sama mempunyai faktor kemanan (fk) >1,3, tetapi pada sudut setiap *bench* pada *overall slope* 45° memiliki lebar lereng yang lebih pendek yaitu 28,114 m sehingga lebih efisien karena lebih banyak tanah liat yang dapat ditambang, berikut adalah gambaran desain lereng rekomendasi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Lereng Rekomendasi *Overall Slope* Jenuh, Sudut Setiap *Bench* 45°, Sudut *Overall slope* 29° dengan menggunakan metode *Fellenius* dan *Morgenstern-Price*

KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu berdasarkan analisis yang telah dilakukan, rekomendasi geometri lereng *overall slope* yang aman dan efisien yaitu dengan sudut setiap *bench* pada *overall slope* 45, sudut *overall slope* 29°, tinggi lereng overall 10 m, lebar setiap bench 2 m, tinggi setiap bench 2 m, dan lebar lereng 28,114 m, untuk lereng rekomendasi *Overall slope* berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dikerjakan diperoleh nilai fk lereng *overall slope* rekomendasi dalam keadaan kering dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,721, faktor keamanan (fk) *mean* 1,731, dan PK (0%). dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,805 dan faktor kemanan (fk) *mean* 1,816. Dan dalam keadaan jenuh dengan metode *Fellenius* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,324, faktor keamanan (fk) *mean* 1,331, dan PK (0%). dengan metode *Morgenstern-Price* yang terdiri dari faktor keamanan (fk) *determine* 1,315 dan faktor kemanan (fk) *mean* 1,321. Lereng rekomendasi *Overall slope* termasuk dalam kategori aman. Dan dari hasil perhitungan faktor keamanan yang telah dilakukan maka dapat dikatakan bahwa kondisi air sangat berpengaruh terhadap rekomendasi lereng *overall slope.* Pada saat lereng dalam keadaan jenuh memiliki nilai faktor keamanan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan lereng dalam keadaan kering yang memiliki nilai faktor keamanan lebih besar

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada keluarga besar penulis yang berada di kota Surabaya, bapak ibu dan dosen Teknik Pertambangan ITATS, bapak dan ibu di *Unit Section Of Mine Planning & Monitoring* PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Unit Tuban, teman-teman Teknik Pertambangan 2019, dan serta teman-teman sarjana tadika.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A.Salim, "Analisis Balik Kestabilan Lereng Di Area Quarry Tambang Blok Mliwang Timur PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Tuban, Jawa Timur", Universitas Narotama Surabaya . 2019.
[2] Ade Elian A, Jusfarida Jusfarida"Geologi Dan Studi Kestabilan Lereng Pada Kuari Batugamping Blok Z-19 PT Semen Indonesia (Persero) Tuban – Jawa Timur" pp. 131-140, 2016.
[3] Afdol Firdausyanto, Yudho D. G. C. "Analisis Pengaruh Faktor Kerusakan Akibat Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng Pada PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, Desa Sumberarum, Kec. Kerek, Kab. Tuban, Jawa Timur" vol. 2, no.1, pp. 325–332, 2020.
[4] Bramantya A. B. 2016.“Rancangan Kestabilan Lereng Tanah Liat Di Kuari Mliwang Timur Pt. Semen Indonesia Kebupaten Tuban Jawa Timur”.
[5] H. A. Sudrajat. 2017. “Analisis Kestabilan Lereng Akhir Penambangan Pada Kuari Tanah Liat Blok Mliwang PT. Semen Indonesia, Kabupaten Tuban, Jawa Timur”. UPN: Yogyakarta.
[6] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor : 1827 K/30/MEM/ 2018. Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambang Yang Baik.
[7] Maulana Alfian, Y. D. G. Cahyono, A. V. Sari, R. H .K. Putri . 2022. “Analisis Kestabilan Lereng Pada Tambang Tanah Liat Mliwang Timur PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur”.
[8] Romano Aulia Rahman, Jusfarida Jusfarida "Analisis Kestabilan Lereng Dan Rekomendasi Lereng Final Di Blok Tuban Penambangan Batugamping Bagian Utara PT.Semen Indonesia (Persero) Tbk", 2019..
[9] Syaifuddin, Arif. S. 2019.“Optimasi Produksi Penambangan Dari Aspek Perancangan Geometri Lereng Kuari Tanah Liat Mliwang Barat PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Kabupeten Tubanjawa Timur”.

[10] T Rijayanti, Hana. 2017."Analisis Kestabilan Lereng Tambang Kuari Tanah Liat Kso Mliwang Timur PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk Tuban Jawa Timur". *Other Thesis*, Upn "Veteran" Yogyakarta.

[11] Y. D. G. Cahyono and A. Khanifa, "*The Influence of Structural Structures on Slope Stability at PT. Energi Batubara Lestari, South Kalimantan,*" *Promine*, vol.7, no.1, pp. 34–40, 2019.

[12] Y. D. G. Cahyono, "Analisis Kestabilan Lereng Highwall Berdasarkan Tingkat Kejenuhan Dengan Metode Probabilitas Pada Tambang Batubara PT X Kalimantan Timur," vol. 9, no.3 , pp. 229–238, 2021.

[13] Y. D. G. Cahyono, "Analisis Kestabilan Lereng Tambang Batu Gamping Menggunakan Teori Keruntuhan Hoek And Brown," in Katalog Buku Karya Dosen ITATS, 2021.