



**MODEL DAN PERBANDINGAN KESTABILAN LERENG JALAN
TAMBANG BATUBARA DENGAN METODE *BISHOP* DAN
GRAFIS HOEK DAN BRAY DI SUMATERA SELATAN**

***MODEL AND COMPARISON OF COAL MINING ROAD SLOPE
STABILITY WITH BISHOP AND HOEK AND BRAY GRAPHIC
METHOD IN SOUTH SUMATERA***

R. B. Saputra¹, N. Retongga^{2*}

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

^{2*}Program Studi Teknik Pertambangan, Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang

¹Jln. Kalisahak No. 28, Kompleks Balapan, Kec. Gondokusuman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

^{2*}Jl. Prof. Dr. Hamka No.121, Parupuk Tabing, Kecamatan Koto Tengah, Kota Padang, Sumatera Barat, Indonesia

e-mail: ^{2*}nofrohuretongga@sttind.ac.id

ABSTRAK

Stabilitas lereng merupakan faktor penting dalam perencanaan, pengoperasian tambang, dan penggalian tambang terbuka. Desain lereng yang stabil dan presisi akan berdampak besar pada ekonomi pertambangan dan keberlanjutan produksi tambang. Jika dilakukan studi stabilitas lereng yang baik, maka akan diperoleh penyusunan rencana penambangan yang lengkap. Tujuan penelitian untuk mengetahui perbandingan faktor keamanan lereng jalan metode *Bishop* dan metode grafis Hoek dan Bray, serta memberi rekomendasi rekayasa lereng jika faktor keamanan di bawah nilai minimum. Metode penelitian terdiri dari empat (4) tahap, yaitu: (1) Pemetaan geologi, yaitu pengamatan stratigrafi batuan, pengambilan sampel batuan, dan geometri lereng di jalan lereng tambang daerah penelitian, (2) Pengambilan hasil analisis laboratorium PT X atau data sekunder meliputi nilai bobot isi batuan (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (θ), (3) Pemodelan metode *Bishop* menggunakan *Software Geostudio 2018 slope/W* dan analisis grafik Hoek dan Bray, (4) Hasil analisis menggunakan metode *Bishop* dan Hoek dan Bray dilakukan perbandingan nilai faktor keamanan dan geometri lereng yang dianalisis. Secara keseluruhan faktor keamanan menggunakan metode *bishop* dengan bantuan *software Geostudio 2018 Slope/w* dan metode grafis Hoek & Bray tidak memiliki perbandingan nilai FK yang signifikan. Nilai faktor keamanan Jalan Manchester City, Jalan Fulham, Jalan Leeds, dan Jalan Newcastle di atas 1,25 ($>1,25$) walaupun memiliki perbandingan geometri lereng yang cukup signifikan. Lereng keseluruhan memiliki kondisi yang aman dan stabil sehingga tidak perlu dilakukan rekayasa atau modifikasi lereng.

Kata kunci: model, perbandingan, kestabilan lereng, *bishop*, hoek dan bray

ABSTRACT

Slope stability is an important factor in the planning and operation of mines and open-pit excavation. A stable and precise slope design will have a major impact on mining economics and sustainability of mine production. A complete mining plan can be prepared if a good slope stability study is conducted. The aim of this research is to compare the road slope safety factors Bishop and the Hoek and Bray graphic methods, as well as provide recommendations for slope engineering if the safety factor is below the minimum value. The research method consists of four stages: (1) Geological mapping, which consists of observing rock stratigraphy, taking rock samples, and slope geometry on the mine slope road in the research area, and (2) taking the results of the laboratory analysis of PT. X or secondary data include the values of the rock density (γ), cohesion (c), and internal friction angle (θ). (3) Modeling method Bishop use Software Geostudio 2018 slope/W and Hoek and Bray's graphical analysis. (4) Then the analysis results use the method Bishop and Hoek and Bray compared the safety factor values and the slope geometry of the roads being analyzed, so that the differences in factors could be determined. Overall, the safety factor uses the Bishop method with the assistance software Geostudio 2018 Slope/w, and the manual Hoek and Bray graphic method did not have a significant comparison of FK values. The safety

factor values for Manchester City Road, Fulham Road, Leeds Road, and Newcastle Road are above 1.25 (>1.25) even though the comparison of slope geometries is significant. The overall slope is in a safe and stable condition; therefore, there is no need for slope engineering or modification.

Keywords: model, comparison, slope stability, bishop, hoek and bray

PENDAHULUAN

Kegiatan penambangan mineral dan batubara di ruang terbuka berupa penggalian dan penimbunan akan selalu menghadapi permasalahan stabilitas lereng. Lereng terbagi menjadi dua yaitu lereng yang terbentuk akibat proses alam dan lereng buatan yang terbentuk akibat aktivitas manusia [1]. Lereng yang terbentuk secara alami misalnya lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia meliputi galian, tanggul, dan dinding tambang terbuka [2,3]. Stabilitas lereng merupakan faktor penting dalam perencanaan dan pengoperasian tambang dan penggalian tambang terbuka. Dalam penyusunan rencana tambang selain cadangan, teknik penambangan, ekonomi dan lingkungan, stabilitas lereng juga merupakan faktor penting yang harus diperhitungkan dengan hati-hati. Desain lereng yang stabil dan presisi akan berdampak besar pada ekonomi pertambangan dan keberlanjutan produksi tambang. Jika dilakukan studi stabilitas lereng yang baik maka akan diperoleh penyusunan rencana penambangan yang lengkap [4].

Dalam pengoperasian kegiatan penambangan, permasalahan stabilitas lereng akan banyak dijumpai pada galian tambang terbuka [5]. Kondisi lereng yang tidak memenuhi kriteria aman dan tidak terpantau akan menjadi ancaman bagi kondisi sekitarnya [6]. Nilai densitas, kohesi dan sudut geser dalam juga berpengaruh sebagai faktor internal terhadap nilai faktor keamanan lereng [5]. Besarnya nilai kuat geser dipengaruhi oleh adanya kohesi dan sudut geser internal [7]. Stabilitas suatu lereng, nilai kohesi dan sudut geser dalam sangat mempengaruhi kemampuan menahan beban luar [8]. Parameter sifat fisik batuan sebagai dasar pemodelan geomekanik dan desain rekayasa geologi [9], hal ini dikarenakan secara fisik dan mekanik memiliki hubungan yang erat dan dapat mempengaruhi kestabilan lereng terbuka dan lubang tambang. Analisis dilakukan agar lereng tambang yang telah di desain tidak longsor dan pengambilan batubara dapat dilakukan secara optimal.

Hubungan nilai faktor keamanan lereng dan intensitas longsor yaitu jika faktor keamanan $<1,07$ termasuk longsor yang sering terjadi, jika $1,07 < FK < 1,25$ termasuk pernah terjadi longsor, dan jika $FK > 1,25$ maka

jarang terjadi longsor [10]. Kelongsoran yang terjadi di lereng tambang dapat menyebabkan terganggunya jalan angkut utama sehingga menghambat pengangkutan batubara dan tanah penutup, rusaknya alat operasional, kematian, hingga penutupan aktivitas pertambangan [11]. Maka dari itu kestabilan lereng harus dianalisis agar faktor keamanan diketahui. Tujuan penelitian untuk mengetahui model dan perbandingan faktor keamanan lereng jalan dengan metode *Bishop* dan metode grafis *Hoek* dan *Bray* serta merekomendasikan nilai faktor keamanan dengan merekayasa geometri lereng jika salah satu lereng memiliki faktor keamanan di bawah faktor keamanan minimum.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari empat tahap, yaitu:

1. Pemetaan geologi, tahap pemetaan geologi terdiri dari pengamatan stratigrafi batuan, pengambilan sampel batuan, dan geometri lereng di jalan lereng tambang daerah penelitian.
2. Pengambilan hasil analisis laboratorium PT X atau data sekunder meliputi nilai bobot isi batuan (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (θ).
3. Pemodelan metode *Bishop* menggunakan *Software Geostudio 2018 slope/W* berdasarkan data geometri lereng, bobot isi batuan (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (θ), material penyusun lereng, dan pemodelan menggunakan warna litologi penyusun lereng jalan tambang. Analisis grafik *Hoek* dan *Bray* perlu memilih grafik yang sesuai dengan keadaan air tanah pada lereng jalan tambang dan memerlukan data tinggi lereng (H) kelerengan (α), bobot isi (γ), kohesi (c) dan sudut geser dalam (θ) untuk diplot pada grafik.
4. Dilakukan perbandingan nilai faktor keamanan dan geometri lereng jalan-jalan yang dianalisis, sehingga dapat perbedaan faktor keamanan menggunakan metode *Bishop* dan *Hoek* dan *Bray*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Faktor Keamanan Metode *Bishop*

Daerah penelitian dibagi menjadi dua *cross section* untuk menganalisis kestabilan lereng menggunakan

metode Bishop, bagian utara dan bagian Selatan. Bagian utara melewati Jalan Manchester City dan Jalan Fulham (Tabel 1), sedangkan pada bagian selatan melewati Jalan Leeds dan Jalan Newcastle (Tabel 2).

Tabel 1. Data kestabilan lereng metode Bishop Jalan Manchester City dan Jalan Fulham dalam kondisi jenuh

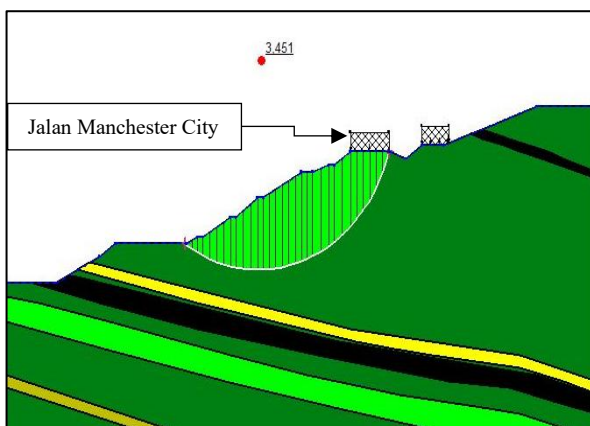
Tinggi dan Kelerengan	Litologi	Bobot isi (kN/m ²)	Kohesi (kPa = kN/m ³)	Sudut geser dalam	Seismic load	Warna
115 m dan 15°	Batulempung	19,03	144,35	17,42	0,02	
	Batubara	11,03	277,18	25,25		
	Batupasir tufaan	18,79	123,09	18,44		
	Batubara	11,93	536,48	23,91		
	Batulanau	19,86	72,88	13,62		
	Batupasir	19,66	128,12	28,61		

Tabel 2. Data kestabilan lereng metode *Bishop cross section* Jalan Leeds dan Jalan Newcastle dalam kondisi jenuh

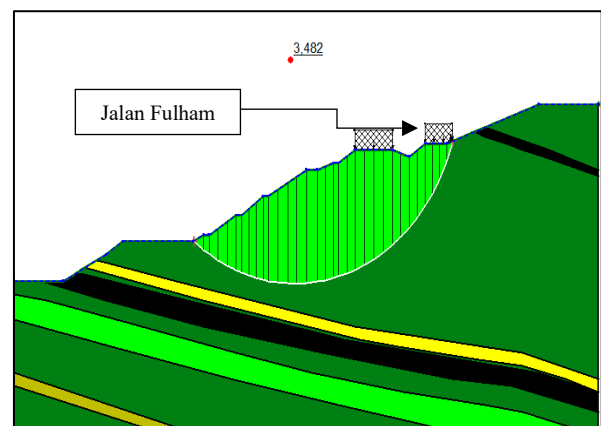
Tinggi dan Kelerengan	Lapisan material	Bobot isi (kN/m ²)	Kohesi (kPa = kN/m ³)	Sudut geser dalam	Seismic load	Warna
125 m dan 80°	Batupasir tufaan	18,79	123,09	18,44	0,02	
	Batulanau	19,86	72,88	13,62		
	Batupasir	19,66	128,12	28,61		
	Batupasir	21,54	164,61	15,25		

Jalan Manchester City didapatkan faktor kermanan lereng $3,451 > 1,25$ yang berarti lereng dalam keadaan aman (Gambar 1). Untuk Jalan Fulham didapatkan faktor keamanan lereng $3,482 > 1,25$ yang berarti lereng dalam keadaan aman (Gambar 2).

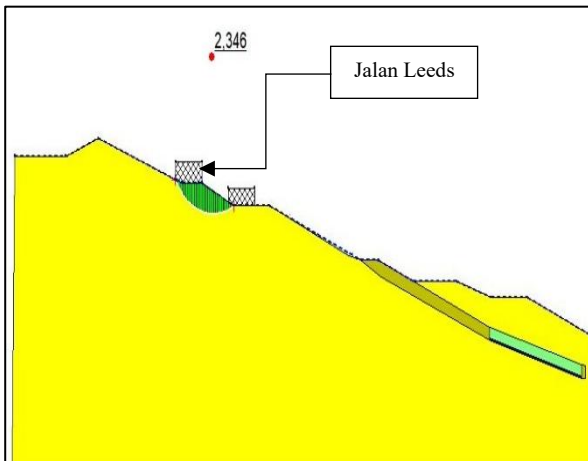
Jalan Leeds didapatkan faktor kermanan lereng $2,346 > 1,25$ yang berarti lereng dalam keadaan aman (Gambar 3). Jalan Newcastle didapatkan faktor keamanan lereng $1,783 > 1,25$ yang berarti lereng dalam keadaan aman secara keseluruhan (Gambar 4).



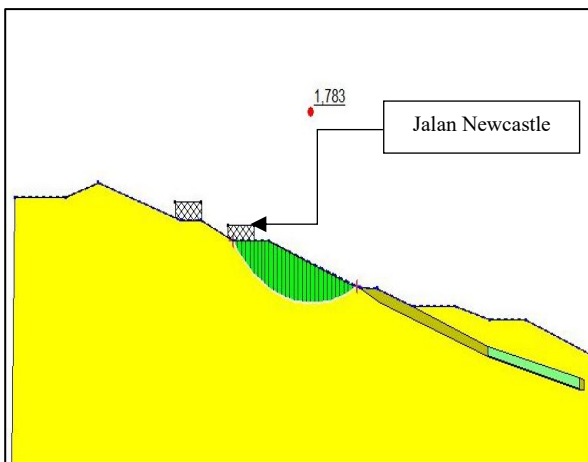
Gambar 1. Model dan Faktor keamanan lereng Jalan Manchester City metode *Bishop*



Gambar 2. Model dan Faktor keamanan lereng Jalan Fulham metode *Bishop*.



Gambar 3. Model dan faktor keamanan lereng Jalan Leeds metode *Bishop*



Gambar 4. Model dan faktor keamanan lereng Jalan Newcastle metode *Bishop*

Faktor Keamanan Metode Grafis Hoek Dan Bray

Daerah penelitian dibagi menjadi dua *cross section* untuk menganalisis kestabilan lereng menggunakan metode grafis Hoek dan Bray, bagian utara dan selatan. Bagian utara melewati Jalan Manchester City dan Jalan Fulham (Tabel 3), sedangkan pada bagian selatan melewati Jalan Leeds dan Jalan Newcastle (Tabel 4).

Tabel 3. Data kestabilan lereng Jalan Manchester City dan Jalan Fulham

No	Parameter			
	Jalan Manchester City		Jalan Fulham	
1	Kohesi (c)	213,68 kPa = kN/m ³	Kohesi (c)	213,68 kPa = kN/m ³
2	Bobot isi (γ)	16,72 kN/m ²	Bobot isi (γ)	16,72 kN/m ²
3	Tinggi lereng (H)	50 m	Tinggi lereng (H)	35 m
4	Sudut geser dalam (θ)	21,21°	Sudut geser dalam (θ)	21,21°
5	Kelerengan (α)	20°	Kelerengan (α)	12°

Jalan Manchester City didapatkan faktor keamanan lereng (FK) 3,88 > 1,25 yang berarti dalam kondisi aman (Gambar 5).

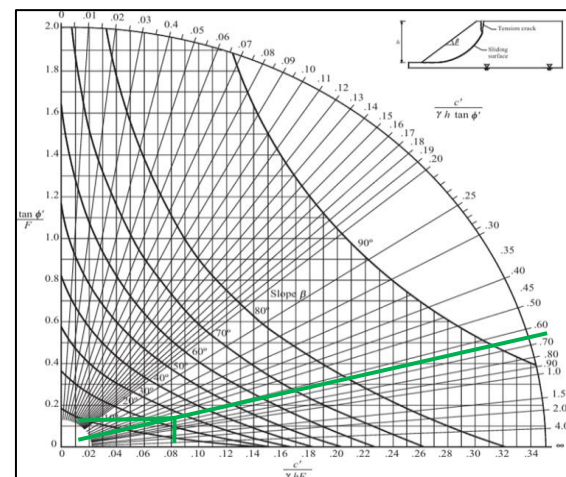
$$\frac{C}{\gamma \times H \times \tan \theta} = \frac{213,68 \text{ kN/m}^3}{16,72 \text{ kN/m}^2 \times 50 \text{ m} \times \tan 21,21^\circ} = 0,66$$

$$F = \frac{213,68 \text{ kN/m}^2}{58,52 \text{ kN/m}^2} = 3,65$$

$$\frac{C}{\gamma \times H \times F} = \frac{213,68 \text{ kN/m}^2}{16,72 \text{ kN/m}^2 \times 50 \text{ m} \times F} = 0,07$$

$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,1$$

$$F = \frac{\tan 21,21^\circ}{0,1} = 3,88$$



Gambar 5. Model dan faktor keamanan lereng Jalan Manchester City metode grafis Hoek dan Bray modifikasi [12]

Jalan Fulham didapatkan faktor keamanan lereng (FK) 3,52 > 1,25 yang berarti lereng dalam kondisi aman (Gambar 6).

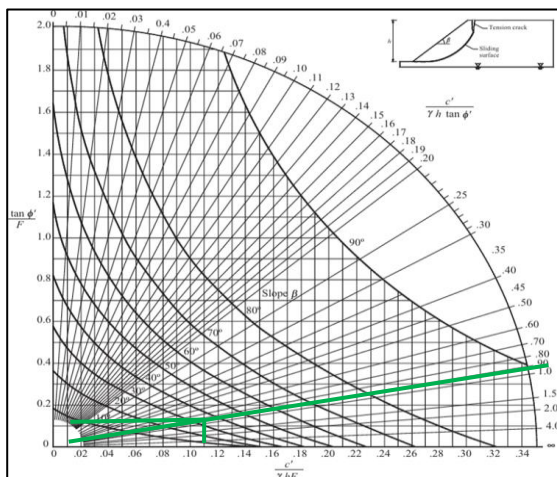
$$\frac{C}{\gamma \times H \times \tan \theta} = \frac{213,68 \text{ kN/m}^3}{16,72 \text{ kN/m}^2 \times 35 \text{ m} \times \tan 21,21^\circ} = 0,94$$

$$F = \frac{213,68 \text{ kN/m}^2}{52,66 \text{ kN/m}^2} = 4,05$$

$$\frac{C}{\gamma \times H \times F} = \frac{213,68 \text{ kN/m}^2}{16,72 \text{ kN/m}^3 \times 35 \text{ m} \times F} = 0,09$$

$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,11$$

$$F = \frac{\tan 21,21^\circ}{0,11} = 3,52 \text{ (faktor keamanan lereng)}$$



Gambar 6. Model dan faktor keamanan lereng Jalan Fulham metode grafis Hoek dan Bray modifikasi [12]

Jalan Leeds didapatkan faktor keamanan lereng (FK) 2,86 > 1,25 yang berarti lereng dalam kondisi aman (Gambar 7).

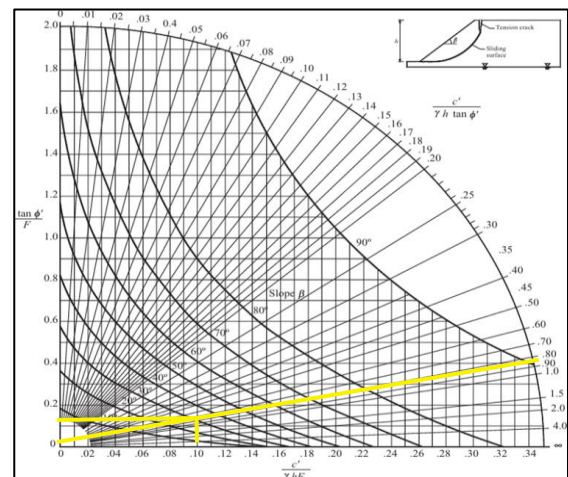
$$\frac{C}{\gamma \times H \times \tan \theta} = \frac{122,18 \text{ kN/m}^3}{19,68 \text{ kN/m}^2 \times 20 \text{ m} \times \tan 18,98^\circ} = 0,9$$

$$F = \frac{122,18 \text{ kN/m}^2}{39,36 \text{ kN/m}^2} = 3,1$$

$$\frac{C}{\gamma \times H \times F} = \frac{122,18 \text{ kN/m}^2}{19,68 \text{ kN/m}^3 \times 20 \text{ m} \times F} = 0,10$$

$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,12$$

$$F = \frac{\tan 18,98^\circ}{0,12} = 2,86 \text{ (faktor keamanan lereng)}$$



Gambar 7. Model dan faktor keamanan lereng Jalan Leeds metode grafis Hoek dan Bray modifikasi [12]

Tabel 4. Data kestabilan lereng Jalan Leeds dan Jalan Newcastle

No	Parameter			
	Jalan Leeds		Jalan Newcastle	
1	Kohesi (c)	122,18 kPa = kN/m ³	Kohesi (c)	122,18 kPa = kN/m ³
2	Bobot isi (γ)	19,68 kN/m ²	Bobot isi (γ)	19,68 kN/m ²
3	Tinggi lereng (H)	20 m	Tinggi lereng (H)	45 m
4	Sudut geser dalam (θ)	18,98°	Sudut geser dalam (θ)	18,98°
5	Kelerengan (α)	18°	Kelerengan (α)	17°

Jalan Newcastle didapatkan faktor keamanan lereng 1,81 > 1,25 yang berarti lereng dalam kondisi aman (Gambar 8).

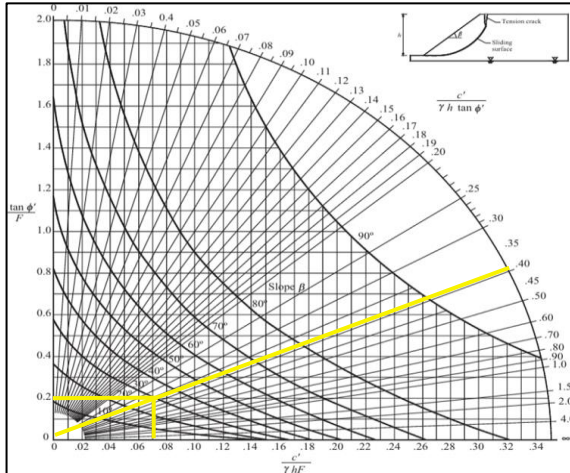
$$\frac{C}{\gamma \times H \times \tan \theta} = \frac{122,18 \text{ kN/m}^3}{19,68 \text{ kN/m}^2 \times 45 \text{ m} \times \tan 18,98^\circ} = 0,4$$

$$F = \frac{122,18 \text{ kN/m}^2}{69,96 \text{ kN/m}^2} = 1,75$$

$$\frac{C}{\gamma \times H \times F} = \frac{122,18 \text{ kN/m}^2}{19,68 \text{ kN/m}^3 \times 45 \text{ m} \times F} = 0,079$$

$$\frac{\tan \theta}{F} = 0,19$$

$$F = \frac{\tan 18,98^\circ}{0,19} = 1,81 \text{ (faktor keamanan lereng)}$$



Gambar 8. Model dan faktor keamanan lereng Jalan Newcastle metode grafis Hoek dan Bray modifikasi [12]

Perbandingan Geometri dan Faktor Keamanan Lereng Jalan Tambang Batubara

Perbandingan metode *Bishop* dan metode grafis Hoek dan Bray didapatkan nilai keamanan jalan kritis yang khusus dilewati alat berat komatsu HD 765 adalah Jalan Newcastle dengan ketinggian ± 45 m, kelerengan 17° (Tabel 5) dan nilai faktor keamanan sebesar $1,783 > 1,25$ metode *Bishop* dan $1,75 > 1,25$ metode Grafis Hoek dan Bray. Secara menyeluruh di daerah penelitian memiliki nilai faktor keamanan minimum di atas 1,25 ($>1,25$) yang menandakan lereng di daerah penelitian memiliki faktor keamanan yang aman (Tabel 6).

Tabel 5. Perbandingan geometri lereng jalan

No	Lereng	Tinggi lereng (m)	Kelerengan
1	Jalan Manchester City	50	20°
2	Jalan Fulham	35	12°
3	Jalan Leeds	20	18°
4	Jalan Newcastle	45	17°

Secara keseluruhan Jalan Manchester City, Jalan Fulham, Jalan Leeds, dan Jalan Newcastle berdasarkan perbandingan model *Bishop* dan model Grafis Hoek & Bray memiliki faktor keamanan $>1,25$. Besarnya nilai faktor keamanan ini dikarenakan semakin kecil nilai

densitas atau bobot isi batuan, maka nilai kohesi dan sudut geser dalam batuan besar. Semakin besar sudut geser dalam batuan, maka semakin stabil lereng tersebut. Hal ini karena sudut geser dalam yang lebih besar menyebabkan batuan lebih sulit untuk bergeser atau jatuh sehingga nilai faktor keamanan lereng akan tinggi. Semakin tinggi nilai faktor keamanan lereng maka tidak berpotensi longsor atau stabil [13].

Faktor keamanan yang tinggi dan stabil dapat dipengaruhi oleh tingkat pelapukan batuan yang rendah, intensitas kekar yang sedikit, dan litologi yang cukup resisten, dan didominasi struktur batuan yang massif [14], serta komposisi mineral batuan yang cukup resisten sehingga batuan tersebut kuat [15]. Kondisi air tanah juga dipertimbangkan dalam grafik stabilitas lereng [16]. Adanya air dapat menyebabkan penurunan nilai kohesi, dan sudut geser batuan (sifat mekanik). Hal ini, dipengaruhi oleh sifat batuan sedimen klastik yang sangat reaktif dan mudah menyerap air sehingga menyebabkan ikatan antar butir di dalam batuan menjadi lemah saat air jenuh [9]. Lereng yang aman juga dipengaruhi oleh arah lapisan batuan yang berlawanan dengan arah lereng [17] dan dipengaruhi oleh karakteristik sifat keteknikan dan hidrologi yang cukup aman [18].

Tabel 6. Perbandingan faktor keamanan lereng jalan

Metode <i>Bishop</i>	Metode grafis Hoek dan Bray
Faktor keamanan (FK) dengan kondisi jenuh	Faktor keamanan (FK) Dengan kondisi jenuh
3,451	3,65
3,482	3,88
2,346	2,86
1,783	1,75

KESIMPULAN

Secara keseluruhan faktor keamanan menggunakan metode *bishop* dengan bantuan *software Geostudio 2018 Slope/w* dan metode grafis Hoek & Bray secara manual tidak memiliki perbandingan nilai FK yang signifikan. Nilai faktor keamanan Jalan Manchester City, Jalan Fulham, Jalan Leeds, dan Jalan Newcastle di atas 1,25 walaupun memiliki perbandingan geometri lereng yang cukup signifikan. Lereng keseluruhan memiliki kondisi yang aman dan stabil sehingga tidak perlu dilakukan rekayasa atau modifikasi lereng.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2001). *Slope stability and stabilization methods*. John Wiley & Sons.
- [2] Arief, S. (2007). *Dasar-dasar analisis kestabilan lereng*. PT INCO.
- [3] Rumbiak, V. S. S. (2016). *Analisis perhitungan tingkat kestabilan lereng menggunakan metode Rock Mass Rating dan Slope Mass Rating pada area West Wanagon slope stability di PT Freeport Indonesia*. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik.
- [4] Putra, I. T., Guskarnali, G., & Irvani, I. (2017). Aplikasi software Geostudio 2007 Slope/W untuk analisis kestabilan lereng di tambang Muara Tiga Besar Utara PT Bukit Asam (Persero) Tbk Sumatera Selatan. *Mineral*, 2(2), 78–89.
- [5] Arif, I. I. (2016). *Geoteknik tambang*. Gramedia Pustaka Utama.
- [6] Indriani, Y. N., Kusumayudha, S. B., & Purwanto, H. S. (2017). Analisis gerakan massa berdasarkan sifat fisik mekanik tanah daerah Kalijambe, Kecamatan Bener, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah. *Jurnal Mineral, Energi, dan Lingkungan*, 1(2), 39–49.
- [7] Rumbiak, V., Silva, A. I. N. D. E., Da Costa, J. O. A., & Cahyono, Y. D. G. (2020). Pengaruh uji kuat geser terhadap batu andesit. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan*, 2(1), 605–609.
- [8] Afriani, L., & Setyanto, S. (2018). Pengaruh stabilitas lereng terhadap nilai kohesi, sudut geser dalam tanah dan perubahan tingkat ketinggian muka air tanah. [Unpublished work].
- [9] Wardana, N. K. (2019). Analisis kestabilan lereng berdasarkan kekuatan geser massa batuan terhadap perubahan kandungan air pada tambang batubara di area Blok Menyango. *Promine*, 7(2), 71–77.
- [10] Bowles, J. E. (1989). *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah* (Vol. 562).
- [11] Fikri, M. A., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). Analisis stabilitas lereng pada pit tambang Air Laya Barat Section C–C' PT Bukit Asam (Persero) Tbk., Sumatera Selatan. *Bina Tambang*, 3(2), 835–849.
- [12] Hoek, E., & Bray, J. D. (1981). *Rock slope engineering*. CRC Press.
- [13] Retongga, N., Saputa, R. B., Agustin, F., Syaputra, R., Razi, M. H., Zahidah, A., & Nainggolan, E. N. (2023). Relationship of rock geomechanics and coal mine slope safety factor in South Sumatra region, Indonesia. *Journal of Earth and Marine Technology*, 4(1), 97–102.
- [14] Pangaribuan, M. P., & Retongga, N. (2023). Analisis kestabilan lereng menggunakan metode Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR) untuk menentukan faktor keamanan lereng pada tambang tuf Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 5(3), 171–190.
- [15] Retongga, N., Purnamawati, D. I., & Rakhman, A. N. (2021). Analisis kualitas intrusi andesit sebagai bahan bangunan berdasarkan sifat keteknikan di daerah Beji, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Technoscintia*, 144–151.
- [16] Saptono, S., Hariyanto, R., & Wahyudi, M. D. (2014). Penentuan pengaruh air terhadap kohesi dan sudut gesek dalam pada batugamping. *Promine*, 2(1).
- [17] Retongga, N. (2023). *Analisis risiko bencana longsor dan banjir berbasis pola pengaliran dan geomorfologi di daerah Karanggayam Kabupaten Kebumen Provinsi Jawa Tengah* (Undergraduate thesis). UPN Veteran Yogyakarta.
- [18] Van Westen, C. J., Castellanos, E., & Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102(3–4), 112–131.