ANALISIS KESTABILAN LERENG PADA TAMBANG BATU ANDESIT CV. EMPAT LIMA DESA MORANG KECAMATAN KARE KABUPATEN MADIUN PROVINSI JAWA TIMUR

Muhammad Roisul Amin[1], Yudho Dwi Galih Cahyono[2], Fairus Atika Redanto Putri[3]
Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3]
e-mail: muhammadroisulamin05@gmail.com

ABSTRACT

The research location is located at IUP Madiun CV. Four Five Morang Villages, Kare District, Madiun Regency, East Java Province. At the research location, mining has been carried out using the open pit mining method, so it cannot be separated from problems related to geotechnical slope stability. The aim of the research is to determine the value of the safety factor using the Janbu simplified and Janbu corrected methods. Slope calculations are carried out in dry, semi-saturated and saturated conditions. The safety factor calculation was applied in Rockscience Slide v 6.0 software. The analysis results show that the value of the condition of the existing slope is in the safe category in dry, semi-saturated and saturated conditions with a safety factor value in dry conditions with a slope height of 10 meters, a slope angle of 85° and a bench width of 3 meters which has a safety factor value of more than 1.0, which is equal to 1,222 with the Janbu Simplified method whereas Janbu Corrected method has a safety factor value of more than 1.0, namely 1,281. The value of the safety factor in a half-saturated state with a slope height of 10 meters, a slope angle of 85° and a bench width of 3 meters which has a safety factor value of more than 1.0 is 1.121 using the Janbu Simplifed method whereas Janbu Corrected has a safety factor value of more than 1.0, namely 1,178. The saturated safety factor value with a slope height of 8 meters, a slope angle of 80° and a bench width of 3 meters which has a safety factor value of less than 1.0 is 0.984 with the Janbu Simplifed method whereas Janbu Corrected has a safety factor value of more than 1.0, namely 1.038.

Keywords: *Slope stability, andesite stone, janbu method, safety factors.*

ABSTRAK

Lokasi penelitian terletak pada IUP Madiun CV. Empat Lima Desa Morang Kecamatan Kare Kabupaten Madiun Provinsi Jawa Timur. Pada lokasi penelitian telah dilakukan penambangan dengan menggunakan metode penambangan tambang terbuka, dengan begitu tidak lepas dari permasalahan terkait geoteknik kestabilan lereng. Tujuan penelitian untuk mengetahui nilai faktor keamanan menggunakan metode *janbu simplifid* dan *janbu corrected*. Perhitungan lereng dilakukan dalam keadaan kering, setengah jenuh dan jenuh. Perhitungan faktor keamanan diaplikasikan dalam *software rockscience slide v 6.0*. Hasil analisis diperoleh nilai kondisi lereng *eksisting* dalam kategori aman pada kondisi kering, setengah jenuh dan jenuh dengan nilai faktor keamanan dalam keadaan kering dengan tinggi lereng 10 meter, sudut lereng 85° dan lebar *bench* 3 meter yang memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.0 yaitu sebesar 1.222 dengan metode *Janbu Simplifed* sedangkan *Janbu Corrected* memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.0 yaitu sebesar 1.281. Nilai faktor keamanan keadaan setengah jenuh dengan tinggi lereng 10 meter, sudut lereng 85° dan lebar *bench* 3 meter yang memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.0 yaitu sebesar 1.121 dengan metode *Janbu Simplifed* sedangkan *Janbu Corrected* memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.0 yaitu sebesar 1.178. Nilai faktor keamanan jenuh dengan tinggi lereng 8 meter, sudut lereng 80° dan lebar *bench* 3 meter yang memiliki nilai faktor keamanan kurang dari 1.0 yaitu sebesar 0.984 dengan metode *Janbu Simplifed* sedangkan *Janbu Corrected* memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.0 yaitu sebesar 1.038.

Kata kunci: Kestabilan lereng, batu andesit, metode janbu, faktor keamanan.

PENDAHULUAN

Aktivitas penambangan dengan sistem tambang terbuka akan selalu dihadapkan pada masalah geoteknik yang tentunya akan mempengaruhi kestabilan lereng pada lokasi penambangan. Kestabilan lereng merupakan suatu kondisi atau keadaan yang mantap atau stabil terhadap suatu bentuk dan dimensi lereng[1], [2]. Dimana kestabilan lereng ini dapat dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal meliputi kondisi massa batuan, desain tambang yang digunakan dan kondisi geologi lokasi penambangan, sedangkan faktor eksternal meliputi iklim, derajat pelapukan dan gaya-gaya dari luar. Hal ini perlu menjadi perhatian perusahaan-perusahaan tambang yang menerapkan sistem tambang terbuka.

ISSN 2775-5630

CV. Empat Lima merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan khususnya penambangan batu andesit yang berlokasi di Desa Morang, Kabupaten Madiun, Provinsi Jawa Timur. CV. Empat Lima melakukan kegiatan penambangan menggunakan sistem tambang terbuka. Dalam aktivitas penambangannya perlu dilakukan analisis kestabilan lereng karena pada lokasi tersebut belum dilakukan kajian terhadap kondisi lerengnya. Selain itu, terdapat beberapa masalah yang kemungkinan dapat menyebabkan lereng tidak stabil. Masalah tersebut meliputi geometri lereng yang terlalu tegak (75°) dan ada perbedaan antara perancangan lereng dan kondisi lereng sebenarnya di lapangan, baik itu single slope, bench tinggi, dan lebar berm, berdasarkan masalah tersebut dikhawatirkan akan menyebabkan kondisi lereng menjadi tidak stabil dikemudian hari dan memungkinkan terjadinya longsoran pada lereng.

Analisis probabilitas harus dilakuakan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya longsoran di kemudian hari dalam upaya mencegah longsor yang dapat mengakibatkan kerugian bagi perusahaan. Hal ini dapat dilakukan dengan cara mengetahui klasifikasi massa batuan sebagai informasi awal kelas batuan, menentukan jenis longsoran yang mungkin terjadi dan memperhitungkan nilai faktor keamanan untuk mengetahui geometri lereng yang aman dan efisien[3].

TINJAUAN PUSTAKA

Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng mengacu pada ketahanan blok di atas suatu permukaan miring (diukur dari garis *horizontal*) terhadap runtuhan (*collapsing*) dan gelinciran (*sliding*)[1]. Dalam hal ini, setiap permukaan dengan kemiringan terhadap garis horizontal disebut lereng, baik itu buatan manusia maupun alami. Karena lereng membentuk sudut, gaya gravitasi akan membuat blok di atas permukaan bergerak menuruni lereng. Jika gaya penggerak tersebut relatif jauh lebih besar dari pada kekuatan geser dari material penyusun lereng yang relatif jauh lebih kecil, maka akan terjadi longsoran. Menurut Keruntuhan pada lereng alami atau buatan disebabkan karena adanya perubahan antara lain topografi, seismik, aliran air tanah, kehilangan kekuatan, perubahan tegangan, dan musim/iklim/cuaca[4], [5].

Faktor - Faktor yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

Adapun factor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng yaitu: (1) Sifat fisik dan mekanik; (2) Geometri lereng[6]; (3) Pengaruh tinggi muka air tanah[7]. Material Sifat fisik batuan yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah bobot isi tanah (γ), porositas dan kandungan air. Sedangkan sifat mekanik batuan yang mempengaruhi kestabilan lereng adalah kuat geser batuan yang dinyatakan dengan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ)[8].Jika lereng terdiri dari satu jenjang, itu disebut lereng tunggal (*Single Slope*).Jika dibentuk oleh beberapa jenjang, itu disebut lereng keseluruhan (*overall slope*).Untuk jenis material penyusun yang sebanding atau homogen, kontinu dan isotrop, lereng yang terlalu tinggi cenderung lebih mudah longsor daripada lereng yang relatif rendah.Semakin besar sudut kemiringan lereng, semakin tidak setabil lereng secara relatif. Semakin lebar berm, semakin stabil lereng. Lereng sebagian besar basah karena muka air tanah yang dangkaldan kandungan air tinggi batuan. Kekuatan batuan menjadi rendah dan batuan menerima beban air tambahan, sehingga lereng lebih mudah longsor.

Kriteria Keruntuhan *Mohr Coulomb*

Teori *Mohr* menganggap bahwa untuk suatu keadaan tegangan $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma 3$ (*intermediate stress*) tidak mempengaruhi *failure* batuan dan kuat tarik tidak sama dengan kuat tekan. Teori ini didasarkan pada hipotesis bahwa tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada permukaan *rupture* memainkan peranan pada proses *failure* batuan. Untuk beberapa bidang *rupture* dimana tegangan normal sama besarnya, maka bidang yang paling lemah adalah bidang yang mempunyai tegangan geser paling besar sehingga kriteria dapat ditulis sebagai berikut[9]:

$$\tau = f(\sigma) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Untuk keadaan tegangan $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma 3$, yang diposisikan pada bidang (τ, σ), terlihat bahwa lingkaran *Mohr* (σ_1, σ_3) mempengaruhi kriteria *failure*. *Failure* terjadi jika lingkaran *Mohr* menyinggung kurva *Mohr* (kurva intrinsik) dan lingkaran tersebut disebut lingkaran *failure*.

Metode Kesetimbangan Batas

Dalam studi geoteknik, metode kesetimbangan batas (LEM) sering digunakan untuk menganalisa kestabilan lereng[10], [11]. Pada metode ini, perhitungan analisis kestabilan hanya menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan-regangan pada lereng. Asumsi lainya yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh, harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu. Secara umum, bidang runtuh digambarkan sebagai sebuah busur lingkaran. Setelah bidang runtuh dan geometri ditentukan, massa diatas bidang runtuh dibagi menjadi sejumlah irisan untuk untuk mempertimbangkan adanya kesetimbangan air pori sepanjang bidang runtuh. Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks faktor keamanan. Faktor keamanan dihitung menggunakan kesetimbangan gaya, kesetimbangan momen atau kedua kondisi kesetimbangan tersebut.

Tipe Longsoran

Kelongsoran tanah merupakan salah satu yang paling sering terjadi pada bidang geoteknik akibat meningkatnya tegangan geser suatu massa tanah atau menurunnya kekuatan geser suatu massa tanah. Adapun beberapa tipe kelongsoran yaitu longsoran bidang, longsoran baji, longsoran busur, dan longsoran guling.

Pendekatan Probabilitas

Nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dapat ditemukan melalui probabilitas, yang memperlakuakan nilai masukan sebagai variabel acak. Oleh karena itu, nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak juga merupakan variabel acak[12], [13]. Nilai parameter masukan dan faktor keamanan akan digambarkan dalam proses ini. Selain itu, metode ini dapat mengidentifikasi komponen yang paling mempengaruhi kestabilan lereng dengan membandingkan sensitivitas perubahan nilai setiap meter masukan dengan nilai faktor keamanan. Dalam perencanaan tambang terbuka, penentuan sudut kemiringan lereng yang diterima sangat penting. Namun, pemilihan sudut kemiringan lereng yang tepat menjadi lebih sulit karena ketidakpastian terkait dengan geometri lereng, sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi pembebanan, dan ketahanan model. Probabilitas kelongsoran (PK) dihitung sebagai rasio antara area pada distribusi FK < 1 dibagi dengan total area pada kurva distribusi probabilitas.

Metode Perhitungan Probabilitas Kelongsoran

Metode yang paling banyak digunakan dalam perhitungan probabilitas kelongsoran adalah metode kesetimbangan batas dengan simulasi *Monte Carlo*[14], [15]. Namun, untuk permasalahan mekanisme longsoran yang kompleks telah banyak digunakan metode numerik di dalam analisis kestabilan lereng. Metode *numerik*, seperti halnya metode elemen hingga, cukup sukses digunakan dalam perhitungan probabilitas kelongsoran suatu lereng. Hal ini didasarkan pada pendekatan dengan konsep *Probability Density Funtion* (PDF) untuk menghitung faktor keamanan sebagai fungsi variabel acak[16], [17].

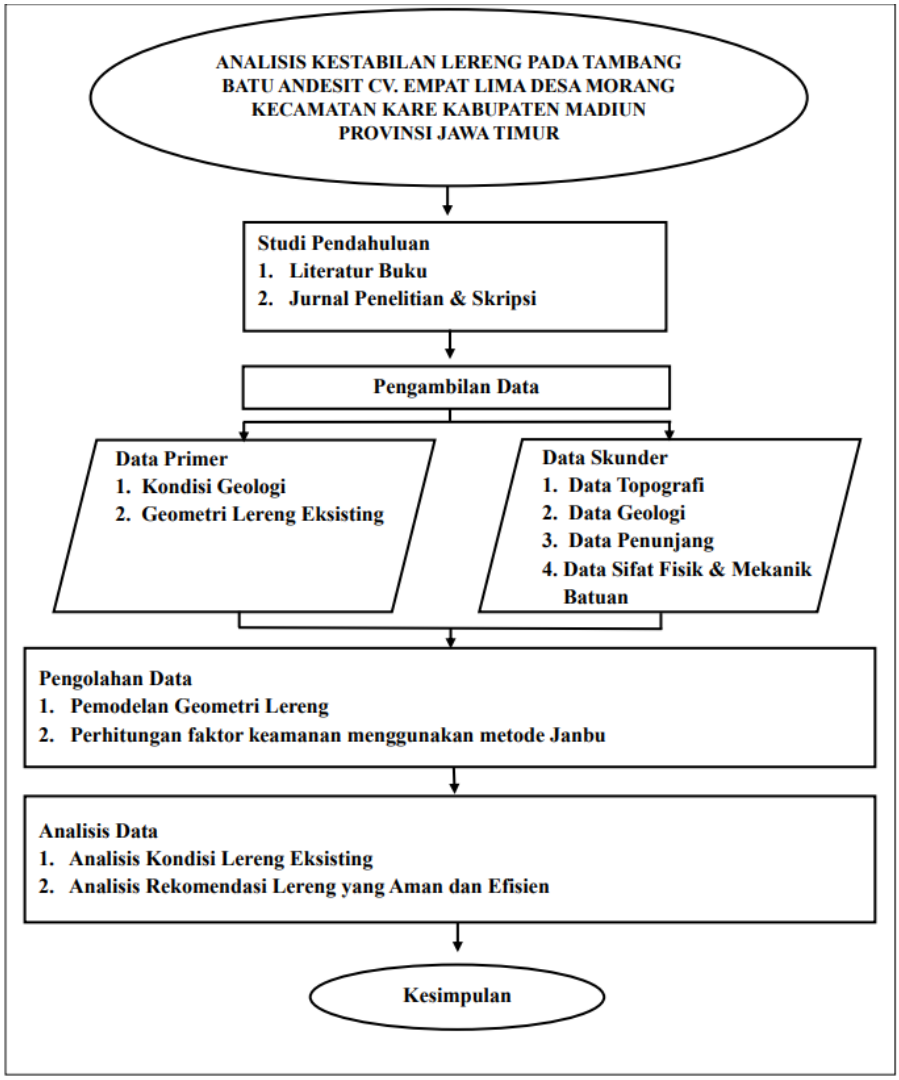
METODE

Penelitian mengenai analisis kestabilan lereng pada area penambangan CV. Empat Lima di Desa Morang Kecamatan Kare, Kabupaten Madiun, Provinsi Jawa Timur. Penulis menggabungkan metode kualitatit dan kuantitatif dalam penelitian ini. Metode kuantitatif akan menghasilkan angka grafik dan tabel, sementara metode kualitatif akan menghasilkan analisis data.

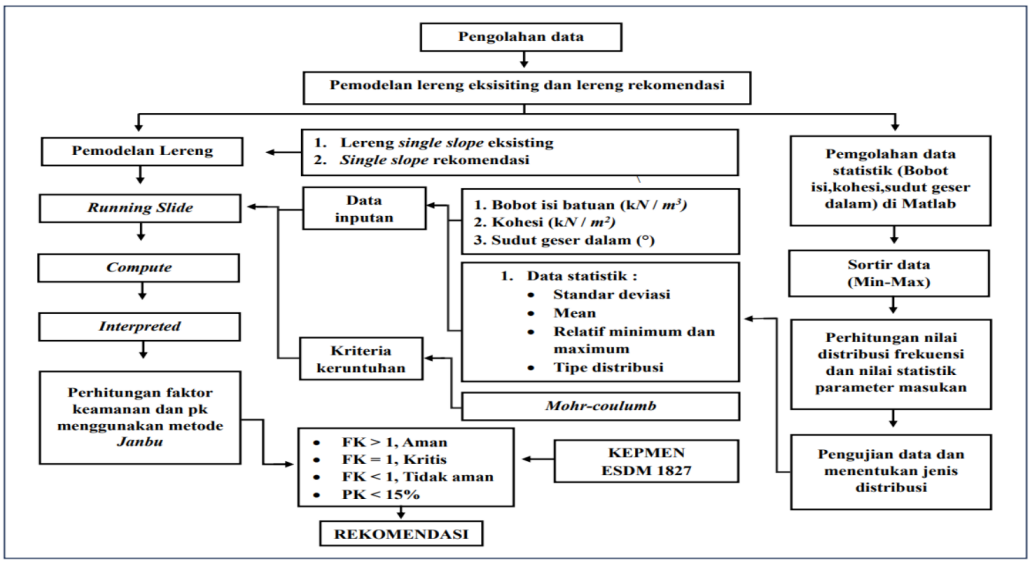
Pelaksanaan penelitian dilaksanakan mulai tanggal 25 November sampai 29 Desember 2022. Pada tanggal 25 November 2022 dilakukan pengarahan secara online. Tanggal 28 November sampai 29 Desember 2022 kegiatan kerja praktek dilaksanakan secara langsung di CV. Empat Lima Desa Morang, Kecamatan Kare, Kabupaten Madiun, Provinsi Jawa Timur. Kegiatan yang dilakukan yaitu pengambilan sampling pada area yang akan di tambang. Sample tersebut untuk diproses lebih lanjut di labolatorium di malang yang hasilnya berupa data kadar tiap sample. Selanjutnya melakukan pengukuran pada jenjang yang ada di area tambang batu andesit sehingga data yang dibutuhkan dapat terkumpul mulai data primer yang didapat di lapangan secara langsung maupun data sekunder dari data-data sebelumnya.

Tahap pengolahan data seluruhnya membutuhkan bantuan *software* atau prangkat lunak. Sselanjutnya data kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi batuan dikonversi satuan menggunakan *Rocsience Slide Software V 6.0*. Kemudian dari data yang terkumpul kemudian dilakukan pengolahan yang meliputi

pengolahan data inputan dimana dari data hasil labolatorium diambil data bobot isi batuan, kohesi dan sudut geser dalam untuk diolah dengan *software matlab* yang akan digunakan untuk menghitung probabilitas kelongsoran. Kedua, membuat pemodelan geometri lereng dengan *Software AutoCAD 2007.* Dimana dalam pembuatan model ini dibuat beberapa geometri lereng yang kemudian akan di-*running* menggunakan *software Slide V6.0* untuk analisis faktor keamanan. Permodelan lereng yang dibuat meliputi lereng aktual (*eksisting*) dan lereng rekomendasi. Ketiga, perhitungan factor keamanan dan probabilitas kelongsoran menggunakan bantuan *Software Rockscience Slide V 6.0*. Untuk keriteria keruntuhan pada material batu andesit ini menggunakan keriteria keruntuhan *mohr-coulomb,* sedangkan untuk faktor keamanan lereng menggunakan metode *Janbu.*
Berikut adalah diagram alir yang menggambarkan proses dari dimulainya penelitian sampai mendapatkan kesimpulan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Secara geografis CV. Empat Lima terletak pada 7°40'0" Lintang Selatan - 7°40'59" Lintang Selatan dan 111°42'28" Bujur Timur -111°42'46" Bujur Timur berada pada elevasi tertinggi 350 meter dibagian utara sampai ketinggian 500 meter dibagian selatan dimana morfologi bentang alam berupa perbukitan dan lembah dengan kemiringan lereng relatif datar / sedikit bergelombang (0-8%) sampai dengan kelerengan yang curam (>60%). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada peta dibawah.

Berdasarkan peta geologi lembar Madiun dareah penelitian berada pada formasi batuan notopuro (Qav) yang berumur plistosen akhir. Terdapat endapan vulkanik berupa batu andesit yang banyak tersebar. Sebagian permukaannya ditutupi oleh tanah yang ketebalannya bervariasi dari 10cm sampai 100cm dan sebagian lainnya tidak ditutupi oleh tanah (batu andesit tersingkap).

Untuk menghitung faktor keamanan lereng, sifat fisik dan mekanik dari sampel yang telah diuji akan diaplikasikan ke dalam *Rocscience Slide 6.0 Software*. Untuk mengetahui faktor keamanan lereng tersebut, berat isi dengan satuan kN/m3, kohesi dengan kPa, dan sudut geser dalam, juag dikenal sebagai phi, digunakan dalam satuan drajat.

Pada lokasi penelitian kondisi lereng eksisting di CV. Empat Lima memiliki tinggi lereng *eksisting* 5 meter dengan lebar *bench* 3 meter sedangkan untuk kemiringannya yaitu 75 derajat. Lereng tersebut terdiri atas batu andesit.

Untuk mendapatkan nilai faktor keamanan lereng eksisting dilakukan analisis menggunakan bantuan *Software Rockscience Slide V 6.0* untuk mendapatkan nilai faktor keamanan, software harus memasukkan nilai berat isi dalam satuan (Kn/m3), kohesi dalam satuan (kPa), dan sudut geser dalam satuan (°), juga dikenal sebagai phi. Untuk material andesit ini, kriteria menggunakan *mohr-coulomb* digunakan. Untuk faktor keamanan lereng, metode *Janbu Simplifed* dan *Janbu Corrected* digunakan. Pada perhitungan lereng *eksisting* ini diasumsikan lereng *eksisting* dalam kondisi kering dan jenuh.

Adapun hasil perhitungan faktor keamanan lereng *eksisting* dapat dilihat bahwa faktor keamanan lereng *eksisting* dalam keadaan kering dengan metode *Janbu Simplified* memporelah nilai sebesar 2.029, sedangkan dengan metode *Janbu Corrected* sebesar 2.156. Faktor keamanan dalam kondisi jenuh memperoleh nilai 1.493 dengan metode *Janbu Simplified*,sedangkan dengan metode *Janbu Corrected* sebesar 1.588. Sehingga geometri lereng eksisting dapat dikategorikan aman. Hasil perhitungan faktor keamanan lereng dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Geometri Lereng *Eksisting*

Lereng	Geometri Lereng		Kondisi	Faktor Keamanan	
	Tinggi (m)	Sudut (°)		*Janbu Simplified*	*Janbu Corrected*
Eksisting	5	75	Kering	2.029	2.156
	5	75	Jenuh	1.493	1.588

Rekomedasi geometri lereng dilakukan pada lereng *eksisting* dalam keadaan kering dan jenuh. Lereng *eksisting* dilakukan perhitungan faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK) dengan tinggi lereng yaitu 5 meter – 10 meter, dan kemiringan yang digunakan yaitu sudut 80° dan 85°. Hasil perhitungan nilai faktor keamanan (FK) dan probabilitas kelongsoran (PK) lereng eksisting dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Rekomendasi Lereng *Eksisting*

Lereng	Geometri Lereng		Kondisi	Faktor Keamanan					
				Janbu Simplifed			*Janbu Corrected*		
	Tinggi	Sudut		D	Mean	PK (%)	D	Mean	PK (%)
Eksisting	5 m	80°	Kering	1.983	1.964	1.983	1.964	0.000	2.108
			Setengah jenuh	1.825	1.81	1.825	1.810	0.000	1.942
			Jenuh	1.432	1.426	1.432	1.426	0.000	1.520
	5 m	85°	Kering	1.983	1.921	0.000	2.053	2.034	0.000
			Setengah jenuh	1.795	1.78	0.000	1.906	1.890	0.000
			Jenuh	1.168	1.166	0.000	1.234	1.232	0.000
	6 m	80°	Kering	1.771	1.753	0.000	1.879	1.860	0.000
			Setengah jenuh	1.634	1.619	0.000	1.736	1.721	0.000
			Jenuh	1.267	1.261	0.000	1.344	1.338	0.000
	6 m	85°	Kering	1.724	1.707	0.000	1.825	1.807	0.000
			Setengah jenuh	1.6	1.586	0.000	1.694	1.680	0.000
			Jenuh	1.18	1.178	0.000	1.247	1.244	0.000
	7 m	80°	Kering	1.608	1.592	0.000	1.701	1.684	0.000
			Setengah jenuh	1.477	1.463	0.000	1.566	1.552	0.000
			Jenuh	1.035	1.034	0.000	1.095	1.094	0.000
	7 m	85°	Kering	1.556	1.54	0.000	1.643	1.626	0.000
			Setengah jenuh	1.442	1.429	0.000	1.525	1.512	0.000
			Jenuh	1.012	1.011	8.100	1.066	1.064	0.000
	8 m	80°	Kering	1.474	1.458	0.000	1.559	1.540	0.000
			Setengah jenuh	1.353	1.34	0.000	1.431	1.418	0.000
			Jenuh	0.984	0.981	100.000	1.038	1.036	0.000
Eksisting	8 m	85°	Kering	1.422	1.407	0.000	1.498	1.482	0.000

Lereng	Geometri Lereng		Kondisi	Faktor Keamanan					
	Tinggi	Sudut		*Janbu Simplifed*			*Janbu Corrected*		
				D	Mean	PK (%)	D	Mean	PK (%)
			Setengah jenuh	1.314	1.302	0.000	1.387	1.375	0.000
			Jenuh	0.882	0.881	100.000	0.929	0.928	100.000
	9 m	80°	Kering	1.364	1.35	0.000	1.439	1.422	0.000
			Setengah jenuh	1.249	1.236	0.000	1.321	1.308	0.000
			Jenuh	0.879	0.876	100.000	0.927	0.924	100.000
	9 m	85°	Kering	1.311	1.299	0.000	1.378	1.365	0.000
			Setengah jenuh	1.209	1.197	0.000	1.273	1.261	0.000
			Jenuh	0.781	0.781	100.000	0.819	0.819	100.000
	10 m	80°	Kering	1.276	1.261	0.000	1.343	1.326	0.000
			Setengah jenuh	1.162	1.151	0.000	1.227	1.214	0.000
			Jenuh	0.798	0.795	100.000	0.842	0.839	100.000
	10 m	85°	Kering	1.222	1.208	0.000	1.281	1.266	0.000
			Setengah jenuh	1.121	1.11	0.000	1.178	1.167	0.000
			Jenuh	0.683	0.684	100.000	0.715	0.716	100.000

Dari tabel diatas bisa dilihat terdapat tanda kuning diantara tabel yang dimana tanda kuning itu sendiri merupakan batasan aman geometri lereng eksisting, dalam kondisi kering, setengah jenuh, dan jenu. Yang akan dipakai dalam rekomendasi geometri lereng.

Analisis Geometri Lereng *Eksisting*

Hasil dari proses pengolahan data, metode *Janbu Corrected* dan *Simplifed* digunakan untuk menghitung faktor keamanan lereng karena perhitungnnya memberikan faktor keamanan yang cukup teliti dimana metode Janbu mengabaikan gaya gesek antar irisan serta mengasumsikan gaya normal cukup untuk mewakili gaya antar irisan, untuk mendapatkan gaya normal dengan menjumlahkan gaya-gaya dalam arah horisontal, didapatkan nilai faktor keamanan lereng *eksisting* dalam keadaan aman dengan tinggi lereng 5 meter, sudut lereng 75°, lebar *bench* 3 meter, dengan asumsi lereng dalam keadaan kering, setengah jenuh dan jenuh. Lereng dengan keadaan kering memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.0 yaitu sebesar 2.029 dengan metode *Janbu Simplifed*, sedangkan hasil analisis dengan menggunakan metode *Janbu Corrected* sebesar 2.156. Lereng dengan keadaan setengah jenuh memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.0 yaitu sebesar 1.871 dengan metode *Janbu Simplifed* sedangkan hasil analisis dengan menggunakan metode *Janbu Corrected* sebesar 1.990. Lereng dengan keadaan jenuh memiliki nilai faktor keamanan lebih dari 1.0 yaitu sebesar 1.493 dengan metode *Janbu Simplifed*, sedangkan hasil analisis dengan menggunakan metode *Janbu Corrected* sebesar 1.588.

Analisis Lereng Rekomendasi

Hasil dari pengolahan geometri lereng yang diusulkan, Penulis mendapatkan nilai faktor keamanan lereng yang aman dan efisien menggunakan metode *Janbu Simplifed* dan *Janbu Corrected*.
Rekomendasi lereng yang diberikan akan didasarkan pada perhitungan faktor keamanan menggunakan metode *Janbu Corrected*. Karena pada metode ini mempertimbangkan gaya-gaya antar irisan. Sehingga kekuatan semua irisan akan diperhitungkan. Selain itu, pada metode *Janbu Corrected* juga akan

mengoreksi nilai faktor keamanan dari metode *Janbu Simplifed* karena pengaruh geometri lereng dan parameter kuat geser. Maka, perhitungan faktor keamanan menggunakan metode *Janbu Corrected* dapat dikatakan lebih baik daripada *Janbu Simplifed.*

Analisis lereng rekomendasi yang digunakan yaitu dengan tinggi jenjang 6 meter – 10 meter, lebar *bench* 3 meter dengan sudut 80° dan 85°. Hasil dari analisis lereng rekomendasi menunjukkan bahwa penggalian lereng dapat dilakukan sampai dengan ketinggian 10 meter dengan sudut 85° masih dikategorikan aman dalam kondisi kering dan setengah jenuh. Dimana hasil analisis menggunakan metode *Janbu Corrected* pada kondisi kering diperoleh nilai FK (*Determinictic*) yaitu sebesar 1.281 dan nilai FK (*Mean*) sebesar 1.266 dengan nilai probabilitas kelongsoran (PK) sebesar 0.000%. Sedangkan pada kondisi setengah jenuh menunjukkan nilai FK (*Determinictic*) sebesar 1.78 dan nilai FK (*Mean*) sebesar 1.167, dengan nilai probabilitas kelongsoran (PK) sebesar 0.000%. Namun pada kondisi jenuh bisa dikatakan aman hanya sampai pada ketinggian 8 meter dengan sudut 80°. Dimana nilai FK (*Determinictic*) sebesar 1.038 dan nilai FK (*Mean*) sebesar 1.036, dengan nilai probabilitas kelongsoran (PK) sebesar 0.000%.

Maka dapat disimpulkan bahwa penggalian lereng dapat dilakukan dengan aman sampai dengan ketinggian 10 meter dengan sudut 85° dalam kondisi kering dan setengah jenuh. Sedangkan untuk kondisi jenuh hanya sampai dengan ketinggian 8 meter dengan sudut 80° dapat dikatakan aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian di lapangan serta pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan dalam menyelesaikan permasalahan dalam penelitian terdapat tiga kesimpulan. Pertama, kondisi lereng eksisting di tambang batu andesit CV. Empat Lima dengan tinggi lereng 5 meter, lebar *bench* 3 meter, dan sudut 75 derajat. Telah dilakukan analisis perhitungan faktor keamanan lereng dalam keadaan kering,setengah jenuh dan jenuh. Analisis ini menggunakan metode *Janbu Simplified* dan *Janbu Corrected*. Untuk perhitungan faktor keamanan *single slope* dapat dikategorikan aman. Dimana nilai faktor keamanan pada lereng kondisi kering, setengah jenuh dan jenuh lebih dari 1.0 yaitu sebesar 2.029 (*Janbu Simplified*) dan 2.156 (*Janbu Corrected*) dalam kondisi kering, 1.871 (*Janbu Simplified*) dan 1.990 (*Janbu Corrected*) dalam kondisi setengah jenuh sedangkan dalam kondisi jenuh diperoleh nilai sebesar 1.493 (*Janbu Simplified*) dan 1.588 (*Janbu Corrected*). Kedua, geometri lereng *single slope* rekomendasi yang aman dan efisien yaitu dengan tinggi sama 5 meter sampai dengan 10 meter, lebar *bench* 3 meter, sampai pada sudut 85° dalam kondisi kering, setengah jenuh dan jenuh masih dikategorikan aman. Ketiga, Lereng Rekomendasi *single slope* berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan pada lokasi penelitian dengan tinggi 5 meter sampai 10 meter tetap aman sampai pada sudut 85°. Adapun pada kondisi kering tinggi 10 meter lebar *bench* 3 sudut 85° diperoleh nilai FK (*Determinictic*) yaitu sebesar 1.281 dan nilai FK (*Mean*) sebesar 1.266, dengan nilai probabilitas kelongsoran (PK) sebesar 0.000%. Sehingga penggalian dapat dilakukan sampai tinggi 10 meter lebar *bench* 3 dengan sudut lereng 85° dalam keadaan kering. pada kondisi setegah jenuh tinggi 10 meter lebar *bench* 3 sudut 85° diperoleh nilai FK (*Determinictic*) yaitu sebesar 1.178 dan nilai FK (*Mean*) sebesar 1.167, dengan nilai probabilitas kelongsoran (PK) sebesar 0.000%. Sehingga penggalian dapat dilakukan sampai tinggi 10 meter lebar *bench* 3 dengan sudut lereng 85° dalam keadaan setengah jenuh. Dan pada kondisi setengah jenuh tinggi 8 lebar *bench* 3 dengan sudut lereng 85°diperoleh nilai FK (*Determinictic*) yaitu sebesar 1.066 dan nilai FK (*Mean*) sebesar 1.064, dengan nilai probabilitas kelongsoran (PK) sebesar 0.000%. Sehingga penggalian dapat dilakukan sampai dengan tinggi 8 meter lebar *bench* 3 dengan sudut lereng 85° dalam keadaan jenuh.

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. K. Sarma, “Stability analysis of embankments and slopes,” 1973.

[2] R. Baker and M. Garber, “Theoretical analysis of the stability of slopes,” *Géotechnique*, vol. 28, no. 4, pp. 395–411, Dec. 1978, doi: 10.1680/geot.1978.28.4.395.

[3] 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, doi: 10.33019/promine.v7i1.1407.

[4] L. Batali and C. Andreea, "Slope Stability Analysis Using the Unsaturated Stress Analysis. Case Study," *Procedia Eng*, vol. 143, no. Ictg, pp. 284–291, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.036.

[5] Y. Wang, D. Hou, S. Qi, D. O'Connor, and J. Luo, "High stress low-flow (HSLF) sampling: A newly proposed groundwater purge and sampling approach," *Science of the Total Environment*, vol. 664, pp. 127–132, May 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.423.

[6] S. Alfat, L. O. M. Zulmasri, S. Asfar, M. S. Rianse, and R. Eso, "Slope stability analysis through variational slope geometry using Fellenius Method," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jul. 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1242/1/012020.

[7] M. Bittelli, R. Valentino, F. Salvatorelli, and P. Rossi Pisa, "Monitoring soil-water and displacement conditions leading to landslide occurrence in partially saturated clays," *Geomorphology*, vol. 173–174, pp. 161–173, 2012, doi: 10.1016/j.geomorph.2012.06.006.

[8] A. Gens, J. N. Hutchinson, and S. Cavounidis, "Three-dimensional analysis of slides in cohesive soils," *Géotechnique*, vol. 38, no. 1, pp. 1–23, Mar. 1988, doi: 10.1680/geot.1988.38.1.1.

[9] D. V Griffiths, "Failure Criteria Interpretation Based on Mohr-Coulomb Friction," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 116, no. 6, pp. 986–999, 1990, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9410(1990)116:6(986).

[10] H. Lin, W. Zhong, W. Xiong, and W. Tang, "Slope stability analysis using limit equilibrium method in nonlinear criterion," *Scientific World Journal*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/206062.

[11] D. Stolle and P. Guo, "Limit equilibrium slope stability analysis using rigid finite elements," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 45, no. 5, pp. 653–662, May 2008, doi: 10.1139/T08-010.

[12] Y. Cahyono, "Analisis Kestabilan Lereng Highwall berdasarkan tingkat kejenuhan dengan metode probabilitas pada tambang batubara PT. X Kalimantan Timur," *Geomine*, vol. 9, no. 3, pp. 229–238, Dec.2021,Accessed:Feb.23,2022.[Online].Available:https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JG/article/view/993/pdf

[13] Y. D. G. Cahyono and F. H. P. Santosa, "Analisa kestabilan lereng berdasarkan probabilitas kelongsoran pada tambang pirofilit di pt gunung bale, kabupaten malang, provinsi jawa timur [1]," *SEMITAN*, vol. 2, no. 1, pp. 423–435, 2020.

[14] I. Raices Cruz, J. Lindström, M. C. M. Troffaes, and U. Sahlin, "Iterative importance sampling with Markov chain Monte Carlo sampling in robust Bayesian analysis," *Comput Stat Data Anal*, vol. 176, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.csda.2022.107558.

[15] S.-H. Jiang, D.-Q. Li, Z.-J. Cao, C.-B. Zhou, and K.-K. Phoon, "Efficient System Reliability Analysis of Slope Stability in Spatially Variable Soils Using Monte Carlo Simulation," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 141, no. 2, p. 04014096, 2015, doi: 10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001227.

[16] A. Petersen, C. Zhang, and P. Kokoszka, "Modeling Probability Density Functions as Data Objects," *Econom Stat*, vol. 21, pp. 159–178, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.ECOSTA.2021.04.004.

[17] C. H. Chen, F. Song, F. J. Hwang, and L. Wu, "A probability density function generator based on neural networks," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 541, p. 123344, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.PHYSA.2019.123344.